

AHP와 웹기반 설문조사 기법을 사용한 국가전력기술의 종합평가

김태운, 김성호, 이성진*, 안상하*, 하재주, 장순홍*

한국원자력연구소, *한국과학기술원

An Integrated Assessment for National Power Technologies Using AHP and Web-based Questionnaire Methodologies

Tae Woon Kim, Seong Ho Kim 1, Sung Jin Lee*, Sang Ha An*, Jae Joo Ha, Soon Heung Chang*

Korea Atomic Energy Research Institute, *Korea Advanced Institute of Science and Technology

(1Corresponding author: shokim@kaeri.re.kr)

1. 서론

1.1. 문제 제기

우리는 오늘날 삶의 질을 높이며 고소득의 경제성장에 편승하고자 하는 경제활동의 주된 기반이 바로 에너지라는 것을 잘 알고 있다. 지속가능한 개발을 추구하는 현재 세계의 에너지 필요량은 주로 화석연료에 의해 충족되고 있다. 예컨대, 국제에너지기구 2003년도 보고서에 따르면, 세계 2001년도의 경우, 석유, 석탄, 천연가스 등 화석연료가 일차 에너지원의 65% 가량, 우리나라 2002년도의 경우에 일차 에너지원의 80% 가량을 차지하고 있다. 석유, 석탄, 천연가스의 경우 국내에서 일차에너지에서 전기로 변환되어 사용되는 비율은 각각 7%, 53%, 34% 와 같다.

세계 경제의 바탕인 이러한 화석연료 경제에서 해결되어야 하는 에너지의 당면과제는 1) 유한한 화석연료원의 매장량 고갈 및 공급 유동성 위협, 2) 환경 오염물의 배출, 3) 에너지 수요량의 증가 등을 손꼽을 수 있다. 첫째, 지금까지 확인 매장량을 고려한 가채년수는 석유 41년, 천연가스 62년, 석탄 230년, 우라늄 64년 등으로 추산되고 있다. 인류는 지금 미래 에너지 공급 측면에서 향후 수십 년간 고갈의 염려가 없으며, 꾸준하게 미지의 대형 매장량을 발굴하기 위해 투자한다면, 이 가채년수는 더 연장될 수 있을 것이다. 따라서 향후 수십 년간 에너지 공급의 문제는 자원 매장량이 아니라 운반이나 비축과 같은 자원의 유동성과 관련될 것이다. 둘째, 화석연료 사용에 따른 지구온난화, 산성화, 대기 오염 등 환경오염 심화로 세계 각국은 정부- 및 지구-차원의 사용규제 강화를 추진하고 있다. 예를 들어, 2005년 2월 발효된 교토의정서에 따르면 지구온난화의 주범인 온실가스의 배출량 목표치를 만족하도록 온실가스의 배출을 규제하는 것이다. 셋째, 우리나라의 전력 수요량은 최근 5년간 0.2%/년의 평균 증가율을 보이고 있으며 2000년도 1인당 평균 150 GJ 남짓을 소비하고 있다.

이에 따라 선진국이나 개발도상국에서는 미래의 안정적인 에너지 공급 및 에너지 연료의 공급 확보에 주력하고 있으며 에너지원의 효율적 관리와 대체에너지원 개발에 관심을 쏟고 있다. 세계적으로 널리 활용되고 있는 에너지 공급 안보의 전략적 정책 도구들로 1) 자국내 공급, 2) 에너지 공급 다각화, 3) 에너지 시스템의 유연성, 4) 에너지위기의 관리, 5) 외교 및 안보 정책 등을 나열할 수 있다. 첫째, 우리나라는 화석연료의 수입의존도가 매우 높아 화석연료에 의한 에너지의 자급자족이 거의 불가능한 상황이므로 화석연료 경제에 의존하는 경우 에너지 공급 안보의 취약성이 높아지게 된다. 둘째, 우리나라도 에너지 정책 수립시 에너지 안보를 유지하기 위해 다각화의 전략에 따라 에너지 공급원을 화석연료 에너지원에서 비-화석연료 에너지원이나 대체 에너지원으로 갈아타기를 반영하고 있는 실정이다. 예를 들어, 정부가 확정 공고한 “제 2차 (2004-2017) 전력수급 기본계획”에 따르면, 2017년말 발전

설비용량은 2003년도 대비 1.6배로 증가하며 에너지 조화(Energy Mix)는 석탄 25.3%, 석유 3.8%, LNG 26.3%, 원자력 30.3%, 수력 7.1%, 집단/대체 7.3%로 구성될 계획이다.

1.2. 기존 연구

여기서는 이러한 추세에 맞춰 화석연료 발전원(예: 석탄, 석유, LNG)뿐만 아니라 비-화석 연료(예: 원자력, 수력)와 무공해 청정 신재생에너지원(예: 풍력, 태양광 등)을 이용한 전력 생산 시스템들의 다각적 위해도 측면을 고려하고자 한다. 국가 발전원별 다양한 사회적 수용성(예: 경제성, 환경성, 사회성, 보건성 등)을 종합적 관점에서 여러 발전원간에 비교하려면 비교 평가 방법론의 개발이 필요하다. 여기서는 각 발전원이 다양하지만 서로 갈등적일 수 있는 위험 특성을 갖는 경우에, 통합적 관점을 대표하는 하나의 지표로서 “사회적 수용성”을 측도로 선정하였다. 이 연구의 주된 목적은 첫째로 사회적 수용성을 정량화할 수 있는 의사결정 방법론을 구축하고, 둘째로 구축된 종합적 비교평가 시스템을 국가 발전원에 적용하여 발전원의 선호도를 정량적으로 평가하고 해석하는데 있다.

여기서는 우리나라의 국가 에너지시스템별 종합적 비교 평가 시스템의 방법론 구축과 관련된 대내외적 연구개발 기술의 위치를 살펴보기 위해 국내외 기존 연구가 표1에 정리되었다. 우선 해석적 계층과정(AHP) 기법 및 적용사례가 논의되고, 끝으로 결론적 의견 및 추후 연구 방향 등이 제시된다.

표 128: 국내외 유사 연구개발 사례의 비교

국가명	연구	방법론	발전원	평가기준
영국	Eyre (1993)	-외부비용 방법	-화석-연료, 원자력, 재생에너지	-환경성 영향
독일	Friedrich (1994)	-전과정평가 방법 -비용분석 방법	-석탄, 갈탄, 원자력, 태양광, 풍력 발전	-환경성, 보건성 영향
덴마크	Sorense n (1994)	-전과정평가 방법 -외부비용 방법	-태양광, 풍력, 석탄 발전	-경제성, 환경성, 사회성, 안보/복원력, 개발/정치성 영향
포르투갈	Afgan (2000)	-다기준의사결정 방법	-태양광, 풍력, 바이오매스, 기름 발전	-자원, 환경성, 효율성, 사회성 영향
독일	Vos (2001)	-전과정평가 방법 -외부비용 방법	-석탄, 갈탄, 천연가스 열병합, 원자력, 태양광, 풍력, 수력 발전	-환경성, 보건성, 경제성 영향
캐나다	Gagnon (2002)	-전과정평가 방법	-석탄, 갈탄, 기름, 천연가스 열병합, 원자력, 연료-전지, 태양광, 풍력, 수력 발전	-환경성, 보건성 영향
한국	김태운 외 (2004)	-전과정평가 방법 -방사형차트 방법	-화석-연료, 원자력 발전	-환경성, 보건성, 경제성, 사회성 영향
한국	여기	-전과정평가 방법 -AHP 방법	-화석-연료, 원자력, 태양광, 풍력, 수력 발전	-환경성, 보건성, 경제성, 사회성 영향

2. 방법론 및 적용 사례

이 연구에서는 각 에너지 시스템이 다양하지만 서로 갈등적일 수 있는 복합적인 특성을 갖는 경우에, 종합적 관점을 대표하는 하나의 지표로서 “사회적 수용성”을 측도로 선정하였다. 우리나라의 국가 발전원 대안에 대한 사회적 수용성이라는 선호도를 평가하는 문제는 다기준 의사결정(Multi-Criteria Decision Making; MCDM) 문제에 속한다. MCDM 문제 해

결의 전형적인 접근방법은 몇 개의 대립하는 기준이 제시되어 있을 때 다수의 속성이나 다수의 목적함수가 관여되는 의사결정을 최적화하는 방법이라 할 수 있다. MCDM은 다목적 의사결정(Multi-Objective Decision Making; MODM)과 다속성 의사결정(Multi-Attribute Decision Making; MADM)으로 구분될 수 있다 [1]. 그림1은 MCDM을 선택하는 대안의 집합 성격에 따른 개념도이다.

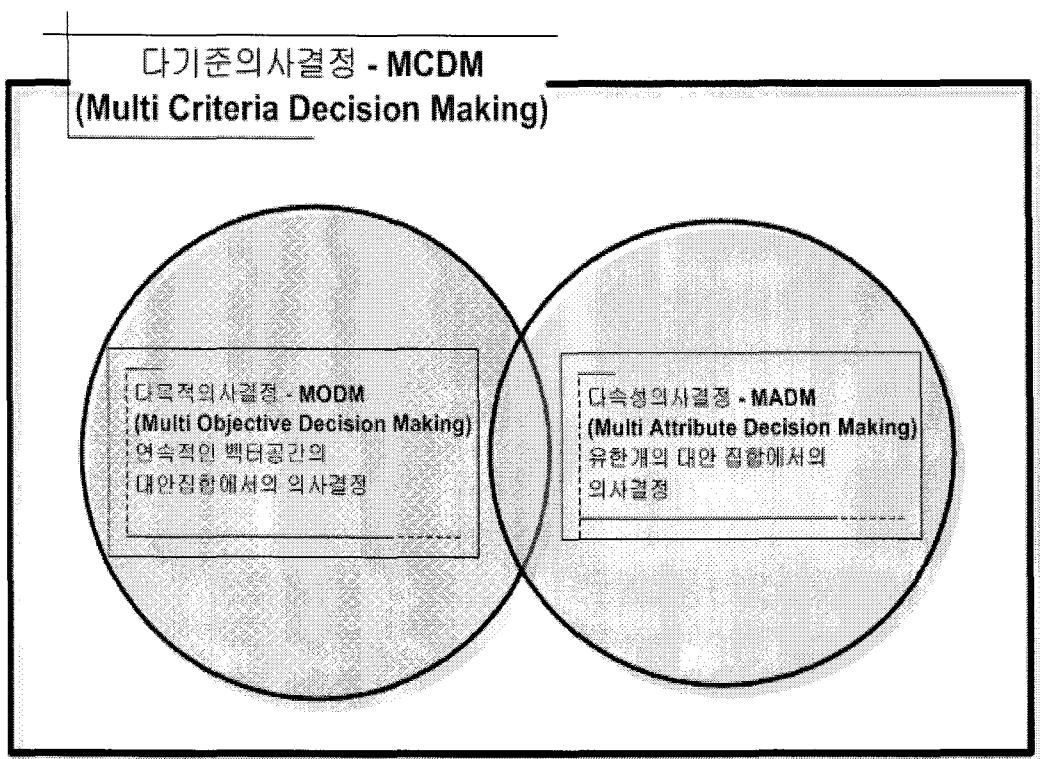


그림 133: 다기준 의사결정 (MCDM)의 종류

MODM은 사용자의 선호에 의존하여 최선책을 결정하기 전에 가능한 효율적인 해결책을 위치시킴으로써 대개 제한되는 연속적인 벡터공간에서의 부분집합을 분석한다. 즉, 제약 조건에 의해 함축적으로 정의된 무한개의 대안 집합에서 고려중인 목적을 가장 잘 만족하는 최적의 대안을 탐색하는 방법이다. 그러므로 MODM은 경영상의 계획 예를 들어, 목적수행 프로그래밍에 가능한 방법을 제공한다. 전략계획에서 여러 특정한 대안들의 비교를 위해 즉, 선정된 몇 개의 반복적인 적용을 해야 할 때에는 MADM 접근방법이 사용되어야 한다. 왜냐하면 MADM은 유한개의 대안들의 집합에 대해 조사하기 때문이다. 본 연구에 해당되는 MADM은 유한개의 대안들의 부분집합으로 표시되며, 기본적으로 MADM은 다음의 두 가지 단계를 거쳐 비교된다: 1) 각각의 기준과 대안을 감안한 평가치의 결합과정, 2) 결합과정의 규칙에 의한 대안들 간의 순위 결정단계.

이 연구에서는 우리나라의 지정학적, 경제적, 사회적 실정에 맞는 발전원 선택의 우선순위 결정방법론을 선택하는데 있어, 우선 적용이 가능한 몇 가지 주요 평가기법들의 장단점과 적용 가능성 등을 점검해 보았다. 검토 결과에 따라, 방법론 구축의 첫 번째 단계로 해석적 계층과정 (AHP) 방법이 발전원별 대안간 선호도 분석에 유용한 도구로 판단되었다. 그래서 먼저 해석적 계층과정 기법에 대한 연구가 수행되었으며 이를 구현하는데 필요한 도구가 개발되었다. 구축된 AHP 방법론을 발전원별 대안 선택에 적용하기 위하여 AHP 계층구조가

설정되었다. AHP 적용에 필요한 자료는 문헌 조사, 보고서의 분석 결과, 설문 조사 등에서 얻어졌다. 마지막으로 AHP 기법에 의한 발전원별 비교평가의 시범분석 과정으로 얻어진 결과가 해석되었다.

2.1. AHP 기법

해석적 계층과정(Analytic Hierarchy Process; AHP) 기법은 1970년대에 Saaty에 의해 제안된 이후로 다기준 의사결정 (Multi-Criteria Decision Making; MCDM)의 문제해결의 전형적인 접근방법으로 자주 응용되어 왔다. 이 기법의 특징은 의사결정자로 하여금 구성요소들을 서로 다른 둘씩 짹을 지어 쌍대비교(Pair-wise Comparison)하는 일련의 이원적 비교판단을 통해 이를 계층 내에 있는 요소들의 영향력에 대한 상대적인 강도와 효용성을 측정하고 이를 비율척도로 추정도록 한다는 점이다. 정량적인 정보뿐만 아니라 정성적인 정보도 동시에 종합적으로 평가할 수 있는 것이 AHP의 큰 장점이 되는 반면, 기준별 가중치와 대안별 평가치의 결합과정에서 선형적인 산술 가중평균을 사용하여 새로운 데이터의 개선과정에서 재계산이 필요한 단점을 지니고 있다.

AHP 기법의 절차는 다음과 같은 4가지 기본단계로 구성된다. (1) 단계 1 : 문제의 구조화 단계, (2) 단계 2 : 중요도 측정의 단계, (3) 단계 3 : 가중치와 평가치 설정 단계, (4) 단계 4 : 대안의 순위와 최선책의 결정 단계. 그림2에 AHP 기법의 절차도가 제시되었다.

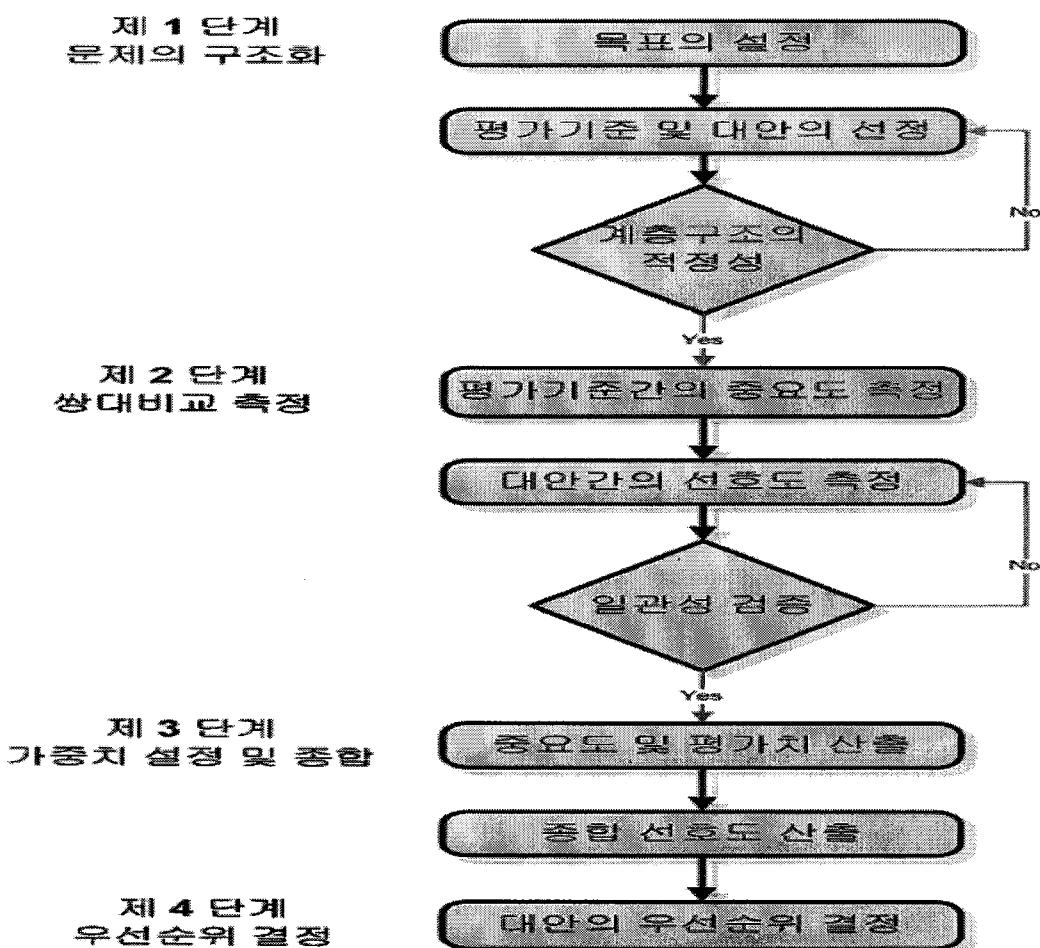


그림 2: AHP 기법의 기본절차 흐름도

계층별 판단기준간의 가중치 계산은 쌍대비교의 결과를 나타내는 쌍대비교행렬(Pair-wise Comparison Matrix ; PWCM)의 고유벡터에 의해 구할 수 있다. 일반적으로 어느 한 평가기준에 대하여 $n \times n$ 의 쌍대비교행렬 A 가 생성되었다고 할 때, 다음의 식 (1)을 만족한다.

$$AW = \lambda W \quad \text{식 (1)}$$

여기서 이 식을 만족하는 스칼라 λ 와 그에 대응하는 $n \times 1$ 의 고유벡터 W 가 존재하는데, 이러한 경우 고유벡터 W 가운데에서 $\sum W_j = 1$ 을 만족하는 정규화된 고유벡터가 구하는 가중치가 된다. 쌍대비교행렬 A 로부터 고유벡터 W 를 구하는 방법은 다음의 식 (2)와 같다.

$$(A - \lambda I) W = 0 \quad \text{식 (2)}$$

식 (2)에서 고유벡터 W 가 영벡터-아닌 해를 갖으려면 식 (3)과 같은 행렬 A 의 특성방정식을 만족시켜야 한다.

$$|A - \lambda I| = 0 \quad \text{식 (3)}$$

식 (3)에서 특성방정식의 근 $\lambda_i (i=1, 2, 3, \dots, n)$ 중에서 최대인 λ_{\max} (즉, 최대고유치)을 구한다. 이 고유치 λ_{\max} 에 대응하는 고유벡터 중에서 $\sum W_j = 1$ 을 만족하는 정규화 고유벡터(normalized eigenvector)가 그 계층내의 요소간의 가중치가 된다. 각 기준별 가중치는 기준간의 상대적 중요도로 해석될 수 있다.

AHP 기법에서 계층내 가중치는 주관적인 판단에 기초한 쌍대비교에 의해서 얻어지므로 평가요소간의 상대적 중요성을 비교할 때 전이적 일관성(transitive consistency)이 얼마나 유지되고 있는지가 문제가 된다. 여기서 전이적 일관성이란, 가령 A_1, A_2, A_3 을 비교할 때 중요성의 정도에서 $A_1 > A_2$ 이고, $A_2 > A_3$ 이면, $A_1 > A_3$ 이 성립해야 한다. 만일 주관적인 판단 과정에서 $A_3 > A_1$ 로 평가한다면, 이는 전이적 일관성이 없다고 말한다. 또 기수적 일관성이란, 예컨대 A_1 이 A_2 보다 2배 중요하며 A_2 가 A_3 보다 3배 중요하다고 평가했다면, A_1 은 A_3 보다 6배 중요하다고 평가되어야 함을 의미한다. 어떤 한 계층내 모든 요소간의 가중치를 설정한다는 것은 그 요소간의 전이적 일관성 및 기수적 일관성이 성립함을 전제하고 있음을 의미한다. AHP 기법에 기반을 둔 종합평가 모델의 타당성은 일관성 비율을 사용하여 검증된다. 일관성지수(Consistency Index; CI)는 가중치나 기여도의 크기와 순서에 대한 일관성 정보를 제공한다. 일관성지수는 식 (4)을 통해 구할 수 있다.

$$CI = (\lambda_{\max} - n) / (n-1) \quad \text{식 (4)}$$

식 (4)에서 n 은 평가요소의 개수 즉, 쌍대비교행렬의 크기이며, λ_{\max} 는 행렬의 최대 고유값(maximum eigenvalue)에 해당한다. 이러한 일관성지수를 통해 일관성비율(Consistency Ratio; CR)을 구할 수 있다. 일관성비율은 일관성지수 및 무작위지수(Random Index; RI) 무작위로 발생시킨 행렬의 평균 CI 표본크기 500)의 비로 구해진다. 식 (5)는 일관성비율을 구하는 식이다.

$$CR = CI / RI$$

식 (5)

설문조사를 하는 경우 각 개인의 설문내용의 일관성비율이 0.1이내인 경우에만 판단의 일관성이 있다고 판단된다. 여기서는 일관성비율을 0.15로 조정하였다. 표2에 행렬의 크기 1~15 까지의 무작위지수가 정리되었다. 무작위지수는 Saaty에 의해 표본크기 500으로 무작위로 발생시킨 행렬의 평균 일관성지수에 해당한다.

표 129: 무작위지수 값

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
RI	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51	1.48	1.56	1.57	1.59

발전원별 세부평가들을 무차원에서 비교하기 위해 앞에서 얻어진 경제성, 환경성, 보건성 등의 평가치를 각각 정규화하였다. 이러한 수치는 정규화평가치라고 불린다. 객관적인 수치 자료에서 얻은 자료들이 가지고 있는 각각의 단위를 정규화함으로써 합을 1로 만들어 수치가 높을수록 선호도가 높은 것으로 볼 수 있다. 평가치는 수치가 높을수록 선호도가 높음을 의미하는 순변환 평가치 및 반대의 경우인 역변환 평가치로 구분된다. (1) 순변환 평가치의 경우, 발전원별 세부기준 x_i 에 대한 정규화평가치 N_i 는 다음의 식 (6)과 같이 구할 수 있다. 여기에 해당되는 세부기준은 환경성의 에너지환급율, 사회성의 세부기준들이다.

$$N_i = \frac{x_i}{\sum_i x_i} \quad \text{식 (6)}$$

반면에, 경제성의 발전단가, 토지점유와 환경성의 지구온난화, 산성화 그리고 보건성의 사고사망, 생명단축은 수치가 낮을수록 선호도가 높은 것으로 볼 수 있기 때문에 역변환 평가치에 해당하며 역변환 정규화 하였다. 이러한 경우, 정규화평가치를 구하는 수식은 다음의 식 (7)과 같다. 따라서 정규화 이후에는, 모든 세부기준에서 정규화평가치의 수치가 클수록 선호도가 높음을 의미한다.

$$N_i = \frac{1/x_i}{\sum_i 1/x_i} \quad \text{식 (7)}$$

가중치와 평가치를 결합하여 종합선호도 점수를 매기며, 점수에 따라 각 대안의 순위를 매긴 후 이에 따라 의사결정의 최우선 대안을 정한다. 결합과정은 각 발전원 k 에 대한 정규화평가치(N_{ik})와 기준 i 에 대한 가중치(W_i)를 고려하여 가중 산술 평균하여 종합선호도 점수(Overall Score; OS_k)를 계산한다. 이러한 결합과정은 다음의 식 (8)과 같다. 앞에서 언급된 바와 같이, AHP의 결합과정은 선형적인 산술 가중평균을 표현하고 있다. 이는 매우 간단한 결합법이지만 비선형적인 현상을 담지 못하는 단점이 있다.

$$OS_k = \sum_{i=1}^{11} W_i N_{ik} \quad \text{식 (8)}$$

2.2. 적용 사례

이러한 AHP 기법은 국가 에너지 시스템의 체계적이면서 과학적인 구축에 필수적인 각 에너지시스템의 환경성, 위험성, 보건성, 사회성의 종합적 의사결정 도구로 사용될 수 있다. 그림3에 AHP 기법의 적용 흐름도가 제시되었다.

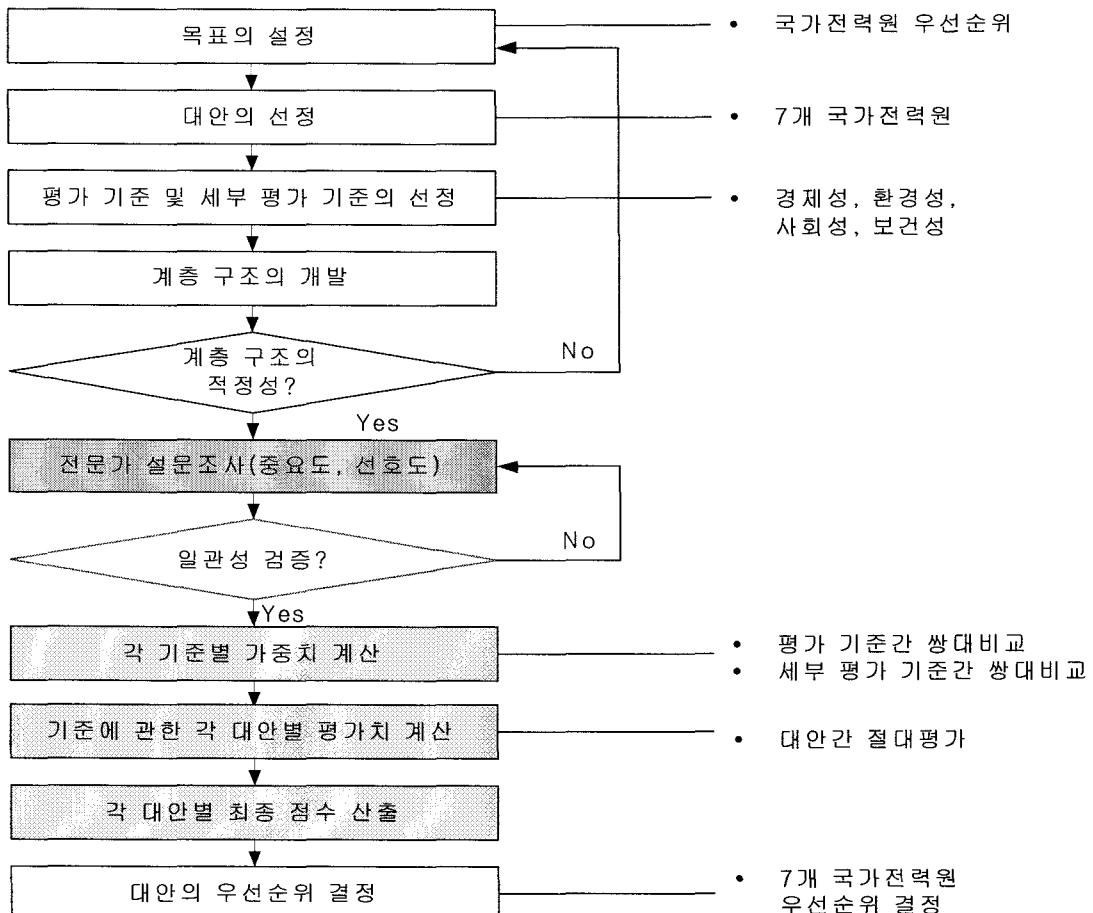


그림 3: 국가전력원 선호도 선정을 위한 AHP 기법의 적용

발전원별 사회적 수용성 비교 평가를 위해 AHP 기법을 도입하여 각 발전원 사이에 비교하고자 하는 속성을 정의하고 문헌조사 및 웹-기반 설문조사 방법을 이용하여 발전원별 선호도를 분석하였다. 평가항목으로 보건성, 환경성, 경제성 및 사회성 등이 선정되었다. 기준별 가중치 및 대안별 정규화 평가치의 결합과정(Aggregation Process)을 거쳐 얻어진 각 발전원별 선호도 점수는 종합 선호도라 불린다. 그림4에 문제의 구조화 단계에서 확정된 계층구조가 주어졌다. 표 3에 주 판단기준 및 세부 판단기준이 간략하게 설명되어 있다.

282 • 한국기술혁신학회 춘계학술대회

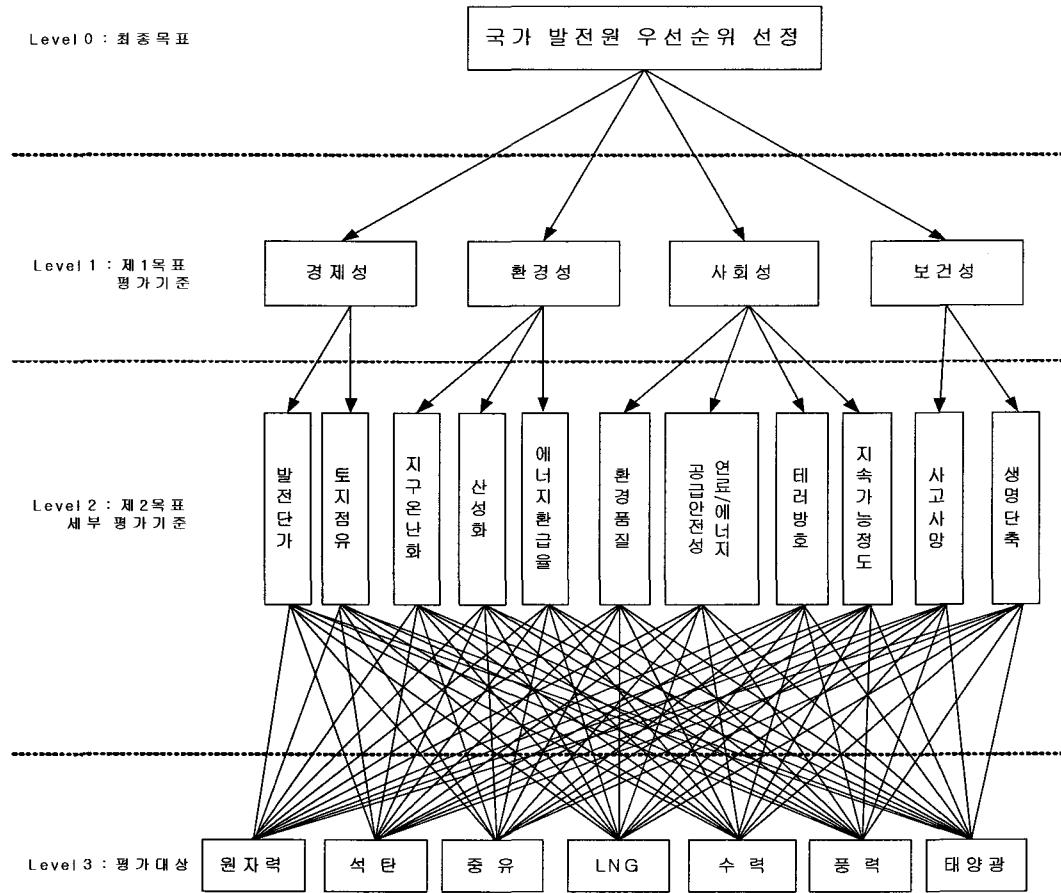


그림 4: 발전원별 우선순위 문제의 의사결정 계층구조

표 130: 발전원별 종합 평가모델을 위한 주 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 물고기를 죽이고 나무를 말라죽게 한다.
사회성	에너지환급율	발전원별 수명주기 동안 에너지소비에 대한 에너지 생산 비율
	생활환경품질	발전원이 환경에 미칠 영향(예: 소음, 시각적 영향, 냄새, 그림자, 먼지 등)
보건성	연료/에너지 공급안정성	발전원별 전력생산에 필요한 연료 및 에너지의 확보안정성
	태러방호	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

다음의 그림5는 웹기반 설문조사에 이용된 상대적 중요도를 묻는 설문의 예시를 보여주

고 있다.

4. 대 평가기준(경제성, 환경성, 사회성, 보건성) 가운데 제시된 두 가지 항목(왼쪽에 위치한 항목과 오른쪽에 위치한 항목) 사이의 상대적 중요도를 상대 비교하시기 바랍니다. 4-1. 경제성과 환경성을 서로 비교할 때 상대적 중요도를 선택하여 표시(●) 하여 주세요.		
▶◀◀	○절대중요 ○매우중요 ○중요 ○약간중요 ○중등 ○약간중요 ○중요 ○매우중요 ○절대중요	▶▶▶

그림 5: 상대적 중요도 설문 예시

각 기준별 가중치는 기준간의 상대적 중요도로 해석될 수 있다. 다음의 표4는 기준별 가중치를 보여준다. 이러한 대기준 및 세부기준별 가중치가 각각 그림6 및 그림7에 보인다. 사회성의 기준별 가중치는 전문가의 주관적 견해로 구하기 위해 설문조사 기법을 통해 얻어진 정량화 결과이다. 대 평가기준(즉, 계층구조의 레벨 1)에서는 사회성이 가장 큰 가중치를 보인다. 세부 평가기준에서 종합 가중치를 보면 보건성의 사고사망, 생명단축과 사회성의 테러방호 그리고 경제성의 토지점유가 높게 나왔다. 직접적으로 생존에 관련된 기준에 가중치가 높게 나온 것에 관심을 보일 필요가 있다. 또한 우리나라의 비좁은 국토면적을 감안하여 경제성에서 발전단가보다 토지점유에 높은 가중치를 보인다.

표 131: 기준별 가중치에 따른 중요도 순위

목표(Goal)	대 평가기준			세부 평가기준		종합가중치 A×B	(순위)
	평가기준	가중치 A	(순위)	평가기준	가중치 B		
국가발전원 우선순위 선정	경제성	0.1668	(3)	발전단가	0.1688	0.028	(11)
				토지점유	0.8312	0.139	(3)
	환경성	0.1409	(4)	지구온난화	0.2037	0.029	(10)
				산성화	0.3632	0.051	(8)
				에너지환급율	0.4331	0.061	(7)
	사회성	0.3573	(1)	생활환경품질	0.2311	0.083	(5)
				공급안정성	0.1018	0.036	(9)
				테러방호	0.4809	0.175	(2)
				지속가능 정도	0.1781	0.064	(6)
	보건성	0.3350	(2)	사고사망	0.6520	0.218	(1)
				생명단축	0.3480	0.117	(4)

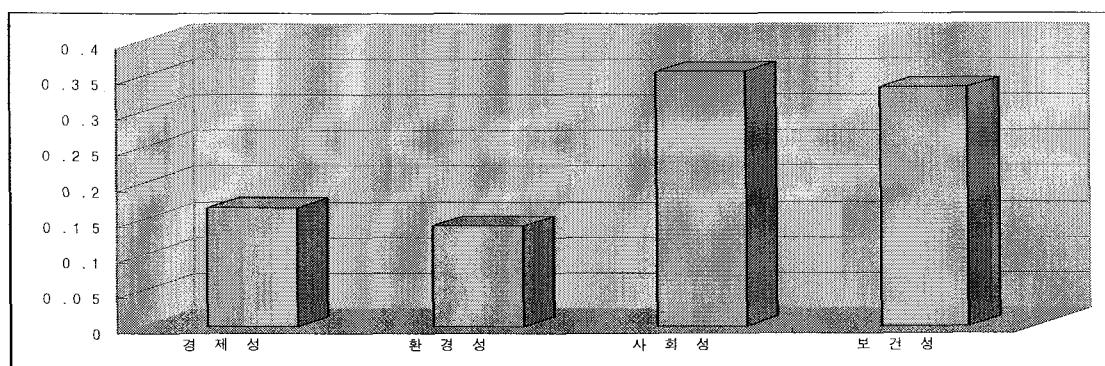


그림 138: 대 평가기준들의 가중치

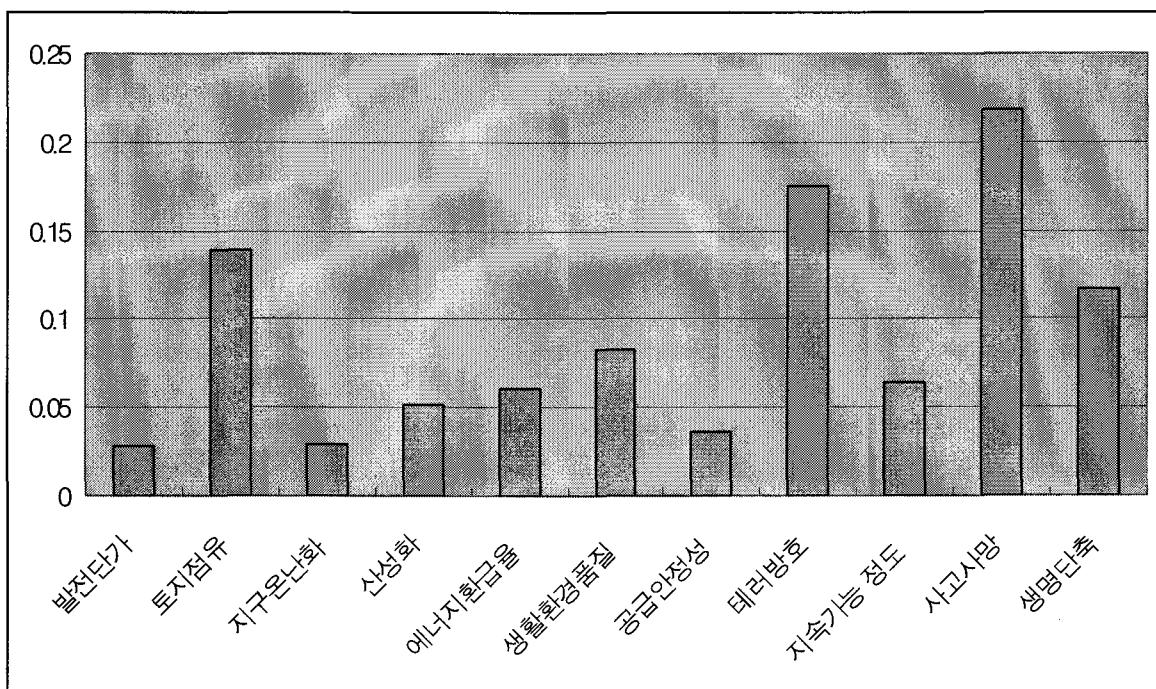


그림 139: 세부 평가기준들의 종합가중치

그림8은 사회성의 각 세부 평가기준별 발전원에 대해 설문조사와 AHP기법으로 추출된 주관적 선호도를 나타내고 있다. 생활환경품질 측면에서는 풍력과 태양광 발전이 선호되는 것으로 나타났다. 연료공급안정성 측면에서는 원자력 발전이 선호되는 것으로 나타났다. 지속가능정도 측면에서는 수력, LNG, 태양광 발전이 선호되는 것으로 나타났다.

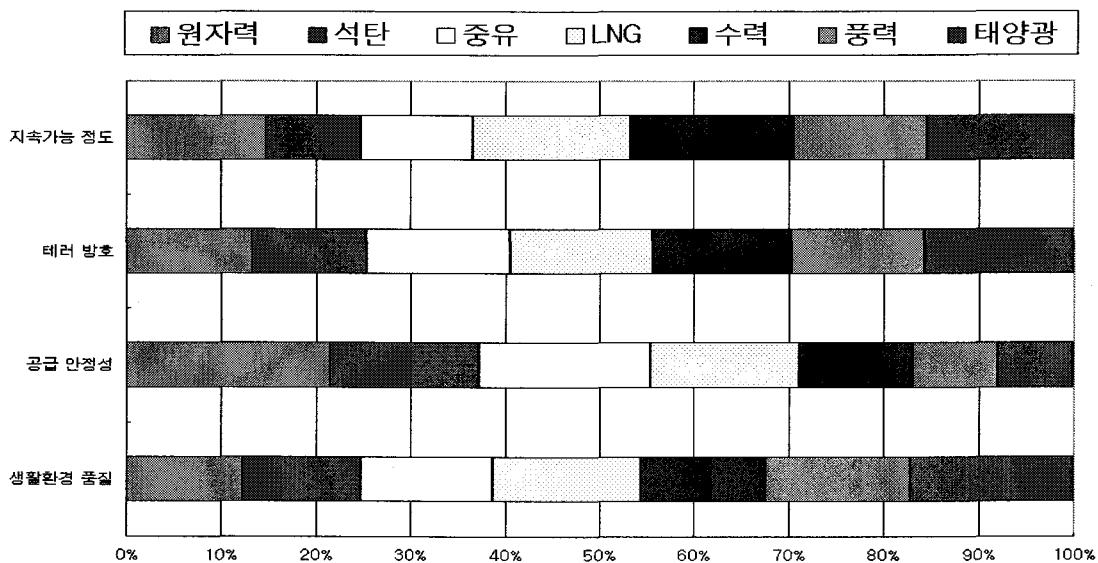


그림 140: 사회성 판단기준별 발전원간의 상대적 선호도

표5에 세부 평가기준에 따른 평가치가 표6에 이러한 평가치의 정규화 결과가 정리되었다. 그림9에 발전원간 비교가 용이하도록 각 평가기준에 따른 상대적 선호도가 주어졌다. 11개

세부 평가요소의 가중치를 고려한 기여도가 그림10에 표현되었다.

표 5: 세부평가기준별 에너지시스템의 평가치

구 분	발전원						
	원자력	석탄	중유	LNG	수력	풍력	태양광
발전 단가 [₩/kWh]	40.53	42.00	73.52	89.93	66.37	107.66	716.40
토지 점유 [km^2/TWh]	0.5	4	4	4	152	72	45
지구온난화 [$\text{gCO}_2\text{-eq/kWh}$]	23.6	1094	778	524	15	9	13
산성화 [$\text{g SO}_2\text{-eq/kWh}$]	0.115	3.5	8.013	0.778	157	144	99
에너지 환급율 [-]	16	7	7	5	205	80	9
생활환경 품질	0.122	0.125	0.1399	0.1577	0.131	0.1518	0.1726
연료/ 에너지 공급 안정성	0.2143	0.1577	0.1815	0.1577	0.119	0.0893	0.0804
테러 방호	0.131	0.122	0.1518	0.1518	0.1458	0.1399	0.1577
지속가능 정도	0.1458	0.1012	0.119	0.1667	0.1726	0.1399	0.1548
사고 사망 [death/GWh]	0.18	5.27	6.20	1.55	4.79	0.00001	0.00001
생명 단축 [yr/TWh]	10	61.25	139	28.75	6.25	12.5	56.25

주: 청색은 주관적 평가에서, 적색은 문현자료에서, 녹색은 석탄발전원과 같다 가정에서 얻어졌다.

표 6: 세부평가기준별 에너지시스템의 정규화 평가치

	Electricity generation technology							
	Nuclear	Coal	Oil	LNG	Hydro	Wind	PV	
Generation cost	0.24934	0.24061	0.13745	0.11237	0.15226	0.09387	0.01411	
Land use	0.71616	0.08952	0.08952	0.08952	0.00236	0.00497	0.00796	
Global warming	0.14069	0.00303	0.00427	0.00634	0.22135	0.36892	0.2554	
Acidification	0.83492	0.02743	0.01198	0.12341	0.00061	0.00067	0.00097	
Energy payback	0.04863	0.02128	0.02128	0.0152	0.6231	0.24316	0.02736	
Quality of life	0.122	0.125	0.1399	0.1577	0.131	0.1518	0.1726	
Supply security	0.2143	0.1577	0.1815	0.1577	0.1191	0.0893	0.0804	
Protection of terror	0.131	0.122	0.1518	0.1518	0.1458	0.1399	0.1577	
Sustainability	0.1458	0.1012	0.119	0.1667	0.1726	0.1399	0.1548	
Accident mortality	2.8E-05	9.5E-07	8.1E-07	3.2E-06	1E-06	0.49998	0.49998	
YOLL	0.24034	0.03924	0.01729	0.0836	0.38454	0.19227	0.04273	

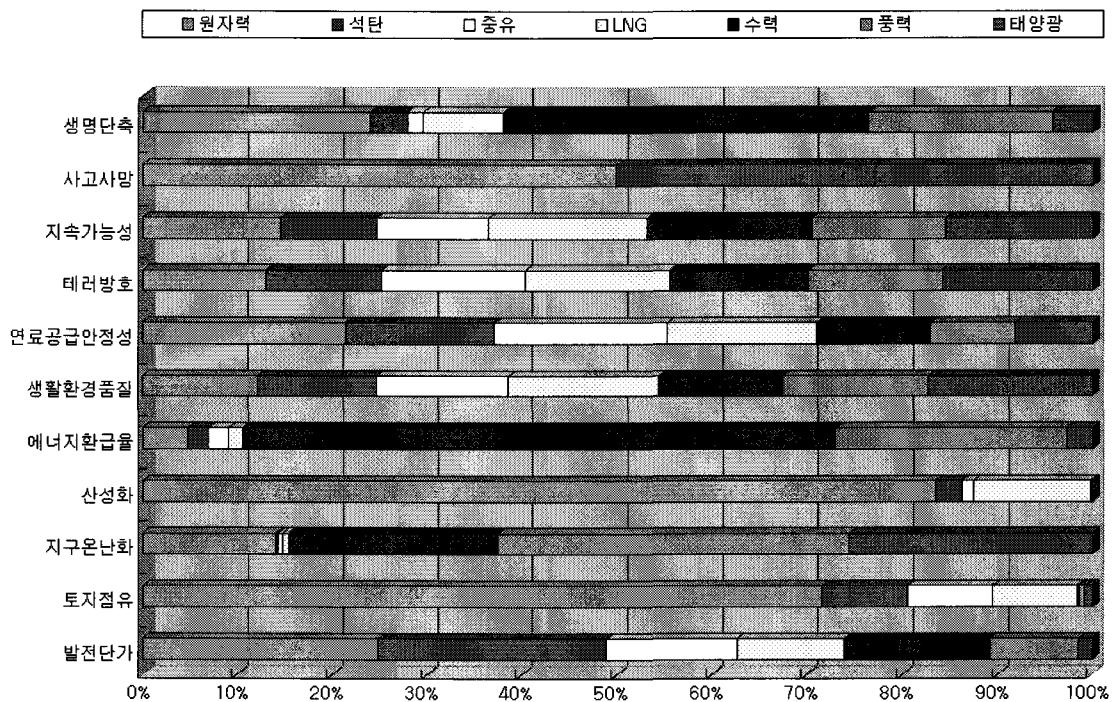


그림 9: 세부평가기준별 발전원의 선호도

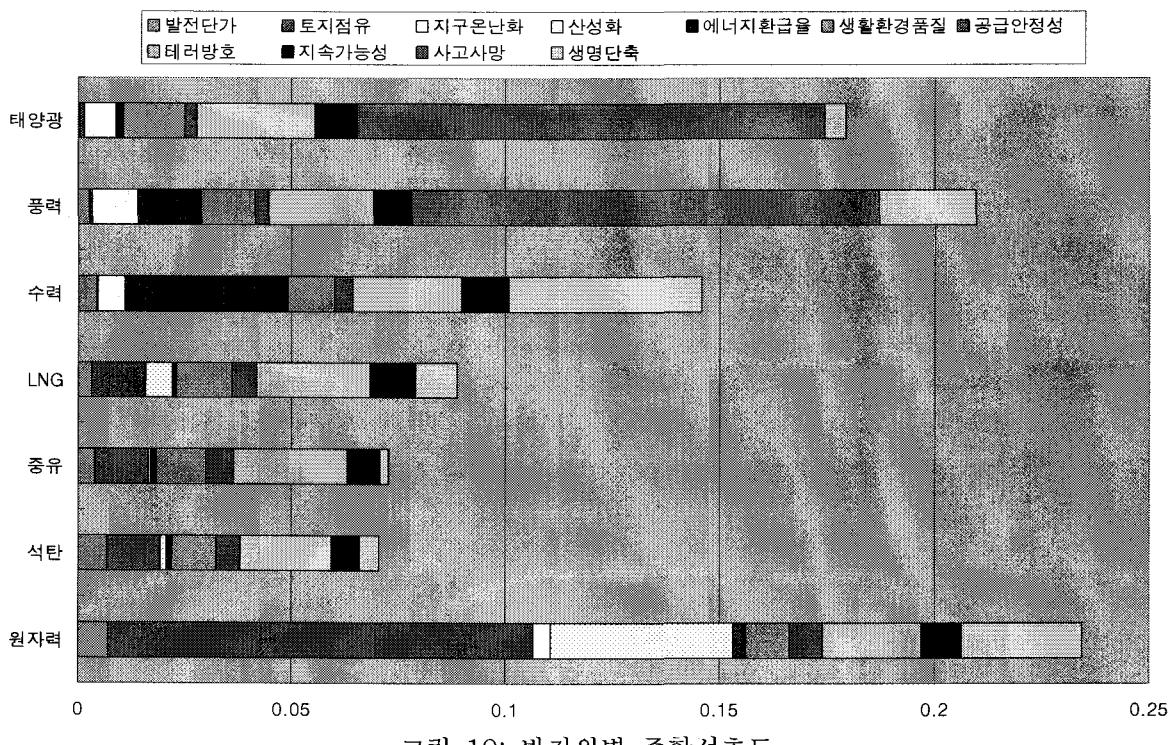


그림 10: 발전원별 종합선호도

이 연구에서 발견된 것은 다음과 같다: 종합 선호도는 원자력 > 신재생 > 화석연료 에너지 시스템의 순, 신재생에너지원에서 선호도는 풍력 > 태양광 > 수력 에너지 시스템의 순,

화석연료 에너지원에서 선호도는 LNG > 중유 > 석탄 에너지 시스템의 순위이다. 이의 배경에는 다음과 같은 이유가 있다고 해석된다: (1) 원자력에서는 토지점유 > 산성화 > 생명단축 측면에서 선호되기 때문이다. (2) 풍력과 태양광에서는 사고사망 측면에서 선호되기 때문이다. (3) 수력에서는 에너지 환급율 > 생명단축의 측면에서 선호되기 때문이다. (4) 화석연료에서는 특별히 선호되는 요소가 뚜렷하게 존재하지 않음을 알 수 있다.

3. 결론

국가 에너지시스템의 종합선호도를 파악하기 위해 MCDM 가운데 AHP 기법 및 웹기반 설문조사 기법을 응용한 종합적 비교평가 시스템이 구축되었다. 이 시스템의 분석 사례로 원자력, 화석연료, 재생에너지 발전기술의 경제성, 환경성, 사회성, 보건성 등의 통합적 평가가 고려되었다. 여기서 고려된 11가지의 세부기준들은 구축된 방법론을 평가하기에 타당한 규모로 판단된다. 향후에는 구축된 방법론이 가정하고 있는 기준평가간의 독립성을 보다 현실적 모델링에 부족한 특성이므로 기준평가간의 종속성 및 레벨간의 종속성을 다룰 수 있는 방법론의 구축이 요구되며 세부기준들의 규모를 조금 더 확장할 필요가 있다.

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. Arıkan (2000) : "A fuzzy outranking method in energy policy planning," *Fuzzy Sets and Systems* 114(1), 115-122.
2. Luc Gagnon (2002) : "*Life-cycle assessment of electricity generation options : The status of research in year 2001*," *Energy Policy*. Vol. 30 (2002), pp.1267-1278.
3. Korea Atomic Energy Research Institute(2003) : *Life Cycle Assessment for Electricity Generating Systems*, KAERI/CM-715, (In Korean).
4. Kyung Ran Min (2003) : *Trending Analysis of Severe Accident Occurrences related to the Use of Primary Energies*, KAERI/TR-2450, (In Korean).
5. A. Voss (2001) : *LCA and external costs in comparative assessment of electricity chains*, pp.163-181.
6. A. Rabel and J. V. Spadaro (2001): *The EXTERNE project: Methodology, objectives and limitations*, Workshop Proceedings Paris, France, 15-16 Nov. 2001.
7. T. Saaty (1980) : *The Analytic Hierarchy Process*, McGraw-Hill. Inc.
8. Hyun Soo Jin (2002): Fuzzy Sensor Algorithm for Measuring Traffic Information using Analytic Hierarchy Process, *Journal of Fuzzy Logic and Intelligent Systems* v.12, n.3, pp.193-201 (In Korean).
9. 이창효 (1998): Multiattribute Decision Making Approach for Group Decision Making, 신라대학교 논문집 46, 81-111 (In Korean).
10. 김진수 (1997): A Methodology for Process Evaluation in Business Process Reengineering, *산업경영연구*, Vol.6 No.2, 109-134 (In Korean).

11. 유인선 (1997): 계층분석과정을 이용한 원자력 연구개발 추진과제의 우선순위 설정, 지역사회개발, Vol.9, 41-53.
12. Sang-duk Sa and Narita Masakuni (1994): An Analytical Methodology for Evaluating Radiological Protection Alternatives Using Analytical Hierarchy Process, 방사선방어학회지, Vol.19 No.2, pp99-108.
13. 임대웅 (1999): 지속가능한 개발과 전과정 평가의 의의, 한국전과정평가학회지 Vol.1, 27-34.
14. A. Rabl(1998): Mortality risks of air pollution : the role of exposure - response functions Journal of Hazardous Materials 61, pp91-98.
15. Deborah Imel Nelson(2003): Health impact assessment of climate change in Bangladesh : Environmental Impact Assessment Review 23, pp 323-341.
16. 김태운 외 (2005): 발전원별 종합위험도 비교평가 연구, KAERI/RR-2513/2004, 과학기술부, 223pp.
17. 김태운 외 (2004): 국가 전력원에 대한 환경성, 위해성, 사회성 비교평가, 한국기술혁신학회 2004 추계학술발표회.
18. Eyre, N. (1993): Nuclear Energy, v.32 no.5, pp.321-326.
19. R. Friedrich and T. Marheineke (1994): Proceedings of an IAEA Advisory Group Meeting/Workshop, Beijing, 67-75, 4-7 October 1994.
20. B. Sorensen (1994): Proceedings of an IAEA Advisory Group Meeting/Workshop, Beijing, 67-75, 4-7 October 1994.
21. Afgan, N. H. et al. (2000): Energy Policy 28(9), 603-612.
22. 김태운 외 (2004): 방사형차트를 이용한 국가 에너지 및 전력 생산원의 사회적 영향 종합평가, 한국에너지공학회 2004 춘계학술발표회.