

화력발전에 의한 대기오염의 사회적 비용

이 인 회 I 충남발전연구원 환경생태연구부장

1. 연구의 배경

- 우리나라의 화력발전은 2012년 현재 우리나라 전체 발전량의 64.1%를 점유하고 있으며, 수력이나 원자력발전 시설에 비해 환경오염물질을 더 많이 배출하며, 이는 상대적으로 더 많은 사회적 비용을 발생시킴

< 표 1> 우리나라의 발전원별 발전

(단위: MWh)

발전원	2012	%	2011	%
수력	7,652,301	1.5	7,830,652	1.6
기력	216,336,004	42.5	211,204,803	42.5
복합화력	110,881,933	21.8	101,479,384	20.4
원자력	150,327,294	29.5	154,723,106	31.1
집단	12,912,737	2.5	12,429,067	2.5
기타	11,464,060	2.2	9,226,354	1.9
총계	509,574,329	100.0	496,893,366	100.0

- 충남의 경우 보령(8기), 서천(2기), 당진(8기), 태안(8기) 등 4개 발전소에서 총 26기가 가동 중에 있다. 기수 기준으로 전국 화력발전의 18%를 차지하고, 발전량 기준으로는 40%에 달하여 다른 지역에 비해 충남에 과도하게 많은 화력발전소가 입지하고 있으며, 발전소의 신설(신보령 1·2호기, 태안 9·10호기, 동부제철 화력발전소, 서천화력)이 계획되거나 건설 중에 있어서 현재도 심각한 환경적 피해가 심화될 것으로 판단됨

- 본 연구³⁾의 목적은 충남에 입지한 화력발전소로 인한 대기오염에 의한 사회적 비용을 추정하는 것이다. 연구 방법 및 자료 구축은 i) 발전소별 대기오염과 온실가스 배출 산정을 위해 Clean SYS 자료를 이용, ii) 발전소 대기오염의 사회적비용 산정은 ExternE⁴⁾ 방법론을 원용한 AEAExternE의 분석 결과 자료를 이용하였음
- AEA Technology Environment(AEA Technology Environment 2005) 연구는 EU 25개국과 주변 해안지역의 대기오염에 따른 사회적 비용을 산출하였다. 이 연구는 가장 최근의 연구이면서 연구의 폭을 확대하였고 기존연구 (Holland,Mandwatkiss)들을 포괄하고 있다. 오염물질을 NH3(암모니아), NOx, PM2.5, VOCs의 사회적 비용-용 산출하였다는 점에서 의미를 지니며, 먼지로 인한 사망, 오존으로 인한 사망, 건강에 관한 제반 비용, 식물에 대한 피해까지 포괄적으로 비용을 산출

2. 충남 화력발전의 대기오염에 의한 사회적 비용 추정

- 우리나라에 입지한 발전소의 총 설비용량은 83,465MWh이며, 그 중 화력 발전은 30,941MWh로 37%의 비중을 차지하며, 원자력은 24.8%를 차지함

<표 2> 전국 발전소 현황(2013)

원자력(MWh)	화력(MWh)	기타(MWh)	총설비용량(MWh)
20,715.68 (24.8%)	30,941.15(37.1%)	31,808.51(38.1%)	83,465.35(100%)

자료: 전력통계정보 시스템.2013.5.3

- 충남의 발전소 총 설비용량은 15,891MWh로 우리나라 발전소 총 설비용량의 19%를 차지하며, 화력발전소의 설비용량은 15,252MWh로 전국 화력발전소의 49.3%를 차지함

3) 본 연구는 충남발전연구원의 전략과제로 수행하고 있는 화력발전의 환경적 경제적 피해실태와 전망 중 일부임

4) 오래 전부터 대기오염의 사회적 비용에 관한 연구결과를 집대성한 ExternE (Externalities of Energy, 1999)의 추정 결과는 대기오염 피해 범위로 인체 피해 뿐 만아니라 생산성 감소, 구조물 부식 등 다양한 요소를 고려하고 있기 때문에 널리 인용되지만 SO2,NOx, 먼지 등 3가지 물질에 한정하고 있어 대기오염의 총 사회적 비용이 과소 추정될 수 있음

<표 3> 충남의 화력발전소 현황(설비용량)

원자력(MW)	화력(MW)	기타(MW)	총설비용량(MW)
0	15,252.3	638.45	15,890.75

자료: 전력통계정보 시스템.2013.5.3

- 우리나라의 총 발전량은 2011년 기준 4억9천7백만MWh이며, 그 중 충남의 발전량이 1억1천8백만MWh로 가장 많아서 우리나라 발전량의 23.8%를 담당하고 있음. 다음으로 경남이 7천만MWh, 인천이 6천9백만 MWh를 발전하여, 각각 14%와 13.9%의 비중을 차지함

<표 4> 우리나라의 지역별 발전량 (2011년)

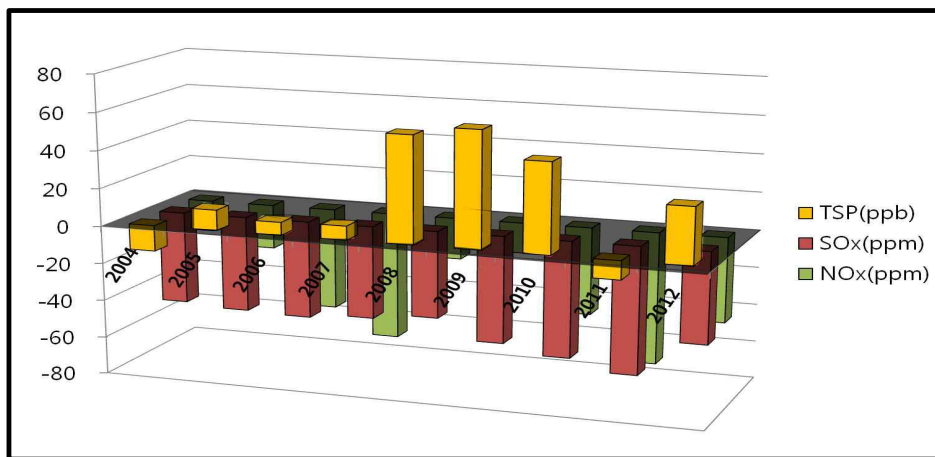
지역	발전량(MWh)	%	지역	발전량(MWh)	%
서울	1,384,406	0.28	충북	1,580,100	0.32
부산	39,131,349	7.88	충남	118,040,689	23.76
대구	197,978	0.04	전북	7,181,311	1.45
인천	68,952,842	13.88	전남	69,480,708	13.98
광주	37,370	0.01	경북	71,706,038	14.42
대전	156,054	0.03	경남	69,578,814	14.00
울산	10,749,543	2.16	제주	2,877,993	0.58
경기	23,791,336	4.79	합계	496,893,366	100.00
강원	12,046,834	2.42			

자료: 전력통계정보 시스템.2013.5.3

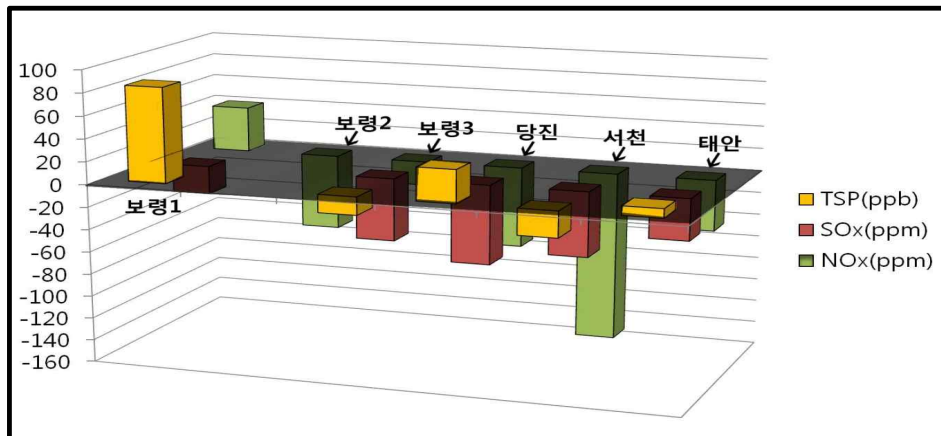
- 향후 충남에는 당진 9,10호기, 신보령 1,2호기 등 6개의 화력발전소가 추가될 예정이다. 400 MW급의 당진 부곡 복합화력이 2013년 준공될 예정이며, 1,050MW급의 2기가 태안화력에 2015년, 당진화력에 1,000MW급의 2기가 2016년, 1,000MW급의 2기가 보령에 2017년에 증설될 예정이다. 이 들 화력 발전이 계획대로 증설될 경우, 충남은 8,600MW의 설비 용량이 증가하여 총 24,490MW의 발전 설비 용량을 가지게 됨

1) 대기오염 물질 배출 농도

- 충남 내 4개 발전소의 대기오염물질의 평균 농도와 허용 기준치를 비교 분석한 결과, 먼지(TSP)의 평균 농도가 2004년과 2011년을 제외한 모든 해에 허용기준치인 30ppb를 초과하였음
- 보령화력의 1~6호기가 먼지(TSP) 허용농도인 30ppb를 84.2ppb 초과하였으며, 질소산화물(NOx)의 허용 기준치인 150ppm을 40.1ppm 초과하였다. 당진화력은 먼지 허용 기준치를 29.1ppb, 태안화력은 먼지 허용기준치를 7.9ppb 초과하였음



<그림 1> 충남 발전소 배출 대기오염 물질 평균 농도 아노말리



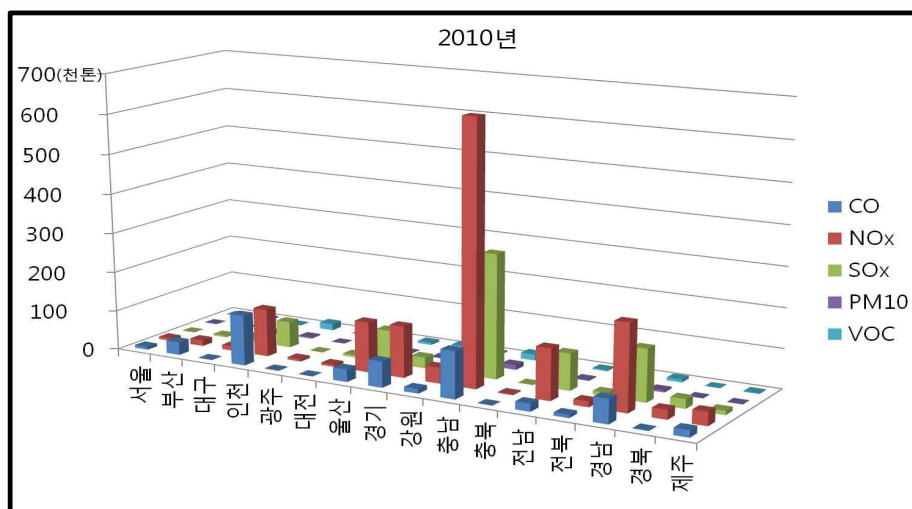
주) 보령1은 보령화력발전소 굴뚝 1~6호기, 보령2는 굴뚝 7~12호기, 보령3은 굴뚝 15~16호기를 의미함. 보령화력발전소의 굴뚝 13, 14호기의 배출가스는 측정되지 않으며, 7~12호기에서는 NOx만 측정됨

<그림 2> 충남 화력발전소 연평균 배출가스 농도 아노말리

- 충남의 경우와 마찬가지로 우리나라의 화력발전소 들은 기준치를 초과하는 대기 오염 물질을 배출하였다. 최근 2008~2012.6 기간 동서발전 등 5개 발전소에서 초과 배출된 대기오염 물질은 황산물 109건, 미세먼지 70건, 질소산화물 135건으로 이로 인한 배출초과 부과금은 19억 4,700만원에 달함(새누리당 권은희의원, 2012.10.17, NEWSis)

2) 대기오염 물질 배출량

- 충남은 2010년 기준 총 111,021톤의 대기오염 물질을 배출하였는데, 이는 전국의 화력 발전소에 의한 대기오염 물질 배출량의 37.6%를 차지하여 우리나라 광역시도 중 가장 많다. 다음으로는 경남(14.2%), 인천(11.3%)의 순임



자료: 국립환경과학원, 에너지 산업 연소 오염물질 배출량

<그림 3> 지역별 화력발전소 대기오염물질 배출량(2010)

- 충남은 질소산화물(NOx), 황산화물(SOx), 미세먼지(PM10)의 배출량이 우리나라에서 가장 많으며, CO, VOC는 두 번째로 많이 배출함
- 질소산화물(NOx)의 배출이 65,436톤으로 가장 많았는데 이는 전국에 배출된 질소산화물의 42.6%에 해당하며, 황산화 물질(SOx) 배출량은 31,073톤으로 전국 배출

의 38.1%, 먼지(PM10)의 배출량은 1,163톤으로 전국의 41.3%에 해당함

3) 화력발전소 배출 오염물질에 의한 사회적 비용

- 본 연구는 유럽에서 개발되어 세계적으로 대기오염의 사회적 비용에 관한 연구에 이용되어온 ExternE(Externalities of Energy)에 기반한 AEA Technology Environment 의 연안지역 추정방식을 기준으로 하여 사회적 비용을 산출하였다. 이 방법의 장점은 대기오염 피해 범위로 인체 피해, 생산성 감소, 구조물 부식 등 다양한 요소를 고려하였다는 것
- 화력발전에 따른 2010년 기준 우리나라 총 사회적 한계 비용은 2조 570억 원에 이른다. 충남의 경우, 사회적 비용은 7,712억 원으로 우리나라의 총 사회적 비용의 37.5%를 차지하여 여타 지역의 사회적 비용을 크게 상회함
- 대기오염 물질별로는 질소산화물(NOx)의 사회적 비용이 3,797억 원으로 가장 크며, 다음은 황산화 물질(SOx)의 사회적 비용이 2,704억 원임

<표 5> 지역별·오염물질별 사회적 비용 (2010년)

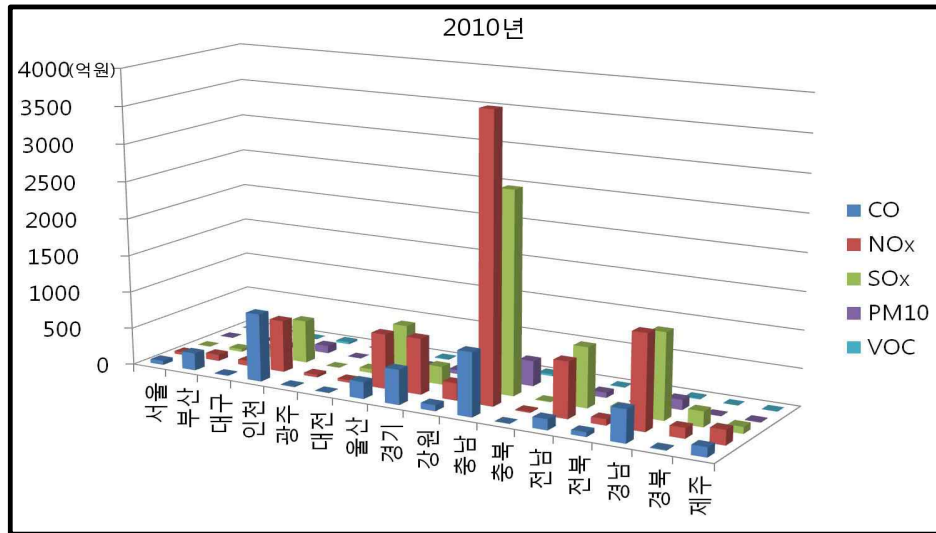
(단위: 백만원)

	CO	NOx	SOx	PM10	VOC	합계
전국	362,909	890,418	710,151	81,701	11,913	2,057,091
서울	5,333	3,714	44	348	169	9,607
부산	23,353	8,536	3,603	2,408	743	38,644
대구	1,068	6,790	10,497	580	40	18,975
인천	91,034	69,798	57,359	10,009	2,846	231,047
광주	1,168	3,679	9	116	37	5,009
대전	624	3,470	5,275	116	35	9,520
울산	22,637	73,129	72,182	4,700	960	173,609
경기	46,671	74,719	24,093	5,222	1,569	152,274
강원	8,121	23,079	33,310	1,741	559	66,810
충남	84,676	379,725	270,459	33,742	2,588	771,190
충북	337	1,433	923	145	20	2,858
전남	14,336	74,690	80,294	6,818	516	176,654
전북	6,007	8,304	8,138	870	187	23,507
경남	43,632	125,612	114,257	13,491	1,238	298,230
경북	1,039	13,892	20,585	493	32	36,042
제주	12,881	19,846	9,113	899	367	43,107

자료: AEA(2005)의 해안지역 평균(VSL median, VOLY median, SOMO 35) 적용

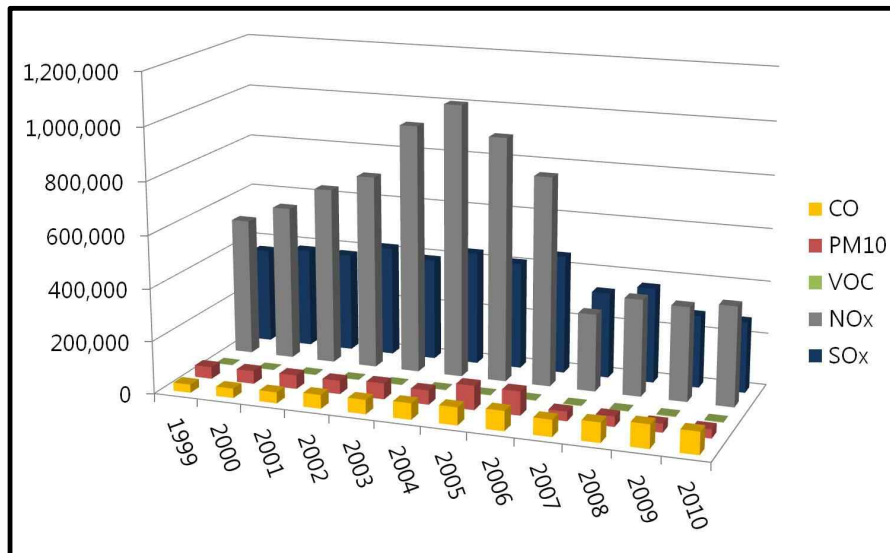
1유로=1,527원 (2013. 6.20 기준)

- PM10의 데이터는 PM2.5의 데이터를 이용, CO의 데이터는 강광규(2008)의 연구 결과를 인용



<그림 4> 지역별 화력발전소에 의한 사회적 비용(2010)

- 충남에 이어 경남(2천 982억 원), 인천(3천 210억 원)의 순으로 사회적 비용이 큼. 경남은 질소산화물(NOx), 황산화 물질(SOx), 미세먼지(PM10)에 의한 사회적 비용이 충남 다음으로 크며, 인천은 일산화탄소(CO)와 유기화합물(VOC)에 의한 사회적 비용이 충남을 상회함.
- 충남의 화력발전소 오염물질에 의한 사회적 비용은 질소산화물(NOx)과 황산화물(SOx)에 의해 지배 되어 왔음
- 화력발전소 오염물질에 의한 사회적 비용의 연도별 추세를 살펴보면, 1999년 9천 687억 원에서 2004년 1조 5천 896억 원으로 증가하여 가장 컸으며, 이후 감소하여 2010년 7천 712억 원에 이름
- 이러한 추세는 질소산화물(NOx)에 의한 사회적 비용과 상관이 있음. 2006년 까지 질소산화물(NOx)는 다른 대기오염 물질을 크게 앞질렀으며, 2007년 이후 황산화물(SOx)이 더 큰 영향력을 가짐
- 다른 대기오염 물질 중에는 일산화탄소(CO)에 의한 사회적 비용이 꾸준히 증가하여 왔음



<그림 5> 충남의 연도별 대기오염물질에 의한 사회적 비용

- 발전소별로 화력발전소 오염물질에 의한 사회적 비용을 살펴보면, 2010년 기준으로 보령화력이 2천 511억 원으로 가장 크며 충남 전체의 35.1%를 차지함
- 다음은 태안화력으로 2천 214억원(30.9%), 당진화력 2천 28억원(28.3%)의 순임

<표 6> 충남 발전소별 사회적 비용 (2010)

(단위: 백만원)

사회적비용	CO	NOx	SOx	PM10	VOC	합계
충남	73,155.2	351,856.2	255,811.4	32,668.6	2,197.6	715,689.0
	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
보령화력	23,956.2	117,908.8	97,598.8	10,998.8	675.3	251,138.0
	32.7%	33.5%	38.2%	33.7%	30.7%	35.1%
서천화력	2,872.9	24,810.1	11,296.9	1,105.4	215.7	40,301.1
	3.9%	7.1%	4.4%	3.4%	9.8%	5.6%
태안화력	22,005.8	105,563.0	81,459.9	11,782.2	620.2	221,431.0
	30.1%	30.0%	31.8%	36.1%	28.2%	30.9%
당진화력	24,318.9	103,573.7	65,454.1	8,779.3	686.0	202,811.9
	33.2%	29.4%	25.6%	26.9%	31.2%	28.3%

- 본 연구의 한계는 대기오염 별 단위당 사회적 비용을 유럽의 연구 결과치를 이용하였다는 것이다. 향후 우리나라 더 나아가 충남의 실정에 적합한 단위당 사회적 비용을 추정하는 정교화 작업이 필요한 것으로 사료됨

참고문헌

AEA Technology Environment. 2005. Damages per tonne emission of PM2.5, NH3, SO2, NOx and VOCs from each EU25 Member State (excluding Cyprus) and surrounding seas.: Service Contract for Carrying out Cost-Benefit Analysis of Air Quality Related Issues, in particular in the Clean Air for Europe (CAFE) Programme.

강광규 (2008) 대기오염의 사회적 비용 추정. 한국환경정책평가연구원.

박정호 외. 2008. 석탄화력발전소의 대기오염 물질 배출특성. 한국환경과학회 가을학술 발표회 발표논문집, 66-67.

원두환, 김현제, 김윤경 (2009) 원자력발전 온배수 이용에 대한 소비자 보상액 추정. 경제연구, 27, 189-209.

이태정, 김동술 (2005) 충청권 화력발전소에 의한 수도권지역 오염 부하량 평가. Journal of Center for Environmental Studies, 4, 34-41.

정동진. 2011. 화력발전소 가동에 따른 대기오염물질의 분포특성 및 영향에 대한 연구. 계명대학교 대학원 석사학위 논문.