

20001 춘계학발표회 논문집

한국원자력학회

석탄화력과 원자력의 환경외부비용 비교

문기환, 임채영, 송기동

한국원자력연구소
대전광역시 유성구 덕진동 150

요약

삼천포 석탄화력발전소와 영광 원자력발전소를 각각 1년간 운영하면서 발생하는 대기오염원이 인체 및 작물에 미치는 영향에 대한 환경외부비용을 추정하였다. 분석결과에 의하면 삼천포 석탄화력발전소에 분진, 탈황, 탈질 설비와 같은 환경설비를 부착하는 경우, 33.97원/kWh의 환경외부비용이 발생하는 것으로 추정되었다. 하지만 영광 원자력발전소를 1년간 운영하면서 발생하는 환경외부비용은 0.76원/kWh로 석탄화력에 비하면 거의 인체 및 작물에 영향을 끼치지 않는 것으로 평가되었다. 또한 영광지역에 동일용량의 원자력발전소와 석탄화력발전소를 각각 건설할 경우에 대한 환경외부비용을 추정한 결과 석탄화력이 원자력에 비해 50배 이상인 것으로 나타나 영광지역에는 원자력을 건설하는 것이 바람직한 것으로 나타났다. 이와 같은 결과들을 통해 원자력이 석탄화력에 비해서 인체와 작물에 덜 영향을 끼치는 환경친화적인 발전원임을 알 수 있다.

Abstract

Efforts were made to assess the environmental external costs of power plants for both Samchonpo coal-fired plant and Younggwang nuclear power plant by using the computer program developed by the IAEA. In the case that the emission control devices such as precipitator for particulates reduction, wet scrubber for SO₂, and low-NO_x burner for NO_x were installed in the coal-fired power plant, total environmental external cost was estimated as 33.97Won/kWh, much higher than 0.76Won/kWh of Younggwang nuclear power plant. And this study also assessed and compared the environmental external costs when Younggwang nuclear power plant was replaced by the coal-fired power plant at the same site and with the same capacity. According to the result, total environmental external cost of coal-fired power plant, with the emission control devices installed, was estimated as 792 million US\$ and it was about 50 times higher than 15 million US\$ of Younggwang nuclear power plant. Although the result of this study had some limits due to using the simplified model, it was still true that nuclear power was much more environmentally friendly power source than coal-fired power.

1. 서론

우리 나라는 외환위기로 '98년에 -3.6%라는 마이너스 성장을 기록하였지만 '99년 이후 경제성장이 회복국면으로 접어들고 있다. 이와 같은 경제성장은 앞으로도 지속될 것으로 국내·외 경제기관에서 전망하고 있기 때문에 경제성장의 원동력인 전력수요도 지속적으로 증가할 것으로 예상된다. 또한 환경에 관한 국제적인 논의가 활발히 진행 중에 있는데 특히 기후변화협약에 의한 지구온실가스의 배출규제 움직임에서 알 수 있는 바와 같이 환경규제가 점점 강화되고 구체화되고 있는 추세다.

한편 인간의 활동 특히 에너지의 이용에 의해 야기되는 지구온난화, 산성비, 오존층파괴와 같은 환경영향은 인체, 숲, 곡물, 물, 건물 등 다양한 분야에 피해를 입히고 있다. 이와 같은 피해는 보통 생산자와 소비자에 의해 해당 재화에 반영되지 않았으며, 이는 건설비, 운영비, 연료비 등과 같은 사적인 비용과는 달리 외부비용으로 구분하고 있다. 최근에는 환경영향과 외부비용의 평가에 관심이 높아지고 있는데 이는 환경규제의 강화에 의한 비용-편익분석의 필요성과 환경영향을 고려한 통합적인 의사결정의 필요성이 요구되기 때문이다. 우리 나라의 경우도 예외는 아니어서 장기전원계획 수립 시에 이러한 환경변화를 고려하기 위한 노력을 기울이고 있다. 저유황탄과 저유황유, LNG 연료를 사용하거나 배연탈황 및 탈질, 집진설비 등과 같은 환경설비를 발전소에 부착하는 환경친화적인 사업을 추진하고 있다. 또한 전력부문에서의 이산화탄소 배출량을 2010년 이후에는 0.11kg-C/kWh로 안정화시키기 위한 목표를 달성할 수 있도록 전원구성을 계획하고 있다. 하지만 환경영향의 비용화 즉 외부비용 산출과 관련된 연구는 최근에야 관심을 갖는 정도로 유럽과 미국에 비해 많이 뒤쳐져있는 실정이다. 환경외부비용의 산출이 필요한 것은 사적인 비용이 지속가능한 개발 개념을 고려하지 못할 뿐만 아니라 사적인 효율만 강조할 뿐 사회 전체적인 효율을 반영하지 못하는 폐단이 있기 때문이다.

그리하여 본 연구에서는 IAEA에서 개발한 프로그램을 이용하여 국내의 대표적인 석탄화력과 원자력 발전소를 대상으로 하여 환경외부비용을 추정하였다. 또한 환경시설의 부착이 외부비용에 미치는 효과를 분석하였고, 마지막으로 특정지역을 선정하여 석탄화력과 원자력의 환경외부비용을 추정·비교함으로써 적정 발전소 선택을 시도하였다.

2. 환경외부비용 추정

본 연구에서는 우리 나라의 주요 전력공급원인 석탄화력발전소와 원자력 발전소를 대상으로 환경외부비용을 추정하였는데, 이는 '99년말 기준으로 이들 발전원이 전체 발전량 중에서 43.1%와 34.0%를 각각 차지하고 있기 때문이다. 화력발전소의 외부비용 추정은 IAEA에서 개발한 "AIRPACTS" 프로그램을 이용하였고, 원자력발전소의 경우도 IAEA의 프로그램을 이용하였다.

가. 삼천포 석탄화력발전소

석탄화력발전소의 환경외부비용을 추정하기 위하여 삼천포화력발전소를 선정하였다. 삼천포 화력발전소의 총 설비용량은 3,240MWe(560MWe 4기, 500MWe 2기)이며, 반경 50km²내의 인구밀도는 786.8명이다. 환경설비의 부착 여부에 따른 환경외부비용을 추정하기 위하여 집진기, 탈황설비, 탈질설비 등과 같은 환경설비를 고려하였으며, 이들 설비의 효율은 각각 99.5%, 90%, 50%로 가정하였다. 인체영향의 경우는 호흡기질환, 급성사망, 암에 의한 피해를 살펴보고자 하였고, 이를 위한 단위 피해비용

은 IAEA의 자료를 수정·보완하여 활용하였다. 작물피해의 경우는 미곡, 보리 및 소맥, 감자 및 고구마, 콩, 기타 작물을 대상으로 하였고, 이를 위한 단위비용은 국내 물가를 이용하였다. 표-1은 삼천포 화력발전소의 환경외부비용을 산출하기 위한 주요 입력자료이다.

표-1 삼천포화력발전소 주요 입력자료

구 분	단 위	입 력 값		비 고
		환경설비 미부착	환경설비 부착	
1. 발전소 자료 - 시설용량 - 연돌 높이 - 출구 온도 - 출구 속도 - 배출량 속도 - 풍속계 높이	MWe m ℃ m ³ /s Nm ³ /s m	3,240 200 136 18.6 2,140.3 10	좌동	삼천포화력 자료
2. 환경 자료 - SO ₂ - NO _x - 분진	ton/yr ton/yr ton/yr	63,577 35,875 1,816	6,358 17,938 908	삼천포화력 자료
3. 비용 자료 - 인체 * 호흡기질환 * 급성사망 * 암 - 작물 * 미곡 * 보리/소맥 * 감자/고구마 * 콩류 * 기타	\$/case \$/case \$/case ton/(yr·km ²) ton/(yr·km ²) ton/(yr·km ²) ton/(yr·km ²) ton/(yr·km ²) ton/(yr·km ²)	5,675 60,810 260,000 180 1,030 1,138 3,756 696	좌동	IAEA 자료 보정 국내 물가자료
4. 인구 자료 - 지역(local) - 권역(regional)	명/km ² 명/km ²	122 786.8	좌동	삼천포화력 자료

이와 같은 입력자료를 이용하여 삼천포 화력발전소의 환경외부비용을 추정된 결과는 표-2와 같다. 이 결과에 의하면 환경설비를 부착하는 경우의 환경외부비용은 연간 약 6.8억\$로 부착하지 않는 경우의 21.3억\$에 비해 1/3정도로 줄어드는 것으로 나타났다. 작물 피해의 경우 환경설비를 부착하지 않는 경우와 부착하는 경우 각각 -3.7백만\$와 -0.26백만\$의 외부비용(편익)이 발생하는 것으로 추정되는데 이는 SO₂의 비료효과에 기인한다. 일례로 환경설비미부착시, 인체에 크게 영향을 미치는 환경오염원은 SO₂, NO_x, 분진 순이며, SO₂와 NO_x에 의한 피해가 전체의 95% 정도를 차지하여, 이들 오염원의 관리가 필요한 것으로 나타났다.

표-2 삼천포화력발전소의 환경외부비용 추정 결과

영향 부문	오염원 종류	외부비용(백만\$/년)	
		환경설비 미부착	환경설비 부착
인체 영향	분진	103.7	103.7
	SO ₂	1,111.0	112.1
	NO _x	917.3	458.7
	기타	1.5	1.5
작물 피해	SO ₂	-3.7	-0.26
계		2,129.8	675.7

한편 표-3은 SO₂의 배출이 인체에는 피해를 입히지만 일정 농도 범주에서는 농작물에 어느 정도 비료의 효과가 있기 때문에 비용이 아닌 혜택으로 작용한다. 이 표의 결과에서도 알 수 있듯이 환경설비를 부착하지 않은 경우가 연간 약 4백만\$의 비료효과가 있는 반면에 부착한 경우는 연간 약 30만\$ 정도의 비료효과가 있는 것으로 나타났다. 농작물 중에서 감자 및 고구마와 콩이 가장 큰 혜택을 입는 것으로 나타났는데 이는 해당 농작물의 단가가 다른 농작물에 비해 비싼 결과 때문이다.

표-3 작물에 대한 SO₂의 비료효과(삼천포 지역)

	생산량 (ton/yr.km ²)	단가(\$/ton)	피해비용(백만\$/yr)	
			환경설비 미부착	환경설비 부착
미곡	2.29	180	-0.14	-0.01
보리 및 소맥	2.76	1,030	-0.97	-0.07
감자 및 고구마	3.29	1,138	-1.28	-0.09
콩류	0.86	3,756	-1.15	-0.08
기타 작물	0.62	696	-0.15	-0.01
계			-3.69	-0.26

나. 영광 원자력발전소

원자력발전소의 방사능 방출에 의한 환경외부비용을 산출하기 위해 영광원자력발전소를 그 대상으로 하였다. 연간 방사능 배출량은 영광 1호기~6호기 평균값을 이용하였고, 호흡기, 대기 및 지표 노출의 영향경로는 IAEA의 자료를 이용하였다. 영광지역의 주요 농작물의 수확량은 육류, 식량작물, 채소류, 우유의 경우 각각 9.03, 52.4, 1,297.4, 16.3 ton/km², 인구밀도는 557.3명/km², 풍속은 3.8m/초이다. 이와 같은 입력자료 등을 이용하여 영광지역의 환경외부비용을 추정한 결과는 표-4와 같다. 이 연구의 결과는 2000년도에 수행한 연구결과를 인용하였는데 이는 결과에 영향을 끼칠만

한 변수의 변화가 없었기 때문이다.

표-4 영광 원자력발전소의 환경외부비용 추정 결과

(단위 : US\$)

	지역권 영향	권역권 영향	지구권 영향	총 영향
치명적 압	709,000	125,000	9,170,000	10,004,000
비치명적 압	24,400	43,000	3,150,000	3,217,400
치명적 유전영향	142,000	25,000	1,830,000	1,997,000
총 영향	875,400	193,000	14,150,000	15,218,400

3. 환경측면에서의 적정 발전원

본 연구에서는 영광 원자력발전소 부지에 동일 용량의 석탄화력발전소로 대체하는 경우에 대한 환경외부비용을 비교·평가하였다. 이와 같이 영광지역을 선정하게 된 이유는 원자력 부지에 석탄화력이 입지할 수는 있지만 석탄화력 부지에 원자력이 입지하기에는 적합하지 않기 때문이다. 이 지역에 입지하는 석탄화력발전소의 기술적인 특성은 삼천포 화력발전소와 동일하며, 단지 영광원자력발전소와의 환경외부비용을 비교하기 위하여 동일 용량인 3,900MWe으로 용량을 격상하는 것으로 가정하였다. 이를 위한 평가는 IAEA 모형을 이용하였고 그 결과는 표-5와 같다.

표-5 화력발전소의 환경외부비용 추정 결과 (영광지역)

영향 부문	오염원 종류	외부비용(백만\$/년)
		환경설비 부착
인체 영향	분진	103.7
	SO ₂	134.7
	NO _x	552.1
	기타	1.5
작물 피해	SO ₂	-0.4
계		791.6

분석결과에 의하면 환경설비를 부착한 석탄화력발전소의 환경외부비용은 7.9억\$로 추정되었으며, 이는 영광 원자력발전소의 환경외부비용인 15.2백만\$의 52배에 해당한다. 이와 같은 결과는 인구밀도와 식량 재배면적 등과 같은 단순한 자료를 이용하여 도출된 결과이기 때문에 단정적으로 결론을 내리기에 다소 한계가 있지만 원자력이 석탄화력보다는 환경친화적임을 알 수 있게 해준다. 또한 이와 같은 결과는 발전원간의 경제성 비교와 전원계획의 입력자료로 활용할 경우 효율적인 자원 배분이 가능해짐은 물론 기후변화협약에 효과적으로 대응할 수 있는 전원구성을 가능하게 해 줄 것이다.

한편 영광지역에서의 작물에 대한 SO₂의 비료효과는 표-6과 같이 연간 2.45백만\$의 정도의 혜택이 있는 것으로 추정되었다.

표-6 작물에 대한 SO₂의 비료효과(영광지역)

	생산량 (ton/yr.km ²)	단가(\$/ton)	피해비용(백만\$/yr)
			환경설비 부착
미곡	117.4	180	-0.87
보리 및 소맥	10.6	1,030	-0.45
감자 및 고구마	6.9	1,138	-0.32
콩류	5.2	3,756	-0.80
기타 작물	0.3	696	-0.01

4. 요약

본 연구에서는 IAEA에서 개발한 환경외부비용 프로그램을 이용하여 삼천포 화력발전소와 영광 원자력발전소를 1년간 운영하면서 발생하는 환경외부비용을 추정하였다. 분석결과에 의하면 삼천포 석탄화력발전소에 환경설비를 부착하는 경우, 33.97원/kWh의 환경외부비용이 발생하는 것으로 추정되었다. 이는 '98년도 유연탄화력의 실적발전원가가 37.84원/kWh임을 감안하면 상당한 외부비용이 석탄화력발전소에서 유발되는 것을 알 수 있다. 하지만 영광 원자력발전소를 1년간 운영하면서 발생하는 환경외부비용은 0.76원/kWh로 유연탄화력에 비하면 거의 인체 및 작물에 영향을 끼치지 않는 것으로 평가되었다. 마지막으로 영광지역을 대상으로 동일용량의 원자력발전소와 석탄화력발전소를 건설할 경우의 환경외부비용은 석탄화력이 원자력에 비해 50배 이상인 것으로 나타났다. 이와 같은 결과들은 입력자료의 불확실성과 국내 자료 미비에 따른 외국자료의 수정·보완에 따라 다소 유동성이 존재함에도 불구하고 원자력이 석탄화력에 비해서 인체와 작물에 덜 영향을 끼치는 환경친화적인 발전원임을 알 수 있다. 단지 이들 결과들에 대한 객관성과 정밀도를 높이기 위한 지속적인 자료의 보완이 이루어져야 할 것이다.

참고문헌

1. 에너지경제연구원, 에너지통계연보 2000.
2. 한국전력공사, 『경영통계』, 2000.
3. 한국전력공사, 『영광원자력 5,6호기 건설사업 환경영향평가보고서』, 1994. 11.
4. CEPN, Fr., ExternE Externalities of Energy(Vol.3: Coal & Lignite), ISSN 1018-5593, European Commission, 1995.
5. CEPN, Fr., ExternE Externalities of Energy(Vol.5: Nuclear), ISSN 1018-5593, European Commission, 1995.
6. IAEA, Course Material of RCA Training Course on Externalities Associated with Electricity Generation, 1998. 9.