4차 산업혁명 시대를 주도하는 KIET 산업정책 리포트

i-KIET 산업경제이슈

제 14 호
| 2017-14 |
2017.4.17.

최근 산업부문 온실가스 배출 변화의 요인분해 및 시사점

요약

신기후체제 도래에 따라 우리나라는 도전적인 온실가스 감축목표에 직면하고 있으며 이에 따른 산업경쟁력 저하의 우려도 상당

최근 산업부문(광업 및 제조업)의 온실가스 배출 비중이 가파르게 증가

- 국가전체 온실가스 배출량은 2010년부터 2014년까지 연평균 1.3% 증가하였으나 동 기간 동안 산업부문 온실가스 배출량의 연평균 증가율은 6.5%

2010~2014년 산업부문 온실가스 배출 증가의 요인은 생산량 증대, 에너지 효율성 악화, 온실가스 고배출형 에너지 사용으로 파악

- 생산량 증가에 따른 온실가스 배출의 증가가 큰 비중을 차지하지만 에너지 효율성 악화로 인한 온실가스 배출의 증가도 상당한 것으로 평가
- 산업구조는 에너지저소비형 산업구조로 전환 중이나, 에너지믹스의 개선을 통한 온실가스 감축효과는 미미

철강, 석유화학의 에너지 효율성 제고 노력이 필요하고 산업부문 전반적으로 온실가스 저배출 에너지원의 소비 확대를 유도할 필요

- 분석기간 동안의 온실가스 배출량 증가는 철강, 석유화학 등 주로 소재산업의 온실가스 배출 증가 및 에너지 효율성 악화가 주된 이유
- 소재산업 중심의 에너지 효율성 개선과 산업부문 전반의 공정혁신을 위한 중장기 R&D 전략, 친환경 에너지원의 소비 확대 추진이 필요

정책적 오류의 가능성을 최소화하기 위해서는 향후 온실가스 감축 정책 마련 시 세분화된 업종별 대책 수립이 이루어져야 할 것으로 판단

* *i*-KIET의 *i*는 industry 4.0, AI, IoT 등을 상징하는 말로 산업연구원이 4차 산업혁명 시대의 산업 전문 연구를 선도한다는 의미를 담음.

신기후체제가 도래함에 따라 우리나라는 도전적인 온실가스 감축목표에 직면(2030년 온실가스 배출 예상량 대비 37% 감축)

37개 선진국에만 온실가스 감축의무가 발생하던 교토체제가 2020년 만료됨에 따라 197개 모든 당사국에 감축의무가 발생하는 신기후체제 시대 도래

- 한국은 2030년 BAU[01]대비 37% 감축안을 UN에 제출(2015.6)
- 신기후체제의 근간이 되는 국제협약인 파리협정이 21차 기후변화 당사국 총회에서 채택(2015.12)
- 미국, EU 등 주요국의 비준으로 파리협정 공식적으로 발효(2016.11)

온실가스 감축목표 이행을 위해 정부는 관계부처 합동으로 2030 기본 로드맵 마련(2016.12)

- 산업부문의 감축 목표는 5,640만톤(감축률 11.7%)으로 온실가스 감축목표 이행과정에서 발생하는 산업계 부담을 완화하기 위해 12% 이내로 감축률을 조정한 결과
- 산업부문 내 업종별 감축목표는 온실가스 감축 여력을 감안하여 상이하게 설정

표 1] 한국의 2030년 부문별 온실가스 감축 목표

		BAU (백만톤)	감축량 (백만톤)	감축률(%)	
				부문 BAU 대비	국가 BAU 대비
전환		(333)*	64.5	(19.4)	7.6
산업		481	56.4	11.7	6.6
건물		197.2	35.8	18.1	4.2
에너지 신산업		-	28.2	-	3.3
수송		105.2	25.9	24.6	3.0
공공·기타		21	3.6	17.3	0.4
폐기물		15.5	3.6	23.0	0.4
농축산		20.7	1	4.8	0.1
전체	국내 감축	851*	219	25.7	
	국외 감축		96	11.3	

자료 : 제1차 기후변화대응 기본계획, 관계부처합동(2016.12).
주 : 배출량 총계(8억 5,100만톤)는 부문별 BAU에 공정배출, 가스제조 등으로 인한 배출량(약 200만톤) 및 탈루배출량(약 840만톤)이 추가된 수치이며, 전환부문의 BAU는 각 부문별 배출량에 간접적으로 포함되어 있어 전체 배출량 산정에서는 제외.

01] Business As Usual : 별다른 감축노력을 하지 않았을 경우의 예상 배출량.

최근 국가 온실가스 배출 대비 산업부문(광업 및 제조업)의 온실가스 배출이 가파르게 증가

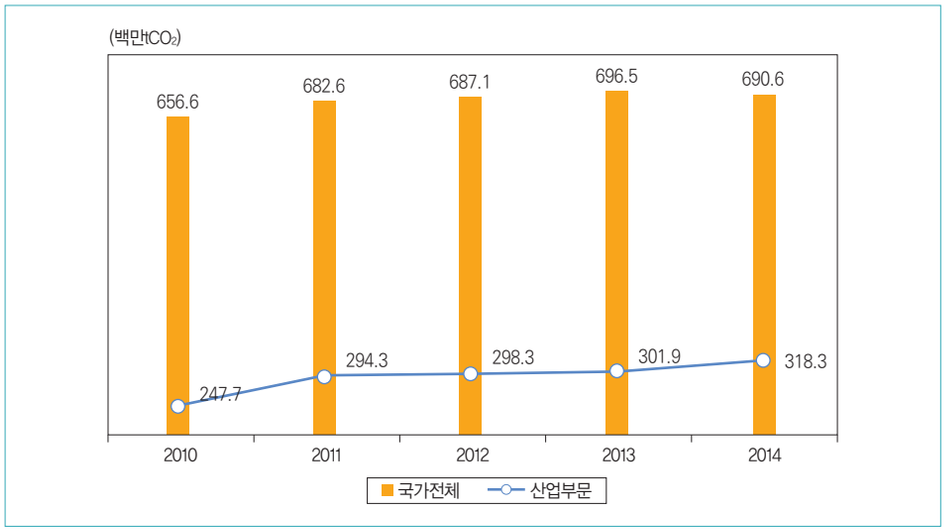
2014년 국가 온실가스 배출량은 약 6억 9,000만톤[02]으로 2013년 대비 0.8% 감소

- 1990년 이후 국가 온실가스 배출이 감소한 첫 사례(외환위기 1998년 제외)
- 2014년의 배출총량 감소는 원자력 및 집단에너지 발전 증가와 화력발전 감소에 따른 발전부문의 배출량 5.2% 감소에 기인[03]

2014년 산업부문(광업 및 제조업)의 온실가스 배출량은 약 3억 1,800만톤[04]으로 2010년부터 2014년까지 연평균 6.5% 증가

- 동 기간 동안, 국가 온실가스 배출량의 연평균 증가율은 1.3%

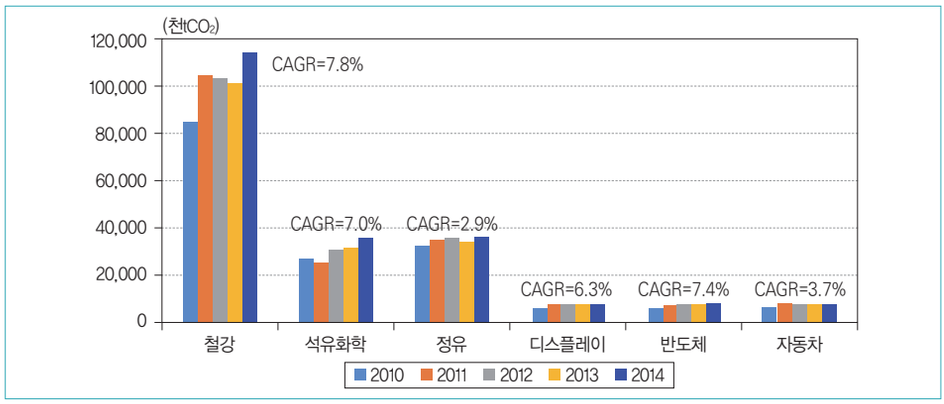
그림 1] 국가전체 및 산업부문의 온실가스 배출량 추이



자료 : 국가전체 온실가스 배출량(2016년 국가 온실가스 인벤토리 보고서, 온실가스종합정보센터), 산업부문 온실가스 배출량(한국에너지공단 DB를 이용하여 산업연구원 작성).
주 : 중복을 피하기 위하여 부생가스로부터 발생하는 배출량은 제외.

02] 국가 온실가스 배출총량은 온실가스종합정보센터에서 집계.
03] 정부 보도자료(산업통상자원부 2016.11.25, 국무조정실 2016.11.27).
04] 산업부문 온실가스 배출량 정보는 에너지공단의 산업부문 온실가스배출량조사에 수록.

그림 2] 산업부문의 주요 업종별 온실가스 배출량 추이



자료 : 한국에너지공단 DB를 이용하여 산업연구원 작성.
주 : 본 도표의 석유화학산업은 통계청 표준산업분류상의 기초화학물질제조업(KSIC 201)을 지칭.

산업부문의 온실가스 배출은 주로 소재산업군에서 발생

2014년 산업부문 전체 배출량에서 철강·석유화학·정유산업의 온실가스 배출량이 58%를 차지

온실가스 배출의 연평균 증가율도 온실가스 고배출 업종에서 더 가파르게 증가

- 2010~2014년 산업부문 전체 6.5%, 철강 7.8%, 석유화학 7.0%

온실가스 배출 관련 주요 지표는 악화되고 있는 추세

온실가스 배출량원단위(총배출량/실질산출액)는 2011년 큰 폭 증가 후 2014년 다시 소폭 증가

- 실질부가가치로 측정한 배출량원단위 역시 동일한 추세

에너지 한 단위당 온실가스 배출량을 의미하는 온실가스 배출집약도 역시 2011년 큰 폭 증가 후 2014년도까지 비슷한 수준을 유지

최근 온실가스 배출 집약적인 석탄 및 전력의 소비량이 증가

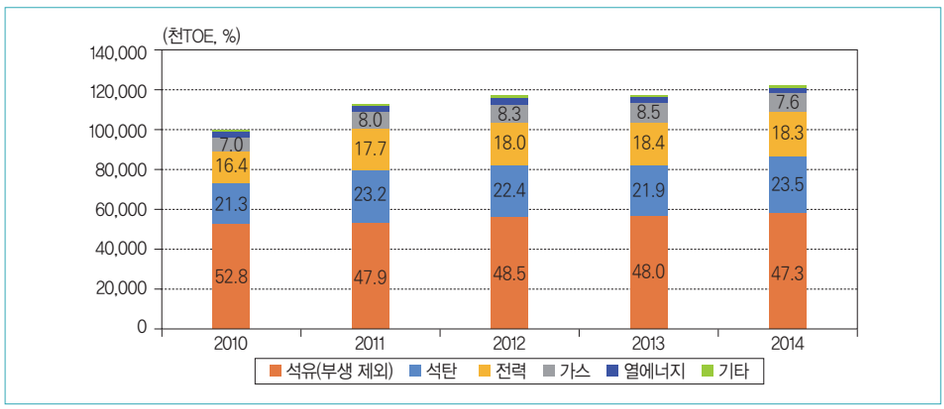
- 석탄과 전력의 사용비중이 2010년 37.7%에서 2014년 41.8%로 증가한 것이 동 기간 동안 온실가스 배출집약도 상승의 주요한 이유로 추정

표 2] **산업부문 온실가스 배출지표 추이**

	2010	2011	2012	2013	2014
온실가스배출/실질산출액 (천tCO_2/십억원)	0.166	0.178	0.175	0.174	0.176
온실가스배출/실질부가가치액 (천tCO_2/십억원)	0.700	0.781	0.772	0.755	0.767
온실가스배출집약도 (천tCO_2/천TOE)	2.498	2.607	2.564	2.568	2.594

자료 : 온실가스 배출량, 에너지소비량(한국에너지공단 DB), 실질산출액 및 부가가치액(한국은행).
주 : 산업부문은 광업 및 제조업을 지칭.

그림 3] 산업부문의 에너지원별 에너지소비 추이



자료 : 한국에너지공단 DB를 이용하여 산업연구원 작성.

● 온실가스 저배출형 에너지원인 도시가스의 경우 2013년까지 사용 비중이 증가하다 2014년 다시 감소추세로 전환

산업부문 온실가스 배출의 증가는 주로 생산 증가 및 에너지 효율성 악화 때문

산업부문 온실가스 배출량 변화의 요인별 기여도를 추정하기 위하여 2010~2014년 기간 동안의 온실가스 배출량 변화를 LMDI 분해방법[05]을 이용하여 생산효과, 산업구조효과, 에너지원단위효과, 에너지믹스효과로 분해

05] 로그평균디비지아지수(LMDI, Log Mean Divisia Index) 분해방법, 방법론에 대한 구체적인 설명은 부록 참고.

www.kiet.re.kr

산업부문의 온실가스 배출량 증가는 주로 생산효과에서 비롯

- 전체 온실가스 배출 증가량 7,100만 tCO_2에서 생산효과에 의한 온실가스 배출량은 5,200만 tCO_2
- 즉, 분석기간 동안의 온실가스 배출 증가율 29%에서 20%는 생산효과에 기인

구조효과에 따른 온실가스 배출량 감소율은 3.4%로 도출되어, 최근 산업구조는 온실가스 저배출형 산업구조로 전환 중임을 시사

- 2014년도의 구조효과 추정결과는 만일 다른 요인들의 변화가 없었다면 2014년의 온실가스 배출량은 2010년 대비 1,044만 tCO_2만큼 감소될 수 있었음을 의미

분석기간 동안 산업부문의 에너지 효율성이 악화되어 온실가스 배출 증가요인으로 작용

- 산업부문을 구성하는 세부업종별 원단위 변화는 2010년과 2014년 두 연도 간의 전체 온실가스 배출량 증가에 9.7% 기여

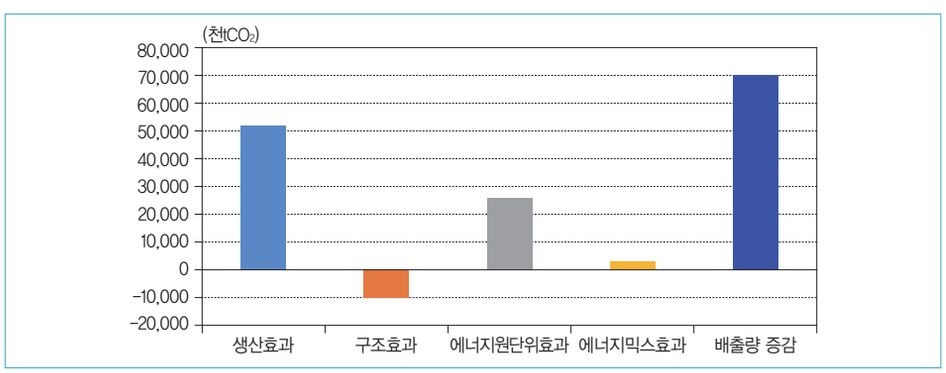
표 3] 산업부문의 온실가스 배출량 변화 요인분해 결과(2010 vs. 2014)

단위 : 천tCO_2(가법), 2010=1(승법)

분해방식	생산효과	구조효과	에너지원단위 효과	에너지믹스 효과	배출량 증감
가법적	52,208	-10,438	26,037	2,837	70,645
승법적	1.204	0.964	1.097	1.010	1.29

자료 : 산업연구원 분석.
주 : 에너지공단 D/B, 실질산출액 사용, 산업부문을 23대 업종으로 구성.
로그평균디비지아지수(LMDI) 분해방법을 적용, 각 효과의 절대적인 기여치는 가법적 방식으로, 상대적인 기여율은 승법적 방식으로 추정.

그림 4] 산업부문의 온실가스 배출량 변화 요인분해 결과(2010 vs. 2014)



자료 : 산업연구원 분석.
주 : 가법분해방식 분해분석 결과.

2010년에 비하여 2014년도에 온실가스 고배출형 에너지사용 비중이 다소 증가한 것으로 추정

- 총 29%의 온실가스 배출량 증가에서 에너지믹스효과가 1.0%를 차지

각 세부업종별 요인분해 분석결과, 최근의 온실가스 배출량 증가와 에너지 효율성 악화는 주로 철강과 석유화학 산업에서 기인

분석기간 동안 대다수의 업종에서 온실가스의 배출이 증가하였지만, 철강, 석유화학 등 소재 산업의 온실가스 배출 증가가 산업부문 전체의 배출 증가를 주도

- 산업부문 온실가스 증가의 업종별 비중 : 철강 42%, 석유화학 12%
- 철강산업 내 온실가스 배출집약도가 높은 상공정에서의 생산 확대가 온실가스 배출 증가에 크게 기여

다수의 업종에서 에너지원단위의 악화 경향이 발견되지만(23개 업종 중 16개 업종) 철강 및 석유화학에서 현저

- 산업부문 전체의 에너지원단위효과에서 개별 업종의 원단위효과가 차지하는 비중 : 철강 69%, 석유화학 22.5%
- 철강산업에서 58% 산출비중을 차지하는 열간압연 및 압출제품 제조업(KSIC 24121)의 배출량원단위는 2010년 1.320(천tCO_2/십억원)에서 2014년 1.508로 큰 폭 상승
- 석유화학산업에서는 온실가스 배출 비중이 세 번째로 높은 기타 기초무기화학물질제조업(KSIC 20131)의 배출량원단위가 2010년 이후로 대폭 상승하였고 기타 기초유기화학물질제조업(KSIC 20119) 등 여타 품목의 배출량원단위 역시 지속적으로 상승

8개 업종(섬유, 정유, 석유화학, 시멘트, 비철금속, 금속제품, 반도체, 자동차)에서는 사용에너지 구성 비중의 변화에 따른 온실가스 배출량의 감소가 이루어짐(음(-)의 에너지믹스효과).

- 섬유, 석유화학, 정유는 석유류 사용 비중의 큰 폭 감소에 기인
- 시멘트, 비철금속 업종은 도시가스 및 기타연료 비중 증가에 기인
- 반도체와 자동차는 전력사용 비중의 감소에 따라 음(-)의 에너지믹스효과 도출

분석기간 동안 산업경쟁력을 유지하며 온실가스 감축실적이 개선되고 있는 업종은 정유, 반도체, 자동차

표 4] 업종별 온실가스 배출 분해(2010 vs. 2014)

단위 : 천tCO_2

	생산효과	에너지원단위 효과	에너지믹스 효과	배출량 증감
광업	58.3	-175.3	7.1	-109.9
음식료품	808.2	1,374.8	551.5	2,734.5
섬유	1,452.0	873.1	-149.8	2,175.3
의류	49.0	604.6	92.6	746.2
목재	270.9	716.1	65.8	1,052.8
제지	273.0	260.5	97.7	631.2
정유	7,181.5	-2,954.8	-265	3,961.7
석유화학	2,990.6	5,856.8	-447.2	8,400.2
정밀화학	2,551.1	-5,440.1	2956.6	67.6
고무플라스틱	1,409.6	2,308.3	147.9	3,865.9
유리	-70.6	264.1	101	294.4
요업	-7.7	175.9	4.3	172.6
시멘트	2,587.6	982.6	-131.3	3,438.8
철강	11,293.5	17,939.8	470	29,703.4
비철금속	961.3	658.4	-169.2	1,450.5
금속제품 (조립금속)	726.3	1,356.6	-415.6	1,667.4
기계	774.3	2,021.2	146.9	2,942.4
반도체	3,345.1	-1,034.5	-242.2	2,068.4
디스플레이	2,103.3	-495.6	60.6	1,668.3
전기전자	1,383.8	809.8	36.7	2,230.3
자동차	1,641.2	-482.1	-101.5	1,057.7
조선	-163.3	807.1	5.8	649.7
기타제조	151.4	-390.1	14.4	-224.3

자료 : 산업연구원 분석.
주 : 가법적 분해방식 적용.

- 정유, 반도체, 자동차 산업은 분석기간 동안 에너지 효율성의 개선과 에너지믹스의 고효율화를 달성((-)의 에너지원단위효과 및 에너지믹스효과)
- 온실가스 배출량의 증가는 오직 생산량 증가에 따라 발생((+) 생산효과)

소재산업 중심의 에너지 효율성 개선과 산업부문 전반의 공정혁신을 위한 중장기 R&D 전략, 친환경 에너지원의 소비 확대를 추진해야

단기적으로는 소재산업을 중심으로 에너지절약 관련 투자 활성화, 고효율 기기 보급 등을 추진하고, 장기적으로는 에너지 효율 향상을 위한 공정의 개발을 유도할 필요

- 획기적인 공정혁신을 기대하기 어려운 현재의 상황과 장비집약적 산업의 특성상 적정 수준을 벗어난 규제의 강화는 혁신을 촉진하기보다는 한계비용의 급등만 초래하여 산업경쟁력에 부정적인 영향을 미칠 가능성
- 혁신 공정 기술은 개별기업 독자적으로 개발하기에는 리스크가 크기 때문에 국가 차원의 중장기 R&D 전략 마련 필요

소재 생산업체의 입장에서 생산제품구조 전환을 위한 유인 발굴이 중요

- 고부가제품으로 생산구조를 전환하면 효율이 낮은 노후설비의 가동 조정을 통해 온실가스의 추가적인 감축 가능
- 제품구조 변환을 통하여 수요부문에서의 온실가스 감축에 기여할 경우 수요부문 온실가스 감축 실적을 소재산업과 공유할 수 있는 제도적 장치의 마련

온실가스 저배출 에너지원의 소비 확대를 유도할 필요

- 오직 일부 업종에서만 음(-)의 에너지믹스효과가 발견되는 등 온실가스 고배출형 에너지의 사용은 확대되고 있는 추세
- 에너지 수요관리를 통해 가스, 신재생 등 온실가스 저배출형 에너지원의 소비를 촉진시킬 방안을 강구
- 공급측면에서도 화력발전에 대한 의존도를 낮추고 신재생에너지의 사용 확대를 통한 전원믹스의 개선이 중요

* 수요측면에서 전력사용 비중이 증가하고 있기 때문에 전력의 저탄소화가 확보되지 않으면 산업부문의 간접배출은 지속적으로 증가

향후 온실가스 종합대책 수립 시 추가적인 업종 세분화 중요

- 2030 온실가스 감축 로드맵에는 온실가스 배출특성이 상이한 업종이 하나의 산업으로 통합되어 있는데, 차별적인 온실가스 배출 특성을 고려해야 하므로 업종 세분화 필요

* 석유화학산업 내에 포함된 정밀화학산업의 경우, 석유화학산업과 정반대의 원단위효과, 에너지 믹스효과가 발견

* 섬유산업 내에 포함된 의류산업에서는 섬유산업과 정반대의 에너지믹스효과가 발견

* 기계산업 내에 포함된 금속제품산업의 경우에도 차별적인 효과가 발견

● 정책적 오류의 가능성을 최소화하기 위해서는 향후 온실가스 감축 정책 마련 시 세분화된 업종별 대책 수립이 이루어져야 할 것으로 판단

이 재 윤
(부연구위원·소재생활산업연구실)
jlee177@kiet.re.kr
044-287-3829

[부록] 산업부문 온실가스 배출 변화 요인분해 방법론

본 보고서 분석을 위해 환경 및 에너지 분야 연구에서 가장 널리 이용되는 로그평균디비지아 지수(LMDI, Log Mean Divisia Index) 분해 방법을 적용

산업부문의 온실가스 배출(C)을 식(1)과 같이 총생산(Q), 산업별 생산비중(S_i), 산업별 에너지원단위(I_i), 에너지원별 온실가스 배출(M_{ij})의 곱으로 나타낸 후 두 시점 간의 온실가스 배출 변화에 대한 각 요인별 기여도를 파악

$$C = \sum_{ij} C_{ij} = \sum_{ij} Q \frac{Q_i}{Q} \frac{E_i}{Q_i} \frac{C_{ij}}{E_i} = \sum_{ij} Q S_i I_i M_{ij} \qquad (1)$$

여기서,

$C_{i,j}$ = i 산업·j 연료의 온실가스 배출, E_i = i 산업의 에너지소비,
Q = 산업부문 총생산, Q_i = i 산업의 생산

분해방식별(가법·승법) LMDI 공식은 아래의 표에 정리

부표] LMDI 분해공식(온실가스 배출)

	가법 분해	승법 분해
항등식	$C = \sum_{ij} C_{ij} = \sum_{ij} Q \frac{Q_i}{Q} \frac{E_i}{Q_i} \frac{C_{ij}}{E_i} = \sum_{ij} Q S_i I_i M_{ij}$ (i: 업종, j: 연료)	
변화	$\Delta C_{tot} = C^T - C^0 = \Delta C_{act} + \Delta C_{str} + \Delta C_{int} + \Delta C_{mix}$	$\Delta D_{tot} = D^T / D^0 = \Delta D_{act} * \Delta D_{str} * \Delta D_{int} * \Delta D_{mix}$
LMDI식	$\Delta C_{act} = \sum_i \frac{C_{ij}^T - C_{ij}^0}{\ln C_{ij}^T - \ln C_{ij}^0} ln(\frac{Q^T}{Q^0})$	$D_{act} = \exp(\sum_{ij}(\frac{(C_{ij}^T - C_{ij}^0)/(\ln C_{ij}^T - \ln C_{ij}^0)}{(C^T - C^0)/(\ln C^T - \ln C^0)} ln(\frac{Q^T}{Q^0}))$
	$\Delta C_{str} = \sum_i \frac{C_{ij}^T - C_{ij}^0}{C_{ij}^T - C_{ij}^0} ln(\frac{S_i^T}{S_i^0})$	$D_{str} = \exp(\sum_{ij}(\frac{(C_{ij}^T - C_{ij}^0)/(\ln C_{ij}^T - \ln C_{ij}^0)}{(C^T - C^0)/(\ln C^T - \ln C^0)} ln(\frac{S_i^T}{S_i^0}))$
	$\Delta C_{int} = \sum_i \frac{C_{ij}^T - C_{ij}^0}{\ln C_{ij}^T - \ln C_{ij}^0} ln(\frac{I_i^T}{I_i^0})$	$D_{int} = \exp(\sum_{ij}(\frac{(C_{ij}^T - C_{ij}^0)/(\ln C_{ij}^T - \ln C_{ij}^0)}{(C^T - C^0)/(\ln C^T - \ln C^0)} ln(\frac{I_i^T}{I_i^0}))$
	$\Delta C_{mix} = \sum_i \frac{C_{ij}^T - C_{ij}^0}{\ln C_{ij}^T - \ln C_{ij}^0} ln(\frac{M_{ij}^T}{M_{ij}^0})$	$D_{mix} = \exp(\sum_{ij}(\frac{(C_{ij}^T - C_{ij}^0)/(\ln C_{ij}^T - \ln C_{ij}^0)}{(C^T - C^0)/(\ln C^T - \ln C^0)} ln(\frac{M_{ij}^T}{M_{ij}^0}))$

자료 : 박년배·심성희(2015) 및 Ang(2005)의 연구를 참고하여 산업연구원 작성.
주 : 생산효과(ΔC_{act}, D_{act}), 구조효과(ΔC_{str}, D_{str}), 에너지원단위효과(ΔC_{int}, D_{int}), 에너지믹스효과(ΔC_{mix}, D_{mix}).

KIET 산업연구원

발행인 유병규 / **편집인** 주현 / **편집** · **교정** 조계환
30147 세종특별자치시 시청대로 370 세종국책연구단지 경제정책동
Tel:044-287-3114 **Fax**:044-287-3333 www.kiet.re.kr

본 자료는 산업연구원 홈페이지 www.kiet.re.kr에서도 항상 보실 수 있습니다.