

현안과제연구

2013. 7. 30

## 화력발전소에 의한 환경 및 경제적 피해실태와 전망

연구수행 : 환경생태연구부장 이인희  
책임연구원 오혜정

## 1. 연구의 배경

- 우리나라의 화력발전<sup>1)</sup>은 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

- 화력 발전은 대기와 수질에 막대한 환경적 위해를 야기하는데, 황산화물(Sox), 질소산화물(NOx), 먼지(PM 2.5, PM10)와 같은 대기오염 물질을 대량 배출하며, 발전소의 냉각수로 사용된 후 바다에 배출되는 발전 온배수는 청정해역의 해양 생태계를 훼손하며, 수산자원을 감소시킴
- 북미자유무역협정(North American Free Trade Agreement, NAFTA)하에서 창립된 CEC의 8회 연례 조사환경 협력 위원회(Commission for Environmental Cooperation, CEC)의 자료에 따르면 미국과 캐나다에서 석탄, 석유 발전소가 대기오염의 주요오염원으로 나타남
  - 발전소는 2001년 산업 대기 배출량의 거의 반을 차지하는 것으로 나타났으며, 50개의 주요 오염원 중 46개가 석탄, 석유 발전소인 것으로 나타났음
  - 산업 시설로부터 화학 오염도를 조사한 결과 석탄과 석유를 연소시키는 발전소가 2001년도에 대기로 배출시킨 양은 전체 대기오염물질 755,502톤 중 45%에 해당하였음
  - 석탄을 주로 이용하는 발전소는 수은 대기 오염의 64%를 차지함. 수은은 석탄에서 자연적으로 배출되고, 전력 생산을 위해 화석 연료를 연소시킬 때도 배출됨

1) 여기에서 화력발전은 기력과 복합화력을 칭함

- 석탄, 석유, 또는 가스와 같은 화석연료를 이용하는 화력발전은 산성비의 원인이 되는 황산화물이나 질소산화물과 주요 온실가스인 이산화탄소를 대량 방출함
- 1000MWh급 석탄화력발전소를 운영시 연간 황산화물 5,900톤, 질소산화물 9,000톤, 먼지 700톤을 발생시킨다는 연구결과도 있음

〈표 2〉 화력발전의 발전원별 대기오염가스 배출량

(단위: 톤)

	황산화물	질소산화물	먼지	이산화탄소
석탄발전소	5,900	9,000	700	600만
석유발전소	5,700	8,500	100	500만
가스복합발전소	30	6,000	10	330만

출처: 오근배(2002)

- 주기적인 성능진단 시행과 철저한 감시 시스템 운영을 통해 화력발전소에서 발생하는 대기오염물질을 줄여야하며, 환경오염을 일으키는 각종 대기오염물질을 줄일 수 있는 환경설비를 확충하고 환경오염 감시 시스템을 마련할 필요가 있음
- 충남의 경우 보령(8기), 서천(2기), 당진(8기), 태안(8기) 등 4개 발전소에서 총 26기가 가동 중에 있음
  - 기수 기준으로 전국 화력발전의 18%를 차지하고, 발전량 기준으로는 40%에 달하여 다른 지역에 비해 충남에 과도하게 많은 화력발전소가 입지
  - 또한 발전소의 신설(신보령 1·2호기, 태안 9·10호기, 동부제철 화력발전소, 서천화력)이 계획되거나 건설 중에 있어서 현재도 심각한 대기오염과 발전 온배수로 인한 해양생태계의 피해는 심화될 것으로 판단됨
- 현재 지역갈등을 야기하고 있는 충남 내 화력발전소의 환경 피해는 공유수면 매립으로 인한 갯벌 및 어잠 잠식, 어족자원 감소 등 해양 생태계의 피해, 어선 입출입 제한 등의 수산업 피해와 대기오염물질의 배출로 인한 피해로 나타남
- 발전 온배수에 의한 해양생태계 및 수산업의 피해가 심함
  - 발전 온배수는 주변 해수온 상승을 야기하여 동물플랑크톤의 감소, 해조류의 생장 저해, 저서생물의 종 감소, 생물상의 변화 등 심각한 피해를 입히며 특히, 인근 연안에서 양식 및 서식하는 김, 미역 등 조류의 생장을 심각하게 저

해하는 것으로 연구된 바 있음

○ 주민들이 주장하는 화력발전의 피해는 다음과 같음

- 당진 지역의 동부 그린발전소의 건설 예정지역은 관광진흥법상 지정된 관광지인 왜목관광지와 현재 가동 중인 당진화력발전소의 중간에 위치하여, 자연 경관을 포함한 각종 환경위해요소로부터 완충역할을 하는 지역임
- 발전소가 건설될 경우 인근 지역의 대기환경 기준 초과, 관광지 훼손 및 환경 위해 시설의 완충지 소멸 등 부정적인 효과 발생이 우려됨
- 또한 공유 수면 매립 예정지에는 마을어업 면허 및 허가, 신고어업이 산재하고 있어 공유 수면 매립으로 인한 갯벌 및 어장 잠식, 매립으로 인한 해수 유통 장애 및 조류변화, 해양 생태계 영향에 따른 어족 자원 감소, 온배수로 인한 수온 상승, 어선 입·출입 제한 등 해양 생태 변화와 수산업에 악영향이 우려됨
- 화력발전소를 추가로 건설할 경우 초대형화로 인한 대기 오염이 심화될 것으로 예상됨
- 2015년 주요 사업체의 정상 가동을 가정해 시뮬레이션을 수행한 결과 1시간 평균 SO<sub>2</sub>(이산화황)의 농도가 1578.7ppb로 환경기준인 150ppb를 10배 이상 초과하였으며, NO<sub>2</sub>(이산화질소)의 농도는 884ppb로 환경기준인 100ppb를 9배 가량 초과, 먼지는 과거 10년간 가을철 24시간 최고농도 발생일 기준으로 최고 4배 이상 초과, 온실 가스 배출량은 2015년 5,220만톤에 이르는 것으로 나타남

○ 보령지역의 경우

- 1984년 보령화력발전소가 본격 가동을 시작하면서 발전소 주변 농경지와 인근 해변의 갯벌에 유연탄 분진, 석탄가스, 발전온배수 배출하여 바지락, 조개, 홍합 등이 어업권(어장 및 양식장) 피해가 발생
- 또한 소음, 대형트럭의 교통량 증가로 인한 피해가 발생하여 왔으며, 우기에 일부 농경지 침수하는 등 주변지역의 농작물 피해가 가중됨

○ 서천지역의 경우

- 1978년 착공 당시 군사정부시절이어서 어업권 등의 피해에 대한 충분한 보상을 받지 못한 가운데 1983년 11월 1, 2호기가 가동중임
- 발전소에서 뿜어내는 가스 냄새와 분진 그리고 온배수 배출로 어족자원이 고갈되고 있음
- 특히 마량포구 동백정 인근에 화력발전소가 입지하면서 관광 이미지가 크게

실추됨

- 태안지역의 경우
  - 화력발전소가 추가 증설되면서 다양한 환경적 피해(어장 환경의 변화, 탈황·탈진 설비 미설치 등으로 인한 석탄재 피해 등)가 누적
- 충남에 과도하게 입지한 발전소로 인한 환경부문의 피해와 그에 따른 경제적 피해와 관련한 연구는 아직 이루어지지 않았으며, 이에 대한 면밀한 연구가 필요함

## 2. 충남 화력발전소의 오염물질 배출 및 피해 분석

### 1) 충남 화력발전소 현황

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

〈표 3〉 전국 발전소 현황(설비용량)

(단위: MWh)

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

출처: 전력통계정보 시스템, 2013

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

〈표 4〉 충남 발전소 현황(설비용량)

(단위: MWh)

원자력	화력	기타	총 설비용량
0	15,252.3	638.45	15,890.75

출처: 전력통계정보 시스템, 2013

- 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
- 충남 내 지역별 발전소의 설비용량을 살펴보면, 당진, 보령, 태안 화력이 각각 4,000MW의 설비용량을 가지고 있으며 다음으로 서천화력이 400MW의 설비용

량을 가지고 있음

- 이외 보령 복합화력의 경우 gas turbine 900MW, steam turbine 450MW으로 총 1,350MW의 설비용량을 가지고 있음

〈표 5〉 우리나라의 지역별 발전량(2011년)

(단위: MWh)

지역	발전량	%	지역	발전량	%
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			

출처: 전력통계정보 시스템, 2013

〈표 6〉 충남의 지역별 발전소 현황(설비용량)

(단위: MW)

발전소명	설비용량	대수	총 설비용량
당진	500	8	4,000.00
보령	500	8	4,000.00
태안	500	8	4,000.00
서천	200	2	400.00
대산복합GT	93.7	4	374.80
대산복합ST	91	1	91.00
보령복합GT	150	6	900.00
보령복합ST	150	3	450.00
부곡복합GT	160.96	2	321.92
부곡복합GT	174.5	2	349.00
부곡복합ST	178.83	1	178.83
부곡복합ST	184	1	184.00
도서내연		18	2.75
신재생		571	638.45

GT: gas turbine, ST: stream turbine

출처: 전력통계정보 시스템, 2013

- 향후 충남에는 당진 9,10호기, 신보령 1,2호기 등 6개의 화력발전소가 추가될

예정임

- 400 MW급의 당진 부곡 복합화력이 2013년 준공될 예정이며, 1,050MW급의 2기가 태안화력에 2015년, 당진화력에 1,000MW급의 2기가 2016년, 1,000MW급의 2기가 보령에 2017년에 증설될 예정임

〈표 7〉 충남의 화력발전소 증설 계획

(단위: MW)

발전소명	설비용량	대수	준공일시	총 설비용량
당진	1000	2	2016	2000
보령	1000	2	2017	2000
태안	1050	2	2015	2100
부곡복합GT	400	1	2013	400
신서천화력	500	2	2019	1000
동부건설 화력발전소	550	2	미정	1100

## 2) 충남 화력발전소의 온실가스 배출

- 충남의 화력발전소에서 발생하는 온실가스는 2000년 4천5백9십만tCO<sub>2</sub>에서 지속적으로 증가하여 2007년 7천2백8십만tCO<sub>2</sub>으로 증가하였음
- 화력발전소 발생 온실가스의 비중은 2000년 62%에서 2001년 이후 65%로 증가하였고, 2005년 63%로 감소하였고, 2007년에는 64%를 차지함

〈표 8〉 충남 화력발전소의 온실가스 배출

(단위: 천tCO<sub>2</sub>, %)

연도	발전	%	기타	%	합계
2000	45,928	62	28,456	38	74,384
2001	52,034	65	28,309	35	80,343
2002	56,243	65	29,773	35	86,016
2003	57,115	65	31,044	35	88,159
2004	60,174	65	32,367	35	92,541
2005	58,935	63	34,114	37	93,049
2006	63,467	63	36,707	37	100,174
2007	72,831	64	41,037	36	113,868

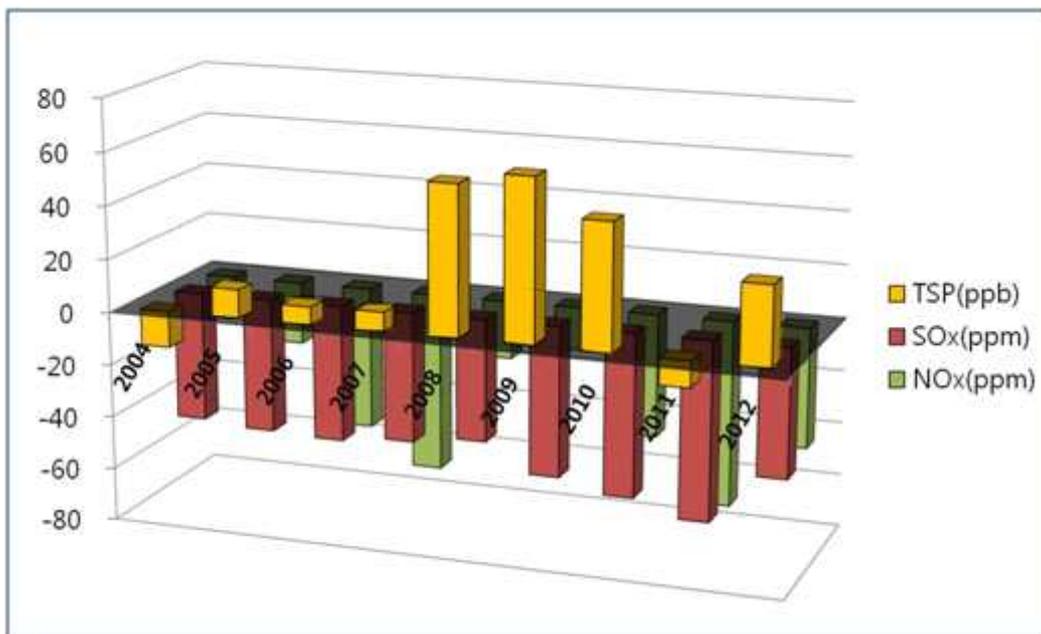
### 3) 화력발전소 대기오염물질 배출

#### (1) 대기오염물질 배출농도

- 충남 내 4개 발전소의 굴뚝에서 측정된 대기오염물질의 평균 농도와 허용 기준치를 비교 분석한 결과, 충남 화력발전소는 먼지(TSP)의 평균 농도가 2004년과 2011년을 제외한 모든 해에 허용기준치인 30ppb를 초과하였음
- 2009년 허용기준치를 60.9ppb 초과하여 초과치가 가장 컸으며, 2012에는 29.51ppb 초과하였으며, 나머지 대기 오염물질 들은 허용 기준치를 초과하지 않았음

〈표 9〉 충남 발전소 배출 대기오염물질 연도별 평균농도 아노말리

연도	TSP(ppb)	SOx(ppm)	NOx(ppm)
2004	-13.61	-49.19	-16.61
2005	10.72	-51.06	-23.76
2006	6.73	-51.95	-54.40
2007	7.29	-49.54	-68.18
2008	56.28	-46.49	-21.91
2009	60.92	-57.14	-16.12
2010	47.08	-61.95	-46.71
2011	-9.78	-67.94	-70.60
2012	29.51	-48.53	-45.20



〈그림 1〉 충남 발전소 배출 대기오염물질 평균 농도 아노말리

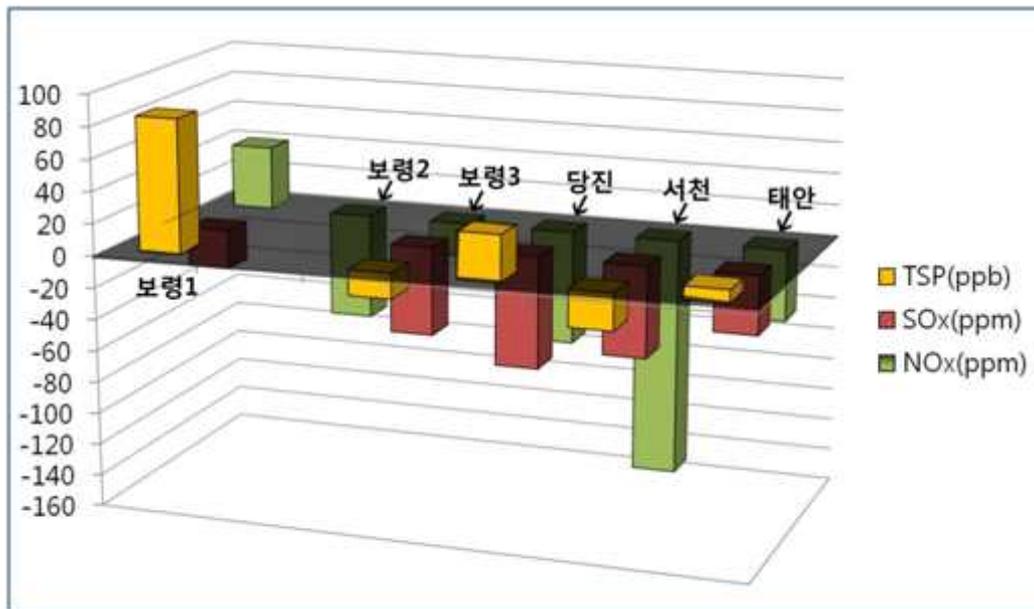
- 그러나 발전소별 오염물질 배출 평균 농도의 경우는 다른 결과를 보임. 충남 내 4개 발전소의 굴뚝에서 측정한 2012년 대기오염물질의 평균 농도가 허용 기준치를 초과하는지 분석한 결과, 보령화력의 1~6호기가 먼지(TSP) 허용농도인 30ppb를 84.2ppb 초과하였으며, 질소산화물(NOx)의 허용 기준치인 150ppm을 40.1ppm 초과하였음
- 당진화력의 경우도 먼지(TSP)가 허용 기준치를 29.1ppb 초과하였으며, 태안화력의 경우도 먼지(TSP) 허용기준치를 7.9ppb 초과하였음<sup>2)</sup>

<표 10> 충남 발전소 배출 대기오염물질 연도별 평균농도 아노말리(2012년)

	TSP(ppb)	SOx(ppm)	NOx(ppm)	TSP(기준치)	SO2(기준치)	Nox(기준치)
보령1	84.2	-24.7	40.1	30	100	150
보령2	-	-	-67.1	20	80	100
보령3	-15.9	-55.8	-21.2	-	-	80
당진	29.1	-70.9	-72.1	30	100	150
서천	-22.9	-57.7	-150.7	40	100	350
태안	7.9	-36.8	-45.3	30	100	150

출처: 한국환경공단, CleanSYS

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

2) CleanSYS의 측정항목은 TSP, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, HF, HCl, NH<sub>3</sub>, O<sub>2</sub> 등이지만, 보유한 데이터는 TSP, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> 뿐임. 측정항목과 보유한 데이터가 차이가 나는 이유는 측정항목을 연평균 데이터로 가공할 때 비오염 물질인 HF, HCl, NH<sub>3</sub>, O<sub>2</sub> 등을 제외한 TSP, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> 3가지 항목만 연평균 값으로 통계자료를 만들기 때문임

- 우리나라의 화력발전소 들은 2003~2012년 기간 기준치를 초과하는 대기오염 물질을 배출하였음
  - 무연탄과 중유 등을 사용해 전력을 생산하는 5대 발전사 산하 16개 화력 발전소가 200~2006년 기간 동안 352t의 대기오염물질을 방출하였음 (2003~2006.6 발전소별 대기오염 배출현황자료, 한나라당 김기현의원)
  - 중부, 서부, 남부, 동서, 남동발전 등 5대 발전회사 : 배출허용 기준을 초과해 방출한 황산화물(SOx), 질소 산화물(NOx), 분진 등은 총 8,008회, 352t에 이룸
  - 배출허용기준 초과 대기오염물질 배출에 따라 이들 발전소에 부과된 초과부담금은 3억4천여만원
- 최근 2008~2012.6 기간 동서발전 등 5개 발전소에서 초과 배출된 대기오염 물질은 황산물 109건, 미세먼지 70건, 질소산화물 135건으로 이로 인한 부과금은 19억 4,700만원에 달함(새누리당 권은희의원, 2012.10.17, NEWSis)
  - 남부발전 31건(부과금 3억6천만원), 남동발전 30건(8억), 중부발전 (1억2천만원), 동서발전 18건(3,400만원), 서부발전 11건(2,200만원)
  - 특히 남부발전은 황산화물 배출기준 초과로 8억원, 미세먼지기준 초과로 5,600만원을 납부하는 등 가장 많은 부과금

## (2) 대기오염물질 배출량

- 화력발전은 우리나라 전체 발전량의 64.1%를 점유하며, 수력이나 원자력 발전 시설에 비해 환경오염물질을 더 많이 배출함으로써 상대적으로 더 많은 사회적 비용을 발생시킴
- 충남은 2010년 기준 총 111,021톤의 대기오염 물질을 배출하였는데, 이는 전국의 화력 발전소에 의한 대기오염 물질 배출량<sup>3)</sup>의 37.6%를 차지하여 우리나라 광역시도 중 가장 많음. 다음으로는 경남(14.2%), 인천(11.3%)의 순임

---

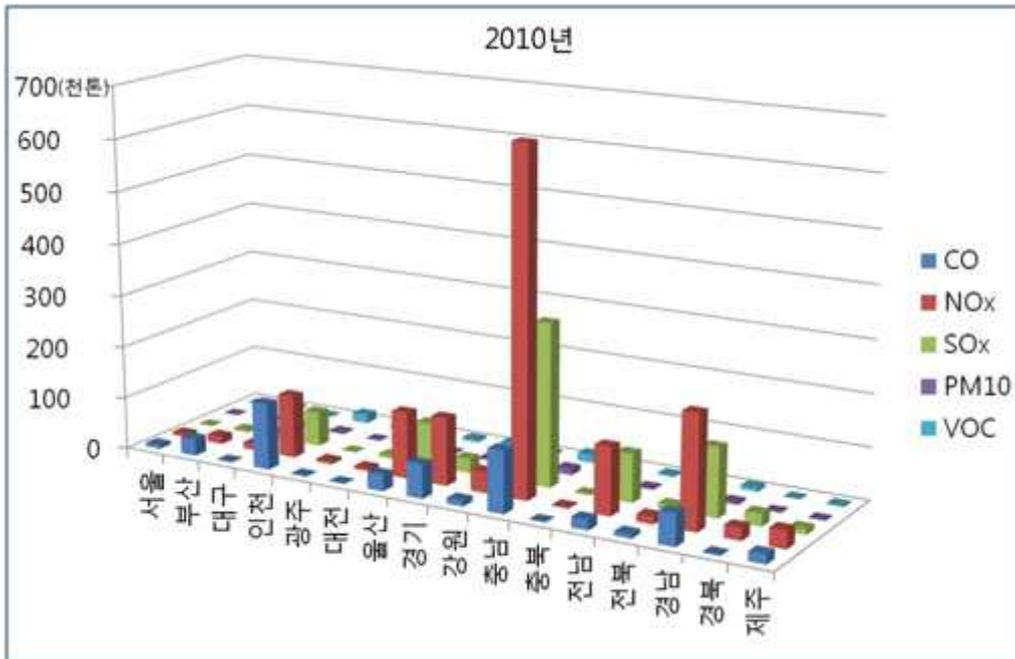
3) 화력발전에 의한 오염물질 배출량 분석을 위해 에너지 산업 연소에 따른 오염물질 배출량 자료를 이용하였음. 에너지 산업 연소의 대부분은 공공 발전과 소량의 민간발전 등이라는 점에서 큰 차이는 없을 것으로 판단됨

〈표 11〉 우리나라의 화력발전에 따른 오염물질 배출량(2010년)

(단위: 톤)

배출량	CO	NOx	SOx	PM10	VOC	합계
전국	50,630.0	153,441.0	81,588.0	2,816.0	7,067.0	295,542.0
	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
서울	744.0	640.0	5.0	12.0	100.0	1,501.0
	1.5%	0.4%	0.0%	0.4%	1.4%	0.5%
부산	3,258.0	1,471.0	414.0	83.0	441.0	5,667.0
	6.4%	1.0%	0.5%	2.9%	6.2%	1.9%
대구	149.0	1,170.0	1,206.0	20.0	24.0	2,569.0
	0.3%	0.8%	1.5%	0.7%	0.3%	0.9%
인천	12,700.0	12,028.0	6,590.0	345.0	1,689.0	33,352.0
	25.1%	7.8%	8.1%	12.3%	23.9%	11.3%
광주	163.0	634.0	1.0	4.0	22.0	824.0
	0.3%	0.4%	0.0%	0.1%	0.3%	0.3%
대전	87.0	598.0	606.0	4.0	21.0	1,316.0
	0.2%	0.4%	0.7%	0.1%	0.3%	0.4%
울산	3,158.0	12,602.0	8,293.0	162.0	570.0	24,785.0
	6.2%	8.2%	10.2%	5.8%	8.1%	8.4%
경기	6,511.0	12,876.0	2,768.0	180.0	931.0	23,266.0
	12.9%	8.4%	3.4%	6.4%	13.2%	7.9%
강원	1,133.0	3,977.0	3,827.0	60.0	332.0	9,329.0
	2.2%	2.6%	4.7%	2.1%	4.7%	3.2%
충남	11,813.0	65,436.0	31,073.0	1,163.0	1,536.0	111,021.0
	23.3%	42.6%	38.1%	41.3%	21.7%	37.6%
충북	47.0	247.0	106.0	5.0	12.0	417.0
	0.1%	0.2%	0.1%	0.2%	0.2%	0.1%
전남	2,000.0	12,871.0	9,225.0	235.0	306.0	24,637.0
	4.0%	8.4%	11.3%	8.3%	4.3%	8.3%
전북	838.0	1,431.0	935.0	30.0	111.0	3,345.0
	1.7%	0.9%	1.1%	1.1%	1.6%	1.1%
경남	6,087.0	21,646.0	13,127.0	465.0	735.0	42,060.0
	12.0%	14.1%	16.1%	16.5%	10.4%	14.2%
경북	145.0	2,394.0	2,365.0	17.0	19.0	4,940.0
	0.3%	1.6%	2.9%	0.6%	0.3%	1.7%
제주	1,797.0	3,420.0	1,047.0	31.0	218.0	6,513.0
	3.5%	2.2%	1.3%	1.1%	3.1%	2.2%

출처: 국립환경과학원, 에너지 산업연소 오염물질 배출량



<그림 3> 지역별 화력발전소 대기오염물질 배출량(2010년)

- 충남은 질소산화물( NOx), 황산화물(SOx), 미세먼지(PM10)의 배출량이 우리나라에서 가장 많으며, CO, VOC는 두 번째로 많이 배출함
- 충남의 화력발전소에 의한 대기오염 물질 중 질소산화물(NOx)의 배출이 65,436톤으로 가장 많았는데 이는 전국에서 배출된 질소산화물의 42.6%에 해당함
- 황산화 물질(SOx)은 31,073톤이 배출되었으며 이는 전국 배출의 38.1%에 해당하며, 먼지(PM10)는 1,163톤이 배출되었는데 , 이는 전국 배출의 41.3%에 해당함
- 충남도 내의 화력발전소에서 배출하는 대기오염 물질을 발전소 별로 살펴보면, 보령화력이 총 배출량 35,653톤으로 가장 많은 대기오염 물질을 배출하며, 다음은 태안화력으로 총 배출량 31,394톤임
- 대기오염 물질별로는, 보령화력이 미세먼지(PM10)와 유기 화합물(VOC)을 제외한 일산화탄소(CO) 3,342톤, 질소산화물(NOx) 20,318톤, 황산화물(SOx) 11,213톤으로 이들 3개 오염물질의 배출량이 가장 많음
- 미세먼지(PM10)는 태안화력이 406톤을 배출하여 충남 내 배출의 36.1%를 차지하며, 유기 화합물(VOC)은 당진화력이 407톤을 배출하여 충남 내 배출의 31.2%의 비중을 가짐

〈표 12〉 충남 발전소별 대기오염물질 배출량(2010년)

(단위: 톤)

배출량	CO	NOx	SOx	PM10	VOC	합계
충청남도	10,205.8	60,633.5	29,390.1	1,126.0	1,304.2	102,659.6
	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
보령화력	3,342.1	20,318.6	11,213.1	379.1	400.8	35,653.7
	32.7%	33.5%	38.2%	33.7%	30.7%	34.7%
서천화력	400.8	4,275.4	1,297.9	38.1	128.0	6,140.2
	3.9%	7.1%	4.4%	3.4%	9.8%	6.0%
태안화력	3,070.0	18,191.1	9,358.9	406.1	368.1	31,394.2
	30.1%	30.0%	31.8%	36.1%	28.2%	30.6%
당진화력	3,392.7	17,848.3	7,520.0	302.6	407.1	29,470.7
	33.2%	29.4%	25.6%	26.9%	31.2%	28.7%

출처: 국립환경과학원, 에너지 산업연소 오염물질 배출량

### 3) 화력발전소 배출오염물질에 의한 사회적비용

- 본 연구는 유럽에서 개발되어 세계적으로 대기오염의 사회적 비용에 관한 연구에 이용되어온 ExternE(Extarnalities of Energy)에 기반한 AEA Technology Environment 의 연안지역 추정방식을 기준으로 하여 사회적 비용을 산출하였음
- 대기오염 피해 범위로 인체 피해, 생산성 감소, 구조물 부식 등 다양한 요소를 고려
- 화력발전에 따른 2010년 기준 우리나라 총 사회적 한계 비용은 2조 570억 원에 이름
- 충남의 경우, 사회적 비용은 7,712억 원으로 우리나라의 총 사회적 비용의 37.5%를 차지하여 여타 지역의 사회적 비용을 크게 상회함.
- 현재 원자력발전이 과세 되는 0.5원/kW을 과세한다고 하여도 과세액은 600억 원에 불과하여 화력발전에 의한 충남의 피해를 화폐 가격으로 나타내는 사회적 비용(7,719억 원)에 크게 못 미침
- 대기오염 물질별로는 질소산화물(NOx)의 사회적 비용이 3,797억 원으로 가장 크며, 다음은 황산화 물질(SOx)의 사회적 비용이 2,704억 원임

〈표 13〉 지역별·오염물질별 사회적 비용(2010년)

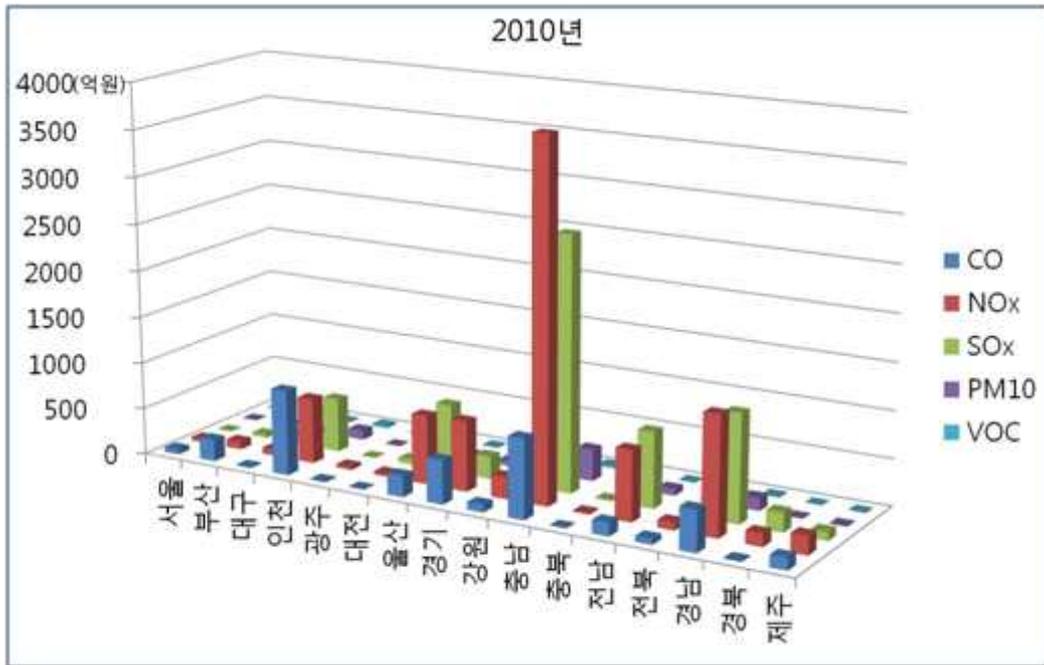
	CO	NOx	SOx	PM10	VOC	합계
전국	362,909	890,418	710,151	81,701	11,913	2,057,091
서울	5,333	3,714	44	348	169	9,607
부산	23,353	8,536	3,603	2,408	743	38,644
대구	1,068	6,790	10,497	580	40	18,975
인천	91,034	69,798	57,359	10,009	2,846	231,047
광주	1,168	3,679	9	116	37	5,009
대전	624	3,470	5,275	116	35	9,520
울산	22,637	73,129	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

출처: AEA(2005)의 해안지역 평균(VSL median, VOLy MEDIAN, somo 35) 적용

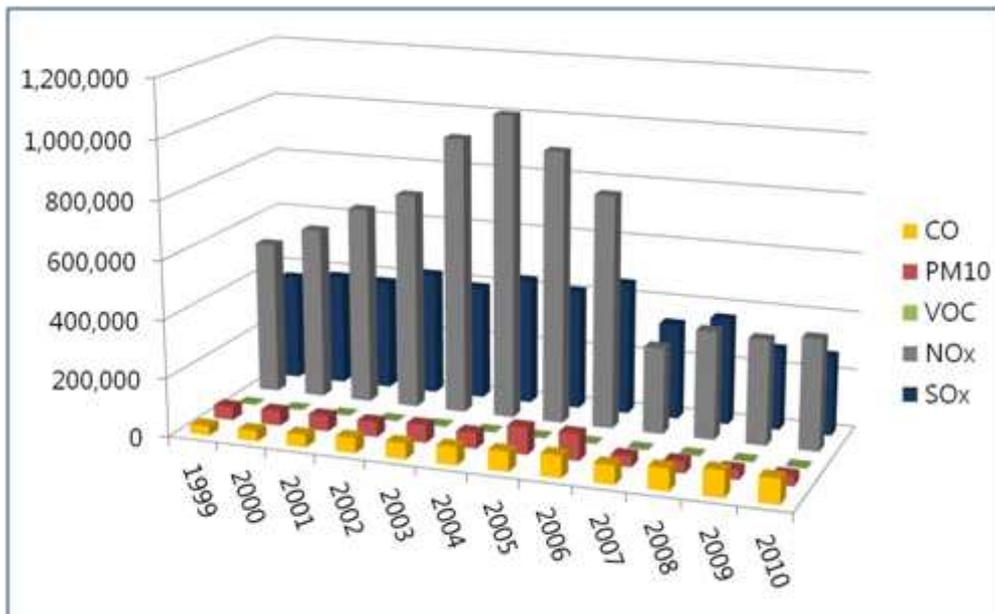
1 유로=1,527원(2013.06.20 기준)

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

- 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



<그림 4> 지역별 화력발전에 의한 사회적 비용(2010년)



<그림 5> 충남 연도별 대기오염물질에 의한 사회적 비용

- 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 이릅니다
- 이러한 추세는 질소산화물(NOx)에 의한 사회적 비용과 상관이 있습니다. 2006년까지 질소산화물(NOx)은 다른 대기오염 물질을 크게 앞질렀으며, 2007년 이후 황산화물(SOx)이 더 큰 영향력을 가집니다

- 다른 대기오염 물질 중에는 일산화탄소(CO)에 의한 사회적 비용이 꾸준히 증가하여 왔음

〈표 14〉 충남의 연도별 오염물질 배출량과 사회적 비용

(단위: 톤, 백만원)

	CO		NOx		SOx	
	배출량	사회적비용	배출량	사회적비용	배출량	사회적비용
1999	4,415	31,647	90,775	526,767	41,783	363,679
2000	5,014	35,940	101,772	590,583	43,761	380,896
2001	5,877	42,126	116,785	677,703	43,432	378,032
2002	7,315	52,434	127,695	741,014	48,433	421,561
2003	7,556	54,161	163,391	948,158	44,914	390,931
2004	8,660	62,075	178,994	1,038,702	49,746	432,989
2005	9,396	67,351	160,183	929,542	47,074	409,732
2006	10,483	75,142	137,286	796,671	52,062	453,148
2007	8,919	63,931	50,907	295,413	37,728	328,385
2008	10,483	75,142	63,658	369,407	41,757	363,453
2009	12,514	89,700	61,918	359,310	31,778	276,596
2010	11,813	84,676	65,436	379,725	31,073	270,459
	PM10		VOC		사회적 비용 합계	
	배출량	사회적비용	배출량	사회적비용		
1999	1,562	45,318	688	1,159	968,571	
2000	1,702	49,380	751	1,265	1,058,064	
2001	1,809	52,485	862	1,452	1,151,798	
2002	1,769	51,324	1,055	1,778	1,268,111	
2003	2,098	60,869	1,085	1,828	1,455,948	
2004	1,856	53,848	1,195	2,014	1,589,628	
2005	3,181	92,290	1,311	2,209	1,501,124	
2006	3,133	90,898	1,443	2,431	1,418,289	
2007	1,236	35,860	1,207	2,034	725,623	
2008	1,337	38,790	1,400	2,359	849,152	
2009	1,136	32,959	1,902	3,205	761,770	
2010	1,163	33,742	1,536	2,588	771,190	

- 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 15〉 충남 발전소별 사회적 비용(2010년)

(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%

### 3. 화력발전소의 발전 온배수 배출확산 및 피해 분석

#### 1) 충남의 발전 온배수 배출 실태

- 충남의 화력발전소에서 배출되는 발전 온배수는 연간 113.8억톤에 이룸
  - 그 중 보령화력과 복합화력이 위치한 보령지역에서 연간 46.4억톤의 발전 온배수가 유출되며, 다음으로는 태안화력이 연간 36.3억톤의 발전 온배수를 해양에 직접 유출하고 있음
  - 보령화력과 태안화력은 전국의 발전소 중 원자력발전소를 제외하면 발전소당 가장 많은 온배수를 배출하고 있으며, 당진화력의 경우는 하동화력(연간 33.3억톤) 다음으로 전국에서 4번째로 많은 발전온배수를 배출하고 있음

〈표 16〉 충남 화력발전소의 발전용량과 온배수 배출량(2010년)

업체명	온배수량(억톤/년)	ΔT(℃)	발전용량(MW)
태안화력(한국서부발전)	36.3	7.7	4,083
당진화력(한국동서발전)	28.6	6.4-6.8	4,000
보령화력/복합(한국중부발전)	46.4	6.4-7.0	4,000/1,350
서천화력(한국중부발전)	2.5	9.4	800

〈표 17〉 전국 발전소별 발전용량 및 온배수 배출량(2010년)

업체명	배출단위	배수량(억톤/년)	설계 $\Delta T$ ( $^{\circ}C$ )	발전용량(MW)
남부발전(주)	하동화력	33.3	6.4	1,800
	영남화력	1.2	8.0-8.3	400
	신인천복합	10.7	7.0	1,800
	부산복합	6.1	8.2	1,800
	남제주화력	2.9	7.0	240
	소계	54.2		6,040
남동발전(주)	삼천포화력	27.3	6.4-9.5	3,245
	영동화력	2.5	9.2	320
	여수화력	1.3	6.4-9.4	529
	영흥화력	38.2	6.4	3,340
	소계	69.3		7,434
서부발전(주)	태안화력	36.3	7.7	4,000
	평택화력	7.6	10.0	1,880
	서인천복합	4.9	6.4	1,800
	소계	48.8		7,680
동서발전(주)	당진화력	28.6	6.4-6.8	4,000
	호남화력	6.4	8.8	500
	동해화력	4.0	7.2	400
	울산화력/복합	9.3	7.0-10.0	3,000
	소계	48.3		7,900
중부발전(주)	보령화력/복합	46.4	6.4-7.0	5,350
	서천화력	2.5	9.4	800
	인천화력/복합	5.6	7.0-10.2	1,150
	제주화력	2.1	7.0	285
	소계	56.6		7,585
한국수력원자력(주)	고리원자력	41.8	4.7	5,137
	영광원자력	81.6	7.4	5,900
	월성원자력	47.0	8.2	3,779
	울진원자력	80.0	7.2	5,900
	소계	250.4		20,716
합계		527.6		57,355

원자력 발전용량은 2012년 9월 기준(한국수력원자력 홈페이지)

설계  $\Delta T$ ( $^{\circ}C$ ) : 설계상 취배수구의 수온차이

## 2) 온배수에 의한 해양생태계 피해

- 발전 온배수에 의한 해양생태계 및 수산업의 피해가 심함
  - 발전 온배수는 주변 해수온 상승을 야기하여 동물플랑크톤의 감소, 해조류의 성장 저해, 저서생물의 종 감소, 생물상의 변화 등 심각한 피해를 입히며 특히, 인근 연안에서 양식 및 서식하는 김, 미역 등 조류의 성장을 심각하게 저해하는 것으로 연구된 바 있음
  - 우리나라에서는 87종의 해조류가 식용으로 이용되고 있으며(오윤식, 이인규

and 부성민 1990), 우리나라 천해양식어업에서 해조류가 차지하는 비율은 생산량이 60%이상, 금액이 30%(해양수산부, 2000)

- 김의 성장적온은 5~8°C이며 수온이 12~13°C가 되면 생육이 그치게 됨. 미역의 최적성장 조건은 5~10°C임. 따라서 겨울에 해수의 온도가 이상 고온 현상을 나타내거나 온배수 확산역을 접하게 되면 정상적인 성장을 기대하기 어려움(김영환, 2003)
- 발전소의 냉각계통 가동으로 인한 해양 생태계 내 피해는 i) 취수 시설물에 의한 피해, ii) 냉각계통에서의 피해, iii) 온배수 확산구역에서의 영향 등으로 그 원인을 크게 구분할 수 있음

### (1) 취수 시설물에 의한 피해

- 우리나라의 경우, 취수 시설에 충돌하여 사망하는 해양 생물<sup>4)</sup>에 대한 조사는 환경영향적 측면보다는 발전소 보호적 측면에서 다루어져 왔으며, 순수한 해양 생태계 보호를 위한 조사는 초보적인 수준에 머물고 있음
- 보통 해파리, 난바다곤쟁이, 새우류, 어린 고기 등 자체 유영 능력으로 냉각수류를 이기지 못하는 종류들이 이러한 취수 시설물에 충돌하거나 끼어 피해를 입음
- 미국의 EPA(2002a)는 어류와 패류가 전 생활사에 걸쳐 냉각수 취수 과정에서 취수 시설물의 외측이나 걸림망 등 시설에 갇히는 것을 충돌(impingement)로 정의하고 있음. 이처럼 발전소 취수 시설물 충돌에 의한 해양 생물 특히 어류의 피해는 하구역과 내만에 위치한 발전소에서 많이 발생하며, 미국 델라웨어 강 하구역에 위치한 3개의 발전소 냉각계통에 충돌하여 사망하는 어류는 약 150톤/년에 달하는 것으로 집계되고 있음(Clean Air Task Force, 2004)
- 영광 원자력 발전소의 경우 1-6호기 가동 조건에서 시간 당 42개체 642g의 어류가 충돌하여, 연간 약 2백만 마리(약 30.5톤)의 어류가 피해를 입는 것으로 보고되고 있으며(한국전력공사, 1994), 동해안에 위치한 원자력 발전소 등은 이보다 낮아 연간 8만8천- 37만6천 마리의 어류가 피해를 입는 것으로 보고되고 있음. 또한 월성 원자력 발전소에서는 매년 보름달물해파리(*Aurelia aurita*)와 태평양난바다곤쟁이 (*Euphausiापacific*)의 대량 유입으로 냉각수 취수 시설 손상 및 발전소 가동 중지 등 많은 피해를 보고 있음(채 등, 2005).

---

4) 냉각수 취수구에는 쓰레기 등 이물질의 유입을 방지하기 위하여 스크린이 설치되어 있다. 스크린의 그물 눈(망목)의 크기는 가로×세로 1cm<sup>2</sup>로, 이보다 체형이 큰 해양 생물은 스크린에 걸려 치사하며, 체형이 작은 생물은 스크린을 통과하여 복수기를 지나가면서 기계적, 열적 충격을 받게 된다

## (2) 냉각계통에서의 피해

- 냉각계통에 연행된 해양 생물은 기계적 충격 및 열 충격에 더하여 오손 생물 제거를 위하여 냉각수에 주입하는 화학물질(염소)에 의한 영향을 받게 됨
- 냉각계통에 연행된 모든 생물은 온도가 높을수록 생존율이 감소하며(EPA 2002b) EPA는 연행된 모든 생물이 사망하는 것으로 간주하고 있음

### A. 식물 플랑크톤

- 식물 플랑크톤은 개체의 크기가 작기 때문에 거의 대부분 발전소의 취수구 스크린을 지나 냉각 계통을 통과하면서 많은 손상을 받게 됨. 식물 플랑크톤과 같이 크기가 작은 생물체가 취수구 스크린에 걸리지 않고 냉각계통을 통과하며, 이 기간 동안 생물은 다양한 압박(stress)을 받게 됨(김, 1983)
- 염소처리(chlorination)는 오손 생물뿐만 아니라 냉각계통을 지나는 식물 플랑크톤에게도 큰 피해를 줄 수 있는 화학적 압박 요인임. 또한 복수기에서는 불과 몇 십 초 사이에 온도가 10℃ 내외로 급격하게 상승하면서 열적 압박을 받게 되며, 이후 배수구에서 방류될 때까지 연행되는 생물체는 자연 수온보다 훨씬 높은 온도에 노출됨으로써, 짧게는 몇 분에서 길게는 몇 십 분까지 냉각계통을 지나는 동안 식물 플랑크톤은 다양한 기계적, 화학적 및 열적 압박으로 인하여 많은 종류가 죽게 되며, 냉각 계통의 연행에 따른 식물 플랑크톤의 사망률은 특히 다수기가 가동되는 대용량 원전 주변 해역에서 엄청난 냉각수량 때문에 간혹 심각한 문제가 될 수 있음

〈표 18〉 삼천포 화력발전소 냉각계통에 연행된 식물 플랑크톤의 기초 생산력 감소량

(단위: %)

	1985년			1986년		
	7월	9월	11월	1월	3월	5월
총생산력	8-58	71-83	39-18	35-23	55-66	46
순생산력	26-79	105-108	59	45-56	83-42	56

### B. 동물 플랑크톤

- 동물 플랑크톤은 개체의 크기가 작은 탓에 식물 플랑크톤과 마찬가지로 취수구 걸름망을 통과하여 냉각계통 안으로 연행되어 기계적 충격과 열 충격을 받게 됨
- 동물 플랑크톤은 발전소 냉각 계통에서 30~100% 사망하는 것으로 알려져 있음

으며, 배수구의 수온 상승 폭이 10℃ 이상일 때 동물 플랑크톤이 냉각계통을 통과하면서 95%가 치사하는 것으로 조사되었으며(Kolehmainen, 1975)<sup>5)</sup>, 일본 Takahama 원자력발전소의 경우 동물 플랑크톤인 요각류의 71~81%가 치사한 것으로 조사되었음(Anraku, 1979). 우리나라의 경우, 2000년 이후 올진 원전 냉각계통 연행에서 복수기 통과 시 동물 플랑크톤의 사망률이 30% 이하로 나타났지만, 고수온기에는 50% 이상의 사망률이 관측된다고 보고되었음

- 화력발전소의 경우 복수기 통과 시 동물 플랑크톤 사망률에 대한 장기 조사가 실시된 바 없으나 하동 화력발전소와 제주 화력발전소에서의 간헐적인 조사 결과에 의하면(부경대학교, 2000, 제주대학교, 2003) 대개 20% 전후로 나타났음
- 저서동물의 경우는 발전소 취수구에서 일어나는 강한 물살로 인하여 취수구 부근에 서식하고 있는 비 고착성 저서동물이 취수구 시설물에 충돌하거나 종종 냉각계통 내부로 연행되어 기계적 충격과 열 충격으로 피해를 입기도 함. 저서동물의 연행 사망률은 개체의 크기가 클수록 커지며, 온배수의 온도가 높을수록 현저하게 증가하는 경향을 보임

### C. 저서동물

- 저서동물의 경우는 발전소 취수구에서 일어나는 강한 물살로 인하여 취수구 부근에 서식하고 있는 비 고착성 저서동물이 취수구 시설물에 충돌하거나 종종 냉각계통 내부로 연행되어 기계적 충격과 열 충격으로 피해를 입기도 함. 저서동물의 연행 사망률은 개체의 크기가 클수록 커지며, 온배수의 온도가 높을수록 현저하게 증가하는 경향을 보임

### (3) 온배수 확산구역에서의 영향

- 온배수 배출은 매우 지속적인 것으로 비록 그 영양 범위가 제한된 지역에 국한된다 할지라도 표층 수온의 자연적 일교차를 초과하는 수준의 온도 변화를 일으켜 온배수 확산 구역 내의 생태계 구성 종의 변화를 가져옴
- 이처럼 발전 온배수는 주변 해수온 상승을 야기하여 동물 플랑크톤의 감소, 해조류의 성장 저해, 저서생물의 종 감소, 생물상의 변화 등 심각한 피해를 입히며 특히 인근 연안에서 양식 및 서식하는 김, 미역 등 조류의 성장을 심각하게 저해하는 것으로 알려져 있음

### A. 식물 플랑크톤

5) 냉각계통 연행에서 살아남은 동물 플랑크톤도 연행 중 입은 기계적 충격으로 더듬이와 부속기가 손상되어 이후 생존 가능성이 매우 낮다.

- 발전소 온배수가 유입되는 해역의 식물 플랑크톤은 계절에 따라 다르게 반응함
- 대체로 봄과 가을에는 자연 수역보다 온배수가 유입되는 해역에서 식물 플랑크톤의 생산력(productivity)이 증가하는 경향을 보이지만, 여름철에는 자연 해수의 온도가 상대적으로 높는데 더하여 온배수가 지닌 열에너지가 추가되기 때문에 대부분 식물 플랑크톤 종의 최적 생육 온도를 넘거나, 간혹 상한 온도를 초과하기 때문에 온배수 확산 지역의 식물 플랑크톤의 생산력이 감소함
- 사실상 온배수 확산 구역에 있어 식물 플랑크톤의 생산력은 연행에 따른 영향보다는 온배수 배출로 자연보다 상대적으로 높아진 수온 변화에 보다 많은 영향을 받는 것으로 추정됨
- 식물 플랑크톤의 종 다양성지수와 일차생산력의 감소는 온배수의 강도에 따라 다소 차이는 있지만 배수구 주변 1km 이내의 수역에 제한되고 있는 것으로 생각되며,  $\Delta T 1^{\circ}\text{C}$  이상의 범위에서는 전체적으로 광온 내열성 식물 플랑크톤이 우점하고 있는 것으로 판단됨
- 원자력발전소 냉각계통 연행에 의한 식물 플랑크톤 사망률은 50% 이상 된다고 보고된 바도 있으며(여, 1992), 기력 발전소의 경우도 30% 이상이 된다고 보고되어 있음(부경대학교, 2000)

## B. 동물 플랑크톤

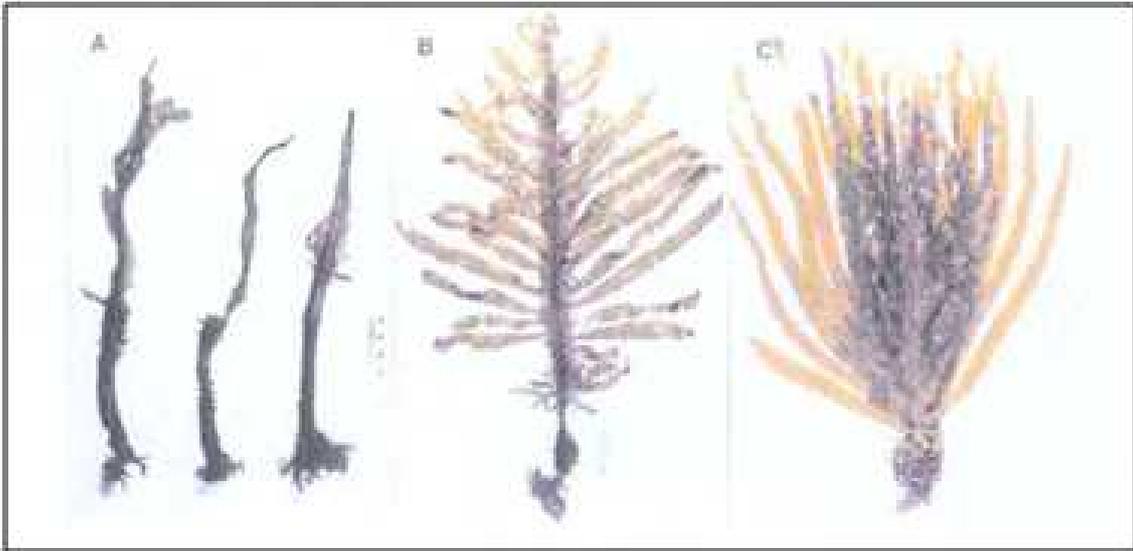
- 온배수가 유입되는 해역에서 동물 플랑크톤을 조사한 결과를 종합해 볼 때, 자연 수온이 그다지 높지 않은 계절에는 개체군 밀도에 있어 일관된 경향을 찾기 어렵지만 수온이 높은 배수역과 1km 이내의 정점에서는 수온이 상승함에 따라 동물 플랑크톤의 현존량이 감소하는 추세를 보임<sup>6)</sup>
- 동물 플랑크톤의 경우 수온 등과 같은 미세 환경 요인 변화에 따른 군집 동태 파악이 잘 알려져 있지 않으나 일반적으로 배수구에서는 종 다양성 지수가 감소하고 경우에 따라 내열성 종들의 대량 출현이 보고되기도 하지만 대부분의 경우 출현량도 감소하는 것이 일반적임
- 또한 원자력발전소 냉각계통 연행에 의한 동물 플랑크톤의 사망률은 열 쇼크보다는 물리적 충격에 의한 영향이 큰 것으로 알려져 있는데 30%를 초과할 경우 주변 해양 생태계에 심대한 영향을 끼칠 수 있는 개연성이 있지만 이에

6) 동물 플랑크톤은 자연 수온이 높은 계절에는 현존량이 감소하는 추세를 보이는데, 이는 온배수 영향으로 해수 온도가 동물 플랑크톤의 최적 생육 온도의 제한선인  $30^{\circ}\text{C}$ 를 넘기 때문이다. 동물 플랑크톤의 감소에 따라 수산업 피해가 발생한다 (한국전력공사 전력연구원 1995).

대한 연구는 아직 보고된 바 없음

### C. 해조류

- 고착성 해조류는 서식지의 환경 조건에 따라 대상 종의 생존 여부가 좌우되기 때문에 발전소에서 배출되는 온배수의 영향을 논함에 있어 해조류는 중요한 지표생물 (indicatororganism)의 하나로 간주됨
- 조석 작용에 따라 규칙적으로 물에 잠기거나 드러나는 조간대에 출현하는 해조류는 정상적인 조건에서도 온도 변화와 건조에 대하여 어느 정도 내성을 가지고 있기 때문에 대체로 온배수에 대한 영향이 그다지 크지 않음
- 반면에 항상 물에 잠겨 있는 조하대의 해조류는 조간대의 경우보다 훨씬 안정된 조건에서 생육하는 탓에 온배수의 영향을 받게 되면 생장이 감소하거나 출현종의 조성이 바뀌는 경향을 보임
- 1978년에 고리원전 1호기가 가동을 시작한 이래 지난 20여 년간 국내에서 가동 중인 원전 주변에 출현하는 해조류를 대상으로 수행된 각종 조사 결과들을 종합해 볼 때, 발전소 배수구에 인접한 조사 정점에서는 온배수의 영향을 덜 받는 정점 들과 비교하여 해조류의 종조성과 생물량이 모두 빈약한 것으로 나타나고 있음(김과 김, 1991, 김, 1999a).
- 특히 양식 해조류 가운데 주류를 이루는 김과 미역의 생장에 필요한 온도 범위는 다음과 같음
  - 김은 생육 초기에 수온이 15℃ 이하로 떨어져서 안정되기 전에는 갯병의 우려가 많아 안심이 되지 않으므로, 김 양식에서는 “15℃ 한계”를 중요시하고 있음
  - 또한, 미역의 엽체는 가을부터 자라서 봄까지 성숙하며, 성숙한 엽체의 생장에는 12℃ 보다 낮은 온도가 적합하고, 5~10℃가 최적 생장 조건임
- 따라서 미역의 성엽이 성장하는 겨울에 자연 해수의 온도가 이상 고온 현상을 나타내거나 또는 온배수 확산역을 접하게 되면 정상적인 생장을 기대하기 어렵게 됨



<그림 6> 고리원전 배수구 부근 미역(A)과 인근 문동리 해안의 미역(B, C)의 엽체비교 (김영환, 1990)

- 이처럼 해조류는 온배수 영향을 받게 되면 생장이 저해되고 출현 종의 조성이 바뀌거나 소멸함)

#### D. 저서동물

- 온배수 확산 구역에서 저서생물 연구 결과 Hedgpeth and Gono(1969)는 종 감소 현상을 보고하였으며 Warinner and Bremer(1966)는 여름철 종 다양성이 낮아진다고 보고하였는데 우리나라에서도 유사한 양상이 보고되고 있음
- 자연 상태와 같은 조건을 가지고 있는 삼천포 화력발전소의 취수로에서는 년 중 20~47종이 출현하지만, 온배수 영향이 큰 배수로에서는 11~29종이 출현하였으며, 온배수 확산 구역에서는 19~38종이 출현하여 수온에 따른 종 감소 현상이 뚜렷하게 나타났음<sup>8)</sup> (이, 1987).
- 전체적으로 온배수 영향이 클수록 종 수는 감소하지만 배수구에서 가까운 곳을 제외하고는 생물량이 증가함

7) 고리원전의 경우 가동 전에는 배수구 부근에서 참도박, 작은구슬산호말 등이 우점종이었으나, 가동 후에는 참도박의 생육이 감소하고 개서실은 출현하지 않은 반면 애기우뚝가사리가 우점종이 되었다(김영환 1980). 영광원전은 가동 전에 136g. dw/m<sup>2</sup>의 생육이 관찰되었으나, 가동 후에는 무게를 측정할만한 해조류가 전혀 출현하지 않았다(한국해양연구원 2008).

8) 조무래기따개비와 삼각따개비의 부착 기간은 온배수의 영향으로 제1차 부착 시기는 5-8월에서 5-7월로 1 개월 단축하고, 2차 부착 시기는 11월에서 11-12월로 연장된다 (한국해양연구원 2008).

## E. 어류

- 어류는 운동성이 높고,  $0.03\sim 0.1^{\circ}\text{C}$ 의 미세한 온도 변화도 감지할 수 있는 능력을 가지고 있어서 (Houston, 1982), 선호하는 온도에 따라 공간적으로 재 분포가 일어나게 됨
- 통상적으로 온도 변화에 대하여 어류가 적응할 수 있는 범위는 온도가 상승할 경우  $1.1^{\circ}\text{C}/\text{일}$  미만으로 알려져 있으며(Samueland Jordan, 1980) 온도가 감소할 경우에는 이보다 변화의 폭이 적어야 적응할 수 있음
- 우리나라 연안에 서식하는 어류는 대부분 수온이 하강하는 겨울철에는 보다 따뜻한 수온을 찾아 깊은 곳으로 이동하거나 남쪽으로 계절 회유를 하여 출현 종 수가 줄어드는데, 발전소 온배수가 영향을 미치는 해역에서는 겨울철에도 따뜻한 수온을 좋아하거나 월동을 하려는 어종이 모여들기 때문에 인근 해역에 비해서는 상대적으로 많은 수의 종이 출현하고 있음(한국전력공사, 1999)
- 이처럼 우리나라의 경우 어류 종 교대 현상 (아열대성/난류성 어류)이 일어나는 것으로 판단되는데, 울진 원자력발전소의 조사에 의하면 온배수의 영향을 받는 배수로와 배수구 인근 해역에서 파랑돔, 독가시치, 자리돔, 뽕에돔, 잿방어 등의 아열대성 및 난류성 어종이 관찰되어, 종 교대 현상이 뚜렷이 나타난 것으로 보임

## 부 록

〈표 19〉 대기오염물질의 사회적 비용 산정 근거

PM mortality	VOLY median	VOLY median	VOLY mean	VOLY mean
O3 mortality	VOLY median	VOLY median	VOLY mean	VOLY mean
Health core?	Included	Included	Included	Included
Health sensitivity?	Not included	Not included	Included	Included
Crops	Included	Included	Included	Included
O3/Health metric	SOMO 35	SOMO 35	SOMO 0	SOMO 0
<b>EU 25(excluding Cyprus) averages</b>				
NH3	€11,000	€16,000	€21,000	€31,000
XOX	€4,400	€6,600	€8,200	€12,000
PM2.5	€26,000	€40,000	€51,000	€75,000
SO2	€5,600	€8,700	€11,000	€16,000
VOCs	€950	€1,400	€2,100	€2,800
<b>Seas averages</b>				
NH3	n/a	n/a	n/a	n/a
XOX	€2,500	€3,800	€4,700	€6,900
PM2.5	€13,000	€19,000	€25,000	€36,000
SO2	€3,700	€5,700	€7,300	€11,000
VOCs	€780	€1,100	€1,730	€2,300

VSL : Valuation of mortality using the value of statistical life

VOLY : Value of a life year

SOMO 35 : 35ppb cut-point for quantification of ozone health impacts

〈표 20〉 보령 화력발전소 연평균 배출가스 농도

연평균값	1~6	15~16	1~6	15~16	1~6	7~12	15~16
보령	TSP(ppb)	TSP(ppb)	S02(ppm)	S02(ppm)	Nox(ppm)	Nox(ppm)	Nox(ppm)
2004	9.57		77.19		156.81		
2005	38.14		76.82		168.49		
2006	17.71		72.95		123.50	31.37	
2007	35.55		64.36		119.08	34.58	
2008	79.29	4.76	77.11	20.35	148.08	90.70	40.22
2009	111.07	35.66	44.34	30.76	145.93	147.96	58.01
2010	93.78	141.29	45.53	26.58	127.76	61.93	63.97
2011	11.69	5.63	37.58	23.99	83.99	41.65	52.30
2012	114.20	4.05	75.27	24.12	190.09	32.86	58.72
기준치	1~6	15~16	1~6	15~16	1~6	7~12	15~16
	TSP(ppb)	TSP(ppb)	S02(ppm)	S02(ppm)	Nox(ppm)	Nox(ppm)	Nox(ppm)
	30	20	100	80	150	100	80
기준치 초과량	1~6	15~16	1~6	15~16	1~6	7~12	15~16
보령화력	TSP(ppb)	TSP(ppb)	S02(ppm)	S02(ppm)	Nox(ppm)	Nox(ppm)	Nox(ppm)
2004	-20.43		-22.81		6.81		
2005	8.14		-23.18		18.49		
2006	-12.30		-27.05		-26.50	-68.64	
2007	5.55		-35.65		-30.92	-65.42	
2008	49.29	-15.24	-22.90	-59.65	-1.92	-9.30	-39.78
2009	81.07	15.66	-55.66	-49.24	-4.07	47.96	-21.99
2010	63.78	121.29	-54.47	-53.43	-22.24	-38.07	-16.03
2011	-18.31	-14.38	-62.42	-56.01	-66.01	-58.35	-27.71
2012	84.20	-15.96	-24.73	-55.88	40.09	-67.15	-21.29

〈표 21〉 당진 화력발전소 연평균 배출가스 농도

연평균값	1~8	1~8	1~8
당진화력	TSP(ppb)	SO2(ppm)	Nox(ppm)
2004	14.10	28.53	126.44
2005	47.60	26.72	113.05
2006	25.34	25.49	86.19
2007	36.77	32.31	78.48
2008	68.04	42.30	81.03
2009	76.65	28.56	105.74
2010	45.15	27.99	88.46
2011	5.02	22.33	67.83
2012	59.13	29.01	77.81
기준치	1~8	1~8	1~8
	TSP(ppb)	SO2(ppm)	Nox(ppm)
	30	100	150
기준치 초과량	1~8	1~8	1~8
당진화력	TSP(ppb)	SO2(ppm)	Nox(ppm)
2004	-15.90	-71.47	-23.56
2005	17.60	-73.28	-36.96
2006	-4.66	-74.51	-63.81
2007	6.77	-67.69	-71.52
2008	38.04	-57.70	-68.98
2009	46.65	-71.44	-44.26
2010	15.15	-72.01	-61.54
2011	-24.98	-77.67	-82.17
2012	29.13	-70.99	-72.19

〈표 22〉 서천 화력발전소 연평균 배출가스 농도

연평균값	1~2	1~2	1~2
서천화력	TSP(ppb)	S02(ppm)	Nox(ppm)
2004	48.96	48.33	264.80
2005	28.64	56.01	173.06
2006	77.18	60.42	205.32
2007	60.51	68.40	198.18
2008	159.07	77.30	251.71
2009	182.63	112.45	298.72
2010	121.94	67.73	307.87
2011	38.58	38.59	222.99
2012	17.01	42.21	199.23
기준치	1~2	1~2	1~2
	TSP(ppb)	S02(ppm)	Nox(ppm)
	40	100	350
기준치 초과량	1~2	1~2	1~2
서천화력	TSP(ppb)	S02(ppm)	Nox(ppm)
2004	8.96	-51.68	-85.21
2005	-11.36	-43.99	-176.95
2006	37.18	-39.59	-144.68
2007	20.51	-31.61	-151.82
2008	119.07	-22.70	-98.29
2009	142.63	12.45	-51.28
2010	81.94	-32.27	-42.13
2011	-1.43	-61.42	-127.02
2012	-23.00	-57.80	-150.78

〈표 23〉 태안 화력발전소 연평균 배출가스 농도

연평균값	1~6	1~6	1~6
태안화력	TSP(ppb)	S02(ppm)	Nox(ppm)
2004	14.19	38.57	119.96
2005	45.06	31.29	120.96
2006	63.06	31.78	106.42
2007	37.74	38.29	51.38
2008	120.50	41.31	189.66
2009	77.63	34.62	108.96
2010	66.61	31.23	78.19
2011	47.75	33.36	82.52
2012	37.98	63.16	104.65
기준치	1~6	1~6	1~6
	TSP(ppb)	S02(ppm)	Nox(ppm)
	30	100	150
기준치 초과량	1~6	1~6	1~6
태안	TSP(ppb)	S02(ppm)	Nox(ppm)
2004	-15.81	-61.43	-30.04
2005	15.06	-68.71	-29.04
2006	33.06	-68.23	-43.58
2007	7.74	-61.71	-98.62
2008	90.50	-58.69	39.66
2009	47.63	-65.39	-41.05
2010	36.61	-68.77	-71.81
2011	17.75	-66.64	-67.48
2012	7.98	-36.84	-45.35