



## 저작자표시 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이차적 저작물을 작성할 수 있습니다.
- 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#) 

석사학위 청구논문  
지도교수 전 의 찬

# 도시쓰레기 소각장의 온실가스 감축방안 평가지표 개발에 관한 연구

A study on the development of assessment indexes for  
GHG reduction measures from the municipal solid waste  
incinerator

세종대학교 대학원

기후변화협동과정

신 조 순

석사학위 청구논문  
지도교수 전 의 찬

## 도시쓰레기 소각장의 온실가스 감축방안 평가지표 개발에 관한 연구

A study on the development of assessment indexes for  
GHG reduction measures from the municipal solid waste  
incinerator

이 논문을 석사학위청구논문으로 제출합니다.

2012. 6

세종대학교 대학원

기후변화협동과정

신 조 순

이 논문을 신조순의  
석사학위 논문으로 인준함.

2012. 6

심사위원장    박 성 규    (인)

---

심사위원      박 년 배    (인)

---

심사위원      전 의 찬    (인)

---

# 목 차

논문 요약.....	vi
<b>제 1 장 서 론</b> .....	<b>1</b>
1.1 연구의 배경 및 목적.....	1
1.2 연구의 범위 및 방법.....	3
<b>제 2 장 이론적 고찰</b> .....	<b>5</b>
2.1 소각장 온실가스 감축방안의 종류 및 특성.....	5
2.2 소각장의 현황 및 입지특성.....	16
2.2.1 소각장 일반현황.....	16
2.2.2 소각장 폐자원 에너지 이용현황.....	16
2.2.3 소각장 입지특성.....	20
2.3 소각장에서의 저감사례.....	21
2.3.1 A소각장에서의 저감사례.....	21
2.3.2 B소각장에서의 저감사례.....	22
2.3.3 C소각장에서의 저감사례.....	22
2.4 평가지표 개발 선행연구.....	23
2.5 설문조사 방법고찰.....	24
2.5.1 델파이기법.....	25
2.5.2 AHP 기법.....	25
<b>제 3 장 도시쓰레기 소각장의 온실가스 배출특성</b> .....	<b>27</b>
3.1 소각에 따른 온실가스 배출원.....	27
3.2 소각장 온실가스 배출량.....	30

3.2.1 산정방법	30
3.2.2 산정결과	31
<b>제 4 장 도시쓰레기 소각장의 온실가스 감축방안 평가지표 개발</b>	<b>37</b>
4.1 온실가스 감축방안 평가지표 개발	37
4.1.1 감축방안 평가지표 개발과정	37
4.1.2 감축방안 평가지표 개발결과	46
4.2 감축방안 선정평가 지표의 적용	52
4.2.1 지역난방에 열공급	54
4.2.2 전력생산방법	56
4.2.3 전력절감(인버터설치)	58
4.2.4 태양광	61
4.3 저감방안 평가평가 종합	62
<b>제 5 장 결 론</b>	<b>66</b>
<b>참고 문헌</b>	<b>68</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>71</b>
<b>부 록</b>	<b>73</b>

## 표목차

<표 1> 소각장 온실가스 저감방법 분류.....	7
<표 2> 소각장별 저감기술 활용현황.....	8
<표 3> 소각로의 열회수 및 변환방법.....	9
<표 4> 발열량 증가에 따른 소각장 가동률 저하 해결방안 의견.....	11
<표 5> 도시쓰레기 소각장에서의 온실가스 배출과 저감.....	12
<표 6> 소각장 유인송풍기 제어방식 설문조사결과.....	13
<표 7> 월별 스팀공급량과 전력공급량 관계(2010년).....	17
<표 8> 소각장의 입지 특성 분류.....	20
<표 9> A소각장 저감사례.....	21
<표 10> B소각장 저감사례.....	22
<표 11> C소각장 저감사례.....	23
<표 12> 소각장의 온실가스 배출원 세부 목록.....	29
<표 13> 활동자료 수집방법.....	30
<표 14> A소각장의 온실가스 배출량 (2010).....	31
<표 15> B소각장의 온실가스 배출량(2010).....	32
<표 16> C소각장의 온실가스 배출량(2010).....	33
<표 17> D소각장의 온실가스 배출량(2010).....	34
<표 18> 소각장의 쓰레기 투입량에 따른 온실가스 발생량(2010).....	35
<표 19> 폐기물의 물리적 조성비(2010).....	36
<표 20> 대안별 쌍대비교표.....	38
<표 21> 쌍대비교치.....	39
<표 22> 무작위 일관성 지수.....	40
<표 23> 평가 기준의 상대비교 결과.....	41
<표 24> 평가기준의 수치통합결과.....	42
<표 25> 세부평가항목별 응답빈도.....	43

<표 26> 경제적 측면 평가기준의 수치통합결과.....	44
<표 27> 기술적측면 평가기준의 수치통합결과.....	44
<표 28> 환경적 측면 평가기준의 수치통합결과.....	45
<표 29> 사회적측면 평가기준의 수치통합결과.....	45
<표 30> 평가항목별 가중치 누적가중치.....	46
<표 31> 저감방안 평가지표, 항목별 배점 및 평가기준.....	47
<표 32> 업체별 태양광 발전 기술의 투자회수기간.....	48
<표 33> 투자비용 회수기간 사례.....	49
<표 34> 경제적 측면 배점기준 .....	50
<표 35> 기술적 측면 배점기준.....	50
<표 36> 환경적 측면 배점기준.....	51
<표 37> 사회적 측면 배점기준.....	52
<표 38> A사의 열공급현황.....	54
<표 39> 열 공급시 평가결과 (C 소각장).....	56
<표 40> 전력생산시 평가결과 (B 소각장).....	58
<표 41> 전력 저감량 산정.....	59
<표 42> 유인송풍기 인버터 설치시 평가결과 (A 소각장).....	60
<표 43> 태양광설치시 평가결과(00군 사례).....	62
<표 44> 각 저감방안별 평가결과.....	63
<표 45> 각 저감방안별 효과 분석.....	65



## 그림목차

<그림 1> 온실가스 저감방안 선정평가 지표개발 연구절차.....	4
<그림 2> 연도별 신재생에너지 공급량 추이.....	15
<그림 3> 월별 전기 및 열생산량 추이도(양천) 2010.....	18
<그림 4> 월별 전기 및 열생산량 추이도(이천) 2010.....	19
<그림 5> 전력, 스팀생산량을 온실가스로 환산.....	20
<그림 6> 소각장 온실가스 배출원.....	28

## 논문 요약

# 도시쓰레기 소각장에서의 온실가스 감축방안 평가 지표개발 연구

도시쓰레기 소각장에서 발생하는 온실가스의 배출량 산정은 “IPCC 가이드라인”에 의거하여 산출되고 있다. 폐기물 소각 시 배출되는 온실가스는 CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O가 있다. 저탄소녹색성장기본법에 따른 온실가스·에너지 목표관리제의 시행에 따라 소각장에서의 온실가스 저감방안이 절실히 요구되고 있다. 지방자치단체에서 운영하고 있는 소각장들이 관리업체(사업장)로 지정받은 경우에는 더욱 그러하다.

본 연구에서는 대형 소각로에서 적용하고 있는 다양한 온실가스 저감방안 사례를 심층 분석 실시하였다. 감축유형별로 선정한 4개 소각장을 대상으로 온실가스 저감 방안 사례를 수집하였으며, 온실가스 배출량 산정 및 배출특성을 조사하였다.

또한 저감방안별 투자비용과 저감량을 조사하여 투자비용대비 효과분석을 하였다. 개발된 저감방안 평가지표를 활용하여 신규로 도입하려는 저감방안을 평가함으로써 객관적이고 합리적으로 투자의 효율성을 높이고자 하였다.

지표선정은 온실가스와 관련된 여러 분야의 영향을 고려하여 초안을 작성하고 이를 근거로 델파이 기법을 활용하여 전문가들을 대상으로 심층 설문조사를 실시하여 평가 지표 항목을 도출하였으며 AHP기법을 통하여 각 항목별 가중치를 산정하고 평가 점수를 부여하였다.

본 연구의 결과로 개발된 지표로는 경제적 측면, 기술적 측면, 환경적 측면, 사회적 측면 등 4개 분야로 각각 배점이 55점, 10점, 15점, 20점으로 도출되었으며, 도출된 지표를 실제 적용하여 평가결과 지역난방 열공급이 92점으로 1위, 인버터설치가 84점으로 2위, 폐열을 이용한 전력생산이 82점으로 3위, 태양광 설치는 41점으로 최

하위로 평가되었다.

소각장에서의 온실가스 저감방안의 비용효과 분석 및 저감방안 평가지표를 제시 하였으나 소각장의 온실가스 저감 신기술 개발, 사회적 여건이 변화될 경우 본 연구에서 선정된 평가지표는 상이하게 도출될 수 있다.

주제어 : GHG reduction, GHG inventory, Waste incinerator, Climate change, Index developement

# 제 1 장 서 론

## 1.1 연구의 배경 및 목적

최근 온실가스감축을 위한 국제협약으로 인하여 자국의 산업발전에 저해를 초래할 것을 우려하고 있지만 온실가스 감축의 필요성은 전 세계적으로 인정하고 있다. 대한민국도 온실가스 감축목표인 ‘2020년까지 BAU대비 30%감소’를 달성하기 위하여 저탄소녹색성장기본법과 탄소배출권의 할당 및 거래에 관한법률을 제정하여 온실가스 감축을 위해 국가적인 노력을 하고 있으며 그 일환으로 온실가스·에너지 목표관리제를 시행하고 있으며 2015년부터 배출권거래제를 시행할 계획으로 있다.

국내 온실가스별 배출량은 2009년 기준으로 CO<sub>2</sub> 배출량이 540.6 Mt CO<sub>2</sub> eq로 전체 온실가스 배출량의 89.0%를 차지하고 있다. CH<sub>4</sub>와 N<sub>2</sub>O의 배출량은 각각 27.7, 12.5 Mt CO<sub>2</sub> eq으로 전체 배출량의 4.6, 2.1%를 차지하고 있다.

부문별 배출량의 경우는 2009년 에너지 부문 배출량은 516백만tCO<sub>2</sub> eq로서 국내 총 온실가스 배출량의 84.9%를 차지하고 있다. 1995년에 비하여 2009년은 에너지 부문의 온실가스 배출량이 44.25%로 가장 많은 증가를 보이고 있다, 이는 발전 설비 증설과 수송부문의 에너지소비 증가 등에 의한 것으로 판단된다(지식경제부, 2009). 산업공정 부문에서의 배출량은 총 56.7백만t CO<sub>2</sub> eq으로 전체 배출량의 9.3%를 차지하고 있으며, 그 외 농업과 폐기물 부문은 각각 19.8, 15.1 백만t CO<sub>2</sub>eq이다.[<부록 6>참조]

폐기물분야의 경우 본 연구 대상 부문인 소각장에서의 배출 이외에도 매립, 생물학적처리, 하수, 폐수 등에서 배출되고 있는 것을 모두 합하여 산정한 것이다. 국가 온실가스 통계의 기반구축은 기후변화대응의 가장 기본적인 사항이다. 이 중에서 폐기물분야 배출량은 2009년 현재 전체의 2.5%로서 온실가스배출량의 저감활동을 수행하여도 전체 온실가스의 저감에는 미미할 것으로 판단된다. 그러나 폐기물 부

분에서의 저감활동의 중요성은 온실가스 저감만으로 접근하는 것이 아니고 폐기물을 에너지화 함으로써 고갈되어가는 화석연료를 대체할 수 있다는 데 있다. 폐기물 분야에서 온실가스 발생량이 2009년은 1995년에 비하여 2.58%가 감소하였으며, 2000년 이후 지속적으로 감소하고 있는 것으로 나타났다. 이는 폐기물의 분리수거 및 관리체계의 확립으로 재활용이 증가되어 나타나는 현상으로 판단된다.

폐기물분야에서 다양한 온실가스 감축을 위한 노력이 진행되고 있다. 소각장 설치목적은 폐기물 감량화, 무취화 및 유해성 저감을 위한 중간처리이다. 중간처리를 통해 폐기물의 자원화는 이차적인 것으로서 소각장을 환경오염물질의 발생과 소각처리시 소요되는 부대비용을 최소화하고 안전하게 운전하면서 가능하면 많은 소각을 하는 것이 최대의 목적이다. 저탄소녹색성장기본법에 근거한 온실가스·에너지 목표관리 대상 사업장 또는 업체로 지정받은 소각장과 비지정 사업장 모두 소각장 운영시 온실가스저감 방안은 꼭 필요하다. 특히 온실가스·에너지 목표관리제 대상사업장으로 지정받은 소각시설의 경우에는 할당받은 목표의 달성을 위하여 저감방안의 도입은 필연적이다. 하지만 소각장의 근본적인 목적을 간과하고 온실가스의 저감에만 목적을 둘 경우에는 소각장의 운영상 많은 문제가 발생할 수 있다. 온실가스 저감만을 목적으로 한다면 가장 좋은 방법은 소각량을 줄이는 방법이다. 그러나 소각대상 폐기물을 자원으로 간주할 경우 자원의 낭비를 줄이기 위하여 소각대상 폐기물을 관리할 것으로 판단된다.

본 연구에서는 소각장에서 적용할 수 있는 다양한 온실가스의 저감방안 사례분석을 통하여 최적의 저감방안을 선정하기 위한 평가과정을 통하여 지표로 개발하고자 하였다. 폐기물을 연료로 생각할 경우 열 이용은 이론적으로 폐기물 보유열량의 70% 전 후까지 이용할 수 있다. 소각장에서의 온실가스 저감을 위한 다양한 방법이 시도되고 있지만 어느 방법을 선정하는 것이 가장 효과적인 방법인지에 대한 분석자료가 부족한 실정이다. 본 연구를 통하여 개발된 평가지표를 활용하여 실제 소각장에서 활용하고 있는 사례를 중심으로 평가를 실시하고, 실제 사례를 평가하여

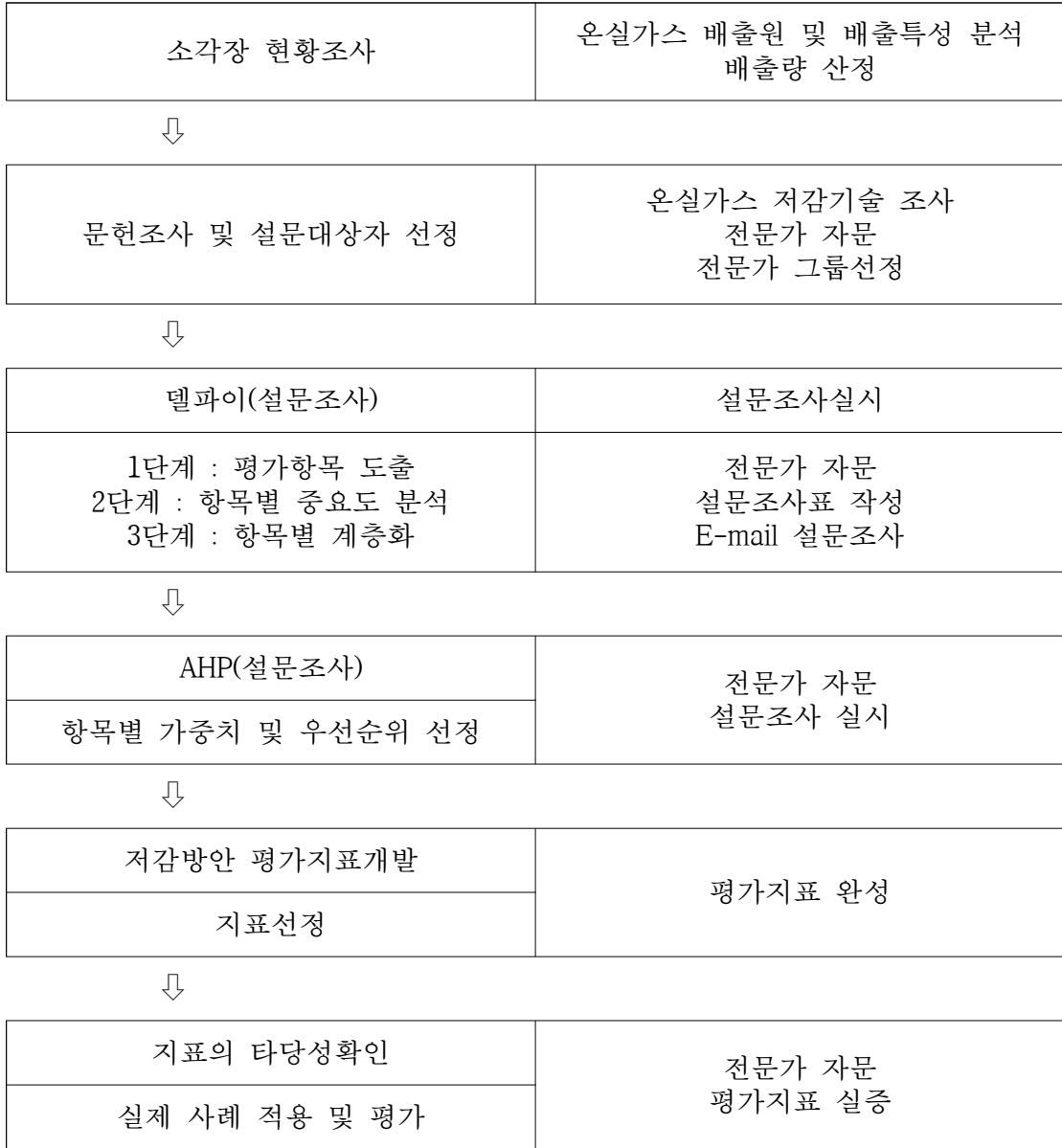
타당한 결과를 도출할 수 있는지를 연구하였다. 본 연구결과는 도시쓰레기 소각장에서 온실가스 저감방안의 평가지표 및 신규로 도입하고자 하는 온실가스 저감방안 선정시 평가기준으로도 활용하고자 하였다.

## 1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구의 방법 및 절차는 <그림 1>과 같이 첫 번째 단계로 소각장 기초 현황 조사로서 지방자치단체에서 운영하고 있는 소각장 운영 현황 조사, 소각장방문 및 자료 조사를 통하여 온실가스 저감방안 및 온실가스 관리 실태 조사를 실시하였다. 주요 조사내용은 온실가스 저감방안 사례조사, 온실가스 저감방안별 투자금액 조사, 투자대비 온실가스 저감량 조사, 개선제안 사례 조사(에너지 절감, 운전효율 증대 등)를 실시하였다. 또한 소각장에서 온실가스 배출특성을 파악과 배출량 산정 및 저감사례 분석을 위하여 4개 소각장을 방문 조사하였다.

두 번째 단계로 문헌조사 및 설문대상자 선정하였으며, 설문조사 범위는 소각장 운영전문가, 소각시설 설계시공 감리자 등 전문가로 하였다.

세 번째 단계로 델파이 설문조사를 실시하였다. 설문 조사 방법으로는 이메일 및 일대일 면담을 실시하였으며, 네 번째 단계로 AHP설문조사를 실시하여 이를 근거로 저감방안 평가 지표를 개발하였다. 마지막으로 개발된 평가지표를 활용한 타당성 확인을 실시하여 실제 적용가능성에 대하여 실증을 하였다.



<그림 1> 온실가스 저감방안 선정평가 지표개발 연구절차

## 제 2 장 이론적 고찰

### 2.1 소각장 온실가스 저감방안의 종류 및 특성

온실가스·에너지 목표관리 지침에 저감수단으로 제시하고 있는 세부개선 내용 중 대부분은 소각장에서 사용가능한 수단이다. 이중 소각장에서 사용가능한 사항을 <부록 3>에 정리하였다. 저감수단의 대부분이 이미 적용중이거나 적용 예정인 사항이 대부분이다. 저감 수단은 한가지 이상의 조합으로 이루어져 있으나, 최적의 저감을 위하여 기술적, 경제적, 사회적, 환경측면 등 다양한 검토가 이루어져야 한다. 온실가스·에너지 목표관리 지침상의 저감수단은 구분 대분류 중분류 세부 개선내용으로 구성되어 있으며 소각장 적용 가능한 다양한 방법이 있다. 소각장에 대부분 적용가능하나 실질적인 효과가 있는 것은 배기가스 열회수이다. 폐열보일러로 열회수를 하며 회수된 열은 다양하게 이용될 수 있다.

온실가스 저감방법 중 소각장에 해당되는 사항으로 분류하여 일치하도록 간단하게 직접저감방법과 간접저감방법으로 분류하면 <표 1>과 같다. 주요 저감방법에서 소각장에 도입할 수 있는 방법은 다양하나 대단위 온실가스 저감을 위하여 대단위 투자가 필요한 것으로 파악된다. 예를 들어 인근 지역난방공사까지의 열공급을 위한 배관설치비용, 인버터설치비용, 고효율발전기 설치비용의 경우 많은 자금이 소요된다.



<표 1> 소각장 온실가스 저감방법 분류

저감방법	항목	주요저감방법	비 고
직접 저감방법	대체 물질 적용	- 공정에서 사용되는 온실가스를 온실가스가 아닌 물질로 대체 - 공정에서 사용되는 온실가스 배출을 유발하는 물질을 GWP(지구온난화지수)가 낮은 또는 온실가스 배출이 없는 물질로 대체	- 승온시 사용되는 연료의 교체(경유 → LNG) - 공정 또는 부대시설에서 사용하는 화석 연료를 GWP가 낮은 연료 또는 바이오메스 연료로 대체(예:경유를 LPG, LNG, 바이오메스 연료로 교체)
	대체 공정 적용	- 온실가스 배출이 높은 공정에 대한 배출이 적거나 없는 공정으로 대체	- RDF(Refuse Derived Fuel, 폐기물연료화) 시설로 대체 - MBT(Mechanical Biological Treatment, 폐기물전처리)시설로 대체 - 물질재활용 시설로 대체 - 바이오가스 생산공정으로 대체 - 투입폐기물중 비생물계 폐기물(플라스틱, 합성고무/피혁) 투입 저감(MBT로 전처리) - 소각장의 열회수 효율 향상
	공정 개선	- 에너지 효율 향상을 위한 운전 조건 개선 등을 통한 온실가스 배출저감 또는 근절	- 에너지 효율개선 (소각용량 증대, 소각효율 향상) - 보일러 효율개선 - 소각대상폐기물에서 비생물계 폐기물(플라스틱, 합성고무 및 피혁류 등)의 투입 제한 - 폐열 회수율 제고 및 폐열의 효과적 활용 - 굴뚝 배출가스에서의 열회수 장치 설치 - 공정 또는 부대시설의 전기사용량 감소 - 스팀열교환기 설치로 덕트버너 대체 (SCR전단에 승온버너를 LNG에서 스팀으로 대체) - 공정 또는 부대시설의 에너지 효율 증대 (소각장에서 가장 많이 사용하고 있음.)
	공정 개선	부속건물 에너지사용량 절감 전력사용기기 효율증대	- 인버터 설치(I.D fan, F.D fan, 대용량 모터(급수펌프)) - 건물에너지 저감방안(저감인증, 저감등급 획득 추진) - 전력사용량 저감을 위한 고효율 조명설치(진입로 가로등, 사무실, 소각장 현장, 부대시설)
	온실 가스 활용	온실가스를 재활용 또는 다른 목적으로 활용	배기가스 정제를 통해 고순도 CO <sub>2</sub> 를 산업용으로 활용
	온실 가스 전환	지구온난화지수가 높은 온실가스를 낮은 온실가스로 전환 또는 온실가스가 아닌 물질로 전환	해당사항 없음
	온실 가스 처리	온실가스를 처리하여 대기로 배출량 저감	선택적 환원 촉매를 통한 N <sub>2</sub> O저감 기술 배출가스 포집 회수저장(CCS)

<표 1> 소각장 온실가스 저감방법 분류

(계속)

저감방법	항목	주요저감방법	비고
간접 저감방법	신재생에너지 적용	신재생에너지를 도입 적용하여 배출원의 온실가스 배출을 상쇄	- 발생된 증기로 전력생산 및 판매(KVER) - 발생된 증기의 지역난방공사에 매각(KVER) - 소각장 내에 풍력발전 / 태양광 발전기 설치 태양광 / 태양열
	탄소 상쇄	외부로부터 탄소배출권 구매	KVER 구매
	기타	원부자재 절감 기타 에너지절약 홍보	- 빗물 재이용 시설 설치(상수도 사용량 저감) - 폐수의 재활용 설비 설치 및 가동 - 에너지경영시스템 도입 - 소각장의 홍보전략 강화 (배출자의 분리수거 중요성 교육 및 환경인식 강화, 녹색생활 교육실시 프로그램) - 주민 편의시설의 설치(찜질방, 체육센터, 테니스장, 농구장, 배구장, 게이트볼장, 골프연습장) - 스마트그리드 사업추진 (소각장 발생 증기를 이용한 전력공급의 IT화) - 탄소중립프로그램 실시 (신재생에너지 시설 설치, 열효율 증대, 단지 내 수목 식재) - 폐기물 운반차량의 에코 드라이빙(경제운전)활성화

소각 시설별 저감기술 적용사례를 분석해본 결과 가장 일반적인 기술로는 폐열을 이용하여 지역난방사업자에게 공급하는 것과, 여열을 이용하여 전기생산하는 방식이 가장 보편적이다. 최초 설계시에 고려하여 실시된 시설이 대부분이나 소각장의 설치예산과 사업의 경제성을 고려하여 설치를 하지 않았으나 중앙정부의 예산지원과 에너지 정책의 변화로 열공급 관로를 연결하기도 하고 발전기를 추가로 설치하는 경우도 있다. 기존 경유 또는 B-C유 사용시설을 청정연료인 LNG로 교체한 경우도 있다. 전기 및 열은 자체에서 사용하고 있으며 여분의 전기 및 열을 외부에 매각하기도 한다. 기타 열회수 방법은 발전기를 통과한 스팀열을 회수하는 방안으로 고려되고 있다. 각 소각장에서 실시하고 있는 주요 온실가스 저감기술은 여열회수로 스팀을 생산하거나 발전을 하는 방안이 가장 많이 사용하는 방법이다. 소각장에서 적용 가능한 다양한 온실가스 저감기술 들로써 여열회수로 열공급 또는 발전, 고발열량 폐기물의 반입량 감소, 가연성 폐기물을 연료화하여 소각량 감소, 유인송풍기 제어방식 변경으로 전력사용량 절감, 신재생에너지 설치로 전력생산(태양광), 탄소포집 및 저장기술(CCS) 활용으로 온실가스 배출량 감소 등의 사례를 분석하였다.

<표 2> 소각장별 저감기술 활용현황

시설명	여열회수			유인송풍기 인버터 설치	전처리시설 설치(MBT, RDF)	에너지효율향 상(소각용량 증대, 보일러효율 향상)
	스팀생산	발전	기타 열회수			
대상동	●	●			●	●
삼정동	●					
다대	●	●				●
파주	●	●				●
수원	●			●		●
광명	●		●			●
성남	●			●		●
노원	●			●		●
안양	●			●		●
명지	●	●				●
양천	●	●		○		●
고양	●	●		●		●
창원	●	●				●
성서	●	●				●
해운대	●	●		●		●
용인	●	●				●
과천	●			●		●
울산	●	●				●
안산	●	●				●
상무	●	●				●
수지	●			●		●
공항	●			●		●
군포	●					●
김해	●	●		●		●
천안	●					●
구리	●	●				●
청라	●	●		●		●
강남	●					●
의정부	●	●	○	●		●
대전	●	●		○		●
산북	●					●
산남	●					●
마포	●	●				●
송도	●					●
전주	●	●				●
이천	●	●		○		●
익산	●	●				●

비고) ● : 시행중 ○ : 추진중 (2011년 현재)  
출처) 현장조사 자료

폐기물 소각과정에서 발생하는 폐열을 회수하고 이를 이용하려는 목적으로 가스 냉각탑, 보일러, 발전기 등을 설치하여 급탕 및 난방을 위한 주민편익시설, 지역난방시설 등에 열 및 전기를 공급할 수 있다.

2007년 기준 지자체에서 운영 중인 43개소의 대형 생활폐기물 소각장에서 발생한 6,440,062Gcal의 여열중 92.6%를 회수·이용하였다. 그리고 회수된 여열의 76%는 열에너지 형태로, 24%는 전력생산에 활용되었다.

소각 여열 이용은 <표 3>와 같이 폐기물 소각시 발생하는 열을 온수, 증기, 전기 등으로 변환하여 온수, 온열원, 냉열원, 전기 등으로 회수하고 있다.

<표 3> 소각로의 열회수 및 변환방법

변환법	회수형태	회수방법
온수변환	온수	연소배기가스의 열을 이용하여 열교환기에서 온수 생산
증기변환	온열원	폐열보일러에서 연소배기가스의 열을 증기로 회수하여 그 증기를 에너지원으로 이용
	냉열원	
전기변환	발전	폐열보일러에서 회수한 증기로 증기터빈 발전을 하여 전력으로 변환

폐기물 소각장에서 소비되는 전력은 일반적으로 폐기물(1시간 기준) 1톤당 70 ~ 150kWh인 것으로 알려져 있다. 이를 기준으로 발전 가능량을 예측해 보면, 폐기물 발열량이 1,500kcal/kg인 경우에 폐기물 연소에 의해 발생하는 열을 효율적으로 흡수하고 발생된 증기의 전부를 발전에 사용한다고 하면, 발전 가능량은 폐기물 소각장에서 기기를 운전하기 위하여 필요로 하는 전력량의 약 3 ~ 4배가 된다고 할 수 있다고 에너지관리공단(2005)에서 이야기하고 있다. 발전용량을 전력배출계수를 고려하여 온실가스 저감량을 산정할 수 있을 것이다. 발전은 스팀이나 온수를 직접 공급하는 것에 비하여 경제성이나 온실가스 저감량은 낮다. 발전시에 문제점으로는

폐열보일러 고압증기 발생량이 반입되는 쓰레기의 질에 따라 변동 폭이 커 양질의 전력생산이 불가능하다.

폐기물의 발열량은 소각장 가동시에 중요한 요인이 된다. 폐기물의 발열량이 높을 경우 소각로 내화물 손상, 화격자 손상, 대기오염방지시설의 과부하, 대기오염물질의 순간적 증가, 폐열보일러 수관 수명 단축, 비산재 용융현상으로 폐열보일러 가스통로 막힘 및 소각용량의 저하 등의 문제가 발생되고 있다. 이를 제어하기 위하여 소각로 가동시 소각로내 물분사 및 공기비를 조절하여 제어하고 있다. 폐기물 소각장 설계시에 고려한 발열량이 실제 발열량보다 현저히 낮아 설계용량보다 실제 소각용량이 감소하게 된다. 발열량의 증가사유는 음식물쓰레기의 분리수거 및 발열량이 높은 비닐/플라스틱류의 비율이 상대적으로 높아지는데 기인한다. <표 4>는 발열량 증가에 따른 소각장 가동률 저하 해결방안 의견으로 제시하고 있다.

고발열량의 폐기물인 플라스틱, 비닐, 필름류의 반입을 줄이거나 이를 선별하여 연료화 하는 방안이 있을 수 있다. 이 방안을 사용시에 발열량 감소뿐만 아니라 온실가스의 발생량도 현저히 감소시키는 효과가 있다. 소각장 가동률 저하 해결방안은 폐기물의 발열량 관리에 직결된다. 고발열량 폐기물 반입량을 감소방법으로는 전처리 및 분리수거 등이 필요하다.

<표 4> 발열량 증가에 따른 소각장 가동률 저하 해결방안 의견

No.	발열량 증가에 따른 가동률 저하 해결방안
1	현재 소각로 내 수분사 실시, 발열량에 부합하는 소각량 조절이 최선임
2	소각설비 용량 설정을 1일 소각량이 아닌 쓰레기 발열량 기준으로 설정
3	단기방안(운전조건 개선), 장기방안(revamping)
4	선별쓰레기(고질쓰레기)반입 최소화 또는 억제 및 저질쓰레기와 적절한 혼합을 통해 양질의 쓰레기 투입, 폐수를 이용한 로내 분사시설 추가 설치
5	음식물쓰레기를 일반쓰레기와 혼합배출하여 소각장에 반입하면 발열량 증가에 따른 문제를 일부 해결
6	재활용품목의 분리화(고발열량), 가동률저하에 따른 주변지역 쓰레기 반입 협의, 일부 음식물/슬러지 등 소각여부
7	검토, 공기예열기 사용 금지 및 냉각증기 주입라인 검토
8	음식물을 혼소하되 일반쓰레기와 한 봉투에 섞어서 배출되는 상태로 반입하여 소각하면 발열량이 낮아질 것임
9	용량의 변경허가신고 혹은 발열량표기를 통합, 용량의 가변적 운영방안 등 검토의 필요
10	음식물쓰레기 반입하여 소각, 발열량에 맞추어 소각용량 재산정

출처) 경기개발연구원, 2007, 생활폐기물 대형소각장 발열량 관리방안

소각장에서 발생하는 온실가스의 90%이상은 폐기물 소각에 기인하여 발생한다. 따라서 이들 소각대상 폐기물 투입량을 줄일 경우 가장 많은 온실가스를 저감할 수 있다. 이를 위하여 소각로에 투입 이전에 전처리 설비를 설치하는 방안(MBT: Mechanical Biological Treatment, 폐기물전처리)과 소각대상 생활폐기물을 연료화(RDF : Refuse Derived Fuel, 폐기물연료화)하여 저감시키는 방법이 있다. 도시쓰레기 소각장에서 발생하는 폐기물중 가연성폐기물의 연료화를 통하여 가연성 폐기물의 소각량을 감소시킨 만큼의 온실가스 발생량을 감소시키는 것이다. 그러나 이 방법은 국가의 폐기물 정책방향과 관련된 사항으로 소각장의 운영시에 온실가스를 저감하는 수단으로는 제한적이며, 폐기물의 발생, 수거, 전처리의 과정과 관련이 있다.

<표 5>는 강원도내 가연성 생활폐기물을 연료화(RDF)시켜 소각량을 줄일 경우 배출되는 CO<sub>2</sub>량의 66.2%인 27,743.2톤/년을 저감시킬 수 있는 것으로 조사된 사례를 보여주고 있다.

<표 5> 도시쓰레기 소각장에서의 온실가스 배출과 저감

구분	CO <sub>2</sub> 배출			CO <sub>2</sub> 저감		
	계(t/y)	상반기 (t/6month)	하반기 (t/6month)	계(t/y)	상반기 (t/6month)	하반기 (t/6month)
합계(t/y)	41,915.4	21,431.9	20,501.5	27,743.2	14,209.9	13,533.3

출처) 오근찬외, 2010, 강원도보건환경연구원 21 179~187, 생활폐기물 소각장의 온실가스 저감방안연구

유인송풍기는 소각장에서 최고의 전력을 사용하는 모터로 구동된다. 유인송풍기(ID fan)은 소각로에서 발생하는 가스를 연돌로 배출시키는 역할을 한다. 소각장 가동시 소각물질에 따라서 발생하는 가스량의 변동폭이 넓다. 따라서 이 가스를 일정하게 배출시키기 위하여 유인송풍기의 송풍량조절이 필요하게 된다. 지금까지 대부분의 소각장에서 사용되는 유인송풍기는 모터의 회전수는 동일하고 배기덕트에 설치되어 있는 댐퍼를 조절하여 공기배출량을 제어해왔으나 최근에는 인버터방식으로 변경하고 있는 추세이다. 최근에 설치된 소각로의 경우 최초부터 인버터방식을 채택하여 설치되는 경우도 있다. 인버터 방식으로 변경하였을 경우 전기절감효율은 최저 15%에서 최대 67%이며, 절감효율은 평균적으로 38.7%로 나타났다.

<표 6>에서 보는바와 같이, 많은 소각장에서 인버터 도입을 했거나 고려하고 있다.

<표 6> 소각장 유인송풍기 제어방식 설문조사결과

시설명	호기	규격	제어방식		절감효율 (%)	교체년도
			기존	변경		
대 0	1	500kW	댐퍼	인버터	40	2010
	2	500kW	댐퍼	인버터 추진중		2011
수 0	1	500kW	인버터			
	2	500kW	인버터			
광 0	1	350kW	댐퍼			
	2	350kW	댐퍼			
노 0	1	1,200kW	댐퍼	인버터	67	2011
	2	1,200kW	댐퍼	인버터	67	2011
평 0	1	500kW	댐퍼	인버터		
	2	500kW	댐퍼	인버터 추진중		
다 0	1	320kW	댐퍼	인버터	30	2008
양 0	1	450kW	댐퍼	인버터 추진중		
	2	450kW	댐퍼	인버터 추진중		
성 0	1	1,000kW	댐퍼	인버터	40	2007
	2	1,000kW	댐퍼	인버터	40	2007
일 0	1	500kW	댐퍼	인버터		
	2	500kW	댐퍼	인버터 추진중		
성 0	1	500kW	댐퍼			
	2	500kW	댐퍼	인버터	65	
해 0	1	500kW	댐퍼	인버터		
	2	500kW	댐퍼	인버터 추진중		
과 0	1	220kW	댐퍼	인버터	43	2010
수 0	1	192kW	댐퍼	인버터&댐퍼	15	2002
	2	192kW	댐퍼	인버터&댐퍼	15	2002
의 0	1	250kW	댐퍼	인버터	40	2010
	2	250kW	댐퍼	인버터	40	2010
청 0	1	340kW	인버터			
	2	340kW	인버터			
김 0	1	410kW	댐퍼			
김 0	1	500kW	인버터			
	2	500kW	댐퍼	인버터 추진중		
산 0	1	150/100kW	댐퍼			
	2	150/100kW	댐퍼			
전 0	1	350kW	댐퍼/인버터			
	2	350kW	댐퍼/인버터			
이 0	1	500kW	댐퍼	인버터		
	2	500kW	댐퍼	인버터 추진중		
인 0	1	132kW	댐퍼	인버터	20	
	2	132kW	댐퍼	인버터	20	

출처) 전국 생활폐기물 자원회수시설 운영협의회 자체 설문조사 2011



소각장에 설치되어 있는 NOx저감 설비인 선택적촉매환원설비(SCR)은 내부에 충전된 촉매작용을 이용하여 NOx가 질소로 환원되는 반응을 이용한 것이다. 촉매환원 반응이 일어나기 위한 조건은 가스온도가 약 200℃~250℃ 정도가 되어야 한다. 이를 위하여 선택적촉매환원시설 전단에 열교환기를 설치하여 승온하게 되는데 일반적으로 LNG가 사용된다. 승온방법을 기존 덕트버너(LNG, 경유)를 대체하여 소각시설 폐열보일러에서 발생하는 스팀을 이용한 열교환기를 설치하는 방법으로 연료 사용량이 감소한 만큼 온실가스 발생량이 감소된다. 실제 사례로는 수도권 M자원회수시설에 설치되어 운영 중에 있다.

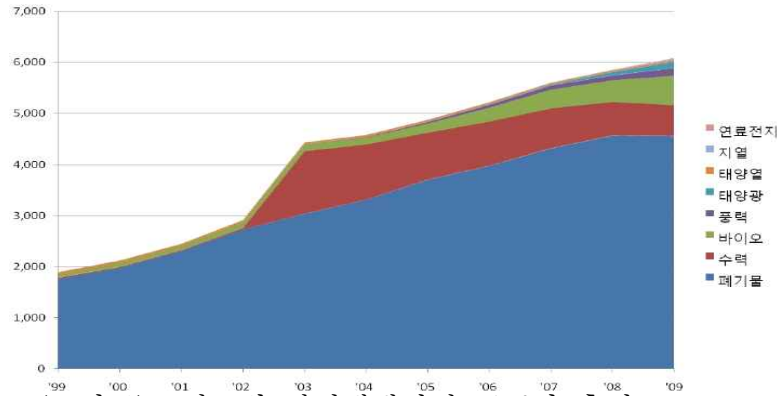
태양광 발전은 소각장에서 간접 저감방법으로서 외부저감실적으로 인정(탄소중립 프로그램, Off set)될 수 있다. 소각장 부지 내에 옥상, 건축물 벽면, 유희부지(최소 20m<sup>2</sup>)<sup>1)</sup>가 있을 경우 적용가능하다. 인근에 하수처리시설이 위치한 경우에 연계하여 태양광 발전시설을 설치할 수 있을 것이다. 태양광발전시설 설치를 위한 조건으로 설치공간, 일조량을 방해하는 장애물 여부, 일사량, 일조시간이 고려되어야 한다.

에너지관리공단에서 발표한 2009년도 에너지별 발전단가는 kWh당 태양광 711원, 연료전지 300원, 풍력 107원, 수력 84원, 무연탄 55원, 원자력 38원 등의 순으로 조사되었다. 발전단가가 가장 높은 약점이 있으나 기술의 발달로 매년 1%씩을 효율증가를 예상하고 있어 단가는 지속적으로 낮아질 것이다.

<그림 2>는 신재생에너지 공급량 추이를 나타내는 것으로 폐기물이 74.89%로 최고를 차지하고 있으며, 태양광의 경우 2%미만이다. 폐기물의 경우 일정하게 유지되고 있으며 태양광 바이오 풍력은 증가추세에 있다.

---

1) 2kW를 생산공급하는데 필요한 공간(기상청 <http://www.kma.go.kr>)



<그림 2> 연도별 신재생에너지 공급량 추이 (단위 : 천TOE)

출처) 에너지관리공단 신.재생에너지센터, 2009, 신.재생에너지 보급통계

CCS(CCS:Carbon Capture & Storage탄소포집 및 저장기술)기술은 현재 실용화 단계는 아니지만 실용화시에는 온실가스 저감의 경제성이 있을 경우 가장 좋은 대안될 수 있을 것이다. 국내의 경우 2020년까지 톤당 포집비용이 20\$이하를 목표로 하고 있으며, 미국은 2015년까지 톤당 10\$를 목표로 하고 있다.<sup>2)</sup>

그러나 포집효율이나 설치 단가 등에 대한 구체적인 자료가 없어 경제성을 분석하기는 힘들다. CCS의 경우 J소각장에서 최초 설계시에 설치가능성을 고려하여 설치 장소의 확보 및 설계도에 설치 위치를 설정해 놓은 경우도 있다. 설치는 최종방지시설 후단과 ID Fan전단 사이에 설치하도록 하고 있다.

2) 국가 CCS종합 추진계획 (2010.7.13.)

## 2.2 소각장의 현황 및 입지특성

### 2.2.1 소각장 일반 현황

2010년 현재 대형 소각장의 현황<sup>3)</sup>은 <부록 1>도시쓰레기 소각장 현황(대형)과 같다. 이들 도시쓰레기 소각장의 경우 지자체 소유이나 대부분 위탁운영하고 있다. 위탁운영의 경우 소각장의 설계 및 시공사에서 운영을 하거나 별도의 운영 전문업체에서 운영을 하기도 한다. 국내 최대소각장은 900톤/일 처리가 가능한 강남소각장이다. 소각장의 현황에서 중요하게 파악하고자 하는 사항은 소각장별 폐기물의 성상과 소각장별 스팀 및 전력의 생산과 이용 판매 등에 중점을 두어 파악을 실시하였다. 소각장은 환경기초시설로서 각 지자체별 1개씩 두도록 하고 있으나 일부 지자체의 경우 두 개 또는 세 개의 지자체가 공동으로 사용하는 것으로 조사되었다.

### 2.2.2 소각장 폐자원 에너지 이용현황

2010년 소각장별 소각량 및 열생산, 전력생산과 같은 재이용은 소각량과 비례하여 열생산량 및 전기생산량이 결정됨을 보여준다. <부록 2 참조> 생산된 열을 직접 인근지역의 지역난방사업자에게 공급하거나 열을 이용하여 전력을 생산하는 경우가 있다. 소각량과 열생산량의 관계를 분석해본 결과 전체평균은 소각량 1톤당 열 2.3Gcal가 생산되는 것으로 나타났다. 그러나 각 소각장별로 많게는 3.0Gcal/ton부터 적게는 1.5Gcal/ton으로 편차가 크게 나타났다. 시설의 노후화와 폐기물의 성상에 따른 발열량이 다르거나 소각장의 운영기술에 따라 열 회수율이 다르기 때문이다. 전력생산을 위하여 사용한 열은 온도가 떨어지는데, 일부 소각장에서는 발전 후에 저압복수기로 응축하여 열을 회수하는 방안을 강구하고 있다.

계절에 따라 스팀소요에 차이가 있으므로 효과적인 가동을 위해서는 스팀 수요가

---

3) 폐기물관리법, 대형 50톤/일 이상, 중형 200kg/일 ~ 50톤 미만, 소형 200kg/hr 미만

적은 여름철에는 전력생산량을 증가시키고 상대적으로 스팀소요가 많은 겨울철에는 전력생산량을 줄이는 방식이 운전효율을 증가시키는 방법이 될 수 있다. 이에 대한 확인을 위하여 현재 스팀공급과 전력생산을 동시에 하고 있는 양천과 이천소각장을 대상으로 하여 계절별 열 및 전력생산량을 <표 7>에서 보는바와 같이 비교하였다.

<표 7> 월별 스팀공급량과 전력공급량 관계(2010년)

월	전국합계			양천소각장			이천소각장		
	소각량 (ton)	열생산량 (Gcal)	전력생산 생산 (MWH)	소각량 (ton)	열생 산량 (Gcal)	전력생산 생산 (MWH)	소각량 (ton)	열생 산량 (Gcal)	전력생산 생산 (MWH)
1월	277,568	628,684	15,001	7,956	19,951	904	5,925	14,156	1,757
2월	246,951	574,460	16,316	10,114	25,204	1,368	6,661	17,684	2,940
3월	272,737	618,304	16,250	10,493	26,517	1,319	7,069	17,901	2,947
4월	241,950	574,135	17,401	8,775	22,373	1,109	7,243	19,481	3,363
5월	237,671	577,623	15,788	5,029	13,016	576	6,008	15,957	2,486
6월	256,854	606,529	17,221	10,905	27,896	1,276	6,637	16,636	2,873
7월	286,390	657,569	21,033	11,231	28,809	1,086	8,291	20,877	3,983
8월	246,003	543,666	18,379	10,215	25,502	891	8,164	18,969	3,496
9월	268,976	615,398	20,305	10,302	25,534	966	8,498	20,036	3,739
10월	246,519	592,122	15,573	9,620	24,241	1,155	4,693	11,675	2,032
11월	247,258	566,225	14,992	4,423	11,007	527	8,350	18,558	3,262
12월	287,141	650,701	18,016	11,082	26,966	1,485	8,160	18,162	2,969
합계	3,116,018	7,205,416	206,275	110,145	277,016	12,662	85,699	210,092	35,847
온실가스 환 산 량 (tCO <sub>2</sub> e <sup>4</sup> )	-	1,500,888	95,979	-	57,702	5,891	-	43,762	16,679

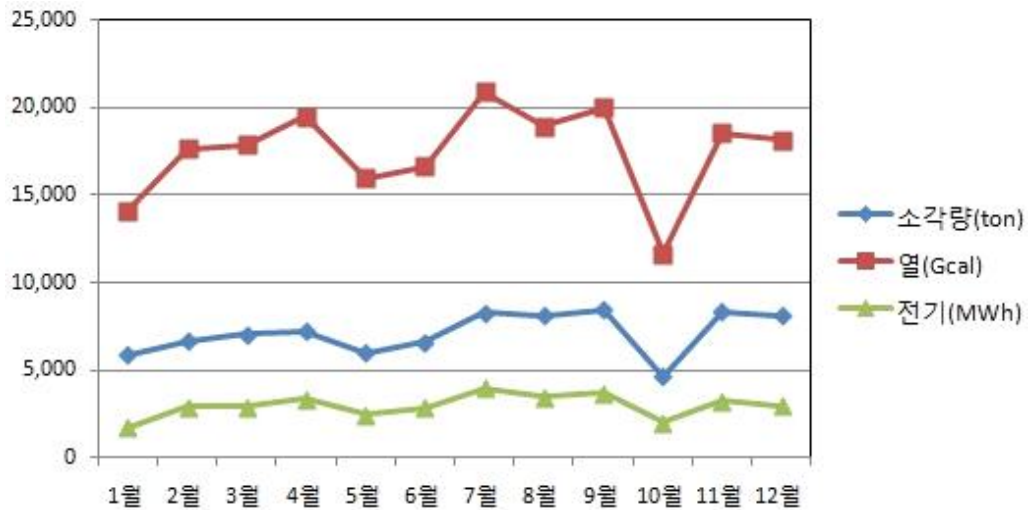
출처)환경부 전국 생활폐기물 자원회수시설 운영협의회 '10년도 생활폐기물 자원회수시설 운영현황

4) 전력 배출계수는 온실가스·에너지 목표관리 운영 등에 관한 지침, 스팀배출계수는 한국지역난방공사 2006~2008 평균 배출계수 0.2083tCO<sub>2</sub>e/Gcal를 사용함.

양천소각장과 이천소각장의 월별 열생산량과 전기생산량은 <그림 3 과 4>와 같이 열과 전기생산량과의 관계는 없고 소각량에 밀접한 관련이 있는 것으로 나타났다. 열공급(판매)량의 경우 계절적 요인에 의하여 겨울철이 많을 것으로 예상되었으나 자료의 분석결과 계절적 요인보다 폐기물의 소각량에 요인이 더 많음이 발견되었다. 소각량에 비례하여 열과 전기가 동일한 비율로 생산됨을 알 수 있다. 5월과 11월은 소각시설의 정기점검 기간으로 소각량이 감소하였으며, 같은 비율로 열 및 전기의 생산량도 감소하였다.



<그림 3> 2010년 월별 전기 및 열생산량 추이(양천)

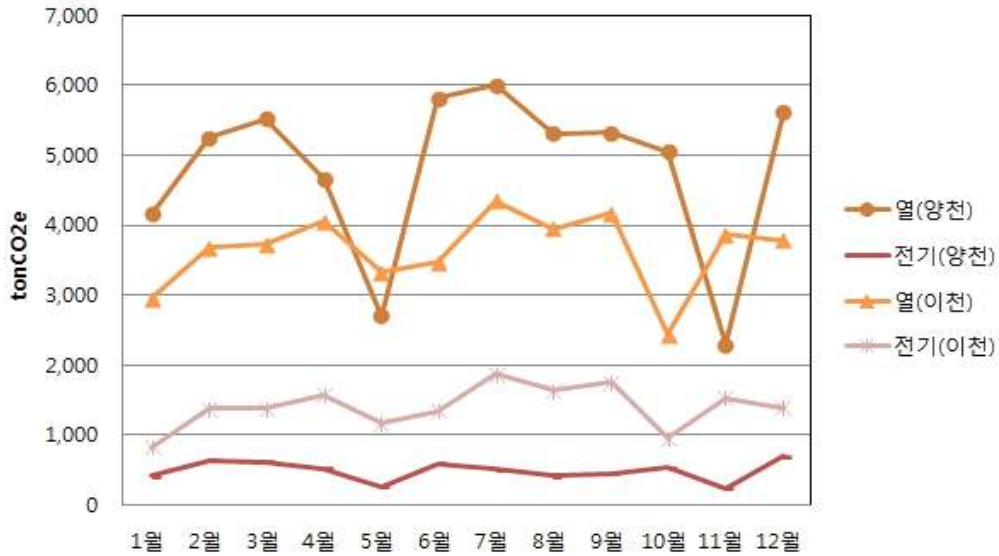


<그림 4> 2010년 월별 전기 및 열생산량 추이(이천)

<그림 5>와 같이 2010년 이천소각장과 양천 소각장의 전력생산량을 온실가스·에너지 목표관리 운영 등에 관한 지침의 배출계수를 사용하여 온실가스로 환산할 경우 양천 소각장은 연간 5,891tonCO<sub>2e</sub>, 이천소각장은 16,679tonCO<sub>2e</sub>으로 산정되었다. 스팀생산량을 기준으로 하여 모든 스팀이 100% 공급되어 사용된다고 가정하면, 양천소각장은 57,702tonCO<sub>2e</sub>, 이천소각장은 43,762tonCO<sub>2e</sub>이다.<sup>5)</sup> 따라서 이들 소각장에서 폐열을 이용하여 열 및 전기 생산으로 인한 온실가스량 감축량은 연간 양천소각장은 63,593tonCO<sub>2e</sub>, 이천소각장은 60,441tonCO<sub>2e</sub> 이다.

온실가스·에너지 목표관리제 운영지침에 따라 소각장에서 공급되는 열을 받아 사용할 경우 온실가스 산정에서 제외해 주고 있어 온실가스 저감에 큰 기여를 하고 있음을 알 수 있다.

5) 한국지역난방공사 발표 2006~2008년 평균 배출계수 0.2083tCO<sub>2e</sub>/Gcal 활용



<그림 5> 전력, 스팀생산량을 온실가스로 환산 (2010년 월별)

### 2.2.3 소각장 입지특성

소각장은 입지특성에 따라 <표 8>에서 보는 바와 같이 도시형, 농촌형, 기타 소각장으로 분류되는데, 입지특성에 따라 온실가스의 저감방법이 달라질 수 있다. 본 연구는 각 소각장별 입지특성을 고려하여 온실가스 저감방안 선정지표를 개발하는데 이용하였다.

<표 8> 소각장의 입지 특성 분류

구분	구분방법	특 정	소각장 사례
도시형	인근에 공단 또는 도시가 입지함.	주민 민원제기가 빈번함. 지역난방공사에 열공급이 용이함. 열공급시 경제성이 탁월함.	강남, 의정부, 양천, 이천
농촌형	인근에 아파트 단지등 도시가 없으며, 산림지역이 많은 장소에 입지	주민 민원이 적음. 열공급이 불가능함. 전력생산하여 자체활용 가능	전주, 밀양 양양,
기 타	도시형, 농촌형으로 분류가 명확하지 않은 입지.	열공급이 가능하나 경제성이 불명확 전기생산의 경우 경제성이 일부 있음.	익산, 대전, 용인

주) 저감방안 선정시 입지사향을 고려하기 위하여 저자가 구분한 것임.

## 2.3 소각장에서의 저감 사례

### 2.3.1 A소각장 저감사례

A소각장 담당자와 면담결과를 바탕으로 주요 저감 사례를 분석하면 다음과 같다. 주로 사용한 방법은 소내 전력소비량을 저감시키기 위하여 모터에 인버터를 설치한 것이다. 이는 실질적 전기를 절감하는 수단으로 절감된 전기로 소내 이용율을 100%로 하고도 남은 전력을 판매할 수 있게 되었다. 투자금액대비 회수율은 자체 자료 분석결과, 3년 8개월이면 투자비용을 회수할 수 있는 것으로 예측하고 있다.

<표 9> A소각장 저감사례

저감방안	주요내용	비고
인버터설치	유인송풍기(ID팬) 인버터(Inverter)설치로 전력사용량 저감 - 한국전력과의 계약 (강제공급계약 약 300KW) - 1차 인버터 설치 (FD Fan, 복수기 모터) 1억원 소요. - 2009년 10월 역송설비 설치 - 소내소비량의 60%(설치전)에서 75(설치후)%로 향상됨 (발전기 : 일본 신코) 용량 1200KW생산가능한 발전기 저감실적 : 발전(한전과 수전계약) 잉여전력판매 - 2010년 추가로 인터버 설치(ID 팬) 전력사용량이 저감되어 자체생산전력으로 충당율이 90~95%로 향상. 2011년 1 ~ 3월간 23만KW(28,000,000원)을 한전에 판매. 전기료 절감량 30,000,000원	2010년 (350,000,000원 투자)
장래계획	o 복수기에 열교환기 설치 (복수기에 설치예정) 열원 : 복수기 발전기 터빈 후단 열교환기를 통해서 회수된 열을 외부에 공급가능 (약 100억원 예산으로 관거를 설치 예정)	관할지체체에 제안
기 타	스팀의 무상 공급량[2010년 1년간] (스포츠센터 1,993Gcal 하수처리과 하수처리장 건물난방 + 온수 395Gcal)	



### 2.3.2 B소각장 저감사례

B소각장의 담당자와 면담결과를 바탕으로 주요 저감 사례를 분석하면 다음과 같다. 주로 사용한 방법은 최초 설계시부터 고려한 스팀의 판매만 실시하고 있으며 전력은 생산하지 않고 있다.

<표 10> B소각장 저감사례

저감방안	주요내용	비고
전력생산	폐열보일러를 이용한 전력생산 (판매량 2010년 기준 약 10억원)	
운전방법 개선	LNG사용량 감소 B/F에서 SCR로 가는 Duct에 가스버너가 설치되어 있음. B/F출구온도를 195℃에서 220℃로 상승시키기 위한 보조 버너 (촉매반응이 이루어지는 온도까지 상승시켜야함.) 운전방법개선 : 촉매전단의 온도를 5℃만 낮추어도 촉매반응이 잘 일어남.(220℃ ⇨ 215℃)	절감효과: 1일당 100,000원
기타	전기사용량 절감 1. 화장실에 절전센서 설치 2. 가로등, 외등 자동점등장치 설치	
참고사항	최초 설치시에 다음과 같은 최적조건을 도입 1. 공업용수 취수펌프 가동 2. 연간전력사용량의 최소화	

### 2.3.3 C소각장 저감사례

C소각장의 담당자와 면담결과를 바탕으로 주요 저감 사례를 분석하면 다음과 같다. 주로 사용한 방법은 2004년 4월부터 폐열을 이용한 전력 생산하여 소내소비 및 폐열을 자체 이용하다가 인근의 지역난방회사로 온수배관 공사를 하여 온수(100~105℃)공급하여 판매를 통한 소각장의 운영에 효율성을 향상시키고 온실가스 저감을 하고 있다.

<표 11> C소각장 저감사례

저감방안	주요내용	비고
폐기물 반입량 감소	폐기물 전처리시설 설치 (MBT)하여 폐기물 반입량 감소	2012년 준공 예정
폐열 이용의 합리화	2004년 이후 폐열을 지역난방회사에 매각하고 있으나 하절기 온수의 필요성이 적을 경우 지역난방회사의 요청에 의하여 온수 공급을 중단할 경우 전력생산이 가능하도록 기존의 폐열발전시설을 활용하여 발전을 하기도 한다.	폐 열 공 급 과 발전의 동시 활용가능

## 2.4 평가지표 개발 선행연구

선행연구로는 소각시설에서의 온실가스 저감방안에 관하여 환경부, 한국환경공단, 소각시설을 운영하는 지방자치단체에서 다양한 방법으로 저감방안을 수립하고 시행하고 있었으며, 저감방안의 선정시 대한 평가방법으로는 경제성만 평가하여 투자비용대비 회수기간을 고려하여 선정을 하고 있었다. 환경부(2009b)에서는 폐기물분야 전체에 대하여 온실가스 저감방안을 연구하였으며, 소각시설에서만 대상으로 하여 온실가스의 최적 저감방안에 관하여는 언급하지 않고 있다.

양정모(2007)는 AHP를 활용하여 연구과제 선정방법을 택하는 연구를 진행하였는데 이 연구에서는 정부나 기업에서 과학적 방법을 이용한 합리적인 의사결정을 위해 많이 사용되고 있는 AHP를 활용하여 연구과제 심사 지표의 가중치를 조절하여 보다 합리적인 연구과제 심사방법을 도출하기 위한 연구를 진행한바 있다.

신용광 외(2005)는 AHP를 이용한 친환경농업정책 프로그램의 우선순위 결정연구를 진행하였다. 이 연구에서는 친환경농업 육성을 위한 정책수단은 규제와 자극 프로그램으로 나누고, 규제 수단에는 명령 및 통제, 자극수단에는 직접적 자극수단으로 경제적 수단, 간접적 자극수단으로 교육, 표시기준·인증, 모니터링·정보 및 자발적 협정 등을 들어 이러한 다양한 여건에서 어떠한 정책 프로그램의 효과를 극대화시키기 위해서 여러 정책 수단의 적절한 결합의 필요성을 역설하고 친환경농업정

책 프로그램의 우선순위 결정을 위한 접근방법에 AHP를 활용하였다. 이와 같이 AHP는 어떠한 정책이나 우선순위 결정에 많은 분야에서 사용되고 있다. 본 연구에서도 온실가스 저감을 위한 현존하는 다양한 방법 중 우선순위를 결정하기 위한 방법으로 AHP기법을 활용하였다.

소각시설에서의 저감방안을 구체적으로 연구하고 저감방안별 특성 및 저감방안에 대한 다양한 분석을 하고 AHP기법을 활용하여 저감방안 평가지표 개발을 하고자 한다.

## 2.5 설문조사 방법 고찰

평가지표 개발을 위하여 선정된 방법은 관련분야 전문가를 대상으로 한 설문조사를 실시하는 방법을 택하였다. 평가지표는 단순하게 할 필요가 있다. 설문지의 작성 이 복잡할 경우 객관적인 판단과 평가가 힘들다. 따라서, 유사항목들로 분해하고 각각의 구성 평가항목들은 추상적 의존 관계에 의해 계층구조의 평가문제로 변형하여 다계층화할 필요가 있다.

서로 상이한 목적과 평가자 상호간의 의견들을 합리적으로 통합 및 조정을 통하여 결론을 유도하며 평가 속성들의 상대적 가중치에 대해서 상이한 관점들을 어떻게 조율해야 하는가에 대한 문제에 직면하게 된다.

서로 이질적인 의견 차이는 합리적인 결론 도출이 어려우며 계층화에 관련된 평가속성들 간의 중복성과 평가구조의 동질성 및 일관성 등의 문제가 발생되기 때문이다. 따라서 이러한 문제를 해결하고 합리적인 평가지표 개발을 위하여 델파이 기법과 AHP기법을 사용하였다.

### 2.5.1 델파이 기법

Kaplan에 의해 고안된 델파이(Delphi) 기법은 추정하려는 문제에 관한 정확한 정보가 없을 때 다수의 의견이 소수의 의견보다 더 정확하다는 계량적 객관의 원리와 다수의 판단이 소수보다 정확하다는 민주적의사결정의 원리에 근거를 두고 있다. 먼저 연구주제와 관련 된 분야의 전문가를 참가자(panel)로 구성하였다. 패널 선정 문제는 매우 중요하므로 대표성, 적절성, 전문성, 참여의지 및 참가자 수 등을 신중하게 고려해야 한다.

델파이 기법에서는 표본 집단의 크기를 적정하게 결정해야 하는 것이 매우 중요한 과제이나 전문가 표본 집단의 크기 즉, 참가자의 수에 대해서는 명확한 규정이 없다. 강우준 등, 2010에서 언급한 바에 따르면 Ziglio(1996)는 10~15명의 소집단 패널만으로도 유용한 결과를 도출할 수 있는 것으로 연구되었고, Dalkey(1969)는 델파이 패널의 크기에 관한 연구를 통해서 신뢰성과 그룹의 평균오차는 패널의 크기와 상관관계가 있음을 밝히고, 이 평균 그룹의 오차를 최소화하고 그룹의 신뢰성을 최대화시키기 위해서는 최소한 10명 이상의 패널이 필요하다고 하였으며 Brown, Cochran 및 Dalkey(1969)에 따르면 연구자는 델파이 패널을 10명에서 15명을 선정할 것을 권고하였다.

### 2.5.2 AHP 기법

Thomas L. Saaty에 의해 1970년대에 개발한 계층분석기법(AHP : Analytic hierarchy process)은 현존하는 의사결정론 중에서 광범위하게 활용되고 있다. AHP 기법은 비교/평가 도중에 유의한 정보를 도출할 수 있고, 계층구조 작성이 비교적 단순하며 이를 평가하기 위한 설문조사 및 처리 절차가 복잡하지 않다는 장점을 가지고 있다. AHP는 역수성, 동질성, 독립성, 기대성의 4가지의 공리(axioms)에 의한 이론적 배경을 갖고 있다. 이러한 공리사항들이 충족되지 못할 경우 의사결정 결과에서 발생할 수 있는 심각한 오류는 계층을 구성하는 요인 혹은 기준의 독립성을

검증하기 어렵다. 또한 지나치게 많은 쌍대비교를 행할 경우 비교판단의 적정성에 관한 문제는 물론 일관적이지 못한 결과를 수정해야 하는 문제와 쌍대비교에 사용되는 척도의 제약이 존재한다.

AHP를 통한 문제해결 접근방식은 네 단계로 이루어지는데 첫째, 의사결정 문제를 계층구조로 분해한다. AHP를 다기준 하에서의 대안선택 문제에 적용하기 위해서는 우선 문제 상황을 전반적 목표, 기준, 대안 등으로 계층화 시키는 작업이 필요하다. 둘째, 의사결정 요소들 간의 이원비교를 수행하고, 의사결정요소들 간의 상대적 중요도 및 상대적 선호도를 고유치 방법을 통해 산출한다. 셋째, 판단의 일관성을 측정한다. AHP는 의사결정자가 경험과 직관에 의해 주관적으로 측정하게 되는 정성적인 요소도 평가에 고려하기 때문에 판단의 완전한 일관성을 기대하지는 않으며, 이러한 판단의 불완전성을 일관성지수(consistency ratio)에 의해 평가한다. 일반적으로 일관성 비율이 0.1이하이면 의사결정자가 행한 이원비교가 상당한 일관성이 있다고 판단한다. 넷째 계층구조의 종합화를 통해 대안 또는 평가요소들의 종합적 우선순위 및 가중치를 결정하는 단계이다. 이 단계에서 도출된 각 대안 또는 평가요소들의 가중치는 비율척도이므로 의사결정상황이 대한 또는 평가요소들의 중요도에 따라 자원을 배분하는 문제일 경우 가중치에 따라 한정된 자원을 배분하는 기준으로서의 역할도 할 수 있다.<sup>6)</sup> 본 연구에서 AHP분석결과를 활용하여 소각시설의 온실가스 감축방안의 의사결정자로 하여금 전략적 우선순위에 따라 의사결정 가이드로서의 역할을 할 수 있을 것이다.

---

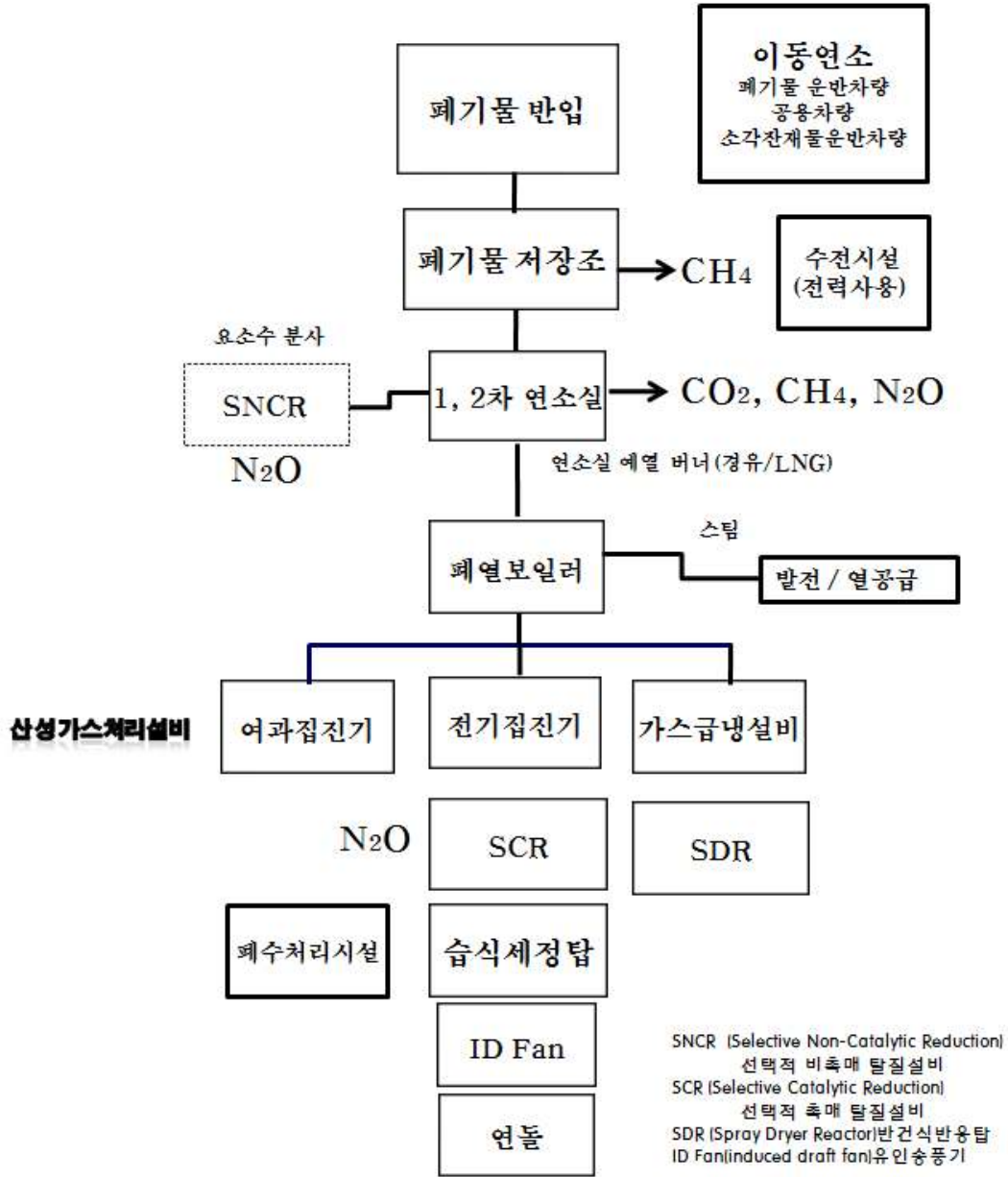
6) 김형수, 박찬욱 2006 AHP기법을 활용한 CRM평가요소의 상대적 중요도 분석

## 제 3 장 도시쓰레기 소각장의 온실가스 배출원 및 배출특성

### 3.1 소각에 따른 온실가스 배출원

소각장의 온실가스 배출원은 <그림 6>과 같다. 폐기물 저장조에서 CH<sub>4</sub>가 발생될 수 있으나 소각장의 악취 방지를 위하여 저장조의 공기를 흡입하여 연소공기 공급에 사용하고 있어 실제 외부로 배출되지는 않는다. 연소실에서는 CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, 대기오염방지시설중 NO<sub>x</sub> 처리장치인 SNCR, SCR에서 N<sub>2</sub>O가 발생된다.

소각장의 온실가스 배출원별 세부 목록은 <표 12>과 같이 크게 직접배출과 간접배출로 분류되며 직접배출원은 고정연소, 이동연소, 공정배출로 구분되며 소각장에서 소각에 의해 발생하는 온실가스는 공정배출원으로 구분되는 가연성 폐기물에서 발생되고 있다.



<그림 6> 소각장 온실가스 배출원

<표 12> 소각장의 온실가스 배출원 세부 목록

운영경계	배출원	온실가스	배출원
직접배출원 (Scpoel)	고정연소	CO <sub>2</sub>	소각로 예열, 폐기물 착화, 보일러 가동, 난방 및 취사 등에 사용되어지는 연료 연소에 의한 배출(경유, LNG, 등유) - 정전시 가동되는 비상발전기 가동
		CH <sub>4</sub>	
		N <sub>2</sub> O	
	이동연소	CO <sub>2</sub>	소각장에서 업무 차량운행에 따른 온실가스 배출(폐기물 운반차량, 소각잔재물 운반차량, 기타 공용차량)
		CH <sub>4</sub>	
		N <sub>2</sub> O	
	공정배출원 (폐기물)	CO <sub>2</sub>	비생물계 폐기물 소각에 의한 배출
		CH <sub>4</sub>	폐기물의 불완전연소에 의한 배출
		N <sub>2</sub> O	폐기물 중 질소성분의 불완전 연소 NO <sub>x</sub> 처리과정에서 중간산물로 N <sub>2</sub> O 배출
간접배출원 (Scope2)	전기 및 스팀구매	CO <sub>2</sub>	소각장 운영에 소요되는 전력 및 스팀
		CH <sub>4</sub>	
		N <sub>2</sub> O	

소각장의 배출특성은 가연성분 폐기물을 연소하여 CO<sub>2</sub>와 H<sub>2</sub>O를 생성·배출하는 시설로서 불완전연소에 의해 CH<sub>4</sub>가 배출되고, 폐기물 중의 질소 성분의 불완전연소와 NO<sub>x</sub>처리과정에서 생성·배출될 수 있다. CO<sub>2</sub>배출의 경우 비생물계 폐기물(화석연료에 기인한 플라스틱류, 합성고무, 합성피혁 등) 연소에 의한 것만 배출량에 포함시키고 있다. 생물계 폐기물 소각에 의해 배출되는 CO<sub>2</sub>는 배출량 산정에서 제외시켰다. 농업부문에서 농작물 재배 과정에서의 흡수량을 계산해 주지 않으므로 중복산정을 피하기 위해서 생물계 폐기물 소각에 의한 CO<sub>2</sub>배출량은 산정해 주지 않고 있다.<sup>7)</sup>

7) 온실가스.에너지 목표관리 운영 등에 관한 지침



## 3.2 소각장 온실가스 배출량

### 3.2.1 산정 방법

소각장에서의 온실가스 배출량산정은 온실가스·에너지 목표관리제 운영 등에 관한 지침에서 발표된 폐기물 분야 온실가스 배출량 산정방법을 이용하였으며, 이는 IPCC 산정가이드라인 [폐기물의 소각 (IPCC 분류체계 6C)]에서 요구하고 있는 사항과 동일하게 산정방법을 제시하고 있다.

저감량 모니터링은 기준배출량을 정하고 주기적인 배출량 산정이 필요하다. 최초 가동시에 가능한 최신기술과 온실가스 저감을 위한 최적의 방법으로 설계 및 시공되어 운전될 경우 기준 배출량대비 추가적인 노력에 의하여 저감이 일어나기 어려움이 있으나 이를 고려하여 저감방법이나 저감 목표량의 조정이 이루어지고 있다.

산정에 활용된 활동자료의 수집은 <표 13>와 같이 공개되어 있는 자료를 위주로 하였으며, 일부 소각장은 방문을 통하여 더욱 신뢰성 있는 데이터를 확보하여 산정을 하였다.

<표 13> 활동자료 수집방법

소각장명	활동자료 수집방법	비고
A소각장	2010년도 생활폐기물 자원회수시설 운영현황 자료조사, 현장방문	공개자료이용
B소각장	2010년도 생활폐기물 자원회수시설 운영현황 자료조사	〃
C소각장	2010년도 생활폐기물 자원회수시설 운영현황 자료조사, 현장방문	〃
D소각장	2010년도 생활폐기물 자원회수시설 운영현황 자료조사, 현장방문	〃

### 3.2.2 산정 결과

소각장에서 온실가스의 배출특성과악을 위하여 전국의 소각장중 4개의 소각장을 선정하였다. 선정기준은 온실가스 저감방법을 기준으로 하여 인버터설치는 A소각장, 스팀공급은 C소각장과 D소각장, 전력생산은 B소각장을 선정하였다. 배출량 산정 시에 사용한 자료는 2010년도 생활폐기물 자원회수시설 운영현황을 참조하였으며, A소각장, B소각장은 자료 조사 및 실제 방문을 통하여 획득한 자료를 근거로 산정하였다.

A소각장에서의 온실가스 배출량 산정 결과는 <표 14>와 같이 총 배출량은 30,442.9 tCO<sub>2</sub>e/yr로 산정되었다. 각 부문별 온실가스 발생 비율로 보면 폐기물 소각 대상물질에서 발생하는 온실가스가 96.1%를 차지하고 있으며, 고정연소 즉 가동준비시 예열버너 등에 사용하는 고정연소 배출에서 발생하는 온실가스의 비중은 1.5%인 것으로 조사되었다.

<표 14> A소각장의 온실가스 배출량 (2010)

구분		온실가스 배출량				에너지 사용량 (TJ)		
		CO <sub>2</sub> (tCO <sub>2</sub> /yr)	CH <sub>4</sub> (tCH <sub>4</sub> /yr)	N <sub>2</sub> O (tN <sub>2</sub> O/yr)	소계 (tCO <sub>2</sub> e/yr)			
합계		29,849.9	0.0	1.9	30,442.9 (100)	22.0 (100)		
직접배출 (SCOPE1)	소계	29,123.7	0.0	1.9	29,715.2 (97.6)	7.9 (36.2)		
	폐기물부문	소각	28,660.91	0.01	1.91	29,251.97 (96.1)		
		고정/이동 연소	고정연소	462.81	0.01	0.00	463.19 (1.5)	7.9 (36.2)
			이동연소	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
간접배출 (SCOPE2)	소계	726.23	0.01	0.00	727.71	14.1 (63.8)		
	외부구매	전기구매	726.23	0.01	0.00	727.71 (2.4)	14.1 (63.8)	
		스팀구매	-	-	-	-	-	

주) ( )는 전체 온실가스중의 비율 (%)

B소각장에서의 온실가스 배출량산정 결과 <표 15>와 같이 총 배출량은 27,981tCO<sub>2</sub>e/yr로 산정되었다. 각 부문별 온실가스 발생 비율로 보면 폐기물 소각대 상물질에서 발생하는 온실가스는 92.2%로 A소각장과 비슷한 비율을 차지하고 있다. 고정연소 즉 가동준비시 예열버너 등에 사용하는 고정연소 배출에서 발생하는 온실 가스의 비중은 5.5%로서 A소각장에 비하여는 다소 높은 편이다.

<표 15> B소각장의 온실가스 배출량(2010)

구분		온실가스 배출량				에너지 사용량 (TJ)	
		CO <sub>2</sub> (tCO <sub>2</sub> /yr)	CH <sub>4</sub> (tCH <sub>4</sub> /yr)	N <sub>2</sub> O (tN <sub>2</sub> O/yr)	소계 (tCO <sub>2</sub> e/yr)		
합계		27,589.3	0.0	1.3	27,981.5 (100)	38.8 (100)	
직접배출 (SCOPE1)	소계	26,956.1	0.0	1.3	27,347.0 (97.7)	26.6 (68.5)	
	폐기물 부문	소각	25,411.1	0.01	1.3	25,800.7 (92.2)	
		고정/이 동연소	1,545.1	0.02	0.0	1,546.3 (5.5)	26.6
		이동 연소	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
간접배출 (SCOPE2)	소계	633.2	0.01	0.0	634.5 (2.3)	12.6 (31.5)	
	외부 구매	전기 구매	633.2	0.01	0.0	634.5	12.6 (31.5)
		스팀 구매	-	-	-	-	-

주) ( )는 전체 온실가스중의 비율 (%)

C소각장에서의 온실가스 배출량산정 결과는 <표 16>과 같이 총 배출량은 107,359.8 tCO<sub>2</sub>e/yr로 산정되었다. 각 부문별 온실가스 발생 비율은 폐기물 소각대상 물질에서 발생하는 온실가스는 91.1%로 타 소각장과 비슷한 비율을 차지하고 있으며, 고정연소 배출에서 발생하는 온실가스의 비중은 2.7%로 나타났다.

<표 16> C소각장의 온실가스 배출량(2010)

구분		온실가스 배출량				에너지 사용량 (TJ)	
		CO <sub>2</sub> (tCO <sub>2</sub> /yr)	CH <sub>4</sub> (tCH <sub>4</sub> /yr)	N <sub>2</sub> O (tN <sub>2</sub> O/yr)	소계 (tCO <sub>2</sub> e/yr)		
합계		105,689.1	0.2	5.4	107,359.8 (100)	178.9 (100)	
직접배출 (SCOPE1)	소계	99,094.5	0.1	5.3	100,751.8 (93.8)	51.3 (28.7)	
	폐기물 부문	96,102.43	0.03	5.34	97,757.12 (91.1)		
	고정/이 동연소	고정 연소	2,930.24	0.05	0.00	2,932.62 (2.7)	50.43 (28.2)
		이동 연소	61.87	0.00	0.00	62.04 (0.06)	0.89 (0.5)
간접배출 (SCOPE2)	소계	6,594.59	0.08	0.04	6,608.06 (6.16)	127.55 (71.3)	
	외부 구매	전기 구매	6,594.59	0.08	0.04	6,608.06 (6.16)	127.55 (71.3)
		스팀 구매	-	-	-	-	-

주) ( )는 전체 온실가스중의 비율 (%)

D소각장에서의 온실가스 배출량산정 결과는 <표 17>와 같이 총 배출량은 63,803.6 tCO<sub>2</sub>e/yr로 산정되었다. 각 부문별 온실가스 발생 비율은 폐기물 소각대상 물질에서 발생하는 온실가스는 92.03%로 타 소각장과 비슷한 비율을 차지하고 있으며, 고정연소 배출에서 발생하는 온실가스의 비중은 2.11%로 나타났다.

<표 17> D소각장의 온실가스 배출량(2010)

구분		온실가스 배출량				에너지 사용량 (TJ)	
		CO <sub>2</sub> (tCO <sub>2</sub> /yr)	CH <sub>4</sub> (tCH <sub>4</sub> /yr)	N <sub>2</sub> O (tN <sub>2</sub> O/yr)	소계 (tCO <sub>2</sub> e/yr)		
합계		62,910.6	0.1	2.9	63,803.6 (100.00)	121.3 (100.00)	
직접배출 (SCOPE1)	소계	57,839.2	0.0	2.8	58,721.9 (92.03)	23.2 (19.14)	
	폐기물 부문	소각	56,490.13	0.01	2.84	57,371.73 (89.92)	
		고정/이 동연소	고정 연소	1,349.07	0.02	0.00	1,350.16 (2.11)
	이동 연소		0.00	0.00	0.00	0.00 (0.00)	0.00
간접배출 (SCOPE2)	소계	5,071.37	0.06	0.03	5,081.73 (7.96)	98.09 (80.86)	
	외부 구매	전기 구매	5,071.37	0.06	0.03	5,081.73 (7.96)	98.09 (80.86)
		스팀 구매	-	-	-	-	-

주) ( )는 전체 온실가스중의 비율 (%)

2010년의 경우 폐기물 1톤을 소각할 경우 발생하는 온실가스는 소각장별로 차이는 있으나 <표 18>과 같이 평균 0.7430 톤인 것으로 조사되었다. 1톤을 소각할 경우 발생하는 온실가스량을 소각에 필요한 에너지를 포함할 경우 폐기물 소각시 필요한 고정연소와 이동연소 그리고 전력사용 등으로 인하여 0.8040톤으로 증가한다.

열생산량당 온실가스 배출량은 0.3095 tCO<sub>2</sub>e/Gcal으로 산정되었으며 각 소각장별 큰 편차는 보이지 않았다.

<표 18> 소각장의 쓰레기 투입량에 따른 온실가스 발생량(2010)

소각장명	소각량 (ton)	열 생산량 (Gcal)	열량당 온실가스 배출량 (tCO <sub>2</sub> e/Gcal)	직접배출		직·간접배출	
				온실가스 발생량 (tCO <sub>2</sub> e)	톤당 발생 원단위 (tCO <sub>2</sub> e/톤 - 폐기물)	온실가스 발생량 (tCO <sub>2</sub> e)	톤당 발생 원단위 (tCO <sub>2</sub> e/톤 - 폐기물)
A소각장	47,889	107,824	0.2823	29,251	0.6108	30,442	0.6357
B소각장	31,568	88,636	0.3156	25,800	0.8173	27,981	0.8864
B소각장	134,067	345,695	0.3106	97,757	0.7219	107,359	0.8008
D소각장	71,430	193,575	0.3296	58,722	0.8221	63,803	0.8932
표준편차	-	-	0.0198	-	0.0995	-	0.1198
원단위 평균	-	-	0.3095	-	0.7430	-	0.8040

A소각장은 타소각장에 비하여 폐기물 톤당 온실가스 발생원단위가 0.6108tCO<sub>2</sub>e로 낮은 편인데 이는 <표 19>과 같이 폐기물의 조성비 중 배출계수가 높은 플라스틱, 폐합성수류의 조성비 20.2%로 타 소각장에 비하여 상대적으로 낮기 때문인 것으로 조사되었다.

<표 19> 폐기물의 물리적 조성비 (2010)

폐기물의 물리적 조성	CO <sub>2</sub> 배출계수	A소각장	B소각장	C소각장	D소각장
음식물, 채소류 등	0.0000	19.2%	18.0%	5.5%	20.5%
섬유, 폐섬유 등	0.2933	13.7%	7.4%	15.9%	6.3%
목재류	0.0000	19.6%	7.0%	16.4%	8.5%
종이, 판지 등	0.0152	21.3%	38.9%	16.7%	34.4%
합성고무, 폐피혁 등	0.4127	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
플라스틱, 폐합성수지등	2.7500	20.2%	22.9%	27.2%	25.2%
금속 등의 불연물질	0.0000	6.1%	5.9%	9.5%	5.1%
유리 등의 불연물질	0.0000	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
별채목 등	0.0000	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
종이류로 포함되지 않는 기저귀 등	0.1027	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
기타 가연물	0.0990	0.0%	0.0%	8.9%	0.0%

출처) 환경부 전국 생활폐기물 자원회수시설 운영협의회 2010 '10년도 생활폐기물 자원회수시설 운영현황

## 제 4 장 도시 쓰레기 소각장에서의 온실가스 감축 방안 평가지표 개발

### 4.1 온실가스 감축방안 평가지표 개발

#### 4.1.1 감축방안 지표 개발 과정

지표 이론가인 Willson(2001)은 “분석과 평가 목적을 효과적으로 달성할 수 있도록 유용하고, 전체 목적에 부합되며, 설명력이 높아야 할 것”으로 지표에 대해 정의하면서, 신뢰성과 연관성, 재현성과 대표성을 갖출 것을 요구하였다 (장기윤, 2010 재인용). 합리적인 결론 도출이 어려우며 계층화에 관련된 평가속성들 간의 중복성과 평가구조의 동질성 및 일관성 등의 문제가 발생되기 때문이다. 따라서 이러한 문제를 해결하고 합리적인 온실가스 저감방안 평가지표를 개발하기 위하여 델파이 기법과 AHP기법을 활용하였다.

본 연구에서는 전문가 집단을 소각장의 운영책임자와 소각장 설계전문가를 대상으로 선정하였다. 조사 집단의 객관화 및 전문화를 기하기 위하여 운영회사의 소장급이나 팀장급, 소각장 설계전문가는 기술사급으로 하였다. 조사집단의 분류는 소각장관련 이해관계자에 따라 전문가그룹과 환경NGO, 지역주민, 관계공무원등으로 구분될 수 있으나 이번 연구에서는 운영전문가와 설계전문가로 국한하였다. 기타 이해관계자의 설문은 장래 추가적으로 연구될 필요가 있다.

일반적으로 1차 설문은 비 구조화된 설문지를 활용하여 전문가들의 발산적 지각(Divergent Perception)을 고찰한 다음 이것으로부터 의견을 수렴하고 2차 설문에서는 우선순위와 중요도에 따라 항목을 평가하여 평균값, 중앙값, 혹은 최빈치와 같은 중앙 경향값과 표준편차 등을 구하여 패널간의 합의 수준을 확인한 이후 마지막 3차 설문은 2차 설문의 통계분석 결과인 패널의 집단 경향(Group Trends)에 대한 피



드백을 포함하여 실시한다. 강우준(2010)에 따르면 통상적으로 델파이 과정 중 조사가 반복됨에 따라 계속 조사할 필요가 있는지 신중하게 검토해야 한다.

이번 연구에서 단계별로 수차례의 설문조사가 필요하나 사전에 문헌조사 및 관련 전문가의 회의를 통하여 평가 항목안을 설문조사 전에 1단계 검토하고 이를 설문조사 안으로 하여 다단계의 설문조사를 최소화하였다. 자료수집 과정에서의 신속성과 비용, 수집된 자료의 객관성과 정확성 등을 고려하였으며 설문지를 이용한 자료 수집은 응답 당시의 주변 여건이나 심리적 상태에 따라 정확한 측정 보다는 통념적 직관에 의해 응답할 가능성이 있다는 단점이 있으므로 본 연구에서는 이메일을 통하여 설문조사를 실시하였다.

설문조사는 항목선정을 위한 설문조사와 가중치 설정을 위한 설문조사로 구분된다.

설문조사는 1차 소각장 전문가인 소각장운영자 및 소각장 설계전문가를 대상으로 30명을 선정하여 이메일로 설문 조사서를 발송하였다. 회신의 효율성을 기하기 위하여 전화를 통하여 전화설문 및 심층방문조사를 병행하여 실시하였다.

설문조사 기간은 2011년 11월 10일 ~ 12월 9일(1개월간)에 실시하였으며, 설문 응답자는 16명 이었다. 그리고 설문조사 결과의 일관성 분석실시하여 일관성을 확인하여 평가지표의 가중치를 구하였다.

<표 20> 대안별 쌍대비교표

비교항목	A	B	C	D
A	1	5	3	...
B	1/5	1	2	...
C	1/3	1/2	1	...
D	...	...	...	1

쌍대비교는 <표 20>과 같은 쌍대비교표를 이용하여 실시하였으며, 여기서 A, B, C, D란 4가지 대안의 평가기준을 평가하는 경우를 가정하고 있다.

<표 21> 쌍대비교치

쌍대비교치	평가의 의미
	A가 B보다도
1	동등
3	약간중요
5	분명히 중요
7	크게 중요
9	절대적 중요
2, 4, 6, 8	중간 정도로 중요

또한, 2가지 항목간의 상대적인 비교는 <표 21>과 같은 9점 척도의 쌍대비교치를 이용하였다. 쌍대비교행렬에서 응답자가 각 평가 항목의 상대적 중요성을 일관된 응답을 하지 못할 경우는 쌍대비교 정합성이 낮아 추정정도가 낮아지게 된다. 이러한 문제점을 인식하여 Saaty는 일관성지수(CI, Consistency Index)와 일관성비율(CR, Consistency Ratio)을 이용하여 쌍대비교에 의한 가중치가 논리적으로 일관성이 있는지를 검토하였다. 일관성(CR) 판정기준은 刀根(1986)에 의하면 CI와 CR값이 모두 0.15이하일 경우 조근태 등(2000)에 의하면 CR값이 0.1이하(10%이내)에 일관성이 있다고 판단할 수 있다.

$$CR = \frac{CI}{RI} \times 100\%$$

CR : 일관성 비율(%)(Consistency Ratio)

CI : 일관성 지수(Consistency Index)

RI : 평균무작위 지수(Random Index)

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$$

$\lambda_{\max}$  : 행렬 A' 의 가장 큰 고유치

n : 요소 (비교행렬의 크기)

쌍대비교행렬이 완전한 일관성을 가지는 경우에는 CI는 0이며 일관성이 적을수록 큰 값을 갖는다. 무작위 일관성지수(RI:Random Index)는 비교행렬의 CI들의 평균값이다. RI는 비교행렬의 크기n에 따라 다르며 Saaty의 시뮬레이션 결과에 따라 <표 22>와 같이 요약된다.

<표 22> 무작위 일관성 지수

행렬의 크기	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

출처 : Saaty T.L 1990 "How to make a decision the analytic hierarchy process"

주어진 행렬의 CI와 RI를 비교한 값인 CR은 그 값이 작을수록 판단의 일관성이 크다고 볼 수 있으며, Saaty는 CR 이 0.1보다 큰 경우 일관성에 문제가 있다고 주장하였다. [설문조사서 <부록 4참조 >]

설문조사 결과분석은 회수된 16개의 설문서를 대상으로 하였으며, CR값이 0.1 미만인 것으로 나타나 일관성이 있는 것으로 나타났으며 평가기준의 상대비교결과는 <표 23>와 같이 나타났다.

설문서의 응답의 일관성여부 확인을 위한 CI값 및 CR값 확인을 위하여 개발된 프로그램을 활용하였다. [<부록 5> AHP분석 툴 참조]

<표 23> 평가 기준의 상대비교 결과

<b>No 1</b>	경제성	기술성	환경성	사회성	<b>No 2</b>	경제성	기술성	환경성	사회성
경제성	1	3	2	1	경제성	1	2	3	4
기술성		1	0.5	0.125	기술성		1	1	2
환경성			1	0.5	환경성			1	1
사회성				1	사회성				1
<b>No 3</b>	경제성	기술성	환경성	사회성	<b>No 4</b>	경제성	기술성	환경성	사회성
경제성	1	5	5	9	경제성	1	6	3	7
기술성		1	1	6	기술성		1	1	3
환경성			1	6	환경성			1	4
사회성				1	사회성				1
<b>No 5</b>	경제성	기술성	환경성	사회성	<b>No 6</b>	경제성	기술성	환경성	사회성
경제성	1	6	7	9	경제성	1	3	4	1
기술성		1	2	8	기술성		1	0.3333	0.25
환경성			1	2	환경성			1	1
사회성				1	사회성				1
<b>No 7</b>	경제성	기술성	환경성	사회성	<b>No 8</b>	경제성	기술성	환경성	사회성
경제성	1	5	6	2	경제성	1	7	6	3
기술성		1	0.5	0.25	기술성		1	2	0.2
환경성			1	0.3333	환경성			1	0.5
사회성				1	사회성				1
<b>No 9</b>	경제성	기술성	환경성	사회성	<b>No 10</b>	경제성	기술성	환경성	사회성
경제성	1	8	9	4	경제성	1	3	5	2
기술성		1	1	0.5	기술성		1	2	1
환경성			1	0.2	환경성			1	0.5
사회성				1	사회성				1
<b>No 11</b>	경제성	기술성	환경성	사회성	<b>No 12</b>	경제성	기술성	환경성	사회성
경제성	1	7	3	2	경제성	1	2	3	2
기술성		1	1	0.125	기술성		1	0.5	0.5
환경성			1	0.166	환경성			1	0.5
사회성				1	사회성				1
<b>No 13</b>	경제성	기술성	환경성	사회성	<b>No 14</b>	경제성	기술성	환경성	사회성
경제성	1	3	2	1	경제성	1	4	4	8
기술성		1	1	0.3333	기술성		1	1	5
환경성			1	1	환경성			1	3
사회성				1	사회성				1
<b>No 15</b>	경제성	기술성	환경성	사회성	<b>No 16</b>	경제성	기술성	환경성	사회성
경제성	1	2	4	1	경제성	1	7	3	4
기술성		1	1	0.5	기술성		1	1	0.25
환경성			1	0.3333	환경성			1	0.5
사회성				1	사회성				1

AHP에 의한 평가 기준의 상대비교 결과분석을 실시하였다. AHP연구에서는 평가자들의 평가치를 종합하기 위하여 수치통합방법을 이용하였다. 구체적으로는 평가자가 작성한 쌍대비교 행렬의 각 원소에 대하여 전체 평가자의 평가치를 기하평균을 이용하여 통합하였다. 다음으로 기하평균을 원소로 하는 단일 쌍대비교행렬을 구하였다. 16명의 전문가가 평가한 쌍대비교행렬을 기하평균으로 통합한 우선순위 벡터(가중치)는 <표 24>과 같으며 경제성, 기술성, 환경성, 사회성이 각각 0.540, 0.131, 0.141, 0.188로 계측되었다. 이 결과는 경제성이 가장중요한 평가지표이며 다음으로 사회성이 중요 평가기준이 되고 있음을 보여주고 있다.

<표 24> 평가기준의 수치통합 결과

전체 (기하평균)	경제적 측면	기술적 측면	환경적 측면	사회적 측면
경제적 측면	1	4.1010	3.9511	2.7958
기술적 측면		1	0.9336	0.6945
환경적 측면			1	0.7740
사회적 측면				1
가중치	0.540	0.131	0.141	0.188
점수비중(%)	54	13	14	19

각 측면별 세부평가항목 설문조사결과를 종합하면 <표 25>와 같이 항목별 설문빈도를 나타냈다. 이를 근거로 하여 각 세부항목별 가중치를 도출하였다.

<표 25> 세부 평가항목별 응답빈도 (16명 설문조사 결과)

(단위: 빈도)

평가 항목	세부평가항목	척도(상대적 중요도 수준평가)																	평가항목
		9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
경제적 측면	총투자비용 / 저감량			1				1	2	8	2	2							총투자비용 / 누적저감량
	총투자비용 / 저감량				1						3	4	2	3	1	1	1		총투자비용 회수기간
	총투자비용 / 저감량									1	3	3	2	4		1	2		저감량
	총투자비용 / 누적저감량									1	3	2	2	2	3	1	2		회수기간
	총투자비용 / 누적저감량									1	4	1	5	4		1			저감량
	회수기간			1			2	1	3	9									저감량
기술적 측면	기술 안정성						1	1	2	4	2	3	2	1					기술 내구성
	기술 안정성									1	1	2	5	2	2	3			관리운영 용이성
	기술 내구성									2	4	4	4	1	1				관리운영 용이성
환경적 측면	설비 설치시								3	8	5								설비 운영시
	설비 설치시					1	3	4	3	4	1								2차 오염물질 발생
	설비 설치시										1	2	4	4	4	1			입지계약
	설비 운영시								3	8	4	1							2차 오염물질 발생
	설비 운영시										2	4	5	4	1				입지계약
	2차 오염물질 발생										1	3	5	6	1				입지계약
사회적 측면	정부지원								3		4	1	1	2	4	1			민원여부
	정부지원					1	1	1	4	2	2	5							사회적책임
	민원여부		1	2	3	1	3	5	1										사회적책임

경제적 측면 4개 항목, 기술적 측면 3개 항목, 환경적 측면 4개 항목, 사회적 측면 3개 항목 등 평가항목별로 16명의 의견을 기하평균으로 환산하여 수치 통합하여 각 세부항목별 가중치를 도출하였다. 경제적 측면에서의 세부항목별 가중치는 총투자비용대비 회수기간 45%, 다음으로 저감량이 35%로 조사되었으며, 총투자비용대비 저감량 및 누적 저감량의 경우는 동등한 수준으로 나타났다.

<표 26> 경제적 측면 평가기준의 수치통합 결과

전체 (기하평균)	투자비용/ 저감량	투자비용/ 누적저감량	투자비용 회수기간	저감량
총투자비용/저감량	1	1.0544	0.3226	0.2744
총투자비용/누적저감량		1	0.2568	0.3014
총투자비용 회수기간			1	1.6381
저감량				1
가중치	0.113	0.106	0.439	0.342
점수비중(%)	10	10	45	35

기술적 측면의 경우 관리의 용이성이 62%로 가장 중요하게 생각하고 있었다. 이는 소각장의 운전자의 입장에서 불 때 운전의 용이성이 상대적으로 높은 비중을 차지하고 있음을 볼 수 있다.

<표 27> 기술적 측면 평가기준의 수치통합결과

전체 (기하평균)	기술안정성	기술 내구성	관리운영 용이성
기술안정성	1	0.7228	0.2456
기술 내구성		1	0.3653
관리운영 용이성			1
가중치	0.156	0.222	0.622
점수비중(%)	16	22	62

환경적 측면에서 불 때는 입지제약이 가장 중요한 57%로 나타났다. 소각장의 입지 조건이 도시형 또는 농촌형에 따라 많은 영향을 미치는 것으로 조사되었다.

<표 28> 환경적 측면 평가기준의 수치통합결과

전체 (기하평균)	설비설치시	설비운영시	2차오염물질발생	입지제약
설비설치시	1	1.7377	2.0582	0.2233
설비운영시		1	1.6640	0.2701
2차오염물질발생			1	0.2471
입지제약				1
가중치	0.187	0.137	0.100	0.576
점수비중(%)	19	14	10	57

사회적 측면평가기준으로서는 소각장에서 가장 민감한 문제인 민원여부가 62%로 가장 큰 비중을 차지하고 있었으며 다음으로 정부지원이 24%로 나타났으며 상대적으로 사회적 책임은 14%로 낮게 나타났다.

<표 29> 사회적측면 평가기준의 수치통합결과

전체 (기하평균)	정부지원	민원여부	사회적책임
정부지원	1	0.3793	1.7769
민원여부		1	4.2901
사회적책임			1
가중치	0.242	0.619	0.140
점수비중(%)	24	62	14

항목별 누적가중치를 고려한 결과 가장 가중치가 높은 것은 경제적 측면의 투자비용 회수기간이 24%로 나타났으며 그 다음으로 저감량으로 18%로 나타났으며 가장 가중치가 낮은 항목은 2차 오염물질 발생으로 1.4%로 나타났다.



<표 30> 평가항목별 가중치 누적가중치

평가항목	가중치 (%)	세부평가항목	가중치	환산가중치	환산가중치 순위	
경제적 측면	55	총투자비용 / 저감량	10	0.0540	6	
		총투자비용 / 누적저감량	10	0.0540	6	
		총투자비용 회수기간	45	0.2430	1	
		저감량(tCO2)	35	0.1890	2	
기술적 측면	10	기술 안정성	16	0.0208	12	
		기술 내구성	22	0.0286	9	
		관리운영 용이성	62	0.0806	4	
환경적 측면	15	환경영향 정도	설비 설치시	19	0.0266	10
			설비 운영시	14	0.0196	13
		2차 오염물질 발생	10	0.0140	14	
		입지제약	57	0.0798	5	
사회적 측면	20	정부지원	24	0.0456	8	
		민원여부	62	0.1178	3	
		사회적책임	14	0.0266	10	
계				1.0000		

#### 4.1.2 감축방안 평가지표 개발 결과

저감방안 선정지표 도출을 위하여 경제적 측면, 기술적 측면, 환경적 측면, 사회적 측면 등 4개 분야로 나누어 평가기준 및 배점기준을 도출하였다. 최적 대안은 여러 대안중 상대적인 평가이다. 온실가스 저감수단의 선택을 위한 절대적인 기준을 결정하기에는 어려움이 있으므로 최적의 대안은 상대평가라 할 수 있다. 따라서 각 소각장의 입지여건 및 다양한 조건에 따라 저감수단은 상이하게 채택될 수 있을 것이다.

최종적으로 도출한 지표는 <표 31>의 저감방안 평가지표, 항목별 배점 및 평가기준과 같이 경제적 측면 55%, 기술적 측면 10%, 환경적 측면 15%, 사회적 측면 20%로 도출되었으며, 각 측면별 세부평가항목에서의 가중치를 고려하여 각각의 배점을 도출하였다.

경제적 측면에서 세부평가항목으로 고려된 4개 항목은 온실가스저감량, 투자비용,

투자비용 회수기간, 투자한 기기 또는 장치의 수명기간을 고려한 것으로 온실가스 저감량이 각 평가항목에 포함되어 있다. 이러한 평가지표는 경제적 측면을 어느 것에 비중을 더 둘 것인가에 따라 선택이나 배점이 달라 질 수 있다.

<표 31> 저감방안 평가지표, 항목별 배점 및 평가기준<sup>8)</sup>

평가항목	세부평가항목		배점	평가기준	평가방법
경제적측면	총투자비용 / 저감량		5	- 투자비용대비 저감량	정량
	총투자비용 / 누적저감량		5	- 투자비용대비 누적저감량	정량
	총투자비용 회수기간		25	- 기간고려	정량
	저감량(tCO2)		20	- 연간온실가스 저감량 / 수명기간까지 저감량 정부할당목표 달성여부(관리업체의 경우)	정량
	소계		55		
기술적측면	기술 안정성		1	- 운전시 폭파, 화재, 감전	정성
	기술 내구성		1	- 설치 이후 성능보장기간	정성
	관리운영 용이성		8	- 운전요령이 단순, 구조단순, 유지보수용이, 유지비용 저렴	정성
	소계		10		
환경적측면	환경영향정도	설비 설치시	3	설치시 자연환경, 생활환경, 사회경제환경에 미치는 영향(사전환경영향조사) 설치면적	정성
		설비 운영시	3	설비운영시 소음발생, 토양오염발생 에너지 사용(전기, 물, 연료)	정성
	2차 오염물질 발생		1	운영시 보조제투입(활성탄, 가성소다 등) 폐수발생 / 폐기물 발생 및 처리비용	정성
	입지제약		8	도시형, 농촌형, 기타로 분류 입지, 기후 등 설비설치에 대한 제약	정성
	소계		15		
사회적측면	정부지원		5	발전차액지원 등 정부지원여부 KVER 등록가능여부(저감량 판매가능성)	정성
	민원여부		10	토지보상, 설비설치 반대 등 민원여부	정성
	사회적책임		5	사회적 책임과의 연계여부 환경 및 에너지정책관련 법규의 변화가능성	정성
	소계		20		
총 점		100			

8) 평가항목 참고문헌을 근거로 초안을 작성후 델파이 기법인 전문가의 설문을 통하여 선정하였다. 가중치는 AHP방법의 설문을 통하여 4개 측면을 상대적 중요도 비교를 근거로 하여 중요도를 정하고 배점기준으로 하였으며, 세부평가항목별 가중치도 동일한 방법으로 중요도를 도출하였다.

각 항목별 세부점수부여 기준의 도출은 설문조사를 통하여 도출된 가중치로 배점을 부여한 후 각 배점에 점수를 부여하는 기준을 정하기 위하여 관련 문헌조사 및 전문가의 견해를 참고하여 점수부여기준을 정하였다. 이러한 배점기준은 실제 평가시에 일부 조정을 통하여 활용해야 할 것으로 판단된다.

경제적 측면의 경우 동일한 저감효과 대비 경제성이 탁월한 기술로서 투자비용 회수기간을 최우선으로 하는 경향이 있다. 여기에서 투자비용은 최초투자비용, 감가상각비, 설비운전시 소요되는 비용을 포함한다. 총투자비용대비 저감량과 누적저감량, 총투자비용회수기간, 비용을 고려하지 않은 순수 저감량 등 4개 분야로 나누어 평가지표를 도출하였다. 경제적측면의 총점은 55점으로 가장 높은 비중을 차지하고 있다. 총투자비용대비 저감량은 비교 가능한 대안 중 상대적 기준으로 평가된다.

배점기준은 <표 31>와 같이 도출되었다. 세부평가항목별 배점기준 설정은 평가자의 주관적인 요소가 포함될 수 있다. 따라서 가능한 객관적인 평가가 될 수 있도록 하기 위하여 배점기준을 관련 전문가의 의견과 각 항목별 상, 중, 하로 비교하여 평가 대상 별로 상대적 우위로 결정하도록 하여 상대평가가 일부 고려되었다.

<표 32> 업체별 태양광 발전 기술의 투자회수기간

구분	총 수익(백만원)	투자회수기간(년)
A시 하수처리장	6,759	17.8
B시	2,084	19.2
C시	590	15.7
D시	459	15.6
E시	2,317	21.6

출처) 환경부, 2011, 폐기물 부문별 관리업체별 온실가스 감축잠재량 산정 및 목표설정 방안연구

태양광발전의 투자회수기간은 최소 15.6년에서 최대 21.6년으로 조사되었다.

투자비용회수기간은 배점이 25점으로 가장 높다. 이는 경제성 분석측면에서 볼 때 기간이 짧을수록 경제성이 있을 것으로 판정하고 있다. <표 32>과 같이 태양광의 경우 회수기간이 최대 21.6년으로 길다. 투자비용회수기간은 투자자의 주관적 판단이 가장 많은 영향을 미친다. 따라서 회수기간을 점수화 하는 방법은 가장 긴 회수기간과 가장 짧은 회수기간을 최대 최소로 하여 각 구간별로 배분하여 점수를 부여하는 방법을 택하였다.

경제성 분석에서 투자비용 회수기간법(Payback perid method)이란 투자시점에서 발생한 최초 투자비용을 회수하는데 걸리는 기간으로 연단위로 표시된다. 투자비용을 빨리 회수할수록 바람직한 투자안이기 때문에 가장 짧은 것을 선택하게 된다. <표 33>에서 각 저감수단별 회수기간을 비교한 것으로서 회수기간은 누가 어떻게 계산하느냐에 따라 편차가 크다. 전문가의 의견은 일반적으로 회수 기간은 10년 이내를 목표로 투자를 하는 것으로 나타났으며, 그 이상이 될 경우 경제성이 떨어지는 것으로 간주하고 있다.

<표 33> 투자비용회수기간 사례

저감수단	회수기간	비고
태양열온수	6년	에너지관리공단
태양열온수 + 난방	6년	에너지관리공단
태양광 발전	15년	에너지관리공단
	22년	00군 발표자료 (50kW)
지열냉난방	3~6년	에너지관리공단
풍력발전	10~15년	에너지관리공단
소각장 폐열이용 발전	8년	C군 발표자료(신규설치)
ID fan 인버터 설치	3년 8개월	A소각장 조사자료
소각장 폐열 판매	10년	C소각장 조사자료

<표 34> 경제적 측면 배점기준

평가항목	세부평가항목	배점	배점기준	비고
경제적측면	총투자비용 / 저감량	5	- 1 : 상대적 하위 - 3 : 상대적 중위 - 5 : 상대적 상위	- 상대적 비교(상중하)
	총투자비용 / 누적저감량	5	- 1 : 상대적 하위 - 3 : 상대적 중위 - 5 : 상대적 상위	- 상대적 비교(상중하)
	총투자비용 회수기간	25	- 1 : 20년 이상 - 5 : 15년 이상 20년 미만 - 10 : 10년 이상 15년 미만 - 21 : 5년 이상 10년 미만 - 23 : 2년 이상 5년 미만 - 25 : 2년 미만	- 회수기간이 10년 미만인 경우 경제성이 높을 것으로 보며 10년 이상일 경우 경제성이 급격히 떨어지는 것으로 배점하였다.
	저감량(tCO2) [수명기간까지 총량]	20	- 1 : 1,000톤 미만 - 5 : 1,000톤 이상 5,000톤 미만 - 10 : 5,000톤 이상 10,000톤 미만 - 15 : 10,000톤 이상 20,000톤 미만 - 20 : 20,000톤 이상	- 투자한 기기의 내구연한까지 고려함. - 저감량은 온실가스배출권을 고려하여 경제적 측면으로 함.

기술적 측면은 총 10점으로서 기술 안정성, 기술내구성, 관리용이성 등 3개 분야로 평가한다. 배점기준은 <표 35>과 같이 기술적 안정성과 관리용이성은 상대적인 평가기준으로 하였으며 내구성은 내구연한으로 하여 10년 이상의 경우 1점 부여하는 기준으로 하였다.

<표 35> 기술적 측면 배점기준

평가항목	세부평가항목	배점	배점기준	비고
기술적측면	기술 안정성	1	- 0 : 안정성 하 - 1 : 안정성 상	- 상하로 구분
	기술 내구성	1	- 0 : 10년 미만 - 1 : 10년 이상	- 상하로 구분
	관리운영 용이성	8	- 1 : 용이성 하 - 4 : 용이성 중 - 8 : 용이성 상	- 상중하로 구분하여 비율할당으로 함.

환경적 측면은 저감시설 설치 및 운영과정의 평가항목은 환경적 영향 정도와 2차 오염물질발생 정도, 입지제약 조건 등 3개 분야로 나누어 평가기준으로 하였다. 배점기준 중 입지제약조건이 8점으로 도출된 사유는 전문가 의견이 도시에 가까이 위치한 소각장의 경우 전기 또는 열공급이 용이한 것으로 나타났으며, 농촌형의 경우 자체소비만 가능하고 외부로의 공급이 불가능한 원인에 의해서 이다.

<표 36> 환경적 측면 배점기준

평가항목	세부평가항목		배점	배점기준	비고
환경적측면	환경영향정도	설비 설치시	3	설치면적 및 영향 기준 1 : 설치시 환경영향 상 2 : 설치시 환경영향 중 3 : 설치시 환경영향 하	- 상중하로 구분하여 비율할당로 함.
		설비 운영시	3	소음, 토양오염, 에너지 사용 기준 1 : 운영시 환경영향 상 2 : 운영시 환경영향 중 3 : 운영시 환경영향 하	- 상중하로 구분하여 비율할당로 함.
	2차 오염물질 발생		1	보조제투입, 폐수/폐기물 발생 및 처리비용 기준 0 : 2차 오염물질 발생 상 1 : 2차 오염물질 발생 하	- 상하로 나눔
	입지제약		8	농촌형, 도시형, 설치 공간 여부 1 : 농촌형 설치공간 미흡 2 : 농촌형 설치공간 가능 4 : 농촌형 설치공간 우수 6 : 도시형 설치공간 미흡 7 : 도시형 설치공간 가능 8 : 도시형 설치공간 우수	- 가장 좋은 입지조건은 도시형과 설치공간이 우수한 것을 최고 점수로 하고 농촌형이며 설치공간이 미흡한 것을 최저로 하여 비율로 나눔.

사회적 측면 평가항목은 정부지원, 민원여부, 사회적 책임과 연계여부 등 3개 분야로 나누어 지표를 설정하였으며, 민원여부를 가장 높은 비중인 10점을 차지하고 있다. 이는 소각장에서 민원이 얼마나 중요한 문제인지를 보여주고 있다.

<표 37> 사회적 측면 배점기준

평가 항목	세부평가 항목	배점	배점기준	비고
사회적 측면	정부지원	5	정부지원 여부, KVER 등록 가능 여부 1 : 정부지원 없고 저감사업등록도 불가능. 3 : 정부지원 있으나 저감사업등록은 불가능 5 : 정부지원 있고 저감사업등록도 가능	- 정부지원, KVER 등록으로 구분함.
	민원여부	10	토지보상비용, 민원 여부를 기준 1 : 토지보상비용 최대, 민원 최다 3 : 토지보상비용 최대, 민원 중간 5 : 토지보상비용 중간, 민원 최소 7 : 토지보상비용 중간, 민원 중간 9 : 토지보상비용 최소, 민원 중간 10 : 토지보상비용 최소, 민원 최소	- 민원최소, 토지보상비용 최소를 최고의 조건으로 하여 6단계로 배점.
	사회적 책임	5	지역사회 기여도, 공익을 위한 활용, 민원의 해소, 주민 편의시설 운영기여 1 : 사회적 책임 하 3 : 사회적 책임 중 5 : 사회적 책임 상	- 상중하로 3단계로 배점함.

## 4.2 온실가스 감축방안 평가지표의 적용

도출된 평가지표를 실제 사례에 적용하여 평가를 수행하였으며. 종합적인 평가를 통하여 선정된 지표의 타당성 여부를 확인하였다.

저감방안 평가지표의 타당성 확인을 위한 최적의 방법은 각 저감방안을 실시한 한 개의 소각장을 사례로 하여 실시하는 것이 가장 정확한 방법일 수 있으나 실제 한 개의 소각장에서 여러 가지 감축방안을 실시한 사례가 없어서 여러 소각장의 사례로 타당성확인을 실시하였다.

온실가스 저감방안은 지역난방에 열공급, 전기생산 및 공급, 인버터 설치, 태양광 등 4개 분야를 선정하여 실시하였다. 이 4개 분야는 소각장에서 가장 많이 사용하고 있는 온실가스 저감분야로 조사되어 타당성 확인사례로 선정하였다.

타당성 확인은 각 사례별로 수집된 자료를 근거로 하여 정량적 평가 및 정성적 평가를 진행하였다. 정량적평가의 경우 수집된 자료에 의하여 명확한 점수를 부여할 수 있었으나 정성적인 평가의 경우에는 평가자의 주관이 고려될 수 있으므로 최대한

객관화시키기 위하여 전문가 5인의 자문으로 결정하였다.

폐기물의 여열을 이용한 스팀공급이나 전력 생산의 경우 경제성 분석은 환경부의 연구결과<sup>9)</sup>에 따르면, 스팀 형태로 이용할 경우 수요처의 존재 여부와 열 판매 가격에 의해 영향을 받으며, 수요처와 가까울수록 열 공급을 위한 배관시설 등의 설치에 소요되는 비용이 적게 소요되므로 경제성 확보의 가능성이 높아지는 것으로 분석되었다. 수요처가 3km 이내에 존재할 경우, 열 판매단가의 상향 조정(현행 대비 20% 수준)또는 열 공급시설에 대한 투자비 보조(30%)가 이루어질 경우 경제성 확보가 가능하다는 결과를 제시하고 있다. 증기를 장거리 이송하는 경우에는 재가열 설비가 없는 한 이송거리는 대략 2km정도 까지가 적당한 것으로 제시하고 있다 에너지관리공단, (2005).

전력생산의 경우 발전 효율의 제고에 근본적 한계로 인하여, 현행 전력판매단가(발전차액 포함)로는 경제성 확보의 가능성이 없는 것으로 제시하고 있다. 여열의 발생량 및 발생효율의 시설별·계절적 변동으로 스팀의 공급 불안정성 문제가 상존할 뿐 아니라 수요처가 소수의 집단에너지사업자로 제한되어 있어 스팀공급이 에너지로서의 실제 가치에 비해 상당히 낮은 수준의 시장가격에서 거래되고 있다 환경부 (2008).

각 사례별 저감량의 평가는 저감방안 실행을 하지 않았을 경우를 기준배출량으로 하고 사업수행 이후의 배출량을 산정하여 저감량을 산정하였다.

실제 배출량의 타당성평가와 이행배출량 검증을 통하여 저감량을 산정한 경우는 지식경제부 에너지관리공단 주관의 온실가스 저감실적 인정사업에 참여하여 검증을 지속하여 받고 있는 C소각장을 대상으로 하였다. 일부는 계산방식에 의하여 저감량을 산정하였으며, 총투자비용대비 온실가스 저감량은 수명기간의 지속성은 고려하였다. 저감방안 실행 전과 후를 비교하는 방식으로 하였으며 저감방안 시행이후 지속적으로 저감이 진행될 것을 가정하여 산정하였다. 전력의 경우 단위 전력당 온실가스 배출계

---

9) 환경부, 2008, 폐기물 에너지화 사업의 경제성 분석 연구



수를 적용하여 산정하였으며, 스팀의 경우에는 스팀배출계수를 적용하여 산정하였다. 또한 실제 측정방법이 아닌 계산에 의한 방법을 고려하였다. 실제 저감수단의 실행 이후 실측에 의한 검증부분은 추후 연구가 필요한 부분이며 이의 실증을 위해서는 지속적인 모니터링과 장기적인 관찰이 필요하다.

#### 4.2.1 지역난방에 열 공급

첫 번째 사례로 A사는 인근의 4개 소각장으로부터 열을 공급받고 있으며, B사업소의 경우 B시의 소각장에서 열을 공급받고 있다.

<표 38> A 사의 열공급현황

구분		A사업소	B사업소
열공급 시 설	CHP(발전)	344Gcal/h	357Gcal/h
	자원회수시설	54Gcal/h (4개 소각시설)	28Gcal/h
공급지역	열공급지역	인근 4개 지역	인근 4개 지역

출처) 00(주), 2009, 환경경영보고서

00시 자원정화센터 소각열 활용사업의 경우 2008년 9월 저감사업으로 등록하였으며 폐열회수량은 22,403Gcal/1년 이다. 온실가스 저감량은 배출계수 0.2517 tCO<sub>2e</sub>/Gcal 사용하여 산정할 경우 5,638 tonCO<sub>2</sub>/년이다.

전국 평균 배출계수인 0.2083tCO<sub>2e</sub>/Gcal<sup>10)</sup> 으로 산정할 경우 온실가스 저감량은 4,666 tonCO<sub>2</sub>/년으로 산정되었다. 투자비용대비 온실가스 저감량은 산정한 결과 1톤을 저감하는데 평균 312,000원이 소요되는 것으로 나타났다.

10) 한국지역난방공사 발표 2006~2008년 평균배출계수

열공급시설의 설치이후 수명기간을 고려하여 저감량을 산정할 수 있다. 일반적인 열배관의 평균 수명은 30년 이상<sup>11)</sup>으로 보고 있다. 30년간 총 온실가스 저감량은 935,640tCO<sub>2e</sub>로 예상된다. 그러나 유지관리의 방법에 따라 이 수명은 증가하거나 단축될 수 있다. 30년 간 사용하고 폐기하는 것이 아니고 구간별로 배관을 교체하여 사용 가능하다. 일반적으로 소각장의 수명은 스토커식의 경우 15년으로 보고 있으며 투입 폐기물의 성상과 유지보수에 따라 20년까지 사용가능한 것으로 알려져 있다.

소각장의 열설비(열교환기 및 펌프)설치하여 지역난방용 온수를 생산공급하는 사업의 사례로 투자비는 9,744백만원이며 열생산은 연간 149,730Gcal이다. 온실가스저감량은 36,835tonCO<sub>2</sub>/년 (배출계수 : 0.2460 tCO<sub>2e</sub>/Gcal 사용)이며, 전국 평균 배출계수인 0.2083tCO<sub>2e</sub>/Gcal을 적용하면 온실가스 저감량은 31,188 tonCO<sub>2</sub>/년으로 산정된다.

GS과위에서 지식경제부 온실가스 저감사업으로 인증을 받은 온실가스 저감량은 광명소각장 184,174tonCO<sub>2</sub>/5년, 과천소각장 27,765tonCO<sub>2</sub>/5년 이다.

두 번째 사례로 C소각 시설로 약 130억원을 투자비용하여 인근 지역난방공사에 열공급하는 것으로 온실가스 저감사업 등록(KVER)은 2008년에 하였다. 연도별 온실가스저감량은 2008년에 28,853 tCO<sub>2e</sub>, 2009년에 26,227 tCO<sub>2e</sub>, 2010년에 27,555 tCO<sub>2e</sub>이다. 2008년부터 2010년까지 3년간 평균 저감량은 27,545tCO<sub>2e</sub> 이다. 투자비용대비 온실가스 저감량을 산정한 결과 1톤을 저감하는데 471,000원 이 소요되는 것으로 나타났다. 열공급 배관의 수명기간을 30년으로 볼 경우 총 저감량은 826,350tCO<sub>2e</sub>으로 예상된다.

소각시 발생하는 열은 폐열보일러를 통하여 회수되며 발생한 열의 공급은 온수 또는 증기의 형태로 인근의 지역난방사업자로 공급된다. 기존에 자체 소비 및 인근의 주민편의시설로 공급되는 방식에서 외부로 관로를 연결하는 방식으로 이를 평가한 결과 <표 39> 과 같이 전체 92점으로 평가되었다.

---

11) 열배관 설계요구 사양 (지역난방공사)

<표 39> 열 공급시 평가결과 (C 소각장)

평가 항목	세부평가항목	배점	평가 점수	사 유	
경제 적측 면	총투자비용 / 저감량	5	5	상	
	총투자비용 / 누적저감량	5	5	상	
	총투자비용 회수기간	25	21	10년 이내	
	저감량(tCO2)	20	20	20,000톤 이상	
	소계	55	51		
기술 적측 면	기술 안정성	1	1	상	
	기술 내구성	1	1	30년	
	관리운영 용이성	8	8	상	
	소계	10	10		
환경 적측 면	환 경 영	설비 설치시	3	1	설치시 배관공사
	향정도				
		2차 오염물질 발생	1	1	없음
		입지제약	8	8	도시형 설치공간 우수
		소계	15	13	
사회 적측 면	정부지원	5	5	정부지원 및 KVER 등록됨	
	민원여부	10	10	민원 없음	
	사회적책임	5	3	스팀공급으로 에너지 단가 하락기여	
	소계	20	18		
총 점		100	92		

#### 4.2.2 전력생산 방법

폐열 발전기 설치사례는 전기 설치로 자체소비 및 전력공급하는 방안으로 온실가스저감량은 768 tCO<sub>2e</sub> /년(전력배출계수 : 0.4444 ton CO<sub>2</sub>/MWh) / 804 tCO<sub>2e</sub>/년 (전력배출계수 : 0.4653 ton CO<sub>2</sub>/MWh 적용시)이며 투자비용은 약 10억원 발전용량은 300kWh 연간 발전량은 1,728,000kW (년간 240일 가동기준), 투자비 회수기간은 8년으로 계획하고 있다.

투자비용대비 온실가스 저감량을 산정한 결과 1톤을 저감하는데 1,243천원 이 소요 되는 것으로 나타났다.

소각장에 설치된 발전기의 수명은 일반적으로 15년으로 보고 있다. 15년간 총 온실 가스 저감량은 12,060 CO<sub>2e</sub> ton으로 예상된다.

$$1,000,000\text{천원} \div 804\text{tonCO}_2\text{e/년} = 1,243.78 \text{ 천원/ton (년)}$$

B 소각장은 폐열발전기 설치사례로 폐열발전시설의 용량은 400kW로 연간 발전가능한 전력량은 3,072GWh에 이른다. 발전 시설도입을 위한 총 투자예산은 922백만원으로 조사되었다. 투자회수기간은 2.2년으로 다른 저감방안에 비하여 상대적으로 짧은 기간이다.

폐열발전을 할 경우 20년간 28,646 tCO<sub>2eq</sub>(1년간 1,432 tCO<sub>2eq</sub>) 를 감축할 수 있는 것으로 계산되었다. 폐열발전은 전력생산효율이 높고, 그로 인한 온실가스 감축량도 크다. 투자비용대비 온실가스 저감량을 산정한 결과 1톤을 저감하는데 643,000원 이 소요되는 것으로 나타났다.

$$922,000\text{천원} \div 1,432\text{tonCO}_2\text{e/년} = 643.72 \text{ 천원/ton (년)}$$

경제적 측면에서 평가한 결과 전체 평가 중 중간정도로 평가되었으며, 입지조건이 농촌형일 경우 가장 타당한 방안으로 고려되었다. 전력생산에 평가결과 평점이 82점으로 평가되었다.

<표 40> 전력생산시 평가결과 (B 소각장)

평가 항목	세부평가항목	배점	평가 점수	사 유	
경제 적측 면	총투자비용 / 저감량	5	3	상대적 중	
	총투자비용 / 누적저감량	5	3	상대적 중	
	총투자비용 회수기간	25	21	8년 이내	
	저감량(tCO2)	20	15	12,000톤	
	소계	55	42		
기술 적측 면	기술 안정성	1	1	상	
	기술 내구성	1	1	15년	
	관리운영 용이성	8	8	상	
	소계	10	10		
환경 적측 면	환 경 영 향정도	설비 설치시	3	3	설치시 영향없음
		설비 운영시	3	2	소음발생
	2차 오염물질 발생		1	1	없음
	입지제약		8	8	도시형 설치공간 우수
	소계		15	14	
사회 적측 면	정부지원		5	4	정부지원 받음 KVER등록 불가
	민원여부		10	9	소음발생
	사회적책임		5	3	스팀공급으로 에너지 단가 하락기여
	소계		20	16	
총 점		100	82		

#### 4.2.3 전력절감(인버터 설치)

시설용량이 200ton/일으로 100ton/일용량 2기를 보유하고 있는 A소각장 저감량을 산정을 하였다. 소각시설의 여열 이용설비로는 폐열보일러와 터빈발전기가 있으며 열을 외부에 공급하기 위한 온수열교환기가 설치되어 있다.

전기이용의 효율화를 기하기 위하여 유인송풍기에 인버터를 설치하여 가동 중에 있으며 이로 인한 전력량 저감량 만큼 외부에 매각하는 효과를 보고 있다.

온실가스저감방안은 연소가스 배기용 송풍기인 ID(Induced draft) fan에 인버터 적용하는 것으로 사업시행일은 2008년 검토하여 2011년 설치 완료하였다. 온실가스 저감원리는 전기사용량을 줄이는 것이다. 쓰레기의 투입량과 발열량정도 운전조건에 따

라 풍량의 변화가 50 ~ 80%<sup>12)</sup>가 변화하지만 ID Fan은 일정하게 운전되고 있어 전력손실이 많다 이에 따라 풍량 변화에 따라 제어가 가능한 컨버터를 설치하여 전력사용량을 저감하는 것이 가능하다. 인버터 채용시의 효과는 기동정지시 발생하는 기계적 충격완화로 기계의 수명연장이 가능하고 전력계통의 안정화가 된다. 적용대상 설비는 ID fan이다.

ID Fan사양 : 풍량 1,137m<sup>3</sup>/min 정압 : 870mmAq 모터용량 : 250KW

<표 41> 전력 저감량 산정<sup>13)</sup>

구분	개선전 전력량 (KWh/년)	개선후 전력량 (KWh/년)	절감량 (KWh/년)	온실가스 환산 <sup>14)</sup> (ton CO <sub>2</sub> /년)
ID Fan	2,688,000	1,401,044	1,286,956	603.7

연간 전력 절감량을 온실가스 배출량 절감량으로 환산을 하면 607톤을 절감할 수 있을 것으로 계산되었다. 2010년 10월 가동이 시작하여 현재까지 가동 중이며 실제 전력의 절감량을 역송하여 전력판매량을 증가시키는 효과를 달성하였다.

설치공사비는 397,727천원으로 연간 절감한 전력량을 금액으로 환산하여 투자비를 회수할 수 있는 기간은 약 3년 8개월로 산정되었다.

$$397,727\text{천원(설치비)} \div 108,615\text{천원(연간절감액)} = 3.662 \text{ (약 3년 8개월)}$$

투자비용대비 온실가스 저감량은 연간으로 하였을 경우 연간 온실가스 1ton은 절감하는데 658,800원이 소요된다. 인버터의 수명을 15년간으로 하면 15년 동안으로 9,055ton을 절감할 수 있는 것으로 산정되었다.

12) E소각장 ID fan설계자료

13) 절감전력 산정은 컨버터 설치업체에서 제시한 값임.

14) 전력배출계수 0.4691tonCO<sub>2</sub>/MWh로 산정함.

전력절감(인버터 설치)에 평가결과 평점이 84점으로 나타났다. 인버터 설치의 경우 투자비용대비 회수기간이 가장 짧으며 3년 8개월로 효과도 즉시 나타난다.

<표 42> 유인송풍기 인버터 설치시 평가결과 (A 소각장)

평가 항목	세부평가항목	배점	평가 점수	사 유	
경제 적측 면	투자비용 / 저감량	5	5	상	
	투자비용 / 누적저감량	5	5	상	
	투자비용 회수기간	25	23	3년 8개월	
	저감량(tCO <sub>2</sub> )	20	10	9,055톤	
	소계	55	43		
기술 적측 면	기술 안정성	1	1	상	
	기술 내구성	1	1	15년	
	관리운영 용이성	8	8	상	
	소계	10	10		
환경 적측 면	환경영 향정도	설비 설치시	3	3	설치시 영향없음
		설비 운영시	3	2	하
	2차 오염물질 발생	1	1	없음	
	입지제약	8	8	도시형 설치공간 우수	
	소계	15	14		
사회 적측 면	정부지원	5	3	정부지원 있음 KVER등록 불가	
	민원여부	10	11	민원 없음	
	사회적책임	5	3	전기절약	
	소계	20	17		
총 점		100	84		

#### 4.2.4 태양광

실제 소각장내에 설치되어 가동하고 있는 태양광관련 사례가 없어서 최근 설치한 00군(50kW)의 태양광 발전 사례를 분석하였다. 투자비 3억 5천만원이며, 발전시설 설치에 따른 연간 발전전력량은 63,875kWh (50kW×3.5시간/일×365일)이며 석유절감효과로 산정시에는 1kWh 발전시 0.2431 L의 석유절감 효과가 있으므로 50kW설치시 15,528L/년(63,875kWh×0.2431) 절감효과가 있는 것으로 나타났다. 석유단가로 하여 투자회수율을 산정하면 약22년으로 예상하고 있다. (15,528×1L 당 1,030원 = 15,993천원) 연간 전력생산량인 63,875kWh을 전력배출계수 0.4653 ton CO<sub>2</sub>/MWh를 적용하여 온실가스량으로 산정할 경우 29.72 tCO<sub>2</sub>/년으로 계산된다.

$$350,000\text{천원} \div 29.72\text{tonCO}_2\text{e /년} = 11,776\text{천원 / tonCO}_2\text{e (년)}$$

수명기간을 25년으로 할 경우 총 온실가스 저감량은 743tonCO<sub>2</sub>e으로 예상된다. 태양광의 수명기간은 제조자는 최소 20년에서 30년으로 주장하고 있다. 그러나 모듈의 수명은 일반적으로 비슷하다고 생각될 수 있지만 실제 모듈의 수명은 모듈의 설치 지역의 기후 및 위치에 따라 달라진다.<sup>15)</sup>

태양전지는 태양광을 전력으로 변환하는 동안에 어떠한 물질도 소모시키지 않는다. 그러므로 이론적 수명은 무한하다. 다만 태양전지 모듈이 환경에 얼마나 견딜 수 있는가 하는 것이 관건으로 대부분 업체들은 모듈의 내구성을 25년으로 보장하고 있다. 습하고 염분이 있는 환경은 모듈의 수명을 단축시킬 수 있다.<sup>16)</sup>

태양광에 평가결과 평점이 41점으로 최하위로 나타났다. 이는 경제성 측면에서 최하로 평가되었기 때문이다. 특히 설치비용의 회수기간이 22년으로 길고 누적 저감량도 상대적으로 길기 때문이다.

15) 태양전지 수명추정을 위한 출력특성에 관한 연구 2010.2 홍익대학원 석사논문 홍사근  
16) 우진전기 [http://www.woojinelect.co.kr/forum/forum.asp?PageFn=View&n\\_seq=260](http://www.woojinelect.co.kr/forum/forum.asp?PageFn=View&n_seq=260)



<표 43> 태양광 설치시 평가결과 (00군 사례)

평가 항목	세부평가항목	배점	평가 점수	사 유	
경제 적측 면	투자비용 / 저감량	5	1	하	
	투자비용 / 누적저감량	5	1	하	
	투자비용 회수기간	25	1	22년	
	저감량(tCO <sub>2</sub> )	20	1	743톤	
	소계	55	4		
기술 적측 면	기술 안정성	1	1	상	
	기술 내구성	1	1	25년	
	관리운영 용이성	8	8		
	소계	10	10		
환경 적측 면	환 경 영 향정도	설비 설치시	3	3	설치시 영향없음
		설비 운영시	3	2	
	2차 오염물질 발생	1	1	없음	
	입지제약	8	7	설치가능	
	소계	15	13		
사회 적측 면	정부지원	5	3	정부지원 있음 KVER 등록 불가	
	민원여부	10	11	민원 미약	
	사회적책임	5	3	전기절약	
	소계	20	17		
총 점		100	41		

### 4.3 저감방안의 평가결과 종합

종합평가 결과 열공급배관을 설치하여 지역난방공사로 열공급이 92점, 인버터설치 84점, 폐열을 이용한 발전기설치로 전력생산 82점, 태양광 41점으로 평가대상 소각장의 사례로만 비교평가한 결과 열공급이 가장 좋은 평점을 받아 최고의 대안으로 나타났다. 열공급의 경우 입지조건이 농촌형일 경우에는 불가능한 대안이므로 추가적인 대안책이 필요하다. 평가결과 선정된 지표가 타당함을 확인할 수 있었으나 평가자의 이해관계에 의하여 점수가 변경될 수 있을 것으로 예상된다.

<표 2> 소각장별 적용 저감기술 활용현황과 비교할 경우 스팀생산은 전소각장에서 실

시하고 있었으며, 평가결과 최하위인 태양광의 경우 현재 고려는 하고 있으나 실제 설치되어 활용된 경우는 없었다. 발전의 경우 스팀생산보다는 빈도가 떨어지나 우수한 저감수단이 되고 있음을 보여준다. 인버터 설치의 경우는 전력생산과 유사한 점수를 보여주고 있지만 저감량을 기준으로 볼 경우 전력생산이 우수한 수단으로 나타났다.

<표 44> 각 저감방안별 평가결과

평가 항목	세부평가항목	배점	열공급	전력생산	인버터설치	태양광	
경제적 측면	투자비용 / 저감량	5	5	3	5	1	
	투자비용 / 누적저감량	5	5	3	5	1	
	투자비용 회수기간	25	21	21	23	1	
	저감량(tCO <sub>2</sub> )	20	20	15	10	1	
	소계	55	51	42	43	4	
기술적 측면	기술 안정성	1	1	1	1	1	
	기술 내구성	1	1	1	1	1	
	관리운영 용이성	8	8	8	8	8	
	소계	10	10	10	10	10	
환경적 측면	환경영향 정도	설비 설치시	3	1	3	3	3
		설비 운영시	3	3	2	2	2
	2차 오염물질 발생	1	1	1	1	1	
	입지제약	8	8	8	8	7	
	소계	15	13	14	14	13	
사회적 측면	정부지원	5	5	4	3	3	
	민원여부	10	10	9	11	11	
	사회적책임	5	3	3	3	3	
	소계	20	18	16	17	17	
총 점		100	92	82	84	41	
순위			1위	3위	2위	4위	

최적 저감방안인 열을 인근 지역난방사업자에 공급하는 방안의 전제조건으로 소각장의 입지가 지역난방사업자와의 이격거리가 인접해야 하고 열공급 관로의 설치에 장애물이 적어야 한다.

전력 생산의 경우 인버터설치보다 낮게 평가되었다. 전력생산은 열을 직접 사용하는 것보다 효율이 낮아 좋은 대안으로 평가되지는 않지만 인근에 열 공급처가 없을 경우 가장 좋은 방안이 될 수 있다. 성주군, 양양군, 홍천군, 영동군의 경우 최근 국책사업<sup>17)</sup>으로 진행되고 있는 에너지 절약사업에 선정되어 소각장에 추가적으로 설치하고 있는 발전설비의 경우 대부분 시설의 입지가 열을 필요로 하는 지역과 거리가 있는 소도시의 소규모 소각장위주로 지원되고 있다. 이들 소각장의 경우 인근에 열공급을 필요로 하는 대단위 아파트단지나 공단이 입주할 경우 열공급 방식으로 전환을 검토할 수 있을 것이다. 스팀/온수공급과 전력생산으로 인한 온실가스 저감량이 가장 크며 각 소각장별로 설치하였거나 계획하고 있는 유인송풍기 구동 모터에 인버터를 설치하여 저감하는 방안이 우수한 점수를 받았다. 기타 저감방안으로 실시되고 있는 사항은 온실가스 저감량이 미미한 실정이다. 하지만 소량의 저감량이 전국적으로 확대되면 큰 성과를 가져올 수 있으므로 소규모의 저감방안도 필수적으로 실시되어야 할 것이다. <표 45>에서와 같이 지역난방에 열공급하는 것이 전력절감(인버터 설치)기를 설치하는 것보다 톤당 저감비용이 적음을 알 수 있다. 열공급과 전력을 생산하여 공급하는 저감수단과 비교할 경우 톤당 저감비용은 열공급이 392천원으로 전력생산 공급의 톤당 저감비용 943천원에 비하여 851천원이 저렴한 것으로 나타났다.

---

17) 지식경제부 주관 2011년 지역에너지 절약사업

<표 45> 각 저감방안별 효과 분석

구분	지역난방에 열공급 (C 소각장)	전력생산 공급 또는 자체사용 (B 소각장)	전력절감 (인버터 설치) (A 소각장 )	태양광 (00군)
온실가스저감량 tCO2 (년)	27,555	804	603	16,436
	(1)	(3)	(4)	(2)
톤당 저감비용 (천원 / tonCO2 -년)	471	1,243	658	7,666
	(1)	(3)	(2)	(4)
투자금 회수기간	10년	8년	3년8개월	22년
	(3)	(2)	(1)	(4)

주) ( )안은 순위

## 제 5 장 결 론

본 연구에서 대상으로 한 소각장은 모두 지방자치단체에서 운영하고 있는 시설로서 온실가스 저감방안의 도입은 경제성보다 감축목표 달성을 위하여 도입하는 경우가 많았다. 실제 선정시에도 투자비용이 많더라도 단기간에 목표를 달성할 수 있는 방안을 채택하는 경우가 많은 것으로 조사되었다.

소각장의 저감방안으로 스팀공급, 전력생산, 전기절약 방안을 주로 실시하고 있다. 개발된 지표를 활용하여 실제 평가를 수행한 결과 가장 효과적인 방법으로는 스팀공급으로 나타났으며, 그 다음으로 전력생산으로 파악되었으나 전력 생산의 경우 발전효율이 낮아서 스팀공급보다는 낮은 저감량을 보였다. 그러나 이러한 평가는 소각장의 입지적 요건 및 사회적 책임과 밀접한 관계가 있어 평가결과 점수가 절대적인 선정기준이 될 수는 없을 것으로 판단되었다.

선정평가 항목 및 세부평가항목은 1차적으로 전문가의 의견수렴으로 평가항목을 작성한 후 설문조사를 통한 델파이 기법을 활용하여 도출한 결과로서 경제적 측면, 기술적 측면, 환경적 측면, 사회적 측면으로 도출되었으며 각 항목별 세부평가항목을 도출하였다. 각 항목별 가중치는 전문가의 설문을 통한 방법인 AHP기법을 활용하여 가중치를 정하고 총 100점 만점을 기준으로 하여 배점을 한 결과 경제적 측면은 가장 큰 배점인 55점, 기술적 측면은 10점 환경적 측면은 15점, 사회적 측면이 20점으로 도출되었다. 세부평가항목 중 가장 높은 배점은 투자비용대비 회수기간으로 25점이었으며, 두 번째로는 온실가스 저감량으로 20점이며, 가장 낮은 배점은 1점인 2차 오염물질 발생이었다. 소각장의 온실가스 저감방안의 선정시 고려사항으로는 우선 총투자비용대비 온실가스 저감량, 총투자비용은 많더라도 환경성이 우수한 방법은 폐열을 이용하여 스팀을 지역난방공사에 공급하는 것이다.

소각장에서의 온실가스 저감수단 중 가장 효과가 좋은 것은 여열을 회수하여 증기를 지역난방에 공급하는 방안이며 두 번째 방법은 전기를 생산하여 소내 소비를

보충하고 나머지 전기는 판매하는 방식이다. 이러한 두 가지 방법은 최초 소각장 설계시 반영되어 활용하고 있으나 일부 소각장의 경우 설치위치가 인근의 아파트 단지과 같은 스팀의 수요처와 거리가 멀어 생산한 증기를 대기로 방출해버리는 경우가 있다. 기타 저감방안으로는 소내 전력의 효율적 관리를 위하여 ID Fan에 인버터를 설치하는 방법이 가장 효율적인 방법으로 도출되었다. 또한 소각장의 가동효율 증대를 위한 연소실 개선으로 폐기물 소각량을 증대시킬 경우 단위 소각량당 열회수량을 증대시킬 수 있을 것이다.

본 연구의 한계점으로는 온실가스 저감방안 선정평가 지표개발 과정에서 이해관계자의 구분을 주로 기술적인 접근이 가능한 인원인 소각장의 운영전문가와 소각장의 설계시공 담당전문가를 대상으로 하여 개발했다는 것이다. 본 연구에서 다양한 이해관계자별로 설문을 실시할 경우 선정평가 지표가 일관성이 떨어질 것으로 예상되어 특정 부류별 지표를 개발하는데 중점을 두었다. 그러나 추후 다양한 이해관계자 즉 환경NGO, 지역주민, 관계 공무원을 대상으로 설문조사할 경우 일부 상이한 결과가 도출될 수 있을 것이다. 이는 추후 연구의 진행을 통하여 이해관계자 부류별 평가지표를 달리하여 평가하는 방안이 연구될 필요가 있을 것이다.

소각장 온실가스 저감의 효과적 이행을 위하여 각 소각장별 특성에 맞도록 실시해나가야 한다. 소각장의 운전은 전문 대행업체에서 하고 있으며, 실질적인 주인이라 할 수 있는 지방자치단체에서는 관리감독만 하고 있는 실정이다. 소각장을 보유하고 있는 지방자치단체는 소각장에서의 온실가스 저감을 장려하기 위해 운영업체와 긴밀한 협조가 필요할 것이다. 소각장 운전 중 운영사에서 제시한 개선방안이 온실가스 저감에 효과가 있을 경우 예산지원 및 운영사에 대한 인센티브 지급 등을 고려할 수 있다. 온실가스 저감은 투자없이 소각장의 운영기술만으로는 어려운 실정이다. 반드시투자가 이루어져야 저감도 일어날 수 있다. 투자가 이루어지기 위해서는 온실가스 저감량에 대한 정부구매의 활성화 유도과 범정부차원의 자금지원이 필요하다.

## 참고 문헌

GS과워, 2009, 2009환경경영보고서

강우준, 김찬수, 2010, 국방핵심기술 기초연구 수행기관 선정평가 지표 개발

김정범, 2009, “폐기물 에너지화 동향과 대응방안”, 산은경제연구소

김형수, 박찬욱 2006 AHP기법을 활용한 CRM평가요소의 상대적 중요도 분석

데이코 산업연구소, 2010, “녹색성장을 위한 폐기물 에너지화 사업실태와 전망”

백은희, 2010, 생활폐기물 발열량 증가에 따른 소각장 소각능력 개선방법 분석

신용광, 김창길, 김태영. 2005 계층분석과정(AHP)을 이용한 친환경농업정책 프로그램의 우선순위 결정(농촌경제 제28권 제2호(2005 여름))

양정모, 2007, AHP를 활용한 연구과제 선정방법 개선을 위한 연구, 한국학술진흥재단

임재규, 2006, 기후변화협약 제3차 국가보고서 작성을 위한 기반연구, 에너지경제연구원

이수빈, 홍지형, 김대곤, 이성호, 송형도, 조경덕, 최상민, 임종권, 2007, 한국대기환경학회 학술대회논문집, 폐기물 소각장의 온실가스 배출특성 연구

윤종수, 2010, 폐자원 에너지 적용에 따른 온실가스 저감 잠재력 및 정책효과 분석

장영기, 최상진, 김관, 전의찬, 김득수, 1999, 한국대기환경학회 학술논문집, 폐기물 소각장에서 발생하는 온실가스 배출량 조사

장기윤, 2010, 신재생에너지 사업성 평가를 위한 지표선정에 관한 연구

정나라, 이사라, 김현선, 이승목, 2009, 한국대기환경학회 학술대회논문집, 소각 부문의 직·간접 온실가스 배출량 비교

에너지관리공단, 2008.8.18., 탄소중립마크 부여기준 및 절차에 관한 지침

에너지관리공단, 2005, 소각장의 열이용설비 상세설계 <DICER Techinfo Part II Vol 4>

에너지관리공단, 2009, 에너지별 발전단가

에너지경제연구원, 2008, 에너지통계연보

부천시 자원회수시설, 2010, 소각시설의 효율적인 운영관리

오근찬, 신용건, 박영주, 방명렬, 최지용, 2010, 생활폐기물 소각장의 온실가스 저감 방안에 관한 연구, 강원도보건환경연구원

온실가스종합정보센터, 2011, 자료실

윤미숙, 2000, 비서의 역할 및 역할모델링에 관한 델파이 연구

이정임, 송기수, 2007, 생활폐기물 대형소각장 발열량 관리방안

지식경제부, 2011, 에너지법

차성기, 2006, 델파이 기법을 활용한 해양 레저스포츠 발전과제

한국환경공단, 2010. 9, 지자체 온실가스 배출량 산정지침



환경부 국립환경과학원, 2008, 환경부문 온실가스 배출량 inventory 작성 및 배출계수 개발

환경부, 2008a, 전국 생활폐기물 자원회수시설 운영협의회 2007년도 생활폐기물 자원회수시설 운영현황

환경부, 2008b, 폐기물에너지화 사업의 경제성 분석 연구

환경부, 2009a, 전국 생활폐기물 자원회수시설 운영협의회 2008년도 생활폐기물 자원회수시설 운영현황

환경부, 2009b, 전국 환경기초시설의 최적 탄소중립 프로그램 개발에 대한 연구

환경부, 2010a, 폐자원 에너지화 추진현황

환경부, 2010b, 전국 생활폐기물 자원회수시설 운영협의회 2009년도 생활폐기물 자원회수시설 운영현황

환경부, 2011a, 온실가스·에너지 목표관리제 지침

환경부, 2011b, 전국 생활폐기물 자원회수시설 운영협의회 2010년도 생활폐기물 자원회수시설 운영현황

IPCC, 1996, Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories

## **ABSTRACT**

### A study on the development of assessment indexes for GHG reduction measures from the municipal solid waste incinerator

Shin josoon

Cooperate Course for Climate Change

The Graduate School Sejong University

Emissions of greenhouse gases in the municipal waste incinerator estimated according to “IPCC Guidelines” Greenhouse gases is CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O occurs to incinerated.

According to the Framework Act on Low Carbon Green Growth Managing, the act of greenhouse gas emissions and energy objectives has been performed.

Reduce greenhouse gas emissions from incinerators there is an urgent need for measures. Incinerator operated by local governments, especially if designated to manage their greenhouse gas reduction targets.

In this study, the various greenhouse gas reduction measures were carried out in-depth analysis in a large incinerator to apply in practice. Four incinerator selected by the type of greenhouse gas reduction and GHG emissions amount and emission characteristics were investigated each incinerator.

In addition, Reduction plan is the amount of investment research and investment by reducing cost-effective analysis was performed. Evaluation criteria developed by taking advantage of the introduction of new measures to reduce investment by

evaluating the effectiveness of an objective and reasonably considered to be important. The selection of indicators related to greenhouse gases account for the effect of various fields. and based on this draft by taking advantage of the Delphi technique aimed at professionals in-depth survey of the evaluation criteria were proposed entry. Through AHP method to determine the weights of each item score was given.

Developed as a result of this study include economic aspects, technical aspects, environmental aspects and social aspects, such as four sectors, each points 55, 10, 15, 20 have been determined, the actual indicators derived results of evaluation by applying heat supply district heating is 92 points ranked first, and installing the inverter is 84points ranked 2nd and power generation using waste heat is 82 points ranked 3rd, the solar installation was estimated as the lowest of the 41 points. Reduction of greenhouse gases in the incinerator and reduction of the cost-effectiveness analysis suggested evaluation criteria, but if develop of new technologies in the incinerators and social conditions changed, the selected evaluation criteria in this study that can be derived differently.

<부록 1> 도시쓰레기 소각장 현황(대형)

시설명	소재지	총용량	시설용량		가동 개시일
			톤/일	기	
강남	서울시강남구일원동4-1	900	300	3	02.01.19
노원	서울시노원구상계6.7동772번지	800	400	2	97.04.28
마포	서울시마포구상암동481-6번지	750	250	3	05.06.01
수원	경기도수원시영통구영통동962-3	600	300	2	99.10.28
성남	경기도성남시중원구공단로516번지	600	300	2	98.10.08
양천	서울시양천구목5동900번지	500	200	2	96.03.14
송도	인천시연수구동춘2동1129-2	500	250	2	06.07.01
성서	대구시달서구청서공단로257	480	160	3	93.01.06
창원	경남창원시성산구신촌동127번지	400	200	2	95.03.01
울산	울산시남구성암동150-1	400	200	2	00.07.05
상무	광주시서구치평동내방로2	400	200	2	01.12.10
대전	대전시대덕구신일동1690-5번지	400	200	2	98.11.01
전주	전북전주시완산구상림동580번지	400	200	2	06.09.30
명지	부산시강서구명지동3226-1번지	340	170	2	03.10.16
해운대	부산시해운대구좌동1425번지	340	170	2	96.09.01
대장동	경기도부천시오정구대장동607번지	300	300	1	00.10.13
광명	경기도광명시가학동27(술안길50)	300	150	2	99.02.01
고양	경기도고양시일산동구백석동1234	300	150	2	10.04.01
용인	경기도용인시처인구포곡읍금어리400-2	300	100	3	99.03.15
이천	경기도이천시호법면안평3리684-1번지	300	150	2	08.08.05
청라	인천시서구경서동673-6	250	250	2	02.02.04
삼정동	경기도부천시오정구삼정동363-4	200	200	1	95.06.14
과주	경기도과주시탄현면낙하리153번지	200	100	2	02.07.08
안양	경기도안양시평촌동897-1	200	200	1	94.04.28
안산	경기도안산시단원구초지동661-11	200	200	1	01.04.06
군포	경기도군포시산본동962-1번지	200	200	1	01.06.12
김해	경남김해시장유면부곡리490번지	200	200	1	01.03.20
천안	충남천안시서북구백석동531번지	200	200	1	01.11.11
의정부	경기도의정부시장암동76	200	100	2	01.11.09
산북	제주도제주시회천동산5-2	200	100	2	03.04.03
익산	전북익산시부송동157-121	200	100	2	09.09.22
다대	부산시사하구다대동1548-5	160	160	1	95.08.30
공항	인천시중구운서동1824-3	140	70	2	01.06.08
구리	경기도구리시토평동9-1	100	100	2	01.10.12
과천	경기도과천시갈현동205-1	80	80	1	99.12.07
수지	경기도용인시수지구풍덕천2동1129번지	70	35	2	00.05.01
산남	제주도서귀포시색달동산8-1	70	70	1	04.01.12

출처) 환경부 전국 생활폐기물 자원회수시설 운영협의회 2010 '10년도 생활폐기물 자원회수시설 운영현황

<부록 2> 소각장별 열생산량 및 이용현황 (2010년)

구분	소각량(톤)	열생산량 (Gcal)	이용현황				편익/부 대시설 (수영장) (Gcal)	자체 사용량 (Gcal)	
			열공 급량 (Gcal)	전력생산					
				사용량 (Gcal)	생산 (MWH)	이용 (MWH)			판매 (MWH)
총계	3,116,017.32	7,203,938	3,620,443	1,153,731	206,275	142,099	57,130	203,097	2,226,669
대장	72,903.19	193,575	135,760	1,018	480	480			56,797
삼정	12,257.56	30,839	19,563						11,276
안양	51,609.14	117,602	99,962						17,640
다대	45,553.63	96,181	32,023	6,276	4,516	4,470	46.0	3,163	54,719
안산	54,815.02	150,695	72,731						77,964
군포	31,686.31	88,636	56,816						31,820
김해	46,778.93	126,749	70,976	7,864	9,149	6,897	2,252		47,909
천안	58,080.44	126,927	104,205						22,722
산남	18,609.93	31,269							31,269
대전	102,587.09	241,547	164,375						77,172
산북	47,584.08	102,007	399	59,516	7,086				42,092
수원	159,814.14	334,682	242,143					1,486	91,053
광명	79,840.70	154,524	137,226						17,298
노원	160,189.30	271,737	225,453					4,564	41,720
양천	110,145.73	277,016	183,953	10,888	12,662	11,183	1,479		82,175
성남	134,067.01	345,695	227,088						118,607
창원	96,738.67	267,364	66,124	88,531	8,163	7,649	514		112,709
해운대	104,243.49	180,247	103,997	15,180	15,455	14,030	1,425		61,070
울산	108,058.00	228,895	86,521	98,362	6,953	6,177	776		44,013
상무	85,679.10	163,331	39,978	100,167	11,151	9,895	1,256		23,186
수지	22,878.70	34,379	30,936						3,443
공항	15,933.00	40,027							40,027
구리	45,733.68	95,135	5,739	53,110	6,131	6,131		5,839	30,447
청라	122,707.24	268,278	15,258	143,210	12,545	11,352	1,193	27,265	82,545
의정부	48,068.94	107,824		65,055	7,439	7,074	365	2,388	40,381
파주	42,007.97	126,060	48,417	13,258	1,492	34	1,459	15,348	49,037
명지	102,464.74	256,271	132,798	3,254	2,238	2,117	121	13,431	106,788
전주	87,626.96	236,927		194,190	22,518	10,000	12,518	7,480	35,257
이천	85,698.95	210,092	5,500	30,829	35,847	12,540	23,307	38,824	134,940
익산	63,030.99	178,226	2,751	121,941	16,170	9,702	6,468	12,677	40,857
고양	71,142.83	163,236	107,827		10,604	9,754	890	1,490	53,919
송도	137,446.68	336,550	141,739					45,611	149,200
용인	68,649.11	140,521		96,717	9,765	7,819	1,946	16,354	27,449
강남	268,422.07	663,476	503,941					4,985	154,550
마포	202,283.82	530,612	385,740	7,587	2,425	1,418	1,007		137,285
성서	126,811.00	243,665	141,241	36,778	3,485	3,377	109		65,646
과천	23,869.18	43,141	29,263					2,190	11,688

출처) 환경부 전국 생활폐기물 자원회수시설 운영협의회 2010 10년도 생활폐기물 자원회수시설 운영현황

<부록 3> 온실가스·에너지 목표관리 지침상의 저감수단 및 적용사례

구분	대분류	중분류	세부개선내용	소각장 적용사례
건물/ 조명	빌딩 외면	태양열 부하	빌딩의 유리창 면적 저감	
			창문을 착색시켜 열 흡수 축소	
			지붕에 색을 입혀 태양열 부하 축소	
		단열 및 기밀유지	출하문 주위에 에어실링	
			창이나 문의 틈새 기밀유지	
			지붕이나 벽의 개구부를 제어하는 센서 사용	
			고속 차단문/에어커튼 문 설치	
			유리창, 벽, 천장, 지붕 단열	
			건물 외벽 적정 두께 단열 사용	
	기 타	2~3층창을 사용하여 상대습도 유지 및 열손실 방지		
		회전문 설치		
		칸막이 설치로 공조 공간 축소		
	조명	조명 관리	최소 안전 수준까지 조도 감소	
			인공조명 대신에 자연채광 이용	소각실 / 사무실
			조명회로 분리를 통한 구역별 점등	
		설비 개선	천장이 높을 경우 조명설비 낮추기	
			고효율 조명기기 사용	LED 설치
			절전형 전자식 안정기로 교체	가로등/보안등
보다 효율적인 조명원 이용				
제어 및 소등		고조도 반사갓 설치로 전구수를 저감		
		구역 조명 스위치 추가		
		거의 사용하지 않는 구역의 조명에 타임 스위치 설치		
기 타	근접 센서 또는 자연광 센서 설치	화장실/사무실		
	관리계획 수립을 통한 불필요개소 소등			
	기타 조명개선			
공조	공기 조화	운전방법 개선	동절기는 온도를 낮추고 하절기는 온도를 올림	사무실/주민협의체
			사용공간 및 최소필요 공간만 냉난방	
			작업시간 외에는 냉난방 저감	
			warm-up/cool-down 주기에는 외부 공기 댐퍼 차단	
		설비개선 -냉난방	컴퓨터 프로그램을 이용하여 공조 성능 최적화	
			공기조화 열교환기에 냉수 대신 냉각수 사용	
			고온다습한 오염 공기의 공조시스템 유입을 방지	
			계측설비 보강을 통한 제어 능력 개선	
	국부 난방에는 복사가열기(Radiant Heater) 사용			
	기존 공조설비를 고효율설비로 대체			
	적절한 용량으로 설계된 공조설비 사용			
	냉난방에 Heat Pump 이용 공조			
	보충외기 가열에 직화 설비 설치			
	지붕에 물을 증발시켜 공조부하 감소			
전기 가열기를 Heat Pipe로 대체				

<부록 3> 온실가스·에너지 목표관리 지침상의 저감수단 및 적용사례 (계속)

구분	대분류	중분류	세부개선내용	소각장 적용사례
공조	공기 조화	설비개선 -공 조	냉매 수분 및 응축가스 제거로 효율 제고	
			공조 설비에 외기덤펀 또는 급수예열기 설치	
			변풍량유니트에서 Zone별 재열코일 설치	
			공기순환흐름을 개선	
			배연설비 정화방법 개선	
			전열교환기 등을 이용하여 빌딩배출공기와 보충공기 열교환	
			난방부하 감소를 위한 스프링클러 설비 적정화	
		공조 시스템 보온재 설치 및 강화		
		제어개선	타이머 또는 자동온도조절장치 설치	
			공조/난방시스템에서 공기조화 제어 분리	
			공기냉각 시스템 변경으로 압축기 압력 강화	
			난방시스템과 공조시스템 연동으로 동시 운전 방지	
			건조용 습도 제어 시스템 설치	
		환 기	층별 난방분배기 분리 운영	
			방을 사용하지 않을 때는 환기 시스템 차단	
			환기를 위한 외기 도입 사용 최소화	
			가열, 환기, 공조용 공기 재순환	
		기 타	환기량 감소	
최소 안전수준까지 환기량 감소				
배기팬 제어를 중앙집중관리 또는 수동조작을 스케줄링함				
천장을 낮춰 공조 공간 축소				
계측설비 보강을 통한 제어 능력 개선				
대체에 너지 사용	대체 에너 지	태양에너지	태양전지를 이용한 전력생산	고려가능
		풍 력	풍력을 이용한 발전기 설치	타당성 낮음
		수 소	폐수소를 활용한 연료전지 설치	
		바이오	유기체 발효 메탄가스를 에너지로 활용	
공정 개선	공정 개선	조업공정 개선	조업개선	폐기물 반입조정
			생산성 향상	가동율 향상
			공정개선	전처리공정설치
			공법개선	CCS설치
		관리방법개선	이론공기량 조절	
기 타	기타 주요 생산공정 개선			
연소 설비 전 환	보일 러	설비개선	급기팬 인버터 적용	
		노후수관, 연관 교체 및 보완		
	기 타	보일러 튜브 청결 유지(세관 및 청결제)		
		기타 보일러 개선		
	에너 지 지원 연료 대체	화석연료 간	보다 저렴한 연료 연소	
			유류연료를 가스연료로 전환	경유 → LNG
연료대체	온실가스 발생이 적은 친환경 연료로 전환			

<부록 3> 온실가스·에너지 목표관리 지침상의 저감수단 및 적용사례 (계속)

구분	대분류	중분류	세부개선내용	소각장 적용사례	
증기시스템	증기시스템	트랩류	증기트랩 설치		
			적정크기 트랩 사용		
			트랩 수리 및 교체		
			미 사용시에 증기트랩 차단		
			배관말단 자동 Air Vent장치 설치로 손실저감		
		응축수	응축수 회수량 증대		
			응축수라인 단열 및 보수		
			급수탱크 단열		
			응축수 회수라인에 탈기기를 설치		
			대기압 이하에서 복수(Surface Condenser)		
			증기(증기) 작동압력 적정화		
재증발증기 회수 활용 또는 저압증기 생산	추가 여열회수				
증기응축수로 공정용 온수 공급					
증기압을 이용한 응축수 회수(전력절감)					
전력시스템	수요관리	역률	역률제어기 사용		
			진상용 콘덴서 설치를 통한 역률 개선		
			공장 역률 최적화 조정		
	발전	발전일반	직류설비를 교류설비로 대체		
			효율적인 정류기 설치		
			고효율 터빈으로 교체	발전기 교체	
			증기 감압을 이용해 전력 생산		
				과도한 주기 지양	
	모터시스템 모터시스템	운전방법 개선		효율적인 벨트와 개선된 메커니즘 등을 사용	
				구동방해요소를 제거하기 위해 Soft-Start 설치	
부하율이 낮은 모터에 전압 제어기 설치					
모터		설비개선	과용량 모터와 펌프를 최적용량으로 교체		
			peak 운전효율에 맞는 전기 모터 도입		
			고효율의 전동기로 교체	많이 사용	
			전기모터를 화석연료 또는 증기 구동으로 대체		
			인버터를 사용하여 펌프, 블로어, 압축기 부하변화에 대응	많이 사용	
			모터 전기 설치		
에너지절약형 유체커플링 도입					
기타	기타 모터설비 개선				
공기압축기	운전방법 개선		압축공기 압력을 최소 필요 압력으로 감압		
			압축공기가 불필요한 라인은 폐쇄하거나 제거		
			압축공기라인이나 밸브의 leak 제거		
			압축공기이용 냉각 방식을 물이나 공기 냉각 방식으로 대체		



<부록 3> 온실가스·에너지 목표관리 지침상의 저감수단 및 적용사례 (계속)

구분	대분류	중분류	세부개선내용	소각장 적용사례
모터시스템	공기압축기	설비개선	흡입공기를 냉각하거나 흡입구를 서늘한 곳으로 이동	
			공기라인에 적정한 Dryer를 설치하여 블로우다운 제거	
			안전관련시스템에는 압축공기 대신 직접작동기기를 설치	
			압축기 제어방식 개선	
			공통 Header 설치	
			최적용량의 압축기 사용	
			압축기 공기 필터 사용	
			노후설비 교체를 통한 효율 제고	
		기 타	적정구경 배관교체를 통한 손실 최소화	
		기타 공기압축기 개선		
	모터구동설비	운전방법 개선	기계적 에너지 회수	
			필요 최소압력으로 운전	
			적정양정에 맞도록 토출량 제어하여 과다양정 지양	
		설비개선	노후 설비 Upgrade	소각로 보수
			효율적인 대용품 사용 및 대체	
			크기와 용량이 최적인 설비 사용	
컨베이어 설비 보완				
모터 절전기 설치				
인버터 설치를 통한 회전수 제어 도입			사례 많음/효율적임	
간헐 저부하에 역률개선장치 채용				
기 타	임펠러 외경가공 또는 교체 및 폴리교체 등으로 적정용량화			
	기타 모터구동설비 개선			

<부록 3> 온실가스·에너지 목표관리 지침상의 저감수단 및 적용사례 (계속)

구분	대분류	중분류	세부개선내용	소각장 적용사례
열사용 (냉/온) 설비	열회 수	배기가스 열 회 수	배기가스 폐열을 이용하여 연소공기 예열	
			배기가스 열을 이용하여 보일러 급수 예열	
			고온 배기가스열을 이용하여 Incinerator 폐기물 예열	프리히터
			폐열보일러 설치로 증기 또는 동력 생산	가장 많이 사용
			고온 배기가스로부터 폐열을 이용하여 증기 발생	
			배기가스로부터 폐열을 회수하여 공조용 공기 가열	
			난방 및 오븐 등의 방열기에 배기가스 이용	
		공정여열 회 수	공정 폐열로 보일러 보충수 예열	
			폐열로 연소용 공기 예열	
			가열 또는 냉각 공정 배출공기 재이용	
			공정폐열 및 고온 공정 Stream을 이용하여 Feed 예열	
			배증기 열 회수 재이용	
			열교환기를 통한 고온폐수 열 회수	
			고온자재 냉각에 사용한 냉각공기 이용 난방	
	Heat Pump 설치를 통한 폐수열 회수			
	기 타	계측설비 보강을 통한 제어 능력 개선		
		열교환기 세관을 통한 효율향상	폐열보일러 청소	
		노후설비 교체를 통한 효율 제고		
		전열면적 확대를 통한 열전달 효율 증대	효율향상	
		기타 열회수		
	보온 및 열차 단	보온단열	미보온 설비의 보온	
			단열두께 증대	
			경제적인 최적 두께로 보온 보완	
			공조구역 가열방지를 위한 증기배관 단열	
			가열 또는 냉각 설비 단열	
		기밀유지	장입구 최소화 또는 탈착식 덧문 설치	
			폭발위험 방지 위한 최소공기량만 사용	
기 타		기타 열차단 개선		

출처) 온실가스에너지목표관리 운영 등에 관한 지침 [참고6] 저감수단코드

<부록 4 > 가중치 결정을 위한 설문서

1. 가중치 결정관련 설문

설문 응답은 쌍대비교(1:1비교)를 통해 2가지 비교대상 중에서 상대적으로 중요하다고 인식되는 대상에 높은 점수를 주게되며, 비교대상의 중요도가 같을 경우에는 1점을 주시면 됩니다(각각의 값은 1:동등, 3:약간중요, 5:분명히 중요, 7:크게중요, 9:절대적 중요, 그리고 사이의 값은 각각의 중간 값으로 평가해주시기 바랍니다.

가) 각 측면별 중요도 분석

경제적측면 : 기술적측면 : 환경적측면 : 사회적측면

문 항	평가지표	척도(상대적인 중요도 수준평가)									평가지표									
		9	8	7	6	5	4	3	2	1		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	경제적 측면	9	8	7	6	5	4	3	2	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	기술적 측면
2	경제적 측면	9	8	7	6	5	4	3	2	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	환경적 측면
3	경제적 측면	9	8	7	6	5	4	3	2	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	사회적 측면
4	기술적 측면	9	8	7	6	5	4	3	2	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	환경적 측면
5	기술적 측면	9	8	7	6	5	4	3	2	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	사회적 측면
6	환경적 측면	9	8	7	6	5	4	3	2	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	사회적 측면

나. 세부항목표 중요도 분석

1) 경제적측면

문 항	평가지표	척도(상대적인 중요도 수준평가)									평가지표									
		9	8	7	6	5	4	3	2	1		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	총투자비용/저감량	9	8	7	6	5	4	3	2	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	투자비용/누적저감량
2	총투자비용/저감량	9	8	7	6	5	4	3	2	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	회수기간
3	총투자비용/저감량	9	8	7	6	5	4	3	2	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	저감량
4	총투자비용/누적저감량	9	8	7	6	5	4	3	2	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	회수기간
5	총투자비용/누적저감량	9	8	7	6	5	4	3	2	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	저감량
6	회수기간	9	8	7	6	5	4	3	2	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	저감량

<부록 4 > 가중치 결정을 위한 설문서

(계속)

2) 기술적 측면

문항	평가지표	척도(상대적인 중요도 수준평가)					평가지표												
1	기술안정성	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	기술 내구성
2	기술안정성	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	관리운영 용이성
3	기술 내구성	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	관리운영 용이성

3) 환경적 측면

문항	평가지표	척도(상대적인 중요도 수준평가)					평가지표												
1	설비 설치시	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	설비 운영시
2	설비 설치시	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	2차 오염물질 발생
3	설비 설치시	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	입지제약
4	설비 운영시	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	2차 오염물질 발생
5	설비 운영시	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	입지제약
6	2차 오염물질 발생	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	입지제약

4) 사회적 측면

문항	평가지표	척도(상대적인 중요도 수준평가)					평가지표												
1	정부지원	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	민원여부
2	정부지원	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	사회적 책임
3	민원여부	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	사회적 책임

<부록 5> AHP분석에 활용한 AHP분석 툴>

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P		
1	< AHP 분석 툴 >															Developed by 양정환 ( <a href="http://yjhyh.egloos.com/">http://yjhyh.egloos.com/</a> )		
2	AHP Calculating Start															<--- 비교행렬의 하얀색 부분을 입력하신 후, 이 왼쪽 버튼을 클릭하시면 가중치 산정결과가 나타납니다.		
3																		
4	(1) 가중치 산정 결과															Consistency Index		0.0631
5	Factor 01	Factor 02	Factor 03	Factor 04	Factor 05	Factor 06	Factor 07	Factor 08	Factor 09	Factor 10	Factor 11	Factor 12	Factor 13	Factor 14	Factor 15			
6	Weight	0.139	0.283	0.176	0.073	0.147	0.182											
7																		
8																		
9	(2) 비교 행렬																	
10	Factor 01	Factor 02	Factor 03	Factor 04	Factor 05	Factor 06	Factor 07	Factor 08	Factor 09	Factor 10	Factor 11	Factor 12	Factor 13	Factor 14	Factor 15			
11	Factor 01	1	0.5	1	3	1	0.33333											
12	Factor 02	2	1	2	3	2	2											
13	Factor 03	1	0.5	1	2	1	2											
14	Factor 04	0.333333	0.333333	0.5	1	0.5	0.5											
15	Factor 05	1	0.5	1	2	1	1											
16	Factor 06	3.00003	0.5	0.5	2	1	1											
17	Factor 07	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	1										
18	Factor 08	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	1									
19	Factor 09	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	1								
20	Factor 10	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	1							
21	Factor 11	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	1						
22	Factor 12	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	1					
23	Factor 13	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	1				
24	Factor 14	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	1			
25	Factor 15	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	1		
26																		

<부록 6> 부문별배출현황

(단위 : 백만톤CO<sub>2</sub> eq, %)

구분	' 90	' 95	' 00	' 05	' 06	' 07	' 08	' 09	증가율 ( '95-' 09)
에너지	243.1 (82.0)	357.7 (79.8)	414.4 (80.7)	469.6 (82.3)	476.6 (82.8)	495.8 (84.2)	509.6 (84.6)	516.0 (84.9)	44.3
산업공정	20.2 (6.8)	51.3 (11.4)	58.4 (11.4)	64.1 (11.2)	62.8 (10.9)	58.6 (10.0)	58.3 (9.7)	56.7 (9.3)	10.5
농업	22.7 (7.7)	23.5 (5.2)	22.4 (4.4)	20.3 (3.6)	19.7 (3.4)	19.3 (3.3)	19.4 (3.2)	19.8 (3.3)	-15.7
폐기물	10.4 (3.5)	15.5 (3.5)	18.5 (3.6)	16.3 (2.9)	16.6 (2.9)	15.2 (2.6)	15.1 (2.5)	15.1 (2.5)	-2.9
총배출량	296.4	448.1	513.7	570.3	575.7	588.8	602.3	607.6	35.6
토지이용 변경 및 임업	-23.1	-22.4	-36.5	-32.4	-33.5	-37.5	-41.0	-42.9	91.5
순배출량	273.3	425.7	477.2	537.9	542.2	551.3	561.3	564.7	32.6

출처) 온실가스종합정보센터, 2011

주) ( )는 비율.

## 감사의 글

기후변화특성화 대학원에 입학하게 되면서 기후변화의 연구분야가 다양함을 알게 되었습니다. 온실가스 검증과 관련 배출계수 개발분야 뿐만 아니라 배출권거래와 CDM, 온실가스 관련 금융, 기후변화관련 정책의 수립, 홍보 등 다양한 분야가 있고 각 분야별 전문가를 만나게 된 것은 저에게 행운이었습니다. 만나는 사람들 모두 비슷한 생각을 갖고 비슷한 업무를 하는 사람들로써 기후변화관련 많은 정보도 교환할 수 있는 기회가 되었으며, 업무상 어려움에 봉착해 있을 때 문의를 할 경우 좋은 조언도 받을 수 있었습니다.

‘기후변화!’ 하면 세종대학교라고 할 정도로 기후변화의 다양한 분야의 전문가들이 지속적으로 입학하고 있고 능력있는 인재들이 배출되고 있어서 한편으로는 세종대학교에서 공부한 것이 자랑스럽게 생각하고 할 것입니다. 논문에 대한 개념부터 지도해주신 박성규 교수님, 논문의 내용을 세심하게 살펴주신 박년배 교수님, 학업의 소중한 가치를 일깨워 주신 전의찬 지도교수님께 감사드립니다.

논문에 필요한 자료수집차 방문시 아낌없이 자료 제공해주신 여러 소각시설 관계자 분께 감사를 드립니다. 하지원 원우회장님을 비롯, 열심히 학업을 하면서 방과 후 한잔하면서 저의 고민상담을 기꺼이 들어주신 여러 원우님들께 감사드립니다.

끝으로 공부 하는데 가장 적극적으로 지원해준 아내 정정애와 학교갈 때 “아빠 학교에 잘 다녀오세요!” 해준 응경, 동석에게 고마움을 느낍니다. 건강이 안좋으신 어머니, 당신께서 평생을 사셨던 집으로 돌아오실 기약이 없이 요양원에 계신 어머니 당신의 둘째아들이 석사학위를 받았어요! 얼른 달려가고 싶다. 지금당장이라도.

2012. 06.