

다양한 전력생산 시스템에서 다중기준 비교지표의 평가 체계

김성호* · 김태운

한국원자력연구소

(2006년 1월 2일 접수, 2006년 2월 10일 채택)

Assessment Framework for Multicriteria Comparison Indicators in Various Electricity Supply Systems

Seong Ho Kim^{*} and Tae-Woon Kim

Korea Atomic Energy Research Institute, Dukjin-dong Yusung Daejon, 305-606

(Received 2 January 2006, Accepted 10 February 2006)

요 약

이 연구에서는 해석적 계층과정 기법 및 설문조사를 바탕으로 다중기준 평가기준에 따라서 여러 가지 전력생산 시스템들을 종합적으로 비교할 수 있는 비교지표의 평가체계를 개발하였다. 의사결정 문제를 계층구조로 파악하는 해석적 계층과정 기법은 설문조사로 얻어진 주관적 견해를 추출하는 데 아주 용이하다. 여기서, 종합선호도는 판단기준의 가중치와 대안의 평가치가 선형적으로 결합되어 얻어진다. 대표적 전력생산 시스템들은 국내 전력공급의 대부분을 차지하고 있는 전통적인 원자력, 석탄(유연탄), 중유, LNG 발전소, 수력 발전원 등이 선정되었고, 덧붙여 최근에 관심거리인 재생에너지 시스템으로는 우리나라에서 대표적인 풍력, 태양광 발전원 등이 포함되었다. 시범연구의 결과에 따르면, 종합적인 비교지표로 1) 평가기준 간 상대적 중요성을 비교하기 위해 에너지 시스템의 4가지 대 평가기준의 가중치, 11가지 소평가기준의 가중치, 2) 평가기준별 에너지 시스템의 효용성을 비교하기 위해 7가지 에너지 시스템의 선호 평가치, 3) 우선순위를 판단하기 위해 종합점수 등이 제시된다.

주요어 : 에너지 기술, 계층 구조, 다중기준 의사결정, 사회-환경성, 비교지표

Abstract — In this study, on the basis of an analytic hierarchy process (AHP) method and through a questionnaire on subjective preference and importance, various power supply systems were comprehensively compared with multiple decision criteria such as environmental, social, healthy, and economic viewpoints and then overall priority was assessed. When a decision-making problem is modelled by a hierarchy structure, the AHP method is regarded as a useful tool for extracting subjective opinions via the aforementioned questionnaire. Here, the overall preferences were obtained by linearly aggregating weighting vector and preference matrix. The energy systems such as nuclear, coal, and LNG power plants were selected because they took share over 90% of domestic electricity supply in Korea. Furthermore, wind power and photovoltaic solar systems were included as representative renewable energy systems in Korea. According to the results of this demonstration study, the following comprehensive comparison indicators were yielded: 1) weighting factors for 4 types of main criteria as well as for 11 types of sub-criteria; 2) preference valuation for 7 types of energy systems under consideration; 3) overall score for each energy systems.

Key words : Energy technology, Hierarchy model, MCDM, Social-environment effect, Comparison indicator

^{*}To whom correspondence should be addressed.

Korea Atomic Energy Research Institute, Dukjin-dong
Yusung, Daejon 305-606, Korea
Tel: 010-3373-5710
E-mail: shokim@kaeri.re.kr

1. 서 론

1-1. 배경

우리는 오늘날 삶의 질을 높이며 고소득의 경제성장에 편승하고자 하는 경제활동은 전적으로 에너지에 기반하고 있다는 것을 잘 알고 있다. 지속가능한 개발을 추구하는 현재 세계의 에너지 필요량은 주로 화석연료에 의해 충족되고 있다. 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. 이에 따라 선진국이나 개발도상국에서는 미래의 안정적인 에너지 공급 및 에너지 연료의 공급 확보에 주력하고 있으며 전력생산 시스템의 효율적 관리와 대체에너지원 개발에 관심을 쏟고 있다. 세계적으로 널리 활용되고 있는 에너지 공급 안보의 전략적 정책 도구들로 1) 자국 내 공급, 2) 에너지 공급 다각화, 3) 에너지 시스템의 유연성, 4) 에너지 위기의 관리, 5) 외교 및 안보 정책 등을 나열할 수 있다. 화석연료의 수입의존도가 매우 높아 화석연료에 의한 에너지의 자급자족이 거의 불가능한 우리나라는 에너지 정책 수립 시 에너지 안보를 유지하기 위해 다각화의 전략에 따라 에너지 공급원을 화석연료 에너지원에서 비-화석연료 에너지원이나 대체 에너지원으로 갈아타기를 반영하고 있는 실정이다. 예를 들면, 정부가 확정 공고한 전력수급 기본계획¹⁾에 따르면, 2017년말 발전설비용

량은 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.

여기서는 이러한 추세에 맞춰 화석연료 발전원(예 : 석탄, 석유, LNG)뿐만 아니라 비-화석연료(예 : 원자력, 수력)와 무공해 청정 신재생에너지원(예 : 풍력, 태양광 등)을 이용한 전력생산 시스템들의 다각적 측면을 고려하고자 한다. 각 전력생산 시스템이 다양하지만 서로 갈등적일 수 있는 특성을 갖는 경우에, 종합적 관점에서 여러 전력생산 시스템 간에 다각적인 사회적·수용성(예 : 경제성, 환경성, 사회성, 보건성 등)을 비교하려면 비교평가 방법론의 개발이 필요하다.

이 연구의 주된 목적은 첫째로 사회적 수용성을 나타내는 비교지표인 종합 선호도를 정량화할 수 있는 해석적 계층과정(AHP) 기법 기반 의사결정 방법론을 구축하고, 둘째로 구축된 종합적 비교평가 체계를 다양한 전력생산 시스템에 적용하여 시스템의 선호도를 포함한 여러 종합적인 지표지표들을 정량적으로 평가하고 해석하는데 있다.

1-2. 기존 연구

여기서는 우리나라의 국가 에너지 시스템별 종합적 비교평가 시스템의 방법론 구축과 관련된 대내외적 연구개발 기술의 위치를 살펴볼 수 있도록 국내외 기존 연구들이 Table 1에 정리되어 제시되었다.

우선 해석적 계층과정(AHP) 기법의 특성과 이 기법

Table 1. Previous investigations on comparison of power supply systems.

국가명	연구	방법론	발전원	평가기준
영국	Eyre (1993) ^[2]	-외부비용 방법	-화석-연료, 원자력, 재생에너지	-환경성 영향
독일	Friedrich (1994) ^[3]	-전과정 평가 방법 -비용분석 방법	-석탄, 갈탄, 원자력, 태양광, 풍력 발전	-환경성, 보건성 영향
덴마크	Sorensen (1994) ^[4]	-전과정평가 방법 -외부비용 방법	-태양광, 풍력, 석탄 발전	-경제성, 환경성, 사회성, 안보/복원력, 개발/정치성 영향
포르투갈	Afgan (2000) ^[5]	-다중기준 의사결정 방법	-태양광, 풍력, 바이오매스, 기름 발전	-자원, 환경성, 효율성, 사회성 영향
독일	Vos (2001) ^[6]	-전과정 평가 방법 -외부비용 방법	-석탄, 갈탄, 천연가스 열병합, 원자력, 태양광, 풍력, 수력 발전	-환경성, 보건성, 경제성 영향
캐나다	Gagnon (2002) ^[7]	-전과정 평가 방법	-석탄, 갈탄, 기름, 천연가스 열병합, 원자력, 연료-전지, 태양광, 풍력, 수력 발전	-환경성, 보건성 영향
우리나라	김성호 외 (2004) ^[8]	-전과정 평가 방법 -방사형차트 방법	-화석-연료, 원자력 발전	-환경성, 보건성, 경제성, 사회성 영향

에 기반을 둔 개발된 방법론의 절차 등이 서술되고, 이 방법론의 구체적인 적용사례가 논의되며, 끝으로 결론적 의견 및 추후 연구 방향 등이 언급된다.

2. 방법론의 이론 및 적용

2-1. 해석적 계층과정 기법-기반 의사결정 방법론

해석적 계층과정(AHP; Analytic Hierarchy Process) 기법은 1970년대에 Saaty¹⁹⁾에 의해 제안된 이후로 다중기준 의사결정(Multi-Criteria Decision Making; MCDM)의 문제해결의 전형적인 접근방법으로 자주 응용되어 왔다. 이 기법의 특징은 의사결정자가 동일 계층 내 서로 다른 두 구성요소 끼리 쌍대비교(Pair-wise Comparison)를 통해 계층 내 요소들의 영향력에 대한 상대적인 강도와 효용성을 측정하고 이를 비율척도로 환산한다는 점이다. 정량적인 정보뿐만 아니라 정성적인 정보도 동시에 종합적으로 평가할 수 있는 것이 AHP의 큰 장점이 되고 있는 반면, 기준별 가중치와 대안별 평가치의 결합과정

에서 선형적인 산술 가중평균을 사용하며 새로운 데이터의 갱신과정에서 재계산이 필요한 단점을 지니고 있다.

다양한 발전원의 비교지표를 생성하기 위하여 이 논문에서 개발된 AHP 기법-기반 체계는 크게 다음과 같은 4가지 기본단계로 분류될 수 있다. 여기서 개발된 절차에 따라 이러한 기본적인 단계별 흐름도가 Fig. 1에 주어졌다. 특히, 단계2와 단계3을 보다 더 구체적으로 소개하고자 한다.

- (1) 단계1 : 문제의 구조화 단계: 계층구조를 구축하는 단계이다;
- (2) 단계2 : 중요도 측정의 단계: 전문가 의견의 추출 단계에 해당하며, 여기서는 웹-기반 설문 시스템이 개발되어 설문조사에 적용되었다;
- (3) 단계3 : 가중치와 평가치 설정 및 종합화 단계: 비교지표의 생성 단계이다;
- (4) 단계4 : 대안의 순위와 최선책의 결정 단계: 대안의 비교 단계이다.

2-1-1. 쌍대비교를 통한 중요도 측정 단계

단계2와 관련하여, 계층별 판단기준간의 가중치 계산은 쌍대비교의 결과를 나타내는 쌍대비교행렬(Pair-wise Comparison Matrix; PWCM)의 고유벡터¹⁹⁾에 의해 구할 수 있다. 일반적으로 어느 한 평가기준에 대하여 $n \times n$ 의 쌍대비교행렬 A 가 생성되었다고 할 때, 다음의 식(1)을 만족한다.

$$AW = \lambda W \tag{1}$$

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.

$$(A - \lambda I)W = 0 \tag{2}$$

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

$$|A - \lambda I| = 0 \tag{3}$$

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 계층 내 가중치는 주관적인 판단에 기초한 쌍대비교에 의해서 얻어지므로 평가요소간의 상대적 중요성을 비교할 때 전이적 일관성(transitive consistency)

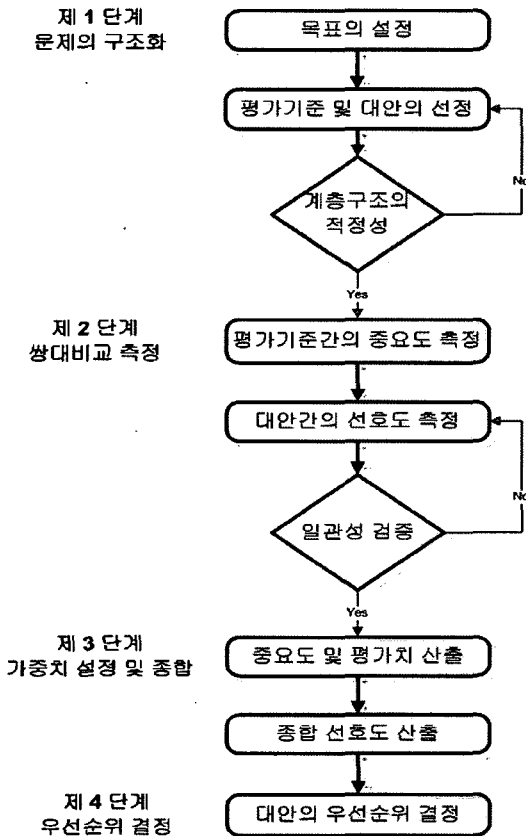


Fig. 1. A flow chart for the AHP method for generating comparison indicators.

이 얼마나 유지되고 있는지가 문제가 된다. 여기서 전이적 일관성이란, 가령 A1, A2, A3을 비교할 때 중요성의 정도에서 A1>A2 이고, A2>A3 이면, A1>A3 이 성립해야한다. 만일 주관적인 판단 과정에서 A3>A1로 평가한다면, 이는 전이적 일관성이 없다고 말한다. 또 기수적 일관성이란, 예컨대 A1이 A2보다 2배 중요하며 A2가 A3보다 3배 중요하다고 평가했다면, A1은 A3보다 6배 중요하다고 평가되어야 함을 의미한다. 어떤 한 계층 내 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.

$$CI = (\lambda_{max} - n) / (n - 1) \tag{4}$$

식(4)에서 n은 평가요소의 개수 즉, 쌍대비교입력행렬의 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; 표본크기 500에서 무작위로 발생시킨 행렬의 평균 CI)의 비로 구해진다. 식 (5)는 일관성비율을 구하는 식이다.

$$CR = CI / RI \tag{5}$$

설문조사를 하는 경우 각 개인의 설문내용의 일관성 비율이 0.1이내인 경우에만 판단의 일관성이 있다고 판단된다. 여기서는 일관성비율을 0.15로 조정하였다. Table 2에 행렬의 크기 1~15까지의 무작위지수가 제시되고 있다. 무작위지수는 Saaty에 의해 표본크기 500으로 무작위로 발생시킨 행렬의 평균 일관성지수에 해당한다^[9].

2-1-2. 가중치와 평가치 설정 및 종합화 단계

여기서 개발된 단계3과 관련하여, 발전원별 세부평가들을 무차원에서 비교하기 위해 앞에서 얻어진 경제성, 환경성, 보건성 등의 평가치를 각각 정규화 하였다. 이러한 수치는 정규화 평가치라고 불린다. 객관적인 수치 자료에서 얻은 자료들이 가지고 있는 각각의 단위를 정

규화 함으로써 함을 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 정규화 평가치 N_i 는 다음의 식(6)과 같이 구할 수 있다. 여기에 해당되는 세부기준은 환경성의 에너지환급율, 사회성의 세부기준들이다.

$$N_i = \frac{x_i}{\sum_i x_i} \tag{6}$$

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, 정규화 평가치를 구하는 수식은 다음의 식(7)과 같다. 따라서 정규화 이후에는, 모든 세부기준에서 정규화 평가치의 수치가 클수록 선호도가 높음을 의미한다.

$$N_i = \frac{1/x_i}{\sum_i 1/x_i} \tag{7}$$

가중치와 평가치를 결합하여 종합 선호도 점수를 매기며, 점수에 따라 각 대안의 순위를 매긴 후 이에 따라 의사결정의 최우선 대안을 정한다. 결합과정은 각 발전원 k에 대한 정규화 평가치(N_{ik})와 기준에 대한 가중치(W_i)를 고려하여 가중 산출 평균하여 종합 선호도점수(Overall Score; OS_k)를 계산한다. 이러한 결합과정은 다음의 식(8)과 같다.

$$OS_k = \sum_{i=1}^I W_i N_{ik} \tag{8}$$

2-2. 적용 사례

이러한 AHP 기법-기반 방법론은 국가 에너지 시스템의 체계적이면서 과학적인 구축에 필수적인 각 에너지 시스템의 환경성, 위해성, 보건성, 사회성의 종합적 의사결정 도구로 사용될 수 있다. 이 사례 연구에서는 각 에너지 시스템이 다양하지만 서로 갈등적일 수 있는 복합적인 특성을 갖는 경우에, 종합적 관점을 대표하는 하나의 비교지표로서 “사회적 수용성”을 측도로 선정하였다. 에너지 시스템별 사회적 수용성 비교 평가를 위해 AHP 기법을 도입하여 각 에너지 시스템 사이에 비교하고자 하는 속성을 정의하고 문헌조사 및 웹-기반 설문조사 방법을 이용하여 에너지 시스템별 선호도를 분석하였다.

Table 2. Random index values for the number of decision elements.

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

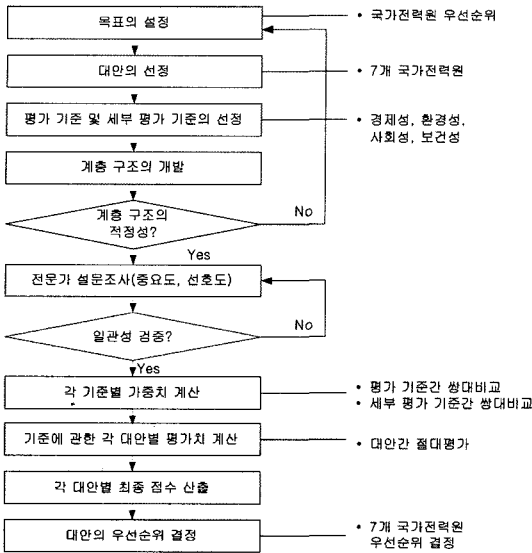


Fig. 2. Procedures for comprehensive assessment of energy systems.

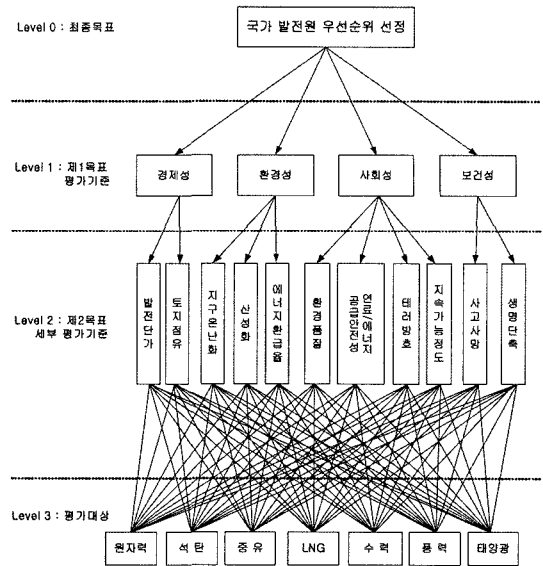


Fig. 3. A hierarchy structure for multicriteria decision-making of energy systems.

평가항목으로 보건성, 환경성, 경제성 및 사회성 등이 선정되었다. 기준별 가중치 및 대안별 정규화 평가치의 결합과정(Aggregation Process)을 거쳐 얻어진 각 에너지 시스템별 선호도 점수는 종합 선호도(Overall Preference)

라 불린다. AHP 기법-기반 의사결정 체계에 따라 에너지 시스템을 비교 평가하는 절차가 Fig. 2에 제시되었다. 에너지 시스템의 종합적 비교를 위하여 앞에서 언급된 문제의 구조화 단계에서 확정된 계층구조가 Fig. 3

Table 3. Main criteria and sub-criteria for indicators of energy systems.

판단기준	세부 판단기준	설명
경제성	발전단가	단위 전력을 생산하는데 드는 비용(건설경비, 운영경비); 발전단가가 에너지 공급 단가에 비해 싸야 이익이 발생한다.
	토지점유	단위 전력을 생산하는데 점유한 토지 면적; 영토가 작은 나라에서 토지점유가 심한 발전원은 사회적인 부담이 될 수 있다.
환경성	지구온난화	발전원이 전과정 동안에 지구 온난화에 미치는 지구적 환경영향; 이산화탄소, 메탄 같은 온실가스 배출로 기온 급변, 해면 상승, 강수량 변화, 생태계 파괴, 농작물 수확 감소 등을 초래한다 ¹⁰⁾ .
	산성화	발전원이 전과정 동안에 환경 산성화에 미치는 광역적 환경영향; 아황산가스등이 대기 속에 머물다가 비에 섞여 내리는 산성비가 주원인이며 물고기를 죽이고 나무를 말라죽게 한다.
사회성	에너지환급율	발전원 전과정 동안에 에너지 소비량에 대한 에너지 생산량 비율
	생활환경품질	발전원이 생활의 품질에 미칠 영향(예 : 소음, 시각적 영향, 냄새, 그림자, 먼지 등)
	연료/에너지 공급안정성	전력생산에 필요한 연료 또는 에너지(예 : 바람, 태양광)의 확보안정성
보건성	테러방호	발전원별 테러 안전을 위해 드는 사회적 비용의 부담
	지속가능성	상용발전을 안정적으로 오랜 기간 지속시킬 수 있는 척도
	사고사망	발전원 전과정 동안에 발생한 사고재해시 사망자 수
	생명단축	발전원에서 주변 주민이나 작업자의 생명단축 연수

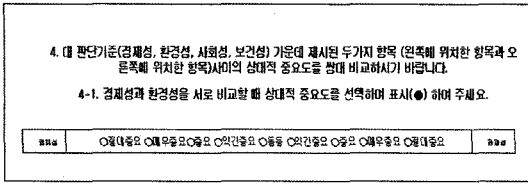


Fig. 4. A question asking relative importance between economic effect and environment effect of energy systems.

에 주어졌다. 이 계층구조에서는 최종목표, 주 평가기준, 세부 평가기준, 대안 등이 계층적으로 나타나고 있다. 에너지 시스템(즉, 발전원)의 주 평가기준, 세부 평가기준 등이 Table 3에 간략하게 설명되어 있다.

앞에서 언급된 쌍대비교를 통한 중요도 측정 단계에서는 기준의 중요도, 사회성에서 본 에너지시스템의 평가치 등이 전문가 설문조사에서 쌍대비교를 통해 추출된다. 이 연구에 참여한 전문가 그룹은 에너지 부문에 종사하는 52명의 연구원들이다. 중요도 및 선호도를 묻는 웹-기반 설문지를 통해 수집된 전문가 견해 가운데 앞에 언급된 일관성비율이 모두 0.15 이하에 해당하는 전문가 견해만이 선택되었다. Fig. 4는 상대적 중요도를 묻는 9점 척도 설문 예시를 보여주고 있다. 여기서 기준 간의 상대적 중요도는 각 기준별 가중치로 간주된다.

3. 결과 및 논의

비교지표의 하나인 기준별 가중치가 Table 4에 정리되었다. 대기중 및 세부기준에 대한 가중치가 각각 주

어졌다. 사회성의 기준별 가중치는 설문조사 기법을 통해 전문가의 주관적 견해를 추출하여 얻어진 정량화 결과이다. 대 평가기준(즉, 계층구조의 레벨 1)에서는 사회성이 가장 큰 가중치를 보인다. 세부 평가기준에서 종합 가중치를 보면 보건성의 사고사망, 생명단축, 사회성의 테러방호, 경제성의 토지점유 등이 크게 나왔다. 직접적으로 생존에 관련된 기준에 가중치가 높게 나온 것에 관심을 보일 필요가 있다. 또한 우리나라의 비좁은 국토면적을 감안하여 경제성의 토지점유에서 발전단계보다 더 높은 가중치를 보인다.

비교지표의 하나인 세부 평가기준에 따른 평가치가 Table 5에 정리되었다. 에너지 시스템별 발전단계는 기존 시스템에서는 거래단가로, 재생에너지원에서는 기준 단가로 정의된다. 예컨대, 풍력 발전 및 태양광 발전은 2003년 10월 산업자원부가 공포한 대체에너지 전력 기준가 지침^[14]에 따른 기준단가가 발전단계로 선정되었다. 에너지 시스템은 직접적이나 간접적으로 토지점유에 영향을 끼치고 있다. 예컨대, 수력 발전은 댐건설로 많은 토지를 수몰시킨다. 여기서는 발전단계와 관련된 직접적인 토지점유만을 고려하기로 하고 기후변화에 기인한 간접적인 토지점유는 고려하지 않는다. 중유 발전 및 LNG 발전의 토지점유는 석탄 발전과 같다고 가정되었다. 환경성의 지구 온난화 현상은 온실가스의 배출량으로 나타낼 수 있다. 이는 에너지 시스템의 전과정 평가^[15]를 통해 이산화탄소 등가량으로 표현된다. 에너지환급율과 관련하여, 중유 발전의 경우는 석탄 발전과 같다고 가정되었다. 사고사망과 관련하여, 풍력과 태양광 발전에서는 자료가 없기에 1.0E-5가 가정되었다. 국내의 자료의 조사에 따라, 원자력과 수력의 경우는 발생빈도는 낮

Table 4. Weighting factors and importance ranks for main- and sub-criteria.

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

Table 5. Preference valuations of each energy system for 11 sub-criteria.

구분	발전원						
	원자력	석탄	중유	LNG	수력	풍력	태양광
발전 단가[₩/kWh][12]	40.53	42.00	73.52	89.93	66.37	107.66	716.40
토지 점유[km ² /TWh] [7]	0.5	4	4	4	152	72	45
지구온난화[gCO ₂ -eq/kWh][7;12]	23.6	1094	778	524	15	9	13
산성화[g SO ₂ -eq/kWh] [7;12]	0.115	3.5	8.013	0.778	157	144	99
에너지 환급율[-] [7]	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] [12]	0.18	5.27	6.20	1.55	4.79	0.00001	0.00001
생명 단축[yr/TWh] [7]	10	61.25	139	28.75	6.25	12.5	56.25

지만 피해결과는 가장 크게 나타났으며, 화석연료 발전의 경우는 발생빈도가 높았다. 생명단축은 사망으로 인한 손실연수(YOLL; Years of Life Lost) 개념에 기반을 둔 손상부담에 대한 계량적인 측정방법의 하나라고 볼 수 있다^[13]. 사회성의 세부기준에 대한 평가치는 주관적 견해에 해당한다. 에너지 시스템 사이에 상대적 선호도를 비교해 보면 다음과 같다: (1) 생활환경품질에서는 풍력과 태양광 발전이 선호되는 것으로 나타났다; (2) 연료/에너지 공급안정성에서는 원자력 발전이 선호되는 것으로 나타났다; (3) 지속가능성에서는 수력, LNG, 태양광 발전이 선호되는 것으로 나타났다; (4) 테러방호에서는 원자력 발전이 여타 시스템에 비해 더 낮은 선호도를 나타내고 있으며, 이는 원자력 발전소의 대내외적인 테러노출 가능성에 대한 인식을 보여주고 있다.

에너지 시스템 간 비교가 용이하도록 각 평가기준에 따른 상대적 선호도가 Fig. 5에 주어졌다. 11개 세부 평가요소의 가중치를 고려한 기여도가 Fig. 6에 표현되었다.

여기서 다음과 같은 사실이 발견되었다: 종합 선호도는 원자력>신재생>화석연료 에너지 시스템의 순, 신재생 에너지원에서 선호도는 풍력>태양광>수력 에너지 시스템의 순, 화석연료 에너지원에서 선호도는 LNG>중유>석탄 에너지 시스템의 순위이다. 이러한 배경에는 다음과 같은 이유가 있다고 해석할 수 있다: (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.

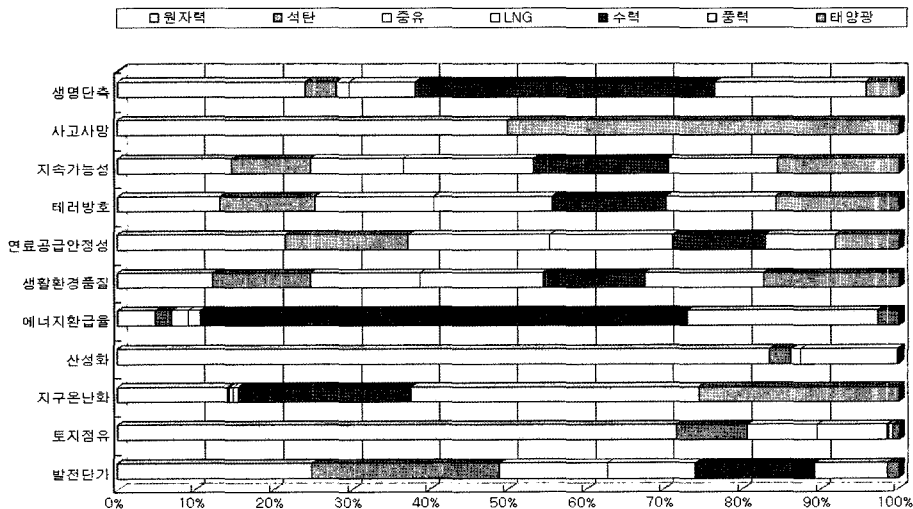


Fig. 5. Relative preferences of energy systems for 11 sub-criteria.

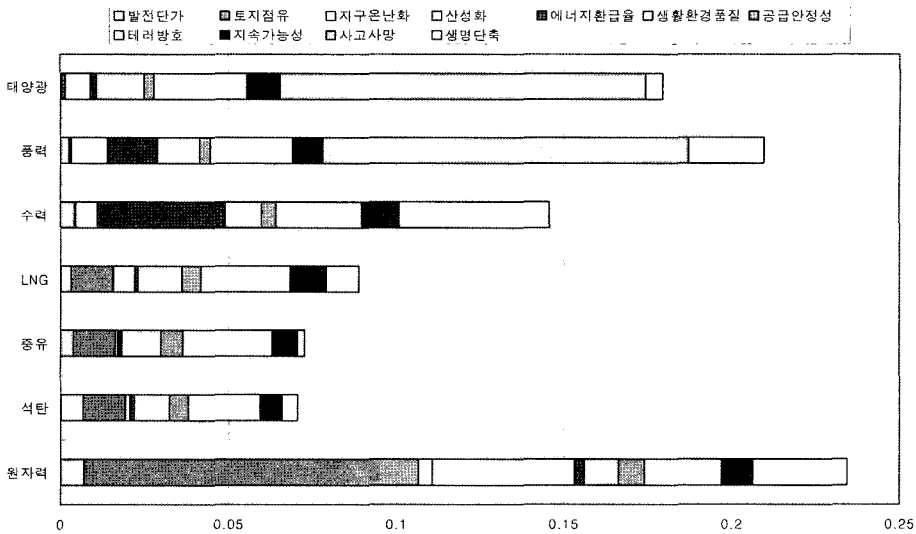


Fig. 6. Overall preference scores for 7 energy systems.

4. 결 론

참고문헌

에너지시스템의 종합 선호도를 파악하기 위해 AHP 기법-기반의 종합적 비교평가 체계가 구축되었다. 이렇게 개발된 평가 체계의 시범사례로 원자력, 화석연료, 재생 에너지 발전원들의 경제성, 환경성, 사회성, 보전성 등의 종합적 평가가 예시되었다. 여기서 고려된 11가지의 세부기준들은 구축된 방법론을 평가하기에 타당한 규모로 판단된다.

향후에는 구축된 방법론이 가정하고 있는 기준평가간의 독립성은 보다 현실적인 모델링에는 충분하지 못한 가정 사항이므로 기준평가간의 상호의존성을 다룰 수 있는 방법론을 개발할 필요가 있다. 또한 설문 응답자인 전문가의 찬원자력 성향(즉, 에너지 소비량이 앞으로 증가하는 추세에서는 원자력 발전의 점유율을 늘이는 것이 바람직스럽다고 보는 성향), 반원자력 성향(즉, 에너지 소비량이 앞으로 증가하는 추세에서도 원자력 발전의 점유율을 줄이는 것이 바람직스럽다고 보는 성향), 중립 성향(즉, 에너지 소비량이 앞으로 증가하는 추세에서 필요하다면 원자력 발전의 점유율을 유지시키는 것이 바람직스럽다고 보는 성향) 등의 평가자 성향을 반영하도록 여기서 개발된 평가체계를 조금 더 확장할 필요성이 엿보인다.

감사의 글

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

1. 산업자원부 (2004): 제 2차(2004~2017) 전력수급 기본계획, 2004년 12월 30일.
2. Eyre, N. Nuclear Energy, 1993, 32(5), 321-326.
3. Friedrich, R.; Marheineke, T. Proceedings of an IAEA Advisory Group Meeting/Workshop, Beijing, 67-75, 4-7 October 1994.
4. Sorensen, B. Proceedings of an IAEA Advisory Group Meeting/Workshop, Beijing, 67-75, 4-7 October 1994.
5. Afgan, N.H.; et al. Energy Policy, 2000, 28(9), 603-612.
6. Voss, A. Workshop/ Proceedings, Paris, 163-181, 15-16 November 2001.
7. Luc Gagnon; et al. Energy Policy 30, 2002, 1267-1278.
8. 김성호 외. 방사형차트를 이용한 국가 에너지 및 전력 생산원의 사회적 영향 종합평가, 한국에너지공학회 2004 춘계학술발표회, 2004.
9. Saaty T. The Analytic Hierarchy Process, McGraw-Hill. Inc., 1980.
10. IPCC. Climate change 2001 - Impacts, adaptation, and vulnerability, 2001, 7-14.
11. 산업자원부. 대체에너지 이용 발전 전력 기준가격 지침, 2003년 10월.
12. 김태운 외. 발전원별 종합위험도 비교평가 연구, KAERI/RR-2513/2004, 과학기술부, 2005, 223pp.
13. 고지연. 인간건강의 손상분석을 위한 DALY의 산출, 석사 학위논문, 건국대학교, 2005.