

박사학위논문

바이오중유산업의 환경·사회·경제적 효과 분석

Environmental, Social, and Economic Effects of  
Bio-fuel Industry

2018 년 8 월

세종대학교 대학원  
기후변화협동과정  
서 형 주

# 바이오중유산업의 환경·사회·경제적 효과 분석

## Environmental, Social, and Economic Effects of Bio-fuel Industry

지도교수 전 의 찬

이 논문을 정책학 박사학위논문으로 제출함

2018년 8월

세종대학교 대학원  
기후변화협동과정  
서형주

서형주의 박사학위논문을 인준함

2018년 8월

심사위원장      한 기 주 (인)

심 사 위 원      김 재 식 (인)

심 사 위 원      박 영 호 (인)

심 사 위 원      김 하 나 (인)

심 사 위 원      전 의 찬 (인)

## 국문 초록

2018년 기준 국내 중유발전소는 18기(3,320MW)로 국가 전력 생산의 약 5%를 차지하고 있다. 중유발전소는 1990년대 중반까지 가동률이 70%를 웃돌 만큼 국내 전력수급의 상당부분을 담당해왔다. 그러나 석탄발전이나 원자력발전에 비해 경제성이 낮기 때문에 지금은 전력 피크(peak)시에만 제한적으로 가동되고 있다.

이처럼 중유발전소의 전력 공급 비중은 점차 줄어들고 있으나, 2014년부터 시행된 「발전용 바이오중유 시범보급사업」에 따라 중유 대신 바이오중유를 사용하면 중유발전소는 신재생에너지 공급의무화제도(RPS) 대응 수단으로 주목 받고 있다. 바이오중유는 바이오매스의 일종으로 시범보급사업이 5년간 지속되면서 전체 바이오에너지 생산량의 10% 이상을 차지할 만큼 그 사용량이 증가하였다. 뿐만 아니라 전량 국내 생산으로 인해 20개 이상의 업체가 바이오중유 생산업으로 등록했다.

바이오중유 생산과 소비의 성장세에도 불구하고 바이오중유에 관한 연구는 바이오중유발전 운영에 관한 실증연구나 연료품질에 관한 연구에 국한되어 있으며, 정책입안의 기초자료로 활용되는 환경·사회·경제 등에 관한 정책 연구는 미흡한 실정이다. 이에 본 연구에서는 바이오중유 생산과 소비 측면을 포괄하여 바이오중유산업이라 정의하고, 그 수요창출에 따른 환경·사회·경제적 가치를 실증적으로 분석하였다.

본 연구에서는 산업연관분석(Input-Output Analysis) 모형을 이용하여 사회·경제적 효과를 분석하였다. 이를 위해 바이오중유 발전소를 대상으로 바이오중유산업과 중유산업의 투입구조를 조사하고 2014년 산업연관표를 재구

성하였다.

바이오중유산업의 타 산업과의 연관관계를 분석한 결과, 바이오중유산업은 화학제품, 음식료품 등 바이오중유생산에 연관된 산업부문과 밀접한 관계가 있는 것으로 나타났다. 이는 바이오중유발전부문보다 바이오중유생산부문에서 더 큰 파급효과를 유발 할 수 있는 것으로 해석된다.

바이오중유산업과 타 산업간 상호의존관계를 살펴보면 바이오중유산업의 생산 증가가 후방산업에 미치는 파급효과는 크게 나타난 반면, 전방산업에는 영향을 크게 미치지 않는 것으로 분석되었다. 이러한 결과는 바이오중유가 발전용으로 제한되어 있기 때문에 나타난 것으로, 바이오중유산업의 경제적 파급효과를 증대시키기 위해 타 용도로의 활용 방안을 모색할 필요가 있다.

바이오중유산업은 경제적 효과는 국가 경제 전체적으로 연간 4,329 억 원 ~3 조 1,599 억 원의 순 생산유발효과와 연간 1,615 억 원~1 조 2,409 억 원의 순 부가가치유발효과가 있으며, 연간 424 억 원~3,590 억 원의 수입 대체 효과가 있는 것으로 분석되었다.

또한, 바이오중유산업은 바이오중유생산업이라는 신규 산업을 일으키면서 국가 전체적으로 연간 802 명~4,508 명의 순 고용유발효과를 창출하는 것으로 나타났다.

바이오중유발전부문의 환경영향 분석을 위해 실제 운영 중인 바이오중유발전소와 중유발전소의 굴뚝원격감시체계(CleanSYS) 수신자료를 수집하여 대기오염물질 저감효과를 비교 분석하였다. 또한, 바이오매스의 탄소중립성을 전제로 바이오중유발전 대체로 인한 온실가스 저감효과를 산정하였다.

환경영향 분석결과, 바이오중유발전이 중유 발전을 대체함으로써 황산화물, 질소산화물, 초미세먼지(PM-2.5)의 저감효과와 온실가스 저감효과가 있는 것

으로 분석되었다. 환경영향을 비용으로 계량화하기 위해 배출권거래제가격과 사회적 비용 단가를 각각 적용하면, 배출권거래제 가격 기준으로 206 억 원 ~1,692 억 원의 비용 절감효과가 발생하며, 3,085 억 원~2 조 5,378 억 원의 사회적 편익이 발생하는 것으로 나타났다.

본 연구는 바이오중유산업을 대상으로 환경·사회·경제적 파급효과를 총체적으로 다룬 최초의 정책 연구라는 점에서 의미가 있다. 또한 바이오중유의 연구 분야와 방법론을 확대하였다는 점에서 학술적 의의 역시 찾을 수 있을 것이다.

**주요어** : 바이오중유, 바이오에너지, 신재생에너지, 온실가스, 대기오염물질, 산업연관분석, 사회적·경제적 파급효과

# 목 차

## 제 1 장 서론

|                         |   |
|-------------------------|---|
| 제 1 절 연구 배경 및 필요성 ..... | 1 |
| 제 2 절 연구 목적 .....       | 5 |
| 제 3 절 연구 내용 및 범위 .....  | 7 |

## 제 2 장 바이오중유산업의 특성 및 선행 연구 분석

|                             |    |
|-----------------------------|----|
| 제 1 절 바이오중유산업 현황 및 특성 ..... | 9  |
| 제 2 절 선행 연구 분석 .....        | 35 |

## 제 3 장 바이오중유산업의 환경·사회·경제적 효과 분석방법

|                                     |    |
|-------------------------------------|----|
| 제 1 절 바이오중유산업의 사회·경제적 효과 분석방법 ..... | 47 |
| 제 2 절 바이오중유발전의 환경 영향 분석방법 .....     | 65 |

## 제 4 장 바이오중유산업의 사회·경제적 효과

|                                       |    |
|---------------------------------------|----|
| 제 1 절 산업연관표의 재구성 .....                | 75 |
| 제 2 절 바이오중유산업의 사회·경제적 효과 .....        | 82 |
| 제 3 절 바이오중유산업과 중유산업의 사회·경제적 효과 비교 ... | 97 |

## 제 5 장 바이오중유발전의 환경 영향

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| 제 1 절 대기오염물질 저감효과 ..... | 111 |
| 제 2 절 온실가스 저감효과 .....   | 117 |

## 제 6 장 바이오중유의 보급·확대 시나리오

|                                      |     |
|--------------------------------------|-----|
| 제 1 절 시나리오의 구성 .....                 | 119 |
| 제 2 절 시나리오별 사회·경제적 효과 .....          | 131 |
| 제 3 절 시나리오별 환경 영향 .....              | 146 |
| 제 4 절 시나리오별 환경·사회·경제적 효과의 추정결과 ..... | 159 |

## 제 7 장 결론

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| 제 1 절 연구 요약 .....       | 165 |
| 제 2 절 연구 한계 및 시사점 ..... | 167 |

|            |     |
|------------|-----|
| 참고문헌 ..... | 171 |
|------------|-----|

|             |     |
|-------------|-----|
| 부록 차례 ..... | 179 |
|-------------|-----|

|                |     |
|----------------|-----|
| Abstract ..... | 195 |
|----------------|-----|



## 표 차 례

|  |    |
|--|----|
| 〈표 2-1〉 바이오중유의 품질기준 .....                  | 11 |
| 〈표 2-2〉 바이오중유의 원료 물질 .....                 | 15 |
| 〈표 2-3〉 바이오중유 시범보급사업 대상 발전소 .....          | 16 |
| 〈표 2-4〉 2010 년~2016 년 바이오에너지의 생산량 .....    | 17 |
| 〈표 2-5〉 바이오에너지 산업 매출액(억 원) .....           | 20 |
| 〈표 2-6〉 바이오에너지 산업 투자액(억 원) .....           | 21 |
| 〈표 2-7〉 바이오에너지 산업 기업체수(개) .....            | 22 |
| 〈표 2-8〉 바이오에너지 산업 고용인원(명) .....            | 22 |
| 〈표 2-9〉 석유대체연료의 종류별 특성 .....               | 27 |
| 〈표 2-10〉 바이오에너지 설비의 범위 .....               | 28 |
| 〈표 2-11〉 공급의무자별 의무공급량 .....                | 29 |
| 〈표 2-12〉 RPS 공급의무자별 이행률(2014~2016 년) ..... | 30 |
| 〈표 2-13〉 RPS 이행현황(2015 년) .....            | 31 |
| 〈표 2-14〉 신재생에너지원별 REC 가중치 .....            | 32 |
| 〈표 2-15〉 바이오에너지 종류 .....                   | 34 |
| 〈표 2-16〉 바이오중유의특성 및 환경 영향 관련 연구 .....      | 38 |
| 〈표 2-17〉 해조류 바이오매스의 산업분류 .....             | 41 |
| 〈표 2-18〉 축산폐수 바이오가스의 산업분류 .....            | 42 |

|   |    |
|---|----|
| <표 2-19> 수송용 바이오가스 생산설비의 산업분류 .....       | 43 |
| <표 2-20> 바이오연료의 경제적 효과 관련 연구 .....        | 44 |
| <표 3-1> 생산유발계수표 .....                     | 53 |
| <표 3-2> 선행 연구 산업연관표 대응부문 요약 .....         | 63 |
| <표 3-3> 대기오염물질의 PM-2.5 전환계수 .....         | 67 |
| <표 3-4> 대기오염물질 저감 비용 단가 .....             | 69 |
| <표 3-5> 바이오중유와 중유 사용에 따른 온실가스 배출계수 .....  | 71 |
| <표 3-6> 석회석의 사용에 따른 온실가스 배출계수 .....       | 72 |
| <표 3-7> 온실가스 저감 비용 단가 .....               | 73 |
| <표 4-1> 바이오중유생산부문 투입항목별 산업연관표 대응부문 .....  | 75 |
| <표 4-2> 바이오중유발전부문의 투입항목별 산업연관표 대응부문 ..... | 76 |
| <표 4-3> 바이오중유산업의 거래내역과 투입계수 .....         | 77 |
| <표 4-4> 바이오중유산업을 분리한 산업연관표(31 부문) .....   | 78 |
| <표 4-5> 중유생산부문 투입항목별 산업연관표 대응부문 .....     | 79 |
| <표 4-6> 중유발전부문의 투입항목별 산업연관표 대응부문 .....    | 79 |
| <표 4-7> 중유산업의 거래내역과 투입계수 .....            | 80 |
| <표 4-8> 중유산업을 분리한 산업연관표(31 부문) .....      | 81 |
| <표 4-9> 산업부문별 생산유발계수 .....                | 84 |
| <표 4-10> 산업부문별 부가가치유발효과 .....             | 86 |
| <표 4-11> 산업부문별 수입유발효과 .....               | 88 |

|   |     |
|---|-----|
| <표 4-12> 산업부문별 고용유발효과(10억 원당 명) .....                 | 90  |
| <표 4-13> 바이오중유산업의 감응도계수(전방연쇄효과) .....                 | 92  |
| <표 4-14> 바이오중유산업의 영향력계수(후방연쇄효과) .....                 | 94  |
| <표 4-15> 바이오중유산업과 중유산업의 생산유발계수 .....                  | 100 |
| <표 4-16> 바이오중유산업과 중유산업의 부가가치유발계수 .....                | 103 |
| <표 4-17> 바이오중유산업과 중유산업의 수입유발계수 .....                  | 106 |
| <표 4-18> 바이오중유산업과 중유산업의 고용유발계수 .....                  | 109 |
| <표 5-1> 중유발전소와 바이오중유발전소의 배출 농도 .....                  | 113 |
| <표 5-2> 중유발전소와 바이오중유발전소의 대기오염물질 배출량 .....             | 114 |
| <표 5-3> 중유발전소와 바이오중유발전소의 대기오염물질 배출량 원단위 .....         | 116 |
| <표 5-4> 바이오중유발전에 따른 연료연소 온실가스 저감량 .....               | 118 |
| <표 5-5> 바이오중유발전에 따른 공정배출 온실가스 저감량 .....               | 118 |
| <표 6-1> 바이오중유 보급확대 기준 시나리오 .....                      | 121 |
| <표 6-2> 2015년과 재생에너지 3020 이행계획(안) 재생에너지 보급용량 비교 ..... | 122 |
| <표 6-3> 바이오중유 보급확대 시나리오 I .....                       | 123 |
| <표 6-4> 중유발전소 설비용량 .....                              | 124 |
| <표 6-5> 바이오중유 보급확대 시나리오 II .....                      | 125 |
| <표 6-6> 바이오중유 보급확대 시나리오 III .....                     | 126 |
| <표 6-7> 바이오중유 보급확대 시나리오별 산출액 .....                    | 128 |
| <표 6-8> 바이오중유 보급확대 시나리오별 연료사용량 .....                  | 129 |

|   |     |
|---|-----|
| <표 6-9> 바이오중유 보급확대 시나리오별 생산부문 고용자 수(명) .....    | 130 |
| <표 6-10> 기준 시나리오의 사회경제적 파급효과 .....              | 133 |
| <표 6-11> 바이오중유 보급확대 시나리오 I-1의 사회경제적 효과 .....    | 135 |
| <표 6-12> 바이오중유 보급확대 시나리오 I-2의 사회경제적 효과 .....    | 137 |
| <표 6-13> 바이오중유 보급확대 시나리오 II-1의 사회경제적 효과 .....   | 139 |
| <표 6-14> 바이오중유 보급확대 시나리오 II-2의 사회경제적 효과 .....   | 141 |
| <표 6-15> 바이오중유 보급확대 시나리오 III-1의 사회경제적 효과 .....  | 143 |
| <표 6-16> 바이오중유 보급확대 시나리오 III-2의 사회경제적 효과 .....  | 145 |
| <표 6-17> 기준 시나리오의 대기오염물질 배출 저감량 .....           | 147 |
| <표 6-18> 바이오중유 보급확대 시나리오 I-1의 대기오염물질 배출 저감량 ·   | 147 |
| <표 6-19> 바이오중유 보급확대 시나리오 I-2의 대기오염물질 배출 저감량 ·   | 148 |
| <표 6-20> 바이오중유 보급확대 시나리오 II-1의 대기오염물질 배출 저감량 ·  | 148 |
| <표 6-21> 바이오중유 보급확대 시나리오 II-2의 대기오염물질 배출 저감량 ·  | 149 |
| <표 6-22> 바이오중유 보급확대 시나리오 III-1의 대기오염물질 배출 저감량 · | 150 |
| <표 6-23> 바이오중유 보급확대 시나리오 III-2의 대기오염물질 배출 저감량 · | 150 |
| <표 6-24> 시나리오별 2015년 발전부문 대기오염물질 배출량 대비 저감률 ··· | 151 |
| <표 6-25> 대기오염물질 저감 비용(사회적 비용 기준) .....          | 152 |
| <표 6-26> 대기오염물질 저감 비용(대기오염물질 배출권 가격 기준) .....   | 153 |
| <표 6-27> 시나리오별 연료연소배출부문 온실가스 저감량 .....          | 155 |
| <표 6-28> 시나리오별 공정배출부문 온실가스 저감량 .....            | 156 |

|   |     |
|---|-----|
| <표 6-29> 시나리오별 2015년 발전부문 온실가스 배출량 대비 저감률 ..... | 157 |
| <표 6-30> 시나리오별 온실가스 배출 저감량 및 저감 비용 .....        | 158 |
| <표 6-31> 바이오중유 보급확대 시나리오별 생산유발효과 .....          | 159 |
| <표 6-32> 바이오중유 보급확대 시나리오별 부가가치유발효과 .....        | 160 |
| <표 6-33> 바이오중유 보급확대 시나리오별 수입유발효과 .....          | 161 |
| <표 6-34> 바이오중유 보급확대 시나리오별 고용유발효과 .....          | 162 |
| <표 6-35> 바이오중유 보급확대 시나리오별 환경영향 .....            | 163 |

## 그림 차례

|  |     |
|--|-----|
| <그림 1-1> 연구 절차도 .....                    | 8   |
| <그림 2-1> 2016 년 바이오에너지 월별 에너지 생산비중 ..... | 18  |
| <그림 3-1> 산업연관표의 기본구조 .....               | 49  |
| <그림 4-1> 바이오중유 생산과 발전부문의 영향력·감응도계수 ..... | 96  |
| <그림 4-2> 바이오중유산업의 외생화 예시 .....           | 98  |
| <그림 4-3> 바이오중유산업과 중유산업의 생산유발계수 .....     | 101 |
| <그림 4-4> 바이오중유산업과 중유산업의 부가가치유발계수 .....   | 104 |
| <그림 4-5> 바이오중유산업과 중유산업의 수입유발계수 .....     | 107 |
| <그림 4-6> 바이오중유산업과 중유산업의 고용유발계수 .....     | 110 |
| <그림 6-1> 시나리오 구성 개요 .....                | 120 |



# 제 1 장 서 론

## 제1절 연구 배경 및 필요성

우리나라의 전력 공급원은 1960~70 년대의 고도 성장기를 거치며 석탄, 석유, 수력, 원자력 등으로 다양화되었다. 경제성장과 더불어 증대되는 전력수요를 충족하기 위해서였다. 전력공급원 가운데 중유는 발전소 건설기간이 짧고, 입지나 투자비 측면에서 석탄 발전소보다 유리하다는 이점 때문에 1970 년에서 1990 년 사이에 15 기가 건설·계획 되었다(에너지경제연구원, 1997; 조영대, 2004). 중유발전소는 1990 년대 중반까지 가동률이 70%를 웃돌 만큼 국내 전력수급의 상당부분을 담당하였으나, 2000 년대 들어 중유발전의 전력공급 비중이 감소하였다. 중유발전이 석탄발전이나 원자력발전에 비해 경제성이 낮다는 것이 주된 이유였다. 2003 년 준공된 제주화력 2 호기와 3 호기를 끝으로 중유발전소는 더 이상 건설되지 않았으며, 현존하는 중유발전소마저 전력 피크(peak)시에만 제한적으로 가동되어 발전소 가동률이 5%를 밑도는 해가 많아졌다.

2018년 기준 중유를 연료로 하는 기력발전소, 내연발전소, 열병합발전소는 총 18기(3,320MW)로, 그 중 9기의 수명은 20년을 초과하였다. 최근에는 설비 노후화로 인해 폐지되는 중유발전소가 증가하고 있는데, 제8차 전력수급계획(산업통상자원부, 2017)에 따르면 울산화력, 평택화력 등 9기(2,760MW)의 중유발전소가 2025년 이전에 폐지될 예정이다. 향후 10년 내 50% 이상 폐지 예정인 중유발전소는 최근 바이오중유의 등장으로 재조명받고 있다. 바이오중유는 동·식물성 유지를 메탄올 또는 에탄올과 반응시켜 만든 바이오연료로 중유와 특성이 유사하여 중유와 혼합하여 사용하거나



100% 중유를 대체하여 사용할 수 있다. 2014년 시행된 「발전용 바이오중유 시범보급사업 추진에 관한 고시」에서는 바이오중유의 사용처를 한국중부발전 등 5개 발전사업자가 소유한 1개 발전소로 규정 하고 있다.<sup>1)</sup>

발전사업자가 바이오중유를 사용하는 주된 목적은 신재생에너지 공급의 무화제도(이하 “RPS” 라 함)에 대응하기 위해서이다.<sup>2)</sup> 발전사업자는 해마다 증가하는 신재생에너지 의무공급량을 자체적으로 충당하는 데 어려움을 겪고 있는데, 2015년 RPS 이행률을 살펴보면 발전사업자가 자체 조달한 신재생에너지 공급인증서(이하 “REC” 라 함)는 평균 42%에 불과하였다. 나머지는 외부에서 REC를 구매(36%)거나 유예(22%)함으로써 발전사업자는 과징금을 피할 수 없었다(윤병효, 2016). 이처럼 자체 조달 가능한 신재생에너지가 부족한 상황에서 바이오중유가 주목받기 시작했다. 발전사업자는 기존 중유 설비의 개보수만으로 비교적 저렴하고 용이하게 신재생에너지를 생산하는 바이오중유발전을 시도하였고, 정부는 RPS 이행수단의 확보 차원에서 기존 화석연료를 대체하는 바이오중유를 인정해 줄 수밖에 없었던 것이다.

바이오중유는 일부 발전사업자에 REC 확보의 기회를 제공하는 것 외에도 여러 가지 장점이 있다. 2019년부터 강화되는 대기오염물질 배출허용기준을 준수하기 위해 탈황설비가 미설치된 발전소는 탈황설비 신규 설치가 필요한데, 바이오중유를 사용하면 탈황설비 없이도 발전소 운영이 가능하다.

---

1) 바이오중유 시범보급대상 발전소는 총 5 개소로 한국중부발전의 제주화력, 한국남부발전의 남제주화력, 한국동서발전의 울산화력, 한국서부발전의 평택화력, 한국지역난방공사의 대구열병합발전소이다. 바이오중유는 혼소나 전소가 가능하며, 현재 제주화력 및 남제주 화력은 바이오중유 전소방식을, 울산화력, 평택화력, 대구열병합발전소는 혼소방식을 택하고 있다.

2) RPS(Renewable energy Portfolio Standard)제도는 500MW 이상의 발전소에 발전량의 일정 비율만큼을 신재생에너지로 공급하도록 규정하고 있다. 의무공급량을 할당 받은 발전사업자는 직접 신재생에너지 발전을 하거나 제 3 자의 신재생에너지 공급인증서 구매를 통해 의무공급량을 이행해야 한다. 의무공급 비율은 신재생에너지법 시행령에 명시되어 있으며, 2017년 기준 4%에서 2023년까지 매년 약 1%씩 비율이 증가한다.

따라서 규제강화로 탈황설비 도입이 불가피한 발전소에는 바이오중유의 사용이 적절한 대안이 될 수 있다. 바이오중유발전은 황산화물뿐만 아니라 질소산화물과 총먼지의 배출 농도도 기존 중유발전 대비 낮아(남원재, 2016; 백세현, 2015; 이석구, 2016; 장은정 등, 2014; 하종환 등, 2015), 대기오염물질 배출 저감에 기여한다. 또한, 온실가스 측면에서 바이오중유발전은 중유발전 대비 약 98%의 저감효과를 나타낸다. 바이오중유의 주 원료인 바이오매스는 성장과정에서 CO<sub>2</sub> 를 흡수하는데, 바이오매스에 관한 국제적인 약속에 의해 바이오매스의 연소 중 발생하는 CO<sub>2</sub> 를 온실가스 보고대상에서 제외하기 때문이다.

바이오중유의 생산과 소비는 국내 산업 활성화에도 긍정적 영향을 미칠 것으로 보인다. 발전용 중유의 경우 대부분 수입에 의존하는 반면, 바이오중유는 국내에서 전량 생산하고 있다. 2018년 기준 바이오중유 생산업자는 20개사로 총 2,732천kl의 공급능력을 확보하고 있다. 연도별 바이오중유 공급량을 살펴보면, 2014년 179천kl, 2015년 353천kl, 2016년 444천kl, 2017년 449천kl로 총 1,426천kl를 공급하였다(한국석유관리원, 2018).

바이오중유의 공급량 증가에 따라 바이오중유발전의 에너지 생산량은 2014년 11만TOE에서 2016년 30만TOE로 증가하였으며, 이는 전체 바이오에너지 생산량의 약 11%에 해당한다. 바이오중유의 에너지 생산량은 목재펠릿과 바이오디젤 다음으로 크며, 바이오중유의 보급 기간을 고려한다면 매년 크게 성장하고 있다. 바이오중유를 직접적으로 생산하고 소비하는 측면 외에 원료 조달 과정 등에서 국내 산업 활성화에 영향을 미친다. 바이오중유의 국내산 원료 비율은 2017년 기준 49%로 이는 국내산 비율이 3%에 불과한 목재펠릿과 큰 차이가 있다(한국에너지공단, 2017; 산림바이오매스에너지협회, 2018).

바이오중유 생산과 소비의 성장세에도 불구하고 여전히 뚜렷한 법적 지위 없이 두 차례의 시범보급사업 연장을 통해 5년째 시범보급사업을 이어가고 있으며, 시범보급사업이 종료되는 2018년 이후의 상용화 여부조차 공식적으로 발표된 바가 없다. 바이오디젤이 2002년부터 3년간 시범보급사업을 시행한 이후 이듬해인 2006년부터 전국에 보급된 것과는 매우 대비되는 모습이다. 가장 큰 원인은 바이오중유산업의 환경·사회·경제·기술·정책적 가치에 대한 실증분석 연구가 부족하여 그 가치가 정부와 산업계에 충분히 인식되지 못하였기 때문이다.

바이오중유에 관한 기존 연구는 바이오중유발전 운영에 관한 실증연구나 연료품질에 관한 연구가 주를 이루고 있으며, 정책입안의 기초자료로 활용되는 환경·사회·경제 등에 관한 정책 연구는 전무한 실정이다. 감사원(2016)이 바이오중유의 장기적인 보급전망이나 기대효과가 검증되지 않은 상황에서 바이오중유의 REC 가중치가 결정되었음을 지적한 것 또한 이에 대한 방증이다. 따라서 국내 환경 및 기후변화 문제 해결에 기여할 수 있는 수단 중 하나인 바이오중유산업의 발전을 촉진하기 위해서는 동 산업이 국가차원에서 환경·사회·경제적으로 어떠한 영향을 미치는지 면밀한 실증분석이 필요하다.

## 제2절 연구 목적

본 연구에서는 바이오중유 생산과 소비측면을 포괄하여 바이오중유산업으로 정의하고, 바이오중유산업과 중유산업의 수요창출이 얼마만큼의 환경·사회·경제적 가치를 지니는지 비교함으로써, 바이오중유산업의 중유산업 대체에 따른 순 효과를 분석하였다. 본 연구의 목적은 크게 세 가지로 살펴볼 수 있다.

첫 번째 목적은 바이오중유산업의 국민 경제적 지위를 파악하고 중유산업 대체에 따른 사회·경제적 파급효과를 정량화하는 것이다. 분석기법으로는 산업연관분석(Input-Output Analysis, IO)을 이용하였는데, 산업연관분석은 거시적 분석이 미치지 못하는 산업과 산업 간의 상호연관 관계까지도 분석이 가능하기 때문에 구체적인 경제구조를 분석하는데 유리한 측면이 있다. 또한 산업연관분석은 최종수요가 유발하는 생산, 고용, 소득 등 각종의 파급효과를 산업부문별로 구분하여 분석할 수 있어 경제정책의 수립, 정책의 측정 등에 활용되고 있다(한국은행, 2014). 이러한 산업연관분석의 특징을 이용하여 바이오중유산업이 전 산업부문에 미치는 각종 유발효과와 전후방 연쇄효과를 실증적으로 분석하였다.<sup>3)</sup>

두 번째 연구 목적은 바이오중유의 상용화가 추진 될 경우를 전제로 바이오중유산업의 육성에 따른 국민 경제적 파급효과를 정량화하는 것이다. 현재 바이오중유 시범보급사업 고시에서는 발전사업자별 바이오중유발전소를 1기로 한정하고 있기 때문에 바이오중유를 상용화 할 경우 바이오중유 발전량이 확대될 가능성이 매우 높다. 이에 바이오중유 발전량의 보급·확대

---

3) 거시적 관점에서는 고용효과도 경제적 효과에 포함할 수 있으나, 본 연구에서는 최근 정부가 고용을 주요 사회문제로 인식하고, 정책 결정에 고용파급효과를 반영토록 한 점(경제관계장관회의, 2017)을 고려하여 경제적 효과에서 분리한 별도의 사회적 효과로서 고용효과를 다루었다.

시나리오를 구성하고, 바이오중유산업의 총산출액 변동이 타 산업 부문에 미치는 사회·경제영향을 분석하였다. 이를 위해 ‘외생화(exogenous specification)’ 기법을 이용하여 산업연관분석을 수행하였다. 외생화란 산업연관표에서 분석 대상부문을 외생부문으로 취급하고 남은 내생부문을 이용하여 각종 유발효과를 파악하는 방법으로, 최종수요 대신 분석 대상부문 자체를 외생화하면 분석 대상부문이 타 부문에 미치는 영향을 보다 정확하게 계측할 수 있는 장점이 있다. 본 연구에서는 중유산업의 파급효과를 바이오중유산업 파급효과에서 차감함으로써 바이오중유 보급·확대에 따른 국가 경제적 순 파급효과를 분석하였다.

세 번째 목적은 바이오중유산업의 환경 영향을 규명하는 것으로, 바이오중유발전과 중유발전에 따른 대기오염물질 및 온실가스 배출량을 비교 분석하고 이를 비용으로 환산하였다. 바이오중유발전의 대기오염물질 저감효과는 기존 연구를 통해 밝혀진 바 있다. 그러나 기존 연구는 오염물질의 농도에만 초점을 두고 있으며, 실험 데이터로 분석을 수행했기 때문에 실제 바이오중유발전소를 운영하는데 발생하는 대기오염물질의 양과는 차이가 나타날 수 있다. 이에 본 연구에서는 실제 운영 중인 바이오중유발전소와 중유발전소의 굴뚝원격감시체계(CleanSYS) 수신자료를 통해, 농도뿐만 아니라 양적 측면에서 대기오염물질 저감효과를 비교 분석하였다. 또한, 전구물질의 전환계수를 활용하여 초미세먼지(PM-2.5)의 영향을 분석하였다. 온실가스 배출 저감효과는 바이오매스의 탄소중립성을 전제로 바이오중유발전 대체로 인한 CO<sub>2</sub> 저감량을 산정하고, 국가 온실가스 감축 목표달성에 대한 기여도를 평가하였다.

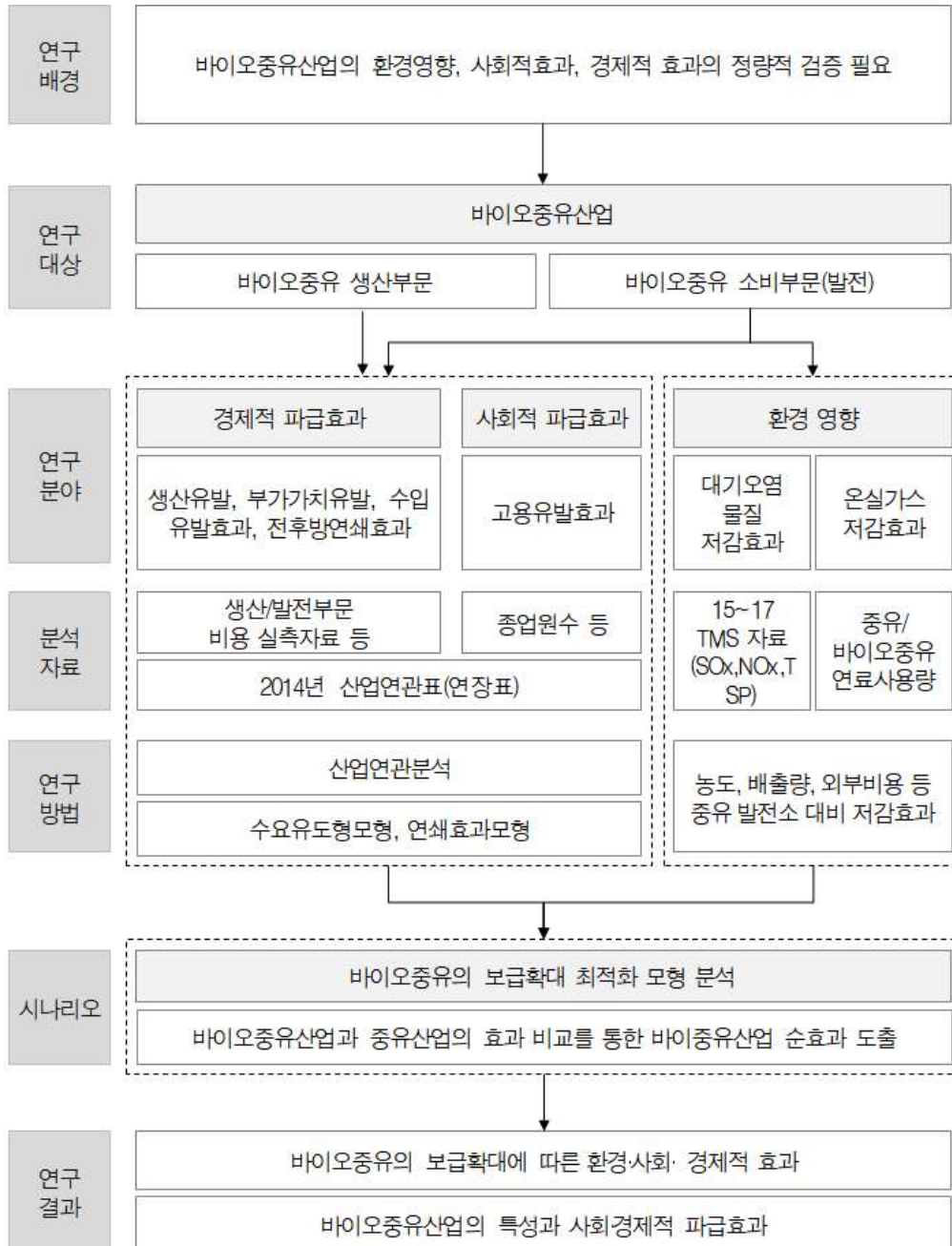
### 제3절 연구 내용 및 범위

연구내용을 각 장별로 살펴보면 다음과 같다. 제 2 장에서는 이론적 고찰을 통해 바이오중유의 개념과 특성, 바이오중유 관련 정책 및 국내외 동향에 대하여 살펴보았다. 또한, 바이오중유산업의 환경·사회·경제적 영향을 검토하였다. 선행 연구는 바이오중유 관련 연구뿐만 아니라 바이오연료로 범위를 확대하여 환경·사회·경제적 효과 관련 연구를 정리하였다.

제 3 장은 연구의 방법론을 다룬 장으로 데이터의 수집과정과 방법론에 관한 이론 등을 설명하였다. 사회·경제적 효과 분석 방법론인 산업연관분석과 분석모형을 살펴보았다. 바이오중유산업과 중유산업을 각각 생산·소비(발전)부문으로 구분하고 자료 수집방법과 산업연관분석을 위한 산업연관표재분류 과정을 상세히 기술하였다. 환경 영향은 굴뚝원격감시체계(CleanSYS) 수신자료 분석방법, 온실가스 저감량 산정방법에 대해 기술하였으며, 이를 비용으로 환산하기 위한 비용계수를 제시하였다.

제 4 장과 제 5 장에서는 각각 사회·경제적 효과분석과 환경영향의 분석 결과를 제시하였다. 제 4 장에서는 바이오중유산업과 중유산업의 사회·경제적 효과 분석 결과를 제시하였다. 각 산업의 각종 유발계수를 도출하고 상호비교함으로써 중유산업의 대체에 따른 바이오중유산업의 순 파급효과를 정량화 하였다. 제 5 장에서는 환경적 영향 분석 결과를 제시하였다. 발전부문의 대기오염물질과 온실가스 저감효과를 양적 측면과 비용 측면으로 제시하였다. 제 6 장에서는 바이오중유 발전량 확대에 따른 영향을 시나리오로 구성하고, 시나리오별 바이오중유와 중유의 환경·사회·경제적 효과를 비교분석한 결과를 제시하였다. 제 7 장에서는 본 연구의 내용 및 결과를 총망라하여 결론을 도출하고, 연구의 의의 및 정책적 시사점과 함께 한계점을 제

시 하였다. <그림 1-1>은 연구 절차를 나타낸다.



<그림 1-1> 연구 절차도

## 제2장 바이오중유산업의 특성 및 선행 연구 분석

### 제1절 바이오중유산업 현황 및 특성

#### 1. 바이오중유 정의 및 특성

##### 1.1 바이오중유 정의

바이오중유는 동·식물성 유지를 메탄올 또는 에탄올과 반응시켜 만든 바이오연료로 2014년부터 국내에서 사용되고 있는 발전용 중유의 대체연료이다. 바이오중유는 「발전용 바이오중유 시범보급사업 추진에 관한 고시」<sup>4)</sup> 및 「석유 및 석유대체연료 사업법」<sup>5)</sup>에 근거를 두고 있으며, 바이오중유 시범보급사업고시에서는 바이오중유를 ‘동·식물성유지, 지방산 메틸(에틸)에스테르 또는 이 둘을 혼합하여 품질기준에 맞게 생산한 제품’으로 정의하고 있다. 바이오중유라는 용어는 학술적으로 명확히 정의된 것은 아니며, 시범보급사업 추진 과정에서 붙여진 명칭이다(백세현, 박효영, 김영주, 김태형, 김현희, 고성호, 2014).

바이오중유는 높은 열량으로 발전용 중유의 대체연료로 적합하지만, 중유의 구성성분과는 차이가 있다. 중유의 주성분은 탄화수소로 구성되지만 바이오중유는 지방의 일종인 트리글리세라이드(triglyceride), 지방산, 지방산 메틸(에틸)에스테르 등을 주성분으로 한다. 또한, 바이오중유는 중유보다 이중결합이 많고, 다량의 산소를 함유하고 있어 산화안정성이 낮고 반응성이

---

4) 「발전용 바이오중유 시범보급사업 추진에 관한 고시」(산업통상자원부 2016-241 호) 이하 “바이오중유 시범보급사업고시”라 칭한다.

5) 「석유 및 석유대체연료 사업법」(법률 제 14476 호) 이하 “석유사업법”이라 칭한다.



높으며 중유와는 다른 특이한 냄새가 난다(장은정, 박천규, 이봉희, 2017).

바이오중유의 주 원료는 팜유, 팜부산물, 동물성유지 등으로 바이오디젤을 생산하기에 품질이 낮은 동·식물성 유지를 주로 활용한다. 최근에는 바이오디젤피치, 올레오케미칼피치 등 저가의 화학제품 공정부산물이 바이오중유의 원료로 사용된다(한국석유관리원, 2017). 이러한 원료의 특성으로 바이오중유는 바이오디젤보다 품질이 낮지만 발열량이 높아 발전용으로 사용하기에 무리가 없다. 또한, 화학적 반응(에스테르화)을 거치는 바이오디젤 공정에 비해 비교적 간단한 생산과정을 거친다.

바이오중유의 생산과정을 세분화하여 살펴보면 전처리, 혼합, 저장단계로 구분할 수 있다. 전처리 공정은 원료에 따라 산촉매를 이용하여 리그닌과 같은 비(非)반응물질을 분리 또는 제거하는 것이다. 이때 산촉매와 원료들은 교반되며, 스팀을 통해 일정 온도가 유지된다. 혼합공정은 투입되는 원료를 균질화하기 위해 황산, 메탄올 등 보조물질을 첨가하고 전처리된 원료를 혼합한다. 혼합된 원료는 필터를 통해 여과되어 최종 제품인 바이오중유가 생산되고 제품화된 바이오중유는 탱크 터미널로 운송되어 저장된다(에코네트워크, 2017).

## 1.2 바이오중유 특성

바이오중유 시범보급사업고시에서는 바이오중유의 품질기준을 제시하고 있다. 이를 중유 및 바이오디젤의 품질기준과 비교해보면 바이오중유의 주요 특성을 파악할 수 있다. 바이오중유는 중유에 비해 인화점이 높은 대신 동점도의 기준치가 매우 낮다. 황분, 유동점, 바나듐(vanadium)의 기준치도 바이오중유가 중유보다 낮다. 바이오중유의 품질기준에는 동판부식, 밀도, 수분, 전산가, 알칼리 금속, 요오드가, 질소, 총발열량, 실리콘+알루미늄+철, 인의 기준치

가 제시되어 있다. 바이오디젤의 품질 기준과도 상당한 차이를 보이는데, 바이오중유는 바이오디젤에 비해 높은 인화점과 동점도 기준을 제시하고 있으며, 발열량 기준도 함께 제시하고 있다는 점 등이 특징이다. 바이오중유의 품질기준의 특성은 바이오중유를 발전용에 적합하도록 맞추는 데서 비롯되었다고 볼 수 있다. <표 2-1>는 바이오중유와 중유의 품질기준을 비교한 것이다.

<표 2-1> 바이오중유의 품질기준

| 항목                            | 구분 | 바이오중유 <sup>1</sup> | 중유(C중유) <sup>2</sup> | 바이오디젤 <sup>3</sup>                       |
|-------------------------------|----|--------------------|----------------------|--|
| 인화점(°C)                       |    | 70 이상              | 70 이상                | 40이상                                     |
| 동점도(50°C, mm <sup>2</sup> /s) |    | 15 이상~80 이하        | 540 이하               | 1.9이상 ~ 5.5이하 (40°C, mm <sup>2</sup> /s) |
| 잔류탄소분(무계%)                    |    | 10 이하              | -                    | 0.15이하                                   |
| 황분(무계%)                       |    | 0.05 이하            | 4.0 이하               | 30이하                                     |
| 회분(무계%)                       |    | 0.10 이하            | -                    | 0.02이하                                   |
| 동판부식(50°C, 3h)                |    | 1 이하               | -                    | 1이하                                      |
| 유동점(°C)                       |    | 27 이하              | -                    | 0.0이하                                    |
| 밀도(15°C, kg/m <sup>3</sup> )  |    | 991 이하             | -                    | 815이상 ~ 845이하                            |
| 수분(무계%)                       |    | 0.30 이하            | -                    | 0.05 이하                                  |
| 전산가(mg KOH/g)                 |    | 25 이하              | -                    | 0.10이하                                   |
| 알칼리 금속<br>(mg/kg)             | Na | 70 이하              | -                    | (Na + K) 5 이하<br>(Ca + Mg) 5 이하          |
|                               | Ca | 30 이하              | -                    |  |
|                               | K  | 70 이하              | -                    |  |
| 요오드가(g/100g)                  |    | 120 이하             | -                    | -  |
| 질소(무계%)                       |    | 0.3 이하             | -                    | -  |
| 바나듐(mg/kg)                    |    | 50 이하              | -                    | -  |
| 총발열량(kcal/kg)                 |    | 9,000 이상           | -                    | -  |
| 물과 침전물(부피%)                   |    | 0.5 이하             | 1.0 이하               | 0.02이하                                   |
| 실리콘+알루미늄+철(mg/kg)             |    | 200 이하             | -                    | -  |
| 인(mg/kg)                      |    | 100 이하             | -                    | 10 이하                                    |

출처: 1. 발전용 바이오중유 시범보급사업 추진에 관한 고시 (산업통상자원부 고시 제2016-241호)  
 2. 석유제품의 품질기준과 검사방법 및 검사수수료에 관한 고시(산업통상자원부 고시 제2015-140호)  
 3. 석유대체연료의 성능평가기준과 품질시험방법 등에 관한 고시(산업통상자원부 고시 제2016-106호)

선행 연구를 통하여 바이오중유의 특성을 구체적으로 살펴보면 다음과 같다.<sup>6)</sup> 동점도는 동적 점성도(kinematic viscosity)의 줄임말로 유체의 점도를 그 유체의 질량 밀도로 나눈 값을 의미한다. 동물성유지는 식물성 유지 대비 포화지방산 함량이 높은 편인데, 동점도는 탄화수소의 탄소수가 증가할수록 포화 탄화수소일수록 증가한다. 바이오중유의 동점도는 중유 대비 낮은데, 동점도가 너무 낮으면 펌프 및 분무노즐이 마모되거나 펌핑(pumping) 불량인 원인이 된다.

전산가(total acid number)는 산가를 측정함으로써 얻어지는 수치를 의미하는데, 여기서 산가란 유지나 지방에 들어 있는 유리된 지방산의 중화에 필요한 수산화칼륨의 양을 뜻한다. 바이오연료에는 불포화 이중결합이 존재하기 때문에 석유제품보다 산화반응이 일어나기 쉽다. 바이오중유는 중유 대비 전산가가 높는데, 전산가가 증가할수록 연료 중의 산성 성분이 저장 탱크 및 연료라인의 금속 및 고무재질에 부식을 유발시킬 위험이 커진다. 연료가 산화되어 생성된 산성 물질이나 연료 중에 존재하는 황 화합물 및 지방산 등은 연료 계통의 금속 부식을 초래한다.

아이오딘가(iodine value)라고도 불리는 요오드가는 지방 100g이 흡수하는 요오드의 그램(g) 수로, 지방산의 양과 유지류의 불포화도를 반영하는 양적인 수치를 뜻한다. 바이오중유는 중유 대비 전산가가 높는데, 요오드가가 증가할수록 연료 중에 이중결합을 포함한 불포화 지방산의 함량이 높아지므로, 쉽게 산화되어 전산가를 높이고 검질 등의 산화 생성물을 형성시켜 연료 흐름을 저해한다.

유동점(pour point)이란 시료가 냉각되면서 응고점에 달하기 전의 유동성

---

6) 장은정 등(2014), 장은정 등(2015), 하정환 등(2015), 에코네트워크(2017)의 연구에서 바이오중유의 특성을 발췌하였으며, 용어는 네이버 지식백과, 두산백과를 참조하였다.

을 인정할 수 있는 온도를 말하는데 보통 응고 온도보다 2.5°C 높은 온도를 말한다. 바이오중유의 원료 중 포화 및 불포화 지방산으로 구성된 동식물성 유지는 유동점이 0°C 이상으로 높은 편이다. 또 다른 원료인 캐슈넛껍질 오일은 아나카르드산(anacardic acid), 카다놀(cardanol), 카르돌(cardol)과 같은 방향족 탄화수소가 주성분으로 유동점이 -50°C로 매우 낮다. 캐슈넛껍질 오일은 팜유로부터 나오는 다른 부산물에 비해서도 상당히 낮은 유동점을 가진다.

바이오중유의 금속성분(알칼리금속, 바나듐, Si+Al+Fe, 인)은 원료조성에 따라 달라질 수 있다. 팜산유, 캐슈넛껍질 오일, 바이오디젤 부산물 등은 별도의 금속분 제거 공정 없이 생산되거나 생산 공정상 금속분들이 혼합될 가능성이 있다. 이러한 이유로 이들을 원료로 사용할 경우 금속성분이 증가한다. 연료 중의 알칼리금속 및 토금속 성분들은 회분 등을 생성시켜 설비 내에 침전물을 형성시키거나 탈질설비의 촉매를 피독(被毒) 시킨다. 나트륨, 칼륨, 바나듐 및 실리콘, 알루미늄, 철 등도 연소실 내 부식이나 기기의 마모를 유발한다.

바이오중유에 포함된 인(P) 성분은 동물성유지 중의 인지질에서 기인하기 때문에, 동물성유지 함량이 높을수록 인 함량은 더욱 높아진다. 인 역시 탈질설비의 촉매를 피독 시키거나 검질(gum)을 형성하여 연료 분사 노즐을 막히게 하는 원인이 될 수 있다. 동물성유지를 원료로 사용하더라도 검질 제거 공정(탈검 공정)을 거치는 경우 인 함량을 낮출 수 있다.

인화되는 최저의 온도를 의미하는 인화점(flash point)은 연료의 보관 및 수송 과정에서의 안전성과 관련 있는 중요 항목으로 바이오중유의 인화점은 석유계 중유에 비하여 높다. 이는 바이오중유의 주요 성분이 트리글리세라이드(triglyceride)이기 때문이다. 연료 성분 가운데 유기물은 연소 시 CO<sub>2</sub>

와 물 등으로 산화되고 무기 잔류물인 재(ash)가 남는다. 회분이 많을 경우 보일러 내부에 재가 축적되어 유지 관리 문제가 생기고 재로 인한 입자상 물질의 배출도 증가할 수 있다. 바이오중유는 이러한 재 발생이 중유보다 낮다.

탄소 및 수소 함량은 바이오중유가 중유보다 10% 가량 낮다. 반면 산소 함량은 바이오중유가 중유보다 높다. 이는 탄소와 수소는 연료의 주요 성분이므로 발열량을 높이는데 기인하지만, 산소는 조연성 물질로 탄소 및 수소의 결합을 통해 발열량을 감소시키는데 기인한다. 바이오중유는 중유의 발열량에 비해 평균 10%가량 낮게 나타난다.

바이오중유의 품질 특성은 바이오중유의 원료 성분과도 밀접한 관계가 있다. 바이오중유의 주요 원료는 팜오일(palm oil), 돈지 등의 동·식물성 유지와 바이오디젤 생산 공정에서 발생하는 부산물(피치) 등이다. 바이오중유의 원료물질을 살펴보면 다음과 같다.

식물성 유지 중 가장 대표적인 원료는 팜오일로 팜 나무 열매의 과육 및 종자에서 얻어지는 기름이다. 팜오일은 착유 및 정제공정에 따라 다양한 종류의 팜유 및 부산물이 생산된다.<sup>7)</sup> 팜 착유 공정을 통해 생산된 팜원유에는 원료의 부스러기, 검(gum)질, 단백질, 지방산, 색소, 수분 등의 불순물이 함유되어 있으므로 정제공정이 필요하다. 팜원유를 물리적으로 정제(탈검, 탈색, 탈취) 시키면 정제팜유(RBDPO)와 팜부산물(PFAD)이 생산되며, 정제 팜유의 저온 분리공정을 통해 팜스테아린(Palm stearin)과 팜올레인(Palm olein)이 생산된다.

바이오디젤피치는 바이오디젤의 생산 공정 중 발생하는 찌꺼기를 말한다.

---

7) 팜원유(CPO)는 팜열매를 채취하여 스틱으로 살균하고 탈곡해, 중과피(mesocarp)를 분리한 후 압축기로 눌러 착유한 기름이다. 팜산유(PAO)는 팜착유를 위한 스틱 살균공정 및 팜원유 수세공정에서 나온 폐수 저장소(pond)의 상층 기름이다.

바이오디젤은 전처리한 동·식물성 유지를 촉매 존재 하에 알코올과 반응시킨 후 분리·정제하여 생산되는데 이 과정 중에 바이오디젤피치가 생성된다.

동물성유지는 육류 및 어류의 지방조직으로부터 채취한 유지를 말하며, 우지(牛脂)·돈지(豚脂)·양지(羊脂) 등과 같은 육산동물유와 어유(魚油)·경유(鯨油)·정어리유·청어기름·상어간유와 같은 수산 동물유로 대별된다. 주로 도축장의 폐 유지나 가축생산 부산물 등을 수거하여 가열을 통해 생지방내에 함유된 유지를 용출시킨 후 분리·정제해 생산한다. 동·식물성 유지 중 폐식용유의 경우에는 음식물류 폐기물을 처리하는 과정에서 발생한 폐식용유에 한정한다. 바이오중유 원료 물질을 요약하면 <표 2-2>와 같다.

<표 2-2> 바이오중유의 원료 물질

| 구분    |                      | 내용                              |
|-------|----------------------|---------------------------------|
| 동물성유지 |                      | 돈지, 우지 등의 경제를 통해 생산된 동물성유지      |
| 식물성유지 | 팜 원유(CPO)            | 팜 열매로부터 생산                      |
|       | 정제팜유(RBDPO)          | 팜 원유로부터 물리적인 정제공정을 통해 생산한 것     |
|       | 팜 지방산(PFAD)          | 팜 원유 생산을 위한 정제공정에서 발생된 부산물      |
|       | 팜 스테아린(Palm stearin) | 정제 팜유의 저온분리 공정에서 생산된 스테아린       |
|       | 팜 산유(PAO)            | 팜유 생산을 위한 화학 정제공정에서 분리된 기름      |
| 공정부산물 | 저등급 바이오디젤            | 메탄올과 지방유의 반응공정에서 생산된 지방산 메틸에스테르 |
|       | 바이오디젤 피치             | 바이오디젤 생산공정 부산물의 증류 잔여물          |
| 기타    |                      | 음폐유 등                           |

출처: 발전용 바이오중유 전과정평가(LCA) 연구(에코네트워크, 2017)

## 2. 바이오중유산업 현황 및 특성

### 2.1 바이오중유발전 현황

바이오중유 시범보급고시에 따라 대상으로 지정된 발전사업자는 한국남부발전주식회사, 한국동서발전주식회사, 한국서부발전주식회사, 한국중부발전주식회사, 한국지역난방공사로 총 5개사이며, 자사 소유의 1개 발전소를 시범보급대상 발전소로 한정하고 있다. 이는 국내 가동 중인 중유발전소 전체 호기(수량)의 약 30%에 해당하며, 총 용량 대비 20%를 차지한다. 각 발전사별 시범보급대상 발전소는 <표 2-3>과 같다.

<표 2-3> 바이오중유 시범보급사업 대상 발전소

| 발전사      | 발전소      | 정격용량 (MW) | 비고               |
|----------|----------|-----------|------------------|
| 한국중부발전   | 제주 1기    | 75.0      | 바이오중유 100%       |
| 한국남부발전   | 남제주 1기   | 100.0     | 바이오중유 100%       |
| 한국동서발전   | 울산 1기    | 400.0     | 바이오중유 20%~80% 혼소 |
| 한국서부발전   | 평택 1기    | 350.0     | 바이오중유 10% 미만 혼소  |
| 한국지역난방공사 | 대구열병합 1기 | 43.5      | 바이오중유 10% 미만 혼소  |
| 소계       |          | 968.5     | -                |

바이오중유 시범보급대상 발전사가 소비하는 바이오중유는 2014년 기준 약 18만kl였으나, 2015년에는 35만kl, 2016년에는 43만kl에 이른다(한국바이오에너지협회, 2017). 바이오중유의 사용에 따른 에너지 생산량도 지속적으로 증가하였는데, 2014년에 생산된 에너지량은 약 11만toe이며, 2016년에는 30만 toe로 전년 대비 17% 이상 증가하였다. 바이오중유는 바이오에너지

지로 분류되는 12종 가운데 목재펠릿(30%), 바이오디젤(16%) 다음으로 큰 에너지 생산 비중을 차지하고 있으며, 이는 약 11%에 달한다(한국에너지공단, 2017). 2010년부터 2016년까지의 바이오에너지의 생산량(toe)과 바이오에너지 원별 비중은 <표 2-4> 및 <그림 2-1>과 같다.

<표 2-4> 2010년~2016년 바이오에너지의 생산량

(단위: toe, %)

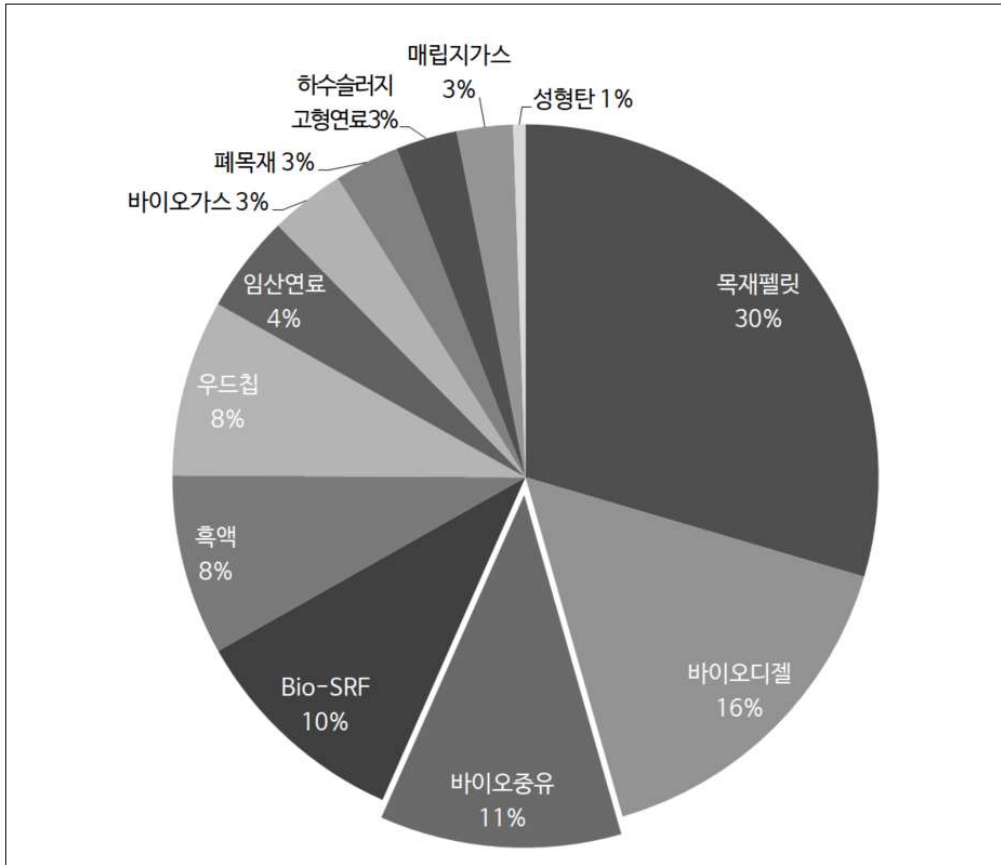
| 구분                | 2010년   | 2011년   | 2012년   | 2013년   | 2014년   | 2015년   | 2016년   | 증감률 <sup>1</sup> |
|-------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|------------------|
| 바이오<br>중유         | -       | -       | -       | -       | 113,257 | 260,203 | 306,175 | 17.7%            |
| 바이오<br>디젤         | 356,822 | 336,054 | 359,916 | 369,081 | 387,699 | 441,345 | 442,859 | 0.3%             |
| 바이오<br>가스         | 80,343  | 91,184  | 107,430 | 139,370 | 142,937 | 108,734 | 95,000  | -12.6%           |
| 매립지<br>가스         | 114,990 | 124,220 | 116,073 | 97,497  | 79,918  | 75,804  | 71,133  | -6.2%            |
| 우드칩               | 132,230 | 163,022 | 164,542 | 168,466 | 190,687 | 373,308 | 223,392 | -40.2%           |
| 성형탄               | 23,053  | 24,591  | 23,857  | 23,517  | 24,927  | 15,828  | 15,432  | -2.5%            |
| 임산연료 <sup>2</sup> | 23,419  | 23,665  | 56,481  | 49,622  | 5,163   | 44,790  | 123,810 | 176.4%           |
| 목재펠릿              | 23,766  | 50,995  | 120,055 | 268,129 | 795,215 | 823,763 | 817,172 | -0.8%            |
| 폐목재               | -       | 149,632 | 140,874 | 175,983 | 191,142 | 103,998 | 82,395  | -20.8%           |
| 흑액                | -       | -       | 228,337 | 229,254 | 322,304 | 231,008 | 228,848 | -0.9%            |
| 하수<br>슬러지<br>고형연료 | -       | -       | 17,159  | 37,574  | 41,477  | 78,484  | 77,843  | -0.8%            |
| Bio-<br>SRF       | -       | -       | -       | -       | 527,270 | 208,392 | 281,394 | 35.0%            |

출처: 2016년 신재생에너지보급통계(한국에너지공단, 2017)

주: 1. 2015년 대비 2016년 증감률

2. 연료로 사용되는 흑탄, 백탄, 장작, 지엽





<그림 2-1> 2016년 바이오에너지 원별 에너지 생산비중

출처: 2016년 신재생에너지보급통계(한국에너지공단, 2017)

바이오연료를 발전용으로 사용하고자 하는 시도는 국외 여러 국가에서도 진행되고 있다.<sup>8)</sup> 미국 하와이에 위치한 Hawaiian Electric사는 팜유를 30%~100% 혼합한 중유를 사용하여 90MW급 액체바이오연료발전소의 실증평가에 성공하였다. 실증평가 후 액체바이오연료 품질기준을 마련하였으며 발

8) 발전용으로 보급 중인 액체바이오연료는 국외에서 Liquid Biofuel, Liquid Biomass, crude vegetable oil 등으로 불린다. 국내에서 보급되고 있는 바이오중유와 국외의 것은 용도만 동일할 뿐 원료 구성, 생산공정 등에 차이가 있다. 본 연구에서는 국내 것과 국외 것을 구분하기 위해 국외 것을 ‘발전용 액체바이오연료’로 칭하였다.

전소를 운영관리 하였으나, 경제성 등의 문제로 확대보급에 이르지 못하였다(Robert, David, 2014; 한국석유관리원, 2017).

선박용 엔진 및 산업용 발전설비 공급 기업인 핀란드의 Wartsila사는 액체바이오연료를 이용하는 발전설비를 개발하였다. 2004년 16MW급 이탈리아 ItalGreen Energy 발전소에 적용하였으며, 2005년 1기를 추가로 설치하여 24MW로 용량을 확장하였다. 식물성 오일 및 동물성유지류를 디젤엔진 발전에 적용한 설비를 개발하였으며, CO<sub>2</sub> 배출량을 최소한으로 하는 연료 생산 방식을 적용하고 있다. 현재 핀란드, 이탈리아, 벨기에 등 4개 국가에서 총 820MW 용량의 액체바이오연료 발전소를 운영하고 있다(Wartsila., 2017; 한국석유관리원, 2017).

일본 오사카에 위치한 Sankei Energy는 교토 후쿠치야마에 자국 최초 액체바이오연료 발전소를 건설하였다. 팜오일, 야자껍질(Palm coconut shell) 등의 원료를 이용하는 2MW급의 소규모 디젤발전소를 건설 하였으며, 여러 지역에 상업용 발전소 건설을 추진 중이다. 태양광 발전이나 풍력 발전 등과 달리 날씨와 시간의 영향을 받지 않으며, 타 발전시설보다 토지나 시설 측면에서 소규모로 도입할 수 있기 때문에 초기 비용이 낮은 장점으로 일본 내에서 주목받고 있다(SANKEI ENERGY, 2018).

국외에서 발전용 액체바이오연료 사용은 선진국을 중심으로 시도됐으나 상용화된 사례는 소규모 디젤발전소를 운영하는 유럽 일부 국가에 한정되어 있다. 다시 말해 국내의 경우와 같이 노후화된 중유발전소를 개조하고 중유를 바이오중유로 연료전환 한 사례는 전 세계에서 우리나라가 유일하다. 바이오중유가 상용화되면, 세계 최초로 연료교체를 통해 대용량 액체바이오발전소를 운영한다는 측면에서 바이오중유가 갖는 의미는 매우 클 것으로 기대된다.

## 2.2 바이오중유 생산 현황

바이오중유 시범보급대상 발전사는 신재생에너지공급의무화제도(RPS)제도의 의무이행, 온실가스 배출권 확보 등을 목적으로 바이오중유를 사용하고 있다. 바이오중유 발전량이 증가할수록 바이오중유 생산업도 함께 발전한다. 주로 유지(油脂)를 처리하는 업체나 바이오디젤을 생산하는 업체가 바이오중유 생산업을 병행하는데, 바이오디젤 찌꺼기와 동물성유지가 바이오중유의 원료 물질로 사용되기 때문이다.

바이오중유의 원료로 사용되는 일부 식물성 오일은 수입에 의존하고 있는데, 2015년 수입 식물성 오일의 사용량이 크게 증가한 이래로 수입원료 사용량은 점차 감소하였다. 반면 국산원료 사용량은 점차 증가 하는 추세로 2017년 기준 국내산 원료 비중은 49%이며, 수입 원료는 51%가 사용되었다 (한국석유관리원, 2018).

신재생에너지 산업통계(한국에너지공단, 2017)에 따르면 2015년 바이오중유 매출액은 1,776억 원으로 전체 바이오에너지 산업에서 14%를 차지한다. <표 2-5>은 바이오중유를 포함한 바이오에너지 산업의 매출액을 나타내고 있다.

<표 2-5> 바이오에너지 산업 매출액(억 원)

| 구분        | 바이오 디젤 | 바이오 가스 | 바이오 중유 | Bo-SRF | 우드칩 | 목재 펠릿 | 목재 펠릿 보일러 | 슬러지 고형 연료 | 계      |
|-----------|--------|--------|--------|--------|-----|-------|-----------|-----------|--------|
| 2014년 매출액 | 7,694  | 108    | 1,671  | 245    | 442 | 498   | 190       | 208       | 11,055 |
| 내수        | 6,710  | 108    | 1,671  | 245    | 442 | 498   | 153       | 208       | 10,035 |
| 수출        | 984    | -      | -      | -      | -   | -     | 37        | -         | 1,020  |
| 2015년 매출액 | 7,752  | 146    | 1,776  | 864    | 640 | 605   | 274       | 332       | 12,390 |

|    |       |     |       |     |     |     |     |     |        |
|----|-------|-----|-------|-----|-----|-----|-----|-----|--------|
| 내수 | 7,332 | 146 | 1,776 | 864 | 610 | 605 | 219 | 332 | 11,884 |
| 수출 | 421   | -   | -     | -   | 30  | -   | 55  | -   | 506    |

출처: 신·재생에너지 산업통계(한국에너지공단, 2017)

바이오중유 생산업의 매출이 발생하기 이전에 생산설비 등에 투자액이 발생한다. 이러한 투자액은 설비 생산업, 공사업 등 생산업의 전방산업에 영향을 미친다. <표 2-6>에 제시한 바와 같이 바이오중유산업의 투자액은 2014년 156억 원, 2015년 6억 원으로 집계되었다. 바이오중유 생산업이 시작된 것이 2014년과 2015년의 투자액은 생산설비 등에 대한 초기투자비로 볼 수 있다.

<표 2-6> 바이오에너지 산업 투자액(억 원)

| 구분    | 바이오<br>다젤 | 바이오<br>가스 | 바이오<br>중유 | Bo-<br>SRF | 우드칩 | 목재<br>펠릿 | 목재<br>펠릿<br>보일러 | 슬러지<br>고형<br>연료 | 계   |
|-------|-----------|-----------|-----------|------------|-----|----------|-----------------|-----------------|-----|
| 2014년 | 203       | 8         | 156       | 3          | 7   | 86       | 24              | 5               | 492 |
| 2015년 | 156       | 7         | 6         | 17         | 7   | 16       | 9               | 2               | 221 |

출처: 신·재생에너지 산업통계(한국에너지공단, 2017)

신규 산업의 시장 확대는 고용효과에 긍정적 영향을 미칠 것으로 기대할 수 있다. 2015년 기준 바이오중유 생산업체 수는 9개이다(<표 2-7> 참고).<sup>9)</sup> 2014년부터 시작된 산업임을 고려한다면 2년 사이 9개 업체가 신생 된 것이다. 2018년 상반기 기준 바이오중유 생산업체 수는 20개로, 11개 업체가 증

9) 한국에너지공단이 매년 발간하는 ‘신·재생에너지 산업통계’는 신·재생에너지 산업의 기업체수, 고용인원, 매출액, 투자액을 자료를 수록하고 있다. 신·재생에너지 설비·연료 관련 품목을 생산·수입하는 기업의 자료를 기반으로 한다. 바이오중유의 경우 제품으로써 수입하지 않고 원료를 수입하여 국내에서 생산 하는 형태이다. 따라서 본 통계는 순수한 국내 바이오중유 생산업체의 통계자료에 해당한다고 볼 수 있다.

가한 것으로 파악된다.<sup>10)</sup> 바이오에너지 산업 고용인원 수 및 바이오에너지 산업체 수 1개당 고용인원은 <표 2-8>과 같다. 2015년 기준 바이오중유 제조업체 고용자 수는 164명인데, 이를 업체 수로 나누면 1개 업체당 18.2명/업체 수준이다. 바이오디젤 다음으로 고용인원이 많고 평균인 11.8명/업체 보다 높은 수치이다.

<표 2-7> 바이오에너지 산업 기업체수(개)

| 구분      | 바이오 디젤 | 바이오 가스 | 바이오 중유 | Bio-SRF | 우드칩  | 목재 펠릿 | 목재 펠릿 보일러 | 슬러지 고형 연료 | 소계   |
|---------|--------|--------|--------|---------|------|-------|-----------|-----------|------|
| 2014년   | 12     | 2      | 8      | 24      | 23   | 20    | 6         | 15        | 100  |
| 2015년   | 12     | 3      | 9      | 45      | 22   | 19    | 10        | 18        | 128  |
| 증감률 (%) | 0.0    | 50.0   | 12.5   | 87.5    | -4.3 | -5.0  | 66.7      | 20.0      | 28.0 |

출처: 신·재생에너지 산업통계(한국에너지공단, 2017)

<표 2-8> 바이오에너지 산업 고용인원(명)

| 구분       | 바이오 디젤 | 바이오 가스 | 바이오 중유 | Bio-SRF | 우드칩 | 목재 펠릿 | 목재 펠릿 보일러 | 슬러지 고형 연료 | 계     |
|----------|--------|--------|--------|---------|-----|-------|-----------|-----------|-------|
| 연구직      | 31     | -      | 25     | 1       | 31  | 7     | 23        | 4         | 122   |
| 생산직      | 190    | 12     | 98     | 236     | 94  | 89    | 113       | 114       | 946   |
| 관리직      | 88     | 8      | 37     | 85      | 48  | 33    | 37        | 51        | 387   |
| 기타       | 16     | -      | 4      | 6       | 9   | 6     | 3         | 12        | 56    |
| 2015년    | 325    | 20     | 164    | 328     | 182 | 135   | 176       | 181       | 1,511 |
| 업체당 고용인원 | 27     | 7      | 19     | 7       | 8   | 7     | 18        | 10        | 12    |

출처: 신·재생에너지 산업통계(한국에너지공단, 2017)

10) 최신 통계자료는 2015년 기준이므로, 한국석유관리원 담당자 인터뷰를 통해 2018년 업체 수를 조사하였다.

## 2.3 바이오중유산업의 특성

바이오에너지는 석유, 석탄, 가스 다음으로 소비량이 많은 에너지원으로 서 전 세계 1차 에너지 수요 중 약 10%를 차지한다. 바이오에너지는 1차 에너지 공급에 기여하는 것 외에도 온실가스 배출량 감축, 폐기물 활용에 따른 토양 및 수질 오염 저감, 에너지 안보와 무역 균형 개선 등 다양한 장점이 있다(IEA, 2017b). 바이오에너지가 갖는 이러한 특성은 바이오중유산업에서도 공통적으로 나타난다.

먼저 바이오중유는 발전부문 에너지원의 다각화에 기여한다. 우리나라 에너지 수입 의존도는 95%로, 선진국보다 에너지 자립도가 매우 낮다(민윤지, 2014). 화석연료 대체재 개발 필요성이 부각되면서 태양광, 풍력 등 재생에너지에 대한 정부 지원이 꾸준히 이루어지고 있으나, 이들 에너지원은 자연 환경 변화에 민감하며 열과 전기만을 생산한다는 한계가 있다. 바이오중유의 경우 기존 화석연료에서 생산 가능한 모든 에너지원 형태인 열, 전기는 물론 연료를 생산할 수 있다는 측면에서 그 활용도가 높고 잠재적 가치가 매우 크다(산업통상자원부, 2017).

바이오중유는 노후화된 중유발전소를 재활용하는 측면에서 국가 기반시설의 활용가치를 높인다는 장점이 있다. 바이오중유발전소는 일부 설비의 개보수를 통해 중유에서 바이오중유로의 연료전환이 가능하다. 만약 바이오중유발전소 운영 대신 신규 발전소 건설을 택한다면 건설비는 물론 중유발전소의 철거비용까지 내야 한다. 또한, 노후화된 설비의 개보수는 발전소 폐지 이후 수명 연장 기회를 제공하므로, 발전소의 활용 가치를 더욱 높일 수 있다. 실제로 1973년에 준공되어 설비 노후화로 폐지된 영동화력 1호기는 석탄에서 바이오매스(목재펠릿)로 연료 전환한 후 지속 가동 중이다.<sup>11)</sup>

바이오중유는 태양광이나 풍력과 달리 자연의 영향을 받지 않아 안정적인 전력을 공급할 수 있다. 에너지경제연구원(2017)은 2030년까지 확대될 신재생에너지를 태양광과 풍력으로만 구성할 경우 평소 15% 안팎인 전력 예비율이 6.4%까지 떨어져 수급 불안정성이 증대될 것으로 분석했다. 태양광이나 풍력의 간헐적 전력공급 문제를 해결하기 위해 에너지저장시스템의 연계가 필요하지만 바이오중유는 단순히 기존 중유를 대체하는 것으로 석유 연료와 같은 전력 공급의 안정성을 기대할 수 있다.

바이오중유의 환경 영향으로 폐기물 활용에 따른 토양 수질 오염 방지효과, 온실가스 저감효과, 대기오염물질 저감효과 등이 있다. 바이오중유 원료의 60% 가량은 국내에서 조달하는데 동물성유지(油脂), 이를테면 돈지(豚脂), 우지(牛脂) 등을 비롯하여 바이오디젤 부산물, 올레오케미칼 부산물, 음폐유 등 폐자원으로부터 대다수 원료를 얻는다. 이는 바이오중유 생산업자가 동물성유지 처리업이나 바이오디젤 생산업을 병행한다는 점으로 짐작할 수 있다. 유지 폐자원은 사용 후 폐기물로 버려지면, 수질오염, 토양오염, 대기오염 등 환경을 오염시킨다. 반면 재활용하면 환경오염을 방지하는 효과가 있으며, 자원의 가치도 높일 수 있다.<sup>12)</sup>

바이오매스의 일종인 바이오중유의 연소는 탄소중립의 관점에서 온실가스 저감에 기여한다.<sup>13)</sup> 바이오매스 연소 시에도 탄소가 발생하기 때문에 바이오매스의 탄소중립성에 대해 논란이 존재한다. 그러나 바이오매스의 연소와 화석연료의 연소에는 큰 차이가 있다. 화석 연료를 연소할 경우 수백만

---

11) 영동에너지발전본부 담당자 인터뷰를 통해 확인하였다.

12) 폐금속·유용자원재활용 기술개발 사업단 홈페이지 ([http://hosting.kaist.ac.kr:8074/webzine8/sub/sub03\\_2.php](http://hosting.kaist.ac.kr:8074/webzine8/sub/sub03_2.php))를 참고하여 작성 하였다.

13) UNFCCC 가 정의한 바이오매스의 범주에는 목질계 바이오매스 뿐 아니라 산업폐기물이나 도시폐기물의 비화석 부분도 포함된다(출처: UNFCCC EB 23 Report Annex18 Definition of renewable biomass).

년 동안 지반에 갇혀있던 탄소가 배출되므로 생물권과 대기 시스템에서 탄소의 총량을 증가시키는 반면, 바이오매스의 연소 과정에서는 생물학적 탄소 순환의 일부인 탄소를 배출한다. 즉, 바이오매스의 연소가 대기 시스템계의 온실가스를 순증가 시키지 않는다는 관점에서 탄소중립으로 여겨진다 (Bracmort, 2016; IEA, 2018에서 재인용).

바이오중유발전의 또 다른 환경적 영향으로 대기오염물질 저감효과를 들 수 있다. 중유발전소에서 배출되는 황산화물의 배출량은 0.54t/GWh로 LNG 발전 대비 약 100배 이상 높고, 질소산화물과 총먼지는 각각 3배, 4배 정도 높다(김상우, 허가형, 2016). 다수의 선행 연구에서 밝힌 바와 같이 바이오중유발전에서 황산화물은 거의 배출 되지 않아 황산화물 저감효과가 우수하다. 질소산화물과 총먼지의 농도는 기존 중유발전 대비 30%가량 낮은 수준이다(남원재, 2016; 백세현, 2015; 이석구, 2016; 장은정 등, 2014; 하종환 등, 2015). 다만 선행 연구는 실제 운영 중인 바이오중유발전소를 대상으로 장기간에 걸쳐 수행한 연구가 아니며, 농도 측면에서만 대기오염물질 저감효과를 평가하고 있으므로 실제 운전 중인 바이오중유발전소의 환경 영향을 입증하는 데 한계가 있다.

### 3. 바이오중유 보급 정책

#### 3.1 바이오중유 시범보급사업

바이오중유의 이용에 직접적인 영향을 주는 정책으로 ‘발전용 바이오중유 시범보급사업’이 있으며, 바이오중유 시범보급사업고시를 근거로 하고 있다. 바이오중유 시범보급사업고시는 바이오중유의 이용·보급·확대 필요성과 발전설비에 적합한 품질·성능·안전성 등의 여부 판단을 목적으로 한다.



바이오중유 시범보급사업고시는 바이오중유의 정의, 품질기준, 시범보급대상 발전사업자, 생산업자의 요건 등을 명시하고 있다.

최초의 바이오중유 시범보급사업은 2014년 1월 제정된 산업통상자원부 고시(2014-1호)를 기반으로 하고 있다. 애초 사업기간은 2015년 12월 31일까지였으나, 2015년 8월 시범보급사업고시가 일부개정(산업통상자원부 2015-180호) 되면서 시범보급사업기간이 1년 연장되었다. 이후 2016년 12월 시범보급사업고시가 재개정(산업통상자원부 2016-241호)되었으며, 개정고시에 따라 시범보급기간이 2018년 12월 31일까지로 연장되었다. 시범보급사업 이후의 바이오중유상용화 여부는 현재까지 공표된 바가 없다.

시범보급사업고시에서는 중유발전소를 운영하는 발전사업자 중 4개 발전사와 한국지역난방공사를 대상으로 지정하고, 발전사업자가 자가소유한 1개 발전소만 바이오중유를 사용하도록 제한하였다. 동 고시에서는 바이오중유 생산업자에 대한 요건도 명시하고 있다. 바이오중유 생산업자로 지정되기 위해서는 고품질순물 제거설비, 수분제거설비, 혼합조 및 저장시설을 갖추어야 한다. 생산업체가 발전용 바이오중유를 공급하고자 할 경우 지속적으로 한국석유관리원으로부터 품질검사를 받도록 하고 있다.

바이오중유 시범보급사업고시는 「석유 및 석유대체연료 사업법」을 근거로 한다. 동 법에서는 석유대체연료의 범주를 ‘석유제품 연소 설비의 근본적인 구조 변경 없이 석유제품을 대체 가능한 연료(석탄과 천연가스는 제외)’로 보고 있다. 시범보급사업 단계에 있는 바이오중유는 동 법에 명시되어 있지 않지만, 중유 대체연료로써 기존 중유발전소의 기본적인 설비 구조를 유지한 채 일부 설비 교체만으로 적용 가능하므로 석유대체연료의 정의에 부합한다고 볼 수 있다. <표 2-9>는 석유사업법 시행령에서 명시하고 있는 석유대체연료의 종류별 특성을 나타낸 것이다.

<표 2-9> 석유대체연료의 종류별 특성

| 종류          | 정의  | 특징   | 용도            |
|-------------|---|--|---------------|
| 바이오 디젤 연료유  | 식물성유, 동물성유 등을 알코올과 반응시켜 생산한 연료 또는 이를 석유제품 등에 혼합한 연료 | 경유와 특성이 유사하여 디젤자동차의 엔진 변경없이 경유와 혼합하여 사용 가능 | 경유 대체연료, 수송용  |
| 바이오 에탄올 연료유 | 식물성 원료에서 추출한 알코올과 석유제품 등을 혼합한 연료                    | 자동차용 연료로 개발되고 있으나, 현재 국내에서는 개발단계임          | 휘발유 대체연료, 수송용 |
| 석탄 액화 연료유   | 유연탄 증류를 통해 유분 획득 후 특정 공정을 통하여 석유제품과 유사한 성분으로 생산한 연료 | 경제성 부족으로 판매 되고 있지 않지만, 고유가 지속시 수입가능        | 휘발유 대체연료, 수송용 |
| 유화 연료유      | 석유제품, 석유화학제품에 물과 유화제 등을 혼합한 연료                      | 중질유 70%미만, 유화제 및 물 30%미만의 혼합비로 생산되며 국내 판매중 | 중유 대체연료, 산업용  |
| 천연 역청유      | 천연역청물질에 물과 계면활성제 등을 혼합한 연료                          | 중유대체연료로서 발열량은 중유에 비해 낮으나 가격면에서 절감효과를 가짐    | 중유 대체연료, 산업용  |

출처: 석유사업법 시행령(제28342호) 제5조

### 3.2 신재생에너지 공급의무화 제도

2012년 시행된 RPS는 500MW 이상 발전설비를 보유한 발전사업자가 발전량의 일정 비율만큼을 신재생에너지로 공급하도록 의무화하고 있다. 신재생에너지 의무공급량을 할당받은 발전사업자는 직접 신재생에너지 발전을 하거나 제3자가 생산·공급한 REC를 구매하여 제출해야 한다. 바이오중유는 2014년부터 RPS의 이행수단으로 이용되고 있는데 이는 「신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법」(법 14079호), 「신·재생에너지 공급의무화제도 및 연료 혼합의무화제도 관리·운영지침」(산업통상자원부 고시 제2017-2호), 「공급인증서 발급 및 거래시장 운영에 관한 규칙」(신·재생에너지센터 공고 제2017-6호)에 근거한다. 이 가운데 <표 2-10>과 같이 「공급인증서 발급 및

거래시장 운영에 관한 규칙」에서만 바이오중유를 명시하고 있는데, 바이오중유가 시범보급사업 중이라는 점을 고려할 때, 시행령 이상의 상위법에 명문화하는 것은 어려웠으리라 짐작된다.

<표 2-10> 바이오에너지 설비의 범위

|   |  |
|---|--|
| <p>[별표 1]<br/>공급인증서<br/>발급대상<br/>설비 기준<br/>(②바이오<br/>에너지설비)</p> | <p>생물 유기체를 변환시켜 얻어지는 기체, 액체 또는 고체의 연료로서 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 연료를 연소 또는 변환시켜 전기를 생산하는 설비를 말한다.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 「산림자원의 조성 및 관리에 관한 법률」에 따른 임산물</li> <li>2. 「목재의 지속가능한 이용에 관한 법률」에 따른 목재펠릿, 목재칩, 목재브리켓</li> <li>3. 「자원의 절약과 재활용 촉진에 관한 법률」에 따른 바이오고형연료제품(Bio-SRF)</li> <li>4. 「폐기물관리법」에 따른 폐기물 중 생물기원의 유기성 폐기물</li> <li>5. 「발전용 바이오중유 시범보급사업 추진에 관한 고시」에 따른 발전용 바이오중유</li> <li>6. 「폐기물관리법」에 따른 폐기물 원료의 매립지 가스</li> <li>7. 바이오가스 및 바이오수소</li> <li>8. 신·재생에너지법 시행령 제18조의12제4호에 따른 바이오디젤</li> </ol> |
|---|--|

출처: 「공급인증서 발급 및 거래시장 운영에 관한 규칙」(신·재생에너지센터 공고 제2017-6호)

2017년 기준 RPS 제도 공급의무 발전사는 18개로 총 의무공급량은 17,043,864MWh에 달한다. 의무공급량이 발전량에 비례하는 한국남동발전 등의 발전공기업 6개사가 전체 의무공급량의 86% 이상을 차지하며, 나머지 14%는 에너지 관련 공기업인 한국지역난방공사와 한국수자원공사, 민간발전사 10개사가 차지하고 있다. <표 2-11>은 공급의무자별 의무공급량을 나타낸 것이다.

<표 2-11> 공급의무자별 의무공급량

| 구분       |            | 의무공급량(MWh) |            |            | 비율(%) |
|----------|------------|------------|------------|------------|-------|
|          |            | 2015년      | 2016년      | 2017년      |       |
| 그룹 I 14) | 한국수력원자력    | 2,662,760  | 2,882,659  | 2,915,892  | 17.1  |
|          | 한국남동발전     | 1,951,737  | 2,712,047  | 3,137,560  | 18.4  |
|          | 한국중부발전     | 1,549,665  | 1,777,492  | 1,985,550  | 11.6  |
|          | 한국서부발전     | 1,500,016  | 1,875,898  | 2,241,674  | 13.2  |
|          | 한국남부발전     | 1,744,195  | 1,876,488  | 2,203,025  | 12.9  |
|          | 한국동서발전     | 1,488,801  | 1,896,548  | 2,277,079  | 13.4  |
| 그룹 II    | 한국지역난방공사   | 206,520    | 237,551    | 258,901    | 1.5   |
|          | 한국수자원공사    | 21,063     | 25,161     | 28,435     | 0.2   |
|          | 민간발전사(10개) | 1,215,170  | 1,797,440  | 1,995,748  | 11.7  |
| 계        |            | 11,126,772 | 13,285,860 | 17,043,864 | 100.0 |

출처: 산업통상자원부 공고(제2015-55호, 제2016-527호, 제2017-74호)

공급의무 발전사가 할당된 의무공급량을 이행하지 못할 경우, REC 거래 가격 평균의 최대 150%를 과징금으로 내야 한다. 2012년에는 발전사들에 수백억 원의 과징금이 부과되었으나(이용권, 2013), 2014년부터 발전사의 부담을 경감시키고자 해당 연도에 채우지 못한 의무할당량은 의무공급량의 20%까지 유예할 수 있도록 하고, 유예한 의무공급량은 3년 이내 충족시키도록 관련법을 개정하였다(신재생에너지백서, 2016). 2014년~2016년의 RPS 공급의무자별 이행률을 살펴보면 <표 2-12>와 같다. 2015년과 2016년의 이행률은 전체 평균 90% 이상 달성하였고, 미이행한 의무공급량은 전량 유예하였기 때문에 과징금 부과 사례는 없다.

14) 설비용량이 5,000MW 이상인 경우 I 그룹으로, 5,000MW 미만인 경우 II 그룹으로 분류된다.

〈표 2-12〉 RPS 공급의무자별 이행률(2014~2016년)

| 구 분      | 2014년(%) | 2015년(%) | 2016년(%) |
|----------|----------|----------|----------|
| 한국수력원자력  | 73.5     | 84.2     | 87.5     |
| 한국남동발전   | 100.0    | 100.0    | 91.1     |
| 한국중부발전   | 75.6     | 85.6     | 100.0    |
| 한국서부발전   | 72.4     | 84.2     | 84.2     |
| 한국남부발전   | 75.5     | 100.0    | 100.0    |
| 한국동서발전   | 72.4     | 92.4     | 87.5     |
| 한국지역난방공사 | 71.2     | 82.0     | 88.3     |
| 한국수자원공사  | 76.4     | 80.8     | 98.5     |
| SK E&S   | 82.9     | 98.1     | 100.0    |
| GS EPS   | 68.9     | 84.5     | 84.9     |
| GS 파워    | 74.4     | 98.5     | 100.0    |
| 포스코에너지   | 74.1     | 85.8     | 83.4     |
| 씨지엔올촌전력  | 100.0    | 86.1     | 80.4     |
| 평택에너지서비스 | 71.1     | 80.9     | 82.0     |
| 대륜발전     | 2015년 신규 | 83.5     | 98.0     |
| 에스파워     | 2015년 신규 | 100.0    | 92.8     |
| 포천파워     | 2015년 신규 | 80.0     | 80.6     |
| 동두천드림파워  | -        | 2016년 신규 | 84.6     |
| 계        | 78.1     | 90.2     | 90.6     |

출처: 한국에너지공단 신재생에너지센터의 최신 정보공개 청구자료

2015년 RPS 이행률의 기여 정도를 자체실적과 외부구매 실적으로 구분하여 살펴보면 〈표 2-13〉와 같다. 발전사가 자체 조달한 REC는 평균 42%에 불과하며, 36%는 외부 구매로, 22%는 유예하였다(윤병효, 2016).<sup>15)</sup> 이는 특정 연도에 국한된 것이 아니며, 발전사는 매년 증가하는 의무 공급량을 달

15) 2016년 12월 REC 평균거래 가격은 167,272 원/REC로 전년 동월대비(비태양광 기준) 약 27% 상승하였다.

성하기 위해 자체적으로 생산할 수 있는 신재생에너지원 발굴에 관심을 기울이는 것은 당연하다.

<표 2-13> RPS 이행현황(2015년)

(단위: GWh)

| 구분          | 자체공급       |           |            |            |               |           | 외부<br>구매      | 유예량           | 합계              |
|-------------|------------|-----------|------------|------------|---------------|-----------|---------------|---------------|-----------------|
|             | 태양광        | 풍력        | 수력         | 연료<br>전지   | 바이오           | 폐기물       |               |               |                 |
| 한국수력원자력     | 18         | -         | 739        | -          | -             | -         | 1,221         | 712           | 2,690           |
| 한국남동발전      | 17         | 41        | 54         | 49         | 1,435         | 1         | 380           | -             | 1,977           |
| 한국중부발전      | 10         | -         | -          | -          | 626           | -         | 554           | 384           | 1,573           |
| 한국서부발전      | 40         | -         | -          | 57         | 379           | -         | 720           | 456           | 1,651           |
| 한국남부발전      | 9          | 19        | 0          | -          | 881           | -         | 723           | 530           | 2,162           |
| 한국동서발전      | 16         | 2         | 3          | 151        | 540           | 9         | 433           | 440           | 1,593           |
| 한국지역난방공사    | 1          | -         | -          | -          | 36            | 36        | 91            | 66            | 229             |
| 한국수자원공사     | 8          | -         | -          | -          | -             | -         | 5             | 4             | 17              |
| SK E&S      | 11         | -         | -          | -          | -             | -         | 136           | 31            | 178             |
| GS E&S      | 0          | -         | -          | 22         | -             | -         | 118           | 59            | 199             |
| GS 파워       | -          | -         | 1          | 55         | -             | -         | 29            | 29            | 114             |
| 포스코에너지      | 14         | -         | -          | 74         | -             | 33        | 133           | 89            | 342             |
| MPC 울촌      | -          | -         | -          | 58         | -             | -         | 34            | -             | 93              |
| 평택에너지       | -          | -         | -          | 44         | -             | -         | 15            | 24            | 83              |
| 소계<br>(비율%) | 144<br>(1) | 62<br>(0) | 796<br>(6) | 510<br>(4) | 3,895<br>(30) | 78<br>(1) | 4,592<br>(36) | 2,822<br>(22) | 12,901<br>(100) |

출처: 윤병효(2016)

동일한 양의 신재생에너지를 생산하더라도, 에너지원에 따라 REC 인정량은 다를 수 있다. 신재생에너지원별로 REC 가중치가 다르게 적용되기 때문이다. REC 가중치는 경제성 측면에서 발전원가를 54% 고려하고, 나머지 46%는 환경·기술개발 및 산업 활성화에 미치는 영향, 부존(賦存) 잠재량, 온

실가스 배출 저감(低減)에 미치는 효과, 전력 공급의 안정에 미치는 영향, 지역주민의 수용성 등 정책적 측면을 고려하여 결정된다.<sup>16)</sup> <표 2-14>는 신·재생에너지원별 REC 가중치를 나타낸 것이다.

<표 2-14> 신·재생에너지원별 REC 가중치

| 구분                | REC 가중치 | 대상에너지 및 기준  |
|-------------------|---------|---|
| 태양광<br>에너지        | 0.7~1.2 | 일반부지에 설치하는 경우   |
|                   | 1.0~1.5 | 건축물 등 기존 시설물을 이용하는 경우   |
|                   | 1.5     | 유지 등의 수면에 부유하여 설치하는 경우  |
|                   | 1.0     | 자가용 발전설비를 통해 전력을 거래하는 경우  |
|                   | 5.0     | ESS설비(태양광설비 연계)   |
| 기타<br>신·재생<br>에너지 | 0.25    | IGCC, 부생가스  |
|                   | 0.5     | 폐기물, 매립지가스  |
|                   | 1.0     | 수력, 육상풍력, 바이오에너지, RDF 전소발전, 폐기물 가스화 발전, 조력, 자가용 발전설비로 전력을 거래하는 경우 |
|                   | 1.5     | 목질계 바이오매스 전소발전, 해상풍력(연계거리 5km이하), 수열                              |
|                   | 2.0     | 연료전지, 조류  |
|                   | 1.0~2.5 | 해상풍력(연계거리 5km초과), 지열, 조력(방조제 無)                                   |
|                   | 4.5~5.5 | ESS설비(풍력설비 연계)  |

출처: 「신·재생에너지 공급의무화제도 및 연료 혼합의무화제도 관리운영지침」 [별표2]

바이오중유는 바이오에너지에 부여된 REC 가중치인 1.0을 적용받는다. REC 확보를 위해 바이오중유발전소를 가동하는 발전사 입장에서는 REC 가중치는 바이오중유 사용 여부에 결정적인 영향을 미친다. 바이오중유의

16) REC 가중치는 3년 주기로 개정되며 2018년 현재 2차 개정이 추진 중이다. RPS 제도개선을 위한 공청회 자료(2018.5.18)에 따르면 2015년 REC 가중치는 경제성을 70% 고려하고 나머지 30%는 정책성을 고려하였으나, 금번 REC 가중치는 경제성을 54% 고려하고 정책성을 46% 고려한다. 동 개정(안)에 따르면 목질계 바이오매스와 폐기물 가중치는 하향 조정되며, 바이오중유는 기존 가중치 1.0을 그대로 적용받는다.

상용화 시 환경·기술개발 및 산업 활성화에 미치는 영향 등을 자세히 검토한 뒤, 객관적 근거를 바탕으로 가중치 설정이 필요하다.

### 3.3 온실가스 배출권거래제도

「저탄소 녹색성장 기본법」 및 「온실가스 배출권의 할당 및 거래에 관한 법률」을 근거로 2015년 시행된 온실가스 배출권거래제도는 대상기업에 배출권을 할당하고, 할당량의 과부족분은 시장 매커니즘을 활용해 감축 목표를 달성하도록 유도하는 제도다. 업체가 보유한 사업장의 온실가스 배출량이 최근 3년간 연평균 25천tCO<sub>2</sub>eq 이상인 경우 또는 업체 총배출량이 125천tCO<sub>2</sub>eq 이상인 경우 배출권거래제 할당대상 업체로 지정되며, 2018년 기준 23개 업종, 약 600개의 기업이 참여하고 있다.

온실가스 배출권거래제도의 온실가스 산정·보고 지침인 「온실가스·에너지 목표관리 운영 등에 관한 지침」<sup>17)</sup>은 IPCC 가이드라인과 상당 부분 일치하는데 이는 국제수준에 부합하는 가이드라인 및 방법론을 제공하기 위함이다. 온실가스 목표관리지침에 제시한 바이오매스의 대전제 역시 IPCC 가이드라인과 거의 유사하다. 양 지침 모두 바이오매스의 사용에 따라 발생하는 온실가스 중 CO<sub>2</sub> 배출량은 총 온실가스 배출량에서 제외하고 CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O만 포함하도록 하고 있다.<sup>18)</sup> 이러한 CO<sub>2</sub> 배출량 미포함 규정은 생물 에너지의 지속가능성 및 탄소중립성(Carbon neutral)을 근거로 한다. IPCC는 유기물인 바이오매스는 그 생성과정에서 CO<sub>2</sub>를 흡수하며, 그 양과 바이오매스를 이용한 에너지의 생산과 소비에서 발생하는 CO<sub>2</sub>의 양을 같다고 가정하여

---

17) 「온실가스·에너지 목표관리 운영 등에 관한 지침」 (환경부고시 제 2016-255 호) 이하 “온실가스 목표관리지침” 이라 칭한다.

18) 국내 지침에서는 바이오매스의 함량을 분석하여 그 함량에 대해서만 배출량을 제외할 수 있도록 하였다.



탄소중립을 인정하고 있다.

온실가스 목표관리지침에서는 바이오중유를 바이오디젤과 동일한 바이오매스 범주로 바이오중유를 분류하고 있으며, ‘바이오중유’ 라는 용어를 명시하고 있다. <표 2-15>는 온실가스·에너지 목표관리지침에 수록된 바이오매스와 바이오에너지의 종류를 나타낸 것이다.

<표 2-15> 바이오에너지 종류

| 형 태       | 항 목                             |
|-----------|---------------------------------|
| 생물유기체변환   | 바이오가스, 바이오에탄올, 바이오 액화유 및 합성가스 등 |
| 유기성폐기물변환  | 매립지가스(LFG) 등                    |
| 동/식물 유지변환 | 바이오디젤, 바이오중유 등                  |
| 고체 연료     | 펠릿, 목재칩·펠릿·브리켓, 목탄, 가축분뇨 등      |

출처: 「온실가스·에너지 목표관리 운영 등에 관한 지침」 [별표26]

이상과 같이 발전용 바이오중유는 2014년 이래 바이오중유 시범보급사업 고시를 근거로 사용되고 있으며, 신재생에너지 산업통계(한국에너지공단, 2017), 신재생에너지 보급통계(한국에너지공단, 2017), 한국전력통계(한국전력공사, 2017) 등 공식통계자료에도 수록되고 있다. 그러나 석유대체 바이오연료 사용의 근거법이라 할 수 있는 석유사업법상엔 바이오중유가 명문화되어 있지 않아, 바이오중유산업 육성의 한계로 작용하고 있다.

## 제2절 선행 연구 분석

### 1. 바이오중유의 특성 및 환경 영향 관련 연구

바이오중유에 관한 국내 연구는 시범보급사업이 시행된 2014년부터 등장하기 시작하였다. 선행 연구는 주로 기존 중유발전소에 바이오중유의 적용 가능성을 검토하기 위한 실증분석 연구와 바이오중유의 품질특성 연구에 초점을 두고 있으며, 대부분의 선행 연구에서 바이오중유발전의 대기오염물질 저감효과를 공통적으로 다루고 있다.

<표 2-16>에는 바이오중유의 특성 및 환경 영향 관련 연구 사례가 제시되어 있다. 장은정 등(2014)은 중유에 바이오중유의 혼합비를 증가시키며 연료의 품질 특성을 원소분석기와 적외선 분광광도계를 사용하여 분석하였다. 실험 결과, 중유 대비 바이오중유의 인화점이 높고, 동점도와 전산가가 낮으며, 인(P) 함량이 높은 것을 확인하였다. 이로 인해 바이오중유를 중유 연소설비에 적용할 경우, 연료펌프 등 일부 설비의 개조와 운전조건의 최적화가 필요함을 밝혔다. 또한, 바이오중유의 환경성에 관한 실험에서는 바이오중유 100% 사용 시 탈황 및 탈질설비 가동 없이 환경 규제치 이하로 운전할 수 있음을 밝혔다.

백세현 등(2014)은 최대용량 0.7MW급 시험연소로 실험 및 100MW급 상용발전소의 실증분석 연구를 수행하였다. 연구결과, 바이오중유의 발열량은 중유의 발열량 대비 약 10% 정도까지 낮게 나타났다. 이에 기존 중유 연소시와 동일한 발전출력을 유지하기 위해서는 연료 공급량의 증가가 필요하며 이를 위해 탱크, 연료펌프, 버너노즐, 무화설비 등 연료공급 계통의 설비보강이 필요함을 밝혔다. 또한, 바이오중유에 포함된 질소 및 유황 성분의

함량이 낮아 황산화물, 질소산화물의 배출이 적고, 특히 황산화물의 저배출로 바이오중유발전 시 탈황설비의 가동이 불필요함을 시사하였다.

하종한 등(2015)은 중유 및 원료 구성성분비를 달리한 바이오중유 3종의 연소 조건을 분석하였다. 실험결과는 앞서 소개한 장은정 등(2014)의 연구와 유사하며 더 정량화된 수치를 제공하고 있으며, 대기오염물질에 대한 구체적인 실험 결과를 제시하였다. 바이오중유의 혼합비가 증가할수록 황산화물, 질소산화물, 총먼지 등의 배출가스 농도가 낮아지는 경향을 나타내며, 바이오중유 100%에서 황산화물은 전혀 배출되지 않았고, 질소산화물은 40%, 총먼지는 30% 감소한 것으로 나타났다. 바이오중유발전 시 질소산화물이 적게 배출되는 이유는 연료 중의 질소(N) 함량이 적은 것도 있지만, 보일러의 화염온도가 중유보다 다소 낮기 때문인 것으로 밝혔다.

남원재(2016)와 이석구(2016)는 동일한 400MW급 대용량 중유발전소를 대상으로 혼소율을 변화시키며 실증분석 연구를 실시하였다. 먼저, 남원재(2016)의 연구에서는 바이오중유 혼소율을 50%, 80%, 100%로 실험하였다. 혼소율 50%, 80%에서는 정격출력으로 운전이 가능하였으나, 바이오중유 전소 시에는 재열 증기 온도제어가 어려워 정격출력 400MW 운전이 불가능하다는 결론이 도출되었다. 대기오염물질 분석 결과, 바이오중유 혼합율 증대에 따라 질소산화물의 배출이 저감 되었으며, 혼합율 80% 이상의 경우에는 탈황설비 가동이 불필요함을 확인하였다.

이석구(2016)의 경우 바이오중유 혼소비율을 0%, 20%, 50%, 80%, 100%로 달리하며 운전조건을 분석하였다. 바이오중유는 중유보다 50% 혼소 시 출력, 연소, 환경규제 등 전반적으로 운전 상태는 양호하였고, 80% 혼소 시에는 정격출력 운전은 가능하나 설비보장 및 보일러 제어 튜닝이 필요함을 밝혔다. 대기오염물질의 경우 바이오중유발전이 중유발전에 비해 질소산화

물과 총먼지가 적게 발생하고, 황 성분이 매우 낮아 탈황설비 및 환경관리 측면에서 우수한 것으로 분석되었다. 또한, CO<sub>2</sub> 농도는 대체로 감소하였으나, 일부 조건에서 급격히 증가하는 것으로 나타났다.

이지혜(2016)는 바이오중유와 중유의 혼소, 바이오디젤과 중유의 혼소에 따른 운전조건을 비교하였다. 400MW급 중유발전소를 실증 연구대상으로 하였으며, 바이오중유 및 바이오디젤의 혼소비율을 0%, 30%, 50%, 70%로 변화시키며 분석하였다. 바이오중유의 혼소와 바이오디젤의 혼소 실험 모두 중유 전소보다 연소실 내 온도가 낮게 나타났으며, 이는 질소산화물 저감에 기여하는 것으로 분석하였다. 바이오디젤의 혼소비율을 높일수록 CO<sub>2</sub> 농도가 낮아지는 것으로 나타났으나, 이 경우 최적 운전조건의 보일러 효율보다 낮아지기 때문에 바이오디젤의 혼소율을 높이면 실제 운전이 어려울 수 있다는 점을 시사하였다.

바이오중유발전의 실증분석 및 품질특성 연구 외 바이오중유의 환경 영향에 관한 연구, 경제성 분석에 관한 연구가 있다. 에코네트워크(2017)는 전과정평가(Life Cycle Assessment)<sup>19)</sup> 기법을 활용하여 환경성을 평가하였다. 바이오중유를 생산 단계와 발전 단계로 구분하여 지구온난화, 자원소모, 산성화, 부영양화, 광화학산화물 생성, 오존층파괴를 분석하였다. 연구 결과, 지구온난화 및 자원소모 부문에서 생산과 발전단계 모두 바이오중유가 중유보다 환경개선 효과가 높은 것으로 분석되었다. 바이오중유의 원료는 식용작물 비중이 높은 편이라 1세대 바이오연료의 한계를 갖고 있기에 전과정 측면의 환경성 연구는 의미가 있다.

---

19) 전과정평가(Life Cycle Assessment)는 원료의 채취부터 폐기 단계까지 제품 시스템의 전과정에 대한 환경측면과 잠재적 환경 영향을 평가하는 방법이다.

<표 2-16> 바이오중유의 특성 및 환경 영향 관련 연구

| 연구자                  | 연구방법           | 주요 내용   |
|----------------------|----------------|---|
| 장은정 등<br>(2014)      | 실험·분석          | 중유에 바이오중유의 혼합비를 증가시키며 연료의 품질 특성 분석                                |
| 백세현 등<br>(2014)      | 실험·분석          | 0.75MW급 시험연소로 실험 및 100MW급 바이오중유 전소 발전소 실증분석                       |
| 하종한 등<br>(2015)      | 실험·분석          | 중유에 바이오중유 혼소율을 증가시키며 연료의 품질 특성 분석, 환경 특성을 상세히 밝힘                  |
| 남원재<br>(2016)        | 실험·분석          | 400MW급 중유발전소에 바이오중유 혼소율을 변화시키며 실증분석                               |
| 이석구<br>(2016)        | 실험·분석          | 바이오중유 혼소율을 변화시키며 운전조건 분석, 대기오염물질 뿐만 아니라 CO <sub>2</sub> 농도 분석     |
| 이지혜<br>(2016)        | 실험·분석          | 400MW급 중유발전소에 바이오중유 및 바이오디젤의 혼소비율 변화시키며 실증분석                      |
| 에코<br>네트워크<br>(2017) | 전과정평가<br>(LCA) | 생산 단계와 발전 단계로 구분하여 지구온난화, 자원소모, 산성화, 부영양화, 광화학산화물 생성, 오존층파괴 영향 분석 |

## 2. 바이오중유의 사회·경제적 효과 관련 연구

바이오중유 관련 선행 연구는 주로 바이오중유발전소 실증연구, 연료 품질연구 등에 초점을 두고 있으며, 환경 영향으로 대기오염물질의 농도를 공통적으로 다루고 있다. 바이오중유의 정책 관련 연구로 에너지경제연구원(2015)과 에코네트워크(2018)의 경제성 분석 연구가 유일하다. 이에 사회·경제적 효과에 관한 다양한 연구사례를 살펴보고자 바이오연료로 분석 범위를 확대하였다. 바이오연료에 관한 국내외 연구는 1990년대 초반부터 진행되기 시작하여 지속적으로 증가하였다. 특히 2000년대 후반에 접어들면서 바이오에탄올 및 바이오디젤에 관한 연구·기술개발 속도가 급격하게 증가하

였다(생명공학정책연구센터, 2011). 그러나 식량자원과의 중복성이라는 1세대 바이오연료의 한계점이 이슈화되면서 최근 연구는 목·초본계(2세대) 및 조류 바이오매스(3세대) 등 다양한 원료를 이용한 바이오에너지 개발에 관심을 두고 있다(녹색기술센터, 2015).<sup>20)</sup>

바이오연료의 연구대상은 바이오디젤, 목재펠릿, 바이오가스, 해조류 바이오매스 등으로 다양하며, 바이오에너지의 실증연구, 경제적 효과 연구, 환경 영향에 관한 연구 등이 지속적으로 수행되고 있다. 연구방법은 연구 주제에 따라 상이하나, 바이오연료의 사회·경제적 파급효과를 분석한 연구를 살펴보면 대부분 산업연관분석에 근거하고 있다. 배정환, 정해영, 김미정(2015) 등 일부 연구에서 온실가스 감축 효과를 경제적 파급효과와 함께 다루고 있으나, 분석대상 바이오연료의 환경·사회·경제적 영향을 종합적으로 연구한 사례는 미흡하다.

바이오중유발전의 초기 단계에 진행된 연구로 에너지경제연구원(2015)은 비용항목으로 바이오중유 생산부문 설비 예상 투자비를 추정하고, 편익항목으로 발전부문의 REC 수익, 온실가스 배출권 수익, 대기오염물질 저감효과를 포함하였다. 각 비용·편익요소를 바이오중유와 중유의 연료가격(원/리터)에 반영하여 연료 가격 비를 통해 경제성을 평가하였다. 2015년에서 2025년까지의 경제성을 평가한 결과, 2016년부터는 모든 조건하에서 바이오중유의 경제성이 있는 것으로 나타났다.

에코네트워크(2018)는 바이오중유를 사용하는 발전사별 경제성 분석을 수행하였다. 발전사별 바이오중유와 중유발전소의 비용·편익 차이를 조사하고

---

20) 바이오에너지는 원료의 종류에 따라 1세대, 2세대, 3세대로 구분되는데, 1세대는 주로 식용작물을 기반으로 하나, 낮은 생산 효율, 곡물 가격 상승, 재배 면적 확대에 의한 환경 파괴로 논란이 있다. 2세대 바이오에너지는 비경작지에서 자라는 비식용작물을 통해 생성된다. 3세대 바이오에너지는 해양계로 김, 다시마와 같은 거대조류와 플랑크톤과 같은 미세조류를 포함한다. 4세대 바이오에너지는 CO<sub>2</sub>의 포집·저장을 목표로 한다(이예진, 2017).

이를 바탕으로 중유발전소의 대체에 따른 바이오중유발전소별 경제성을 평가하였다. 초기투자비, 환경설비 운영비, 유지보수비의 실제 비용 자료를 이용하여 비용을 추정하였으며, REC 편익은 REC 가중치와 적용기준을 시나리오로 구분하여 편익을 추정하였다. 2018년에서 2025년까지의 개별 발전사 경제성 평가 결과, REC 가중치가 0.5로 하락하면 경제성이 없는 것으로 나타났으며, REC 가중치가 1.0인 경우에는 REC 편익의 적용 기준을 바이오중유발전소 미 운영시 구매해야 하는 REC 비용을 기준으로 설정할 경우 모든 바이오중유발전소에 경제성이 있는 것으로 나타났다.

박정순(2009)은 국산 바이오디젤 원료사업이 국가 경제에 미치는 파급효과를 분석하였다. 이를 위해 다지역투입산출모형<sup>21)</sup>을 이용하여 바이오디젤 보급 및 국산화 목표에 따른 작물 재배 면적 변화에 따른 산업별 순 파급효과를 추정하였다. 순 파급효과는 유채생산 증가에 따른 긍정적 파급효과에서 보리 생산 감소에 따른 부정적 파급효과를 제외하여 산정하였다.

김태영, 진세준, 박세헌, 표희동(2013)은 해양조류 또는 미세조류를 이용하여 에너지를 생산하는 3세대 해양바이오에너지에 관한 연구개발사업의 경제적 편익 추정과 파급효과 분석을 수행하였다. 조건부 가치측정법(CVM)을 활용하여 해양바이오에너지 개발 및 도입에 따른 온실가스 저감에 관한 지불의사액을 조사하고 이를 바탕으로 경제적 편익을 추정하였다. 경제적 파급효과 분석에서는 산업연관분석의 외생화 기법을 이용하여 생산유발효과, 부가가치유발효과, 고용유발효과 등 연구개발사업의 유발효과를 분석하였다.

---

21) 다지역산업연관표의 투입부문은 원재료 등의 투입을 나타내는 중간재 투입과 노동이나 자본 투입을 나타내는 부가가치로 구분되어 단일지역산업연관표와 구성이 동일하지만, 최종 수요에는 수출 이외에 수출이, 수입 이외에 수입이 추가된다는 점에서 차이가 있다. 다지역산업연관표는 지역간 및 산업 간 거래를 동시에 고려함으로써 산업별 파급효과뿐만 아니라 지역별 파급효과 추정이 가능하다는 장점이 있다.

백민지, 김호영, 유승훈(2014)는 산업연관분석을 적용하여 바이오가스 공급 확대의 경제적 파급효과를 분석하였다. 세부적으로는 생산유발효과, 부가가치유발효과, 취업유발효과를 분석하였으며, 바이오가스의 공급 차질로 인한 부정적 파급효과를 의미하는 공급지장효과와 바이오가스 공급부문 제품가격 변동이 가져올 물가파급효과도 분석하였다. 분석에는 2011년도 투입산출표를 사용하였으며, LPG와 도시가스 부문을 추출하여 바이오가스 공급으로 정의하고, 해당 부문을 외생화 하여 분석하였다.

배정환 등(2015)은 기술개발 및 실증 연구 단계에 있는 해조류 바이오에너지화 사업 가운데 거대 해조류(macro-algae)에 속하는 다시마를 이용한 바이오에너지 전환 사업의 경제성 및 경제적 파급효과를 추정하였다. NPV, BCR, IRR를 통해 경제성을 분석하고, 산업연관분석을 이용하여 전후방연쇄효과, 부가가치파급효과, 취업 및 고용유발효과를 분석하였다. 동 연구에서는 온실가스 배출계수를 이용하여 온실가스 감축효과도 분석하였다. 산업연관분석 시 적용한 산업부문분류 방식은 <표 2-17>와 같다.

<표 2-17> 해조류 바이오매스의 산업분류

| 세부항목                               | 산업부문   | 비고                      |
|------------------------------------|--------|-------------------------|
| 다시마 생산 및 수확비용                      | 수산 양식업 | 연구자가 신설한 산업부문           |
| 에탄올 생산투자비 및 유지비용                   | 주류산업   | 연구자가 신설한 산업부문           |
| 메탄 및 바이오오일 투자비용, 유지비용, 최종 에너지 전환비용 | 연료유 산업 | 연구자가 신설한 산업부문           |
| 재무비용                               | -      | 기회비용으로 파급효과가 없는 것으로 간주함 |

출처: 배정환 등(2015)

박시용(2015)은 축산폐수 처리 및 자원화 목표를 달성하기 위한 지역별·규



모별 설비분산 시나리오를 설정하고, 비용대비 효과가 가장 큰 시나리오의 설비투자에 대해 경제적 파급효과를 산업연관분석 방법론으로 분석하였다. 축산폐수 바이오가스 설비투자에 의한 산업 활동의 투입구조를 실사와 추정을 통해 파악하였으며, 산업연관표 산업 부문별로 최종수요를 도출하여 산업연관표를 재작성 하였다. 동 연구가 적용한 산업부문 분류 방식은 <표 2-18>과 같다. 최종적으로 외생화를 통하여 생산유발효과, 부가가치유발효과, 고용유발효과를 직접적·간접적으로 구분하여 파급효과를 산정하였다.

<표 2-18> 축산폐수 바이오가스의 산업분류

| 항목    | 세부항목     | 산업부문(대분류 기준) |
|-------|----------|--------------|
| 건설비   | 조사비      | 부동산/사업서비스    |
|       | 설계비      | 부동산/사업서비스    |
|       | 공사비      | 건설           |
| 부대비   | 환경 영향평가비 | 부동산/사업서비스    |
|       | 시공감리비    | 부동산/사업서비스    |
|       | 각종보험료    | 금융/보험        |
|       | 각종보험료    | 금융/보험        |
| 공과금 등 |          | 공공행정         |

출처: 박시용(2015)

류승우, 변재웅(2016)은 마분 및 음식물쓰레기를 이용한 전기와 수송 연료 생산이 지역 고용과 경제에 미치는 파급효과를 산업연관분석을 통해 분석하였다. 각 설비에 투입된 자금을 대한 투입계수의 산정을 위해 바이오에너지설비를 제작하는 업체의 대차대조표를 분석하여 돈의 흐름을 파악하여 투자된 자금이 어떤 산업에 얼마의 만큼 분배되는 것인가를 보는 투입비율을 산정하기 위한 근거로 사용하였다.<sup>22)</sup> 이를 토대로 각 해당 산업별 생산

22) 투입계수 도출을 위한 방법으로 선행 연구자 Cady et al. (1999)의 독일 제작용체의 음식 폐기물 및 축산분뇨 바이오 가스설비 건과 관련된 매입내역을 산업 군으로 분류하고 여기

유발계수, 부가가치유발계수, 취업유발계수, 고용유발계수를 파악한 다음 총 수요액을 곱하여 생산 유발액, 부가가치 유발액, 취업유발인원을 도출하였다. 동 연구에서 적용한 산업부문분류 방식은 <표 2-19>와 같다.

<표 2-19> 수송용 바이오가스 생산설비의 산업분류

| 항목     | 산업연관표(대분류 기준) | 출처                   |
|--------|---------------|----------------------|
| 탱크     | 금속제품          | cady et al(1999)     |
| 커브     | 금속제품          |                      |
| 고체분리기  | 일반기계          |                      |
| 기타장비   | 일반기계          |                      |
| 재료비    | 1차금속          |                      |
| 메탄포집기  | 전기 및 기타기기     | 수도권매립지관리공사<br>(2006) |
| 메탄정제공정 | 일반기계          |                      |
| 연료공급공정 | 금속제품          |                      |

출처: 류승우 등(2016)

강지은(2017)은 2014년 산업연관표를 활용하여 화력발전과 신재생 에너지원 간 생산유발효과, 부가가치유발효과, 취업유발효과, 공급지장효과, 물가과급효과 등을 비교분석하였다. 분석의 결과, 신재생에너지 발전이 생산, 부가가치, 취업, 공급지장 등에서 과급효과가 화력발전보다 큰 것으로 나타났다. 반면, 물가과급효과에서는 신재생에너지 발전이 화력발전보다 작은 것으로 분석되었다. <표 2-20>에는 바이오연료 관련 선행 연구 가운데 경제적 효과를 다룬 연구가 제시되어 있다.

---

에 국내 설비인 수도권매립지에서 발표한 바이오 가스 설비매입내역을 상호 대조하여 공통되는 부분을 같은 산업으로 묶고 이들이 속한 산업 군의 계수를 적용하였다.

<표 2-20> 바이오연료의 경제적 효과 관련 연구

| 연구자                | 연구대상                   | 연구방법                         | 주요 연구내용   |
|--------------------|------------------------|------------------------------|---|
| 에너지경제연구원<br>(2015) | 바이오중유                  | 비용편익 분석                      | 비용-편익요소를 바이오중유와 중유의 연료가격(원/리터)에 반영하여 연료가격비를 통해 경제성 평가   |
| 에코 네트워크<br>(2018)  | 바이오중유                  | 비용편익 분석                      | 중유발전소 대체에 따른 바이오중유 발전소별 경제성 평가                          |
| 박정순<br>(2009)      | 바이오디젤                  | 다지역 산업연관분석                   | 바이오디젤 보급 및 국산화 목표에 따른 작물 재배 면적 변화에 따른 산업별 파급효과 분석       |
| 정남영 등<br>(2010)    | 목재펠릿 발전소               | 비용편익분석                       | CO <sub>2</sub> 편익 등을 고려하여 목재펠릿 발전소의 경제성 분석             |
| 백민지 등<br>(2014)    | 바이오가스 공급               | 산업연관분석                       | 생산유발효과, 부가가치유발효과, 취업유발효과, 공급지장효과, 물가파급효과 분석             |
| 김태영 등<br>(2013)    | 해양 바이오에너지 연구개발사업       | 산업연관분석, 비용편익분석               | 조건부 가치측정법(CVM)으로 경제적편익 추정, 생산유발효과, 부가가치 유발효과, 취업유발효과 분석 |
| 배정환 등<br>(2015)    | 해양 바이오에너지 연구개발사업       | 산업연관분석, 비용편익분석, 온실가스감축 효과 분석 | 생산유발효과, 부가가치유발효과, 취업유발효과, 전후방연쇄효과 분석, 온실가스 감축효과 분석      |
| 박시용<br>(2015)      | 바이오가스 (축산폐수 이용)        | 산업연관분석, 비용편익분석               | 생산유발효과, 부가가치유발효과, 고용유발효과 분석                             |
| 류승우 등<br>(2016)    | 바이오가스 (음식물쓰레기 및 마분 이용) | 산업연관분석                       | 생산유발효과, 부가가치 유발효과, 취업유발효과 분석                            |
| 강지은 등<br>(2017)    | 신재생에너지, 화력발전           | 산업연관분석                       | 생산유발효과, 부가가치 유발효과, 취업유발효과 분석, 공급지장효과, 물가파급효과            |

### 3. 선행 연구와의 차별성

선행 연구를 종합하면 바이오중유 연구는 연료 품질 연구나 발전소 실증 분석 연구에 국한되어 있다. 선행 연구에서 상세히 다루지 않았지만 바이오중유는 타 바이오에너지원에 비해 연구 범위 및 방법론이 매우 한정적이다. 목재펠릿발전의 경우, 신재생에너지공급의무화제도(RPS) 이행효과, 경제성 분석, 활용방안 모색 등 다양한 분야로 연구가 이루어지고 있다(정남영 등, 2010). 수송용 바이오디젤을 다룬 연구도 환경·사회·경제적 효과 연구는 물론 보급정책과 제도 개선에 관한 연구, 원료의 잠재량 분석에 대한 연구 등이 진행되었다(강만옥, 2007; 박정순, 2009; 민경일, 박천규, 김재곤, 나병기, 2016). 연구자를 비롯하여 연구 분야 및 방법론이 제한적인 이유는 바이오중유가 시범보급단계에 머물고 있다는 점, 가용 자료 확보가 어려운 점 등으로 추정된다.

본 연구는 선행 연구의 한계를 극복하고 다음과 같은 차별성을 가진다. 먼저 바이오중유의 사회·경제적 파급효과 연구라는 주제를 다루면서 새로운 바이오연료의 연구 분야를 확장하고자 한다. 관련 선행 연구가 전혀 없기 때문에 새로운 연료가 기존 화석 연료를 대체함으로써 국내에 어떠한 파급효과를 일으키는지 정량적으로 검토할 필요가 있다. 특히 상용화라는 중대한 정책 의사결정을 앞둔 시점에서 REC 가중치 결정 등에 영향을 미치는 환경·사회·경제적 효과를 검증하는 것은 매우 중요하다. 바이오중유의 보급·확대 시나리오를 구성하고 시나리오별 파급효과를 분석함으로써 바이오중유 상용화에 대비하고자 하였다.

바이오중유의 생산과 발전의 실측조사(field survey)를 통해 비용 투입구조를 파악한 것도 본 연구의 주요 특징이다. 산업연관표 분류상에 존재하지

않는 산업 분류방법으로 산업연관표의 기본부문 산업 중 유사한 산업을 선정하여 산업연관표를 재분류 하거나, 산업별 거래에 대한 실측자료를 활용하여 해당 산업의 투입계수를 새로 구축하는 방법이 있다. 실측자료를 활용하는 방법은 자료 확보가 어렵지만, 파급효과의 신뢰성이 높고 다양한 분석을 시도할 수 있다는 장점이 있다(손희철, 2016). 본 연구에서는 실측조사 기반의 비용자료를 활용함으로써 연구 결과의 신뢰성과 정확성을 높이고자 하였다. 또한, 바이오중유 생산과 발전부문을 분리한 산업연관표는 향후 바이오중유에 관한 다방면의 효과분석 연구 수행에 기초자료로 활용할 수 있다.

바이오중유 발전의 환경 영향에 관해서는 에코네트워크(2017) 외에도 바이오중유발전소의 실증분석 연구에서 대기오염물질을 다루고 있다. 하지만 파일럿(pilot) 발전소를 대상으로 실험하였거나, 상용 발전소를 대상으로 분석한 경우에도 특정 시기에 짧은 시간동안 테스트하여 도출된 것으로, 외부 환경 영향을 배제하기 어렵다는 한계가 있다. 뿐만 아니라 모든 연구가 대기오염물질의 농도에 초점을 두고 있을 뿐, 총량이나 비용을 분석한 사례는 전혀 없다. 온실가스 저감효과도 바이오중유의 주요 특징 중 하나이나, 저감량과 저감비용을 추정한 연구 사례도 미흡하다.

바이오중유 발전소 운영의 궁극적 목적은 기존 중유 발전소에 비해 환경오염을 줄이는 것이므로, 보다 정확한 환경 영향의 규명이 필요하다. 이에 본 연구에서는 대기오염물질 분석을 위해 상용발전소의 굴뚝원격감시체계(CleanSYS)에 전송된 3년간의 자료를 수집함으로써 자료의 양과 질에 대한 신뢰도를 높였다. 중유발전소와 바이오중유발전소의 자료를 모두 수집함으로써 중유발전 대비 바이오중유발전의 저감효과를 명확히 분석하였다. 기존 연구에서 다루지 않았던 온실가스의 저감량을 추정하였으며, 환경 영향을 저감 비용으로 환산함으로써 연구결과의 활용도를 높였다.

## 제3장 바이오중유산업의 환경·사회·경제적 효과 분석방법

### 제1절 바이오중유산업의 사회·경제적 효과 분석방법<sup>23)</sup>

#### 1. 바이오중유산업의 유발효과 분석방법

##### 1.1 바이오중유산업의 유발효과 분석 개요

국가 경제적 파급효과를 분석할 때 산업연관분석(Input-Output Analysis, IO), 일반균형분석(Computable General Equilibrium, CGE), 사회계정행렬(Social Accounting Matrix, SAM) 등이 주로 이용된다. 이 가운데 산업연관분석은 거시적 분석 모형이 미치지 못하는 산업 간 연관 관계까지도 분석할 수 있으며, 최종수요가 국민경제에 미치는 각종 파급효과를 산업부문별로 나누어서 분석할 수 있기 때문에 경제계획의 수립과 예측 그리고 산업구조정책 방향 설정이나 조정 등에 유용한 분석 도구로 활용되고 있다(한국은행, 2014).

산업연관효과란 국민경제내의 각 산업들이 상호거래 관계를 토대로 직접·간접적으로 서로 관련을 맺고 있어 어느 한 산업에서 생긴 생산량의 변화가 여러 다른 산업의 생산 활동으로 파급되는 효과를 의미한다. 본 연구에서는 수요유도형모형을 이용해 다양한 산업연관효과 가운데 경제적 효과로 생산유발, 부가가치유발, 수입유발효과를 분석하고, 사회적 효과로 고용유발효과를 분석하였다. 또한, 산업 간 연쇄효과모형을 이용해 바이오중유산업의 전·후방연쇄효과를 분석하였다.

산업연관표의 일반적인 형식은 <그림 3-1>과 같다. 먼저 가로 방향으로

---

23) 산업연관분석해설(한국은행, 2014)을 바탕으로 작성하였다. 그외 출처는 별도 명기하였다.

보면,  $i$ 부문의 총산출액  $X_i$ 와 수입액  $M_i$ 를 합한 총공급액( $X_i+M_i$ )은 중간수요액인  $W_i(=\sum_{j=1}^n X_{ij})$ 만큼 자체부문 및 타 부문의 중간재로, 최종수요인  $Y_i(=C_i+I_i+E_i)$ 만큼 소비, 투자, 수출을 통해 최종재로 판매되었음을 나타낸다. 세로방향으로 보면,  $j$ 부문은  $X_j$ 만큼의 생산을 위해 중간투입인  $U_j(=\sum_{i=1}^n X_{ij})$ 만큼 자체부문 및 타 부문에서 원재료를 구입하였고, 부가가치인  $V_j(=R_j+S_j+D_j+T_j)$ 만큼 피용자보수, 영업잉여, 고정자본소모, 순생산물세 등 생산요소를 각각 구입하였음을 나타낸다.<sup>24)</sup>

---

24)  $n$ 개의 산업이 경제 내에 존재한다고 할 때, 생산된 재화들은 최종수요를 충족하기도 하고 다른 산업에 중간재로 사용되기도 한다. 중간재를  $Z$ 라 하고 아래에 첨자를 붙여서  $Z_{ij}$ 라고 표기하면 이는  $i$ 부문에서  $j$ 부문으로 투입되는 중간재의 양을 의미한다.

|                  |        | 내생부문     |     |          |     | 중간<br>수요계 | 외생부문  |       |       |       | 수입    | 총<br>산출액 |           |
|------------------|--------|----------|-----|----------|-----|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|-----------|
|                  |        | 1        | ... | j        | ... |           | n     | 소비    | 투자    | 수출    |       |          | 최종<br>수요계 |
| 내<br>생<br>부<br>문 | $I$    | $X_{I1}$ | ... | $X_{Ij}$ | ... | $X_{In}$  | $W_I$ | $C_I$ | $I_I$ | $E_I$ | $Y_I$ | $M_I$    | $X_I$     |
|                  | :      | :        | ... | :        | ... | :         | :     | :     | :     | :     | :     | :        | :         |
|                  | $i$    | $X_{i1}$ | ... | $X_{ij}$ | ... | $X_{in}$  | $W_i$ | $C_i$ | $I_i$ | $E_i$ | $Y_i$ | $M_i$    | $X_i$     |
|                  | :      | :        | ... | :        | ... | :         | :     | :     | :     | :     | :     | :        | :         |
|                  | $n$    | $X_{n1}$ | ... | $X_{nj}$ | ... | $X_{nn}$  | $W_n$ | $C_n$ | $I_n$ | $E_n$ | $Y_n$ | $M_n$    | $X_n$     |
|                  | 중간투입계  | $U_1$    | ... | $U_j$    | ... | $U_n$     |       |       |       |       |       |          |           |
| 외<br>생<br>부<br>문 | 피용자보수  | $R_1$    | ... | $R_j$    | ... | $R_n$     |       |       |       |       |       |          |           |
|                  | 영업잉여   | $S_1$    | ... | $S_j$    | ... | $S_n$     |       |       |       |       |       |          |           |
|                  | 고정자본소모 | $D_1$    | ... | $D_j$    | ... | $D_n$     |       |       |       |       |       |          |           |
|                  | 순간접세   | $T_1$    | ... | $T_j$    | ... | $T_n$     |       |       |       |       |       |          |           |
|                  | 부가가치계  | $V_1$    | ... | $V_j$    | ... | $V_n$     |       |       |       |       |       |          |           |
|                  | 총투입액   | $X_1$    | ... | $X_j$    | ... | $X_n$     |       |       |       |       |       |          |           |

〈그림 3-1〉 산업연관표의 기본구조

산업연관표 가운데 투입산출표는 각 상품의 생산과 사용내역을 「상품×상품」 행렬 형태로 나타낸 통계표이다. 세로 방향으로 보면 각 상품이 생산 활동을 하기 위하여 지출한 생산 비용의 구성, 즉 투입구조를 나타낸다. 투입구조는 중간재 투입을 나타내는 중간투입 부문과 임금, 이윤, 세금 등 본원적 생산요소의 구입비용을 나타내는 부가가치 부문으로 구성된다. 가로 방향으로 보면 각 상품이 어떤 상품에 얼마나 이용되었는지 또는 최종수요로 얼마나 사용되었는지를 알 수 있는데 이를 배분구조라고 한다. 배분구조는 다른 상품의 생산에 중간재로 사용되는 내역을 나타내는 중간수요 부문과 소비, 투자, 수출 등의 최종재로 판매되는 최종수요 부문으로 구성된다.



가장 최신의 산업연관표는 2016년에 공표된 2010년 기준의 2014년 연장표이다. 동 표는 기초가격 기준의 투입산출표와 구매자가격·기초가격 기준의 공급사용표만 제공하는데 이는 산업연관표에서 경제구조 및 산업연관효과 분석의 주 지표가 2009년까지는 생산자가격평가표였으나 2010 기준년표부터는 기초가격 평가표로 변경되었기 때문이다(통계청, 2017).<sup>25)</sup> 본 연구에서는 2014년 연장표 가운데 기초가격 기준의 비경쟁수입형표인  $(I - A^d)^{-1}$ 를 분석에 이용하였다.<sup>26)</sup> 비경쟁수입형표는 국산과 수입거래액을 구분하는 표로  $(I - A^d)^{-1}$ 를 이용하면 최종수요 발생에 따른 국내생산 유발효과와 이에 따른 수입 및 부가가치 유발효과를 보다 정확히 계측 할 수 있다.

산업연관모형을 활용하여 특정 산업의 경제적 파급효과를 분석할 때, 대상 산업을 내생부문으로 취급하는 방법과 외생부문으로 취급하는 방법이 있다. 분석 대상 산업을 내생부문으로 취급할 경우 전 산업의 최종수요가 한 단위 증가할 때 유발되는 직·간접 유발효과를 분석할 수 있으며, 산업 전반의 특성과 위치를 파악할 수 있고, 영향력계수 및 감응도계수를 통해 전·후방연쇄효과 분석이 가능하다. 분석 대상 산업을 외생부문으로 취급하면 자기산업부문의 직접 유발효과가 제외되므로 해당 산업의 산출이 한 단

25) 산업연관표는 가격 평가기준에 따라 구매자가격, 생산자가격, 기초가격으로 구분된다. 구매자가격은 유통마진을 포함한 가격을 의미하는데, 동일한 재화라 하더라도 수요부문에 따라 서로 다른 유통마진이 적용되기 때문에 그 차이만큼 산업연관효과가 다르게 난다. 생산자가격은 생산자의 출하가격을 의미 하며, 생산물세가 포함된다. 이로 인해 수요처에 따라 다른 세율이 적용되거나 한 부문에 세율이 다른 여러 품목을 포함하고 있을 때 파급효과 측정에 오류가 생길 수 있다. 기초가격은 생산자가격에서 순생산물세를 차감하여 생산자가 실제 수취하는 금액을 의미한다.

26) 한국은행에서는 5년 단위로 산업연관표 실측표를 작성하여 발표하고 연속성과 시의성을 제고하기 위해 연장표를 발표한다. 2016년 6월에 공표된 2014년 산업연관표가 가장 최근에 공표된 표이다. 2014년도 산업연관표는 2010년 실측표의 연장표로 국내 산업을 대분류 30개 부문, 소분류 161개 부문, 중분류 82개 부문, 기본부문 328개 부문으로 분류하고 있다. 상품분류 기준으로는 대분류 30개 부문, 소분류 161개 부문, 중분류 82개 부문, 기본부문 384개 부문으로 분류하고 있다.

위 증가할 때 타 산업에 미치는 영향을 보다 정확히 계측할 수 있다.

본 연구에서는 두 가지 방법을 모두 분석에 이용하였는데, 바이오중유산업을 별도 산업으로 분리한 후 내생부문으로 두고 전 산업부문의 유발효과를 분석함으로써 바이오중유산업의 특성을 파악하였다. 또한 바이오중유산업과 중유산업을 별도 산업으로 분리 한 후 각각에 따른 산업연관효과를 분석하고 이를 비교 분석함으로써 바이오중유산업의 순 파급효과를 도출하였다.

## 1.2 바이오중유산업의 유발효과 분석방법

바이오중유산업의 각종 유발효과를 분석하기 위해 사용하는 수요유도형 모형은 분석대상 부문이 타 산업의 생산, 부가가치, 고용유발에 미치는 영향을 분석할 수 있다. 투입산출표를 수요와 공급으로 보고 공급부문의 수입과 잔폐물을 상품의 총수요(=중간수요+최종수요)에서 차감하면 국내 총산출액이 되는데, 이러한 관계는 일련의 연립방정식 체계로 표시할 수 있다. 한 국가 경제가 n 개의 산업 부문으로 구성되어 있다고 가정하면, 투입산출표를 이용한 각 산업부문의 관계식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} X_{11} + X_{12} + \dots + X_{1j} + \dots + X_{1n} + Y_1 - M_1 - Z_1 &= X_1 \\ \vdots & \\ X_{i1} + X_{i2} + \dots + X_{ij} + \dots + X_{in} + Y_i - M_i - Z_i &= X_i \\ \vdots & \\ X_{n1} + X_{n2} + \dots + X_{nj} + \dots + X_{nn} + Y_n - M_n - Z_n &= X_n \end{aligned}$$

이때,  $X_{ij}$  : j부문 생산에 투입된 i부문의 크기

$X_i$  : i부문의 산출액

$Y_i$  : i부문의 최종수요액

$M_i$  : i부문의 수입액

$Z_i$  : i부문의 잔폐물발생액

위 수급방정식은 투입계수( $a_{ij}=X_{ij}/X_j$  :  $j$ 부분 1단위를 생산하기 위한  $i$ 부분의 투입단위)를 이용해 행렬식으로 표시하면 아래와 같다.

$$\begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1j} & \cdots & a_{1n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ a_{i1} & a_{i2} & \cdots & a_{ij} & \cdots & a_{in} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nj} & \cdots & a_{nn} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_1 \\ \vdots \\ X_i \\ \vdots \\ X_n \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} Y_1 \\ \vdots \\ Y_i \\ \vdots \\ Y_n \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} M_1 \\ \vdots \\ M_i \\ \vdots \\ M_n \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} Z_1 \\ \vdots \\ Z_i \\ \vdots \\ Z_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_1 \\ \vdots \\ X_i \\ \vdots \\ X_n \end{pmatrix}$$

이를 단순화하면 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} AX + Y - M - Z &= X \\ (1 - A)X &= Y - M - Z \end{aligned} \tag{1}$$

- 이때,  $A$  : 투입계수행렬
- $X$  : 산출벡터
- $Y$  : 최종수요벡터
- $M$  : 수입벡터
- $Z$  : 잔폐물발생액벡터
- $I$  : 단위행렬(주대각요소는 1, 그 밖의 요소는 0)

식 (1)을 전개하여  $X$ 에 대해 풀면 식 (2)와 같은 생산유발관계식이 도출된다. 이러한 식을 수요유도형모형이라고 하는데, 최종수요( $Y$ )를 충족하기 위해 필요한 산출량( $X$ )을 구할 수 있기 때문이다. 여기서  $(I - A)^{-1}$ 행렬을 생산유발계수라고 하며, 도출과정에서 역행렬이라고 하는 수학적 방법이 이용되므로 역행렬계수(inverse matrix coefficients) 또는 레온티에프 역행렬(Leontief inverse matrix)이라고도 한다.<sup>27)</sup>

27) 산업부문 수가 많아지는 경우 무한히 반복되는 생산유발효과를 투입계수를 이용해서 일일이 계산하는 것은 불가능한 일이다. 이러한 문제를 해결하기 위해 역행렬이라는 수학적 방법을 이용하여 생산유발계수(production inducement coefficients)를 도출하여 분석에 사용하게 된다.

$$X = (I - A)^{-1}(Y - M - Z) \quad (2)$$

생산유발계수는 최종수요가 한 단위 발생하였을 때 이를 충족시키기 위하여 각 산업부문에서 직·간접적으로 유발되는 생산액 수준을 나타낸다. 생산유발계수행렬을 나타내는 생산유발계수표는 <표 3-1>과 같이 표현되며, 행방향으로 보면  $r_{11}$ 은 1 산업부문 생산물에 대한 최종수요 한 단위 발생에 따라 유발되는 1 산업부문에서의 직·간접 생산과급효과를 나타낸다.  $r_{12}$ 와  $r_{13}$ 는 각각 2 산업부문, 3 산업부문의 생산물에 대한 최종수요 한 단위 발생에 따라 유발되는 1산업부문에서의 간접 생산과급효과를 나타낸다(한국은행, 2004).

<표 3-1> 생산유발계수표

| 구분  | 1산업      | 2산업      | 3산업      | 행합계   |
|-----|----------|----------|----------|-------|
| 1산업 | $r_{11}$ | $r_{12}$ | $r_{13}$ | $S_1$ |
| 2산업 | $r_{21}$ | $r_{22}$ | $r_{23}$ | $S_2$ |
| 3산업 | $r_{31}$ | $r_{32}$ | $r_{33}$ | $S_3$ |
| 열합계 | $R_1$    | $R_2$    | $R_3$    |       |

출처: 한국은행(2004)

본 연구에서 이용하는 비경쟁수입행표는 국산 거래표와 수입거래표의 수급방정식을 분리해서 표기할 수 있다. 국산 거래표에서는 수입을 0으로 취급하므로  $A^d X + Y^d - Z = X$ 가 성립한다. 여기서  $A^d$ 는 국산투입계수행렬을 의미한다. 국산거래표의 수급방정식을 최종 수요와 산출의 관계로 정리하면 식 (3)과 같다.

$$X = (I - A^d)^{-1}(Y^d - Z) \quad (3)$$

이때,  $X$  : 산출벡터

$A^d$  : 국산투입계수행렬

$Y^d$  : 국산품에 대한 최종수요벡터

$Z$  : 잔폐물발생액벡터

$I$  : 단위행렬(주대각요소는 1, 그 밖의 요소는 0)

산업연관표에서는 공급 능력이나 노동력 등은 충분하다는 가정 하에 최종수요의 발생이 국내생산을 유발하고 생산 활동이 부가가치를 창출하므로 결과적으로 최종수요의 발생이 부가가치 창출의 원천이라고 할 수 있다. 따라서 산업연관표를 이용하면 최종수요와 부가가치와의 기능적인 관계도 파악할 수 있다. 부가가치벡터를  $V$ , 부가가치율의 대각행렬을  $\widehat{A}^v$ 라고 하면,  $V = \widehat{A}^v X$ 가 성립한다. 이 식에 생산유발관계식  $X = (I - A^d)^{-1}(Y^d - Z)$ 을 대입하면 식 (4)의 부가가치유발관계식이 도출된다. 이 식에서  $\widehat{A}^v(I - A^d)^{-1}$ 는 부가가치유발계수를 나타내며, 이는 어떤 한 산업부문 생산물에 대한 최종수요가 한 단위 발생할 때 국가 경제 전체에서 직·간접적으로 유발되는 부가가치 단위를 의미한다.

$$V = \widehat{A}^v(I - A^d)^{-1}(Y^d - Z) \quad (4)$$

이때,  $V$  : 부가가치벡터

$\widehat{A}^v(I - A^d)^{-1}$  : 부가가치유발계수 행렬

$Y^d$  : 최종수요벡터

$Z$  : 잔폐물발생액벡터

각 품목부문의 생산 활동을 위하여 필요로 하는 중간재는 국산품뿐 아니

라 수입품에 의해서도 충당되므로 최종수요 발생에 따른 생산유발은 국산품 생산유발과 수입품 유발로 나누어진다. 따라서 최종수요와 생산 및 수입을 연결시켜 최종수요 발생에 따른 수입유발효과도 계측할 수 있다. 수입거래표에서는  $A^m X + Y^m = M$ 의 수급방정식이 성립하며, 이때  $A^m$ 는 수입투입계수행렬을 의미한다. 이 식에 생산유발관계식  $X = (I - A^d)^{-1}(Y^d - Z)$ 을 대입하면 식 (5)의 수입유발관계식이 도출된다. 이 식에서  $A^m(I - A^d)^{-1}$ 는 수입유발계수를 나타낸다. 수입유발계수는 어떤 품목부문의 국내생산물에 대한 최종수요가 한 단위 발생할 경우 국민경제 전체에서 직·간접적으로 유발되는 수입 단위를 나타낸다.

$$M = A^m(I - A^d)^{-1}(Y^d - Z) + y^m \quad (5)$$

- 이때,  $M$  : 수입벡터  
 $A^m$  : 수입투입계수행렬  
 $A^d$  : 국산투입계수행렬  
 $Y^d$  : 국산품에 대한 최종수요벡터  
 $Y^m$  : 수입품에 대한 최종수요벡터  
 $Z$  : 잔폐물발생액벡터

최종수요 발생이 생산을 유발하고 생산은 다시 노동수요를 유발한다. 이러한 원리에 기초하여 최종수요 발생에 따른 노동유발효과도 계측할 수 있다. 노동유발효과를 분석하는데 필요한 노동유발계수는 노동계수와 생산유발계수를 기초로 산출된다. 노동계수가 고용계수인지 취업계수인지에 따라 피용자 수를 기준으로 한 고용유발계수와 취업자(피용자, 자영업자 및 무급가족고용자 포함) 수를 기준으로 한 취업유발계수로 구분된다. 본 연구에서 활용하는 기업의 고용자 수는 자영업자 및 무급가족고용자를 제외한 고용인원을 의미하는 것이므로, 고용계수를 이용해 바이오중유산업의 산출액 10

익 원이 증가하였을 때 각 산업부문에 유발하는 고용창출 효과를 분석하였다.

고용계수는  $l_i = L_i/X_i$ 로 표시되며, 이때  $l_i$ 는  $i$ 부문 고용계수,  $L_i$ 는  $i$ 부문 노동 투입량,  $X_i$ 는  $i$ 부문의 총산출액을 의미한다. 고용계수의 대각행렬을  $\hat{l}$ 라고 하면 고용계수의 정의에 따라 고용량 벡터는  $L = \hat{l}X$ 가 된다. 고용계수의 도출을 위해 생산유발관계식  $X = (I - A^d)^{-1}(Y^d - Z)$ 을 대입하면 다음의 식 (6)을 도출할 수 있다.

$$L = \hat{l}(I - A^d)^{-1}(Y - Z) \quad (6)$$

이때,  $L$  : 고용자 수  
 $\hat{l}(I - A^d)^{-1}$  : 고용유발계수  
 $Y$  : 최종수요벡터  
 $Z$  : 잔폐물발생액벡터

## 2. 바이오중유산업의 전·후방 연쇄효과 분석방법

각 산업은 다른 산업의 생산물을 중간재로 구입(중간투입)하여 생산 활동을 하고 또 그 결과 생산된 생산물을 다른 산업에 중간재로 판매(중간수요)하는 활동을 통하여 상호의존관계를 갖게 된다. 각 산업 간의 상호의존관계의 정도를 중간투입률과 중간수요율의 크기로부터 파악할 수 있는데, 다른 산업의 생산에 중간재로 사용되는 정도를 나타내는 전방연쇄효과(forward linkage effects)는 중간수요율로, 다른 산업으로부터 중간재를 구매하는 정도를 나타내는 후방연쇄효과(backward linkage effects)는 중간투입률로 측정한다.

전방연쇄효과를 나타내는 계수로 감응도계수가 이용된다. 감응도계수가 1보다 큰 산업부문은 다른 산업으로부터의 영향을 크게 받는 감응도가 높은

산업이라 할 수 있고, 반대로 감응도계수가 1보다 작은 산업부문은 감응도가 낮은 산업부문이라 할 수 있다(Ide, 2007). 생산물의 최종수요가 각각 한 단위씩 발생할 때 어떤 산업이 받는 영향이 어느 정도인가를 나타내며, 그 산업의 생산유발계수의 가로 방향 합계를 모든 산업의 평균으로 나누어 구한다. 석유제품과 같이 그 제품이 각 산업부문에 중간재로 널리 사용되는 산업일수록 감응도계수가 크다. 감응도계수는 식 (7)로 도출된다.

$$r_j = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n b_{ij}}{\frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{b_{ij}}{n}} = \frac{n \sum_{i=1}^n b_{ij}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{b_{ij}}{n}} \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad (7)$$

이때,  $r_j$  :  $j$  산업의 감응도계수  
 $b_{ij}$  : 역행렬계수의 원소  
 $n$  : 산업부문 수

후방연쇄효과를 나타내는 계수로 영향력계수가 이용된다. 영향력계수가 1보다 큰 산업은 해당 산업의 수요 증가로 인해 전체 산업에 미치는 생산유발효과의 영향이 평균보다 큰 산업이고, 영향력계수가 1보다 작은 산업부문은 전체 산업에 미치는 영향이 평균보다 작은 산업이라는 것을 의미한다(Ide, 2007). 어떤 산업부문의 생산물에 대한 최종수요가 한 단위 발생할 때 모든 산업부문에 미치는 영향의 정도를 나타내며, 해당 산업 생산유발계수의 세로 방향 합계를 모든 산업의 평균 생산유발계수로 나누어 구한다. 철강 등과 같이 생산유발효과가 큰 산업부문일수록 영향력계수도 커진다. 영향력계수는 식 (8)로 도출된다.



$$e_j = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n b_{ij}}{\frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{b_{ij}}{n}} = \frac{n \sum_{i=1}^n b_{ij}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{b_{ij}}{n}} \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad (8)$$

이때,  $e_j$  :  $j$  산업의 영향력계수  
 $b_{ij}$  : 역행렬계수의 원소  
 $n$  : 산업부문 수

### 3. 바이오중유산업의 외생화 분석방법<sup>28)</sup>

산업연관분석에 있어 최종수요 대신 분석 대상부문 자체를 외생화 할 경우 내생적인 경제부문에 미치는 영향을 쉽게 살펴볼 수 있다. 내생변수와 외생변수가 분리되어 있지 않으면 다른 산업에 미치는 영향이 결국 자기 산업에 영향을 미치는 부분까지 포함하게 되어 중복산정의 오류를 범할 수 있기 때문이다(Miller&Blair, 2009). 산업연관표에서 분석 대상부문의 중간수요 원소(열벡터)와 중간투입(행벡터)을 내생부문에서 제거하여 외생부문으로 처리하고, 남은 내생부문을 이용하여 생산유발효과 등을 파악함으로써 이러한 문제를 해소할 수 있다. 이러한 방식을 ‘외생화(exogenous specification)’라고 한다. 바이오중유산업과 중유산업의 유발효과를 비교하기 위해 각 산업이 타 부문에 미치는 영향을 정확하게 계측할 필요가 있는데, 이때 최종수요 대신 바이오중유산업 또는 중유산업의 산출량을 독립변수로 설정한 외생화 모형을 이용하는 것이 효과적이다. 바이오중유산업과 중유산업의 외생화 분석방법은 동일하므로 바이오중유산업을 예로 들어 외생화 분석방법을

28) 외생화 절차는 노준현, 구영완, 김승년(2008), 손희철(2016), 이경실, 유승훈(2017)에 제시한 내용을 참조하여 작성하였다.

설명하면 다음과 같다.

바이오중유산업( $B$ )을 외생화한 행렬에는 ‘ $e$ ’ 라는 위첨자를 붙여  $X^e = (I - A^e)^{-1}(A_B^e X_B + Y^e - Z)$ 로 나타낼 수 있다. 여기서  $(I - A^e)^{-1}$  행렬은 바이오중유산업( $B$ )이 제거된 국산투입계수의 역행렬을 의미한다. 최종수요( $Y$ )와 잔폐물( $Z$ )의 변동이 없다고 가정하고 0을 대입하면 바이오중유산업( $B$ )에 의한 각 산업부문별 생산유발효과를 식 (9)와 같이 도출할 수 있다. 여기서  $A_B^e$ 는  $A$ 에서 바이오중유산업( $B$ )에 해당하는 열벡터만 추려낸 후 바이오중유산업( $B$ )에 해당하는 행의 값만 제거한 열벡터,  $\Delta X^e$ 는 바이오중유산업( $B$ )을 제외한 타 부문의 산출량 변동,  $(I - A^e)^{-1}A_B^e$ 는 바이오중유산업( $B$ )의 투자 혹은 산출 1원의 변화가 타 부문에 미치는 생산유발효과를 의미한다. 이 식을 이용하면 바이오중유산업( $B$ )의 산출량 변동( $\Delta X_B$ )이 타 부문의 산출량 변동( $\Delta X^e$ )에 미치는 영향을 분석할 수 있다.

$$\Delta X^e = (I - A^e)^{-1}(A_B^e \Delta X_B) \quad (9)$$

바이오중유산업( $B$ )을 제외한 타 부문의 부가가치 변화분으로 이루어진 열벡터를  $V^e$ 라고 할 때, 부가가치계수의 대각행렬에서 바이오중유산업( $B$ )의 행과 열을 제외하고 남은 행렬인  $\widehat{A}_v^e$ 를 만들 수 있다. 이 식에 생산유발계수  $(I - A^e)^{-1}(A_B X_B)$ 를 대입하면 식 (10)의 부가가치유발 관계식을 도출할 수 있다. 여기서  $\widehat{A}_v^e(I - A^e)^{-1}A_B^e$ 는 부가가치유발계수를 의미하며,  $(I - A^e)^{-1}$  행렬은 바이오중유산업( $B$ )이 제거된 국산투입계수의 역행렬,  $A_B^e$ 는 바이오중유산업의 국산투입계수 행렬을 의미한다.

$$\Delta V^e = \widehat{A}_v^e \Delta X^e = \widehat{A}_v^e (I - A^e)^{-1} (A_B^e \Delta X_B) \quad (10)$$

바이오중유 발전부문( $B$ )을 제외한 타 부문의 수입액 변화분으로 이루어진 열벡터를  $M^e$ 라고 하고 수입유발행렬을  $A_M^e$ 라고 할 때, 이 식에 생산유발계수  $(I - A^e)^{-1}(A_B X_B)$ 를 대입하면 식 (11)의 수입유발 관계식을 도출할 수 있다. 여기서  $A_M^e(I - A^e)^{-1}A_B^e$ 는 수입유발계수를 의미하며,  $(I - A^e)^{-1}$  행렬은 바이오중유 발전부문( $B$ )이 제거된 국산투입계수의 역행렬,  $A_B^e$ 는 바이오중유산업의 국산투입계수 행렬을 의미한다.

$$\Delta M^e = A_M^e \Delta X^e = A_M^e (I - A^e)^{-1} (A_B^e \Delta X_B) \quad (11)$$

바이오중유산업( $B$ )을 제외한 각 부문별 고용자 수를  $L_w^e$ 라 하고, 고용계수 대각행렬에서 바이오중유산업( $B$ )을 제외하고 남은 행렬을  $\widehat{l}_w^e$ 라 할 때, 생산유발효과처럼 바이오중유산업( $B$ )의 산출액이 미치는 고용유발효과를 분석하기 위해 바이오중유산업( $B$ )을 외생화 하면 식 (12)와 같이 표현된다. 여기서  $\widehat{l}^e(I - A^e)^{-1}$ 는 고용유발계수를 의미하며,  $(I - A^e)^{-1}$  행렬은 바이오중유산업( $B$ )이 제거된 국산투입계수의 역행렬,  $A_B^e$ 는 바이오중유산업의 국산투입계수 행렬을 의미한다.

$$L^e = \widehat{l}^e \Delta X^e = \widehat{l}^e (I - A^e)^{-1} (A_B^e \Delta X_B) \quad (12)$$

#### 4. 산업연관표 재구성 절차

본 연구에서 이용하는 2014년 산업연관표는 384개 상품으로 분류되며, 161 부문(통합소분류), 82 부문(통합중분류) 및 30 부문(통합대분류)으로 통합되어있다. 산업의 분류 또는 통합방식은 각종 승수의 크기에 영향을 주며, 결과적으로는 경제적 파급효과 측정결과에 영향을 미친다(류승우, 2016). 바이오중유산업과 중유산업의 파급효과를 분석하기 위해서는 이들이 독립적인 산업으로 구분되어 있어야 하는데, 현행 분류 체계상 가장 세분화된 분류에서도 이들 산업이 구분되어 있지 않다. 이에 바이오중유산업과 중유산업을 별도 산업으로 분리하기 위해 다음 다섯 단계의 산업연관표 재구성 과정을 거쳤다.

첫 번째 단계에서는 산업연관표에서 바이오중유산업과 중유산업을 포함하고 있는 기존 산업부문을 검토하였다. 바이오중유산업은 생산부문과 발전부문으로 구분하고, 선행 연구의 바이오디젤 산업부문분류를 참고하여 바이오중유생산부문이 대분류 기준 ‘화학제품(08)’에 속한 것으로 설정하였다.<sup>29)</sup> 바이오중유발전부문은 중유발전의 대체 역할을 하므로 중유발전이 속한 기본부문의 ‘화력발전(275)’, 대분류의 ‘전력, 가스 및 증기(016)’에 포함된 것으로 설정하였다. 중유산업의 경우 생산부문과 발전부문으로 구분하고, 한국은행의 산업(상품)분류별 정의를 참고하여 중유생산부문은 기본부문의 ‘중유(106)’, 대분류의 ‘석탄 및 석유제품(06)’로 분류하였으며, 발전부문은 기본부문의 ‘화력(275)’, 대분류의 ‘전력, 가스 및 증기(16)’

---

29) 심상렬, 오현영(2012)의 신재생에너지원의 산업부문분류표작성 연구에서는 2005 기준년 상품분류를 기반으로 원료 및 배분액을 고려하여 바이오디젤을 ‘석유화학기초제품(142)’으로 분류하였다. 2010 기준년 상품분류에서 ‘석유화학기초제품(142)’이 ‘지방족기초유분(111)’, ‘방향족기초유분(112)’으로 변경되었으므로 기본부문 분류는 기존 연구와 달리 기타화학제품(131)에 속하는 것으로 가정하였다.

로 분류하였다.

두 번째 단계에서는 바이오중유산업과 중유산업의 투입액과 고용자 수를 추정하였다. 바이오중유산업과 중유산업의 발전부문 투입액은 바이오중유발전소 이용률이 50% 이상인 3개사의 바이오중유발전소와 중유발전소를 대상으로 수집한 2015년 연간자료를 활용하였다. 바이오중유발전부문 투입액은 발전량을 기준으로 3개사 투입액을 5개사 투입액으로 확장하였다. 중유발전부문 투입액은 바이오중유발전소의 발전량과 동일한 발전량에 해당하는 투입액을 산출하기 위해 발전량 비율로 보정하였다.

바이오중유발전부문 투입액 가운데 가장 큰 비중을 차지하는 연료비는 신재생에너지보급통계의 바이오중유 사용량과 바이오중유 평균단가를 활용하여 추정하였으며, 중유의 연료비는 한국전력통계에 수록된 중유 사용량과 바이오중유의 구매 단가 차이를 통해 추정하였다. 바이오중유생산부문 투입액은 신재생에너지산업통계를 활용하여 초기투자비를 추정하였으며, 바이오중유생산업 관계자의 인터뷰와 원료별 단가, 원가구성비를 바탕으로 원료구매비와 유지보수비 등을 추정하였다.<sup>30)</sup>

고용유발효과를 분석하기 위해서는 고용자 수를 파악해야 하는데, 산업연관표에서 제공하는 부속표인 ‘고용표’에는 바이오중유 생산과 발전부문의 고용자 수가 별도로 분리되어 있지 않다. 이에 바이오중유생산부문의 고용자 수는 신재생에너지산업통계를 인용하였으며, 바이오중유발전부문과 중유발전부문의 고용자 수는 화력발전의 고용자 수에 중유발전소의 매출액 비중을 적용한 후 바이오중유발전소와 중유발전소가 동일하다고 가정하고

---

30) 신재생에너지산업통계, 신재생에너지보급통계는 한국에너지공단에서 발간한 자료를 인용하였으며, 바이오중유 평균단가, 바이오중유 원료 구성비 및 국산·수입산 비율은 한국석유관리원 내부자료를 인용하였다. 바이오중유의 생산 원가구성비는 공개가 어려워, 바이오디젤의 생산 원가 구성비와 동일하다는 가정하에 바이오디젤의 원가구성비(배정환, 2006) 자료를 활용하였다.

화력발전 고용자 수의 50%씩 바이오중유발전소와 중유발전소의 고용자수로 설정하였다.

세 번째 단계에서는 바이오중유산업과 중유산업의 투입액 항목과 산업연관표의 산업분류와 대응시켰다. 객관적인 기준으로 재분류하기 위해 바이오연료의 산업연관분석을 수행한 연구 사례의 산업 분류 기준 및 방법을 분석하였다. 제2장에서 다룬 배정환 등(2015), 박시용(2015), 류승우 등(2016)은 <표 2-17>, <표 2-18>, <표 2-19>과 같이 각각의 연구 대상 부문의 투입비용 항목을 산업연관표에 대응하였다. 투입비용 항목과 유사성이 높은 항목의 산업연관표 대응 방식을 요약하면 <표 3-2>와 같다. 선행 연구의 산업연관표 대응사례를 참고하여 바이오중유 생산과 발전부문의 투입항목별 대분류 기준을 설정하고, 선행 연구에 존재하지 않는 항목은 한국은행의 산업부문별 정의를 참고하였다.

<표 3-2> 선행 연구 산업연관표 대응부문 요약

| 투입항목                 | 산업연관표(대분류 기준 분류) |
|----------------------|------------------|
| 탱크, 커브, 연료공급공정       | 금속제품             |
| 공사비                  | 건설               |
| 수송, 보관, 관세           | 운송서비스            |
| 고체분리기, 메탄 정제공정, 기타장비 | 기계 및 장비          |
| 재료비                  | 1차금속제품           |

네 번째 단계에서는 산업연관표 상 바이오중유산업과 중유산업의 열벡터·행벡터를 국산거래표와 수입거래표로 구분하여 작성하였다. 열벡터는 내생부문인 중간투입계와 외생부문인 부가가치계로 구성되는데, 중간투입계 중 투입액은 산업연관표 분류 기준에 따라 작성하였으며, 나머지 순생산물세,

잔폐물발생액과 부가가치계는 기존 산업부문의 총 거래표상 총투입액에 대한 각각의 비율을 적용하였다. 즉, 바이오중유 생산부문은 총거래표 기본부문의 ‘석유화학기초제품’에 대한 중간투입내역 대비 순생산물세, 잔폐물 발생액, 부가가치계의 비율을 적용하였으며, 바이오중유발전부문과 중유발전부문은 총거래표 기본부문의 ‘화력발전’의 비율을 적용하였다.

행벡터인 배분액은 내생부문인 중간수요와 외생부문인 최종수요로 구성된다. 바이오중유의 수요(사용처)는 바이오중유발전부문이 유일하므로 바이오중유의 투입액 전액이 바이오중유발전부문에 배분되도록 하였으며, 동일한 원리로 중유 수입투입액 전액이 중유발전부문에 배분되도록 하였다. 바이오중유발전부문과 중유발전부문의 중간수요액은 바이오중유발전과 화력발전의 배분구조가 동일하다는 전제하에 각 부문의 중간수요계에 기본부문상 ‘화력발전’의 배분비율을 적용하여 추정하였다.

마지막 단계에서는 새롭게 구축한 산업부문의 거래액을 기존부문에서 차감하고 단일 산업으로 통합하였다. 즉, 바이오중유발전부문의 거래액은 ‘전력, 가스 및 증기’에서 차감하였으며, 바이오중유생산부문의 거래액은 ‘화학제품’에서 차감하였다. 중유발전부문은 ‘전력, 가스 및 증기’에서 차감하였으며, 중유생산부문은 수입거래표의 ‘석탄 및 석유제품’에서 차감하였다. 마지막으로 생산부문과 발전부문으로 구분된 각 산업을 단일산업으로 통합함으로써 바이오중유산업과 중유산업의 거래표를 구축하였다.

## 제2절 바이오중유발전의 환경 영향 분석방법

### 1. 대기오염물질 저감효과 분석방법

본 연구에서는 바이오중유산업의 환경 영향으로 바이오중유발전이 대기에 미치는 영향을 검증하였다. 화석 탄소의 연소과정 중 발생하는 오염물질이 산업·발전부문의 대기오염 및 온실가스 증가의 주요 원인으로 발전부문에 초점을 두고 분석을 진행하였다. 먼저 바이오중유발전의 환경 영향 중 대기오염물질의 분석대상은 황산화물, 질소산화물, 총먼지, 초미세먼지(PM-2.5)로 설정하고 농도, 배출량, 비용 측면에서 분석을 수행하였다.<sup>31)</sup>

대기오염물질 저감효과는 중유발전의 대기오염물질 배출량에서 바이오중유발전의 대기오염물질 배출량을 제외함으로써 산정 가능 하다. 각각의 대기오염물질 배출량을 산정하기 위하여 A사의 바이오중유발전소 1기와 중유발전소 1기의 굴뚝원격감시체계(CleanSYS)로 전송된 2015년~2017년 자료를 수집하였다. 외부영향을 최대한 배제하고자 용량이 동일하며 내구연한과 설비특성이 유사한 발전소를 선별하였다.

각 발전소에는 대기오염물질 방지시설로 먼지를 제거하기 위한 고효율 전기집진기가 설치되어 있으며, 질소산화물을 제거하기 위한 2단 연소설비(Over Fire Air Injection) 및 SCR(Selective Catalytic Reduction)이 설치되어 있으나, 황산화물을 제거하는 탈황설비는 설치되어있지 않다. 방지시설의 구성 및 운전 특성은 분석 결과에도 영향을 미치게 되는데, 대기오염물질의 측정기기가 방지시설 후단에 설치되어 있기 때문이다. 즉, 먼지와 황산화물

---

31) 본 연구에서는 PM-10 을 미세먼지, PM-2.5 를 초미세먼지로 정의하고, 2 차 생성계수를 통해 정량화가 가능한 PM-2.5 만을 분석 대상으로 하였다. 이하 초미세먼지는 PM-2.5 를 의미한다.



의 경우 방지시설을 통과한 이후 측정치를 비교하게 되므로 방지시설의 운영상태에 따라 분석결과가 달라질 수 있다는 한계가 존재한다.

굴뚝원격감시체계(CleanSYS) 전송항목은 황산화물·질소산화물 총먼지의 농도, 산소, 온도, 유량, 발전출력이다. 굴뚝원격감시체계(CleanSYS) 대상 시설의 데이터는 굴뚝에서 배출되는 오염물질을 연속자동측정기기를 통해 측정한다. 자료수집기(Data Logger)에서 수집한 5분 단위 자료를 생성하고, 이를 30분 자료로 환산한 뒤 해당데이터를 관제센터에 실시간 전송한다. 전송된 데이터를 기반으로 대기오염물질 배출량을 산정하기 위해서 30분 단위 배출가스 유량( $S_m^3$ )과 농도(ppm) 및 환산계수를 곱하였다(신원근, 2008; 한국환경공단 사업장대기오염물질관리시스템).<sup>32)</sup>

$$QC_i = (Q_1 C_1 + Q_2 C_2 + \dots + Q_n C_n) \times CF$$

이때,  $QC_i$  : 굴뚝원격감시체계(CleanSYS) 대상 배출시설의  $i$ 오염물질 배출총량(kg/월)

$Q$  : 총먼지( $mg/S_m^3$ ), 황산화물 농도(ppm), 질소산화물 농도(ppm)

$C_i$  : 30분 값에 해당하는 배출가스 유량( $S_m^3$ )

$CF$  : 환산계수

(먼지( $10^{-6}$ ), 황산화물( $64/22.4 \times 10^{-6}$ ), 질소산화물( $46/22.4 \times 10^{-6}$ ))

분석대상 발전소에는 초미세먼지 배출량을 측정할 수 있는 장비가 설치되어 있지 않아, 배출계수 법을 활용하여 초미세먼지 배출량을 산정하였다. 바이오중유와 중유에 따른 초미세먼지 배출계수가 부재하므로, 정부 보도자료 등에서 인용되고 있는 황산화물, 질소산화물, 총먼지에 대한 초미세먼지 전환계수를 적용하였다. <표 3-3>에 제시한 바와 같이 황산화물과 질소산화

32) 굴뚝자동측정기기(CleanSYS) 부착시설의 배출량 산정방법은 사업장대기오염물질관리시스템시스템(<https://www.stacknsky.or.kr/>) 및 신원근(2008)의 자료를 참고하였다.

물은 각 배출량의 34.5%, 7.9%가 초미세먼지 생성에 기여하며, 총먼지는 배출량의 79.25%가 초미세먼지(PM-2.5) 생성에 기여한다.<sup>33)</sup>

<표 3-3> 대기오염물질의 PM-2.5 전환계수

| 구분   | SOx <sup>1</sup> | NOx <sup>1</sup> | TSP <sup>2</sup> |
|------|------------------|------------------|------------------|
| 배출계수 | 0.345            | 0.079            | 0.7925           |

출처: 1. “올해 6월 한 달간 노후 석탄발전소 가동중단, 초미세먼지 저감효과로 나타나” (환경부, 2017년7월26일)

2. 대기오염물질 배출계수 자료집(국립환경과학원, 2015)

바이오중유발전의 대기오염물질 영향을 비용으로 환산하기 위해서는 대기오염물질별 비용 단가가 필요하다. 대기오염물질의 비용 단가는 국가 측면의 사회적 비용과 기업 측면의 저감 한계 비용으로 구분할 수 있으며, 사회적 비용<sup>34)</sup>에 관해서는 국내외 다수의 연구 사례가 있다. 비교적 최근에 진행된 연구 가운데 국내 문헌에 널리 인용되고 있는 비용 단가를 살펴보면 다음과 같다.

IMF(International Monetary Fund)는 에너지 세계의 개선의 필요성을 강조하면서 황산화물, 질소산화물, 초미세먼지의 피해비용 계수를 국가별로 제시하였다.<sup>35)</sup> 이 피해비용 계수는 석탄발전, 가스발전, 교통·가정 분야의 대기오염물질 배출로 인한 질병 발생 및 조기사망에 따른 비용을 포함하고

33) 황산화물과 질소산화물의 전환계수는 환경부 내부자료(2017년 8월 28일)를 인용하였다. 총먼지의 전환계수는 국립환경과학원(2015)의 대기오염물질 배출계수 자료집에 수록된 ‘에너지산업연소의 PM-2.5/TSP 평균 분율’을 인용하였다.

34) 사회적 비용은 경제 주체의 경제활동이 제 3자에게 긍정적 또는 부정적 영향을 미침에도 불구하고 이에 대한 충분한 평가와 보상을 하지 않을 경우 발생하게 된다. 예를 들면 발전소에서 황산화물을 배출하여 건물과 건강에 해로운 영향을 끼쳤을 경우 사회적 비용이 발생하였다고 할 수 있다(강만욱, 김용건, 허경선, 조정환, 이슬, 2012).

35) Parry et al.(2014)의 연구는 ‘미세먼지 저감 및 온실가스 감축을 위한 친환경 발전 방안(유승훈, 2017)’ 등 다수의 국회 자료에 인용되었다. 유승훈(2017)은 초미세먼지의 비용을 교통·가정 분야 기준인 545,623USD/ton으로 보았으나, 본 연구에서는 석탄화력 기준인 46,054USD/ton을 적용하였다.

있다. 동 연구에 따르면 우리나라의 발전부문(석탄화력)에서 발생하는 대기 오염물질당 사회적 비용은 2010년 기준 황산화물 35,228USD/ton, 질소산화물 25,439USD/ton, 초미세먼지 46,054USD/ton 이다(Parry, Heine, Lis, & Li., 2014).

강광규 등(2015)은 교통시설에서의 오염물질별 사회적 비용 추정연구 가운데 Ricardo-AEA(2014)의 자료(유럽 28개국 평균)를 활용하였으며, 기존 유럽 기반의 자료를 토대로 국내 자동차수, 인구수, 1인당 GDP 항목이 고려된 회귀분석을 통해 국내 여건을 고려한 사회적 비용을 추정하였다.<sup>36)</sup> 동 연구에서 제시한 대기오염물질당 사회적 비용은 황산화물 37,459천 원/ton, 질소산화물 45,971천 원/ton이며, 초미세먼지는 인구밀도에 따라 117,009천 원/ton~451,284천 원/ton 수준이다(강광규 등, 2015: 김유미, 2016에서 재인용).<sup>37)</sup>

선행 연구에서 제시한 비용계수 외에도 대기배출 부과금제도의 대기배출 부과금<sup>38)</sup>이나 사업장 대기오염물질 총량관리제의 대기오염물질 배출권 거래가격<sup>39)</sup>을 통해 기업 측면의 저감 비용을 환산할 수 있다. 이들 저감 비용을 요약하면 <표 3-4>와 같다.<sup>40)</sup>

---

36) 강광규 등(2015)의 연구는 질소산화물의 대기배출부과금과 관련한 환경부 보도자료(2018년 5월 4일) 등에 인용되었다.

37) 초미세먼지의 사회적 비용인 117,009천 원/ton은 150명/km<sup>2</sup>(시골) 기준이며, 451,285천 원/ton은 1,500명/km<sup>2</sup>(대도시) 기준이다. 대도시 기준은 서울의 인구밀도(16,154명/km<sup>2</sup>(통계청, 2017))와 유사한 수준이다.

38) 대기배출 부과금제도의 황산화물과 먼지의 대기배출 부과단가는 500천 원/ton, 770천 원/ton으로 1991년 「대기환경보전법」 제정 이후 유지되면서 현재의 방지기술 수준 및 오염물질 처리비용 등을 반영하지 못하고 있기 때문에 매우 낮게 설정되어 있다(환경부, 2018). 질소산화물 대기배출 부과단가는 대기환경보전법 시행령 개정(안)(입법예고 공고2018-322호)에서 2,130천 원/ton을 제시하였으며, 올해 내에 해당 항목이 신설될 예정이다.

39) 사업장 대기오염물질 총량관리제의 대기오염물질 배출권 거래는 수도권 일대 지역에 한정되어 있으며, 황산화물과 질소산화물의 거래만 이루어지고 있다. 2014년~2017년 월별 황산화물과 질소산화물 유상거래가격을 산술평균하면 각각 181천 원/ton, 306천 원/ton 수준이다.

<표 3-4> 대기오염물질 저감 비용 단가

(단위: 천 원/ton)

| 구분                               | SOx    | NOx    | TSP | PM-2.5  | 비고                                      |
|----------------------------------|--------|--------|-----|---------|---|
| Parry et al. (2014) <sup>1</sup> | 39,843 | 28,772 | -   | 52,087  | 1USD = 1,131원 적용 <sup>2</sup>           |
| 강광규 등 (2015) <sup>3</sup>        | 37,459 | 45,971 | -   | 451,284 | PM-2.5는 대도시 (1,500명/km <sup>2</sup> )기준 |
| 대기오염물질 배출권 거래가격 <sup>4</sup>     | 181    | 306    | -   | -       | 2014~2017년 평균                           |
| 대기오염물질 배출부과단가 <sup>5</sup>       | 500    | 2,130  | 770 | -       | -                                       |

주: 1. Getting energy prices right(IMF, 2014)

2. 한국은행 경제통계시스템(<http://ecos.bok.or.kr/>) 2015년 연평균 환율 기준

3. 환경영향평가 협의사업 환경편익/비용분석 연구(강광규 등, 2015: 김유미, 2016에서 재인용)

4. 사업장대기오염물질관리시스템(<https://www.stacknsky.or.kr/>)

5. 대기환경보전법 시행령 및 시행령 일부 개정(안) (입법예고 공고2018-322호)

## 2. 온실가스 저감효과 분석방법

발전용 바이오중유 사용에 따른 온실가스 저감효과는 크게 연료연소배출 부문과 공정배출 부문으로 구분된다. 전자는 탄소 중립의 관점에서 바이오매스 연소시에 CO<sub>2</sub> 배출량을 산정하지 않고, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O 배출량만 산정하는 국제적인 원칙에 따라 산정한 저감량이며, 후자는 배연탈황설비의 촉매제인 석회석 사용량 감소에 따라 저감되는 온실가스 저감량을 의미한다.

연료연소배출 부문은 ‘중유 전소 가정 시 온실가스 배출량 - 바이오중유 혼소 시 온실가스 배출량’ 으로 온실가스 저감량을 산출하였다. 중유발전

40) 본 연구에서는 계산의 용이성을 위해 물가상승분을 고려하지 않았다.

대비 바이오중유발전의 온실가스 저감효과를 산정하기 위해서 중유를 100% 전소할 경우를 가정하고 배출량을 산정하였다. 바이오중유의 사용은 중유발전과 동일한 발전량을 생산할 경우를 가정하고 이에 따른 온실가스 배출량을 산정한 뒤 중유 배출량에서 이를 제외하였다.

배출량 산정방법은 온실가스·에너지목표관리지침 [별표16]에 제시한 액체연료연소 배출량 산정 방법론과 동 지침에 수록된 연료별·등급별 배출계수 및 발열량을 활용하였다.<sup>41)</sup> 바이오중유 배출량은 액체바이오연료의 Tier 1(IPCC) 배출계수 및 발열량을 적용하였다.<sup>42)</sup> 아래 식은 액체연료연소의 배출량 산정방법론이며, <표 3-5>는 바이오중유와 중유의 기본계수를 정리한 것이다.

$$E_{i,j} = Q_i \times EC_i \times EF_{i,j} \times f_i \times GWP_i \times 10^{-6}$$

이때,  $E_{i,j}$  : 연료( $i$ )의 연소에 따른 온실가스( $j$ )의 배출량(tGHG)

$Q_i$  : 연료( $i$ )의 사용량(측정값, kℓ-연료)

$EC_i$  : 연료( $i$ )의 열량계수(연료 순발열량, MJ/L-연료)

$EF_{i,j}$  : 연료( $i$ )에 따른 온실가스( $j$ )의 배출계수(kgGHG/TJ-연료)

$f_i$  : 연료( $i$ )의 산화계수(CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O 는 미적용)

$GWP_i$  : 연료( $i$ )의 지구온난화지수(CO<sub>2</sub> : 1, CH<sub>4</sub> : 21, N<sub>2</sub>O : 310)

41) 중유 온실가스 배출량 산정을 위해 B-C 유의 Tier 1 배출계수와 Tier 2 발열량을 적용하였다. Tier 1 등급은 2006 IPCC 가이드라인의 배출계수 및 발열량을 의미하며, Tier 2 등급에서는 국가고유 배출계수 및 발열량을 의미한다.

42) 바이오중유에 적용 가능한 액체바이오연료의 Tier 2 발열량이 개발되어 있지 않기 때문에 Tier 1 발열량을 적용하였다. Tier 1 발열량의 단위 환산을 위해 「발전용 바이오중유 시범보급사업 추진에 관한 고시」에 제시한 바이오중유 최대기준 밀도(991(kg/m<sup>3</sup>))를 적용하였다.

<표 3-5> 바이오중유와 중유 사용에 따른 온실가스 배출계수

| 연료                 | 배출계수 (kgGHG/TJ) |                 |                  | 순발열량       | 산화계수 |
|--------------------|-----------------|-----------------|------------------|------------|------|
|                    | CO <sub>2</sub> | CH <sub>4</sub> | N <sub>2</sub> O |            |      |
| 바이오중유 <sup>1</sup> | 79,600          | 3               | 0.6              | 27.4 MJ/kg | 1.0  |
| 중유 <sup>2</sup>    | 77,400          | 3               | 0.6              | 39.2 MJ/l  | 1.0  |

출처: 「온실가스에너지 목표관리 운영 등에 관한 지침」 [별표20~22]

주: 1. 배출계수 및 발열량 Tier 1 적용(액체바이오연료 기준), CO<sub>2</sub> 배출계수를 활용하여 배출량 산정은 가능하나 배출량 보고 시 이를 제외함

2. 배출계수 Tier 1, 순발열량 Tier 2 적용(B-C 기준)

공정배출 부문의 온실가스 저감량은 바이오중유 발전량에 따른 석회석 절감량 비율을 적용하고, 여기에 석회석의 온실가스 배출계수를 곱하여 산정하였다. 바이오중유 발전량에 따른 석회석 절감량 비율은 에코네트워크(2018)가 제시한 15.023ton/MWh를 활용하였다.<sup>43)</sup> 배출량 산정방법론은 온실가스에너지 목표관리지침 [별표16]에 수록된 ‘탄산염의 기타 공정사용에 따른 배출량 산정 방법론’ Tier 1을 기반으로 하였으며, 배출계수 또한, 동 지침에 수록된 석회석의 Tier 1(IPCC) 배출계수를 활용하였다. 이때 석회석의 소성률은 100%로 가정하였다. 아래 식은 탄산염의 기타 공정사용에 따른 배출량 산정방법론이며, <표 3-6>은 탄산염 사용에 따른 온실가스 배출계수를 나타내고 있다.

43) 에코네트워크(2018)는 바이오중유 혼소 발전소를 대상으로 발전량, 혼소율, 석회석 투입량 등의 자료를 수집하고, 바이오중유 발전량과 석회석 절감량의 관계계수를 도출하였다.

$$E_i = \sum_i (Q_i \times EF_i)$$

이때,  $E_i$  : 탄산염( $i$ )의 기타 공정 사용에 따른 CO<sub>2</sub> 배출량(tCO<sub>2</sub>)

$Q_i$  : 해당 공정에서의 소비된 탄산염( $i$ )의 질량(ton)

$EF_{i,j}$  : 탄산염( $i$ ) 사용량 당 CO<sub>2</sub> 배출계수(tCO<sub>2</sub>/t-탄산염)

<표 3-6> 석회석의 사용에 따른 온실가스 배출계수

| 광물이름 | 탄산염( $i$ )        | 배출계수   | 단위                                    |
|------|-------------------|--------|---------------------------------------|
| 석회석  | CaCO <sub>3</sub> | 0.4397 | tCO <sub>2</sub> /t-CaCO <sub>3</sub> |

출처: 「온실가스에너지 목표관리 운영 등에 관한 지침」[별표16]

온실가스 저감효과를 사회적 비용으로 환산하기 위해 ‘온실가스 배출 저감량 × 온실가스 배출 단위당 사회적 비용’의 식을 정의하였다. 온실가스 저감량에 곱해지는 온실가스 배출 단위당 비용도 대기오염물질의 단위 비용과 같이 연구자마다 기준, 범위, 방법론이 상이하여 다양한 값이 존재한다. 국외 공신력 있는 기관에서 공표한 비용계수를 살펴보면 다음과 같다.

미국 연방정부는 환경규제의 비용효과 분석에 온실가스 감축 비용을 반영하기 위해 연방정부 차원에서 CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O 피해비용 계수를 개발하여 적용하고 있다. 이 피해비용 계수는 냉방비 증가, 농업 생산성의 변화치, 보건, 홍수 위험으로부터의 재산 피해 등 기후변화에 대한 종합적인 피해 비용을 포함하고 있다. 동 연구에서는 추정치가 할인율에 민감한 점을 고려하여 여러 개의 할인율(2.5%, 3%, 5%)에 따른 값을 제시하고 있으며, 중간치인 할인율 3% 기준의 2015년 CO<sub>2</sub> 피해비용 계수는 36USD/ton 이다(양명호, 이종희, 김영수, 2017; US Government, 2013).

한편, 미국 스탠포드 대학의 과학자 Moore와 Diaz(2015)는 미국 연방정부

가 제시한 사회적 비용이 과소 추정된 것으로 평가하면서 기후변화에 취약한 개발도상국의 기후변화 피해비용을 포함한 비용계수를 제시하였다. 동 연구에서 제시한 온실가스 배출에 대한 사회적 비용은 220USD/ton로 미국 연방정부가 제시한 값의 약 6배에 해당한다(Moore&Diaz, 2015; Than, 2015).<sup>44)</sup>

선행 연구에서 제시한 비용계수 외에도 국내 온실가스 배출권거래제의 온실가스 배출권 거래가격을 통해 비용으로 환산 가능하다. 온실가스 배출 단위당 저감 비용을 요약하면 <표 3-7>과 같다.

<표 3-7> 온실가스 저감 비용 단가

| 구분                            | 온실가스(천 원/ton) | 비고                            |
|-------------------------------|---------------|-------------------------------|
| 미국 연방정부(2013) <sup>1</sup>    | 40.7          | 1USD = 1,131원 적용 <sup>2</sup> |
| Moore&Diaz(2015) <sup>3</sup> | 248.8         | 1USD = 1,131원 적용 <sup>2</sup> |
| 온실가스 배출권 가격 <sup>4</sup>      | 22.0          | KAU17 거래가격 최빈값 기준             |

주: 1. Technical Support Document: Technical Update of the Social Cost of Carbon for Regulatory Impact Analysis Under Executive Order 12866(Interagency Working Group on Social Cost of Greenhouse Gases, US Government, 2013)

2. 한국은행 경제통계시스템(<http://ecos.bok.or.kr/>) 2015년 연평균 환율 기준

3. Nature Climate Change(Moore & Diaz, 2015)

4. 한국거래소(<http://marketdata.krx.co.kr/>)

44) Moore 와 Diaz(2015)은 기후 및 에너지 정책 제안에 널리 이용되고 있는 IAM(Integrated Assessment Model)의 수정모델을 사용하였다. 수정모델을 통해 시간이 지나면서 사회적 비용이 누적되는 점 등을 고려하여 사회적 비용에 반영하였다.





## 제4장 바이오중유산업의 사회·경제적 효과

### 제1절 산업연관표의 재구성

#### 1. 바이오중유산업의 산업연관표

산업연관분석을 이용해 사회·경제적 효과를 분석하기 위해서는 산업연관표에 분석대상 부문이 독립적으로 존재해야 한다. 본 연구에서는 30 부문(통합대분류)으로 구성된 2014년 산업연관표를 재구성하여 바이오중유산업과 중유산업의 파급효과 분석에 이용하였다. 바이오중유산업을 생산부문과 발전부문으로 구분하고 각 부문의 거래액 항목을 산업연관표의 산업분류와 대응시킨 결과는 <표 4-1> 및 <표 4-2>와 같다.

<표 4-1> 바이오중유생산부문 투입항목별 산업연관표 대응부문

| 투입항목       | 기본부문(코드)  | 대분류(코드)              |
|------------|---|----------------------|
| 공사비        | 건축보수(289)                                       | 건설(18)               |
| 초기 투자비     | 탱크, 배관 등<br>금속제 탱크 및 압력용기(180),<br>기타 금속제품(191) | 금속제품(10)             |
|            | 펌프, 기타 설비비<br>펌프 및 압축기(193),<br>기타 특수목적용기계(213) | 기계 및 장비(11)          |
|            | 케이블, 전기설비 등<br>전선 및 케이블(220)                    | 전기 및 전자기기(12)        |
| 원료비        | 식물성 유지<br>유지(050)                               | 농림수산물(01)            |
|            | 동물성유지<br>기타 기초유기화합물(115)                        | 음식료품(03)             |
|            | 공정부산물 등<br>기타 화학제품(131)                         | 화학제품(7)              |
| 음폐유        | 자원재활용서비스(286)                                   | 수도, 폐기물 및 재활용서비스(17) |
| 에너지·환경 처리비 | 전기, 가스 등<br>화력(275), 도시가스(279)                  | 전력, 가스 및 증기(16)      |
|            | 폐수처리비<br>수도(281),<br>하수 폐수 및 분뇨처리(283)          | 수도, 폐기물 및 재활용서비스(17) |

|     |     |                         |           |
|-----|-----|-------------------------|-----------|
| 수송비 | 수송비 | 연안 및 내륙수상<br>운송서비스(309) | 운송서비스(20) |
|-----|-----|-------------------------|-----------|

<표 4-2> 바이오중유발전부문의 투입항목별 산업연관표 대응부문

| 투입항목              | 기본부문(코드)             | 대분류(코드)   |                         |
|-------------------|----------------------|---|-------------------------|
| 초기<br>투자비         | 공사비                  | 건축보수(289)   | 건설(18)                  |
|                   | 탱크, 배관 등             | 금속제 탱크 및<br>압력용기(180)                             | 금속제품(10)                |
|                   | 펌프, 밸브,<br>소방설비 등    | 펌프 및 압축기(193),<br>기타 특수목적용기계(213)                 | 기계 및 장비(11)             |
|                   | 케이블, 정류기<br>제어반 등    | 전선 및 케이블(220)                                     | 전기 및 전자기기(12)           |
| 유지<br>보수비         | 요소수,<br>연료첨가제 등      | 기타 기초유기화합물(115),<br>기초무기화합물(117),<br>기타 화학제품(131) | 화학제품(7)                 |
|                   | 튜브 교체<br>비용          | 타이어 및 튜브(137)                                     |                         |
|                   | 설비 세정,<br>정비 비용 등    | 기계장비수리(379)                                       | 문화 및 기타<br>서비스(30)      |
| 에너지<br>·환경<br>처리비 | 전기, 스팀<br>비용 등       | 화력(275),<br>도시가스(279)                             | 전력, 가스 및<br>증기(16)      |
|                   | 발전용수<br>비용,<br>폐수처리비 | 수도(281),<br>하수 폐수 및 분뇨처리(283)                     | 수도, 폐기물 및<br>재활용서비스(17) |
| 연료비               | 바이오중유<br>구매          | 바이오중유 생산부문(신규)                                    | 바이오중유산업(신규)             |

<표 4-1> 및 <표 4-2>의 분류기준을 바탕으로 바이오중유산업 투입액을 산업연관표 대응 부문에 따라 분류하면 <표 4-3>의 거래내역이 나타난다. 각 부문별 중간투입액을 총투입액으로 나누면 동 표의 투입계수가 도출된다.<sup>45)</sup> 투입계수를 통해 바이오중유산업의 중간재 특성을 살펴보면 바이오중

45) 산업연관표에 확정된 값과 확정되지 않은 값이 혼재되어 있는 경우 정합성 유지를 위해 투입계(열방향)에서는 잔폐물발생 항목, 산출계(행방향)에서는 재고증감 항목을 정합성 유지를 위한 조정 항목으로 활용할 수 있다(이진면, 김제진, 이용호, 2014). 본 연구에서도 잔폐물발생 항목에서는 투입계와의 정합성을 확보하기 위해 오차를 보정하고 최종수요계 항목 내에 있는 재고증감 항목을 이용하여 산출계의 정합성을 확보할 수 있도록 조정하였다.

유산업의 생산품 한 단위를 생산하기 위해 음식료품 0.0436 단위, 화학제품 0.0869 단위, 금속제품 0.0099 단위, 자체부문인 바이오중유산업 0.3276 단위 등 총 0.5299 단위의 국산 중간재 투입이 필요하다. 또한, 수입품은 농림수산물 0.0789 단위, 화학제품 0.0366 단위 등 총 0.1160 단위의 수입 중간재 투입이 필요하다. 이때, 0.3541 단위의 부가가치가 창출되므로 국산 및 수입 중간투입계와 부가가치계의 합은 1.0 임을 확인하였다.

<표 4-3> 바이오중유산업의 거래내역과 투입계수

| 구분                    |                      | 거래내역 <sup>1</sup> (백만 원) |            | 투입계수       |            |
|-----------------------|----------------------|--------------------------|------------|------------|------------|
|                       |                      | 국산거래<br>내역               | 수입거래<br>내역 | 국산투입<br>계수 | 수입투입<br>계수 |
| 중간<br>투입 <sup>1</sup> | 농림수산물                | -                        | 45,764     | -          | 0.0789     |
|                       | 음식료품                 | 25,258                   | -          | 0.0436     | -          |
|                       | 화학제품                 | 50,366                   | 21,230     | 0.0869     | 0.0366     |
|                       | 금속제품                 | 5,745                    | -          | 0.0099     | -          |
|                       | 기계 및 장비              | 6,759                    | -          | 0.0117     | -          |
|                       | 전기 및 전자기기            | 875                      | -          | 0.0015     | -          |
|                       | 전력, 가스 및 증기          | 9,692                    | -          | 0.0167     | -          |
|                       | 수도, 폐기물 및 재활용서비스     | 7,961                    | -          | 0.0137     | -          |
|                       | 건설                   | 8,468                    | -          | 0.0146     | -          |
|                       | 운송서비스                | 1,556                    | -          | 0.0027     | -          |
|                       | 문화 및 기타 서비스          | 96                       | -          | 0.0002     | -          |
|                       | 바이오중유산업 <sup>2</sup> | 189,927                  | -          | 0.3276     | -          |
| 중간투입계 <sup>3</sup>    | 307,172              | -                        | 0.5299     | 0.1160     |            |
| 부가가치계                 | 205,270              |                          | 0.3541     |            |            |
| 총투입계                  | 579,677              |                          | 1.0000     |            |            |

- 주: 1. 바이오중유 생산부문과 발전부문의 거래내역 합계  
 2. 생산부문에서 생산된 바이오중유가 발전부문에 투입된 내역, 즉 연료비 의미  
 3. 순생산물세(+)와 잔폐물발생(-) 포함  
 4. 투입계수 = 거래액 ÷ 총투입계

바이오중유산업으로 통합한 생산부문과 발전부문은 ‘화학제품’ 과 ‘전력, 가스 및 증기’ 로부터 분리한 것이므로 기존 부문으로부터 바이오중유산업의 거래액을 차감해야 한다. 바이오중유산업의 생산부문 거래액은 ‘화학제품(08)’ 의 열과 행벡터로부터 차감하고, 바이오중유발전부문의 거래액은 ‘전력, 가스 및 증기(16)’ 의 열과 행벡터로부터 차감하였다. 이러한 과정을 거쳐 바이오중유산업을 별도 산업으로 분리한 31 부문의 산업연관표는 <표 4-4>와 같다.

<표 4-4> 바이오중유산업을 분리한 산업연관표(31부문)

| 구분 | 부문                       | 구분 | 부문               |
|----|--------------------------|----|------------------|
| 1  | 농림수산물                    | 17 | 수도, 폐기물 및 재활용서비스 |
| 2  | 광산물                      | 18 | 건설               |
| 3  | 음식료품                     | 19 | 도소매서비스           |
| 4  | 섬유 및 가죽제품                | 20 | 운송서비스            |
| 5  | 목재 및 종이, 인쇄              | 21 | 음식점 및 숙박서비스      |
| 6  | 석탄 및 석유제품                | 22 | 정보통신 및 방송 서비스    |
| 7  | 화학제품 <sup>1</sup>        | 23 | 금융 및 보험 서비스      |
| 8  | 비금속광물제품                  | 24 | 부동산 및 임대         |
| 9  | 1차금속제품                   | 25 | 전문, 과학 및 기술 서비스  |
| 10 | 금속제품                     | 26 | 사업지원서비스          |
| 11 | 기계 및 장비                  | 27 | 공공행정 및 국방        |
| 12 | 전기 및 전자기기                | 28 | 교육서비스            |
| 13 | 정밀기기                     | 29 | 보건 및 사회복지서비스     |
| 14 | 운송장비                     | 30 | 문화 및 기타 서비스      |
| 15 | 기타 생산업 제품 및 임가공          | 31 | 바이오중유산업          |
| 16 | 전력, 가스 및 증기 <sup>2</sup> |    |                  |

주: 1. 바이오중유생산부문을 제외한 잔여부문

2. 바이오중유발전부문을 제외한 잔여부문

## 2. 중유산업의 산업연관표

바이오중유산업의 산업연관표의 재구성 절차와 동일하게 중유산업의 산업연관표를 재구성하여 파급효과 분석에 이용하였다. 중유산업을 생산부문과 발전부문으로 구분하였는데, 중유의 국내 생산업은 없는 것으로 간주하고 전량 수입을 가정하였다. 중유생산 및 발전부문의 거래액 항목을 산업연관표의 산업분류와 대응시킨 결과는 <표 4-5> 및 <표 4-6>과 같다.

<표 4-5> 중유생산부문 투입항목별 산업연관표 대응부문

| 투입항목 | 기본부문(코드) | 대분류(코드)       |
|------|----------|---------------|
| 원료비  | 중유(106)  | 석탄 및 석유제품(06) |

<표 4-6> 중유발전부문의 투입항목별 산업연관표 대응부문

| 투입항목       |                | 기본부문(코드)                                    | 대분류(코드)              |
|------------|----------------|---|----------------------|
| 초기 투자비     | 탱크, 배관 등       | 금속제 탱크 및 압력용기(180)                          | 금속제품(10)             |
| 유지 보수비     | 요소수, 축매 등      | 기타 기초유기화합물(115), 기초무기화합물(117), 기타 화학제품(131) | 화학제품(7)              |
|            | 튜브 교체 비용       | 타이어 및 튜브(137)                               |                      |
|            | 석회석(탈황용) 구매비 등 | 석회 및 석고제품(151)                              | 비금속광물제품(08)          |
|            | 설비 세정, 정비 비용 등 | 기계장비수리(379)                                 | 문화 및 기타 서비스(30)      |
| 에너지·환경 처리비 | 전기, 스팀 비용 등    | 화력(275), 도시가스(279)                          | 전력, 가스 및 증기(16)      |
|            | 발전용수 비용, 폐수처리비 | 수도(281), 하수 폐수 및 분뇨처리(283)                  | 수도, 폐기물 및 재활용서비스(17) |
| 연료비        | 중유 구매          | 중유 생산부문(신규)                                 | 중유산업(신규)             |

<표 4-5> 및 <표 4-6>의 분류기준을 바탕으로 중유산업 투입액을 산업연관표 대응 부문에 따라 분류하면 <표 4-7>의 거래내역이 나타나며, 각 부문별 중간투입액을 총투입액으로 나누면 동 표의 투입계수가 도출된다. 투입계수를 통해 중유산업의 중간재 특성을 살펴보면 중유산업의 생산품 한 단위를 생산하기 위해 화학제품 0.0019 단위, 비금속광물제품 0.0018 단위, 자체부문인 중유산업 0.3446 단위 등 총 0.3702 단위의 국산 중간재 투입이 필요하다. 또한, 수입품은 석탄 및 석유제품 0.3441 단위 등 총 0.3442 단위의 수입 중간재 투입이 필요하다. 이때, 0.2856 단위의 부가가치가 창출되므로 국산 및 수입 중간투입계와 부가가치계의 합은 1.0 임을 확인하였다.

<표 4-7> 중유산업의 거래내역과 투입계수

| 구분                 |                   | 거래내역 <sup>1</sup> (백만 원) |         | 투입계수   |        |
|--------------------|-------------------|--------------------------|---------|--------|--------|
|                    |                   | 국산거래내역                   | 수입거래내역  | 국산투입계수 | 수입투입계수 |
| 중간투입 <sup>1</sup>  | 석탄 및 석유제품         | -                        | 128,747 | -      | 0.3441 |
|                    | 화학제품              | 696                      | -       | 0.0019 | -      |
|                    | 비금속광물제품           | 671                      | -       | 0.0018 | -      |
|                    | 금속제품              | 3,386                    | -       | 0.0090 | -      |
|                    | 전력, 가스 및 증기       | 3,737                    | -       | 0.0100 | -      |
|                    | 수도, 폐기물 및 재활용서비스  | 996                      | -       | 0.0027 | -      |
|                    | 문화 및 기타 서비스       | 23                       | -       | 0.0001 | -      |
|                    | 중유산업 <sup>2</sup> | 128,911                  | -       | 0.3446 | -      |
| 중간투입계 <sup>3</sup> |                   | 138,508                  | -       | 0.3702 | 0.3442 |
| 부가가치계              |                   | 106,859                  |         | 0.2856 |        |
| 총투입계               |                   | 374,127                  |         | 1.0000 |        |

- 주: 1. 중유 생산부문과 발전부문의 거래내역 합계  
 2. 수입한 중유가 발전부문에 투입된 내역, 즉 연료비 의미  
 3. 순생산물세(+)와 잔폐물발생(-) 포함  
 4. 투입계수 = 거래액 ÷ 총투입계

중유산업으로 통합한 중유생산부문과 중유발전부문은 ‘석탄 및 석유제품’ 과 ‘전력, 가스 및 증기’ 로부터 분리한 것이므로 기존 부문으로부터 중유산업의 거래액을 차감해야 한다. 중유산업의 생산부문 거래액은 ‘석탄 및 석유제품(06)’ 의 열과 행벡터로부터 차감하고, 중유발전부문의 거래액은 ‘전력, 가스 및 증기(16)’ 의 열과 행벡터로부터 차감하였다. 이러한 과정을 거쳐 중유산업을 별도 산업으로 분리한 31 부문의 산업연관표는 <표 4-8>과 같다.

<표 4-8> 중유산업을 분리한 산업연관표(31부문)

| 구분 | 부문                       | 구분 | 부문               |
|----|--------------------------|----|------------------|
| 1  | 농림수산물                    | 17 | 수도, 폐기물 및 재활용서비스 |
| 2  | 광산물                      | 18 | 건설               |
| 3  | 음식료품                     | 19 | 도소매서비스           |
| 4  | 섬유 및 가죽제품                | 20 | 운송서비스            |
| 5  | 목재 및 종이, 인쇄              | 21 | 음식점 및 숙박서비스      |
| 6  | 석탄 및 석유제품 <sup>1</sup>   | 22 | 정보통신 및 방송 서비스    |
| 7  | 화학제품                     | 23 | 금융 및 보험 서비스      |
| 8  | 비금속광물제품                  | 24 | 부동산 및 임대         |
| 9  | 1차금속제품                   | 25 | 전문, 과학 및 기술 서비스  |
| 10 | 금속제품                     | 26 | 사업지원서비스          |
| 11 | 기계 및 장비                  | 27 | 공공행정 및 국방        |
| 12 | 전기 및 전자기기                | 28 | 교육서비스            |
| 13 | 정밀기기                     | 29 | 보건 및 사회복지서비스     |
| 14 | 운송장비                     | 30 | 문화 및 기타 서비스      |
| 15 | 기타 생산업 제품 및 임가공          | 31 | 중유산업             |
| 16 | 전력, 가스 및 증기 <sup>2</sup> |    |                  |

주: 1. 중유생산부문을 제외한 잔여부문  
 2. 중유발전부문을 제외한 잔여부문



## 제2절 바이오중유산업의 사회·경제적 효과

### 1. 바이오중유산업의 유발효과

#### 1.1 바이오중유산업의 생산유발계수

바이오중유산업의 사회·경제적 효과는 자기산업에 미치는 효과와 타 산업에 미치는 효과의 합으로 구성된다. 자기산업에 미치는 효과란 1차적인 것으로 해당 산업의 생산, 부가가치, 고용 등이 활성화되는 효과를 의미한다. 타 산업에 미치는 효과는 2차적인 것으로 타 산업의 생산, 부가가치, 고용 등의 유발효과이다(김태영 등, 2013). 바이오중유산업과 타 산업부문과의 관계를 통해 바이오중유산업의 국민 경제적 위치와 특성을 파악하기 위해 외생화 모형을 이용하지 않고 바이오중유산업을 내생부문에 포함한 채 생산유발효과, 부가가치유발효과, 수입유발효과, 고용유발효과를 분석하였다.

2014년 산업연관표를 바탕으로 도출한 바이오중유산업의 생산유발계수와 부문별 총 생산유발계수는 <표 4-9>와 같다.<sup>46)</sup> 바이오중유산업(제31부문)의 수출 또는 소비가 1원 증가할 경우 각 산업부문에 미치는 간접적인 생산유발효과를 살펴보면 ‘7. 화학제품’이 0.1980원으로 가장 높았으며, ‘3. 음식료품’이 0.0809원으로 다음으로 높았다. 바이오중유 원료 관련 산업을 포함하고 있는 ‘7. 화학제품’, ‘3. 음식료품’의 생산유발효과가 높게 나타난 것으로 보아 바이오중유발전부문보다 바이오중유생산부문에서 더 큰 생산유발효과를 있는 것으로 보인다.

---

46) 산업×산업의 생산유발계수표에서 특정 부문의 열방향 합계를 구하면 해당부문의 생산물에 대한 최종수요가 한 단위 발생할 경우 국민경제 전체에 생산되어야 할 직·간접 산출액을 의미한다. 또한 특정 산업을 열 방향으로 본 각 항목별 수치는 특정 산업의 생산물에 대한 최종수요가 한 단위 발생하였을 때, 각 부문에서 직·간접적으로 생산되어야 할 산출액을 의미한다(한국은행, 2014).

반면, ‘02. 광산품’을 비롯한 27. 공공행정 및 국방’과 ‘28. 교육서비스’ 등의 서비스 산업의 생산유발효과는 매우 낮게 나타났다. 바이오중유 산업은 수출 또는 소비 한 단위를 포함하여 1.4871원의 직·간접 생산유발효과가 있는 것으로 분석되었다. 바이오중유산업의 한 단위 증가에 따른 직·간접 생산유발효과 1.4871원과 간접적인 생산유발효과 0.6320원을 합하면 2.1189원으로 국민경제 전체로 총 2.1189원의 직·간접 생산유발효과가 있는 것으로 나타났다.

각 산업별 생산유발계수의 열합계를 통해 해당 산업의 총 생산유발효과를 살펴보았다. ‘9.1차금속제품(2.4239원)’, ‘14.운송장비(2.4170원)’, ‘10.금속제품(2.3486원)’ 등 주로 제품의 가공도가 높은 공산품의 생산유발효과가 크게 나타났으며, ‘28.교육서비스(1.4081원)’, ‘06.석탄 및 석유제품(1.3135원)’의 유발효과는 낮게 나타났다. 바이오중유산업의 총 생산유발효과인 2.1189원은 31개 부문의 평균 생산유발계수 1.8984원에 비해 높은 수준으로 나타났다.

부문별 간접유발효과의 크기를 나타내는 생산우회도를 분석해보면 바이오중유산업은 30%로 평균대비 낮은 수준으로 나타났으며, 31개 부문 중 25위에 해당한다.<sup>47)</sup> 바이오중유산업의 총생산유발효과가 평균 이상이며, 31개 부문 중 8위를 차지하였으나, 생산우회도는 평균 이하로 하위권에 머물고 있다. 이는 바이오중유산업의 수요증가가 전 산업에 광범위한 파급효과를 미치기보다는 자기 부문 내 파급효과가 더 높다는 것으로 해석할 수 있는데, 본 연구에서 바이오중유 생산과 소비를 하나의 산업으로 통합하였기 때문에 자기 부문 내에서 중간재를 조달하는 비율이 높게 나타날 수밖에 없을 것으로 보인다.

---

47) 총생산유발효과 중 간접생산 유발효과의 비중을 ‘생산우회도’라고 한다. <표 4-3>에서는 ‘생산우회도’ 열에 해당한다.

<표 4-9> 산업부문별 생산유발계수

| 부문 | 부문               | 바이오중유<br>산업 <sup>1</sup> | 순위 | 총생산유발 <sup>2</sup> | 순위 | 생산<br>우회도 <sup>3</sup> |
|----|------------------|--------------------------|----|--------------------|----|------------------------|
| 1  | 농림수산물            | 0.0247                   | 10 | 1.8247             | 19 | 39%                    |
| 2  | 광산물              | 0.0007                   | 30 | 1.7233             | 22 | 42%                    |
| 3  | 음식료품             | 0.0809                   | 3  | 2.3246             | 4  | 48%                    |
| 4  | 섬유 및 가죽제품        | 0.0040                   | 24 | 2.0019             | 14 | 38%                    |
| 5  | 목재 및 종이, 인쇄      | 0.0068                   | 18 | 2.0886             | 10 | 38%                    |
| 6  | 석탄 및 석유제품        | 0.0221                   | 12 | 1.3135             | 31 | 21%                    |
| 7  | 화학제품             | 0.1980                   | 2  | 2.0897             | 9  | 32%                    |
| 8  | 비금속광물제품          | 0.0047                   | 22 | 2.1284             | 7  | 47%                    |
| 9  | 1차금속제품           | 0.0247                   | 9  | 2.4239             | 1  | 24%                    |
| 10 | 금속제품             | 0.0276                   | 7  | 2.3486             | 3  | 50%                    |
| 11 | 기계 및 장비          | 0.0280                   | 6  | 2.3072             | 5  | 49%                    |
| 12 | 전기 및 전자기기        | 0.0105                   | 14 | 1.8924             | 16 | 31%                    |
| 13 | 정밀기기             | 0.0015                   | 27 | 2.0652             | 12 | 49%                    |
| 14 | 운송장비             | 0.0031                   | 25 | 2.4170             | 2  | 44%                    |
| 15 | 기타 생산업 제품 및 임가공  | 0.0084                   | 16 | 2.0332             | 13 | 44%                    |
| 16 | 전력, 가스 및 증기      | 0.0450                   | 4  | 1.4504             | 27 | 16%                    |
| 17 | 수도, 폐기물 및 재활용서비스 | 0.0259                   | 8  | 1.9080             | 15 | 43%                    |
| 18 | 건설               | 0.0225                   | 11 | 2.2248             | 6  | 55%                    |
| 19 | 도소매서비스           | 0.0290                   | 5  | 1.8033             | 20 | 42%                    |
| 20 | 운송서비스            | 0.0206                   | 13 | 1.6581             | 25 | 36%                    |
| 21 | 음식점 및 숙박서비스      | 0.0050                   | 21 | 2.0864             | 11 | 51%                    |
| 22 | 정보통신 및 방송 서비스    | 0.0063                   | 19 | 1.8439             | 18 | 37%                    |
| 23 | 금융 및 보험 서비스      | 0.0100                   | 15 | 1.6882             | 23 | 33%                    |
| 24 | 부동산 및 임대         | 0.0050                   | 20 | 1.4145             | 29 | 27%                    |
| 25 | 전문, 과학 및 기술 서비스  | 0.0078                   | 17 | 1.6585             | 24 | 38%                    |
| 26 | 사업지원서비스          | 0.0043                   | 23 | 1.5349             | 26 | 33%                    |
| 27 | 공공행정 및 국방        | 0.0008                   | 29 | 1.4159             | 28 | 29%                    |
| 28 | 교육서비스            | 0.0001                   | 31 | 1.4081             | 30 | 29%                    |
| 29 | 보건 및 사회복지서비스     | 0.0010                   | 28 | 1.7702             | 21 | 43%                    |
| 30 | 문화 및 기타 서비스      | 0.0028                   | 26 | 1.8854             | 17 | 46%                    |
| 31 | 바이오중유산업          | 1.4871                   | 1  | 2.1189             | 8  | 30%                    |
|    | 합계(평균)           | 2.1189                   | -  | 1.8984             | -  | 38%                    |

- 주: 1. 생산유발계수표에서 바이오중유산업의 열벡터 추출  
 2. 생산유발계수 해당 부문 열방향 합계  
 3. 생산우회도 = (간접생산유발계수 ÷ 총생산유발계수) × 100

## 1.2 바이오중유산업의 부가가치유발계수

재화와 서비스에 대한 최종수요의 증가가 국내 생산을 유발하고, 국내 생산 활동은 부가가치 창출로 이어진다. 이러한 부가가치유발효과는 부가가치율에 생산유발계수를 적용하여 최종수요와 부가가치유발의 관계를 살펴봄으로써 파악할 수 있다. <표 4-10>은 31개 부문의 부가가치율과 부가가치유발효과를 도출한 결과이다.

부가가치율은 피용자보수, 영업잉여 등 부가가치액을 총 투입액으로 나눈 것으로, 총 산출액 단위당 부가가치 창출액을 의미한다. 중간재 투입률이 높은 산업일수록 부가가치율이 낮게 나타나는데, ‘6.석탄 및 석유제품(6%)’, ‘9.1차금속제품(14%)’, ‘3.음식료품(16%)’의 부가가치율이 낮게 나타났고, ‘24.부동산 및 임대(75%)’, ‘28.교육서비스(74%)’, ‘27.공공행정 국방(74%)’ 등 서비스업의 부가가치율은 높게 나타났다. 바이오중유산업의 부가가치율은 35%로 전 산업 평균인 40%보다 낮은 수준으로 도출되었다.

부가가치유발효과는 국산품에 대한 최종수요가 한 단위 발생할 때 경제 전체에서 직·간접적으로 유발되는 부가가치 단위를 나타낸다. 산업부문별 부가가치율과 부가가치유발효과의 상대적 크기 순위는 유사하게 나타났는데, 부가가치율이 높은 ‘24.부동산 및 임대’, ‘27. 공공행정 및 국방’는 부가가치유발효과가 큰 산업으로 나타났으며, 중간재 투입률이 높은 ‘6.석탄 및 석유제품(0.1665원)’, ‘16.전력, 가스 및 증기(0.4028원)’, ‘9.1차금속제품(0.4470원)’은 부가가치 유발효과가 낮게 나타났다. 바이오중유산업의 최종수요가 1원만큼 증가할 때 이를 충족시키기 위해 경제 전체에 발생하는 부가가치는 0.7029원으로 전 산업 평균인 0.6968에 비해 높게 나타났으며, 중간재 투입률은 산업 평균보다 높은 것으로 파악되었다.

<표 4-10> 산업부문별 부가가치유발효과

| 부문 | 부문               | 부가가치율 <sup>1</sup> | 순위 | 부가가치유발계수 <sup>2</sup> | 순위 |
|----|------------------|--------------------|----|-----------------------|----|
| 1  | 농림수산물            | 55%                | 7  | 0.8095                | 8  |
| 2  | 광산품              | 56%                | 6  | 0.8031                | 9  |
| 3  | 음식료품             | 16%                | 29 | 0.6702                | 20 |
| 4  | 섬유 및 가죽제품        | 23%                | 26 | 0.5646                | 26 |
| 5  | 목재 및 종이, 인쇄      | 27%                | 24 | 0.6370                | 22 |
| 6  | 석탄 및 석유제품        | 6%                 | 31 | 0.1665                | 31 |
| 7  | 화학제품             | 20%                | 28 | 0.5058                | 28 |
| 8  | 비금속광물제품          | 28%                | 22 | 0.6506                | 21 |
| 9  | 1차금속제품           | 14%                | 30 | 0.4470                | 29 |
| 10 | 금속제품             | 30%                | 19 | 0.6757                | 18 |
| 11 | 기계 및 장비          | 28%                | 21 | 0.6706                | 19 |
| 12 | 전기 및 전자기기        | 27%                | 23 | 0.5462                | 27 |
| 13 | 정밀기기             | 29%                | 20 | 0.6218                | 24 |
| 14 | 운송장비             | 22%                | 27 | 0.6334                | 23 |
| 15 | 기타 생산업 제품 및 임가공  | 42%                | 14 | 0.7642                | 14 |
| 16 | 전력, 가스 및 증기      | 27%                | 25 | 0.4028                | 30 |
| 17 | 수도, 폐기물 및 재활용서비스 | 46%                | 12 | 0.7693                | 13 |
| 18 | 건설               | 35%                | 18 | 0.7328                | 16 |
| 19 | 도소매서비스           | 51%                | 10 | 0.8387                | 6  |
| 20 | 운송서비스            | 36%                | 16 | 0.5682                | 25 |
| 21 | 음식점 및 숙박서비스      | 38%                | 15 | 0.7631                | 15 |
| 22 | 정보통신 및 방송 서비스    | 44%                | 13 | 0.8031                | 10 |
| 23 | 금융 및 보험 서비스      | 53%                | 8  | 0.8470                | 5  |
| 24 | 부동산 및 임대         | 75%                | 1  | 0.9270                | 1  |
| 25 | 전문, 과학 및 기술 서비스  | 57%                | 5  | 0.8258                | 7  |
| 26 | 사업지원서비스          | 67%                | 4  | 0.8789                | 4  |
| 27 | 공공행정 및 국방        | 74%                | 3  | 0.9014                | 2  |
| 28 | 교육서비스            | 74%                | 2  | 0.8904                | 3  |
| 29 | 보건 및 사회복지서비스     | 51%                | 9  | 0.7844                | 12 |
| 30 | 문화 및 기타 서비스      | 49%                | 11 | 0.7976                | 11 |
| 31 | 바이오중유산업          | 35%                | 17 | 0.7029                | 17 |
|    | 전 산업 평균          | 40%                | -  | 0.6968                | -  |

주: 1. 부가가치율 = (부가가치액 ÷ 총산출액) × 100

2. 부가가치유발계수 해당 부문 열방향 합계

### 1.3 바이오중유산업의 수입유발계수

각 부문의 생산 활동을 위하여 필요로 하는 중간재는 국산품뿐만 아니라 수입품에 의해서도 충당되므로 최종수요와 수입을 관련지어 최종수요 증가에 따른 수입유발효과를 계측할 수 있다(한국은행, 2014). <표 4-11>은 31개 부문의 수입투입률과 수입유발효과를 도출한 결과이다.

총 산출액에서 수입 중간재가 차지하는 비율을 의미하는 수입투입률은 중간재 수입 의존도가 클수록 높게 나타난다. 수입투입률이 높은 산업은 ‘6.석탄 및 석유제품’, ‘16.전력, 가스 및 증기’, ‘9.1 차 금속제품’ 과 같은 에너지 생산부문으로 나타났으며, ‘24.부동산 및 임대’, ‘28.교육서비스’, ‘2.광산품’ 은 수입투입률이 낮게 도출되었다. 바이오중유산업의 수입투입률은 12%로 전 산업 평균인 13% 보다 낮은 수준이며, 이는 31개 부문 중 13 위로 바이오중유산업의 수입의존도는 ‘11.기계 및 장비’, ‘8.비금속광물제품’ 과 유사한 수준으로 나타났다.

수입유발효과는 국산품에 대한 최종수요가 한 단위 발생할 때 경제 전체에서 직·간접적으로 유발되는 수입유발 단위를 의미한다. 산업부문별 수입투입률과 수입유발효과의 상대적 크기 순위는 유사하게 나타났는데, 수입투입률이 높은 ‘6.석탄 및 석유제품’, ‘16.전력, 가스 및 증기’ 의 수입유발효과는 각각 0.8159원, 0.5673원으로 매우 높게 나타났다. 수입투입률이 가장 낮은 ‘24.부동산 및 임대’ 의 수입유발효과는 0.0579로 가장 낮게 나타났다. 바이오중유산업의 유발효과는 0.2905원으로 평균인 0.2820원에 비해 높은 수준이었으며, 수입유발효과의 순위는 31개 부문 가운데 15위로 나타났다.

<표 4-11> 산업부문별 수입유발효과

| 부문 | 부문               | 수입투입률 <sup>1</sup> | 순위 | 수입<br>유발계수 <sup>2</sup> | 순위 |
|----|------------------|--------------------|----|-------------------------|----|
| 1  | 농림수산물            | 3%                 | 22 | 0.1710                  | 23 |
| 2  | 광산품              | 1%                 | 30 | 0.1648                  | 24 |
| 3  | 음식료품             | 14%                | 10 | 0.2983                  | 14 |
| 4  | 섬유 및 가죽제품        | 25%                | 4  | 0.4218                  | 6  |
| 5  | 목재 및 종이, 인쇄      | 17%                | 9  | 0.3545                  | 10 |
| 6  | 석탄 및 석유제품        | 75%                | 1  | 0.8159                  | 1  |
| 7  | 화학제품             | 24%                | 5  | 0.4849                  | 4  |
| 8  | 비금속광물제품          | 12%                | 12 | 0.3300                  | 11 |
| 9  | 1차금속제품           | 22%                | 6  | 0.5499                  | 3  |
| 10 | 금속제품             | 8%                 | 15 | 0.3266                  | 12 |
| 11 | 기계 및 장비          | 10%                | 14 | 0.3216                  | 13 |
| 12 | 전기 및 전자기기        | 27%                | 3  | 0.4476                  | 5  |
| 13 | 정밀기기             | 17%                | 8  | 0.3677                  | 8  |
| 14 | 운송장비             | 13%                | 11 | 0.3589                  | 9  |
| 15 | 기타 생산업 제품 및 임가공  | 5%                 | 18 | 0.2231                  | 17 |
| 16 | 전력, 가스 및 증기      | 45%                | 2  | 0.5673                  | 2  |
| 17 | 수도, 폐기물 및 재활용서비스 | 2%                 | 27 | 0.1819                  | 19 |
| 18 | 건설               | 5%                 | 21 | 0.2450                  | 16 |
| 19 | 도소매서비스           | 3%                 | 26 | 0.1422                  | 26 |
| 20 | 운송서비스            | 22%                | 7  | 0.3836                  | 7  |
| 21 | 음식점 및 숙박서비스      | 6%                 | 17 | 0.1989                  | 18 |
| 22 | 정보통신 및 방송 서비스    | 7%                 | 16 | 0.1763                  | 21 |
| 23 | 금융 및 보험 서비스      | 3%                 | 24 | 0.1020                  | 28 |
| 24 | 부동산 및 임대         | 1%                 | 31 | 0.0579                  | 31 |
| 25 | 전문, 과학 및 기술 서비스  | 5%                 | 19 | 0.1429                  | 25 |
| 26 | 사업지원서비스          | 3%                 | 25 | 0.1039                  | 27 |
| 27 | 공공행정 및 국방        | 2%                 | 28 | 0.0761                  | 30 |
| 28 | 교육서비스            | 1%                 | 29 | 0.0836                  | 29 |
| 29 | 보건 및 사회복지서비스     | 5%                 | 20 | 0.1733                  | 22 |
| 30 | 문화 및 기타 서비스      | 3%                 | 23 | 0.1788                  | 20 |
| 31 | 바이오중유산업          | 12%                | 13 | 0.2905                  | 15 |
|    | 전 산업 평균          | 13%                | -  | 0.2820                  | -  |

주: 1. 수입투입률 = (수입중간투입액 ÷ 총산출액) × 100

2. 수입유발계수 해당 부문 열방향 합계

#### 1.4 바이오중유산업의 고용유발계수

고용유발효과는 바이오중유산업에서 한 단위의 생산이 추가적으로 이루어질 때, 다른 산업의 고용이 얼마나 증가하느냐와 관련된 개념이다. 고용유발효과를 분석하기 위해서는 우선 고용계수를 구해야 하는데, 고용계수는 피용자수를 해당 산업의 총산출로 나누어줌으로써 산출된다.<sup>48)</sup>

31개 부문별 고용계수 및 고용유발효과는 <표 4-12>와 같이 도출되었다. 고용유발계수의 전 산업 평균은 8.50명/10억 원이며, 고용유발계수가 큰 부문은 ‘26.사업지원서비스(25.37명)’, ‘29.보건 및 사회복지서비스(16.66명)’ 등 주로 노동 투입을 많이 필요로 하는 서비스업의 고용유발효과가 크게 나타났다. 바이오중유산업은 10억 원의 생산액 증가를 통해 2.79명의 고용유발효과를 창출하는 것으로 나타났으며, 이는 ‘9.1 차금속제품(3.76명)’, ‘16.전력, 가스 및 증기(1.96명)’와 유사한 수준이다.

산출을 위해 직접 소요되는 인원인 고용계수를 고용유발계수와 비교하면 고용계수와 고용유발계수가 상대적으로 높은 서비스업의 경우 두 계수의 크기가 유사하게 나타났다. 이는 부문 내에서 직접적으로 고용하는 효과는 크지만, 생산 파급과정에서 간접적으로 고용을 유발하는 효과는 낮음을 의미한다. 직접 고용효과보다 간접적으로 고용을 유발하는 효과가 상대적으로 높은 부문은 ‘6.석탄 및 석유제품’, ‘9.1 차금속제품’ 등으로 자본집약적이고 중간재 수요가 높은 부분에 해당한다. 바이오중유산업의 고용유발계수는 고용계수의 약 4배로 간접적인 고용유발효과가 큰 산업에 속하는 것으로 나타났다.

---

48) 고용계수는 산업부문 생산물 한 단위(산출액 10억 원) 생산에 직접 필요한 임금근로자의 노동량을 나타낸 것이며, 고용유발계수는 고용계수 뿐만 아니라 생산 파급과정에서 간접적으로 필요한 노동량까지 포함한다.



<표 4-12> 산업부문별 고용유발효과(10억 원당 명)

| 부문 | 부문               | 고용계수 <sup>1</sup> | 순위 | 고용<br>유발계수 <sup>2</sup> | 순위 |
|----|------------------|-------------------|----|-------------------------|----|
| 1  | 농림수산물            | 1.86              | 25 | 4.49                    | 25 |
| 2  | 광산품              | 3.10              | 17 | 5.86                    | 23 |
| 3  | 음식료품             | 2.19              | 21 | 7.01                    | 18 |
| 4  | 섬유 및 가죽제품        | 3.35              | 16 | 7.65                    | 16 |
| 5  | 목재 및 종이, 인쇄      | 3.71              | 15 | 8.27                    | 13 |
| 6  | 석탄 및 석유제품        | 0.08              | 31 | 1.31                    | 31 |
| 7  | 화학제품             | 1.28              | 27 | 4.67                    | 24 |
| 8  | 비금속광물제품          | 2.03              | 23 | 6.16                    | 21 |
| 9  | 1차금속제품           | 0.77              | 28 | 3.76                    | 28 |
| 10 | 금속제품             | 2.15              | 22 | 6.13                    | 22 |
| 11 | 기계 및 장비          | 2.97              | 19 | 7.20                    | 17 |
| 12 | 전기 및 전자기기        | 1.53              | 26 | 4.26                    | 27 |
| 13 | 정밀기기             | 3.09              | 18 | 6.71                    | 19 |
| 14 | 운송장비             | 1.89              | 24 | 6.35                    | 20 |
| 15 | 기타 생산업 제품 및 임가공  | 6.02              | 9  | 10.30                   | 8  |
| 16 | 전력, 가스 및 증기      | 0.74              | 29 | 1.96                    | 30 |
| 17 | 수도, 폐기물 및 재활용서비스 | 4.07              | 14 | 7.85                    | 15 |
| 18 | 건설               | 5.89              | 10 | 10.17                   | 10 |
| 19 | 도소매서비스           | 8.33              | 7  | 12.65                   | 7  |
| 20 | 운송서비스            | 5.34              | 11 | 8.13                    | 14 |
| 21 | 음식점 및 숙박서비스      | 8.69              | 6  | 12.67                   | 6  |
| 22 | 정보통신 및 방송 서비스    | 4.94              | 13 | 10.26                   | 9  |
| 23 | 금융 및 보험 서비스      | 5.17              | 12 | 9.65                    | 12 |
| 24 | 부동산 및 임대         | 2.39              | 20 | 4.40                    | 26 |
| 25 | 전문, 과학 및 기술 서비스  | 9.62              | 5  | 12.88                   | 5  |
| 26 | 사업지원서비스          | 22.49             | 1  | 25.37                   | 1  |
| 27 | 공공행정 및 국방        | 7.86              | 8  | 10.11                   | 11 |
| 28 | 교육서비스            | 11.76             | 3  | 13.69                   | 4  |
| 29 | 보건 및 사회복지서비스     | 13.54             | 2  | 16.66                   | 2  |
| 30 | 문화 및 기타 서비스      | 10.30             | 4  | 13.97                   | 3  |
| 31 | 바이오중유산업          | 0.70              | 30 | 2.79                    | 29 |
|    | 전 산업 평균          | 5.09              | -  | 8.50                    | -  |

주: 1. 고용계수 = 피용자수(상용자 및 임시·일용직) ÷ 산출액

2. 고용유발계수 해당 부문 열방향 합계

## 2. 바이오중유산업의 전후방 연쇄효과 분석

### 2.1 바이오중유산업의 감응도계수

모든 산업부문이 생산물에 대한 수요가 각각 한 단위씩 발생할 때, 중간재로 사용되는 산업의 중간재 공급이 증가하게 되는데, 이때 중간재 산업이 받는 영향 정도를 나타내는 것이 감응도계수, 즉 전방연쇄효과이다. <표 4-13>에 제시한 바와 같이 감응도계수가 가장 큰 부문은 ‘7.화학제품(2.0400)’이며, ‘9.1차금속제품(1.9937)’이 뒤를 이었다. 주로 타 산업의 중간재로 사용되는 부문들이 높은 값을 차지하고 있음을 알 수 있다. 바이오중유산업의 전방연쇄효과는 0.7874단위로 31부문 중 23위를 해당하며, ‘17.수도, 폐기물 및 재활용서비스(0.7393)’, ‘8.비금속광물제품(0.7518)’의 감응도계수와 유사한 수준으로 나타났다. 바이오중유발전부문이 추출된 ‘16.전력, 가스 및 증기’와 바이오중유생산부문이 추출된 ‘7.화학제품’의 감응도 계수는 2.0400단위, 1.3641단위로 모두 평균보다 높은 수준인 것과 대비된다.

바이오중유산업의 감응도계수가 전 산업 평균(1.0)보다 낮다는 것은 바이오중유산업이 타 산업의 중간재로 활용되는 정도가 상대적으로 낮음을 의미한다. 이는 본 연구에서 바이오중유 생산부문과 발전부문을 바이오중유산업으로 통합함으로써 발생하는 현상으로 추정된다. 바이오중유생산부문의 생산품인 바이오중유가 바이오중유발전부문에 전량 배분되는 구조이기 때문이다. 중유산업을 포함하고 있는 ‘6.석탄 및 석유제품’의 감응도계수는 1.2551단위로 평균 이상인 것을 고려할 때 바이오중유를 발전용으로 제한하지 않고, 일반 중유의 대체재로써 이용할 수 있도록 한다면 감응도계수가 향상될 것으로 예상된다.

<표 4-13> 바이오중유산업의 감응도계수(전방연쇄효과)

| 부문 | 부문               | 감응도계수  | 순위 |
|----|------------------|--------|----|
| 1  | 농림수산물            | 0.9614 | 14 |
| 2  | 광산품              | 0.5828 | 31 |
| 3  | 음식료품             | 1.1245 | 9  |
| 4  | 섬유 및 가죽제품        | 0.8650 | 21 |
| 5  | 목재 및 종이, 인쇄      | 0.9598 | 15 |
| 6  | 석탄 및 석유제품        | 1.2551 | 6  |
| 7  | 화학제품             | 2.0400 | 1  |
| 8  | 비금속광물제품          | 0.7518 | 24 |
| 9  | 1차금속제품           | 1.9937 | 2  |
| 10 | 금속제품             | 1.0800 | 10 |
| 11 | 기계 및 장비          | 0.9263 | 17 |
| 12 | 전기 및 전자기기        | 1.2318 | 7  |
| 13 | 정밀기기             | 0.6395 | 27 |
| 14 | 운송장비             | 0.9293 | 16 |
| 15 | 기타 생산업 제품 및 임가공  | 0.9977 | 13 |
| 16 | 전력, 가스 및 증기      | 1.3641 | 4  |
| 17 | 수도, 폐기물 및 재활용서비스 | 0.7393 | 25 |
| 18 | 건설               | 0.6103 | 28 |
| 19 | 도소매서비스           | 1.6429 | 3  |
| 20 | 운송서비스            | 1.2874 | 5  |
| 21 | 음식점 및 숙박서비스      | 0.8715 | 20 |
| 22 | 정보통신 및 방송 서비스    | 1.0785 | 11 |
| 23 | 금융 및 보험 서비스      | 1.2047 | 8  |
| 24 | 부동산 및 임대         | 0.9103 | 18 |
| 25 | 전문, 과학 및 기술 서비스  | 0.9077 | 19 |
| 26 | 사업지원서비스          | 0.8337 | 22 |
| 27 | 공공행정 및 국방        | 0.5908 | 29 |
| 28 | 교육서비스            | 0.5350 | 32 |
| 29 | 보건 및 사회복지서비스     | 0.5850 | 30 |
| 30 | 문화 및 기타 서비스      | 0.7128 | 26 |
| 31 | 바이오중유산업          | 0.7874 | 23 |
|    | 평균               | 1.0000 | -  |

## 2.2 바이오중유산업의 영향력계수

모든 산업부문에서는 생산물에 대한 최종수요가 한 단위씩 추가적으로 발생할 때, 중간재로 사용되는 산업의 중간재 공급이 증가하게 되는데 이때, 중간재 산업이 받는 영향 정도를 나타내는 것이 영향력계수이다. 부문별 영향력계수는 생산유발계수표 각 부문의 열방향 합계를 열방향 평균값으로 나누어 도출하며, 영향력계수를 통해 후방연쇄효과를 파악할 수 있다.

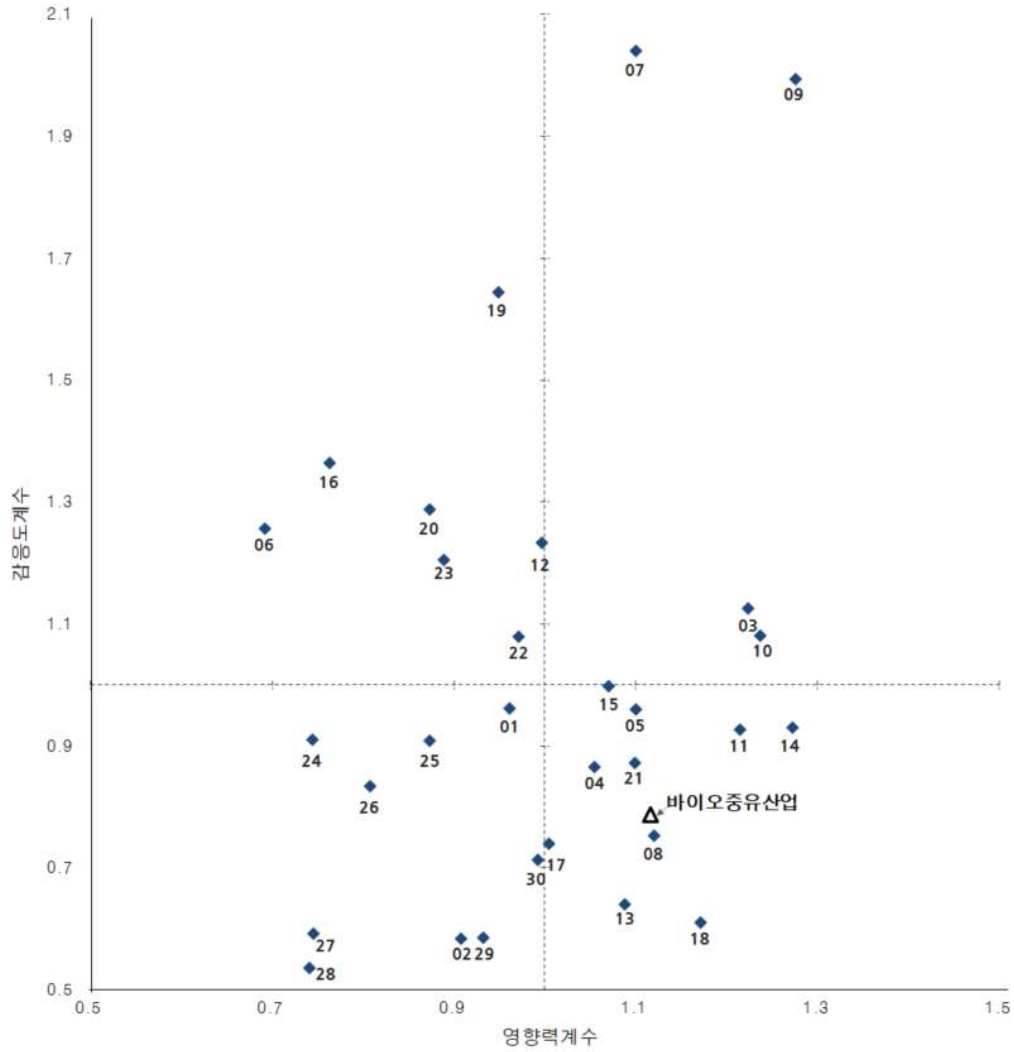
<표 4-14>는 바이오중유산업을 구분한 산업연관표를 바탕으로 영향력계수를 분석한 결과이다. 영향력계수의 크기는 ‘9.1차금속제품(1.2768)’의 크기가 가장 크고, ‘14.운송장비(1.2731)’, ‘10.금속제품(1.2371)’의 순서로 크게 나타났다. 바이오중유산업의 후방연쇄효과는 31부문 중 8위로 전 산업 평균(1.0)보다 높은 1.1161단위로 나타났으며, ‘7.화학제품(1.1007)’, ‘8.비금속광물제품(1.1211)’의 영향력계수와 유사한 수준으로 나타났다. 이는 바이오중유산업에서 타 산업의 중간재를 활용하는 정도가 상대적으로 높다는 것을 의미한다. 바이오중유생산부문이 추출된 ‘7.화학제품(1.1007)’은 평균보다 높은 수준이었으나, 바이오중유발전부문이 추출된 ‘16.전력, 가스 및 증기(0.7640)’는 평균 이하의 수준으로 바이오중유산업보다 낮은 것으로 나타났다.

<표 4-14> 바이오중유산업의 영향력계수(후방연쇄효과)

| 부문 | 부문               | 영향력계수  | 순위 |
|----|------------------|--------|----|
| 1  | 농림수산물            | 0.9611 | 20 |
| 2  | 광산품              | 0.9078 | 23 |
| 3  | 음식료품             | 1.2245 | 4  |
| 4  | 섬유 및 가죽제품        | 1.0545 | 14 |
| 5  | 목재 및 종이, 인쇄      | 1.1002 | 10 |
| 6  | 석탄 및 석유제품        | 0.6919 | 32 |
| 7  | 화학제품             | 1.1007 | 9  |
| 8  | 비금속광물제품          | 1.1211 | 7  |
| 9  | 1차금속제품           | 1.2768 | 1  |
| 10 | 금속제품             | 1.2371 | 3  |
| 11 | 기계 및 장비          | 1.2153 | 5  |
| 12 | 전기 및 전자기기        | 0.9968 | 17 |
| 13 | 정밀기기             | 1.0878 | 12 |
| 14 | 운송장비             | 1.2731 | 2  |
| 15 | 기타 생산업 제품 및 임가공  | 1.0710 | 13 |
| 16 | 전력, 가스 및 증기      | 0.7640 | 28 |
| 17 | 수도, 폐기물 및 재활용서비스 | 1.0050 | 15 |
| 18 | 건설               | 1.1719 | 6  |
| 19 | 도소매서비스           | 0.9499 | 21 |
| 20 | 운송서비스            | 0.8734 | 26 |
| 21 | 음식점 및 숙박서비스      | 1.0990 | 11 |
| 22 | 정보통신 및 방송 서비스    | 0.9713 | 19 |
| 23 | 금융 및 보험 서비스      | 0.8892 | 24 |
| 24 | 부동산 및 임대         | 0.7451 | 30 |
| 25 | 전문, 과학 및 기술 서비스  | 0.8736 | 25 |
| 26 | 사업지원서비스          | 0.8085 | 27 |
| 27 | 공공행정 및 국방        | 0.7458 | 29 |
| 28 | 교육서비스            | 0.7417 | 31 |
| 29 | 보건 및 사회복지서비스     | 0.9324 | 22 |
| 30 | 문화 및 기타 서비스      | 0.9931 | 18 |
| 31 | 바이오중유산업          | 1.1161 | 8  |
|    | 평균               | 1.0000 | -  |

앞서 살펴본 감응도계수(전방연쇄효과)와 영향력계수(후방연쇄효과)의 상대적 크기에 따라 산업부문을 4가지 유형으로 분류할 수 있다. 전·후방 연쇄효과가 모두 높으면 중간수요적 생산업형(intermediate manufacture)으로 분류하며, 일반적으로 화학, 철강 등 원재료 생산업이 포함된다. 후방 연쇄효과가 높고 전방연쇄효과가 낮으면, 최종수요적 산업형(final manufacture)으로 자동차, 건설 등 최종재 생산업이 포함된다. 전방 연쇄효과가 높고 후방연쇄효과가 낮으면 중간수요적 원시 산업형(intermediate primary production)이며, 상업, 서비스 등 타 산업부문에 서비스를 제공하는 산업이 포함된다. 전·후방 연쇄효과가 모두 낮으면 최종수요적 원시 산업형(final primary production)으로 분류되며, 전력, 가스, 농업 등이 포함된다(권승문, 김하나, 전의찬, 2016).

전방연쇄효과를 세로축으로 설정하고 후방연쇄효과를 가로축으로 설정한 뒤 31부문을 4사분면에 표시하면 <그림 4-1>와 같다. 중간수요적 생산업형(intermediate manufacture), 최종수요적 산업형(final manufacture) 중간수요적 원시 산업형(intermediate primary production), 원시 산업형(final primary production)은 각각 1사분면, 2사분면, 3사분면, 4사분면에 위치하고 있다. 바이오중유산업은 2사분면에 위치하고 있으며, 후방연쇄효과가 높고 전방연쇄효과가 낮은 ‘최종수요적 산업형’으로 분류된다.



〈그림 4-1〉 바이오중유 생산과 발전부문의 영향력·감응도계수

주: 01 : 농림수산물, 02 : 광산물, 03 : 음식료품, 04 : 섬유 및 가죽제품, 05 : 목재 및 종이, 인쇄, 06 : 석탄 및 석유제품, 07 : 화학제품, 08 : 비금속광물제품, 09 : 1차금속제품, 10 : 금속제품, 11 : 기계 및 장비, 12 : 전기 및 전자기기, 13 : 정밀기기, 14 : 운송장비, 15 : 기타 생산업 제품 및 임가공, 16 : 전력, 가스 및 증기, 17 : 수도, 폐기물 및 재활용서비스, 18 : 건설, 19 : 도소매서비스, 20 : 운송서비스, 21 : 음식점 및 숙박서비스, 22 : 정보통신 및 방송 서비스, 23 : 금융 및 보험 서비스, 24 : 부동산 및 임대, 25 : 전문·과학 및 기술 서비스, 26 : 사업지원서비스, 27 : 공공행정 및 국방, 28 : 교육서비스, 29 : 보건 및 사회복지서비스, 30 : 문화 및 기타서비스, 31: 바이오중유산업

### 제3절 바이오중유산업과 중유산업의 사회·경제적 효과 비교

#### 1. 바이오중유산업과 중유산업의 외생화

바이오중유는 중유를 대체하므로 바이오중유산업의 순수한 유발효과를 분석하기 위해서는 중유산업의 유발효과 감소분을 고려해야 한다. 이를 위해 바이오중유산업(바이오중유발전)과 동일한 발전량을 생산하는 중유산업(중유발전)의 모형을 구축하고 중유산업 모형이 국가 경제에 미치는 과급효과를 도출하였다. 이렇게 도출한 중유산업의 유발효과를 바이오중유산업의 유발효과에서 차감하여 바이오중유산업의 순수발효과를 추정하였다.

순유발효과 추정에 있어 외생화 모형을 이용하였다. 최종수요 대신 바이오중유산업 또는 중유산업의 산출량을 독립변수로 설정한 외생화 모형을 이용하면 보다 정확하게 바이오중유산업과 중유산업이 타 부문에 미치는 영향을 계측할 수 있다. 외생화 모형을 이용하기 위해 내생부문에 속해 있던 바이오중유산업의 행과 열을 추출하여 <그림 4-2>와 같이 외생부문에 삽입하였다. 이 경우 중유산업은 내생부문으로 취급하였다. 중유산업을 외생화하는 방법도 이와 같으며, 중유산업의 행과 열을 추출하여 외생부문에 삽입하고, 바이오중유산업은 내생부문으로 취급하였다.



|                  |         | 내생부문     |         |          |         |          | 외생부문            |           | 수입    | 총<br>신출액 |
|------------------|---------|----------|---------|----------|---------|----------|-----------------|-----------|-------|----------|
|                  |         | $1$      | $\dots$ | $j$      | $\dots$ | $n$      | 바이오<br>중유<br>산업 | 최종<br>수요계 |       |          |
| 내<br>생<br>부<br>문 | $1$     | $X_{11}$ | $\dots$ | $X_{1j}$ | $\dots$ | $X_{1n}$ | $X_{1m}$        | $Y_1$     | $M_1$ | $X_1$    |
|                  | $:$     | $:$      | $\dots$ | $:$      | $\dots$ | $:$      | $:$             | $:$       | $:$   | $:$      |
|                  | $i$     | $X_{i1}$ | $\dots$ | $X_{ij}$ | $\dots$ | $X_{in}$ | $X_{im}$        | $Y_i$     | $M_i$ | $X_i$    |
|                  | $:$     | $:$      | $\dots$ | $:$      | $\dots$ | $:$      |                 | $:$       | $:$   | $:$      |
|                  | $n$     | $X_{n1}$ | $\dots$ | $X_{nj}$ | $\dots$ | $X_{nm}$ | $X_{nh}$        | $Y_n$     | $M_n$ | $X_n$    |
| 외<br>생<br>부<br>문 | 바이오중유산업 | $X_{m1}$ | $\dots$ | $X_{mj}$ | $\dots$ | $X_{mn}$ |                 |           |       |          |
|                  | 부가가치계   | $V_1$    | $\dots$ | $V_j$    | $\dots$ | $V_n$    |                 |           |       |          |
|                  | 총투입액    | $X_1$    | $\dots$ | $X_j$    | $\dots$ | $X_n$    |                 |           |       |          |

<그림 4-2> 바이오중유산업의 외생화 예시

## 2. 바이오중유산업과 중유산업의 생산유발효과

바이오중유산업과 중유산업을 각각 외생화한 산업연관표를 이용하여 생산유발효과를 분석한 결과 <표 4-15> 및 <그림 4-3>와 같이 나타났다. 바이오중유산업의 생산유발효과가 중유산업의 유발효과 보다 전 부문에서 크게 나타났다. 바이오중유산업에서 1원의 생산 또는 투자의 증가는 타 부문에 0.4235원의 생산을 간접적으로 유발하며, 자기부문 효과를 1로 두면 총 1.4235원의 생산유발효과가 있다. 중유산업은 타 부문에 0.0486원의 생산을 유발하며 총 1.0486원의 생산유발효과가 있다. 바이오중유산업이 중유산업에 비해 타 부문에 미치는 생산유발효과는 8.7배 크고, 자기부문 효과를 포

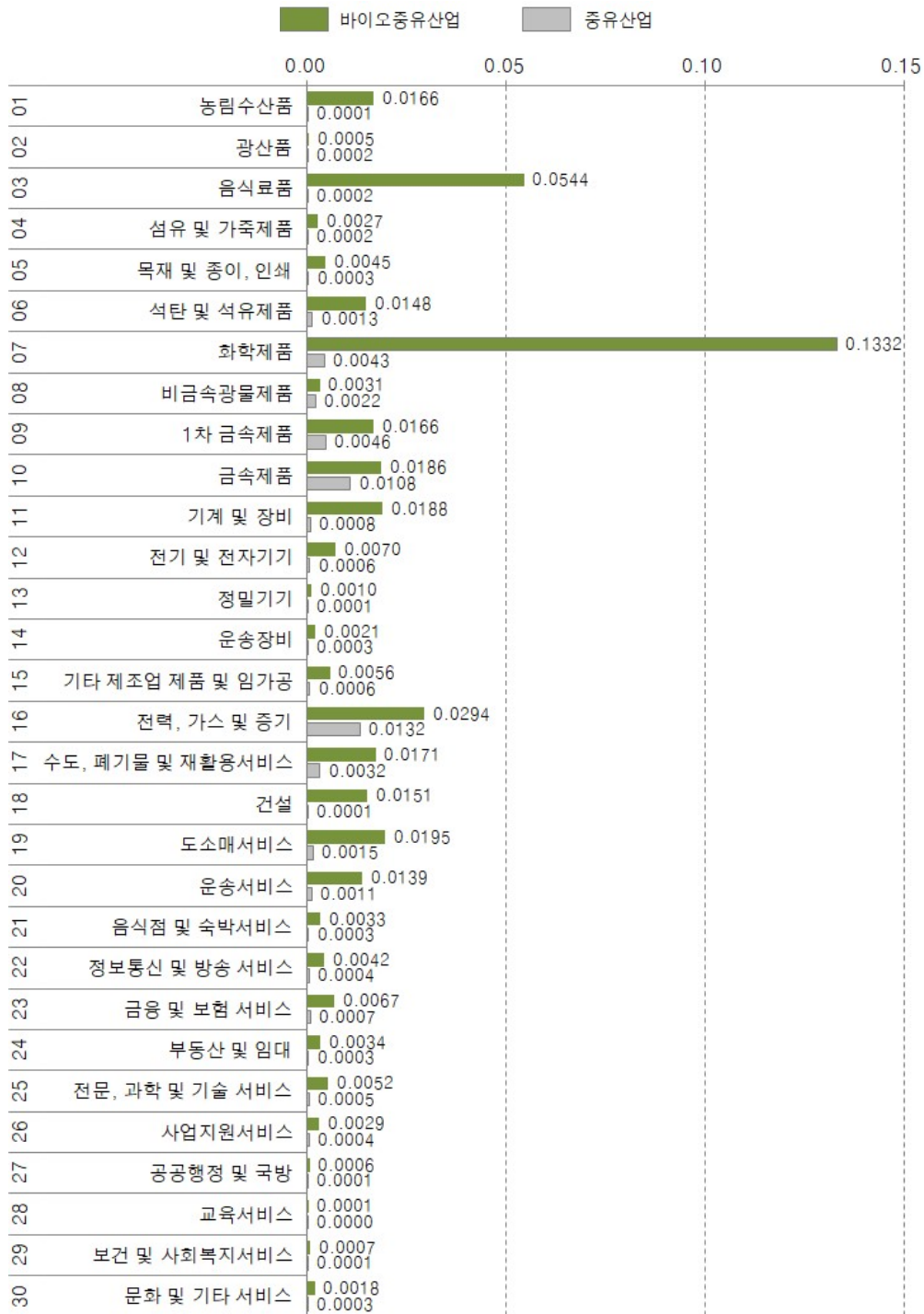
합한 총 생산유발효과는 1.4배 큰 것으로 나타났다. 연료비를 제외한 바이오중유발전과 중유발전의 거래내역이 유사하다고 가정하면, 바이오중유산업과 중유산업의 이러한 격차는 바이오중유생산부문의 영향으로 인한 것으로 추정할 수 있다.

바이오중유산업의 1원 투자에 따라 생산유발효과가 가장 크게 나타나는 부문은 ‘7.화학제품(0.1332원)’이며, ‘3.음식료품(0.0544원)’, ‘16.전력, 가스 및 증기(0.0294원)’가 그 뒤를 이었다. 중유산업의 경우 ‘16.전력, 가스 및 증기(0.0132원)’의 생산유발효과가 가장 크게 나타났으며, ‘10.금속제품(0.0108원)’, ‘9.1차금속제품(0.0046원)’의 순으로 유발효과가 나타났다. 교육서비스 등 주로 서비스업은 바이오중유산업과 중유산업에 공통적으로 유발효과가 낮게 나타났다.

바이오중유산업과 중유산업 간 유발계수 차가 큰 부문은 ‘7.화학제품’과 ‘3.음식료품’, ‘18.건설’ 부문으로 나타났다. 바이오중유생산부문에 투입하는 원료의 영향으로 ‘7.화학제품’과 ‘3.음식료품’ 부문에서 바이오중유산업의 유발효과가 매우 크게 나타난 것으로 추정되며, 바이오중유생산부문 및 발전부문에 포함된 초기투자비가 중유발전에는 포함되어 있지 않기 때문에 ‘18.건설’ 부문의 바이오중유산업 생산유발효과가 매우 크게 나타난 것으로 추정된다. 바이오중유산업과 중유산업 간 유발계수 차가 가장 작은 부문은 ‘8.비금속광물제품’으로 나타났다. ‘8.비금속광물제품’은 중유발전에서 탈황설비에 사용하는 석회석이 포함된 부문으로, 중유발전의 석회석 투입에 따른 영향이 반영된 것으로 추정된다.

<표 4-15> 바이오중유산업과 중유산업의 생산유발계수

| 부문 | 부문               | 바이오중유산업 |    | 중유산업   |    |
|----|------------------|---------|----|--------|----|
|    |                  | 생산유발계수  | 순위 | 생산유발계수 | 순위 |
| 1  | 농림수산물            | 0.0166  | 8  | 0.0001 | 26 |
| 2  | 광산품              | 0.0005  | 29 | 0.0002 | 24 |
| 3  | 음식료품             | 0.0544  | 2  | 0.0002 | 23 |
| 4  | 섬유 및 가죽제품        | 0.0027  | 23 | 0.0002 | 22 |
| 5  | 목재 및 종이, 인쇄      | 0.0045  | 17 | 0.0003 | 17 |
| 6  | 석탄 및 석유제품        | 0.0148  | 11 | 0.0013 | 8  |
| 7  | 화학제품             | 0.1332  | 1  | 0.0043 | 4  |
| 8  | 비금속광물제품          | 0.0031  | 21 | 0.0022 | 6  |
| 9  | 1차금속제품           | 0.0166  | 9  | 0.0046 | 3  |
| 10 | 금속제품             | 0.0186  | 6  | 0.0108 | 2  |
| 11 | 기계 및 장비          | 0.0188  | 5  | 0.0008 | 10 |
| 12 | 전기 및 전자기기        | 0.0070  | 13 | 0.0006 | 13 |
| 13 | 정밀기기             | 0.0010  | 26 | 0.0001 | 25 |
| 14 | 운송장비             | 0.0021  | 24 | 0.0003 | 20 |
| 15 | 기타 생산업 제품 및 임가공  | 0.0056  | 15 | 0.0006 | 12 |
| 16 | 전력, 가스 및 증기      | 0.0294  | 3  | 0.0132 | 1  |
| 17 | 수도, 폐기물 및 재활용서비스 | 0.0171  | 7  | 0.0032 | 5  |
| 18 | 건설               | 0.0151  | 10 | 0.0001 | 29 |
| 19 | 도소매서비스           | 0.0195  | 4  | 0.0015 | 7  |
| 20 | 운송서비스            | 0.0139  | 12 | 0.0011 | 9  |
| 21 | 음식점 및 숙박서비스      | 0.0033  | 20 | 0.0003 | 18 |
| 22 | 정보통신 및 방송 서비스    | 0.0042  | 18 | 0.0004 | 15 |
| 23 | 금융 및 보험 서비스      | 0.0067  | 14 | 0.0007 | 11 |
| 24 | 부동산 및 임대         | 0.0034  | 19 | 0.0003 | 19 |
| 25 | 전문, 과학 및 기술 서비스  | 0.0052  | 16 | 0.0005 | 14 |
| 26 | 사업지원서비스          | 0.0029  | 22 | 0.0004 | 16 |
| 27 | 공공행정 및 국방        | 0.0006  | 28 | 0.0001 | 28 |
| 28 | 교육서비스            | 0.0001  | 30 | 0.0000 | 30 |
| 29 | 보건 및 사회복지서비스     | 0.0007  | 27 | 0.0001 | 27 |
| 30 | 문화 및 기타 서비스      | 0.0018  | 25 | 0.0003 | 21 |
|    | 타 부문 효과 소계       | 0.4235  | -  | 0.0486 | -  |



<그림 4-3> 바이오중유산업과 중유산업의 생산유발계수

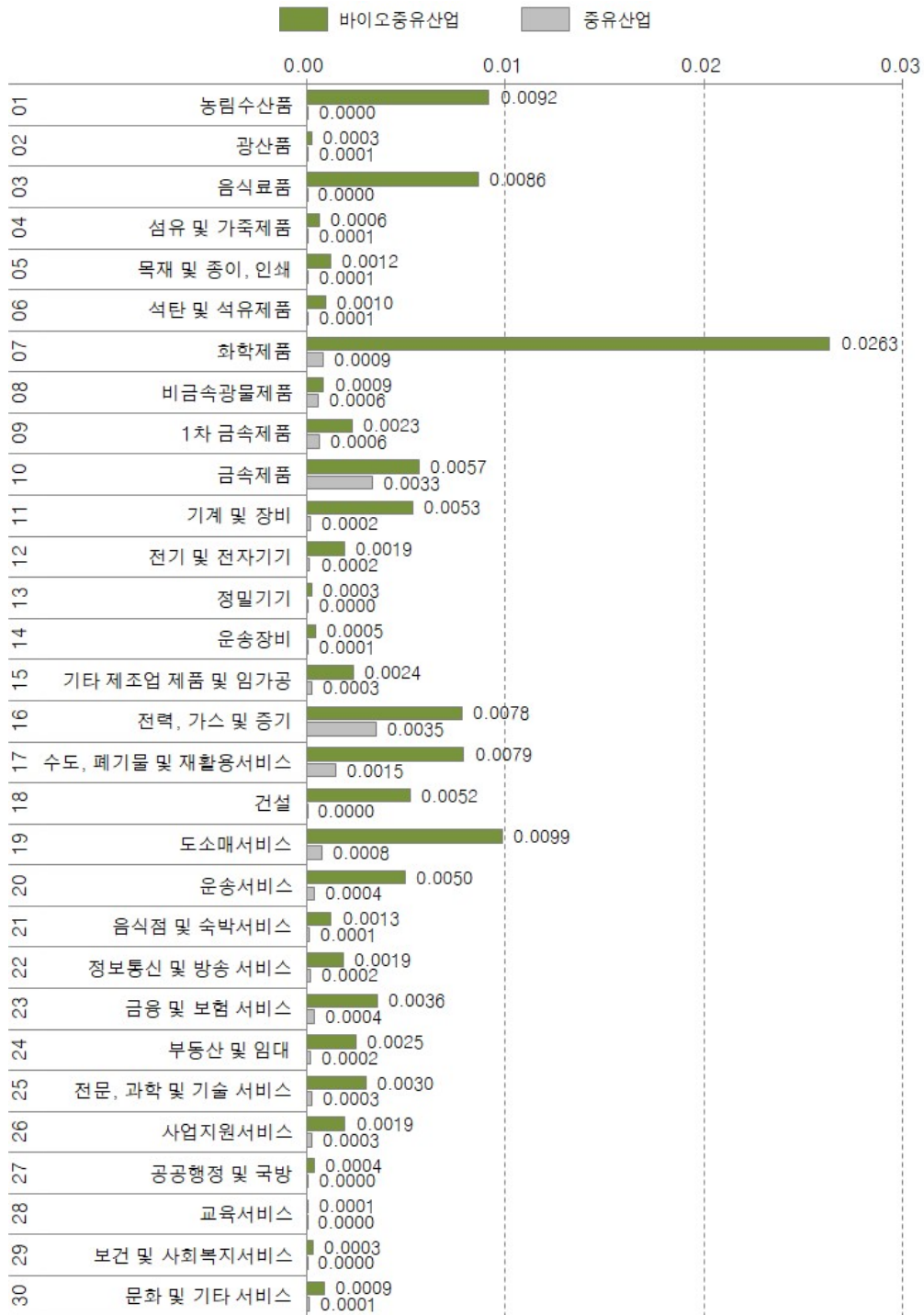
### 3. 바이오중유산업과 중유산업의 부가가치유발효과

바이오중유산업과 중유산업의 부가가치유발효과를 비교하면 <표 4-16> 및 <그림 4-4>와 같다. 바이오중유산업의 생산 또는 투자를 1원 증가시키면 타 부문에 0.1181원의 부가가치를 유발하며, 중유산업의 산출을 1원 증가시키면 0.0143원의 부가가치를 유발하는 것으로 나타났다. 바이오중유산업과 중유산업의 자기부문에서 창출되는 부가가치는 각각 0.3541원, 0.2856원이므로 바이오중유산업에서는 총 0.4722원의 부가가치가 창출되고, 중유산업에서는 총 0.2999원의 부가가치가 창출되는 것으로 나타났다. 바이오중유산업이 중유산업에 비해 타 부문에 미치는 부가가치유발효과는 8.2배 크고, 자기부문 효과를 포함한 효과는 1.6배 큰 것으로 나타났으며, 전 산업부문에서 바이오중유산업의 부가가치유발효과가 중유산업보다 높게 나타났다.

부가가치유발효과의 크기를 통해 바이오중유산업과 중유산업이 어떤 산업의 부가가치를 더 크게 증대 시키는지 알 수 있다. 바이오중유산업의 1원 투자에 따라 부가가치유발효과가 가장 크게 나타나는 부문은 생산유발효과와 동일하게 ‘7.화학제품(0.0263원)’으로 나타났으며, ‘19.도소매서비스(0.0099원)’와 ‘1.농림수산물(0.0092)’이 그 뒤를 이었다. 중유산업의 경우 ‘16.전력, 가스 및 증기(0.0035원)’의 부가가치유발효과가 가장 크게 나타났으며, ‘10.금속제품(0.0033원)’, ‘17.수도, 폐기물 및 재활용서비스(0.0015원)’의 순으로 유발효과가 나타났다. 교육서비스 등 서비스업은 바이오중유산업과 중유산업에 공통적으로 유발효과가 낮게 나타났다. 두 산업의 부가가치유발효과 간 차이는 생산유발효과의 차이와 유사하게 ‘7.화학제품’과 ‘3.음식료품’, ‘18.건설’ 부문에서 크게 나타났으며, 이는 바이오중유생산부문의 영향에 기인한 것으로 추정된다.

<표 4-16> 바이오중유산업과 중유산업의 부가가치유발계수

| 부문 | 부문               | 바이오중유산업      |    | 중유산업         |    |
|----|------------------|--------------|----|--------------|----|
|    |                  | 부가가치<br>유발계수 | 순위 | 부가가치<br>유발계수 | 순위 |
| 1  | 농림수산물            | 0.0092       | 3  | 0.0000       | 25 |
| 2  | 광산물              | 0.0003       | 29 | 0.0001       | 20 |
| 3  | 음식료품             | 0.0086       | 4  | 0.0000       | 28 |
| 4  | 섬유 및 가죽제품        | 0.0006       | 24 | 0.0001       | 22 |
| 5  | 목재 및 종이, 인쇄      | 0.0012       | 20 | 0.0001       | 19 |
| 6  | 석탄 및 석유제품        | 0.0010       | 21 | 0.0001       | 21 |
| 7  | 화학제품             | 0.0263       | 1  | 0.0009       | 4  |
| 8  | 비금속광물제품          | 0.0009       | 23 | 0.0006       | 7  |
| 9  | 1차금속제품           | 0.0023       | 15 | 0.0006       | 6  |
| 10 | 금속제품             | 0.0057       | 7  | 0.0033       | 2  |
| 11 | 기계 및 장비          | 0.0053       | 8  | 0.0002       | 14 |
| 12 | 전기 및 전자기기        | 0.0019       | 17 | 0.0002       | 16 |
| 13 | 정밀기기             | 0.0003       | 28 | 0.0000       | 26 |
| 14 | 운송장비             | 0.0005       | 25 | 0.0001       | 23 |
| 15 | 기타 생산업 제품 및 임가공  | 0.0024       | 14 | 0.0003       | 11 |
| 16 | 전력, 가스 및 증기      | 0.0078       | 6  | 0.0035       | 1  |
| 17 | 수도, 폐기물 및 재활용서비스 | 0.0079       | 5  | 0.0015       | 3  |
| 18 | 건설               | 0.0052       | 9  | 0.0000       | 29 |
| 19 | 도소매서비스           | 0.0099       | 2  | 0.0008       | 5  |
| 20 | 운송서비스            | 0.0050       | 10 | 0.0004       | 8  |
| 21 | 음식점 및 숙박서비스      | 0.0013       | 19 | 0.0001       | 17 |
| 22 | 정보통신 및 방송 서비스    | 0.0019       | 18 | 0.0002       | 15 |
| 23 | 금융 및 보험 서비스      | 0.0036       | 11 | 0.0004       | 9  |
| 24 | 부동산 및 임대         | 0.0025       | 13 | 0.0002       | 13 |
| 25 | 전문, 과학 및 기술 서비스  | 0.0030       | 12 | 0.0003       | 10 |
| 26 | 사업지원서비스          | 0.0019       | 16 | 0.0003       | 12 |
| 27 | 공공행정 및 국방        | 0.0004       | 26 | 0.0000       | 24 |
| 28 | 교육서비스            | 0.0001       | 30 | 0.0000       | 30 |
| 29 | 보건 및 사회복지서비스     | 0.0003       | 27 | 0.0000       | 27 |
| 30 | 문화 및 기타 서비스      | 0.0009       | 22 | 0.0001       | 18 |
|    | 타 부문 효과 소계       | 0.1181       | -  | 0.0143       | -  |



<그림 4-4> 바이오중유산업과 중유산업의 부가가치유발계수

#### 4. 바이오중유산업과 중유산업의 수입유발효과

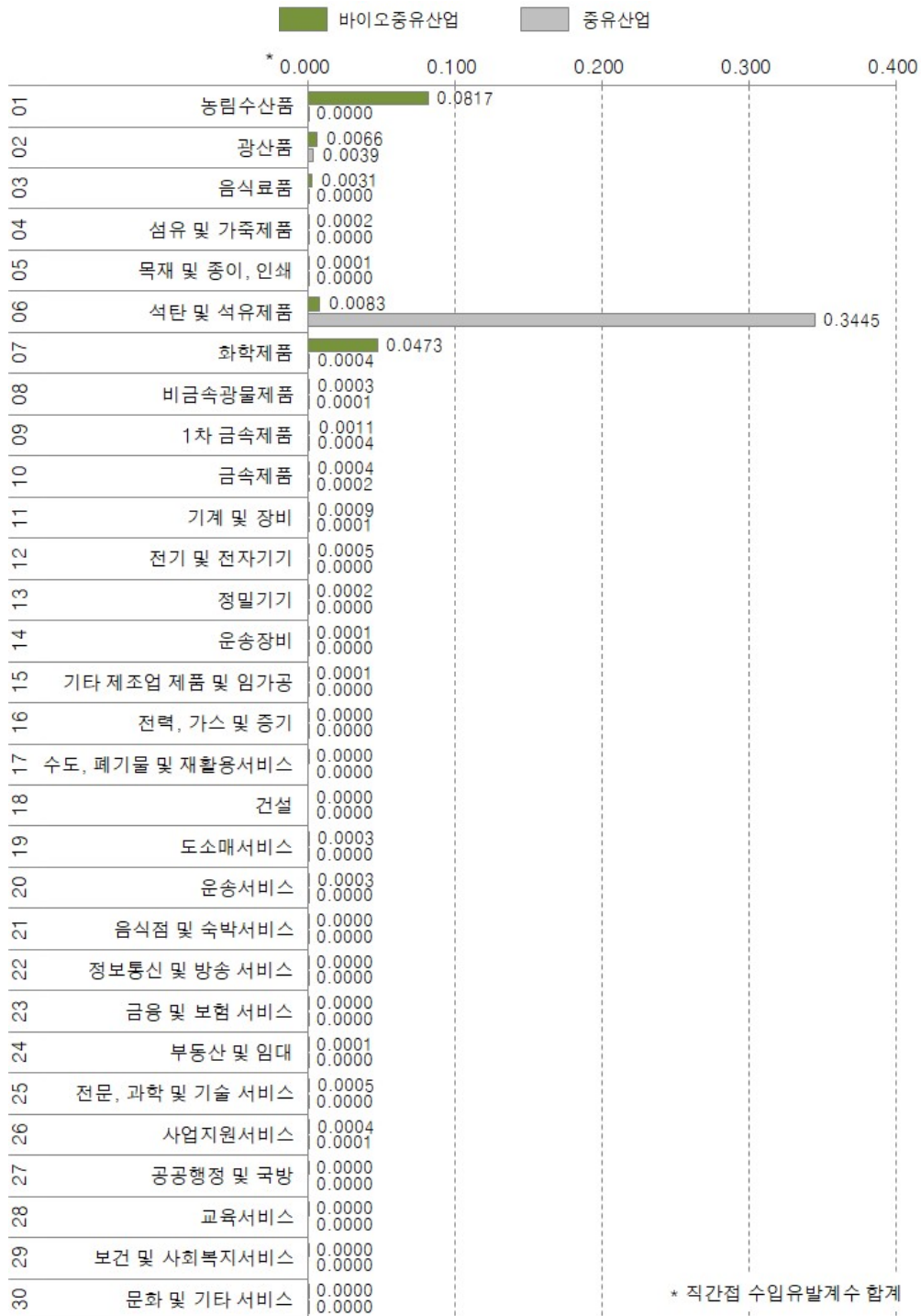
바이오중유산업과 중유산업의 수입유발효과를 분석한 결과는 <표 4-17> 및 <그림 4-5>와 같다. 바이오중유산업과 중유산업의 수입유발효과는 자기 부문에 의한 직접 수입효과와 타 부문에 의한 수입유발효과로 구분할 수 있다. 전자는 바이오중유산업과 중유산업의 생산 증가를 위해 직접 수입함으로써 발생한 효과를 의미하며, 후자는 국산품 생산 또는 투자의 1원 증가에 따라 타 부문 생산 활동 과정에서 유발된 수입효과를 의미한다.

바이오중유산업의 직접 수입효과는 바이오중유의 원료 물질이 포함된 ‘1.농림수산물’ 과 ‘7.화학제품’ 에서 각각 0.0789원, 0.0366원씩 발생하였으며, 타 부문에 의한 수입유발효과는 총 0.03712원으로 나타났다. 중유산업의 직접 수입효과는 중유발전의 연료인 중유의 수입으로 인해 ‘6.석탄 및 석유제품’ 에서 0.3441원이 발생하였으며, 타 부문 생산 활동에 의해 0.00565원의 수입유발효과가 나타났다. 두 산업 모두 직접 수입효과가 타 부문에 의한 수입유발효과보다 크게 나타났다. 바이오중유산업과 중유산업의 타 부문 유발효과를 비교하면 바이오중유산업에서 모두 크게 나타났다. 그러나 중유산업의 ‘6.석탄 및 석유제품’ 에서의 직접 수입효과로 인해 총 중유산업(0.3498원)의 수입유발효과가 바이오중유산업(0.1527원)의 수입유발효과 보다 크게 나타났다.



<표 4-17> 바이오중유산업과 중유산업의 수입유발계수

| 부문         | 부문                  | 바이오중유산업    |            |    | 중유산업       |            |    |
|------------|---------------------|------------|------------|----|------------|------------|----|
|            |                     | 직접<br>수입계수 | 수입<br>유발계수 | 순위 | 직접<br>수입계수 | 수입<br>유발계수 | 순위 |
| 1          | 농림수산물               | 0.0789     | 0.00274    | 1  | 0.0000     | 0.00001    | 16 |
| 2          | 광산물                 | 0.0000     | 0.00661    | 4  | 0.0000     | 0.00388    | 2  |
| 3          | 음식료품                | 0.0000     | 0.00312    | 5  | 0.0000     | 0.00000    | 21 |
| 4          | 섬유 및 가죽제품           | 0.0000     | 0.00017    | 15 | 0.0000     | 0.00001    | 14 |
| 5          | 목재 및 종이, 인쇄         | 0.0000     | 0.00013    | 17 | 0.0000     | 0.00001    | 17 |
| 6          | 석탄 및 석유제품           | 0.0000     | 0.00832    | 3  | 0.3441     | 0.00042    | 1  |
| 7          | 화학제품                | 0.0366     | 0.01071    | 2  | 0.0000     | 0.00039    | 3  |
| 8          | 비금속광물제품             | 0.0000     | 0.00029    | 13 | 0.0000     | 0.00009    | 6  |
| 9          | 1차금속제품              | 0.0000     | 0.00110    | 6  | 0.0000     | 0.00038    | 4  |
| 10         | 금속제품                | 0.0000     | 0.00041    | 10 | 0.0000     | 0.00019    | 5  |
| 11         | 기계 및 장비             | 0.0000     | 0.00094    | 7  | 0.0000     | 0.00009    | 7  |
| 12         | 전기 및 전자기기           | 0.0000     | 0.00052    | 9  | 0.0000     | 0.00003    | 9  |
| 13         | 정밀기기                | 0.0000     | 0.00017    | 16 | 0.0000     | 0.00001    | 12 |
| 14         | 운송장비                | 0.0000     | 0.00005    | 20 | 0.0000     | 0.00000    | 20 |
| 15         | 기타 생산업 제품 및<br>입가공  | 0.0000     | 0.00010    | 18 | 0.0000     | 0.00001    | 13 |
| 16         | 전력, 가스 및 증기         | 0.0000     | 0.00000    | 26 | 0.0000     | 0.00000    | 25 |
| 17         | 수도, 폐기물 및<br>재활용서비스 | 0.0000     | 0.00000    | 29 | 0.0000     | 0.00000    | 28 |
| 18         | 건설                  | 0.0000     | 0.00000    | 30 | 0.0000     | 0.00000    | 29 |
| 19         | 도소매서비스              | 0.0000     | 0.00028    | 14 | 0.0000     | 0.00002    | 11 |
| 20         | 운송서비스               | 0.0000     | 0.00032    | 12 | 0.0000     | 0.00001    | 15 |
| 21         | 음식점 및 숙박서비스         | 0.0000     | 0.00002    | 23 | 0.0000     | 0.00000    | 22 |
| 22         | 정보통신 및 방송 서비스       | 0.0000     | 0.00003    | 22 | 0.0000     | 0.00000    | 19 |
| 23         | 금융 및 보험 서비스         | 0.0000     | 0.00004    | 21 | 0.0000     | 0.00000    | 18 |
| 24         | 부동산 및 임대            | 0.0000     | 0.00009    | 19 | 0.0000     | 0.00000    | 23 |
| 25         | 전문, 과학 및 기술<br>서비스  | 0.0000     | 0.00055    | 8  | 0.0000     | 0.00003    | 10 |
| 26         | 사업지원서비스             | 0.0000     | 0.00038    | 11 | 0.0000     | 0.00005    | 8  |
| 27         | 공공행정 및 국방           | 0.0000     | 0.00001    | 25 | 0.0000     | 0.00000    | 30 |
| 28         | 교육서비스               | 0.0000     | 0.00000    | 27 | 0.0000     | 0.00000    | 26 |
| 29         | 보건 및 사회복지서비스        | 0.0000     | 0.00000    | 28 | 0.0000     | 0.00000    | 27 |
| 30         | 문화 및 기타 서비스         | 0.0000     | 0.00001    | 24 | 0.0000     | 0.00000    | 24 |
| 수입 유발효과 소계 |                     | 0.1156     | 0.03712    | -  | 0.3441     | 0.00565    | -  |
|            |                     | 0.1527     |            | -  | 0.3498     |            | -  |



<그림 4-5> 바이오중유산업과 중유산업의 수입유발계수

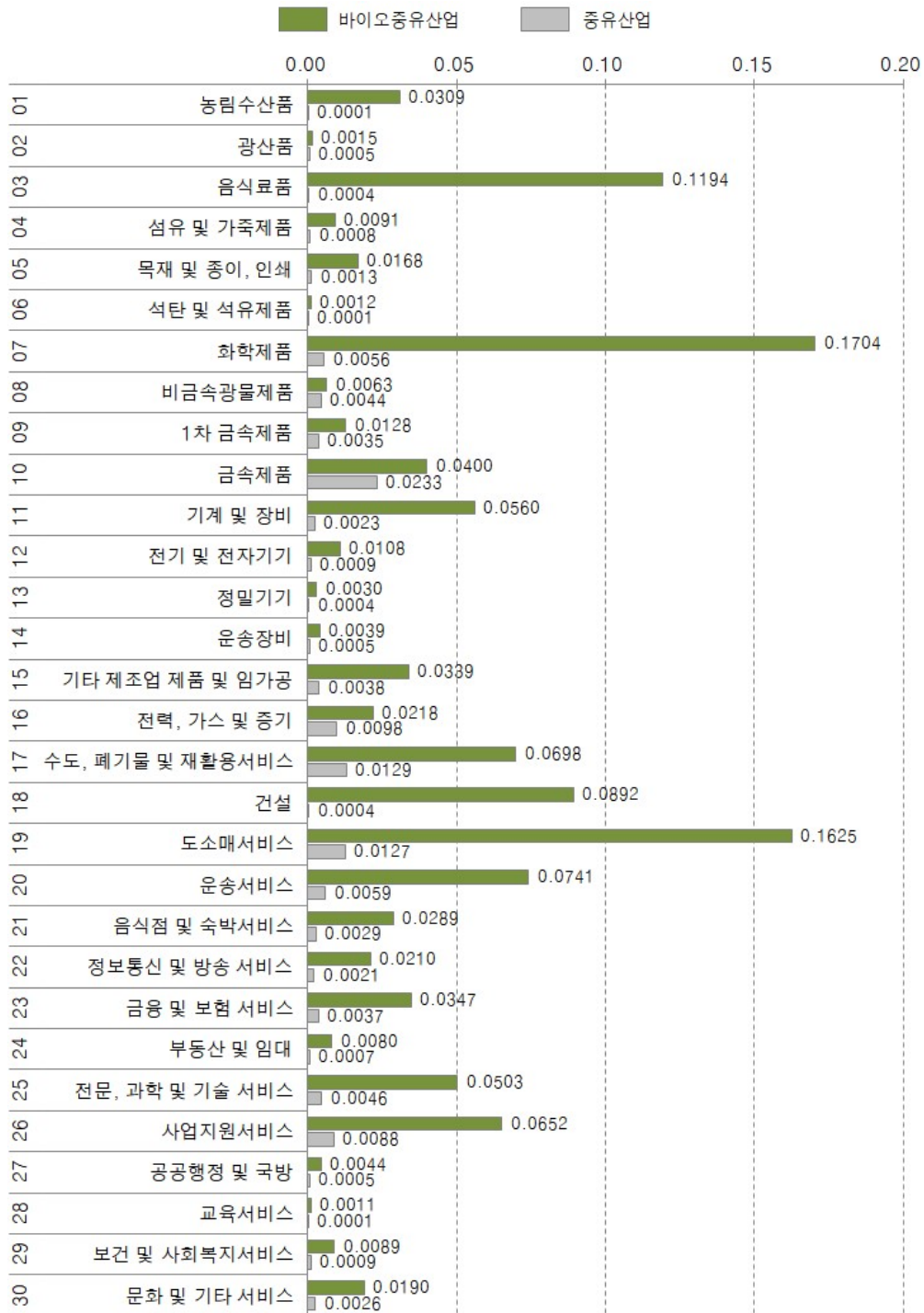
## 5. 바이오중유산업과 중유산업의 고용유발효과

바이오중유산업과 중유산업을 각각 외생화한 산업연관표를 이용하여 고용유발효과를 분석한 결과는 <표 4-18> 및 <그림 4-6>과 같다. 바이오중유산업의 10억 원 생산 또는 투자로 인해 타 부문에 유발되는 고용유발효과는 1.1751명이며, 중유산업은 0.1165명의 고용유발효과가 나타났다. 고용자수에 산출액을 나누어 고용계수를 구하면, 바이오중유산업의 고용계수는 0.7004명, 중유산업의 고용계수는 0.6468명으로 나타났다. 직접적 고용을 의미하는 고용계수와 간접적 고용유발계수를 합해 바이오중유산업에 따라 창출되는 총 고용효과를 도출하면 1.8755명으로 나타나며, 중유산업에 따른 총 고용효과는 0.7633명으로 분석 되었다. 바이오중유발전부문과 중유발전부문의 고용자 수는 같다고 가정하였기 때문에 두 산업의 고용유발효과는 바이오중유생산부문에 따라 발생한 것으로 볼 수 있다.

전 산업부문에서 바이오중유산업의 고용유발효과가 중유산업의 고용유발효과보다 높게 나타났으며, 생산유발효과와 부가가치유발효과가 비교적 높은 부문에서 고용유발효과가 높게 나타났다. 바이오중유산업에 따른 고용유발효과는 ‘7.화학제품’이 0.1704명으로 가장 높게 나타났으며, ‘19.도소매서비스(0.1652명)’과 ‘3.음식료품(0.1194명)’이 다음으로 높은 유발효과를 나타냈다. 중유산업은 ‘10.금속제품’이 0.0233명으로 가장 높은 유발효과를 나타냈으며, ‘17.수도, 폐기물 및 재활용서비스(0.0129명)’, ‘19.도소매서비스(0.0127명)’의 순서로 고용유발효과가 높게 나타났다.

<표 4-18> 바이오중유산업과 중유산업의 고용유발계수

| 부문 | 부문               | 바이오중유산업 |    | 중유산업   |    |
|----|------------------|---------|----|--------|----|
|    |                  | 고용유발계수  | 순위 | 고용유발계수 | 순위 |
| 1  | 농림수산물            | 0.0309  | 13 | 0.0001 | 28 |
| 2  | 광산품              | 0.0015  | 28 | 0.0005 | 24 |
| 3  | 음식료품             | 0.1194  | 3  | 0.0004 | 27 |
| 4  | 섬유 및 가죽제품        | 0.0091  | 21 | 0.0008 | 20 |
| 5  | 목재 및 종이, 인쇄      | 0.0168  | 18 | 0.0013 | 17 |
| 6  | 석탄 및 석유제품        | 0.0012  | 29 | 0.0001 | 30 |
| 7  | 화학제품             | 0.1704  | 1  | 0.0056 | 7  |
| 8  | 비금속광물제품          | 0.0063  | 24 | 0.0044 | 9  |
| 9  | 1차금속제품           | 0.0128  | 19 | 0.0035 | 12 |
| 10 | 금속제품             | 0.0400  | 10 | 0.0233 | 1  |
| 11 | 기계 및 장비          | 0.0560  | 8  | 0.0023 | 15 |
| 12 | 전기 및 전자기기        | 0.0108  | 20 | 0.0009 | 18 |
| 13 | 정밀기기             | 0.0030  | 27 | 0.0004 | 25 |
| 14 | 운송장비             | 0.0039  | 26 | 0.0005 | 23 |
| 15 | 기타 생산업 제품 및 임가공  | 0.0339  | 12 | 0.0038 | 10 |
| 16 | 전력, 가스 및 증기      | 0.0218  | 15 | 0.0098 | 4  |
| 17 | 수도, 폐기물 및 재활용서비스 | 0.0698  | 6  | 0.0129 | 2  |
| 18 | 건설               | 0.0892  | 4  | 0.0004 | 26 |
| 19 | 도소매서비스           | 0.1625  | 2  | 0.0127 | 3  |
| 20 | 운송서비스            | 0.0741  | 5  | 0.0059 | 6  |
| 21 | 음식점 및 숙박서비스      | 0.0289  | 14 | 0.0029 | 13 |
| 22 | 정보통신 및 방송 서비스    | 0.0210  | 16 | 0.0021 | 16 |
| 23 | 금융 및 보험 서비스      | 0.0347  | 11 | 0.0037 | 11 |
| 24 | 부동산 및 임대         | 0.0080  | 23 | 0.0007 | 21 |
| 25 | 전문, 과학 및 기술 서비스  | 0.0503  | 9  | 0.0046 | 8  |
| 26 | 사업지원서비스          | 0.0652  | 7  | 0.0088 | 5  |
| 27 | 공공행정 및 국방        | 0.0044  | 25 | 0.0005 | 22 |
| 28 | 교육서비스            | 0.0011  | 30 | 0.0001 | 29 |
| 29 | 보건 및 사회복지서비스     | 0.0089  | 22 | 0.0009 | 19 |
| 30 | 문화 및 기타 서비스      | 0.0190  | 17 | 0.0026 | 14 |
|    | 타 부문 효과 소계       | 1.1751  | -  | 0.1165 | -  |



<그림 4-6> 바이오중유산업과 중유산업의 고용유발계수

## 제5장 바이오중유발전의 환경 영향

### 제1절 대기오염물질 저감효과

바이오중유발전의 대기오염물질 저감효과를 분석하기 위해 내구연수, 용량 등 설비 특성이 유사한 중유발전소(A)와 바이오중유발전소(B)의 2015년~2017년 굴뚝원격감시체계(CleanSYS) 전송자료를 바탕으로 황산화물, 질소산화물, 총먼지의 농도 및 배출량을 비교분석하였다.<sup>49)</sup> 질소산화물과 총먼지의 경우 방지시설을 통과한 이후 측정치를 비교하게 되므로 방지시설의 효율이나 운전특성이 결과 값에 영향을 미치게 된다. 이러한 영향을 배제하고 바이오중유발전과 중유발전의 대기오염 영향을 비교하는 것이 바람직하나, 본 연구에서는 자료수집의 한계로 인해 굴뚝원격감시체계(CleanSYS) 전송 자료를 그대로 활용하였다.<sup>50)</sup>

대기오염물질별 농도 분석결과를 살펴보면, 바이오중유발전소의 황산화물 연평균 농도는 0.43~18.53ppm 으로 중유발전 대비 89.6%~99.7% 저감효과가 있는 것으로 나타났다. 분석대상 발전소의 황산화물 배출허용기준인 180ppm 과 비교하면 평균 89.7~99.8%까지 낮은 수치로 황산화물 저감효과가 뛰어난 것을 확인하였다. 선행 연구에서 밝힌 바와 같이 바이오중유발전의 황산화물 저감효과가 우수한 이유는 바이오중유에 황(S) 성분이 거의 없기 때문이다(백세현, 2015; 이석구, 2016). 그러나 황산화물이 전혀 배출되지

---

49) 36 개월 데이터 가운데 TMS 측정기기 교체로 인해 실측값이 아닌 대체자료가 포함된 2 개월을 분석대상에서 제외 하였다. 또한 바이오중유발전소를 중유발전소로 전환(중유발전소는 바이오중유발전소로 전환) 기간(1 개월)은 분석대상 제외하여 총 33 개월 데이터를 바탕으로 분석하였다. 착화유인 경우 사용량은 설비의 특성을 반영하는 것이므로 경유 사용량을 포함하여 분석하였다.

50) 데이터의 보정이 필요한 경우 발전소 관계자의 인터뷰 내용을 인용하여 부연 설명하였다.

않는 것으로 분석한 하중환 등(2015)의 연구결과와 본 연구의 분석 결과에는 다소 차이가 있다.

이는 첫째, 화석연료인 경유가 착화유로 사용되기 때문에 경유 연소에 따른 대기오염물질이 배출된다는 점과 둘째, 바이오중유와 중유의 연료 공급 배관이 동일하기 때문에 바이오중유 공급 시 공급배관에 잔여 하는 중유가 비의도적으로 혼소 된다는 점 때문으로 파악된다. 경유 사용량이 전혀 없었던 2015 년에 비해 경유를 사용한 2016 년과 2017 년의 황산화물 농도가 높다는 점을 고려할 때, 바이오중유발전의 황산화물 배출은 공급 배관에 잔여 하는 중유의 혼소로 인한 영향 보다 경유의 사용에 따른 영향을 많이 받는 것으로 보인다.

바이오중유발전소의 질소산화물 연평균 농도는 84.02~97.50ppm 으로 중유발전 대비 16% 이상 저감효과가 있는 것으로 나타났으며, 분석대상 발전소의 질소산화물 배출허용기준인 140ppm 에 비해 평균 35% 낮은 수준으로 배출됨을 확인하였다. 바이오중유발전소에서 질소산화물의 저감효과가 나타나는 이유는 연료 성분에 포함된 질소(N)의 양이 적어 Fuel NOx 의 생성이 감소하였기 때문이다(백세현, 2015). 본 연구의 질소산화물 농도 저감효과는 질소산화물은 40% 가량 저감된다는 하중환 등(2015)의 연구에 비해 다소 낮은 수준으로 나타났는데, 발전소 실제 운전 시 바이오중유와 중유의 연소 온도 차이가 크지 않다는 점을 고려할 때 연소 온도의 영향을 많이 받는 Thermal NOx 의 농도를 저감 하는 데 한계가 있을 것으로 보인다.<sup>51)</sup>

---

51) 바이오중유발전소의 질소산화물 농도는 중유발전소에 비해 낮은 수준으로 배출되고 있으나, 두 발전소의 방지시설 운전 조건이 상이한 점을 감안하면 바이오중유발전소의 실제 질소산화물 저감효과는 더 클 것으로 추정된다. 발전소 관계자에 따르면 바이오중유 연소시 2 단연소설비에 의해 질소산화물이 배출허용기준(140ppm) 이하로 낮아지므로 환원제 주입 없이 SCR 을 운영하고 있다. 반면, 중유 연소시 SCR 에서 환원제를 주입함으로써 2 차 저감 과정을 거쳐야만 배출허용기준 이하로 질소산화물이 배출된다. 즉, 중유발전소에서 배출되는 질소산화물 농도는 방지시설을 추가적으로 가동한 결과이므로 SCR 전단에서 두 발전소

바이오중유발전소의 총먼지 배출은 3.6~7.6mg/m<sup>3</sup>로 분석대상 발전소의 총먼지 배출허용기준인 30mg/m<sup>3</sup>에 비해서는 약 80% 낮은 수준이다. 그러나 중유발전소 대비 평균 2.2% 정도 높게 나타났다. 연도별 평균 농도를 살펴 보면 2015 년과 2016 년에는 중유발전소보다 바이오중유발전소의 총먼지 농도가 다소 높게 나타났으나, 2017 년의 경우 바이오중유발전소가 33%의 저감효과를 보였다. 이처럼 연도별 편차가 매우 큰 것은 방지시설의 운전조건의 차이에 기인한 것으로 추정된다.<sup>52)</sup> 바이오중유발전소와 중유발전소의 황산화물, 질소산화물, 총먼지 농도 분석결과는 <표 5-1>에 제시한 바와 같다.

<표 5-1> 중유발전소와 바이오중유발전소의 배출 농도

| 구분                   | SOx(ppm) |        |                      | NOx(ppm) |        |                      | TSP(mg/m <sup>3</sup> ) |        |                      |
|----------------------|----------|--------|----------------------|----------|--------|----------------------|-------------------------|--------|----------------------|
|                      | 중유       | 바이오 중유 | 저감률 <sup>1</sup> (%) | 중유       | 바이오 중유 | 저감률 <sup>1</sup> (%) | 중유                      | 바이오 중유 | 저감률 <sup>1</sup> (%) |
| 2015년                | 140.34   | 0.43   | 99.7                 | 108.18   | 84.02  | 22.3                 | 6.88                    | 7.02   | -2.0                 |
| 2016년                | 141.27   | 5.74   | 95.9                 | 105.25   | 89.36  | 15.1                 | 5.51                    | 7.60   | -37.9                |
| 2017년                | 138.07   | 18.53  | 86.6                 | 109.39   | 97.50  | 10.9                 | 5.39                    | 3.60   | 33.2                 |
| 평균                   | 139.89   | 8.23   | 94.1                 | 107.60   | 90.29  | 16.1                 | 5.93                    | 6.07   | -2.2                 |
| 배출허용 기준 <sup>2</sup> | 180      |        |                      | 140      |        |                      | 30                      |        |                      |

주: 1. 중유발전 대비 바이오중유발전의 배출 저감률

2. 분석대상 발전소의 배출허용기준

대기오염물질의 농도만 분석한 기존 연구와 달리 본 연구에서는 굴뚝원

의 질소산화물 농도를 비교한다면 바이오중유발전의 질소산화물 저감효과는 더욱 높아질 것으로 추정된다.

52) 발전소 관계자에 따르면 2017년부터는 초미세먼지관리종합대책 수립 등 초미세먼지에 대한 사회적 관심이 높아지면서 기존 보다 상향된 방식으로 전기집진기를 운영하고 있다. 이로 인해 2017년 총먼지 농도 배출 저감효과가 나타나게 된 것으로 추정된다.



격감시체계(CleanSYS)의 확정 배출량을 바탕으로 바이오중유와 중유발전소의 황산화물, 질소산화물, 총먼지의 배출량을 비교 분석하였다. 또한, 전환계수를 바탕으로 초미세먼지(PM-2.5)의 생성량을 추정하여 분석결과에 포함하였다. 중유발전소와 바이오중유발전소의 연도별 대기오염물질 배출량은 <표 5-2>에 제시되어 있다.

중유발전소에서는 연평균 황산화물 482.9ton, 질소산화물 265.2ton, 총먼지 7.3ton이 발생하였으며, 바이오중유발전소에서는 연평균 황산화물 32.2ton, 질소산화물 260.0ton, 총먼지 9.1ton이 발생하였다. 초미세먼지는 중유발전소에서 황산화물로 인해 평균 166.6ton, 질소산화물로 인해 20.9ton, 총먼지로 인해 5.8ton 생성되어 총 193.3ton이 발생하였다. 바이오중유발전소에서는 황산화물로 인해 11.1ton, 질소산화물로 인해 20.5ton, 총먼지로 인해 7.2ton이 생성되어 총 38.8ton의 초미세먼지가 발생하였다.<sup>53)</sup>

<표 5-2> 중유발전소와 바이오중유발전소의 대기오염물질 배출량

(단위: kg)

| 구분               | 연도    | SOx     | NOx     | TSP    | PM-2.5 <sup>1</sup> |
|------------------|-------|---------|---------|--------|---------------------|
| 중유<br>발전소        | 2015년 | 522,138 | 288,820 | 8,862  | 209,978             |
|                  | 2016년 | 462,143 | 244,451 | 6,415  | 183,834             |
|                  | 2017년 | 464,477 | 262,308 | 6,622  | 186,215             |
|                  | 평균    | 482,919 | 265,193 | 7,300  | 193,342             |
| 바이오<br>중유<br>발전소 | 2015년 | 1,565   | 218,279 | 8,789  | 24,749              |
|                  | 2016년 | 26,893  | 303,643 | 12,794 | 43,405              |
|                  | 2017년 | 68,185  | 258,198 | 5,593  | 48,354              |
|                  | 평균    | 32,215  | 260,040 | 9,058  | 38,836              |

주: 1. 초미세먼지 전환계수(SOx(0.345), NOx(0.079), TSP(0.7925)) 적용

53) 전환계수를 통해 산정한 초미세먼지 생성량은 대기중에 확산된 초미세먼지의 양을 의미하므로 굴뚝에서 실측한 값 보다 클 것으로 추정된다.

위의 대기오염물질 배출량은 바이오중유발전소와 중유발전소의 발전량이 다르므로 상호 비교하는 것이 적절하지 않다. 두 발전소의 배출량을 단순 비교할 경우 발전량의 차이로 인해 발생하는 배출량 차이가 결과에 포함되기 때문이다. 발전량의 차이를 보정하기 위해 월별 대기오염물질 배출량을 월별 발전량으로 나누어 배출량 원단위를 구한 후 연평균 원단위를 도출하였다. 발전량 기준 배출량 원단위 도출 결과는 <표 5-3>과 같다.

바이오중유발전소의 황산화물 배출량 평균 원단위는 0.078kg/MWh로 중유발전소의 황산화물 배출 원단위 1.315kg/MWh 대비 평균 94% 이상의 저감효과가 있는 것으로 나타났다. 바이오중유발전소의 질소산화물 배출량 평균 원단위는 0.625kg/MWh로 중유발전소의 질소산화물 배출 원단위 0.720kg/MWh 대비 13% 이상의 저감효과가 있는 것으로 나타났다. 총먼지 배출량 평균 원단위는 바이오중유발전소가 0.022kg/MWh, 중유발전소가 0.020kg/MWh로 나타나, 바이오중유발전소의 총먼지가 평균 8% 높은 것으로 나타났다. 총먼지 배출량 원단위를 연도별로 살펴보면, 2015년과 2017년도에는 바이오중유발전소에서 더 낮게 나타나지만, 2016년도에는 45.5%가량 높은 수치로 나타났다. 초미세먼지 배출량 원단위는 바이오중유발전소가 중유발전소보다 평균 82.3% 낮게 나타났는데, 이는 황산화물의 초미세먼지 2차 생성 기여도가 높기 때문에 바이오중유의 황산화물 저감효과가 반영된 것으로 볼 수 있다.

〈표 5-3〉 중유발전소와 바이오중유발전소의 대기오염물질 배출량 원단위

| 구분                           | 연도    | SOx   | NOx   | TSP   | PM-2.5 <sup>2</sup> |
|------------------------------|-------|-------|-------|-------|---------------------|
| 중유<br>발전소<br>(kg/MWh)        | 2015년 | 1.314 | 0.727 | 0.023 | 0.529               |
|                              | 2016년 | 1.367 | 0.721 | 0.020 | 0.544               |
|                              | 2017년 | 1.264 | 0.711 | 0.018 | 0.506               |
|                              | 평균    | 1.315 | 0.720 | 0.020 | 0.526               |
| 바이오<br>중유<br>발전소<br>(kg/MWh) | 2015년 | 0.004 | 0.554 | 0.022 | 0.063               |
|                              | 2016년 | 0.061 | 0.682 | 0.029 | 0.098               |
|                              | 2017년 | 0.168 | 0.640 | 0.014 | 0.120               |
|                              | 평균    | 0.078 | 0.625 | 0.022 | 0.093               |
| 저감률 <sup>1</sup><br>(%)      | 2015년 | 99.7  | 23.8  | 0.9   | 88.1                |
|                              | 2016년 | 95.6  | 5.5   | -45.5 | 82.1                |
|                              | 2017년 | 86.7  | 10.0  | 22.2  | 76.4                |
|                              | 평균    | 94.1  | 13.1  | -8.0  | 82.3                |

주: 1. 중유발전 대비 바이오중유발전의 배출 저감률

2. 초미세먼지 전환계수(SOx(0.345), NOx(0.079), TSP(0.7925)) 적용

## 제2절 온실가스 저감효과

바이오중유 사용에 따른 바이오중유발전부문의 온실가스 저감효과는 연료연소배출과 공정배출의 온실가스 저감량 합이다. 연료연소배출의 온실가스 저감량은 ‘중유 사용을 가정한 경우 온실가스 배출량 - 바이오중유 온실가스 배출량’으로 산정하였고, 공정배출 저감량은 석회석 절감량을 기준으로 산정하였다.

중유와 바이오중유의 연료사용량을 산정하기 위해 연료 1kl당 생산되는 발전량계수를 도출하였다. 2015년 기준 바이오중유 발전량 1,233GWh를 생산하기 위해 바이오중유 353,284kl가 사용되었으므로 발전량을 연료 사용량으로 나누어 발전량계수를 도출하면 3.5(MWh/kl)가 된다. 동일한 방식으로 중유발전의 발전량계수를 산정하면 4.1(MWh/kl)가 도출된다. 이는 바이오중유 1kl당 생산되는 발전량은 3.5MWh이고, 중유 1kl당 생산되는 발전량은 4.1MWh임을 의미한다. 바이오중유발전소의 발전량계수는 중유발전소 발전량계수의 85% 수준인데, 바이오중유의 발열량이 중유의 발열량보다 10% 정도 낮다는 기존 연구(백세현 등, 2014)보다는 다소 낮은 것으로 나타났다.

<표 5-4>에서는 바이오중유발전에 따른 연료연소배출부문의 온실가스 저감량 산정결과를 제시하였다. 발전량계수를 이용하여 동일한 발전량 1,233GWh를 생산하는데 필요한 중유와 바이오중유의 연료사용량을 살펴보면, 중유는 299천kl, 바이오중유는 353천kl가 사용된다. 이를 온실가스·에너지 목표관리지침의 Tier 1 배출량 산정방법에 따라 계산하면, 중유 배출량은 911,295tCO<sub>2</sub>eq이고 바이오중유는 2,389tCO<sub>2</sub>eq으로 나타나며, 결과적으로 바이오중유발전에 따른 연료연소배출부문의 온실가스 저감량은 908,906tCO<sub>2</sub>eq이 된다.

<표 5-4> 바이오중유발전에 따른 연료연소 온실가스 저감량

| 구분                            | 중유      | 바이오중유              |
|-------------------------------|---------|--------------------|
| 사용량(kℓ) <sup>1</sup>          | 299,390 | 353,284            |
| 온실가스 배출량(tCO <sub>2</sub> eq) | 911,295 | 2,389 <sup>2</sup> |
| 온실가스 저감량(tCO <sub>2</sub> eq) | 908,906 |                    |

주: 1. 발전량 1,233GWh 기준

2. 바이오중유의 온실가스 배출량은 CO<sub>2</sub>는 제외하고 CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O만 포함하여 산정

<표 5-5>에서는 바이오중유발전에 따른 공정배출 부문의 온실가스 저감량 산정결과를 제시하였다. 바이오중유 발전량 1,233GWh에 바이오중유 발전량 당 석회석 절감량 비율 15.023ton/MWh을 적용하면 석회석 절감량 18,526ton이 도출된다. 이를 온실가스·에너지 목표관리지침의 ‘탄산염 사용에 따른 온실가스 배출량 산정방법’에 따라 계산하면, 바이오중유발전에 따른 공정배출 온실가스 저감량은 8,146tCO<sub>2</sub>eq이 된다. 바이오중유발전에 따른 총 온실가스 저감량은 연료연소부문 온실가스 저감량과 공정배출부문 온실가스 저감량의 합인 917천tCO<sub>2</sub>eq로 나타났다.

<표 5-5> 바이오중유발전에 따른 공정배출 온실가스 저감량

| 구분                            | 기준 시나리오 |
|-------------------------------|---------|
| 석회석 절감량(ton)                  | 18,526  |
| 온실가스 저감량(tCO <sub>2</sub> eq) | 8,146   |

주: 발전량 1,233GWh 기준

## 제6장 바이오중유의 보급·확대 시나리오

### 제1절 시나리오의 구성

#### 1. 시나리오 개요

바이오중유 시범보급사업 하에서 바이오중유발전소는 제한적으로 가동되고 있다. 바이오중유 시범보급사업고시에서는 발전사 당 1개소만 바이오중유발전소로 운영하도록 규정하고 있을 뿐 아니라 바이오중유 상용화 여부가 결정되지 않은 상황에서 발전사가 바이오중유 설비에 온전한 투자를 하는 것이 어렵기 때문이다(에코네트워크, 2018).

바이오중유발전의 제한적 운영은 바이오중유생산부문에 도 영향을 미친다. 발전사가 바이오중유 시장의 유일한 소비자이며, 바이오중유 생산은 ‘선 수주, 후 생산’의 체계로 이루어지기 때문에 바이오중유의 발전량 증감은 곧 바이오중유의 생산량 증감과 직결된다. 이러한 측면에서 바이오중유 발전량을 기준으로 보급·확대 시나리오를 구성하면 바이오중유의 보급·확대가 국민 경제 전반에 미치는 파급효과를 파악할 수 있다.

기준 시나리오 및 보급·확대 시나리오의 구성 방향을 제시하면 <그림 6-1>과 같다. 기준 시나리오는 현행 유지 시나리오로 2015년 기준 이용률인 39%<sup>54)</sup>와 정격용량에 혼소율을 반영한 보급용량인 361MW<sup>55)</sup>, 발전량

---

54) ‘발전량(MWh) = 보급용량(MW) × 이용률(%) × 8,760(시간)’의 관계식 통해 이용률을 도출하였다. 이때 이용률은 365일 24시간 기준으로 설정하였다.

55) 정격용량 400MW 발전기에 바이오중유를 연평균 10% 혼소하면 바이오중유발전소의 보급용량은 40MW가 된다. 보급용량에 혼소율을 적용하면, 별도의 혼소율을 고려하지 않아도 된다. 이러한 산정방식은 신재생에너지 보급통계(한국에너지공단 발간)의 바이오중유 보급용량 산정방식과 동일하다.

1,233GWh를 적용하였다. 6가지 보급·확대 시나리오는 발전소 이용률과 보급용량을 변경하며 바이오중유 발전량과 이에 따른 바이오중유 사용량이 점차 확대되는 시나리오를 구성하였다.

<그림 6-1>의 행방향에 제시한 것과 같이 이용률에 따른 시나리오 구성 방안은 두 가지로 (1)2015년 이용률인 39%와 (2)최근 3년간 중유 발전소 최대 이용률인 51%를 적용하였다. <그림 6-1>의 열방향에 제시한 것과 같이 보급용량에 따른 시나리오 구성 방안은 세 가지로 (I)기준 시나리오 보급용량(361MW)에 ‘재생에너지 3020이행계획(안)’의 바이오에너지 확대 비율(2배)을 적용한 721MW, (II)바이오중유 혼소율은 유지하고 정격용량을 최대로 확대한 1,209MW, (III)바이오중유 생산가능 용량을 고려한 바이오중유 최대보급용량 2,293MW를 적용하였다.



<그림 6-1> 시나리오 구성 개요

## 2. 시나리오 구성

### 2.1 현행 유지 시나리오(기준 시나리오)

기준 시나리오는 현행 유지(2015년 기준)를 가정한 것으로 바이오중유 시범보급대상 발전소 5기의 혼소율, 이용률을 기존과 동일하다고 가정하였다. 기준 시나리오 5기의 발전소 정격용량은 969MW이다. 신재생에너지보급통계(한국에너지공단, 2017)에 제시한 2015년 바이오중유발전의 보급용량은 361MW로 이는 정격용량에 바이오중유 혼소율을 반영한 수치이다.

한국전력통계(한국전력공사, 2017)에 제시한 바이오중유 발전량은 1,233GWh이며, ‘발전량(MWh) = 보급용량(MW) × 이용률(%) × 8,760(시간)’의 관계식 통해 365일(24시간) 가동을 기준으로 2015년 바이오중유발전소 평균 이용률을 도출하면 39%이다. 기준 시나리오에서는 바이오중유 발전이 2015년 총 유류 발전량(10,055GWh)의 약 12%를 차지한다.<sup>56)</sup> 기준 시나리오를 요약하면 <표 6-1>과 같다.

<표 6-1> 바이오중유 보급확대 기준 시나리오

| 구분                    | 정격용량<br>(MW) | 보급용량 <sup>1</sup><br>(MW) | 이용률 <sup>2</sup><br>(%) | 발전량<br>(GWh) | 바이오중유<br>발전량<br>비중 <sup>3</sup> (%) |
|-----------------------|--------------|---------------------------|-------------------------|--------------|-------------------------------------|
| 기준<br>시나리오<br>(현행 유지) | 969          | 361                       | 39%                     | 1,233        | 12%                                 |

- 주: 1. 정격용량에 바이오중유 평균 혼소율(37%) 반영  
 2. 365일 24시간 기준 이용률 적용  
 3. 2015년 기준 바이오중유 발전량과 중유 발전량 합계(10,055GWh) 대비 시나리오별 바이오중유 발전량

56) 2015년 총 유류 발전량은 바이오중유 발전량(1,233GWh)과 중유 발전량(8,822GWh)의 합계이다.



## 2.2 정부 계획안 반영 시나리오(시나리오 I)

바이오중유의 보급·확대 시나리오 I 은 기존 시나리오(현행 유지)의 정격용량 및 보급용량에 ‘재생에너지 3020이행계획(안)’의 바이오에너지 보급용량 확대 비율을 적용한 것이다. 동 계획(안)에 따르면 2030년까지 총 63.8GW의 재생에너지 설비를 공급하는데, 그중 5%에 해당하는 3.3GW는 바이오에너지로 공급한다.

<표 6-2>에 제시한 바와 같이 2015년 바이오에너지 보급용량은 1.6GW이며, 보급용량이 약 2배 증가하면 재생에너지 3020계획(안)의 보급용량을 충족하게 된다. 모든 바이오에너지의 보급용량이 동일한 비율로 확대된다고 가정하면, 바이오중유발전소는 5기에서 10기로 증가하며, 이때 바이오중유발전의 정격용량과 보급용량은 각각 1,937MW, 721MW로 확대된다.<sup>57)</sup>

<표 6-2> 2015년과 재생에너지 3020이행계획(안) 재생에너지 보급용량 비교

| 구분  | 보급용량(GW)           |                    | 2015년 대비<br>2030년 확대 비율(배) |
|-----|--------------------|--------------------|----------------------------|
|     | 2015년 <sup>1</sup> | 2030년 <sup>2</sup> |                            |
| 바이오 | 1.6                | 3.3                | 2.1                        |
| 태양광 | 3.6                | 36.5               | 10.1                       |
| 풍력  | 0.9                | 17.7               | 20.8                       |
| 수력  | 1.8                | 2.5                | 1.4                        |
| 해양  | 0.3                | -                  | -                          |
| 폐기물 | 5.1                | 3.8                | 0.8                        |
| 합계  | 13.2               | 63.8               | 4.8                        |

출처: 1. 2016년도 신재생에너지보급통계(한국에너지공단, 2016)

2. 재생에너지 3020이행계획(안)(산업통상자원부, 2017)

57) 한국중부발전, 한국남부발전, 한국동서발전, 한국서부발전은 중유발전소 1대씩을 추가로 전환하고, 한국지역난방공사는 수원열병합(43.2MW)를 추가로 전환함을 가정하였다.

시나리오 I 은 이용률에 따라 두 가지 파생 시나리오(1, 2)로 구성되는데, 시나리오 I -1 의 경우 기준 시나리오와 동일한 이용률인 39%를 적용하였으며, 시나리오 I -2 는 최근 3년간 중유 발전소 최대 이용률인 51%를 적용하였다. 보급용량과 이용률을 토대로 바이오중유 발전량을 산정하면 시나리오 I -1 은 2,466GWh, 시나리오 I -2 는 3,190GWh 로 각각 2015년 총 유류발전량 10,055GWh 의 25%, 32%를 대체하는 것과 같다. 바이오중유 보급·확대 시나리오 I 을 요약하면 <표 6-3>과 같다.

<표 6-3> 바이오중유 보급·확대 시나리오 I

| 구분           | 정격용량<br>(MW) | 보급용량 <sup>1</sup><br>(MW) | 이용률 <sup>2</sup><br>(%) | 발전량<br>(GWh) | 바이오중유<br>발전량<br>비중 <sup>3</sup> (%) |
|--------------|--------------|---------------------------|-------------------------|--------------|-------------------------------------|
| 시나리오<br>I -1 | 1,937        | 721                       | 39%                     | 2,466        | 25%                                 |
| 시나리오<br>I -2 | 1,937        | 721                       | 51%                     | 3,190        | 32%                                 |

- 주: 1. 정격용량에 바이오중유 평균 혼소율(37%) 반영  
 2. 365일 24시간 기준 이용률 적용  
 3. 2015년 기준 바이오중유 발전량과 중유 발전량 합계(10,055GWh) 대비 시나리오별 바이오중유 발전량

### 2.3 중간 보급 시나리오(시나리오 II)

바이오중유의 보급·확대 시나리오 II 는 시범보급사업에 참여하고 있는 5개 발전사가 보유한 중유발전소를 모두 운영하되, 혼소율은 현행과 동일하다고 가정된 시나리오이다. 2018년 기준 국내 중유발전소는 <표 6-4>와 같이 총 18기이며, 그 가운데 시범보급사업에 참여하고 있는 5개 발전사가 보유한 중유발전소는 15기이다. 이때 정격용량은 3,178MW 이며, 현행과 동일한 혼소율을 적용하면 보급용량은 1,208MW 가 된다.

〈표 6-4〉 중유발전소 설비용량

| 구분               | 발전사                 | 발전소(발전기 수)            | 정격용량(MW) |
|------------------|---------------------|-----------------------|----------|
| 기력발전             | 한국중부발전              | 제주(2) <sup>1</sup>    | 150.0    |
|                  | 한국남부발전              | 남제주(2) <sup>1</sup>   | 200.0    |
|                  | 한국동서발전              | 울산(3) <sup>1</sup>    | 1,200.0  |
|                  | 한국서부발전              | 평택(4) <sup>1</sup>    | 1,400.0  |
|                  | 기력발전 소계(11)         |                       | 2,950.0  |
| 내연발전             | 한국중부발전              | 제주내연(1)               | 80.0     |
|                  | 내연발전 소계(1)          |                       | 80.0     |
| 열병합발전<br>(집단에너지) | 한국지역난방<br>공사        | 대구열병합(1) <sup>1</sup> | 43.5     |
|                  |                     | 수원열병합(1)              | 43.2     |
|                  |                     | 청주열병합(1)              | 61.4     |
|                  |                     | 소계(3)                 | 148.1    |
|                  | GS E&R <sup>2</sup> | 구미열병합(1)              | 11.6     |
|                  | 무림파워텍 <sup>2</sup>  | 무림파워텍(1)              | 42.6     |
|                  | 대전열병합 <sup>2</sup>  | 대전열병합(1)              | 88.0     |
|                  | 열병합발전 소계(6)         |                       | 282.3    |
| 소계(18)           |                     |                       | 3,320.3  |

출처: 2016년도 전력시장통계(전력거래소, 2017)와 민간발전협회(2017)를 바탕으로 재구성

주: 1. 바이오중유 시범보급 대상 사업자

2. RPS 공급의무비대상

시나리오Ⅱ도 이용률에 따라 두 가지 파생 시나리오(1, 2)로 구성되는데, 시나리오Ⅱ-1의 경우 기준 시나리오와 동일한 이용률인 39%를 적용하였으며, 시나리오Ⅱ-2는 최근 3년간 중유 발전소 최대 이용률인 51%를 적용하였다. 보급용량과 이용률을 토대로 바이오중유 발전량을 산정하면 시나리오Ⅱ-1은 4,133GWh, 시나리오Ⅱ-2는 5,346GWh로 각각 2015년 총 유류발전량 10,055GWh의 41%, 53%를 대체하는 것과 같다. 바이오중유 보급·확대 시나리

오 II 를 요약하면 <표 6-5>와 같다.

<표 6-5> 바이오중유 보급확대 시나리오 II

| 구분           | 정격용량<br>(MW) | 보급용량 <sup>1</sup><br>(MW) | 이용률 <sup>2</sup><br>(%) | 발전량<br>(GWh) | 바이오중유<br>발전량<br>비중 <sup>3</sup> (%) |
|--------------|--------------|---------------------------|-------------------------|--------------|-------------------------------------|
| 시나리오<br>II-1 | 3,178        | 1,208                     | 39%                     | 4,133        | 41%                                 |
| 시나리오<br>II-2 | 3,178        | 1,208                     | 51%                     | 5,346        | 53%                                 |

- 주: 1. 정격용량에 바이오중유 평균 혼소율(37%) 반영  
 2. 365일 24시간 기준 이용률 적용  
 3. 2015년 기준 바이오중유 발전량과 중유 발전량 합계(10,055GWh) 대비 시나리오별 바이오중유 발전량

## 2.4 최대 보급 시나리오(시나리오 III)

바이오중유의 보급확대 시나리오 III는 최대 보급 시나리오로 바이오중유 보급 한계치와 발전소 최대 보급용량을 고려하여 설정하였다. 바이오중유 보급 한계치는 원료 부존량을 기반으로 산정하거나 생산 가능량을 기반으로 산정할 수 있는데, 바이오중유 원료 부존량 국내 통계가 미흡하여 바이오중유 국내 총 생산능력인 2,732 천kl을 보급 한계치로 보았다(한국석유관리원, 2018). 바이오중유발전소는 <표 6-4>에 제시한 중유발전소 18 기(3,320MW) 전부를 잠재적인 바이오중유발전 대상으로 설정하였다.

시나리오 III에서도 이용률에 따라 두 가지 파생 시나리오(1, 2)가 구성되는데, 바이오중유 보급 한계치를 토대로 발전량을 도출하고, 발전량과 이용률을 적용하면 최대 보급용량은 2,293MW가 된다. 이는 바이오중유가 평균 69% 혼소된 것을 의미하며, 기준 시나리오의 평균 혼소율 보다 약 1.85 배 크다. 이처럼 최대 정격용량과 보급용량에 최대 이용률을 적용한 것을 시나리오 III

-2로 설정하고, 시나리오Ⅲ-2와 정격·보급용량은 동일하나, 이용률은 기존 시나리오와 동일한 39%를 적용한 것을 시나리오Ⅲ-1로 설정하였다. 보급용량과 이용률을 토대로 시나리오Ⅲ-1과 시나리오Ⅲ-2의 바이오중유 발전량을 산정하면 각각 7,842GWh, 10,144GWh가 되며, 이는 2015년 바이오중유발전과 중유발전으로 공급한 총 유류 발전량의 78%, 101%를 바이오중유로 보급하는 수준이다. 바이오중유 보급·확대 시나리오Ⅲ을 요약하면 <표 6-6>과 같다.

<표 6-6> 바이오중유 보급·확대 시나리오Ⅲ

| 구분          | 정격용량<br>(MW) | 보급용량 <sup>1</sup><br>(MW) | 이용률 <sup>2</sup><br>(%) | 발전량<br>(GWh) | 바이오중유<br>발전량<br>비중 <sup>3</sup> (%) |
|-------------|--------------|---------------------------|-------------------------|--------------|-------------------------------------|
| 시나리오<br>Ⅲ-1 | 3,320.3      | 2,293                     | 39%                     | 7,842        | 78%                                 |
| 시나리오<br>Ⅲ-2 | 3,320.3      | 2,293                     | 51%                     | 10,144       | 101%                                |

- 주: 1. 정격용량에 바이오중유 평균 혼소율(69%) 반영  
 2. 365일 24시간 기준 이용률 적용  
 3. 2015년 기준 바이오중유 발전량과 중유 발전량 합계(10,055GWh) 대비 시나리오별 바이오중유 발전량

### 3. 시나리오 전제조건

#### 3.1 시나리오별 총산출

바이오중유의 보급·확대 시나리오 분석에 산업연관분석을 이용하기 위해서는 시나리오의 전제조건으로 총산출액(=총투입액)이 필요하다. 바이오중유발전부문의 총산출액은 총투입액과 동일하며, 총투입액은 중간투입액(=중간투입액+순생산물세+잔폐물발생액)와 부가가치계의 합으로 구성된다. 본 연구에서는 순생산물세, 잔폐물발생액, 부가가치계가 중간투입액에 따라 변

동되므로 시나리오별 중간투입액을 구하면 총산출액을 도출할 수 있다. 보급·확대 시나리오 I, II, III의 중간투입액을 보다 정확하게 산정하기 위해 기준 시나리오의 중간투입액을 초기투자비, 연료비, 변동비로 구분하고 항목별로 가중치를 달리 적용하였다.

발전부문 초기투자비에 영향을 주는 인자는 보급용량으로 가정하고, 시나리오 I은 기준 시나리오 초기투자비의 2배, 시나리오 II는 기준 시나리오 초기투자비의 3.4배, 시나리오 III은 기준 시나리오 초기투자비의 6.4배의 가중치를 주었다. 유지보수비 등의 변동비는 발전량에 비례하여 증감하는 것으로 가정하였다. 바이오중유 생산부문은 초기투자비를 고정하고, 생산량의 증가에 따라 원료투입량, 유지보수비가 비례하여 증가하는 것으로 가정하였다.<sup>58)</sup>

이러한 방식으로 총산출을 구하면 기준 시나리오 산출액은 바이오중유산업이 5,797억 원, 중유산업이 3,741억 원이며, 가중치를 적용하여 도출한 시나리오별 산출액은 시나리오 I-1에서 바이오중유산업 1조 1,434억 원, 중유산업 7,482억 원, 시나리오 I-2에서 바이오중유산업 1조 4,710억 원, 중유산업 9,678억 원, 시나리오 II-1에서 바이오중유산업 1조 9,054억 원, 중유산업 1조 2,539억 원, 시나리오 II-2에서 바이오중유산업 2조 4,544억 원, 중유산업 1조 6,219억 원, 시나리오 III-1에서 바이오중유산업 3조 6,010억 원, 중유산업 2조 3,792억 원, 시나리오 III-2에서 바이오중유산업 4조 6,427억 원, 중유산업 3조 774억 원으로 나타났다. 시나리오별 산출액을 요약하면 <표 6-7>과 같다.

---

58) 바이오중유 생산부문의 초기투자비를 고정값으로 설정한 이유는 보급·확대 시나리오 I, II, III에서 필요로 하는 바이오중유의 사용량이 현재 설비의 최대생산용량 범위 내에 있기 때문이다.

<표 6-7> 바이오중유 보급·확대 시나리오별 산출액

| 구분         | 발전량 기준<br>(GWh) | 총산출액(억 원) |        |
|------------|-----------------|-----------|--------|
|            |                 | 바이오중유산업   | 중유산업   |
| 기준 시나리오    | 1,233           | 5,797     | 3,741  |
| 시나리오 I-1   | 2,466           | 11,434    | 7,482  |
| 시나리오 I-2   | 3,190           | 14,710    | 9,678  |
| 시나리오 II-1  | 4,133           | 19,054    | 12,539 |
| 시나리오 II-2  | 5,346           | 24,544    | 16,219 |
| 시나리오 III-1 | 7,842           | 36,010    | 23,792 |
| 시나리오 III-2 | 10,144          | 46,427    | 30,774 |

### 3.2 시나리오별 연료사용량

바이오중유의 보급·확대에 따른 고용유발효과 분석과 온실가스 저감효과를 분석하기 위해서는 시나리오의 전제조건으로 바이오중유와 중유의 연료사용량이 필요하다. 시나리오별 연료사용량은 <표 6-8>와 같다.<sup>59)</sup>

기준 시나리오의 바이오중유 사용량은 353천kl, 중유 사용량은 299천kl이다. 시나리오 I-1의 중유 사용량은 599천kl, 바이오중유 사용량은 707천kl, I-2의 중유 사용량은 774천kl, 바이오중유 사용량은 914천kl로 도출되었다. 시나리오 II-1의 중유 사용량은 1,003천kl, 바이오중유 사용량은 1,184천kl, II-2의 중유 사용량은 1,298천kl, 바이오중유 사용량은 1,532천kl로 도출되었다. 시나리오 III-1의 중유 사용량은 1,904천kl, 바이오중유 사용량은 2,247천kl, III-2의 중유 사용량은 2,463천kl, 바이오중유 사용량은 2,906천kl로 도출되었다. 동일한 발 발전량을 생산하기 위해 바이오중유의 사용량

59) 중유와 바이오중유의 연료 사용량 도출방식에 대한 상세한 설명은 제 4 장 제 2 절 ‘온실가스 저감효과’ 에 기술한 것으로 같음한다.

이 중유 사용량보다 1.2배가량 더 소모됨을 알 수 있다.

<표 6-8> 바이오중유 보급확대 시나리오별 연료사용량

| 구분         | 발전량 기준<br>(GWh) | 연료 사용량(천kl) |       |
|------------|-----------------|-------------|-------|
|            |                 | 바이오중유       | 중유    |
| 기준 시나리오    | 1,233           | 353         | 299   |
| 시나리오 I-1   | 2,466           | 707         | 599   |
| 시나리오 I-2   | 3,190           | 914         | 774   |
| 시나리오 II-1  | 4,133           | 1,184       | 1,003 |
| 시나리오 II-2  | 5,346           | 1,532       | 1,298 |
| 시나리오 III-1 | 7,842           | 2,247       | 1,904 |
| 시나리오 III-2 | 10,144          | 2,906       | 2,463 |

### 3.3 시나리오별 고용 인원

바이오중유산업의 고용효과는 바이오중유생산부문과 발전부문의 직접적인 고용효과와 타 산업부문에 유발된 고용효과의 합으로 나타난다. 바이오중유생산부문의 직접적 고용효과를 추정하기 위해 바이오중유생산량과 고용자 수를 검토하였다.

2014년, 2015년, 2016년의 실제 바이오중유생산부문 고용자 수는 각각 141명, 164명, 179명이며, 바이오중유 생산업자의 연료생산량은 179천kl, 353천kl, 444천kl이다(한국에너지공단, 2017; 한국석유관리원, 2018).<sup>60)</sup> 고용자 수를 연료생산량으로 나누면 연료 1kl 생산에 필요한 인원을 도출할 수 있는데, 2014년 0.786명/천kl, 2015년 0.464명/천kl, 2016년 0.404명/천kl으로 많은 양을 생산 할수록 추가로 필요한 고용자 수는 점차 감소하는

60) 본 연구에서는 바이오중유의 재고가 없다고 가정하고 생산량과 공급량이 동일한 것으로 설정하였다.



것으로 나타났다. 이러한 추세를 반영하여 바이오중유 보급·확대 시나리오별 생산부문 고용자 수를 추정하면 <표 6-9>에 제시한 바와 같다.<sup>61)</sup>

<표 6-9> 바이오중유 보급·확대 시나리오별 생산부문 고용자 수(명)

| 구분         | 바이오중유 생산량(천kl) | 바이오중유 생산부문<br>고용자 수(명) |
|------------|----------------|------------------------|
| 기준 시나리오    | 353            | 164                    |
| 시나리오 I-1   | 707            | 197                    |
| 시나리오 I-2   | 914            | 206                    |
| 시나리오 II-1  | 1,184          | 213                    |
| 시나리오 II-2  | 1,532          | 217                    |
| 시나리오 III-1 | 2,247          | 220                    |
| 시나리오 III-2 | 2,906          | 220                    |

61) 2014년~2016년의 바이오중유 생산량과 고용자 수를 기준으로 엑셀의 성장 함수(Growth)를 적용하여 시나리오별 생산량에 해당하는 고용자 수를 도출하였다.

## 제2절 시나리오별 사회·경제적 효과

### 1. 현행 유지 시나리오(기준 시나리오)의 사회·경제적 효과

외생화모형을 통해 도출한 각종 유발계수에 분석대상 부문의 산출액을 곱하면 경제 전체에 미치는 유발액이 산출된다. 본 연구에서는 바이오중유 산업과 중유산업 외생화에 따라 도출된 생산유발계수, 부가가치유발계수, 수입유발계수, 고용유발계수에 시나리오별 각 산업의 산출액을 곱해 생산유발액, 부가가치유발액, 수입유발액, 고용유발인원을 도출하였다. 바이오중유 산업의 순 파급효과는 바이오중유산업의 파급효과에서 중유산업의 파급효과를 차감함으로써 도출하였다. 기준 시나리오에 따른 바이오중유산업과 중유산업의 사회·경제적 파급효과 비교분석 결과는 <표 6-10>에 제시하였으며, 바이오중유산업의 산업부문별 유발액은 <부록 표 1>, 중유산업의 산업부문별 유발액은 <부록 표 2>에 제시하였다.

기준 시나리오에서 바이오중유산업의 산출액은 5,797억 원으로 이에 따라 타 산업부문에 파급되는 생산유발효과는 화학제품부문 772억 원, 음식료품부문 315억 원 등 총 2,455억 원으로 나타났다. 중유산업의 산출액은 3,741억 원으로 타 산업부문에 파급되는 생산유발효과는 전력, 가스 및 증기부문 49억 원, 금속제품부문 41억 원 등 총 182억 원의 유발효과가 있는 것으로 나타났다. 바이오중유산업의 파급효과에서 중유산업의 파급효과를 차감하여 바이오중유산업의 순 생산유발효과를 산출하면 2,273억 원이며, 자기부문 파급효과를 고려하면 총 4,329억 원의 순 생산유발효과가 있는 것으로 나타났다.

바이오중유산업의 산출로 인해 타 산업부문에 창출되는 부가가치유발효과는 685억 원이며, 화학제품부문에 유발되는 부가가치가 153억 원으로

가장 크게 나타났다. 중유산업은 전력, 가스 및 증기부문 13억 원 등 타 산업부문에 총 54억 원의 부가가치를 유발하는 것으로 나타났다. 바이오중유산업의 순 부가가치유발효과는 631억 원으로 자기부문의 효과를 고려하면 총 1,615억 원의 순 부가가치유발효과가 있는 것으로 나타났다.

바이오중유산업의 산출로 인해 타 산업부문에 파급되는 수입유발효과는 총 885억 원이며, 바이오중유산업의 직접 수입(원료 수입)으로 인해 발생한 670억 원과 바이오중유산업이 타 부문에 수입을 유발함으로써 발생한 215억 원의 합과 같다. 중유산업의 경우 총 1,309억 원의 수입유발효과가 있으며, 중유산업의 직접 수입(중유 수입)으로 인한 1,287억 원과 타 부문에 수입을 유발함으로써 발생한 21억 원의 합과 같다. 바이오중유산업의 수입유발효과에서 중유산업의 수입유발효과를 차감하여 바이오중유산업의 순수입유발효과를 산정하면 음(-)의 값이 나타나는데, 이는 바이오중유가 중유를 대체함으로써 수입액이 작아진다는 것을 의미한다.

바이오중유산업의 산출로 인해 타 산업에서 창출되는 고용유발효과는 681명이며, 중유산업의 산출은 44명의 고용유발효과가 있으므로 순 고용유발효과는 681명에서 44명을 제외한 638명으로 나타났다. 자기부문의 효과를 고려하면 총 802명의 순 고용유발효과가 있는 것으로 분석되었다. 이때, 자기부문의 순 고용효과는 바이오중유 생산부문의 고용자 수(164명)와 일치하는데, 중유발전과 바이오중유발전의 고용자 수가 동일하다고 가정하였기 때문에 발전부문의 고용효과는 상쇄되고 생산부문의 고용효과만 나타난 것이다.

<표 6-10> 기준 시나리오의 사회·경제적 파급효과

| 구분                    |        | 바이오중유산업<br>유발효과 <sup>1</sup> | 중유산업<br>유발효과 <sup>2</sup> | 바이오중유산업<br>순유발효과 <sup>3</sup> |
|-----------------------|--------|------------------------------|---------------------------|-------------------------------|
| 생산<br>유발효과<br>(억 원)   | 타부문효과  | 2,455                        | 182                       | 2,273                         |
|                       | 자기부문효과 | 5,797                        | 3,741                     | 2,055                         |
|                       | 소계     | 8,252                        | 3,923                     | 4,329                         |
| 부가가치<br>유발효과<br>(억 원) | 타부문효과  | 685                          | 54                        | 631                           |
|                       | 자기부문효과 | 2,053                        | 1,069                     | 984                           |
|                       | 소계     | 2,737                        | 1,122                     | 1,615                         |
| 수입<br>유발효과<br>(억 원)   | 타부문효과  | 215                          | 21                        | 194                           |
|                       | 직접효과   | 670                          | 1,287                     | -618                          |
|                       | 소계     | 885                          | 1,309                     | -424                          |
| 고용<br>유발효과<br>(명)     | 타부문효과  | 681                          | 44                        | 638                           |
|                       | 자기부문효과 | 406                          | 242                       | 164                           |
|                       | 소계     | 1,087                        | 286                       | 802                           |

- 주: 1. 바이오중유산업 산출액 5,797억 원 기준  
 2. 중유산업 산출액 3,741억 원 기준  
 3. 바이오중유산업 유발액 - 중유산업 유발액

## 2. 정부 계획안 반영 시나리오(시나리오 I)의 사회·경제적 효과

바이오중유의 보급·확대 시나리오 I-1에 따른 바이오중유산업과 중유산업의 사회·경제적 파급효과 비교분석 결과는 <표 6-11>에 제시하였으며, 바이오중유산업과 중유산업의 산업부문별 유발액은 <부록 표 3>, <부록 표 4>에 제시하였다. 시나리오 I-1에서 바이오중유산업의 산출액은 11,434억 원으로 이에 따라 타 산업부문에 파급되는 생산유발효과는 화학제품부문 1,527억 원, 음식료품부문 630억 원 등 총 4,557억 원으로 나타났다. 중유산업의 산출액은 7,482억 원으로 타 산업부문에 파급되는 생산유발효과는 전력, 가스 및 증기부문 101억 원, 금속제품부문 81억 원 등 총 366억 원의 생산유발효

과가 있는 것으로 나타났다. 바이오중유산업의 파급효과에서 중유산업의 파급효과를 차감하여 바이오중유산업의 순 생산유발효과를 산출하면 4,190억 원이며, 자기부문 효과를 고려하면 총 8,142억 원의 순 생산유발효과가 있는 것으로 나타났다.

바이오중유산업의 산출로 인해 타 산업부문에서 창출되는 부가가치유발효과는 1,262억 원이며, 화학제품부문에 유발되는 부가가치가 302억 원으로 가장 크게 나타났다. 중유산업은 전력, 가스 및 증기부문 27억 원 등 타 산업부문에 총 108억 원의 부가가치를 유발하는 것으로 나타났다. 바이오중유산업의 순 부가가치유발효과는 1,154억 원이며, 자기부문의 효과를 고려하면 총 1,969억 원의 순 부가가치 창출 효과가 있는 것으로 나타났다.

바이오중유산업의 산출로 인해 타 산업부문에 파급되는 수입유발효과는 총 1,756억 원이며, 바이오중유산업의 직접 수입(원료 수입)으로 인해 발생한 1,340억 원과 바이오중유산업이 타 부문에 수입을 유발함으로써 발생한 417억 원의 합과 같다. 중유산업의 경우 총 2,618억 원의 수입유발효과가 있으며, 중유산업의 직접 수입(중유 수입)으로 인한 2,575억 원과 타 부문에 수입을 유발함으로써 발생한 43억 원의 합과 같다. 바이오중유산업의 수입유발효과에서 중유산업의 수입유발효과를 차감하여 바이오중유산업의 순 수입유발효과를 산정하면 862억 원의 음(-)의 효과가 나타나는데, 이는 바이오중유가 중유를 대체함으로써 수입액이 작아진다는 것을 의미한다.

바이오중유산업의 산출로 인해 타 산업에서 창출되는 고용유발효과는 1,238명이며, 중유산업의 산출은 88명의 고용유발효과가 있으므로 순 고용유발효과는 1,151명으로 나타났다. 자기부문의 효과를 고려하면 총 1,348명의 순 고용유발효과가 있는 것으로 분석되었다. 자기부문의 순 고용효과는 바이오중유 생산부문의 고용자 수(197명)와 일치하는데, 중유발전과 바이오

중유발전의 고용자 수가 동일하다고 가정하였기 때문에 발전부문의 고용효과는 상쇄되고 생산부문의 고용효과만 나타난 것이다.

<표 6-11> 바이오중유 보급확대 시나리오 I-1의 사회·경제적 효과

| 구분                    |        | 바이오중유산업<br>유발효과 <sup>1</sup> | 중유산업<br>유발효과 <sup>2</sup> | 바이오중유산업<br>순유발효과 <sup>3</sup> |
|-----------------------|--------|------------------------------|---------------------------|-------------------------------|
| 생산<br>유발효과<br>(억 원)   | 타부문효과  | 4,557                        | 366                       | 4,190                         |
|                       | 자기부문효과 | 11,434                       | 7,482                     | 3,951                         |
|                       | 소계     | 15,991                       | 7,849                     | 8,142                         |
| 부가가치<br>유발효과<br>(억 원) | 타부문효과  | 1,262                        | 108                       | 1,154                         |
|                       | 자기부문효과 | 4,106                        | 2,137                     | 1,969                         |
|                       | 소계     | 5,368                        | 2,245                     | 3,123                         |
| 수입<br>유발효과<br>(억 원)   | 타부문효과  | 417                          | 43                        | 373                           |
|                       | 직접효과   | 1,340                        | 2,575                     | -1,235                        |
|                       | 소계     | 1,756                        | 2,618                     | -862                          |
| 고용<br>유발효과<br>(명)     | 타부문효과  | 1,238                        | 88                        | 1,151                         |
|                       | 자기부문효과 | 439                          | 242                       | 197                           |
|                       | 소계     | 1,677                        | 330                       | 1,348                         |

- 주: 1. 바이오중유산업 산출액 11,434억 원 기준  
 2. 중유산업 산출액 7,482억 원 기준  
 3. 바이오중유산업 유발액 - 중유산업 유발액

바이오중유의 보급·확대 시나리오 I-2에 따른 바이오중유산업과 중유산업의 사회·경제적 파급효과 비교분석 결과는 <표 6-12>에 제시하였으며, 바이오중유산업과 중유산업의 산업부문별 유발액은 각각 <부록 표 5>, <부록 표 6>에 제시하였다. 시나리오 I-2에서 바이오중유산업의 산출액은 1조4,710억 원으로 이에 따라 타 산업부문에 파급되는 생산유발효과는 화학제품부문 1,967억 원, 음식료품부문 814억 원 등 총 5,748억 원으로 나타났다. 중유산업의 산출액은 9,678억 원으로 타 산업부문에 파급되는 생산유발효과는 전

력, 가스 및 증기부문 131억 원, 금속제품부문 105억 원 등 총 475억 원의 생산유발효과가 있는 것으로 나타났다. 바이오중유산업의 파급효과에서 중유산업의 파급효과를 차감하여 바이오중유산업의 순 생산유발효과를 산출하면 5,274억 원이며, 자기부문의 효과를 고려하면 총 1조305억 원의 순 생산유발효과가 있는 것으로 나타났다.

바이오중유산업의 산출로 인해 타 산업에서 창출되는 부가가치유발효과는 1,587억 원이며, 화학제품부문에 유발되는 부가가치가 389억 원으로 가장 크게 나타났다. 중유산업은 전력, 가스 및 증기부문 35억 원 등 타 산업 부문에 총 140억 원의 부가가치를 유발하는 것으로 나타났다. 바이오중유산업의 순 부가가치유발효과는 1,447억 원으로 나타났다. 자기부문의 효과를 고려하면 총 3,981억 원의 순 부가가치 창출효과가 있는 것으로 나타났다.

바이오중유산업의 산출로 인해 타 산업에서 창출되는 수입유발효과는 2,267억 원이며, 바이오중유산업의 직접 수입(원료 수입)으로 인해 발생한 1,733억 원과 바이오중유산업이 타 부문에 수입을 유발함으로써 발생한 534억 원의 합과 같다. 중유산업의 경우 총 3,386억 원의 수입유발효과가 있으며, 중유산업의 직접 수입(중유 수입)으로 인한 3,330억 원과 타 부문에 수입을 유발함으로써 발생한 56억 원의 합과 같다. 바이오중유산업의 수입유발효과에서 중유산업의 수입유발효과를 차감하여 바이오중유산업의 순 수입유발효과를 산정하면 1,597억 원의 음(-)의 효과가 나타나는데, 이는 바이오중유가 중유를 대체함으로써 수입액이 작아진다는 것을 의미한다.

바이오중유산업의 산출로 인해 타 산업에서 창출되는 고용유발효과는 1,548명이며, 중유산업은 113명으로 순 고용유발효과는 1,435명으로 나타났다. 자기부문의 순 고용효과는 바이오중유 생산부문의 고용자 수(206명)와 일치하는데, 중유발전과 바이오중유발전의 고용자 수가 동일하다고 가정하

였기 때문에 발전부문의 고용효과는 상쇄되고 생산부문의 고용효과만 나타난 것이다.

<표 6-12> 바이오중유 보급확대 시나리오 I-2의 사회·경제적 효과

| 구분                    |        | 바이오중유산업<br>유발효과 <sup>1</sup> | 중유산업<br>유발효과 <sup>2</sup> | 바이오중유산업<br>순유발효과 <sup>3</sup> |
|-----------------------|--------|------------------------------|---------------------------|-------------------------------|
| 생산<br>유발효과<br>(억 원)   | 타부문효과  | 5,748                        | 475                       | 5,274                         |
|                       | 자기부문효과 | 14,710                       | 9,678                     | 5,032                         |
|                       | 소계     | 20,458                       | 10,153                    | 10,305                        |
| 부가가치<br>유발효과<br>(억 원) | 타부문효과  | 1,587                        | 140                       | 1,447                         |
|                       | 자기부문효과 | 5,298                        | 2,764                     | 2,533                         |
|                       | 소계     | 6,885                        | 2,904                     | 3,981                         |
| 수입<br>유발효과<br>(억 원)   | 타부문효과  | 534                          | 56                        | 478                           |
|                       | 직접효과   | 1,733                        | 3,330                     | -1,597                        |
|                       | 소계     | 2,267                        | 3,386                     | -1,120                        |
| 고용<br>유발효과<br>(명)     | 타부문효과  | 1,548                        | 113                       | 1,435                         |
|                       | 자기부문효과 | 448                          | 242                       | 206                           |
|                       | 소계     | 1,996                        | 355                       | 1,641                         |

- 주: 1. 바이오중유산업 산출액 14,710억 원 기준  
 2. 중유산업 산출액 9,678억 원 기준  
 3. 바이오중유산업 유발액 - 중유산업 유발액

### 3. 중간 보급 시나리오(시나리오 II)의 사회·경제적 효과

바이오중유의 보급·확대 시나리오 II-1에 따른 바이오중유산업과 중유산업의 사회·경제적 파급효과 비교분석 결과는 <표 6-13>에 제시하였으며, 바이오중유산업과 중유산업의 산업부문별 유발액은 <부록 표 7>, <부록 표 8>에 제시하였다. 시나리오 II-1에서 바이오중유산업의 산출액은 1조9,054억 원으로 이에 따라 타 산업부문에 파급되는 생산유발효과는 화학제품부문 2,545억 원, 음식료품부문 1,054억 원 등 총 7,395억 원으로 나타났다. 중유산업의 산



출액은 1조2,539억 원으로 타 산업부문에 파급되는 생산유발효과는 전력, 가스 및 증기부문 170억 원, 금속제품부문 136억 원 등 총 616억 원의 생산유발효과가 있는 것으로 나타났다. 바이오중유산업의 순 생산유발효과는 6,778억 원이며, 자기부문의 효과를 고려하면 총 1조3,293억 원의 순 생산유발효과가 있는 것으로 나타났다.

바이오중유산업의 산출로 인해 타 산업에서 창출되는 부가가치유발효과는 2,041억 원이며, 화학제품부문에 유발되는 부가가치가 503억 원으로 가장 크게 나타났다. 중유산업은 전력, 가스 및 증기부문 45억 원 등 타 산업부문에 총 182억 원의 부가가치를 유발하는 것으로 나타났다. 바이오중유산업의 순 부가가치유발효과는 1,860억 원으로 나타났다. 자기부문의 효과를 고려하면 총 5,161억 원의 순 부가가치 창출효과가 있는 것으로 나타났다.

바이오중유산업의 산출로 인해 타 산업에서 창출되는 수입유발효과는 2,935억 원이며, 바이오중유산업의 직접 수입(원료 수입)으로 인해 발생한 2,245억 원과 바이오중유산업이 타 부문에 수입을 유발함으로써 발생한 689억 원의 합과 같다. 중유산업의 경우 총 4,388억 원의 수입유발효과가 있으며, 중유산업의 직접 수입(중유 수입)으로 인한 4,315억 원과 타 부문에 수입을 유발함으로써 발생한 73억 원의 합과 같다. 바이오중유산업의 수입유발효과에서 중유산업의 수입유발효과를 차감하여 바이오중유산업의 순 수입유발효과를 산정하면 1,453억 원의 음(-)의 효과가 나타나는데, 이는 바이오중유가 중유를 대체함으로써 수입액이 작아진다는 것을 의미한다.

바이오중유산업의 산출로 인해 타 산업에서 창출되는 고용유발효과는 1,992명이며, 중유산업은 147명으로 순 고용유발효과는 1,844명으로 나타났다. 자기부문의 효과를 고려하면 총 2,057명의 순 고용유발효과가 있는 것으로 나타났다. 자기부문의 순 고용효과는 바이오중유 생산부문의 고용자

수(213명)와 일치하는데, 중유발전과 바이오중유발전의 고용자가 동일하다고 가정하였기 때문에 발전부문의 고용효과는 상쇄되고 생산부문의 고용효과만 나타난 것이다.

<표 6-13> 바이오중유 보급확대 시나리오Ⅱ-1의 사회경제적 효과

| 구분                    |        | 바이오중유산업<br>유발효과 <sup>1</sup> | 중유산업<br>유발효과 <sup>2</sup> | 바이오중유산업<br>순유발효과 <sup>3</sup> |
|-----------------------|--------|------------------------------|---------------------------|-------------------------------|
| 생산<br>유발효과<br>(억 원)   | 타부문효과  | 7,395                        | 616                       | 6,778                         |
|                       | 자기부문효과 | 19,054                       | 12,539                    | 6,514                         |
|                       | 소계     | 26,448                       | 13,155                    | 13,293                        |
| 부가가치<br>유발효과<br>(억 원) | 타부문효과  | 2,041                        | 182                       | 1,860                         |
|                       | 자기부문효과 | 6,882                        | 3,581                     | 3,301                         |
|                       | 소계     | 8,924                        | 3,763                     | 5,161                         |
| 수입<br>유발효과<br>(억 원)   | 타부문효과  | 689                          | 73                        | 616                           |
|                       | 직접효과   | 2,245                        | 4,315                     | -2,070                        |
|                       | 소계     | 2,935                        | 4,388                     | -1,453                        |
| 고용<br>유발효과<br>(명)     | 타부문효과  | 1,992                        | 147                       | 1,844                         |
|                       | 자기부문효과 | 455                          | 242                       | 213                           |
|                       | 소계     | 2,447                        | 389                       | 2,057                         |

- 주: 1. 바이오중유산업 산출액 19,054억 원 기준  
 2. 중유산업 산출액 12,539억 원 기준  
 3. 바이오중유산업 유발액 - 중유산업 유발액

바이오중유의 보급·확대 시나리오Ⅱ-2에 따른 바이오중유산업과 중유산업의 사회·경제적 파급효과 비교분석 결과는 <표 6-14>에 제시하였으며, 바이오중유산업과 중유산업의 산업부문별 유발액은 <부록 표 9>, <부록 표 10>에 제시하였다. 시나리오Ⅱ-2에서 바이오중유산업의 산출액은 2조4,544억 원으로 이에 따라 타 산업부문에 파급되는 생산유발효과는 화학제품부문 3,281억 원, 음식료품부문 1,362억 원 등 총 9,388억 원으로 나타났다. 중유

산업의 산출액은 1조6,219억 원으로 타 산업부문에 과급되는 생산유발효과는 전력, 가스 및 증기부문 221억 원, 금속제품부문 175억 원 등 총 798억 원의 생산유발효과가 있는 것으로 나타났다. 바이오중유산업의 과급효과에서 중유산업의 과급효과를 차감하여 바이오중유산업의 순 생산유발효과를 산출하면 8,590억 원이며, 자기부문의 효과를 고려하면 총 1조6,915억 원의 순 생산유발효과가 있는 것으로 나타났다.

바이오중유산업의 산출로 인해 타 산업에서 창출되는 부가가치유발효과는 2,585억 원이며, 화학제품부문에 유발되는 부가가치가 649억 원으로 가장 크게 나타났다. 중유산업은 전력, 가스 및 증기부문 59억 원 등 타 산업부문에 총 235억 원의 부가가치를 유발하는 것으로 나타났다. 바이오중유산업의 순 부가가치유발효과는 2,350억 원이며, 자기부문의 효과를 고려하면 총 6,596억 원의 순 부가가치 창출효과가 있는 것으로 나타났다.

바이오중유산업의 산출로 인해 타 산업에서 창출되는 수입유발효과는 3,790억 원이며, 바이오중유산업의 직접 수입(원료 수입)으로 인해 발생한 2,904억 원과 바이오중유산업이 타 부문에 수입을 유발함으로써 발생한 886억 원의 합과 같다. 중유산업은 총 5,676억 원의 수입유발효과가 있으며, 중유산업의 직접 수입(중유 수입)으로 인한 5,581억 원과 타 부문에 수입을 유발함으로써 발생한 95억 원의 합과 같다. 바이오중유산업의 수입유발효과에서 중유산업의 수입유발효과를 차감하여 바이오중유산업의 순 수입유발효과를 산정하면 1,886억 원의 음(-)의 효과가 나타나는데, 이는 바이오중유가 중유를 대체함으로써 수입액이 작아진다는 것을 의미한다.

바이오중유산업의 산출로 인해 타 산업에서 창출되는 고용유발효과는 2,510명이며, 중유산업은 190명으로 순 고용유발효과는 2,320명으로 나타났다. 자기부문의 효과를 고려하면 총 2,537명의 순 고용유발효과가 있는 것

으로 나타났다. 자기부문의 순 고용효과는 바이오중유 생산부문의 고용자 수(217명)와 일치하는데, 중유발전과 바이오중유발전의 고용자가 동일하다고 가정하였기 때문에 발전부문의 고용효과는 상쇄되고 생산부문의 고용효과만 나타난 것이다.

〈표 6-14〉 바이오중유 보급확대 시나리오Ⅱ-2의 사회경제적 효과

| 구분                    |        | 바이오중유산업<br>유발효과 <sup>1</sup> | 중유산업<br>유발효과 <sup>2</sup> | 바이오중유산업<br>순유발효과 <sup>3</sup> |
|-----------------------|--------|------------------------------|---------------------------|-------------------------------|
| 생산<br>유발효과<br>(억 원)   | 타부문효과  | 9,388                        | 798                       | 8,590                         |
|                       | 자기부문효과 | 24,544                       | 16,219                    | 8,325                         |
|                       | 소계     | 33,932                       | 17,017                    | 16,915                        |
| 부가가치<br>유발효과<br>(억 원) | 타부문효과  | 2,585                        | 235                       | 2,350                         |
|                       | 자기부문효과 | 8,879                        | 4,632                     | 4,246                         |
|                       | 소계     | 11,464                       | 4,868                     | 6,596                         |
| 수입<br>유발효과<br>(억 원)   | 타부문효과  | 886                          | 95                        | 791                           |
|                       | 직접효과   | 2,904                        | 5,581                     | -2,677                        |
|                       | 소계     | 3,790                        | 5,676                     | -1,886                        |
| 고용<br>유발효과<br>(명)     | 타부문효과  | 2,510                        | 190                       | 2,320                         |
|                       | 자기부문효과 | 459                          | 242                       | 217                           |
|                       | 소계     | 2,969                        | 432                       | 2,537                         |

- 주: 1. 바이오중유산업 산출액 24,544억 원 기준  
 2. 중유산업 산출액 16,219억 원 기준  
 3. 바이오중유산업 유발액 - 중유산업 유발액

#### 4. 최대 보급 시나리오(시나리오Ⅲ)의 사회경제적 효과

바이오중유의 보급·확대 시나리오Ⅲ-1에 따른 바이오중유산업과 중유산업의 사회·경제적 파급효과 비교분석 결과는 〈표 6-15〉에 제시하였으며, 바이오중유산업과 중유산업의 산업부문별 유발액은 〈부록 표 11〉, 〈부록 표 12〉에 제시하였다. 시나리오Ⅲ-1에서 바이오중유산업의 산출액은 3조6,010억

원으로 이에 따라 타 산업부문에 파급되는 생산유발효과는 화학제품부문 4,801억 원, 음식료품부문 1,997억 원 등 총 1조3,696억 원으로 나타났다. 중유산업의 산출액은 2조3,792억 원으로 타 산업부문에 파급되는 생산유발효과는 전력, 가스 및 증기부문 325억 원, 금속제품부문 257억 원 등 총 1,173억 원의 생산유발효과가 있는 것으로 나타났다. 바이오중유산업의 파급효과에서 중유산업의 파급효과를 차감하여 바이오중유산업의 순 생산유발효과를 산출하면 1조2,523억 원이며, 자기부문의 효과를 고려하면 총 2조4,741억 원의 순 생산유발효과가 있는 것으로 나타났다.

바이오중유산업의 산출로 인해 타 산업에서 창출되는 부가가치유발효과는 3,771억 원이며, 화학제품부문에 유발되는 부가가치가 949억 원으로 가장 크게 나타났다. 중유산업은 전력, 가스 및 증기부문 89억 원 등 타 산업부문에 총 346억 원의 부가가치를 유발하는 것으로 나타났다. 바이오중유산업의 순 부가가치유발효과는 3,425억 원으로 나타났다. 자기부문의 효과를 고려하면 총 9,689억 원의 순 부가가치 창출효과가 있는 것으로 나타났다.

바이오중유산업의 산출로 인해 타 산업에서 창출되는 수입유발효과는 5,558억 원이며, 바이오중유산업의 직접 수입(원료 수입)으로 인해 발생한 4,260억 원과 바이오중유산업이 타 부문에 수입을 유발함으로써 발생한 1,297억 원의 합과 같다. 중유산업의 경우 총 8,328억 원의 수입유발효과가 있으며, 중유산업의 직접 수입(중유 수입)으로 인한 8,187억 원과 타 부문에 수입을 유발함으로써 발생한 140억 원의 합과 같다. 바이오중유산업의 수입유발효과에서 중유산업의 수입유발효과를 차감하여 바이오중유산업의 순 수입유발효과를 산정하면 2,770억 원의 음(-)의 효과가 나타나는데, 이는 바이오중유가 중유를 대체함으로써 수입액이 작아진다는 것을 의미한다.

바이오중유산업의 산출로 인해 타 산업에서 창출되는 고용유발효과는

3,667명이며, 중유산업은 280명으로 순 고용유발효과는 3,387명으로 나타났다. 자기부문의 효과를 고려하면 총 3,606명의 순 고용유발효과가 있는 것으로 나타났다. 자기부문의 순 고용효과는 바이오중유 생산부문의 고용자수(220명)와 일치하는데, 중유발전과 바이오중유발전의 고용자가 동일하다고 가정하였기 때문에 발전부문의 고용효과는 상쇄되고 생산부문의 고용효과만 나타난 것이다.

<표 6-15> 바이오중유 보급확대 시나리오Ⅲ-1의 사회·경제적 효과

| 구분                    |        | 바이오중유산업<br>유발효과 <sup>1</sup> | 중유산업<br>유발효과 <sup>2</sup> | 바이오중유산업<br>순유발효과 <sup>3</sup> |
|-----------------------|--------|------------------------------|---------------------------|-------------------------------|
| 생산<br>유발효과<br>(억 원)   | 타부문효과  | 13,696                       | 1,173                     | 12,523                        |
|                       | 자기부문효과 | 36,010                       | 23,792                    | 12,218                        |
|                       | 소계     | 49,705                       | 24,965                    | 24,741                        |
| 부가가치<br>유발효과<br>(억 원) | 타부문효과  | 3,771                        | 346                       | 3,425                         |
|                       | 자기부문효과 | 13,060                       | 6,796                     | 6,264                         |
|                       | 소계     | 16,830                       | 7,141                     | 9,689                         |
| 수입<br>유발효과<br>(억 원)   | 타부문효과  | 1,297                        | 140                       | 1,157                         |
|                       | 직접효과   | 4,260                        | 8,187                     | -3,927                        |
|                       | 소계     | 5,558                        | 8,328                     | -2,770                        |
| 고용<br>유발효과<br>(명)     | 타부문효과  | 3,667                        | 280                       | 3,387                         |
|                       | 자기부문효과 | 462                          | 242                       | 220                           |
|                       | 소계     | 4,129                        | 522                       | 3,606                         |

- 주: 1. 바이오중유산업 산출액 36,010억 원 기준  
 2. 중유산업 산출액 23,792억 원 기준  
 3. 바이오중유산업 유발액 - 중유산업 유발액

바이오중유의 보급확대 시나리오Ⅲ-2에 따른 바이오중유산업과 중유산업의 사회·경제적 파급효과 비교분석 결과는 <표 6-16>에 제시하였으며, 바이오중유산업과 중유산업의 산업부문별 유발액은 <부록 표 13>, <부록 표 14>에 제시하였다. 시나리오Ⅲ-2에서 바이오중유산업의 산출액은 4조6,427억

원으로 이에 따라 타 산업부문에 파급되는 생산유발효과는 화학제품부문 6,189억 원, 음식료품부문 2,581억 원 등 총 1조7,465억 원으로 나타났다. 중유산업의 산출액은 3조774억 원으로 타 산업부문에 파급되는 생산유발효과는 전력, 가스 및 증기부문 421억 원, 금속제품부문 333억 원 등 총 1,519억 원의 생산유발효과가 있는 것으로 나타났다. 바이오중유산업의 순 생산유발효과는 1조5,946억 원이며, 자기부문의 효과를 고려하면 총 3조1,599억 원의 순 생산유발효과가 있는 것으로 나타났다.

바이오중유산업의 산출로 인해 타 산업에서 창출되는 부가가치유발효과는 4,799억 원이며, 화학제품부문에 유발되는 부가가치가 1,222억 원으로 가장 크게 나타났다. 중유산업은 전력, 가스 및 증기부문 113억 원 등 타 산업부문에 총 448억 원의 부가가치를 유발하는 것으로 나타났다. 바이오중유산업의 순 부가가치유발효과는 4,351억 원이며, 자기부문의 효과를 고려하면 총 1조2,409억 원의 순 부가가치 창출효과가 있는 것으로 나타났다.

바이오중유산업의 산출로 인해 타 산업에서 창출되는 수입유발효과는 7,183억 원이며, 바이오중유산업의 직접 수입(원료 수입)으로 인해 발생한 5,511억 원과 바이오중유산업이 타 부문에 수입을 유발함으로써 발생한 1,672억 원의 합과 같다. 중유산업의 경우 총 1조 773억 원의 수입유발효과가 있으며, 중유산업의 직접 수입(중유 수입)으로 인한 1조 590억 원과 타 부문에 수입을 유발함으로써 발생한 183억 원의 합과 같다. 바이오중유산업의 순 수입유발효과를 산정하면 3,590억 원의 음(-)의 효과가 나타나는데, 이는 바이오중유가 중유를 대체함으로써 수입액이 작아진다는 것을 의미한다.

바이오중유산업의 산출로 인해 타 산업에서 창출되는 고용유발효과는 4,650명이며, 중유산업은 362명으로 순 고용유발효과는 4,288명으로 나타났다. 자기부문의 효과를 고려하면 총 4,508명의 순 고용유발효과가 있는 것

으로 나타났다. 자기부문의 순 고용효과는 바이오중유생산부문의 고용자 수 (220명)와 일치하는데, 중유발전과 바이오중유발전의 고용자 수가 동일하다고 가정하였기 때문에 발전부문의 고용효과는 상쇄되고 생산부문의 고용효과만 나타난 것이다.

<표 6-16> 바이오중유 보급확대 시나리오Ⅲ-2의 사회경제적 효과

| 구분                    |        | 바이오중유산업<br>유발효과 <sup>1</sup> | 중유산업<br>유발효과 <sup>2</sup> | 바이오중유산업<br>순유발효과 <sup>3</sup> |
|-----------------------|--------|------------------------------|---------------------------|-------------------------------|
| 생산<br>유발효과<br>(억 원)   | 타부문효과  | 17,465                       | 1,519                     | 15,946                        |
|                       | 자기부문효과 | 46,427                       | 30,774                    | 15,653                        |
|                       | 소계     | 63,892                       | 32,293                    | 31,599                        |
| 부가가치<br>유발효과<br>(억 원) | 타부문효과  | 4,799                        | 448                       | 4,351                         |
|                       | 자기부문효과 | 16,848                       | 8,790                     | 8,058                         |
|                       | 소계     | 21,646                       | 9,237                     | 12,409                        |
| 수입<br>유발효과<br>(억 원)   | 타부문효과  | 1,672                        | 183                       | 1,490                         |
|                       | 직접효과   | 5,511                        | 10,590                    | -5,080                        |
|                       | 소계     | 7,183                        | 10,773                    | -3,590                        |
| 고용<br>유발효과<br>(명)     | 타부문효과  | 4,650                        | 362                       | 4,288                         |
|                       | 자기부문효과 | 462                          | 242                       | 220                           |
|                       | 소계     | 5,112                        | 604                       | 4,508                         |

- 주: 1. 바이오중유산업 산출액 46,427억 원 기준  
 2. 중유산업 산출액 30,774억 원 기준  
 3. 바이오중유산업 유발액 - 중유산업 유발액



### 제3절 시나리오별 환경 영향

#### 1. 대기오염물질 저감효과

바이오중유의 보급·확대 시나리오에 따른 대기오염물질 저감량은 중유발전소의 대기오염물질 배출량에서 바이오중유발전소의 대기오염물질 배출량을 차감함으로써 산출된다. 대기오염물질 배출량은 시나리오별 발전량과 <표 5-3>에 제시한 중유발전소와 바이오중유발전소의 2017년도 대기오염물질 배출량 원단위(kg/MWh)의 곱으로 산정하였다.<sup>62)</sup>

기준 시나리오에 따른 바이오중유발전의 대기오염물질 저감량은 <표 6-17>와 같이 나타났다. 발전량 1,233GWh을 생산하기 위해서 중유발전 대신 바이오중유발전소를 가동하면, 황산화물 1,351ton, 질소산화물 88ton, 총먼지 5ton, 초미세먼지 477ton의 저감효과가 있는 것으로 나타났다. 황산화물은 중유 배출량의 87% 저감되며, 질소산화물은 10%, 총먼지 22%, 초미세먼지는 76% 저감된다. 저감효과는 황산화물과 초미세먼지에서 가장 크게 나타나며, 질소산화물에서 가장 적은 저감효과가 발생하는 것으로 나타났다.

---

62) 자료수집 대상 발전사는 초미세먼지 저감을 위해 2017년부터 전기집진시설의 운전모드를 변경하여 발전소를 운영하고 있다. 2017년의 발전소 운영 조건이 유지될 것으로 가정하고, 2017년도 대기오염물질 배출량 원단위를 시나리오분석에 활용하였다.

〈표 6-17〉 기준 시나리오의 대기오염물질 배출 저감량

(단위: ton)

| 구분     | 중유발전소<br>배출량 | 바이오중유발전소<br>배출량 | 배출 저감량 |
|--------|--------------|-----------------|--------|
| SOx    | 1,559        | 208             | 1,351  |
| NOx    | 877          | 789             | 88     |
| TSP    | 22           | 17              | 5      |
| PM-2.5 | 625          | 148             | 477    |

주: 발전량 1,233GWh 기준

바이오중유 보급·확대 시나리오 I-1에 따른 바이오중유발전의 대기오염물질 저감량은 〈표 6-18〉과 같이 나타났다. 발전량 2,466GWh을 생산하기 위해서 중유발전 대신 바이오중유발전소를 가동하면, 황산화물 2,703ton, 질소산화물 176ton, 총먼지 10ton, 초미세먼지 954ton의 저감효과가 있는 것으로 나타났다.

〈표 6-18〉 바이오중유 보급·확대 시나리오 I-1의 대기오염물질 배출 저감량

(단위: ton)

| 구분     | 중유발전소<br>배출량 | 바이오중유발전소<br>배출량 | 배출 저감량 |
|--------|--------------|-----------------|--------|
| SOx    | 3,118        | 415             | 2,703  |
| NOx    | 1,754        | 1,578           | 176    |
| TSP    | 44           | 34              | 10     |
| PM-2.5 | 1,249        | 295             | 954    |

주: 발전량 2,466GWh 기준

바이오중유의 보급·확대 시나리오 I-2에 따른 바이오중유발전의 대기오염물질 저감량은 〈표 6-19〉과 같이 나타났다. 발전량 3,190GWh을 생산하기

위해서 중유발전 대신 바이오중유발전소를 가동하면, 황산화물 3,496ton, 질소산화물 227ton, 총먼지 13ton, 초미세먼지 1,234ton의 저감효과가 있는 것으로 나타났다.

<표 6-19> 바이오중유 보급·확대 시나리오 I-2의 대기오염물질 배출 저감량  
(단위: ton)

| 구분     | 중유발전소<br>배출량 | 바이오중유발전소<br>배출량 | 배출 저감량 |
|--------|--------------|-----------------|--------|
| SOx    | 4,033        | 537             | 3,496  |
| NOx    | 2,269        | 2,042           | 227    |
| TSP    | 57           | 44              | 13     |
| PM-2.5 | 1,616        | 382             | 1,234  |

주: 발전량 3,190GWh 기준

바이오중유 보급·확대 시나리오 II-1에 따른 바이오중유발전의 대기오염물질 저감량은 <표 6-20>과 같이 나타났다. 발전량 4,133GWh를 생산하기 위해서 중유발전 대신 바이오중유발전소를 가동하면, 황산화물 4,529ton, 질소산화물 294ton, 총먼지 16ton, 초미세먼지 1,599ton의 저감효과가 있는 것으로 나타났다.

<표 6-20> 바이오중유 보급·확대 시나리오 II-1의 대기오염물질 배출 저감량  
(단위: ton)

| 구분     | 중유발전소<br>배출량 | 바이오중유발전소<br>배출량 | 배출 저감량 |
|--------|--------------|-----------------|--------|
| SOx    | 5,226        | 696             | 4,529  |
| NOx    | 2,940        | 2,645           | 294    |
| TSP    | 73           | 57              | 16     |
| PM-2.5 | 2,093        | 495             | 1,599  |

주: 발전량 4,133GWh 기준

바이오중유의 보급·확대 시나리오Ⅱ-2에 따른 바이오중유발전의 대기오염물질 저감량은 <표 6-21>와 같이 나타났다. 발전량 4,133GWh을 생산하기 위해서 중유발전 대신 바이오중유발전소를 가동하면, 황산화물 5,858ton, 질소산화물 381ton, 총먼지 21ton, 초미세먼지 2,068ton의 저감효과가 있는 것으로 나타났다.

<표 6-21> 바이오중유 보급·확대 시나리오Ⅱ-2의 대기오염물질 배출 저감량  
(단위: ton)

| 구분     | 중유발전소<br>배출량 | 바이오중유발전소<br>배출량 | 배출 저감량 |
|--------|--------------|-----------------|--------|
| SOx    | 6,759        | 901             | 5,858  |
| NOx    | 3,802        | 3,421           | 381    |
| TSP    | 95           | 74              | 21     |
| PM-2.5 | 2,708        | 640             | 2,068  |

주: 발전량 5,346GWh 기준

바이오중유의 보급·확대 시나리오Ⅲ-1에 따른 바이오중유발전의 대기오염물질 저감량은 <표 6-22>와 같이 나타났다. 발전량 7,842GWh을 생산하기 위해서 중유발전 대신 바이오중유발전소를 가동하면, 황산화물 8,594ton, 질소산화물 559ton, 총먼지 31ton, 초미세먼지 3,034ton의 저감효과가 나타났다.

<표 6-22> 바이오중유 보급·확대 시나리오Ⅲ-1의 대기오염물질 배출 저감량  
(단위: ton)

| 구분     | 중유발전소<br>배출량 | 바이오중유발전소<br>배출량 | 배출 저감량 |
|--------|--------------|-----------------|--------|
| SOx    | 9,915        | 1,321           | 8,594  |
| NOx    | 5,578        | 5,019           | 559    |
| TSP    | 139          | 109             | 31     |
| PM-2.5 | 3,972        | 938             | 3,034  |

주: 발전량 7,842GWh 기준

바이오중유의 보급·확대 시나리오Ⅲ-2에 따른 바이오중유발전의 대기오염 물질 저감량은 <표 6-23>과 같이 나타났다. 발전량 10,144GWh을 생산하기 위해서 중유발전 대신 바이오중유발전소를 가동하면, 황산화물 11,116ton, 질소산화물 723ton, 총먼지 40ton, 초미세먼지 3,924ton의 저감효과가 있는 것으로 나타났다.

<표 6-23> 바이오중유 보급·확대 시나리오Ⅲ-2의 대기오염물질 배출 저감량  
(단위: ton)

| 구분     | 중유발전소<br>배출량 | 바이오중유발전소<br>배출량 | 배출 저감량 |
|--------|--------------|-----------------|--------|
| SOx    | 12,825       | 1,709           | 11,116 |
| NOx    | 7,215        | 6,492           | 723    |
| TSP    | 180          | 140             | 40     |
| PM-2.5 | 5,138        | 1,214           | 3,924  |

주: 발전량 10,144GWh 기준

발전부문의 2015년 황산화물, 질소산화물, 총먼지, 초미세먼지 총배출량은

각각 77천ton, 133천ton, 3.8천ton, 3.7천ton이다(김상우, 허가형, 2016; 환경부, 2017).<sup>63)</sup> 바이오중유발전이 중유발전을 대체할 경우 2015년 발전부문 황산화물 배출량의 1.8%~14.4%까지 저감할 수 있는 것으로 나타났다. 질소산화물과 총 먼지는 각각 0.1%~0.5%, 0.1%~1.0%의 저감효과가 있으며, 초미세먼지는 1.0%~8.0%를 저감하는 효과가 있는 것으로 나타났다. 2015년 발전부문 대기오염물질 배출량 대비 저감률은 <표 6-24>와 같다.

<표 6-24> 시나리오별 2015년 발전부문 대기오염물질 배출량 대비 저감률

(단위: %)

| 구분         | SOx <sup>1</sup> | NOx <sup>2</sup> | TSP <sup>3</sup> | PM-2.5 <sup>4</sup> |
|------------|------------------|------------------|------------------|---------------------|
| 기준 시나리오    | 1.8%             | 0.1%             | 0.1%             | 1.0%                |
| 시나리오 I-1   | 3.5%             | 0.1%             | 0.3%             | 1.9%                |
| 시나리오 I-2   | 4.5%             | 0.2%             | 0.3%             | 2.5%                |
| 시나리오 II-1  | 5.9%             | 0.2%             | 0.4%             | 3.2%                |
| 시나리오 II-2  | 7.6%             | 0.3%             | 0.5%             | 4.2%                |
| 시나리오 III-1 | 11.2%            | 0.4%             | 0.8%             | 6.1%                |
| 시나리오 III-2 | 14.4%            | 0.5%             | 1.0%             | 8.0%                |

- 주: 1. 2015년 SOx 발전부문 대기오염물질 배출량(76,986ton) 대비 저감률  
 2. 2015년 NOx 발전부문 대기오염물질 배출량(132,678ton) 대비 저감률  
 3. 2015년 TSP 발전부문 대기오염물질 배출량(3,848ton) 대비 저감률  
 4. 2015년 PM-2.5 발전부문 대기오염물질 배출량(3,679ton) 대비 저감률

중유발전 대체에 따른 바이오중유발전의 대기오염물질 배출 저감량을 비용으로 환산하기 위해 각 시나리오별 배출 저감량에 <표 3-4>에서 제시한

63) 발전부문의 2015년 황산화물, 질소산화물, 총먼지의 총 배출량(SOx: 76,986ton, NOx: 132,678ton, TSP: 3,848ton)은 김상우, 허가형(2016)의 “초미세먼지 관리 특별대책의 현황 및 개선과제”에서 인용하였으며, 동 자료의 원출처는 환경부 내부자료(2016.9)이다. 발전부문 초미세먼지 총 배출량(3,679ton)은 환경부 내부자료(2017.8)를 인용하였으며, 이는 2014년 전국 발전소의 직접배출과 2차생성 배출량의 합산한 수치이다.

대기오염물질 비용 단가를 곱하였다. 비용 단가는 크게 국가 측면의 저감 비용인 사회적 비용과 기업 측면의 비용으로 구분하여 각각의 저감 비용을 산출하였다.

국가 측면의 사회적 비용 단가는 강광규 등(2015)과 Parry et al.(2014)가 제시한 수치의 평균값을 적용하였다.<sup>64)</sup> 사회적 저감 비용 산정 결과는 <표 6-25>에 제시한 바와 같이, 황산화물이 522 억 원~4,296 억 원으로 저감효과가 가장 큰 것으로 나타났다. 질소산화물은 33 억 원~270 억 원, 초미세먼지는 248 억 원~2,044 억 원으로 총 804 억 원~6,610 억 원의 사회적 비용 저감효과가 있는 것으로 나타났다.

<표 6-25> 대기오염물질 저감 비용(사회적 비용 기준)

(단위: 천 원)

| 구분         | SOx <sup>1</sup> | NOx <sup>2</sup> | PM-2.5 <sup>3</sup> | 소계    |
|------------|------------------|------------------|---------------------|-------|
| 기준 시나리오    | 522              | 33               | 248                 | 804   |
| 시나리오 I-1   | 1,045            | 66               | 497                 | 1,607 |
| 시나리오 I-2   | 1,351            | 85               | 643                 | 2,079 |
| 시나리오 II-1  | 1,751            | 110              | 833                 | 2,693 |
| 시나리오 II-2  | 2,264            | 142              | 1,077               | 3,484 |
| 시나리오 III-1 | 3,322            | 209              | 1,580               | 5,111 |
| 시나리오 III-2 | 4,296            | 270              | 2,044               | 6,610 |

- 주: 1. SOx 38,651천 원/ton 적용  
 2. NOx 37,371천 원/ton 적용  
 3. PM-2.5 52,087천 원/ton 적용

64) 강광규 등(2015)과 Parry et al.(2014)가 제시한 수치의 평균 단가는 황산화물 38,651 천 원/ton, 질소산화물 37,371 천 원/ton 이다. 초미세먼지(PM-2.5)의 경우 두 연구 가운데 Parry et al.(2014)의 값인 52,087 천 원/ton 을 적용하였다. 강광규 등(2015)가 제시한 PM-2.5의 비용은 단위면적을 고려한 것이므로, 발전량당 비용을 고려하기에 적합하지 않기 때문이다. 총면적의 경우 그 양이 미미하여 산정대상에서 제외하였다.

기업 측면의 비용 단가는 대기오염물질 배출권 거래 가격을 적용하였다.<sup>65)</sup> 저감 비용 산정 결과는 <표 6-26>에 제시한 바와 같이, 황산화물은 2.4 억 원~20.1 억 원으로 저감효과가 가장 큰 것으로 나타났다. 질소산화물은 0.3 억 원~2.2 억 원, 초미세먼지는 1.1 억 원~9.3 억 원으로 총 4 억 원~32 억 원의 비용 저감효과가 있는 것으로 나타났다.

<표 6-26> 대기오염물질 저감 비용(대기오염물질 배출권 가격 기준)

(단위: 천 원)

| 구분         | SOx <sup>1</sup> | NOx <sup>2</sup> | PM-2.5 <sup>3</sup> | 소계 |
|------------|------------------|------------------|---------------------|----|
| 기준 시나리오    | 2.4              | 0.3              | 1.1                 | 4  |
| 시나리오 I-1   | 4.9              | 0.5              | 2.3                 | 8  |
| 시나리오 I-2   | 6.3              | 0.7              | 2.9                 | 10 |
| 시나리오 II-1  | 8.2              | 0.9              | 3.8                 | 13 |
| 시나리오 II-2  | 10.6             | 1.2              | 4.9                 | 17 |
| 시나리오 III-1 | 15.6             | 1.7              | 7.2                 | 24 |
| 시나리오 III-2 | 20.1             | 2.2              | 9.3                 | 32 |

- 주: 1. SOx 181천 원/ton 적용  
 2. NOx 306천 원/ton 적용  
 3. PM-2.5 237천 원/ton 적용

65) 기업 측면의 비용단가는 대기오염물질 배출권 거래가격인 황산화물 181 천 원/ton, 질소산화물 306 천 원/ton 을 적용 하였는데, 이론상 배출권 거래 가격은 대기오염물질 저감 한계 비용을 의미하기 때문이다. 초미세먼지(PM-2.5)의 경우 대기오염물질 배출권 거래 대상이 아니어서 가격이 형성되어 있지 않다. 따라서 Parry et al.(2014)가 제시한 초미세먼지/황산화물의 비율(약 1.3 배)을 황산화물의 대기오염물질 배출권거래가격에 적용하여 초미세먼지의 비용 단가를 추정하였다. 총먼지는 그 양이 미미하여 산정대상에서 제외하였다.



## 2. 온실가스 저감효과

중유발전 대비 바이오중유발전의 온실가스 저감효과는 중유를 100% 전소할 경우를 가정하여 기준 배출량을 산정하고 여기에 동일한 발전량을 생산하기 위해 사용되는 바이오중유에 따른 온실가스 배출량을 차감함으로써 산출된다. 따라서 동일한 발전량을 기준으로 필요한 중유와 바이오중유 사용량을 산정해야 하며, 이는 <표 6-8>에 제시한 바와 같다.<sup>66)</sup>

바이오중유와 중유의 연료사용량을 기반으로 배출량을 산정한 후 중유 배출량에서 바이오중유 배출량을 차감하면 바이오중유발전의 중유발전 대체에 따른 온실가스 저감량이 도출된다. 이때, 바이오중유의 탄소중립성을 근거로 CO<sub>2</sub> 배출량은 제외하고 CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O 배출량만 포함하여 산정하였다.<sup>67)</sup>

기준 시나리오의 온실가스 저감량은 909천tCO<sub>2</sub>eq이며, 시나리오 I-1에서 1,818천tCO<sub>2</sub>eq, 시나리오 I-2에서 2,351천tCO<sub>2</sub>eq, 시나리오 II-1에서 3,046천tCO<sub>2</sub>eq, 시나리오 II-2에서 3,940천tCO<sub>2</sub>eq, 시나리오 III-1에서 5,780천tCO<sub>2</sub>eq, 시나리오 III-2에서 7,476천tCO<sub>2</sub>eq의 저감효과가 있는 것으로 나타났다. 바이오중유의 보급·확대 시나리오별 연료연소배출부문의 온실가스 저감량을 산정한 결과는 <표 6-27>와 같다.

---

66) 중유와 바이오중유의 연료 사용량 도출방식에 대한 상세한 설명은 제 4 장 제 2 절 ‘온실가스 저감효과’에 기술한 것으로 같음한다.

67) 온실가스·에너지목표관리지침 고정연소 배출량산정방법론(Tier 1)을 적용하여 배출량을 산정하였다. 연료별 배출계수는 IPCC 기본배출계수(Tier 1), 순발열량은 국가고유발열량(Tier 2)을 적용하였다.

<표 6-27> 시나리오별 연료연소배출부문 온실가스 저감량

(단위: 천tCO<sub>2</sub>eq)

| 구분         | 온실가스 배출량 |                    | 온실가스 저감량 |
|------------|----------|--------------------|----------|
|            | 중유       | 바이오중유 <sup>1</sup> |          |
| 기준 시나리오    | 911      | 2.4                | 909      |
| 시나리오 I-1   | 1,823    | 4.8                | 1,818    |
| 시나리오 I-2   | 2,357    | 6.2                | 2,351    |
| 시나리오 II-1  | 3,054    | 8.0                | 3,046    |
| 시나리오 II-2  | 3,951    | 10.4               | 3,940    |
| 시나리오 III-1 | 5,795    | 15.2               | 5,780    |
| 시나리오 III-2 | 7,496    | 19.6               | 7,476    |

주: 1. 바이오중유 배출량은 CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O만 포함하여 산정하고, CO<sub>2</sub> 배출량은 제외함

바이오중유발전에 따른 공정배출 온실가스 저감량은 기준 시나리오에서 8.1천tCO<sub>2</sub>eq, 시나리오 I-1에서 16.3천tCO<sub>2</sub>eq, 시나리오 I-2에서 21.1천tCO<sub>2</sub>eq, 시나리오 II-1에서 27.3천tCO<sub>2</sub>eq, 시나리오 II-2에서 35.3천tCO<sub>2</sub>eq, 시나리오 III-1에서 51.8천tCO<sub>2</sub>eq, 시나리오 III-2에서 67천tCO<sub>2</sub>eq의 저감효과가 있는 것으로 나타났다. 바이오중유의 보급·확대 시나리오별 공정배출부문의 온실가스 저감량을 산정한 결과는 <표 6-28>과 같다.

〈표 6-28〉 시나리오별 공정배출부문 온실가스 저감량

| 구분         | 석회석 절감량(ton) | 온실가스 저감량(천tCO <sub>2</sub> eq) |
|------------|--------------|--------------------------------|
| 기준 시나리오    | 18.5         | 8.1                            |
| 시나리오 I-1   | 37.1         | 16.3                           |
| 시나리오 I-2   | 47.9         | 21.1                           |
| 시나리오 II-1  | 62.1         | 27.3                           |
| 시나리오 II-2  | 80.3         | 35.3                           |
| 시나리오 III-1 | 117.8        | 51.8                           |
| 시나리오 III-2 | 152.4        | 67.0                           |

2015년 발전용 중유의 총 연료사용량은 1,850천kl로(한국전력공사, 2017) 이를 온실가스·에너지 목표관리지침 고정연소 배출량산정방법(Tier 1)에 따라 온실가스 배출량으로 환산하면 5,631천tCO<sub>2</sub>eq이다. 중유발전을 바이오중유발전으로 대체할 경우 2015년 중유발전부문 온실가스 배출량의 최소 16%, 최대 133%를 저감하는 효과가 있는 것으로 나타났다. 즉, 최대 보급 시나리오에서는 중유발전 온실가스 총배출량 이상의 저감효과가 있는 것으로 나타났다.

탈황용 석회석의 사용에 따른 2015년 온실가스 총배출량 750천tCO<sub>2</sub>eq이다.<sup>68)</sup> 중유발전을 바이오중유발전으로 대체할 경우 2015년 탈황용 석회석의 온실가스 총배출량 대비 1.1%~8.9%의 저감효과가 있는 것으로 나타났다.

68) 배연탈황시설의 석회석 사용량과 온실가스 배출량에 관한 공식 통계가 부재하여 2017년 국가온실가스인벤토리보고서에 수록된 석회석 소비량에 온실가스종합정보센터 담당자를 통해 확인한 탈황용 석회석 비율을 적용하여 추정하였다. 국가온실가스인벤토리보고서에 따르면 2015년 국내 철강용도와 탈황용 석회석 소비량 합계는 11,321천 톤이다. 온실가스·에너지 목표관리지침에 수록된 탄산염의 온실가스 배출계수(0.4397tCO<sub>2</sub>/tCaCO<sub>3</sub>)를 적용하여 온실가스 배출량으로 환산하면 4,980천tCO<sub>2</sub>eq이 된다. 이 중 탈황용 석회석 소비량 비율인 약 15%를 적용하면, 탈황설비에 따른 온실가스 배출은 750천tCO<sub>2</sub>eq이다.

바이오중유의 보급·확대 시나리오별 2015년 발전부문 온실가스 배출량 대비 저감률은 <표 6-29>과 같다.

<표 6-29> 시나리오별 2015년 발전부문 온실가스 배출량 대비 저감률

(단위: %)

| 구분         | 2015년 중유발전 온실가스 배출량 대비 저감률 <sup>1</sup> | 2015년 석회석 배출량 대비 저감률 <sup>2</sup> |
|------------|---|-----------------------------------|
| 기준 시나리오    | 16%                                     | 1.1%                              |
| 시나리오 I-1   | 32%                                     | 2.2%                              |
| 시나리오 I-2   | 42%                                     | 2.8%                              |
| 시나리오 II-1  | 54%                                     | 3.6%                              |
| 시나리오 II-2  | 70%                                     | 4.7%                              |
| 시나리오 III-1 | 103%                                    | 6.9%                              |
| 시나리오 III-2 | 133%                                    | 8.9%                              |

- 주: 1. 2015년 중유발전의 온실가스 총 배출량(5,631천tCO<sub>2</sub>eq) 대비 저감률  
 2. 2015년 탈황용 석회석 온실가스 총 배출량(750천tCO<sub>2</sub>eq) 대비 저감률

연료연소배출과 공정배출부문의 온실가스 저감량 합계는 <표 6-29>에 제시한 바와 같이 기준 시나리오에서 917 천 tCO<sub>2</sub>eq, 시나리오 I-1에서 1,834 천 tCO<sub>2</sub>eq, 시나리오 I-2에서 2,373 천 tCO<sub>2</sub>eq, 시나리오 II-1에서 3,074 천 tCO<sub>2</sub>eq, 시나리오 II-2에서 3,976 천 tCO<sub>2</sub>eq, 시나리오 III-1에서 5,832 천 tCO<sub>2</sub>eq, 시나리오 III-2에서 7,543 천 tCO<sub>2</sub>eq로 나타났다.

온실가스 저감량을 비용으로 환산하기 위해 각 시나리오별 배출량에 <표 3-7>에서 제시한 온실가스 배출 단위 당 비용을 곱하였다. 대기오염물질 저감 비용 산출과정과 동일하게 비용 단가는 크게 국가 측면의 저감 비용인 사회적 비용과 기업 측면의 비용으로 구분하여 각각의 저감 비용을 산출하

였다.

국가 측면의 사회적 비용 단가는 Moore&Diaz(2015)가 제시한 248.8 천 원/ton 을 적용하였다.<sup>69)</sup> 기업 측면의 비용은 온실가스 배출권 가격(22 천 원/ton)을 적용하였다. 각각의 비용 산정 결과, <표 6-30>에 제시한 바와 같이, 사회적 비용 기준으로 최소 2,282 억 원에서 최대 1 조 8,768 억 원의 비용 저감효과가 있으며, 온실가스 배출권 가격 기준으로 최소 202 억 원에서 최대 1,660 억 원의 비용 절감효과가 있는 것으로 나타났다.

<표 6-30> 시나리오별 온실가스 배출 저감량 및 저감 비용

| 구분         | 온실가스<br>저감량 <sup>1</sup><br>(천tCO <sub>2</sub> eq) | 사회적 비용<br>기준 <sup>2</sup><br>(억 원) | 온실가스 배출권<br>가격 기준 <sup>3</sup><br>(억 원) |
|------------|--|------------------------------------|---|
| 기준 시나리오    | 917  | 2,282                              | 202                                     |
| 시나리오 I-1   | 1,834  | 4,563                              | 403                                     |
| 시나리오 I-2   | 2,373  | 5,902                              | 522                                     |
| 시나리오 II-1  | 3,074  | 7,647                              | 676                                     |
| 시나리오 II-2  | 3,976  | 9,891                              | 875                                     |
| 시나리오 III-1 | 5,832  | 14,510                             | 1,283                                   |
| 시나리오 III-2 | 7,543  | 18,768                             | 1,660                                   |

- 주: 1. 연료연소 배출 및 공정 배출 저감량 합계  
 2. 248.8천 원/ton 적용  
 3. 22천 원/ton 적용

69) 본 연구에서는 온실가스 사회적 비용을 다룬 다양한 연구 가운데 Moore&Diaz(2015)의 연구 결과를 적용하였다. 이 연구는 미국 연방정부(2013)가 제시한 값이 과소 추정되었음을 밝히고 수정 모델을 제시한 최신 연구이기 때문이다.

#### 제4절 시나리오별 환경·사회·경제적 효과의 추정결과

바이오중유 보급·확대 순 과급효과 변화를 분석하고자 시나리오 분석을 실시하였다. 현행 유지를 기준 시나리오로 설정하고, 이용률과 보급용량을 달리하며 시나리오 분석을 실시하였다. 바이오중유 보급·확대 시나리오별 과급효과 분석결과를 주제별로 요약하면 다음과 같다.

바이오중유산업이 중유산업을 대체하면 바이오중유산업은 타 산업부문에 2,273억 원~1조5,946억 원의 생산을 유발하고, 바이오중유산업 자체에서 2,055억 원~1조5,653억 원의 산출이 발생하는 것으로 나타났다. 바이오중유산업은 자기부문효과 이상으로 타 산업부문에 생산을 유발하며, 타 부문효과와 자기부문효과를 합하면 4,329억 원에서 최대 3조1,599억 원의 효과가 있는 것으로 나타났다. 시나리오별 생산유발효과는 <표 6-31>와 같다.

<표 6-31> 바이오중유 보급확대 시나리오별 생산유발효과

(단위: 억 원/년)

| 구분         | 타부문효과  | 자기부문효과 | 소계     |
|------------|--------|--------|--------|
| 기준 시나리오    | 2,273  | 2,055  | 4,329  |
| 시나리오 I-1   | 4,190  | 3,951  | 8,142  |
| 시나리오 I-2   | 5,274  | 5,032  | 10,305 |
| 시나리오 II-1  | 6,778  | 6,514  | 13,293 |
| 시나리오 II-2  | 8,590  | 8,325  | 16,915 |
| 시나리오 III-1 | 12,523 | 12,218 | 24,741 |
| 시나리오 III-2 | 15,946 | 15,653 | 31,599 |

바이오중유산업이 중유산업을 대체하면 타 부문에 631억 원~4,351억 원의 부가가치를 유발하고, 바이오중유산업 자체에서 984억 원~8,058억 원의 부가가치가 발생하는 것으로 나타났다. 타 부문의 부가가치유발효과는 바이오중유

산업 자체효과의 절반 수준으로 나타났으며, 타 부문효과와 자기부문효과를 합하면 1,615억 원에서 최대 1조 2,409억 원의 부가가치 창출 효과가 있는 것으로 나타났다. 시나리오별 부가가치유발효과를 요약하면 <표 6-32>과 같다.

<표 6-32> 바이오중유 보급확대 시나리오별 부가가치유발효과 (단위: 억 원/년)

| 구분         | 타부문효과 | 자기부문효과 | 소계     |
|------------|-------|--------|--------|
| 기준 시나리오    | 631   | 984    | 1,615  |
| 시나리오 I-1   | 1,154 | 1,969  | 3,123  |
| 시나리오 I-2   | 1,447 | 2,533  | 3,981  |
| 시나리오 II-1  | 1,860 | 3,301  | 5,161  |
| 시나리오 II-2  | 2,350 | 4,246  | 6,596  |
| 시나리오 III-1 | 3,425 | 6,264  | 9,689  |
| 시나리오 III-2 | 4,351 | 8,058  | 12,409 |

바이오중유산업이 중유산업을 대체하면 타 부문에 194억 원~1,490억 원의 수입을 유발하고, 바이오중유산업에서 직접적인 수입효과로 618억 원~5,080억 원의 음(-)의 효과가 있는 것으로 나타났다. 타 부문효과와 직접효과를 합하면 424억 원~3,590억 원의 음(-)의 효과가 나타났는데, 이 효과만큼 중유산업에서 발생하는 수입을 억제한다고 해석할 수 있다. 시나리오별 수입유발효과를 요약하면 <표 6-33>와 같다.

<표 6-33> 바이오중유 보급확대 시나리오별 수입유발효과

(단위: 억 원/년)

| 구분         | 타부문효과 | 직접효과   | 소계     |
|------------|-------|--------|--------|
| 기준 시나리오    | 194   | -618   | -424   |
| 시나리오 I-1   | 373   | -1,235 | -862   |
| 시나리오 I-2   | 478   | -1,597 | -1,120 |
| 시나리오 II-1  | 616   | -2,070 | -1,453 |
| 시나리오 II-2  | 791   | -2,677 | -1,886 |
| 시나리오 III-1 | 1,157 | -3,927 | -2,770 |
| 시나리오 III-2 | 1,490 | -5,080 | -3,590 |

바이오중유산업의 사회적 효과로 바이오중유산업이 중유산업을 대체하면 타 부문에 638 명~4,288 명의 고용을 유발하는 것으로 나타났다. 자기부문효과는 바이오중유산업에서 직접 창출하는 고용효과를 의미하며, 생산부문의 고용자 수의 추정 결과와 동일하게 나타났다(<표 6-9> 참조). 발전부문의 경우 바이오중유발전과 중유발전의 고용자 수가 동일하다고 가정하였기 때문에 바이오중유발전에 의해 발생한 고용효과는 중유발전의 고용효과를 차감하면서 모두 상쇄되었다. 타 부문효과와 자기부문효과를 합하면 802 명에서 최대 4,508 명의 고용 창출 효과가 있는 것으로 나타났다. 시나리오별 고용유발효과를 요약하면 <표 6-34>과 같다.



<표 6-34> 바이오중유 보급확대 시나리오별 고용유발효과

(단위: 명)

| 구분         | 타부문효과 | 자기부문효과 | 소계    |
|------------|-------|--------|-------|
| 기준 시나리오    | 638   | 164    | 802   |
| 시나리오 I-1   | 1,151 | 197    | 1,348 |
| 시나리오 I-2   | 1,435 | 206    | 1,641 |
| 시나리오 II-1  | 1,844 | 213    | 2,057 |
| 시나리오 II-2  | 2,320 | 217    | 2,537 |
| 시나리오 III-1 | 3,387 | 220    | 3,607 |
| 시나리오 III-2 | 4,288 | 220    | 4,508 |

바이오중유발전은 중유발전에 비해 대기오염물질과 온실가스가 배출량이 작다. 이를 국가 측면의 사회적 비용과 기업 측면의 저감 비용으로 각각 환산하면 <표 6-35>와 같다. 대기오염물질(황산화물, 질소산화물, 초미세먼지(PM-2.5)의 사회적 편익은 804억 원에서 6,610억 원에 이르며, 온실가스는 연료연소배출과 석회석 공정배출부문에서 2,282억 원~1조 8,768억 원의 사회적 편익이 발생한다. 바이오중유발전은 대기오염물질보다 온실가스 저감에 따른 사회적 편익이 더 크게 추정되었으며, 대기오염물질과 온실가스의 사회적 편익을 합하면 최소 3,085억 원에서 최대 2조 5,378억 원에 이르는 것으로 나타났다. 기업 측면의 저감 편익은 배출권 가격 기준으로 산정하였으며, 대기오염물질 저감 편익이 4억 원~32억 원, 온실가스 저감 편익이 202억 원~1,660억 원으로 총 206억 원에서 최대 1,692억 원의 저감 편익이 발생하는 것으로 나타났다.

<표 6-35> 바이오중유 보급확대 시나리오별 환경영향

(단위: 억 원/년)

| 구분         | 사회적 비용 기준                       |                           |        | 배출권 가격 기준                       |                           |       |
|------------|---------------------------------|---------------------------|--------|---------------------------------|---------------------------|-------|
|            | 대기오염<br>물질<br>저감효과 <sup>1</sup> | 온실가스<br>저감효과 <sup>2</sup> | 소계     | 대기오염<br>물질<br>저감효과 <sup>3</sup> | 온실가스<br>저감효과 <sup>4</sup> | 소계    |
| 기준 시나리오    | 804                             | 2,282                     | 3,085  | 4                               | 202                       | 206   |
| 시나리오 I-1   | 1,607                           | 4,563                     | 6,170  | 8                               | 403                       | 411   |
| 시나리오 I-2   | 2,079                           | 5,902                     | 7,981  | 10                              | 522                       | 532   |
| 시나리오 II-1  | 2,693                           | 7,647                     | 10,340 | 13                              | 676                       | 689   |
| 시나리오 II-2  | 3,484                           | 9,891                     | 13,375 | 17                              | 875                       | 892   |
| 시나리오 III-1 | 5,111                           | 14,510                    | 19,620 | 24                              | 1,283                     | 1,307 |
| 시나리오 III-2 | 6,610                           | 18,768                    | 25,378 | 32                              | 1,660                     | 1,692 |

주: 1. SOx 38,651천 원/ton, NOx 37,371천 원/ton, PM-2.5 52,087천 원/ton 적용

2. 온실가스 248.8천 원/ton 적용

3. SOx 181천 원/ton, NOx 306천 원/ton, PM-2.5 237천 원/ton 적용

4. 온실가스 22천 원/ton 적용



## 제 7 장 결 론

### 제1절 연구 요약

본 연구에서는 바이오중유 생산과 소비측면을 포괄하여 바이오중유산업이라 정의하고, 그 수요창출에 따른 환경·사회·경제적 가치를 실증적으로 분석하였다. 연구 분석 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 바이오중유산업은 1원의 생산액 증가에 따라 생산유발효과가 2.1189 원, 부가가치유발효과가 0.7029 원, 수입유발효과가 0.2820 원으로 도출되었다. 이는 모두 산업부문 평균보다 높은 수치로 바이오중유산업은 생산유발효과, 부가가치유발효과, 수입유발효과가 평균 이상인 산업이라 할 수 있다. 또한, 화학제품, 음식료품 등 바이오중유생산에 연관된 산업부문과 밀접한 관계가 있는 것으로 나타났다. 이는 바이오중유발전부문보다 바이오중유생산부문에서 더 큰 파급효과를 유발 하는 것으로 해석된다.

둘째, 산업간 상호의존관계를 파악하기 위해 바이오중유산업의 감응도계수와 영향력계수를 분석한 결과, 후방연쇄효과가 높고 전방연쇄효과가 낮은 ‘최종수요적 산업형’으로 분류되었다. 즉, 바이오중유산업의 생산 증가는 후방산업에 평균 이상의 파급효과를 미치지만, 상대적으로 전방산업에 영향을 크게 미치지 않는 것으로 분석되었다. 바이오중유를 발전용으로 제한하지 않고, 일반 중유의 대체재로써 이용할 수 있도록 한다면 전방연쇄효과를 향상 시킬 것으로 보인다.

셋째, 바이오중유산업의 경제적 순 파급효과를 시나리오별로 분석한 결과, 국가 경제 전체적으로 연간 4,329 억 원~3 조 1,599 억 원의 순 생산유발효과와 연간 1,615 억 원~1 조 2,409 억 원의 순 부가가치유발효과가 있는

것으로 나타났다. 또한, 바이오중유산업의 순 수입유발효과를 분석한 결과, 연간 424 억 원~3,590 억 원의 수입 대체 효과가 있는 것으로 분석되었다.

넷째, 바이오중유산업은 기존 중유가 대부분 해외에서 수입하는 것과 달리 국내에서 바이오중유를 전량 생산하면서 바이오중유생산부문에 164 명~220 명의 직접 고용효과가 있고, 국가 전체적으로 연간 802 명~4,508 명의 순 고용유발효과를 창출하는 것으로 나타났다.

다섯째, 바이오중유발전이 중유발전을 대체하면 대기오염물질인 황산화물은 발전부문 대기오염물질 배출량의 1.8~14.4%를 저감하며, 질소산화물은 0.1%~0.5%, 총먼지는 0.1%~1.0%, 초미세먼지(PM-2.5)는 1.0%~8.0%를 각각 저감하는 것으로 나타났다. 바이오중유는 황산화물 저감효과가 뛰어나며, 2차생성의 영향을 크게 받는 초미세먼지의 저감효과도 큰 것으로 나타났다. 바이오중유발전의 대기오염물질 저감으로 인해 연간 804 억 원~6,610 억 원의 사회적 편익이 발생하며, 배출권 가격 기준으로는 4 억 원~32 억 원의 저감 편익이 발생하는 것으로 나타났다.

여섯째, 바이오중유발전이 중유발전을 대체하면 중유발전부문 온실가스 배출량의 16%~133%를 저감하는 효과가 있는 것으로 나타났다. 바이오중유발전의 온실가스 저감으로 인해 연간 총 2,282 억 원~1 조 8,768 억 원의 사회적 편익이 발생하며, 배출권 가격 기준으로는 202 억 원~1,660 억 원의 편익이 발생하는 것으로 분석되었다.

종합하면, 바이오중유산업은 중유산업에 비해 경제적 파급효과의 규모가 크며, 수입대체효과로 인해 국가 경제에 긍정적 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 또한, 바이오중유는 전량 국내에서 생산하므로 신규 고용을 창출하고, 환경 측면에서도 발전부문 대기오염물질과 온실가스 저감에 기여하는 것으로 나타났다.

## 제2절 연구 한계 및 시사점

### 1. 연구의 한계

본 연구는 다음과 같은 한계를 지닌다. 첫째, 본 연구에서는 2010년 기준 연표의 연장표 중 가장 최신 자료인 2014년 투입계수표를 재구성하여 산업연관분석에 활용하였다. 분석의 정확성을 높이기 위해서는 산업연관표와 동일한 연도의 투입액으로 투입계수표를 작성하여야 하나, 자료수집의 한계로 인해 2014년과 2015년의 투입구조가 동일하다는 가정하에 2015년 자료를 활용하였다. 또한, 2014년 연장표에는 생산자가격표가 없어 기초가격표를 활용하였기 때문에 순생산물세의 보정 오차가 발생할 수 있다. 향후 2015년 산업연관표 공표 시 생산자가격표를 활용하여 바이오중유산업의 사회경제적 파급효과 재평가가 이루어져야 할 것이다.

둘째, 본 연구에서는 바이오중유발전의 대기오염물질 배출 저감효과 분석을 위해 데이터 수집이 가능한 A사의 바이오중유발전소와 중유발전소 1기씩을 비교 분석하였다. 그러나 대기오염물질 배출은 발전소의 설비 특성, 보일러 및 방지시설 운전 방식 등에 영향을 많이 받기 때문에 본 연구의 분석 결과가 바이오중유발전의 일반적인 대기오염물질 배출 저감효과를 나타낸다고 단정 짓기는 어렵다. 초미세먼지 등의 대기오염물질이 국민 건강을 위협하고 삶의 질을 저하하는 주요 원인으로 인식되는 상황에서 향후 분석대상의 범위를 확대하고 방지시설 등의 운영 조건을 고려해서 바이오중유발전의 대기오염 영향을 명확히 규명할 필요가 있다.

셋째, 바이오중유 상용화 여부와 보급·확대 계획이 명확하지 않은 상황에서 다양한 가정을 바탕으로 시나리오를 구성하였다. 시나리오 I은 정부계획

안을 반영한 것이므로 시나리오Ⅱ, Ⅲ에 비해 실현 가능성이 높지만, 최근 정부의 바이오에너지 정책 방향성을 고려한다면 이마저도 과대 추정의 여지가 있다. 본 연구에서는 모든 바이오에너지의 보급용량이 동일한 비율로 확대된다고 가정하였으나, 2018년 REC 가중치 개정안을 고려하면 목질계 바이오매스의 확대 비중이 커질 전망이다, 바이오중유 등 비목질계 바이오매스의 확대 비중은 줄어들 수밖에 없기 때문이다.

## 2. 시사점 및 정책 제언

본 연구는 바이오중유산업을 대상으로 환경·사회·경제적 파급효과를 총체적으로 다룬 최초의 정책 연구라는 점에서 의미가 있다. 무엇보다 바이오중유의 연구 분야와 방법론을 확대하였다는 점에서 학술적 의의가 크다. 본 연구 결과를 바탕으로 향후 바이오중유산업의 보급·확대를 위한 정책 제언을 제시하면 다음과 같다.

첫째, 바이오중유산업의 환경·사회·경제적 효과를 고려하여 바이오중유를 포함한 액체바이오연료의 가치를 재평가할 필요가 있다. 폐기물·목재펠릿 등 연료연소 기반의 바이오연료에 대한 정부의 태도는 매우 미온적이다. 이는 바이오연료 발전원의 개발·확대에 관심을 두고 있는 국외 흐름과도 상반된다. 국제에너지기구(IEA)는 연구·개발을 통해 산업·발전부문에 바이오연료 발전의 공급량을 확대할 계획임을 발표하였으며, 특히 액체바이오연료는 저장성, 공급 안정성, 용도 다양성 등 다양한 장점이 있다고 평가하고 있다(IEA, 2017a; IEA, 2017b). 영국, 덴마크, 일본 등에서도 바이오연료 발전원 개발을 적극적으로 추진하고 있다(에너지경제연구원, 2017). 바이오중유산업의 환경·사회·경제적 파급효과와 바이오연료 발전에 대한 국제적인 흐름을 고려하여 바이오중유의 상용화 추진과 보급·확대 계획 수립이 필요할 것으로

로 사료된다.

둘째, 국산 원료의 안정적인 수급을 위해 국내 원료 부족량 파악 및 신 원료 연구·개발을 추진하고, 동시에 국산 원료 활용을 촉진할 수 있는 제도적 기반을 마련할 필요가 있다. 국산 원료의 부족량이 제대로 파악되지 않은 상황에서 바이오중유 사용량이 급격히 증가하게 되면 국내 자원을 이용하지 못한 채 수입이 증가할 우려가 있다. 원료비가 생산원가의 70~80%를 차지하는 액체바이오연료산업 특성상 적정 공급가격과 품질 유지를 위해 원료 수입이 불가피하기 때문이다. 국내산 원료의 부족량 파악과 함께 다양한 대체 원료를 개발하기 위한 정부와 기업의 정책적·기술적 접근이 이루어지고, 이를 뒷받침할 수 있는 제도적 기반이 마련된다면 국내 원료 수급의 안정성을 높일 수 있을 것으로 사료된다.

셋째, 바이오중유산업의 과급효과를 확대하기 위해 바이오중유가 발전용 외에 다양한 용도로 활용 가능한지 모색하고 바이오중유의 수요처를 확대할 필요가 있다. 바이오중유의 잠재적인 수요처로는 해운부문이 있다.<sup>70)</sup> 선박의 중유 소비량이 국내 전체 중유 소비량의 가장 큰 비율(40% 이상)을 차지하는 가운데 국제해사기구(IMO, International Maritime Organization)는 2020년부터 전 세계 해역을 대상으로 선박 연료유 황산화물 함량 기준을 현행 3.5%에서 0.5%로 강화한다는 계획을 밝혔다. 저황유로 연료 전환이 불가피한 해운사에게는 황산화물 함량이 거의 없는 바이오중유가 황산화물 배출 규제의 또 다른 대안이 될 수 있다.

바이오중유를 타 용도로 사용하기 위해서는 기기와의 적합성, 안정성 등의 면밀한 검증과 함께 바이오중유의 가격 경쟁력 확보 방안이 마련되어야 한다. 이러한 기술적·제도적 장벽을 넘어선다면 황산화물 등 대기오염물질

---

70) 중유 소비량은 한국석유공사 페트로넷(<http://www.petronet.co.kr/>)의 중유와 B-C 유 제품별 산업별 통계 합산값을 바탕으로 파악하였다. 2015년 기준 국내 중유 소비량은 5,844,819 천kl로 그 중 약 32%가 발전용으로 사용되었으며, 그보다 많은 양인 18,258,563 천kl이 해운 부문에서 선박용도로 사용되었다.



저감에 크게 기여하고, 동시에 바이오중유산업의 전방연쇄효과를 높일 수 있을 것이다.

마지막으로, 엄격한 바이오중유 품질 관리를 통해 바이오중유발전의 대기 오염물질 및 온실가스 저감효과를 담보해야 한다. 바이오중유는 중유와 유사한 수준의 발열량을 갖기 위해 인위적으로 원료를 배합한다. 원료의 구성이나 구성비에 따라 바이오중유의 특성이 달라질 수 있다. 향후 바이오중유가 상용화되면 「석유대체연료의 성능평가기준과 품질시험방법 등에 관한 고시」에 적절한 품질기준이 제시되어야 할 것이다. 이 때, 그 품질기준은 바이오중유의 환경성을 담보할 수 있는 수준이어야 바이오중유가 중유를 대체하는 의미가 있을 수 있다.

바이오중유 사용자인 발전사 측면에서는 바이오중유발전으로 인한 질소산화물 및 먼지의 배출이 기존 중유발전에 대비해 낮은 수준으로 배출되도록 발전소 운영에 힘써야 한다. 신규 건설을 추진 중인 일부 목질계 바이오매스 발전소가 지역 주민의 반대로 철회되거나 진행을 멈춘 사례가 있다. 기존 석탄화력에 비해 환경오염을 더 시킨다는 점이 반대의 주된 이유였다(김태일, 2018). 본 연구를 통해 입증한 바이오중유발전의 환경영향은 중유 발전에 비교해 낮은 수준이다. 그러나 질소산화물과 먼지의 경우 발전소와 방지시설의 운전 조건에 영향을 상당히 받기 때문에 자칫 기존 중유발전보다 더 많은 오염물질을 배출할 가능성이 있다. REC 가중치 설정 시 주민 수용성이 주요 인자에 포함되는 만큼, 바이오중유가 중유를 대체함으로써 나타나는 환경 효과를 지역사회에 인지시키고 발전사 스스로 강화된 관리 기준을 설정한다면 주민 수용성 제고를 통해 사회적으로도 지속가능한 에너지로 자리매김할 수 있을 것이다.

## 참 고 문 헌

- 감사원 (2016). 신성장동력 에너지사업 추진실태 감사보고서.
- 강광규 (2002). 유류가격 및 세제조정방안. 한국환경정책·평가연구원.
- 강만옥 (2007). 바이오연료의 환경·경제성 분석 및 보급·확대방안 연구.  
한국환경정책·평가연구원.
- 강만옥, 김용건, 허경선, 조정환, 이슬 (2012). 화석연료 사용의 사회적 비용 추정 및 가격구조 합리화 방안(Ⅰ). 경제·인문사회연구회 협동연구 총서. 한국환경정책·평가연구원.
- 강지은 (2017). 한국 신재생에너지발전과 화력발전의 경제적 파급효과 비교분석. **에너지공학**. 26(3), 51-63.
- 고용노동부 (2017년5월2일). ‘17년 고용영향평가 대상과제 선정. ‘17년도 제2차 고용정책심의회.
- 국립환경과학원 (2015). 대기오염물질 배출계수 자료집.
- 권승문, 김하나, 전의찬 (2016). 신재생에너지산업의 경제적 파급효과 분석. **한국기후변화학회**. 7(1), 59-68.
- 기획재정부 (2017). 제2차 배출권거래제 기본계획(안).
- 김유미 (2016). 환경영향평가 협의사업 환경편익/비용분석 연구.  
한국환경정책·평가연구원.
- 김대욱 (2014). 용량요금제도 개선 및 용량시장 도입에 관한 연구.  
산업조직학회.
- 김상우, 허가형 (2016). 초미세먼지 관리 특별대책의 현황 및 개선과제.  
국회예산정책처. 사업평가현안분석, 제59호(통권 374호).

- 김수진 (2003). 재생에너지의 고용효과 분석-풍력과 태양광 발전을 중심으로. 미출판 석사학위 논문. 서울대학교 대학원, 서울.
- 김태영, 진세준, 박세현, 표희동 (2013). 해양바이오에너지 개발사업의 경제적 파급효과. **한국에너지학회**. 22(3), 184-196.
- 김태일 (2018년1월9일). 논란의 바이오매스 소문과 진실. **일요시사**. Retrieved from <http://www.ilyosisa.co.kr/news/articleView.html?idxno=139639>
- 녹색기술센터 (2015). 2015년도 녹색기술 심층분석 보고서(바이오에너지). 미래창조과학부.
- 류승우, 변재웅 (2016). 부산지역 재생폐기물을 이용한 전력과 차량용 바이오연료생산의 경제적 파급효과 및 경제성분석. **한국경영학회**. 31(2). 161-195.
- 민간발전협회 (2017년3월15일). 2017년 03월 08일기준 발전설비 용량변경. 민간발전협회. Retrieved from <http://www.ippak.or.kr/>
- 민윤지 (2014). 에너지순수입의존도 및 에너지자립도 지표를 통한 우리나라 에너지경제효율분석. 통상정보연구 제16권 제2호, 199-218.
- 민경일, 박천규, 김재곤, 나병기 (2016). 한국의 바이오디젤 원료 잠재량 분석 연구. **한국소수에너지학회**. 27(4), 447-461.
- 박시용 (2015). 축산폐수 바이오가스 설비투자의 비용편익분석과 경제적 파급효과 연구. 미출판 박사학위논문. 동의대학교 대학원, 부산.
- 박정순 (2009). 바이오에너지산업 육성을 통한 FTA 대응전략 연구: 국산 바이오디젤 원료 시장 확대의 경제파급효과 분석. 에너지경제연구원.
- 배정환 (2006). 바이오연료의 보급전망과 사회적 비용·편익 분석. 에너지경제연구원. 수시연구보고서 06-04.

- 배정환, 정해영, 김미정 (2015). 해조류 바이오매스 에너지화 사업의 경제적 타당성과 파급효과 분석. **신재생에너지학회**. 6(11), No.2, 29-38.
- 백민지, 김호영, 유승훈 (2014). 바이오가스 공급 확대의 경제적 파급효과 분석. **에너지공학**. 23(2), 74-82.
- 백세현, 박효영, 김영주, 김태형, 김현희, 고성호 (2014). 75MWe급 중유발전소 보일러에 대한 바이오중유 100% 전소 실증 연소실험 결과. **한국연소공학회**. 19(2), 28-36.
- 백세현, 김현희, 박효영, 김영주, 김태형, 고성호 (2015). 국내 4개 중유발전소 실증실험을 통한 발전연료 대체용 바이오중유의 연소특성 연구. **한국연소공학회**. 20(1), 15-23.
- 산업통상자원부 (2016). 신재생에너지백서.
- 산업통상자원부 (2017). 제8차 전력수급계획.
- 생명공학정책연구센터 (2011). 바이오에너지 연구 및 기술개발동향 (바이오에탄올과 바이오디젤 중심으로). 기술동향 2010-2. 제137권.
- 손희철 (2016). 환경분야 신산업의 경제적 파급효과 분석. 미출판 박사학위논문. 중앙대학교 대학원, 서울.
- 신원근 (2008). 수도권 사업장 대기오염물질 총량관리를 위한 배출량 산정 및 저감에 따른 효과 분석에 관한 연구. 미출판 박사학위논문. 건국대학교 대학원, 서울.
- 양맹호, 이종희, 김영수 (2017). 이산화탄소 사회적 비용의 원전예의 적용 사례와 시사점. 원자력정책 Brief Report 2017-1. 제38호.
- 에너지경제연구원 (2015). 발전용 바이오중유의 경제성 분석. 한국석유관리원.
- 에너지경제연구원 (2016). 발전부문 초미세먼지 배출감소 대책의 전력시장 영향

분석. 수시 연구 보고서 16-13.

에너지경제연구원 (2017). 신정부 전원구성안 영향 분석.

에너지경제연구원 (2017년7월24일). 세계 바이오매스(목재펠릿) 공급현황 및 시장 변화 요인. 세계 에너지시장 인사이트 제17-25호.

에코네트워크(2017). 발전용 바이오중유 전과정평가(LCA) 연구. 한국석유관리원.

에코네트워크(2018). 발전용 바이오중유의 발전사별 경제성 분석 연구. 한국석유관리원.

온실가스종합정보센터 (2017). 2017년 국가 온실가스 인벤토리 보고서.

유승훈 (2017.3). 미세먼지 저감 및 온실가스 감축을 위한 친환경 발전 방안.  
발전부문 미세먼지 저감 및 에너지믹스 개선 방안. 국회신성장산업포럼, 서울.

윤병호 (2016년9월27일). [국정감사 2016] 김수민 의원 “바이오매스 불법 성행”.  
EBN. Retrieved from <http://chem.ebn.co.kr/news/view/147304>

이경실, 유승훈 (2017). 지역난방 및 개별난방 투자의 경제적 파급효과 분석.  
한국혁신학회지. 12(1), 121-141.

이예진 (2017). 바이오매스 열분해 오일의 촉매 개질에 관한 연구. 미출판 석사학위논문. 서울시립대학교 대학원, 서울.

이용권 (2013년4월19일). 발전 공기업 5곳 수백억대 과징금 불가피.  
문화일보. Retrieved from  
<http://www.munhwa.com/news/view.html?no=2013041901031624163002>

이석구 (2016). 대용량 보일러 발전 시설에서의 바이오 중유 실증 연구.  
미출판 박사학위논문. 호서대학교 대학원, 아산.

이지혜 (2016). 온실가스 저감을 위한 400MW급 보일러의 바이오중유 및 바이오디젤 혼소 특성 연구. 미출판 석사학위 논문. 호서대학교 대학원, 아산.

- 장은정, 박조용, 민경일, 임의순, 하중환, 이봉희 (2014). 중유 대체연료로서 발전용 바이오중유의 품질특성 연구. **한국석유화학학회**. 31(4), 562-571.
- 장은정, 이미은, 박조용, 민경일, 임의순, 하중환, 이봉희 (2015). 발전용 바이오중유용 원료물질의 품질특성 연구. **한국석유화학학회**. 32(1), 136-147.
- 정남영, 김래현 (2010). 국내 발전부문에서의 목재펠릿 경제성 연구. **에너지공학**. 19(4), 251-257.
- 조영대 (2004). 중유발전 보일러의 질소산화물 저감을 위한 LNA(Low NOx Atomizer) 개발 및 적용방안 연구, 미출판 석사학위논문. 연세대학교 대학원, 서울.
- 통계청 (2017). 『산업연관표』 2017년 정기통계품질진단 결과보고서. 발간등록번호. 11-1240000-000994-01.
- 하중환, 장은정, 권용재 (2015). 발전용 바이오중유의 혼합비율에 따른 배출가스 특성 연구. **한국석유화학학회**. 32(3), 588-598.
- 한국석유관리원 (2017). 발전용 바이오중유 상용화 기반마련 연구 워크숍 발표자료.
- 한국석유관리원 (2018). 발전용 바이오중유 상용화 기반마련 연구 최종 평가자료.
- 한국석유재활용협회 (2015). 협회소식164번. Retrieved from [http://www.oils.or.kr/\\_ver01/\\_bbs\\_jw2000/?doc=bbs/board.php&bo\\_table=0402&wr\\_id=173](http://www.oils.or.kr/_ver01/_bbs_jw2000/?doc=bbs/board.php&bo_table=0402&wr_id=173)
- 한국에너지공단 (2017). 2016년 신·재생에너지 보급통계.
- 한국은행 (2004). 산업연관표를 이용한 경제분석.
- 한국은행 (2014). 산업연관분석해설.
- 한국은행 (2016). 2014년 산업연관표.
- 한국전력공사 (2016). 2015년 한국전력통계.

- 한국전력공사 (2017). 2016년 한국전력통계.
- 한국중부발전 (2004). 제주화력 굴뚝 TMS 운영사례.
- 한국환경공단 (2003). 저녹스(NOx) 버너 이해 및 설치 효과 분석.
- 환경부 (2012). 굴뚝 원격감시체계 업무편람.
- 환경부 (2017). 2016년 대기환경연보.
- 환경부 (2018년5월4일). 사업장 질소산화물에 대기배출부과금 제도 도입.  
 보도자료. Retrieved from <http://www.me.go.kr/home/web/index.do?menuId=286&subMenuId=286>
- 홍준석, 박성환, 박중구 (2012). 한국 기후산업의 경제적 파급효과에 관한 연구 - 신재생에너지산업을 중심으로. **에너지공학**. 21(1), 109-117.
- Bracmort, Kelsi. (2016). Is Biopower Carbon Neutral?. US Congressional Research Service.
- CDM Executive Board (2006). EB 23 Report Annex18 Definition of renewable biomass. UNFCCC.
- Ide, Masahiro. (2007). Excel을 이용한 산업연관분석 입문. 제주대학교출판부.
- IEA (2017a). Bioenergy's role in balancing the electricity grid and providing storage options—an EU perspective.
- IEA (2017b). Technology Roadmap Delivering Sustainable Bioenergy. France: IEA Publications.
- IEA (2018). Is energy from woody biomass positive for the climate?. IEA Bioenergy.
- IPCC (2006). 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Japan: Publisher.

Miller, Ronald E., & Blair, Peter D. (2009). *Input-Output Analysis* (2nd ed.). New York. Cambridge UNIVERSITY PRESS Publications.

Moore, Frances C., & Diaz, Delavane B. Diaz. (2015). Temperature impacts on economic growth warrant stringent mitigation policy. *Nature Climate Change*. 5, 127-131.

Parry, Ian W.H., Heine, Dirk., Lis, Eliza., & Li, Shanjun. (2014). *Getting energy prices right*. Washington, D.C.: International Monetary Fund(IMF).

Than, Ker. (January 12, 2015). Estimated social cost of climate change not accurate, Stanford scientists say. Stanford News. Retrieved from <https://news.stanford.edu/2015/01/12/emissions-social-costs-011215/>

US Government(Interagency Working Group on Social Cost of Greenhouse Gases) (2013). *Technical Support Document: Technical Update of the Social Cost of Carbon for Regulatory Impact Analysis Under Executive Order 12866*.

Wartsila. (2017). *Liquid Biofuel Power Plants*. Retrieved from <http://www.power-technology.com/products/liquid-biofuel-power-plants/>



## 〈사이트〉

국가통계포털. <http://kosis.kr>

한국거래소. <http://marketdata.krx.co.kr>

한국은행. <http://www.bok.or.kr>

SANKEI ENERGY. <http://www.sankei-energy.jp>

## 〈법률〉

공급인증서 발급 및 거래시장 운영에 관한 규칙, 신·재생에너지센터 공고 제2017-6호 (2017).

발전용 바이오중유 시범보급사업 추진에 관한 고시, 산업통상자원부 고시 제2016-241호 (2016).

석유 및 석유대체연료 사업법, 법률 14476호 (2017).

석유대체연료의 성능평가기준과 품질시험방법 등에 관한 고시, 산업통상자원부 고시 제2016-106호 (2016).

석유제품의 품질기준과 검사방법 및 검사수수료에 관한 고시, 산업통상자원부 고시 제2015-140호(2015).

신에너지 및 재생에너지 개발 이용 보급촉진법, 법률 제14670호 (2017).

신·재생에너지 공급의무화제도 및 연료 혼합의무화제도 관리·운영지침, 산업통상자원부 고시 제2017-2호 (2017).

온실가스에너지 목표관리 운영 등에 관한 지침, 환경부 고시 제2016-255호 (2016).

## 부 록 차 례

|  |     |
|--|-----|
| 〈부록 표 1〉 기준 시나리오의 바이오중유산업 유발효과 .....     | 180 |
| 〈부록 표 2〉 기준 시나리오의 중유산업 유발효과 .....        | 181 |
| 〈부록 표 3〉 시나리오 I-1의 바이오중유산업 유발효과 .....    | 182 |
| 〈부록 표 4〉 시나리오 I-1의 중유산업 유발효과 .....       | 183 |
| 〈부록 표 5〉 시나리오 I-2의 바이오중유산업 유발효과 .....    | 184 |
| 〈부록 표 6〉 시나리오 I-2의 중유산업 유발효과 .....       | 185 |
| 〈부록 표 7〉 시나리오 II-1의 바이오중유산업 유발효과 .....   | 186 |
| 〈부록 표 8〉 시나리오 II-1의 중유산업 유발효과 .....      | 187 |
| 〈부록 표 9〉 시나리오 II-2의 바이오중유산업 유발효과 .....   | 188 |
| 〈부록 표 10〉 시나리오 II-2의 중유산업 유발효과 .....     | 189 |
| 〈부록 표 11〉 시나리오 III-1의 바이오중유산업 유발효과 ..... | 190 |
| 〈부록 표 12〉 시나리오 III-1의 중유산업 유발효과 .....    | 191 |
| 〈부록 표 13〉 시나리오 III-2의 바이오중유산업 유발효과 ..... | 192 |
| 〈부록 표 14〉 시나리오 III-2의 중유산업 유발효과 .....    | 193 |

<부록 표 1> 기준 시나리오의 바이오중유산업 유발효과

| 부문      | 부문               | 생산유발액<br>(억 원) | 부가가치<br>유발액(억 원) | 수입유발액<br>(억 원) | 고용유발<br>인원(명) |
|---------|------------------|----------------|------------------|----------------|---------------|
| 1       | 농림수산물            | 96             | 53               | 474            | 18            |
| 2       | 광산품              | 3              | 2                | 38             | 1             |
| 3       | 음식료품             | 315            | 50               | 18             | 69            |
| 4       | 섬유 및 가죽제품        | 16             | 4                | 1              | 5             |
| 5       | 목재 및 종이, 인쇄      | 26             | 7                | 1              | 10            |
| 6       | 석탄 및 석유제품        | 86             | 6                | 48             | 1             |
| 7       | 화학제품             | 772            | 153              | 274            | 99            |
| 8       | 비금속광물제품          | 18             | 5                | 2              | 4             |
| 9       | 1차 금속제품          | 96             | 13               | 6              | 7             |
| 10      | 금속제품             | 108            | 33               | 2              | 23            |
| 11      | 기계 및 장비          | 109            | 31               | 5              | 32            |
| 12      | 전기 및 전자기기        | 41             | 11               | 3              | 6             |
| 13      | 정밀기기             | 6              | 2                | 1              | 2             |
| 14      | 운송장비             | 12             | 3                | 0              | 2             |
| 15      | 기타 생산업 제품 및 임가공  | 33             | 14               | 1              | 20            |
| 16      | 전력, 가스 및 증기      | 170            | 45               | 0              | 13            |
| 17      | 수도, 폐기물 및 재활용서비스 | 99             | 46               | 0              | 40            |
| 18      | 건설               | 88             | 30               | 0              | 52            |
| 19      | 도소매서비스           | 113            | 57               | 2              | 94            |
| 20      | 운송서비스            | 80             | 29               | 2              | 43            |
| 21      | 음식점 및 숙박서비스      | 19             | 7                | 0              | 17            |
| 22      | 정보통신 및 방송 서비스    | 25             | 11               | 0              | 12            |
| 23      | 금융 및 보험 서비스      | 39             | 21               | 0              | 20            |
| 24      | 부동산 및 임대         | 20             | 15               | 1              | 5             |
| 25      | 전문, 과학 및 기술 서비스  | 30             | 17               | 3              | 29            |
| 26      | 사업지원서비스          | 17             | 11               | 2              | 38            |
| 27      | 공공행정 및 국방        | 3              | 2                | 0              | 3             |
| 28      | 교육서비스            | 1              | 0                | 0              | 1             |
| 29      | 보건 및 사회복지서비스     | 4              | 2                | 0              | 5             |
| 30      | 문화 및 기타 서비스      | 11             | 5                | 0              | 11            |
| 타부문효과 계 |                  | 2,455          | 685              | 885            | 681           |
| 자기부문효과  |                  | 5,797          | 2,053            | -              | 406           |
| 총 계     |                  | 8,252          | 2,737            | 885            | 1,087         |

주: 바이오중유산업 산출액 5,797억 원 기준

<부록 표 2> 기준 시나리오의 중유산업 유발효과

| 부문      | 부문               | 생산유발액<br>(억 원) | 부가가치<br>유발액(억 원) | 수입유발액<br>(억 원) | 고용유발<br>인원(명) |
|---------|------------------|----------------|------------------|----------------|---------------|
| 1       | 농림수산물            | 0.3            | 0.2              | 0.0            | 0.1           |
| 2       | 광산품              | 0.6            | 0.3              | 14.5           | 0.2           |
| 3       | 음식료품             | 0.6            | 0.1              | 0.0            | 0.1           |
| 4       | 섬유 및 가죽제품        | 0.9            | 0.2              | 0.0            | 0.3           |
| 5       | 목재 및 종이, 인쇄      | 1.3            | 0.3              | 0.0            | 0.5           |
| 6       | 석탄 및 석유제품        | 4.9            | 0.3              | 1,289.0        | 0.0           |
| 7       | 화학제품             | 16.3           | 3.2              | 1.5            | 2.1           |
| 8       | 비금속광물제품          | 8.1            | 2.2              | 0.4            | 1.6           |
| 9       | 1차 금속제품          | 17.1           | 2.4              | 1.4            | 1.3           |
| 10      | 금속제품             | 40.5           | 12.3             | 0.7            | 8.7           |
| 11      | 기계 및 장비          | 2.8            | 0.8              | 0.3            | 0.8           |
| 12      | 전기 및 전자기기        | 2.3            | 0.6              | 0.1            | 0.3           |
| 13      | 정밀기기             | 0.5            | 0.2              | 0.0            | 0.2           |
| 14      | 운송장비             | 1.0            | 0.2              | 0.0            | 0.2           |
| 15      | 기타 생산업 제품 및 임가공  | 2.3            | 1.0              | 0.0            | 1.4           |
| 16      | 전력, 가스 및 증기      | 49.2           | 13.2             | 0.0            | 3.7           |
| 17      | 수도, 폐기물 및 재활용서비스 | 11.9           | 5.5              | 0.0            | 4.8           |
| 18      | 건설               | 0.2            | 0.1              | 0.0            | 0.1           |
| 19      | 도소매서비스           | 5.7            | 2.9              | 0.1            | 4.7           |
| 20      | 운송서비스            | 4.2            | 1.5              | 0.0            | 2.2           |
| 21      | 음식점 및 숙박서비스      | 1.2            | 0.5              | 0.0            | 1.1           |
| 22      | 정보통신 및 방송 서비스    | 1.6            | 0.7              | 0.0            | 0.8           |
| 23      | 금융 및 보험 서비스      | 2.7            | 1.4              | 0.0            | 1.4           |
| 24      | 부동산 및 임대         | 1.1            | 0.8              | 0.0            | 0.3           |
| 25      | 전문, 과학 및 기술 서비스  | 1.8            | 1.0              | 0.1            | 1.7           |
| 26      | 사업지원서비스          | 1.5            | 1.0              | 0.2            | 3.3           |
| 27      | 공공행정 및 국방        | 0.2            | 0.2              | 0.0            | 0.2           |
| 28      | 교육서비스            | 0.0            | 0.0              | 0.0            | 0.0           |
| 29      | 보건 및 사회복지서비스     | 0.3            | 0.1              | 0.0            | 0.3           |
| 30      | 문화 및 기타 서비스      | 0.9            | 0.5              | 0.0            | 1.0           |
| 타부문효과 계 |                  | 182.0          | 53.7             | 1,308.6        | 43.6          |
| 자기부문효과  |                  | 3,741.3        | 1,068.6          | -              | 242.0         |
| 총 계     |                  | 3,923.3        | 1,122.3          | 1,308.6        | 285.6         |

주: 중유산업 산출액 3,741억 원 기준

<부록 표 3> 시나리오 1-1의 바이오중유산업 유발효과

| 부문 | 부문               | 생산유발액<br>(억 원) | 부가가치<br>유발액(억 원) | 수입유발액<br>(억 원) | 고용유발<br>인원(명) |
|----|------------------|----------------|------------------|----------------|---------------|
| 1  | 농림수산물            | 192            | 106              | 947            | 36            |
| 2  | 광산품              | 5              | 3                | 76             | 1             |
| 3  | 음식료품             | 630            | 100              | 36             | 138           |
| 4  | 섬유 및 가죽제품        | 30             | 7                | 2              | 10            |
| 5  | 목재 및 종이, 인쇄      | 49             | 13               | 1              | 18            |
| 6  | 석탄 및 석유제품        | 165            | 11               | 96             | 1             |
| 7  | 화학제품             | 1,527          | 302              | 548            | 196           |
| 8  | 비금속광물제품          | 28             | 8                | 3              | 6             |
| 9  | 1차 금속제품          | 152            | 21               | 10             | 12            |
| 10 | 금속제품             | 171            | 52               | 4              | 37            |
| 11 | 기계 및 장비          | 140            | 40               | 7              | 42            |
| 12 | 전기 및 전자기기        | 59             | 16               | 4              | 9             |
| 13 | 정밀기기             | 10             | 3                | 1              | 3             |
| 14 | 운송장비             | 22             | 5                | 1              | 4             |
| 15 | 기타 생산업 제품 및 임가공  | 59             | 25               | 1              | 36            |
| 16 | 전력, 가스 및 증기      | 331            | 88               | 0              | 25            |
| 17 | 수도, 폐기물 및 재활용서비스 | 199            | 92               | 0              | 81            |
| 18 | 건설               | 115            | 40               | 0              | 68            |
| 19 | 도소매서비스           | 212            | 108              | 3              | 177           |
| 20 | 운송서비스            | 153            | 55               | 4              | 82            |
| 21 | 음식점 및 숙박서비스      | 36             | 14               | 0              | 31            |
| 22 | 정보통신 및 방송 서비스    | 46             | 20               | 0              | 23            |
| 23 | 금융 및 보험 서비스      | 71             | 38               | 0              | 37            |
| 24 | 부동산 및 임대         | 37             | 27               | 1              | 9             |
| 25 | 전문, 과학 및 기술 서비스  | 53             | 30               | 6              | 51            |
| 26 | 사업지원서비스          | 32             | 21               | 4              | 71            |
| 27 | 공공행정 및 국방        | 6              | 4                | 0              | 5             |
| 28 | 교육서비스            | 1              | 1                | 0              | 1             |
| 29 | 보건 및 사회복지서비스     | 7              | 4                | 0              | 9             |
| 30 | 문화 및 기타 서비스      | 20             | 10               | 0              | 21            |
|    | 타부문효과 계          | 4,557          | 1,262            | 1,756          | 1,238         |
|    | 자기부문효과           | 11,434         | 4,106            | -              | 439           |
|    | 총 계              | 15,991         | 5,368            | 1,756          | 1,677         |

주: 바이오중유산업 산출액 11,434억 원 기준

<부록 표 4> 시나리오 1-1의 중유산업 유발효과

| 부문 | 부문               | 생산유발액<br>(억 원) | 부가가치<br>유발액(억 원) | 수입유발액<br>(억 원) | 고용유발<br>인원(명) |
|----|------------------|----------------|------------------|----------------|---------------|
| 1  | 농림수산물            | 0.6            | 0.3              | 0.1            | 0.1           |
| 2  | 광산품              | 1.2            | 0.7              | 29.8           | 0.4           |
| 3  | 음식료품             | 1.2            | 0.2              | 0.0            | 0.3           |
| 4  | 섬유 및 가죽제품        | 1.9            | 0.4              | 0.1            | 0.6           |
| 5  | 목재 및 종이, 인쇄      | 2.6            | 0.7              | 0.0            | 1.0           |
| 6  | 석탄 및 석유제품        | 9.8            | 0.6              | 2,578.0        | 0.1           |
| 7  | 화학제품             | 32.6           | 6.4              | 3.0            | 4.2           |
| 8  | 비금속광물제품          | 16.2           | 4.5              | 0.7            | 3.3           |
| 9  | 1차 금속제품          | 34.3           | 4.7              | 2.9            | 2.7           |
| 10 | 금속제품             | 80.9           | 24.6             | 1.4            | 17.4          |
| 11 | 기계 및 장비          | 5.7            | 1.6              | 0.7            | 1.7           |
| 12 | 전기 및 전자기기        | 4.6            | 1.3              | 0.3            | 0.7           |
| 13 | 정밀기기             | 1.1            | 0.3              | 0.1            | 0.3           |
| 14 | 운송장비             | 1.9            | 0.4              | 0.0            | 0.4           |
| 15 | 기타 생산업 제품 및 임가공  | 4.7            | 2.0              | 0.1            | 2.8           |
| 16 | 전력, 가스 및 증기      | 100.5          | 26.9             | 0.0            | 7.5           |
| 17 | 수도, 폐기물 및 재활용서비스 | 23.7           | 10.9             | 0.0            | 9.7           |
| 18 | 건설               | 0.5            | 0.2              | 0.0            | 0.3           |
| 19 | 도소매서비스           | 11.4           | 5.8              | 0.1            | 9.5           |
| 20 | 운송서비스            | 8.3            | 3.0              | 0.1            | 4.4           |
| 21 | 음식점 및 숙박서비스      | 2.5            | 0.9              | 0.0            | 2.2           |
| 22 | 정보통신 및 방송 서비스    | 3.2            | 1.4              | 0.0            | 1.6           |
| 23 | 금융 및 보험 서비스      | 5.3            | 2.8              | 0.0            | 2.8           |
| 24 | 부동산 및 임대         | 2.2            | 1.7              | 0.0            | 0.5           |
| 25 | 전문, 과학 및 기술 서비스  | 3.6            | 2.1              | 0.2            | 3.5           |
| 26 | 사업지원서비스          | 3.0            | 2.0              | 0.4            | 6.6           |
| 27 | 공공행정 및 국방        | 0.5            | 0.4              | 0.0            | 0.4           |
| 28 | 교육서비스            | 0.1            | 0.1              | 0.0            | 0.1           |
| 29 | 보건 및 사회복지서비스     | 0.5            | 0.3              | 0.0            | 0.7           |
| 30 | 문화 및 기타 서비스      | 1.9            | 0.9              | 0.0            | 1.9           |
|    | 타부문효과 계          | 366.5          | 108.1            | 2,617.9        | 87.5          |
|    | 자기부문효과           | 7,482.2        | 2,137.1          | -              | 242.0         |
|    | 총 계              | 7,848.7        | 2,245.2          | 2,617.9        | 329.5         |

주: 중유산업 산출액 7,482억 원 기준

<부록 표 5> 시나리오 1-2의 바이오중유산업 유발효과

| 부문      | 부문               | 생산유발액<br>(억 원) | 부가가치<br>유발액(억 원) | 수입유발액<br>(억 원) | 고용유발<br>인원(명) |
|---------|------------------|----------------|------------------|----------------|---------------|
| 1       | 농림수산물            | 248            | 137              | 1,225          | 46            |
| 2       | 광산품              | 6              | 3                | 98             | 2             |
| 3       | 음식료품             | 814            | 129              | 47             | 178           |
| 4       | 섬유 및 가죽제품        | 38             | 9                | 3              | 13            |
| 5       | 목재 및 종이, 인쇄      | 63             | 17               | 2              | 23            |
| 6       | 석탄 및 석유제품        | 211            | 14               | 125            | 2             |
| 7       | 화학제품             | 1,967          | 389              | 709            | 252           |
| 8       | 비금속광물제품          | 32             | 9                | 3              | 7             |
| 9       | 1차 금속제품          | 180            | 25               | 12             | 14            |
| 10      | 금속제품             | 206            | 63               | 4              | 44            |
| 11      | 기계 및 장비          | 154            | 44               | 8              | 46            |
| 12      | 전기 및 전자기기        | 68             | 18               | 4              | 10            |
| 13      | 정밀기기             | 12             | 3                | 2              | 4             |
| 14      | 운송장비             | 28             | 6                | 1              | 5             |
| 15      | 기타 생산업 제품 및 임가공  | 74             | 31               | 1              | 44            |
| 16      | 전력, 가스 및 증기      | 424            | 113              | 0              | 32            |
| 17      | 수도, 폐기물 및 재활용서비스 | 257            | 119              | 0              | 105           |
| 18      | 건설               | 116            | 40               | 0              | 69            |
| 19      | 도소매서비스           | 269            | 136              | 4              | 224           |
| 20      | 운송서비스            | 195            | 70               | 5              | 104           |
| 21      | 음식점 및 숙박서비스      | 46             | 17               | 0              | 40            |
| 22      | 정보통신 및 방송 서비스    | 58             | 25               | 0              | 29            |
| 23      | 금융 및 보험 서비스      | 90             | 48               | 1              | 46            |
| 24      | 부동산 및 임대         | 46             | 34               | 1              | 11            |
| 25      | 전문, 과학 및 기술 서비스  | 66             | 38               | 7              | 63            |
| 26      | 사업지원서비스          | 40             | 27               | 6              | 90            |
| 27      | 공공행정 및 국방        | 8              | 6                | 0              | 6             |
| 28      | 교육서비스            | 1              | 1                | 0              | 1             |
| 29      | 보건 및 사회복지서비스     | 9              | 4                | 0              | 12            |
| 30      | 문화 및 기타 서비스      | 25             | 13               | 0              | 26            |
| 타부문효과 계 |                  | 5,748          | 1,587            | 2,267          | 1,548         |
| 자기부문효과  |                  | 14,710         | 5,298            | -              | 448           |
| 총 계     |                  | 20,458         | 6,885            | 2,267          | 1,996         |

주: 바이오중유산업 산출액 14,710억 원 기준

<부록 표 6> 시나리오 1-2의 중유산업 유발효과

| 부문 | 부문               | 생산유발액<br>(억 원) | 부가가치<br>유발액(억 원) | 수입유발액<br>(억 원) | 고용유발<br>인원(명) |
|----|------------------|----------------|------------------|----------------|---------------|
| 1  | 농림수산물            | 0.8            | 0.4              | 0.1            | 0.1           |
| 2  | 광산품              | 1.5            | 0.9              | 38.8           | 0.5           |
| 3  | 음식료품             | 1.6            | 0.3              | 0.0            | 0.4           |
| 4  | 섬유 및 가죽제품        | 2.4            | 0.6              | 0.1            | 0.8           |
| 5  | 목재 및 종이, 인쇄      | 3.3            | 0.9              | 0.1            | 1.2           |
| 6  | 석탄 및 석유제품        | 12.7           | 0.8              | 3,334.6        | 0.1           |
| 7  | 화학제품             | 42.2           | 8.3              | 3.8            | 5.4           |
| 8  | 비금속광물제품          | 21.0           | 5.8              | 0.9            | 4.3           |
| 9  | 1차 금속제품          | 44.4           | 6.1              | 3.7            | 3.4           |
| 10 | 금속제품             | 104.7          | 31.8             | 1.8            | 22.5          |
| 11 | 기계 및 장비          | 7.4            | 2.1              | 0.9            | 2.2           |
| 12 | 전기 및 전자기기        | 6.0            | 1.6              | 0.3            | 0.9           |
| 13 | 정밀기기             | 1.4            | 0.4              | 0.1            | 0.4           |
| 14 | 운송장비             | 2.5            | 0.6              | 0.0            | 0.5           |
| 15 | 기타 생산업 제품 및 임가공  | 6.0            | 2.6              | 0.1            | 3.6           |
| 16 | 전력, 가스 및 증기      | 130.6          | 34.9             | 0.0            | 9.7           |
| 17 | 수도, 폐기물 및 재활용서비스 | 30.7           | 14.2             | 0.0            | 12.5          |
| 18 | 건설               | 0.6            | 0.2              | 0.0            | 0.4           |
| 19 | 도소매서비스           | 14.8           | 7.5              | 0.2            | 12.3          |
| 20 | 운송서비스            | 10.8           | 3.9              | 0.1            | 5.8           |
| 21 | 음식점 및 숙박서비스      | 3.2            | 1.2              | 0.0            | 2.8           |
| 22 | 정보통신 및 방송 서비스    | 4.2            | 1.8              | 0.0            | 2.1           |
| 23 | 금융 및 보험 서비스      | 6.9            | 3.7              | 0.0            | 3.6           |
| 24 | 부동산 및 임대         | 2.9            | 2.2              | 0.0            | 0.7           |
| 25 | 전문, 과학 및 기술 서비스  | 4.7            | 2.7              | 0.3            | 4.5           |
| 26 | 사업지원서비스          | 3.8            | 2.6              | 0.5            | 8.6           |
| 27 | 공공행정 및 국방        | 0.6            | 0.5              | 0.0            | 0.5           |
| 28 | 교육서비스            | 0.1            | 0.1              | 0.0            | 0.1           |
| 29 | 보건 및 사회복지서비스     | 0.7            | 0.3              | 0.0            | 0.9           |
| 30 | 문화 및 기타 서비스      | 2.4            | 1.2              | 0.0            | 2.5           |
|    | 타부문효과 계          | 474.9          | 140.0            | 3,386.5        | 113.3         |
|    | 자기부문효과           | 9,678.0        | 2,764.2          | -              | 242.0         |
|    | 총 계              | 10,152.9       | 2,904.3          | 3,386.5        | 355.3         |

주: 중유산업 산출액 9,678억 원 기준



<부록 표 7> 시나리오 II-1의 바이오중유산업 유발효과

| 부문      | 부문               | 생산유발액<br>(억 원) | 부가가치<br>유발액(억 원) | 수입유발액<br>(억 원) | 고용유발<br>인원(명) |
|---------|------------------|----------------|------------------|----------------|---------------|
| 1       | 농림수산물            | 321            | 177              | 1,586          | 60            |
| 2       | 광산품              | 7              | 4                | 127            | 2             |
| 3       | 음식료품             | 1,054          | 167              | 61             | 231           |
| 4       | 섬유 및 가죽제품        | 49             | 11               | 3              | 16            |
| 5       | 목재 및 종이, 인쇄      | 81             | 22               | 2              | 30            |
| 6       | 석탄 및 석유제품        | 272            | 18               | 162            | 2             |
| 7       | 화학제품             | 2,545          | 503              | 918            | 326           |
| 8       | 비금속광물제품          | 42             | 11               | 4              | 8             |
| 9       | 1차 금속제품          | 227            | 31               | 15             | 18            |
| 10      | 금속제품             | 257            | 78               | 6              | 55            |
| 11      | 기계 및 장비          | 183            | 52               | 9              | 54            |
| 12      | 전기 및 전자기기        | 83             | 23               | 5              | 13            |
| 13      | 정밀기기             | 15             | 4                | 2              | 5             |
| 14      | 운송장비             | 36             | 8                | 1              | 7             |
| 15      | 기타 생산업 제품 및 임가공  | 95             | 40               | 1              | 57            |
| 16      | 전력, 가스 및 증기      | 547            | 145              | 0              | 41            |
| 17      | 수도, 폐기물 및 재활용서비스 | 333            | 154              | 0              | 136           |
| 18      | 건설               | 152            | 52               | 0              | 89            |
| 19      | 도소매서비스           | 346            | 175              | 5              | 289           |
| 20      | 운송서비스            | 251            | 90               | 6              | 134           |
| 21      | 음식점 및 숙박서비스      | 59             | 22               | 0              | 51            |
| 22      | 정보통신 및 방송 서비스    | 74             | 33               | 1              | 37            |
| 23      | 금융 및 보험 서비스      | 115            | 61               | 1              | 60            |
| 24      | 부동산 및 임대         | 60             | 44               | 2              | 14            |
| 25      | 전문, 과학 및 기술 서비스  | 85             | 48               | 10             | 82            |
| 26      | 사업지원서비스          | 52             | 35               | 7              | 116           |
| 27      | 공공행정 및 국방        | 10             | 7                | 0              | 8             |
| 28      | 교육서비스            | 2              | 1                | 0              | 2             |
| 29      | 보건 및 사회복지서비스     | 11             | 6                | 0              | 15            |
| 30      | 문화 및 기타 서비스      | 33             | 16               | 0              | 34            |
| 타부문효과 계 |                  | 7,395          | 2,041            | 2,935          | 1,992         |
| 자기부문효과  |                  | 19,054         | 6,882            | -              | 455           |
| 총 계     |                  | 26,448         | 8,924            | 2,935          | 2,447         |

주: 바이오중유산업 산출액 19,054억 원 기준

<부록 표 8> 시나리오 II-1의 중유산업 유발효과

| 부문 | 부문               | 생산유발액<br>(억 원) | 부가가치<br>유발액(억 원) | 수입유발액<br>(억 원) | 고용유발<br>인원(명) |
|----|------------------|----------------|------------------|----------------|---------------|
| 1  | 농림수산물            | 1.0            | 0.6              | 0.1            | 0.2           |
| 2  | 광산품              | 2.0            | 1.1              | 50.6           | 0.6           |
| 3  | 음식료품             | 2.1            | 0.3              | 0.0            | 0.5           |
| 4  | 섬유 및 가죽제품        | 3.1            | 0.7              | 0.1            | 1.0           |
| 5  | 목재 및 종이, 인쇄      | 4.3            | 1.2              | 0.1            | 1.6           |
| 6  | 석탄 및 석유제품        | 16.5           | 1.1              | 4,320.4        | 0.1           |
| 7  | 화학제품             | 54.7           | 10.8             | 5.0            | 7.0           |
| 8  | 비금속광물제품          | 27.2           | 7.5              | 1.2            | 5.5           |
| 9  | 1차 금속제품          | 57.5           | 7.9              | 4.8            | 4.4           |
| 10 | 금속제품             | 135.6          | 41.2             | 2.3            | 29.2          |
| 11 | 기계 및 장비          | 9.6            | 2.7              | 1.2            | 2.8           |
| 12 | 전기 및 전자기기        | 7.8            | 2.1              | 0.4            | 1.2           |
| 13 | 정밀기기             | 1.8            | 0.5              | 0.2            | 0.5           |
| 14 | 운송장비             | 3.2            | 0.7              | 0.0            | 0.6           |
| 15 | 기타 생산업 제품 및 임가공  | 7.8            | 3.3              | 0.1            | 4.7           |
| 16 | 전력, 가스 및 증기      | 169.9          | 45.4             | 0.0            | 12.7          |
| 17 | 수도, 폐기물 및 재활용서비스 | 39.7           | 18.4             | 0.0            | 16.2          |
| 18 | 건설               | 0.8            | 0.3              | 0.0            | 0.5           |
| 19 | 도소매서비스           | 19.2           | 9.7              | 0.2            | 16.0          |
| 20 | 운송서비스            | 14.0           | 5.0              | 0.1            | 7.5           |
| 21 | 음식점 및 숙박서비스      | 4.2            | 1.6              | 0.0            | 3.6           |
| 22 | 정보통신 및 방송 서비스    | 5.4            | 2.4              | 0.0            | 2.7           |
| 23 | 금융 및 보험 서비스      | 9.0            | 4.8              | 0.1            | 4.6           |
| 24 | 부동산 및 임대         | 3.7            | 2.8              | 0.0            | 0.9           |
| 25 | 전문, 과학 및 기술 서비스  | 6.1            | 3.5              | 0.4            | 5.9           |
| 26 | 사업지원서비스          | 5.0            | 3.3              | 0.7            | 11.2          |
| 27 | 공공행정 및 국방        | 0.8            | 0.6              | 0.0            | 0.7           |
| 28 | 교육서비스            | 0.1            | 0.1              | 0.0            | 0.1           |
| 29 | 보건 및 사회복지서비스     | 0.9            | 0.4              | 0.0            | 1.2           |
| 30 | 문화 및 기타 서비스      | 3.2            | 1.6              | 0.0            | 3.3           |
|    | 타부문효과 계          | 616.2          | 181.6            | 4,388.0        | 147.0         |
|    | 자기부문효과           | 12,539.1       | 3,581.4          | -              | 242.0         |
|    | 총 계              | 13,155.2       | 3,763.1          | 4,388.0        | 389.0         |

주: 중유산업 산출액 12,539억 원 기준

<부록 표 9> 시나리오 II-2의 바이오중유산업 유발효과

| 부문      | 부문               | 생산유발액<br>(억 원) | 부가가치<br>유발액(억 원) | 수입유발액<br>(억 원) | 고용유발<br>인원(명) |
|---------|------------------|----------------|------------------|----------------|---------------|
| 1       | 농림수산물            | 414            | 229              | 2,052          | 77            |
| 2       | 광산품              | 9              | 5                | 165            | 3             |
| 3       | 음식료품             | 1,362          | 216              | 78             | 299           |
| 4       | 섬유 및 가죽제품        | 63             | 15               | 4              | 21            |
| 5       | 목재 및 종이, 인쇄      | 103            | 28               | 3              | 38            |
| 6       | 석탄 및 석유제품        | 348            | 23               | 209            | 3             |
| 7       | 화학제품             | 3,281          | 649              | 1,187          | 421           |
| 8       | 비금속광물제품          | 48             | 13               | 5              | 10            |
| 9       | 1차 금속제품          | 275            | 38               | 19             | 21            |
| 10      | 금속제품             | 315            | 96               | 7              | 68            |
| 11      | 기계 및 장비          | 206            | 59               | 11             | 61            |
| 12      | 전기 및 전자기기        | 98             | 27               | 5              | 15            |
| 13      | 정밀기기             | 19             | 5                | 3              | 6             |
| 14      | 운송장비             | 45             | 10               | 1              | 9             |
| 15      | 기타 생산업 제품 및 임가공  | 120            | 51               | 2              | 72            |
| 16      | 전력, 가스 및 증기      | 704            | 186              | 0              | 53            |
| 17      | 수도, 폐기물 및 재활용서비스 | 430            | 198              | 0              | 175           |
| 18      | 건설               | 154            | 53               | 0              | 91            |
| 19      | 도소매서비스           | 441            | 224              | 6              | 368           |
| 20      | 운송서비스            | 321            | 115              | 8              | 171           |
| 21      | 음식점 및 숙박서비스      | 75             | 28               | 0              | 65            |
| 22      | 정보통신 및 방송 서비스    | 94             | 41               | 1              | 47            |
| 23      | 금융 및 보험 서비스      | 146            | 78               | 1              | 75            |
| 24      | 부동산 및 임대         | 76             | 56               | 2              | 18            |
| 25      | 전문, 과학 및 기술 서비스  | 106            | 60               | 12             | 102           |
| 26      | 사업지원서비스          | 66             | 44               | 9              | 148           |
| 27      | 공공행정 및 국방        | 12             | 9                | 0              | 10            |
| 28      | 교육서비스            | 2              | 2                | 0              | 2             |
| 29      | 보건 및 사회복지서비스     | 14             | 7                | 0              | 19            |
| 30      | 문화 및 기타 서비스      | 42             | 21               | 0              | 43            |
| 타부문효과 계 |                  | 9,388          | 2,585            | 3,790          | 2,510         |
| 자기부문효과  |                  | 24,544         | 8,879            | -              | 459           |
| 총 계     |                  | 33,932         | 11,464           | 3,790          | 2,969         |

주: 바이오중유산업 산출액 24,544억 원 기준

<부록 표 10> 시나리오 II-2의 중유산업 유발효과

| 부문 | 부문               | 생산유발액<br>(억 원) | 부가가치<br>유발액(억 원) | 수입유발액<br>(억 원) | 고용유발<br>인원(명) |
|----|------------------|----------------|------------------|----------------|---------------|
| 1  | 농림수산물            | 1.3            | 0.7              | 0.1            | 0.2           |
| 2  | 광산품              | 2.5            | 1.4              | 65.8           | 0.8           |
| 3  | 음식료품             | 2.7            | 0.4              | 0.0            | 0.6           |
| 4  | 섬유 및 가죽제품        | 4.0            | 0.9              | 0.2            | 1.4           |
| 5  | 목재 및 종이, 인쇄      | 5.6            | 1.5              | 0.1            | 2.1           |
| 6  | 석탄 및 석유제품        | 21.4           | 1.4              | 5,588.3        | 0.2           |
| 7  | 화학제품             | 70.7           | 14.0             | 6.5            | 9.0           |
| 8  | 비금속광물제품          | 35.2           | 9.7              | 1.5            | 7.1           |
| 9  | 1차 금속제품          | 74.4           | 10.2             | 6.2            | 5.8           |
| 10 | 금속제품             | 175.4          | 53.3             | 3.0            | 37.8          |
| 11 | 기계 및 장비          | 12.4           | 3.5              | 1.5            | 3.7           |
| 12 | 전기 및 전자기기        | 10.1           | 2.8              | 0.6            | 1.5           |
| 13 | 정밀기기             | 2.3            | 0.7              | 0.2            | 0.7           |
| 14 | 운송장비             | 4.2            | 0.9              | 0.0            | 0.8           |
| 15 | 기타 생산업 제품 및 임가공  | 10.1           | 4.3              | 0.2            | 6.1           |
| 16 | 전력, 가스 및 증기      | 220.5          | 58.9             | 0.0            | 16.4          |
| 17 | 수도, 폐기물 및 재활용서비스 | 51.4           | 23.7             | 0.0            | 20.9          |
| 18 | 건설               | 1.1            | 0.4              | 0.0            | 0.6           |
| 19 | 도소매서비스           | 24.8           | 12.6             | 0.3            | 20.7          |
| 20 | 운송서비스            | 18.1           | 6.5              | 0.1            | 9.7           |
| 21 | 음식점 및 숙박서비스      | 5.4            | 2.0              | 0.0            | 4.7           |
| 22 | 정보통신 및 방송 서비스    | 7.0            | 3.1              | 0.0            | 3.5           |
| 23 | 금융 및 보험 서비스      | 11.6           | 6.2              | 0.1            | 6.0           |
| 24 | 부동산 및 임대         | 4.9            | 3.6              | 0.0            | 1.2           |
| 25 | 전문, 과학 및 기술 서비스  | 7.9            | 4.5              | 0.5            | 7.6           |
| 26 | 사업지원서비스          | 6.5            | 4.3              | 0.9            | 14.5          |
| 27 | 공공행정 및 국방        | 1.1            | 0.8              | 0.0            | 0.9           |
| 28 | 교육서비스            | 0.2            | 0.1              | 0.0            | 0.2           |
| 29 | 보건 및 사회복지서비스     | 1.1            | 0.6              | 0.0            | 1.5           |
| 30 | 문화 및 기타 서비스      | 4.1            | 2.0              | 0.0            | 4.2           |
|    | 타부문효과 계          | 798.0          | 235.2            | 5,676.2        | 190.3         |
|    | 자기부문효과           | 16,218.9       | 4,632.4          | -              | 242           |
|    | 총 계              | 17,016.9       | 4,867.7          | 5,676.2        | 432.3         |

주: 중유산업 산출액 16,219억 원 기준

<부록 표 11> 시나리오 Ⅲ-1의 바이오중유산업 유발효과

| 부문 | 부문               | 생산유발액<br>(억 원) | 부가가치<br>유발액(억 원) | 수입유발액<br>(억 원) | 고용유발<br>인원(명) |
|----|------------------|----------------|------------------|----------------|---------------|
| 1  | 농림수산물            | 607            | 336              | 3,008          | 113           |
| 2  | 광산품              | 13             | 8                | 243            | 4             |
| 3  | 음식료품             | 1,997          | 317              | 115            | 438           |
| 4  | 섬유 및 가죽제품        | 92             | 21               | 6              | 31            |
| 5  | 목재 및 종이, 인쇄      | 150            | 41               | 4              | 56            |
| 6  | 석탄 및 석유제품        | 510            | 33               | 307            | 4             |
| 7  | 화학제품             | 4,801          | 949              | 1,742          | 617           |
| 8  | 비금속광물제품          | 71             | 20               | 7              | 14            |
| 9  | 1차 금속제품          | 394            | 54               | 27             | 30            |
| 10 | 금속제품             | 449            | 136              | 10             | 97            |
| 11 | 기계 및 장비          | 277            | 79               | 14             | 82            |
| 12 | 전기 및 전자기기        | 137            | 38               | 6              | 21            |
| 13 | 정밀기기             | 27             | 8                | 4              | 8             |
| 14 | 운송장비             | 66             | 15               | 2              | 12            |
| 15 | 기타 생산업 제품 및 임가공  | 174            | 74               | 3              | 105           |
| 16 | 전력, 가스 및 증기      | 1,028          | 271              | 0              | 78            |
| 17 | 수도, 폐기물 및 재활용서비스 | 631            | 291              | 0              | 257           |
| 18 | 건설               | 233            | 81               | 0              | 138           |
| 19 | 도소매서비스           | 644            | 327              | 9              | 537           |
| 20 | 운송서비스            | 469            | 168              | 12             | 251           |
| 21 | 음식점 및 숙박서비스      | 109            | 41               | 1              | 95            |
| 22 | 정보통신 및 방송 서비스    | 138            | 60               | 1              | 68            |
| 23 | 금융 및 보험 서비스      | 213            | 113              | 1              | 110           |
| 24 | 부동산 및 임대         | 111            | 83               | 3              | 26            |
| 25 | 전문, 과학 및 기술 서비스  | 155            | 88               | 18             | 149           |
| 26 | 사업지원서비스          | 96             | 65               | 13             | 217           |
| 27 | 공공행정 및 국방        | 18             | 13               | 0              | 14            |
| 28 | 교육서비스            | 3              | 2                | 0              | 4             |
| 29 | 보건 및 사회복지서비스     | 21             | 11               | 0              | 28            |
| 30 | 문화 및 기타 서비스      | 61             | 30               | 0              | 63            |
|    | 타부문효과 계          | 13,696         | 3,771            | 5,558          | 3,667         |
|    | 자기부문효과           | 36,010         | 13,060           | -              | 462           |
|    | 총 계              | 49,705         | 16,830           | 5,558          | 4,129         |

주: 바이오중유산업 산출액 36,010억 원 기준

<부록 표 12> 시나리오 Ⅲ-1의 중유산업 유발효과

| 부문      | 부문               | 생산유발액<br>(억 원) | 부가가치<br>유발액(억 원) | 수입유발액<br>(억 원) | 고용유발<br>인원(명) |
|---------|------------------|----------------|------------------|----------------|---------------|
| 1       | 농림수산물            | 1.9            | 1.1              | 0.2            | 0.4           |
| 2       | 광산품              | 3.7            | 2.1              | 97.6           | 1.2           |
| 3       | 음식료품             | 4.0            | 0.6              | 0.0            | 0.9           |
| 4       | 섬유 및 가죽제품        | 5.9            | 1.4              | 0.2            | 2.0           |
| 5       | 목재 및 종이, 인쇄      | 8.3            | 2.2              | 0.2            | 3.1           |
| 6       | 석탄 및 석유제품        | 31.5           | 2.1              | 8,197.7        | 0.2           |
| 7       | 화학제품             | 103.9          | 20.5             | 9.5            | 13.3          |
| 8       | 비금속광물제품          | 51.6           | 14.3             | 2.2            | 10.5          |
| 9       | 1차 금속제품          | 109.2          | 15.0             | 9.1            | 8.4           |
| 10      | 금속제품             | 257.3          | 78.3             | 4.4            | 55.4          |
| 11      | 기계 및 장비          | 18.2           | 5.2              | 2.2            | 5.4           |
| 12      | 전기 및 전자기기        | 14.9           | 4.1              | 0.8            | 2.3           |
| 13      | 정밀기기             | 3.4            | 1.0              | 0.3            | 1.1           |
| 14      | 운송장비             | 6.2            | 1.4              | 0.0            | 1.2           |
| 15      | 기타 생산업 제품 및 임가공  | 14.9           | 6.3              | 0.2            | 9.0           |
| 16      | 전력, 가스 및 증기      | 324.9          | 86.8             | 0.0            | 24.3          |
| 17      | 수도, 폐기물 및 재활용서비스 | 75.4           | 34.8             | 0.0            | 30.7          |
| 18      | 건설               | 1.6            | 0.5              | 0.0            | 0.9           |
| 19      | 도소매서비스           | 36.5           | 18.5             | 0.5            | 30.4          |
| 20      | 운송서비스            | 26.5           | 9.5              | 0.2            | 14.2          |
| 21      | 음식점 및 숙박서비스      | 8.0            | 3.0              | 0.0            | 6.9           |
| 22      | 정보통신 및 방송 서비스    | 10.3           | 4.5              | 0.1            | 5.1           |
| 23      | 금융 및 보험 서비스      | 17.1           | 9.1              | 0.1            | 8.8           |
| 24      | 부동산 및 임대         | 7.1            | 5.3              | 0.0            | 1.7           |
| 25      | 전문, 과학 및 기술 서비스  | 11.6           | 6.6              | 0.7            | 11.2          |
| 26      | 사업지원서비스          | 9.5            | 6.4              | 1.3            | 21.4          |
| 27      | 공공행정 및 국방        | 1.6            | 1.2              | 0.0            | 1.3           |
| 28      | 교육서비스            | 0.2            | 0.2              | 0.0            | 0.3           |
| 29      | 보건 및 사회복지서비스     | 1.6            | 0.8              | 0.0            | 2.2           |
| 30      | 문화 및 기타 서비스      | 6.0            | 3.0              | 0.0            | 6.2           |
| 타부문효과 계 |                  | 1,172.8        | 345.7            | 8,327.8        | 279.6         |
| 자기부문효과  |                  | 23,792.2       | 6,795.5          | -              | 242.0         |
| 총 계     |                  | 24,964.9       | 7,141.2          | 8,327.8        | 521.6         |

주: 중유산업 산출액 23,792억 원 기준

<부록 표 13> 시나리오 Ⅲ-2의 바이오중유산업 유발효과

| 부문 | 부문               | 생산유발액<br>(억 원) | 부가가치<br>유발액(억 원) | 수입유발액<br>(억 원) | 고용유발<br>인원(명) |
|----|------------------|----------------|------------------|----------------|---------------|
| 1  | 농림수산물            | 785            | 434              | 3,890          | 146           |
| 2  | 광산품              | 16             | 9                | 317            | 5             |
| 3  | 음식료품             | 2,581          | 410              | 149            | 566           |
| 4  | 섬유 및 가죽제품        | 118            | 27               | 8              | 39            |
| 5  | 목재 및 종이, 인쇄      | 192            | 52               | 5              | 71            |
| 6  | 석탄 및 석유제품        | 655            | 43               | 398            | 5             |
| 7  | 화학제품             | 6,189          | 1,222            | 2,253          | 796           |
| 8  | 비금속광물제품          | 84             | 23               | 9              | 17            |
| 9  | 1차 금속제품          | 485            | 67               | 34             | 37            |
| 10 | 금속제품             | 558            | 170              | 12             | 120           |
| 11 | 기계 및 장비          | 321            | 91               | 17             | 95            |
| 12 | 전기 및 전자기기        | 165            | 45               | 7              | 25            |
| 13 | 정밀기기             | 35             | 10               | 5              | 11            |
| 14 | 운송장비             | 84             | 19               | 2              | 16            |
| 15 | 기타 생산업 제품 및 임가공  | 221            | 94               | 3              | 133           |
| 16 | 전력, 가스 및 증기      | 1,323          | 347              | 0              | 101           |
| 17 | 수도, 폐기물 및 재활용서비스 | 815            | 376              | 0              | 332           |
| 18 | 건설               | 238            | 82               | 0              | 140           |
| 19 | 도소매서비스           | 824            | 418              | 12             | 687           |
| 20 | 운송서비스            | 601            | 215              | 15             | 321           |
| 21 | 음식점 및 숙박서비스      | 139            | 52               | 1              | 121           |
| 22 | 정보통신 및 방송 서비스    | 176            | 77               | 1              | 87            |
| 23 | 금융 및 보험 서비스      | 271            | 144              | 2              | 140           |
| 24 | 부동산 및 임대         | 141            | 105              | 4              | 34            |
| 25 | 전문, 과학 및 기술 서비스  | 194            | 110              | 23             | 186           |
| 26 | 사업지원서비스          | 123            | 83               | 17             | 278           |
| 27 | 공공행정 및 국방        | 23             | 17               | 0              | 18            |
| 28 | 교육서비스            | 4              | 3                | 0              | 4             |
| 29 | 보건 및 사회복지서비스     | 26             | 13               | 0              | 36            |
| 30 | 문화 및 기타 서비스      | 78             | 39               | 0              | 81            |
|    | 타부문효과 계          | 17,465         | 4,799            | 7,183          | 4,650         |
|    | 자기부문효과           | 46,427         | 16,848           | -              | 462           |
|    | 총 계              | 63,892         | 21,646           | 7,183          | 5,113         |

주: 바이오중유산업 산출액 46,427억 원 기준

<부록 표 14> 시나리오 Ⅲ-2의 중유산업 유발효과

| 부문 | 부문               | 생산유발액<br>(억 원) | 부가가치<br>유발액(억 원) | 수입유발액<br>(억 원) | 고용유발<br>인원(명) |
|----|------------------|----------------|------------------|----------------|---------------|
| 1  | 농림수산물            | 2.5            | 1.4              | 0.2            | 0.5           |
| 2  | 광산품              | 4.8            | 2.7              | 127.3          | 1.5           |
| 3  | 음식료품             | 5.1            | 0.8              | 0.1            | 1.1           |
| 4  | 섬유 및 가죽제품        | 7.7            | 1.8              | 0.3            | 2.6           |
| 5  | 목재 및 종이, 인쇄      | 10.7           | 2.9              | 0.2            | 4.0           |
| 6  | 석탄 및 석유제품        | 40.8           | 2.7              | 10,603.6       | 0.3           |
| 7  | 화학제품             | 134.4          | 26.6             | 12.3           | 17.2          |
| 8  | 비금속광물제품          | 66.8           | 18.5             | 2.9            | 13.5          |
| 9  | 1차 금속제품          | 141.2          | 19.4             | 11.7           | 10.9          |
| 10 | 금속제품             | 332.9          | 101.2            | 5.7            | 71.6          |
| 11 | 기계 및 장비          | 23.5           | 6.7              | 2.9            | 7.0           |
| 12 | 전기 및 전자기기        | 19.3           | 5.3              | 1.1            | 3.0           |
| 13 | 정밀기기             | 4.4            | 1.3              | 0.4            | 1.4           |
| 14 | 운송장비             | 8.0            | 1.8              | 0.1            | 1.5           |
| 15 | 기타 생산업 제품 및 임가공  | 19.3           | 8.2              | 0.3            | 11.6          |
| 16 | 전력, 가스 및 증기      | 421.4          | 112.5            | 0.0            | 31.5          |
| 17 | 수도, 폐기물 및 재활용서비스 | 97.6           | 45.1             | 0.0            | 39.8          |
| 18 | 건설               | 2.1            | 0.7              | 0.0            | 1.2           |
| 19 | 도소매서비스           | 47.2           | 23.9             | 0.6            | 39.4          |
| 20 | 운송서비스            | 34.3           | 12.3             | 0.3            | 18.4          |
| 21 | 음식점 및 숙박서비스      | 10.3           | 3.9              | 0.1            | 9.0           |
| 22 | 정보통신 및 방송 서비스    | 13.3           | 5.8              | 0.1            | 6.6           |
| 23 | 금융 및 보험 서비스      | 22.2           | 11.8             | 0.1            | 11.5          |
| 24 | 부동산 및 임대         | 9.2            | 6.9              | 0.0            | 2.2           |
| 25 | 전문, 과학 및 기술 서비스  | 15.1           | 8.6              | 0.9            | 14.5          |
| 26 | 사업지원서비스          | 12.3           | 8.3              | 1.7            | 27.7          |
| 27 | 공공행정 및 국방        | 2.1            | 1.5              | 0.0            | 1.6           |
| 28 | 교육서비스            | 0.3            | 0.2              | 0.0            | 0.3           |
| 29 | 보건 및 사회복지서비스     | 2.1            | 1.1              | 0.0            | 2.9           |
| 30 | 문화 및 기타 서비스      | 7.8            | 3.8              | 0.0            | 8.0           |
|    | 타부문효과 계          | 1,518.9        | 447.6            | 10,772.9       | 362.2         |
|    | 자기부문효과           | 30,774.4       | 8,789.8          | -              | 242.0         |
|    | 총 계              | 32,293.2       | 9,237.4          | 10,772.9       | 604.2         |

주: 중유산업 산출액 30,774억 원 기준





# Abstract

## Environmental, Social and Economic, Effects of Bio-fuel Industry

Lizzy Seo

Cooperative Course for Climate Change

The Graduate School

Sejong University

As of 2018, there are 18 (3,320MW) heavy oil power plants in Korea, supplying about 5% of the national power. Heavy oil power plants have been responsible for a significant portion of the domestic power supply by more than 70% until the mid-1990s, but are currently only operating for peak power levels. Because heavy oil production is less economical than coal power generation or nuclear power generation, and causes environmental pollution such as air pollution and greenhouse gas.

Heavy oil power plants have been gradually reducing the proportion of power supply. However, based on the bio-fuel pre-supply project for power generation from 2014, they are using bio-fuel, a type of biomass instead of

heavy oil, It is attracting attention as means of confrontation for Renewable energy Portfolio Standard (RPS) system. As the pilot project continued for 5 years, the use of bio-fuel was increased to account for more than 10% of the total bioenergy production, and more than 20 companies registered as bio-fuel production industry since they are produced in domestic market.

Despite the growth of bio-fuel production and consumption, research on bio-fuel production is limited to empirical studies on the operation of bio-fuel production and on the quality of fuel. Political research about environment, society, and economy that is basic data for policy-making is insufficient. In this study, bio-fuel industry is defined as bio-fuel production and consumption. This research also analyzed empirically its environmental, social and economic value on demand creation.

This study analyzed the socio-economic effects using the Input-Output Analysis model. For this purpose, researchers investigated bio-fuel industries and heavy oil industries for bio-fuel power plant, and re-established Input-Output table in 2014. According to analysis of the relationship with other industries of bio-fuel industry, bio-fuel industry has a close relation with industry related to production of bio-fuel such as chemical products and food products. It is believed that this could lead to a bigger ripple effect in bio-fuel production than bio-fuel generation.

As for the interdependence between the bio-fuel industry and other industries, the effect of the increase in production of the bio-fuel industry on the backward industry was significant, while the effect on the forward industries

was not significant. These results show that bio-fuel is limited to power generation applications. Therefore, it is necessary to find ways to utilize bio-fuel for other purposes in order to increase the economic ripple effect of bio-fuel industry.

The bio-fuel industry has a total net production inducing effect of KRW 432.9 billion to KRW 3,159.9 billion annually on the national economy as well as a net value added inducing effect of KRW 161.5 billion to KRW 1,240.9 billion annually. Also bio-fuel industry has the annual production of KRW 42.4 billion to KRW 359 billion Import substitution effect.

In addition, the bio-fuel industry has created a new industry called bio-fuel production, creating a net employment inducing effect of 802~4,508 persons per year as a whole.

In the environmental impact analysis, data on the air pollutant reduction effect were collected and comparative analyzed by collecting the data of the actual operation of the bio-fuel power plant and heavy oil power plant Smokestack Clean SYS(Tele-Monitoring System). In addition, the greenhouse gas reduction effect due to the substitution of bio-fuel power generation was estimated based on the carbon neutrality of the biomass.

As a result of the environmental impact analysis, it was analyzed that bio-fuel oil power generation has the effect of reducing SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, PM-2.5 and greenhouse gas reduction by replacing heavy oil power. In order to quantify the environmental impact by cost, applying the price of emission trading scheme and the social cost, cost cutting effect of 20.6 to 169.2 billion

won based on the emission trading scheme, and social contribution of 308.5 billion won to 2,537.8 billion won benefits were generated.

The results of this study provide implications for the policy direction of the bio-fuel industry. First, the value should be re-evaluated considering the environment, social, and economic empirical effects of the bio-fuel industry. Second, to ensure stable supply of domestic raw materials for bio-fuel, domestic raw material potential statistics should be established and new raw materials should be developed. At the same time, an institutional basis should be established to facilitate the utilization of domestic raw materials. Third, in order to expand the ripple effect of the bio-fuel industry, it is necessary to expand the demand for bio-fuel. Finally, strict bio-fuel quality control should be used to ensure that the air pollutant and greenhouse gas reduction effects from bio-fuel generation.

This study is meaningful in that it is the first political study which deals with the environmental, social and economic ripple effects of the bio-fuel industry in a comprehensive manner. In addition, there exist academic significance that has expanded the research field and methodology of bio-fuel oil.

**Keywords : Bio-fuel Industry, Bio-fuel Power Plant, Bio energy, Input-Output Analysis, Environmental·Social·Economic Effect**

## 감사의 말씀

2006년 미국 남부를 강타한 허리케인 카트리나 구호 활동은 제 인생의 큰 전환점이 되었습니다. 난생처음 본 기후 재난의 참혹한 광경은 10년이 지난 지금까지도 잊히지 않습니다. 사명감으로 직업을 선택했고, 부족한 소양을 채우고자 박사과정에 진학하였습니다. 원하는 분야에서 일하고 배울 수 있는 것만으로도 감사한데, 기후변화 정책학 학위를 받게 되어 감격스럽습니다. 이 모든 과정은 혼자서 헤쳐 나갈 수 있는 것이 아니었기에 도움을 주신 많은 분께 감사의 인사를 하는 것이 도리인 듯합니다.

한결같은 모습으로 관심을 갖고 지도해주신 전의찬 교수님, 연구의 틀을 마련하는데 도움 주신 김하나 교수님, 바쁘신 중에도 매번 꼼꼼히 검토해주시고 의견 주신 한기주 교수님, 김재식 부장님, 박영호 팀장님께 깊은 감사의 말씀드립니다. 자료제공에 협조해주신 한국석유관리원, 한국바이오에너지협회, 발전사 관계자 여러분께도 감사드립니다. 기후변화 분야에서 일을 할 수 있는 발판을 마련해준 온실가스종합정보센터와 업계 최고의 컨설팅사로 성장하고 있는 에코네트워크(주)에도 감사드립니다. 격려와 응원을 아끼지 않은 세종대학교 원우, 부산대학교 도시공학과서울대학교 환경대학원 교수님과 동료·선후배에게도 감사드립니다. 딸 노릇 제대로 못하였음에도 자식 건강 먼저 챙겨주신 양가 부모님, 교정을 봐준 형제·자매, 일과 학업을 병행 할 수 있도록 전폭적으로 지원 해준 남편에게도 사랑과 감사의 인사 전합니다.

박사학위 논문을 탈고하였음에도 우물 밖으로 나가기엔 여전히 부족합니다. 어쩌면 학위과정은 ‘세상은 넓고 배울 것은 더 많다는 것을 알아가는 과정’이라는 생각이 듭니다. 기후변화 정책학 학위가 의미를 갖기 위해 나의 오늘보다 우리의 내일을 고민하면서 살겠다고 다짐하며 글을 마칩니다.