

# 국가 전력원에 대한 환경성, 위험성, 사회성 비교평가

김태운, 김성호, 정환삼, 정종태, 문기환, 하재주  
한국원자력연구소

## A Comprehensive Comparative Assessment of the Environmental, Health, and Social Aspects of National Power Sources

Tae Woon Kim, Seong Ho Kim, Whan San Chung, Jong Tae Jeong, Ki Whan Moon, Jae Joo Ha  
Korea Atomic Energy Research Institute

### 1. 서론

다른 나라에 비하여 상대적으로 국내 일차에너지자원이 빈약한 우리나라의 상황에서, 더 나은 생활수준과 경제성장을 계속적으로 유지하기 위해서는 증가하는 에너지수요를 안정적으로 충족시켜야 한다. 이를 만족하려면 국가 에너지 정책을 세우면서 에너지원의 다양성과 더불어 에너지원들의 상호 시너지효과가 고려될 필요가 있다. 각 에너지원 대안들을 사회적 영향의 관점에서 비교 평가해서 얻어진 상대적 결과는 이러한 국내 에너지개발 및 전원개발 정책의 의사결정을 지원하는 데 활용될 수 있다. 예를 들면, 터키에서 에너지정책 계획에 도움을 주기 위하여, 원자력, LNG, 갈탄, 중유, 석탄 발전시스템이 각각 투자비, 전기비용, 환경공해성, 신뢰도/안전도 등의 평가항목들을 통해서 비교되었다[1]. 더욱이, 평가요소로 지속가능성이 고려되는 경우 얻어지는 비교평가 결과는, 지속가능성[2]이 반영된 에너지원 및 전원개발 정책에 보조적 자료로 활용될 수 있다. 국가의 다양한 전력생산시스템을 종합적인 사회적 영향이라는 평가기준에서 비교하는 문제는 하나의 다기준 의사결정 (Multi-criteria decision-making: MCDM)문제로 볼 수 있다. 이러한 MCDM 문제는 여러 가지 방법론들에 의하여 정성적 또는 정량적으로 다뤄지고 있다.

여기서 연구목적은 기존발전원 및 신재생에너지원의 환경성, 경제성, 위험성, 사회성 측면에서 종합적으로 비교 평가하는 방법론을 개발하고 정량화된 비교지표를 사용하여 각 발전원의 상대적 중요도를 파악하는데 있다. 우선 다양한 국내 발전원들의 환경성, 보건성, 사회성 등이 각각 간략하게 논의되고, 끝으로 결론적 의견 및 추후 연구 방향 등이 제시된다.

### 2. 발전원별 환경성 비교 평가

#### 2.1. 상용 발전소 대상 LCA 목록분석 DB 구축

2003년 현재 국내의 원자력, 석탄, LNG 발전에 의한 발전 비중이 각각 41%, 39%, 11%를 차지하여 전체 발전량의 90% 이상을 차지하고 나머지는 석유 (경유 및 중유)와 수력이 약 8% 정도를 차지하고 있다 (Fig.1 참조). 현재 풍력과 태양력에 의한 발전은 미미한 정도로 알려져 있다. 전체 발전량의 90% 이상을 차지하는 원자력, 석탄, LNG의 3개 발전원에 대하여 대상발전소를 선정하여 LCA 수행에 필요한 운영단계 및 건설단계 자료를 수집하였다. 원자력은 경수로와 중수로로 구분하였고 LNG는 기력과 복합 화력으로 구분하였으며 석탄은 유연탄을 원료로 사용하는 발전소를 대상으로 하였다.

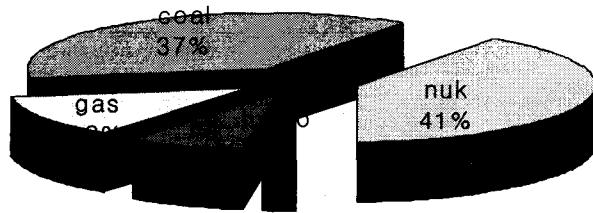


Fig.1: 발전원별 발전량 비율 (2003년)

## 2.2. 대상발전소 및 LCA

### 가) 대상발전소

선택된 발전원별 대표 발전소의 선정에 있어 원자력의 경우는 국내에 가동되고 있는 대표적 기종인 두 노형을 모두 평가하였다. 경수로의 경우는 우리나라 표준형 원전으로, 중수로의 경우는 이와 유사한 시기에 도입된 원전으로, 가스발전의 경우는 LNG의 두 가지 발전형태인 기력과 복합화력을 모두 고려하였다. 끝으로 원자력과 마찬가지로 기저부하 발전원으로 국내 전력공급의 양대축을 이루고 있는 석탄의 경우는 환경활동이 가장 활발한 유연탄화력 발전시스템으로 정하였다. 이들 발전소가 Table 1에 요약된다.

Table 1: 각 발전원별 대상발전소 및 기본 정보

발전원	경수 원자력	중수 원자력	유연탄화력	LNG 복합
대상발전소	울진 3,4호기	월성 2호기	태안화력 3,4호기	서인천복합화력 1,2단계
기준 운전기간	40년	40년	40년	40년
설비용량 (GW)	2.0 GW	0.7 GW	0.5 GW	1.8 GW
이용률 (%)	90%	90%	85%	30%
전력생산량 (TWh)	630 TWh	220 TWh	297 TWh	189 TWh
자료수집 기준연도	2001	2001	2002	1998

### 나) 분석범위 설정 및 DB 구축

본 연구의 분석 범위는 크게 발전과 운전중 발생 폐기물관리를 포함하는 운영단계를 중심으로 발전을 위한 건물의 건조와 이들을 위한 원료의 채취 및 가공단계를 포함한다. 이들을 순차적으로 정리하면 원료채취, power block의 건설, 운영단계로 구분하였다. Fig.2 에 각 발전원의 운영단계 공정들이 정리되어 주어진다.

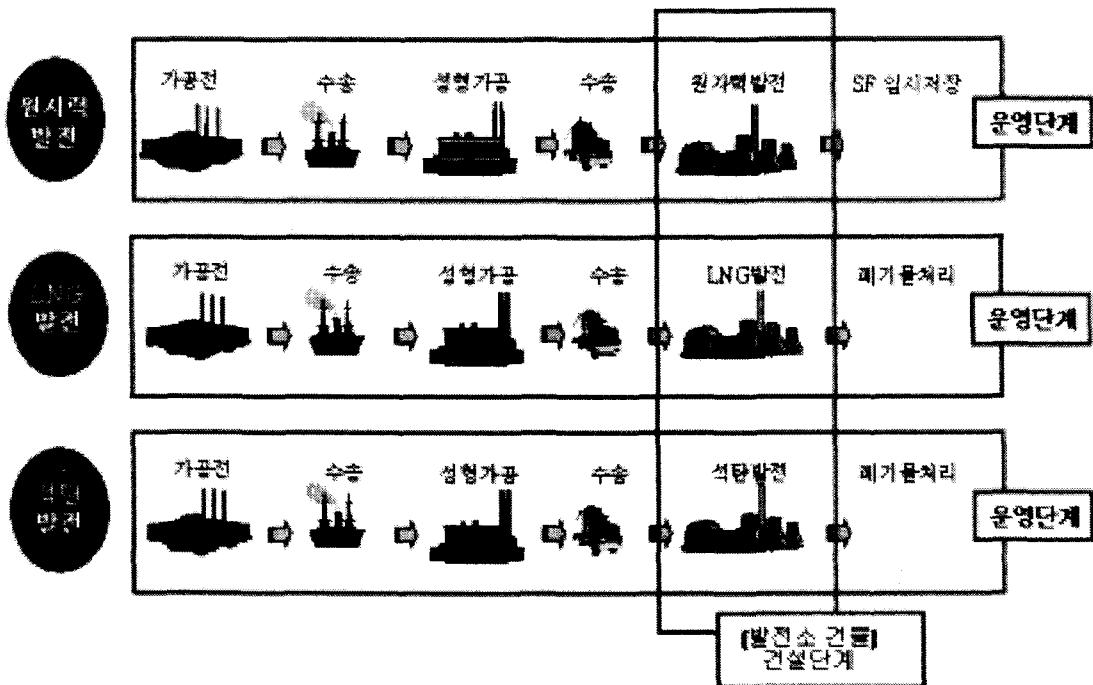


Fig.2: 발전원별 전과정 환경영향평가 범위 및 공정구분

발전원별 전과정시스템에 대한 환경성 D/B 구축은 다음과 같이 이루어졌다.

- 건설 및 운영단계의 전과정에 대한 환경성 D/B 구축
- 운영단계는 발전에 드는 원부자재와 발전후 발생되는 폐기물 관리 포함
- 국외 활동 (연료채굴, 해상수송) 단계 및 국내 활동 (저장, 수송, 발전) 단계에 대한 환경성 및 위해성 D/B 구분해 구축
- 국가 D/B 없을 경우 최신의 외국 D/B로 대체
- 일반데이터의 경우 가능한 국가(환경부, 산자부) LCI D/B 활용
- Data gap의 경우 무시

#### 다) LCA 수행 범위

본 연구에서 LCA 수행을 위해서는 다음과 같은 환경영향 범주를 설정하였다. 이를 평가단계별로 요약하면 다음과 같다. 가장 먼저 특성화 단계에서는 각 발전소에 대해 미리 설정된 환경영향범주를 기준으로 최초 영향평가를 범주별로 독립적으로 수행한다. 설정된 환경영향범주는 다음과 같다.

- 국내 Type III 제도에서 채택하여 사용 중인 6개 범주 : 자원고갈, 지구온난화, 오존층파괴, 산성화, 부영양화, 광화학적산화물생성
- 대표적인 발전소 입지지역 사회에 미치는 환경영향 3개 범주 : 육상생태계독성, 수상생태계독성, 인간독성

다음으로 정규화 단계에서는 일정기간과 지역범위에서 개별 특성화 값으로부터 범주별 중요도 순위를 규명하기 위해 수행된다. 이 연구에서는 산자부가 개발한 한국형 정규화 인자와 CML 방법론을 활용하였다. 이는 성격이 다른 9개 환경영향 범주들에 대한 특성화 결과를 하나의 통일된 값으로 평가하는데 있어 각 영향범주의 지역적 특성을 감안하여 정규화한 것이다. 마지막으로 가중화 단계는 LCA 수행에서 선택적으로 수행되곤 하는 데 본 연구의 경우 범주별 가중화 계수는 모두 동등하다고 보았다.

### 2.3. LCA 수행 결과

#### 가) 특성화 결과 [3]

특성화란 단위 전력 생산 당 배출되는 환경오염 물질의 배출량 (예, 지구온난화의 경우 g-CO<sub>2</sub> eq./kWh) 산출과정을 뜻한다. 여기서는 지구온난화가스(GHGs)배출에 대한 전과정 환경영향 평가(LCA 수행) 특성화 결과(Table 2 참조)를 예로 보여주기로 한다. 주로 이산화탄소와 메탄 가스가 지구온난화에 기여하는 가스로 알려져 있다. 메탄가스의 경우에는 이산화탄소에 비하여 약 40배 정도 환경영향이 큰 것으로 알려져 있다.

- 3개 발전시스템의 전과정(건설 및 운영단계)에 대한 LCA 수행 결과 영향이 높은 순위로는 유연탄, 기력 LNG, 복합화력 LNG, 경수 원자력, 중수 원자력 등이다.
- 운영단계가 건설단계보다 환경영향이 훨씬 큰 것으로 나타났음.
- 운영단계의 경우 국내 사이트에서 발생하는 발전단계의 경우가 해외사이트에서 발생하는 연료채굴 및 해외수송단계의 영향보다 훨씬 큰 것으로 나타났음.
- 운영단계 경우 각 발전원의 최근 현장데이터를 반영했으므로 결과의 신뢰도가 높음
- 그러나 건설단계의 환경영향이 높을 것으로 예상되는 기계공사와 전기, 계측제어설비 등의 데이터가 현실적으로 어려웠기 때문에 이로 인한 결과해석 및 활용상 제약이 예상됨
- 따라서 발전원간 환경영향 비교 시 운영단계 결과를 주로 활용하되, 건설단계의 경우 그 범위를 명확히 명시하는 것이 필요함
- 이를 국외의 평가사례와 비교하면 활발한 LCA 이용을 보이고 있는 일본 CRIEPI 보고서의 경우와 유사하게 나타났다. 일본의 추정결과가 Fig.3에 주어진다.

Table 2: 발전원별 GHGs 배출 추정 결과 (g-CO<sub>2</sub> eq./kWh)

	원료채취단계	발전단계	건설단계	합계
경수 원자력	0.54	25.94	2.13	28.61
중수 원자력	0.76	16.38	1.46	18.61
유연탄	53.01	1,037.10	4.15	1,094.27
기력 LNG	99.06	558.93	1.33	659.33
복합화력 LNG	81.95	437.99	1.33	521.28

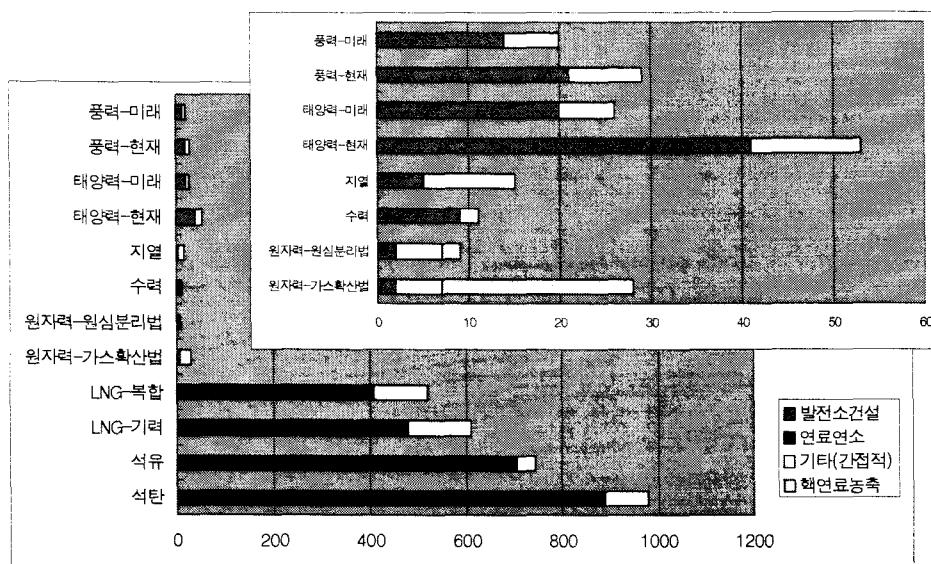


Fig.3: 일본의 발전원별 GHGs 배출량 추정 결과 (g-CO<sub>2</sub> eq./kWh)

#### 나) 정규화 수행

특성화에서 영향범주별로 각기 평가된 특성화 값들을 단일지수화 하여 범주간 중요도를 평가하는 정규화는 다음과 같이 건설단계와 운영단계로 구분하여 수행되었다.

##### ● 건설단계에 대한 정규화 결과

- 국내 발전시스템 건설 시 환경 이슈는 광화학적산화물 생성과 지구온난화임
- 건설단계에 대한 영향평가 결과 유연탄, 원자력, LNG 순으로 환경영향 높음(단, 정규화 수행 시 각 영향범주간의 가중치를 모두 1로 가정함)
- 그러나 실제 각 영향범주별 특성화 결과를 보면 발전시스템 간 차이가 크지 않음
- 유연탄 환경영향의 원인 물질은 철강재로서 타 발전시스템에 비해 투입량이 약 3배 높은 것에 기인함
- 자료수집의 미완결성으로 인하여 운영단계에 비해서는 100배 가량 낮은 것으로 분석되었음. 추후 기계설비 자료의 보완됨에 따라 재분석 예정임.
- 수력, 풍력, 태양력의 경우는 건설단계 환경영향이 상대적으로 클 것으로 예상됨. 추후 분석 예정임.

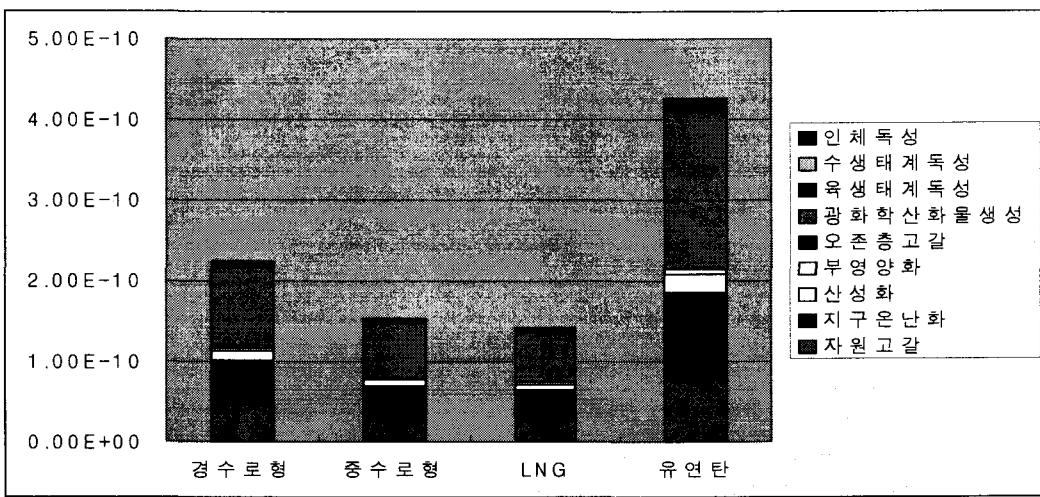


Fig.4: 발전원별 LCA 정규화 결과(건설단계)

#### ● 운영단계 정규화 결과

- 국내 발전시스템 운영 시 환경 이슈는 광화학적산화물 생성과 지구온난화 및 자원고갈임.
- 운영단계에 대한 영향평가 결과 유연탄, LNG(기력), LNG(복합화력), 원자력 순으로 환경영향 높음 (단, 정규화 수행 시 각 영향범주간의 가중치를 모두 1로 가정함).
- 운영단계가 건설단계보다는 100배 정도 환경영향이 높은 것으로 나타났음.

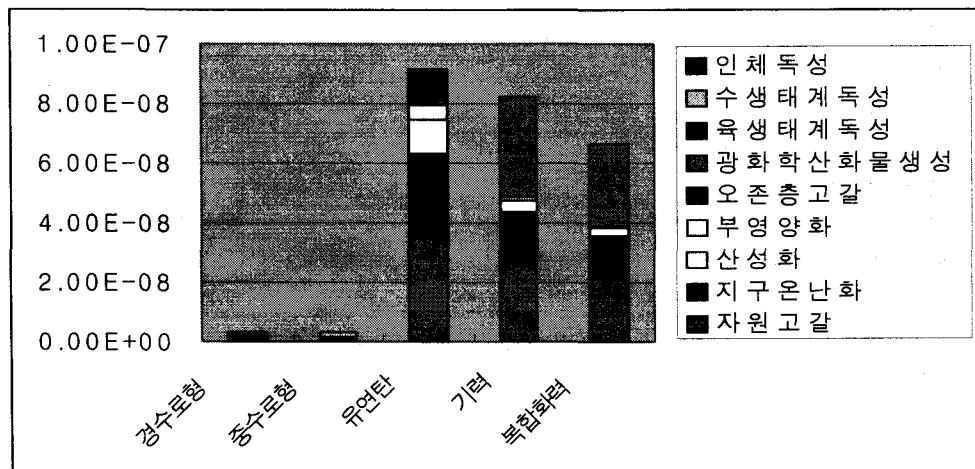


Fig.5: 발전원별 LCA 정규화 결과(운영단계)

#### ● 정규화 결과 종합

- 전과정단계에 대한 정규화 및 가중화 결과 유연탄과 LNG(기력, 복합화력)발전시스템의 환경영향이 가장 높은 것으로 분석됨.
- 발전시스템의 전과정단계에 대한 환경 이슈는 자원고갈, 지구온난화, 광화학적산화물 생성임

Table 3: 발전원별 정규화 결과 (단위 : Year/GWh)

영향범주	원자력 (경수로)	원자력 (중수로)	LNG (기력)	LNG (복합화력)	유연탄
자원고갈	1.17E-09	7.93E-10	2.66E-08	2.21E-08	3.50E-08
지구온난화	7.42E-10	4.83E-10	1.72E-08	1.36E-08	2.83E-08
산성화	4.60E-10	3.05E-10	4.08E-09	2.60E-09	1.17E-08
부영양화	6.92E-11	4.60E-11	1.16E-09	6.15E-10	4.86E-09
오존층고갈	4.41E-13	7.53E-13	1.75E-12	1.35E-12	1.00E-12
광화학산화물생성	2.20E-10	1.65E-10	3.34E-08	2.78E-08	1.48E-09
육생태계독성	2.89E-10	1.73E-11	8.81E-12	6.97E-12	1.02E-08
수생태계독성	6.90E-10	1.67E-09	1.13E-12	1.08E-12	7.57E-11
인체독성	4.33E-12	6.27E-12	2.84E-11	1.54E-11	1.08E-10
합	3.65E-09	3.48E-09	8.24E-08	6.68E-08	9.18E-08

### 3. 발전원별 보건성 비교평가

#### 3.1. 원전의 손실비용 비교 평가

정상운전시 대기중으로 방출되는 방사성 물질로 인한 보건성 (즉, 건강영향) 평가는 NukPacts 모델을 이용하였는데 이는 원자력 시설의 정상 운전시 대기중으로 방출되는 방사성 물질에 의한 만성 건강영향(Chronic Health Effect)을 평가하는 도구로 IAEA에서 개발하였다[4]. NukPacts 코드는 영향경로 접근법(Impact Pathway Approach)을 이용하여 대기 내 확산, 침적, 오염된 작물 섭취, 호흡을 통한 피폭선량 및 리스크 평가 및 손실비용을 평가하게 된다. 특히, NukPacts 코드에서는 중대사고시에는 고려하지 않는 정상운전시 방출되는 H-3와 C-14 동위원소에 의한 영향 평가가 가능하며 이외에 Co-58, Co-60, Kr-85, I-131, I-133, Xe-133, Cs-134, Cs-137에 의한 영향평가가 이루어진다. 또한, 이들 방사성 물질에 의한 만성 건강영향은 암 사망(Fatal Cancer), 암 상해(Non-Fatal Cancer), 유전적 영향(Severe Hereditary Effect)이다.

대기중으로 방출되는 방사성 물질의 양은 환경방사선조사보고서[5]에 요약되어 있는 2003년도 기체 폐기물 방출 양을 이용하였다. NukPacts 모델에서 고려하는 방사성 동위원소별 4가지 피폭경로에 대한 선량변환인자와 위험도 지수는 NukPacts 모델에서 제안한 값을 이용하였다. 3가지 만성 건강영향 리스크 평가를 위한 위험도 지수는 암 사망, 암 상해, 유전적 영향에 대해 각각 Sv 당 0.05, 0.12, 0.01이며 구매력 지수를 고려한 각각의 건강영향에 대한 단위비용은  $4.92 \times 10^5$ ,  $3.67 \times 10^5$ ,  $1.10 \times 10^6$  \$이다. 영향평가를 위한 각기상자료와 인구밀도는 각 부지별 특성 자료를 이용하였으며 오염된 음식물 섭취를 통한 피폭선량 계산을 위한 음식물 소비량은 농림부 통계자료를 이용하였다.

정상운전시 대기중으로 방출되는 방사성 물질로 인한 PWR 및 PHWR 발전소의 건강영향을 IAEA에서 제안한 단위 손실비용을 이용하여 총 손실비용으로 비교하였다. 정상운전시 PWR과 PHWR의 손실비용은 Fig.6에 도시된 바와 같으며 국내 4개 원전부지의 정상운전시 손실비용과 울진 및 월성 원전의 중대사고시의 손실비용의 비교 결과는 Fig.7에 도시된 바와 같다. 그림에서 알 수 있듯이 정상운전시 건강영향으로 인한 손실비용은 PHWR이 PWR에 비해 매우 크게 나타난다. 이는 NukPacts에서는 거리별 인구분포를 고려하는 것이 아니라 인구밀도가 입력자료로 이용되는데 PWR 부지인 울진에 비해 PHWR 부지인 월성의 인

구밀도가 10 배 정도 크기 때문에 방사성 물질의 영향을 받는 인구가 매우 많기 때문이다. 또한, 비교적 영향이 크게 나타나는 C-14이 PWR에서는 방출되지 않지만 PHWR에서는 많은 양이 방출되기 때문이다. 따라서, 정상운전 중의 방사선 영향을 감소시키기 위해서는 PWHR에서 C-14의 관리가 매우 중요함을 알 수 있다. 또한, 국내 원전 부지중 인구밀도가 가장 낮은 울진 부지의 건강영향으로 인한 손실비용이 가장 적게 나타나며 중대사고로 인한 손실비용이 정상운전시의 손실비용보다 크게 나타난다. 이는 방출 확률을 고려하더라도 중대사고시 방출되는 방사성 물질의 양이 정상운전시 보다 많기 때문이다.

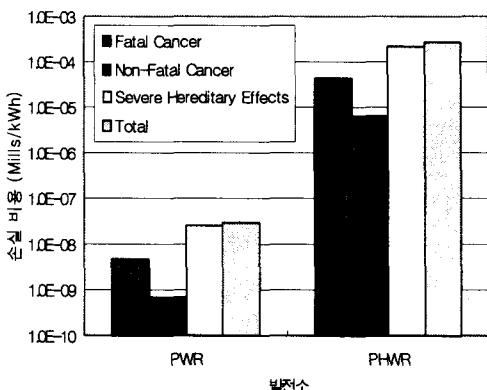


Fig.6: PWR/PHWR(정상운전)의 손실비용

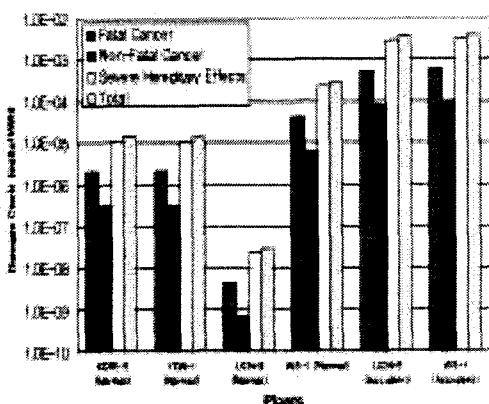


Fig.7: 정상운전/중대사고 시의 손실비용

### 3.2. 발전원별 운영으로 인한 손실비용 비교 평가

원자력 발전소의 운영으로 인한 손실비용과 화력발전소, 수력발전소의 운영으로 인한 손실비용을 평가하고 비교하였다. 화력발전소의 운영시 방출되는 오염물질로 인한 주변주민의 건강에 미치는 영향 평가와 수력발전소의 운영으로 인한 손실비용은 각각 IAEA에서 개발한 AirPatcs[6]와 HydroPacts[7] 모델을 이용하였다. 화력발전소의 영향평가를 위한 대상발전소로는 석탄을 이용하는 태안화력발전소, 수력발전소는 전북진안의 용담댐을 선정하였다.

태안화력발전소는 500 MW 6기의 발전소로 되어있으며 오염물질 방출 저감을 위해 침전기 및 탈황설비를 갖추고 있다. 그럼에도 불구하고 연간 방출되는 오염물질은 미세먼지(PM10) 112 톤, NOx 2,820 톤, SO<sub>2</sub> 1,002 톤이다. 원자력 발전소의 영향 평가결과와의 비교를 위하여 기본 입력 자료인 기상자료 및 인구분포는 울진의 자료를 이용하였다. 각각의 오염원별 손실비용은 Fig.8에 요약된 바와 같다. 그림에서 알 수 있듯이 일차 오염원 중 미세먼지에 의한 영향이 가장 크게 나타난다. 그러나, 질소화합물과 황화합물에 의한 손실비용이 더 크게 나타나는데 이는 일차 오염물질이 대기중으로 방출되어 이동하면서 생성되는 이차 오염물질이다. 따라서, 기본적으로 일차오염물질의 방출양이 적어야만 이차 오염물질에 의한 영향을 줄일 수 있다.

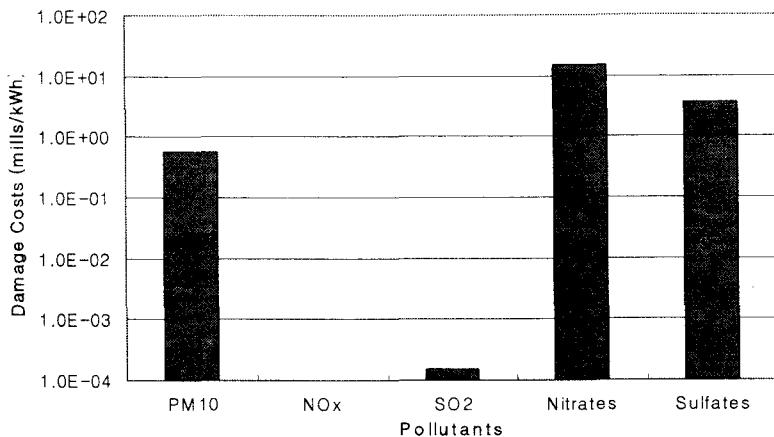


Fig.8: 화력발전소의 오염원별 손실비용

수력발전소의 손실비용 평가를 위한 대상 발전소인 용답댐은 시설용량 24,400 Kw이며 손실비용 평가의 주요 항목은 이주비용, 토양 손실비용, 인명손실 비용, 오염물질 방출로 인한 손실비용, 경작물 감소로 인한 손실비용이다. HydroPacts를 이용한 손실비용 평가 결과는 Fig.9에 도시된 바와 같다. 이 중 경작물 감소와 인구이주 비용의 비중이 매우 크며 인명손실에 의한 비용이 가장 적게 나타난다.

원자력 발전소, 화력, 수력 발전으로 인한 손실비용의 비교는 Fig.10에 도시된 바와 같다. 원자력 발전소는 국내 4개 원전 부지의 정상운전 중 방출되는 방사성 물질에 의한 손실비용과 중대사고로 인한 인체건강에 미치는 영향평가를 이용하였다. 또한 국내 대표적인 경수로형과 중수로형 발전소인 울진 3호기와 월성 1호기에 대해서는 정상운전 뿐만 아니라 중대사고시의 총 손실비용과 조기사망으로 인한 손실비용을 평가하여 비교하였다. 수력발전소의 경우에는 운영 중에 발생할 수 있는 인명손실과 오염물질 방출에 의한 손실비용을 이용하였다. 결과에 의하면 국내의 원자력 발전소는 정상운전 뿐만 아니라 중대사고시에도 화력발전소와 수력발전소에 비해 손실비용이 적게 나타난다. 따라서, 국내 원자력 발전소는 다른 발전원에 비해 운영으로 인해 주변 주민 및 환경에 미치는 영향이 상대적으로 적기 때문에 국민 수용성 측면에서 상대적 우위에 있음을 알 수 있다.

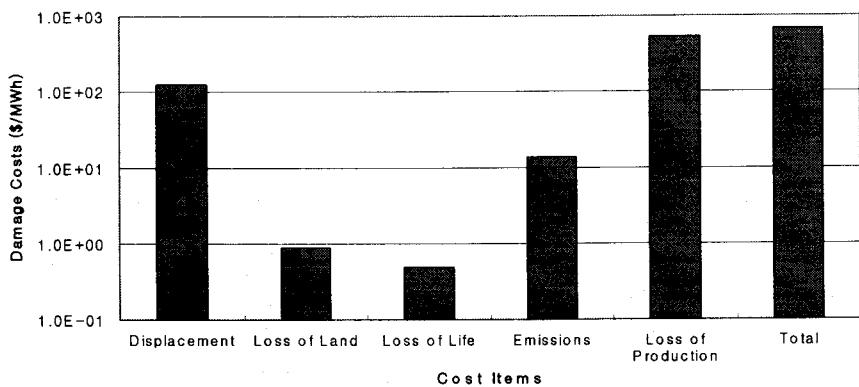


Fig.9: 수력발전소의 건설 및 운영으로 인한 손실비용

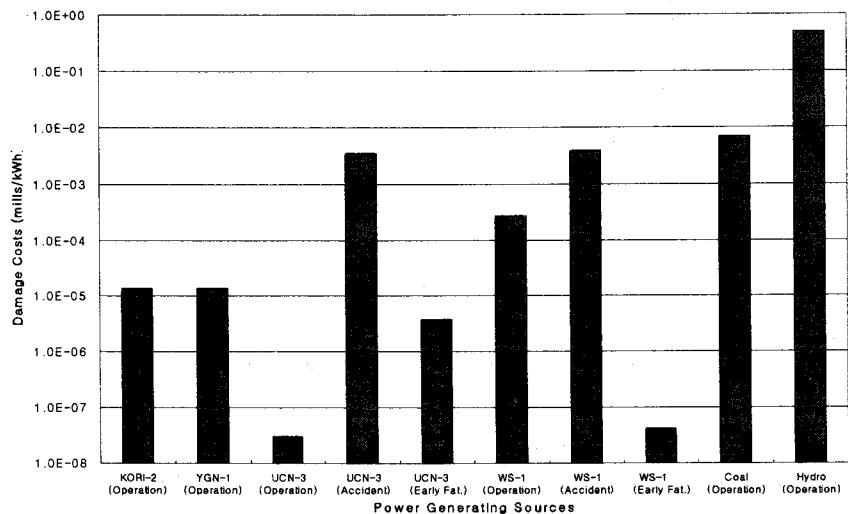


Fig.10: 발전원별 손실비용 비교

#### 4. 발전원별 사회적수용성 비교평가

##### 4.1. 서론

현재 우리나라는 원자력, 화력, 수력 등 다양한 발전원을 이용하여 날이 갈수록 늘어가는 국가의 전력 수요를 대처하고 있다. 석유자원의 가채년도가 50년이 채 남지 않았고, 전체 국민의 환경에 대한 인식이 점차 변하는 등 시대와 상황에 따라 바람직한 발전원을 미리 고려하여 점차 급증하는 전력수요에 대비하여야 한다. 한 국가의 지정학적 요건, 경제적 요건, 외교적 요건, 사회적 요건 등에 따라 그 국가에 맞는 발전원은 달라질 것이다. 따라서 국가의 구성원이 어떤 발전원이 바람직한 것이라고 생각하는지에 대한 연구가 필요하다. 본 연구는 크게 경제적, 환경적, 사회적, 보건적 특성에 따라 구성원이 어떤 요소가 더 중요한지, 어떤 발전원이 각 특정요소에 더 적합하다고 생각하는지 알아보기 위해 설문조사를 하였다. 게다가 위에 4가지 특성 또한 시대와 환경에 따라 수시로 변할 수 있는 것이기 때문에 필요

할 때마다 능동적인 설문조사를 위해 웹-기반에서 설문조사를 할 수 있는 형태로 제작을 하였다.

#### 4.2. 해석적 계층과정 기법을 이용한 비교평가 모델

사회 구성원이 생각하는 가장 적합한 발전원을 설문조사를 통해 분석하기 위해 해석적 계층과정(Aalytic Hierarchy Process; AHP) 분석법을 도입하였다. 설문조사를 통해 각각의 판단기준의 상대적 중요도를 얻은 후 AHP분석을 통해 가중치를 구한 후 통합하면 최종 점수를 얻을 수 있다. 이어서 첫 번째 항목의 점수는 상위 판단기준의 아래 항목인 세부 판단기준의 점수에 의해 계산된다. 4대 판단기준과 11개 세부 판단기준(Table 4 참조)은 여러 다른 나라의 기준들을 종합해 우리의 여건에 맞게 설정하였다[8;9].

Table 4: 발전원별 종합 평가모델을 위한 4대 판단기준 및 세부 판단기준

주 판단기준	세부 판단기준	설명
경제성	발전단가	동일전력을 생산하는데 드는 비용(건설경비 등 운영경비); 발전단가가 공급단가에 비해 싸야 이득을 볼 수 있다.
	토지점유	원하는 양의 전력을 생산하는데 필요한 발전 면적; 영토가 작은 나라일수록 토지점유가 심한 발전원은 부담이 될 수 있다.
환경성	지구온난화	발전원별 지구 온난화에 미치는 영향; 이산화탄소를 비롯한 온실가스의 양이 많아져 지구 온도가 높아진다.
	산성화	발전원별 환경 산성화에 미치는 영향; 아황산가스등이 대기 속에 머물다가 비에 섞여 내리는 산성비가 주원인이며 나무를 말라죽게 한다.
사회성	에너지환급율	발전원별 수명주기동안 에너지소비에 대한 에너지 생산 비율
	생활환경품질	발전원이 환경에 미칠 영향(예: 소음, 시각적 영향, 냄새, 그림자, 먼지 등)
	연료/에너지 공급안정성	발전원별 전력생산에 필요한 연료 및 에너지의 확보안정성
	테러방호	발전원별 대테러 발전원 안전을 위해 드는 경제적 부담
보건성	지속가능정도	상용발전을 안정적으로 오랜 기간 지속시킬 수 있는 척도
	사고사망	발전원별 전 과정동안에 발생한 사고재해시 사망자 수
	생명단축	발전원별 발전원 주변 주민이나 작업자의 생명단축 연수

4개의 판단기준에 대하여, 쌍대비교(Pairwise Comparison)에 의한 중요도 질문으로 각각 항목의 중요도를 얻기 위해선 6번의 비교가 필요하다. 이렇게 해서 얻은 각 항목의 Weighting Vector를 각 항목의 점수에 곱하면 최종 점수를 얻을 수 있다. 한 예로 경제성의 점수를 얻는 방법은 경제성 항목의 세부 판단기준인 발전단가와 토지점유의 중요도를 설문으로 얻은 다음, 각 항목의 발전원별 점수를 마찬가지로 Weighting Vector를 곱해 얻을 수 있다. 경제성, 환경성, 보건성의 세부 항목들은 실제 데이터에 의해 점수를 산출할 수 있지만, 사회성의 항목들은 정량적 수치로 나타내기 어려운 항목들이기 때문에 구성원의 설문조사를 통해 주관적 정량화를 사용한다. AHP분석은 각 항목들 간의 직접적인 중요도 비교를 하기 때문에 설문자가 충실히 응답하였는지 일관성을 측정할 수 있어서, Garbage Data를 식별할 수 있다. 대 판단기준과 세부 판단기준의 구성은 Fig.11과 같다.

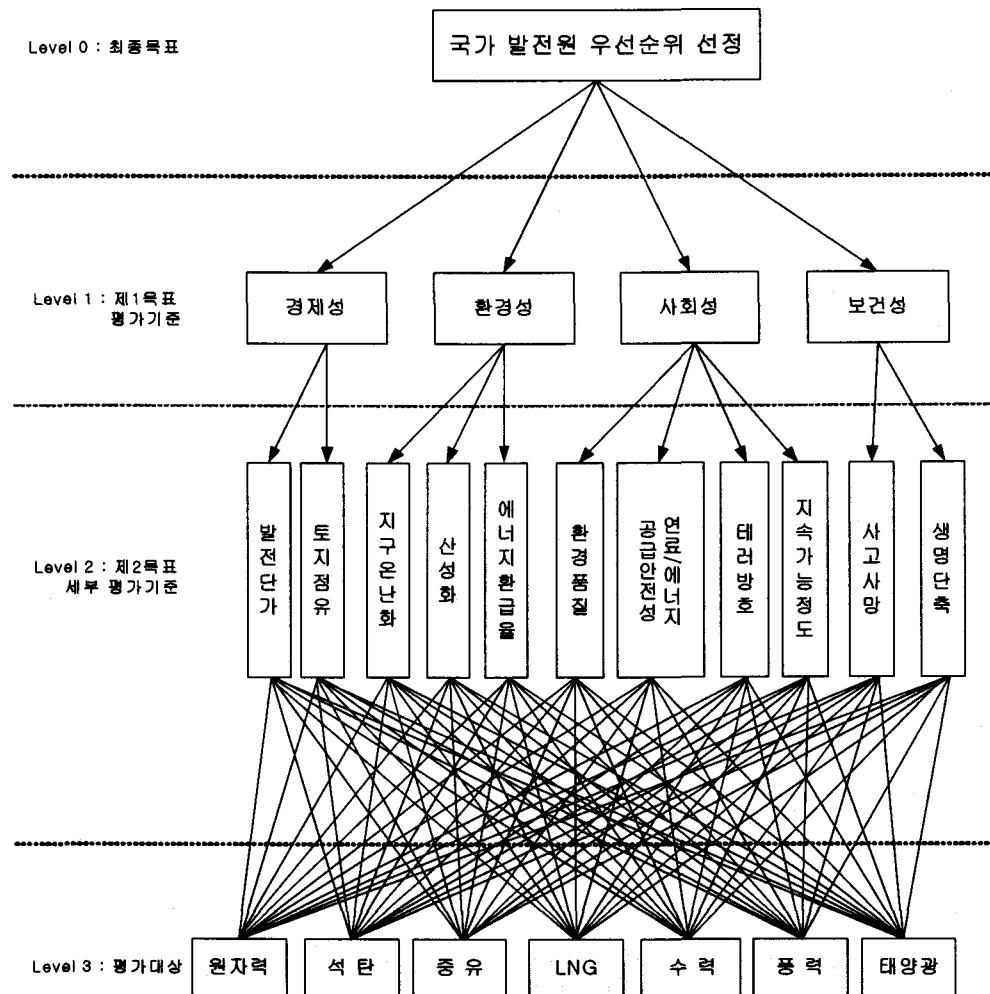


Fig.11: 발전원별 종합적 비교평가를 위한 해석적 계층 과정 구조 [10]

#### 4.3. 종합평가의 방사형 차트 표현

우선 예비 연구단계로서, 발전원별로 앞에서 언급된 11 가지 인자 가운데 4 가지 평가인자들이 선정되었다. 이들 4 가지 인자들을 축으로 하는 차트에 정규화(Normalization)된 수치를 표기하면 친화적 사회영향의 정보가 시각적으로 표현될 수 있다. 발전원별 종합 위험도 평가 데이터베이스 구축 및 환경위해 사례조사를 통해 얻어진 값들이 평가인자의 정량화에 사용되었다.

각 축에 변수들을 표기하기 위해서는 우선적으로 변수값들의 재크기조정(Rescaling)이 필요하다. 긍정적인 평가인자의 경우, 발전원별 인자들의 최소값과 최대값이 각각 0.5와 1.0이 되도록 한다. 최소값을 0.5로 배정한 이유는 상대적인 비교에서 최소값이 0.0이 될 경우, 시각적 표현에서 왜곡이 있을 수 있기 때문이다. 반면에, 부정적인 평가인자의 경우, 발전원별 인자들의 최대값과 최소값이 재크기조정이후에 각각 0.5와 1.0이 되도록 한다. 이런 부정적 평가인자의 정규화는 다음과 같이 정의될 수 있다:

$$data_{norm} = 1 - \frac{data - min}{max - min} \cdot 0.5$$

여기에서, 1.0에서 재크기조정값을 뺀 형태로 식을 변형한 이유는 다이어그램에서 방사형 선에 둘러싸인 전체넓이 (최대값 2.0, 최소값 1.0)가 크면 클수록 친화적 사회영향이 크다고 간주할 수 있기 때문이다. 예컨대, 발전단가, 위해도, 이산화탄소 배출량 등의 경우, 각 값이 적으면 적을수록 상대적으로 친화적 사회영향이 좋은 발전원이라고 볼 수 있다. Table 5에 각 평가항목의 정규화 수치들 및 친화적 사회영향의 수치가 주어진다.

Table 5: Integrated estimates of comprehensive impacts

발전원	원자력	석탄	중유	LNG	수력
경제성	1.00	0.99	0.67	0.50	0.74
비위해성	1.00	0.58	0.50	0.89	0.62
환경친화성	0.99	0.50	0.67	0.73	1.00
사회수용성	1.00	0.90	0.50	0.80	1.00
종합영향 (넓이)	1.99	1.10	0.67	1.04	1.41

각 발전원별 종합 영향평가 다이어그램이 Fig.12에 보인다. 그림에서 볼 수 있듯이, 원자력 대안의 경우, 경제성, 비위해성, 사회수용성 등 모든 평가기준에서 다른 발전원들 보다 우수하다고 나타난다.

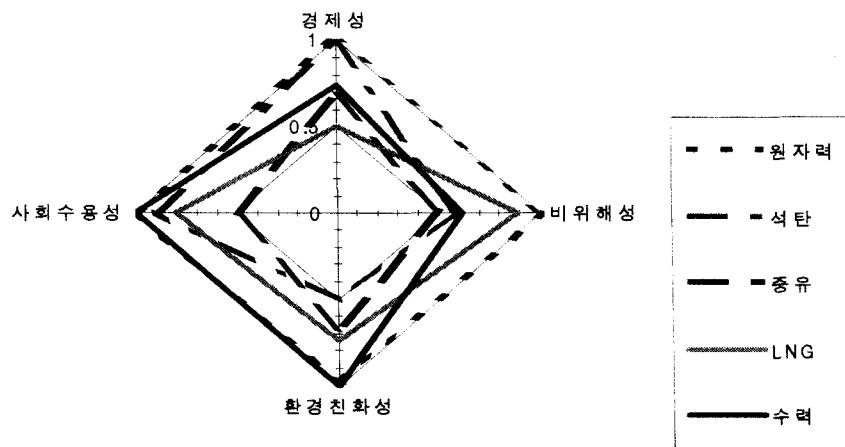


Fig.12: Comprehensive impacts diagram for nuclear, coal-, oil-, LNG-fired hydropower systems

석탄 대안의 경우, 경제성 및 사회수용성 기준에서는 양호하나 비위해성 및 환경친화성 기

준에서 불리하다는 것을 알 수 있다. 중유 대안의 경우, 경제성, 비위해성, 환경친화성, 사회수용성 등 모든 평가기준에서 열악하다. LNG 발전의 경우, 비위해성 기준에서 중유보다 유리하지만 전반적으로 열악함을 알 수 있다. 마지막으로 수력의 경우, 환경친화성 및 사회수용성 기준에서 우수하나 경제성 및 비위해성 기준에서 중유와 비슷한 경향을 보임을 알 수 있다. 수력의 경우에는 지구온난화가스 배출이 없으므로 가장 좋은 환경친화성 시스템이다. 그래서 정규화 값이 1.0으로 배정되었다. 만일 댐의 건설로 인한 생태계 영향이 고려된다면, 이 정규화 값은 작게 설정될 것이다. 결론적으로 종합영향 평가다이어그램을 사용하여, 네 가지 평가항목들의 친화적 종합영향을 정성적으로 종합평가할 수 있다. 평가결과에 따르면, 원자력이 가장 양호하고 중유가 가장 열악하다.

## 5. 결 론

국가차원의 다양한 전력생산시스템 (원자력, 석탄, 중유, LNG, 수력 등)에 대한 사회영향을 종합적으로 평가하기 위하여 경제성, 개인적 위해성, 환경성, 사회성 (즉, 국가차원의 기여도) 등이 평가기준으로 선정되었다. 이 연구에서는 예비단계로서 평가항목이 발전단가, 사망자수, 이산화탄소 배출량, 연료수급 안정성 등의 평가요소로 각각 대표되었다. 이러한 MCDM 문제를 정성적으로 쉽게 가시화 비교하기 위하여 방사형 차트를 이용한 표현방법이 사용되었다. 앞으로는 아직 고려되지 않은 다른 평가요소들이 구체적으로 포함되고 설문조사 및 문헌조사나 정량적 평가 등에 따라 정량화될 예정이다. 이러한 연구결과를 기초하여 좀 더 객관적이고 정량적인 다양한 발전원들의 장/단점이 반영된 상대적 중요도가 종합적으로 비교될 수 있으며 시너지-기반 국가 에너지조화의 수립/수정에도 활용될 수 있을 것이다.

## 감사의 글

본 연구는 과학기술부의 원자력 중장기 연구개발 과제 (발전원별 종합 위험도 비교평가 연구)의 일환으로 수행되고 있습니다.

## 참고 문헌

- [1] Z. Güngör and F. Arikan: "A fuzzy outranking method in energy policy planning", *Fuzzy Sets and Systems* 114(1), 115-122 (2000).
- [2] OECD NEA, 2000, Nuclear Energy in a Sustainable Development Perspective.
- [3] 정환삼 외: "발전원별 전과정시스템에 대한 환경영향평가", KAERI/CM-715/2003, 한국원자력연구소 (2003).
- [4] A. Markandya and R. Boyd, "Valuing the Human Health Effects of Routine Atmospheric Releases from Nuclear Facilities." IAEA, May 1999.
- [5] 한국수력원자력(주), "환경 방사선조사보고서", 2004.
- [6] J. V. Spadaro, "AirPacts Impact Methodology," IAEA, Oct. 2002.
- [7] G. Conzelmann, "Simplified Methodology to Quantify Environmental Impacts of Large Dams, Methodology and Model Guide," March 2003.
- [8] European Commission (EC), ExternE project, Externality of Energy, EC, 1995.
- [9] IAEA, Sustainable development and nuclear power, Vienna, 66pp., 1997.
- [10] Seong Ho Kim et al., "Comprehensive Comparative Assessment of National Energy and Power Systems", 2004 KNS Autumn Meeting, Yong Pyung, Korea, 1459-1460.