

미래전략 에너지기술개발 영향요인 중요도 산출 - AHP 적용 중심으로 -

*홍 성준¹⁾, 최 봉하²⁾, 박 상용³⁾, 이 덕기⁴⁾, 박 수억⁵⁾

A Study on Calculating the Weights of Impact Factors to Develop Energy Technology Strategy for the Future - Based on the AHP -

*Sung-Jun Hong, Bongha Choi, Sang-Yong Park, Deokki Lee, Soo-Uk Park

Key words : AHP(계층적 의사결정), Hierarchy Structure(계층구조), Impact Factor(영향요인)

Abstract : In this paper, we searched for impact factors by brainstorming and calculated the weights of them using the Analytic Hierarchy Process(AHP) method in order to develop energy technology strategy for the future. AHP is a useful method for evaluating multi-criteria decision making problems. We selected 3 criteria(possibility of success for developing technology, application of the technology, technical spin-off) and 10 sub-criteria. According to the result in this study, the most important sub-criterion is the possibility of commercialization, the second is the possibility of developing the fundamental technology, and the third is the possibility of convergence technology. The other side, the lowest important sub-criterion is the difference of technical standards as compared with advanced countries.

subscrip

AHP : analytic hierarchy process
CR : consistency ratio
CI : consistency index
RI : random index

1. 서론

2007년의 화두는 단연 \$100 에 육박하는 고유가였으며, 2008년에 들어서도 국제유가의 고공행진은 멈출 기세를 보이지 않고 있다. 지난 3월 12일 뉴욕상업거래소(NYMEX)에서 거래된 서부 텍사스산 중질유(WTI) 가격은 \$109.93 로 마감돼 종가 기준 사상최고치를 경신했으며, 장중 최고치도 \$110.20 를 기록하여 사상 처음으로 110 달러선을 돌파하였다. 이러한 고유가 행진과 함께 온실가스 배출로 인한 기후변화는 먼 미래의 문제가 아니라 현실적이고 국제적인 이슈로 대두되고 있다. IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change) 기후변화 4차 평가보고서(2007)에 따르면 지구온난화로 인하여 자연생태계와 사회-경제시스템은 물론 인간 건강이 심각한 영향을 받고 있으며, 현재의 기후변화 문제는 인류가

배출한 온실가스와 관련성이 있다고 확정한 바 있다.

하지만 최근 화석연료의 고갈과 에너지수급 불균형에서 기인한 고유가 현상과 온실가스 배출로 인한 환경오염 문제를 해결하기 위하여 신재생에너지 개발이 전세계적으로 관심을 받고 있으며, 신재생에너지 사용 및 보급을 위하여 관련 정책 및 구체적인 액션플랜들이 국제적으로 논의되고 있다.

화석연료에 지나치게 의존하고 있는 현재의

-
- 1) 한국에너지기술연구원, 연구정책팀
E-mail : sjhong@kier.re.kr
Tel : (042)860-3478 Fax : (042)860-3097
 - 2) 한국에너지기술연구원, 기술분석팀
E-mail : bigunit@kier.re.kr
Tel : (042)860-3489 Fax : (042)860-3135
 - 3) 한국에너지기술연구원, 기술분석팀
E-mail : gspeed@kier.re.kr
Tel : (042)860-3037 Fax : (042)860-3135
 - 4) 한국에너지기술연구원, 기술분석팀
E-mail : deokki@kier.re.kr
Tel : (042)860-3753 Fax : (042)860-3135
 - 5) 한국에너지기술연구원, 기술분석팀
E-mail : supark@kier.re.kr
Tel : (042)860-3045 Fax : (042)860-3135

에너지시스템 구조를 개선하고, 기후변화 문제를 해결하기 위하여 UN, G8, OECD, 세계 유수의 연구기관들이 공통적으로 제시하는 해결책은 “혁신적인 에너지기술개발”이다. 궁극적으로 현재의 탄소에너지시대에서 비화석에너지·청정에너지 시대로의 에너지패러다임 변화가 그 핵심이다.

따라서 현재 당면해 있는 에너지·환경 문제를 해결하기 위해서 전략적으로 미래 에너지기술을 개발해야 하는데, 본 논문에서는 미래 에너지기술을 선정함에 있어서 직접 또는 간접적으로 영향을 끼칠 수 있는 요인들을 발굴하고, 그 중요도를 산출하였다.

2. AHP 방법론

K개의 기준을 가진 다기준 의사결정문제의 일반적인 형태는 다음과 같다.

$$Max \{f_1(a), \dots, f_h(a), \dots, f_k(a) \mid a \in K\}$$

다기준 의사결정문제에서 최대의 과제는 상충하는 기준들간의 절충이기 때문에 대부분의 현실 문제에서 $f_h(\tilde{a}) \geq f_h(a), \forall a \in K, \forall h$ 를 만족시키는 최적해 \tilde{a} 는 거의 존재하지 않는다. 이와 같이 평가기준(criteria)이 다수이고, 각 기준하에서 고려되는 대안들의 선호도를 객관적으로 측정하거나, 이를 종합하여 최선의 대안을 선택하는 문제를 다기준 의사결정문제(Multi-Criteria Decision Making problem)라고 한다.

대표적인 다기준 의사결정기법으로 각 기준들의 효용함수(utility function)를 이용하는 MAUT(Multi-Attribute Utility Theory)와 계량적 수치로 나타내기 어려운 요소들을 정량화하고 문제를 계층화하여 분석하는 AHP(Analytic hierarchy process), 그리고 순위선호(outranking) 개념을 바탕으로 선호함수(preference function)를 이용하는 PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method Enrichment Evaluations) 등이 있다.

본 논문에서는 미래전략 에너지기술을 개발하기 위해 고려되어야 할 영향요인(IF, Impact Factor)을 발굴하고, 각 요인들이 얼마의 중요도를 갖는지 산정하기 위하여 Saaty에 의해 만들어진 AHP 기법을 활용한다. AHP 기법은 계량적 수치로 나타내기 어려운 요소를 고려하여 조직화, 구조화, 계층화함으로써 영향요인의 가중치를 설정하는 계층화 의사결정방법이라고 정의되는데, 적용방법이 비교적 단순하여 경제적, 사회적, 기술적인 문제 등 여러 응용분야에 적용되고 있다.

3. 영향요인 발굴

영향요인(IF, Impact Factor)이란 개발기술에 직접 또는 간접적으로 영향을 끼칠 수 있는 요인들로서 이는 유·무형적, 정성적, 정량적 특성을 모두 포함하고 있는 총체적 요인들을 말한다.

본 연구에서는 분야별 전문가들의 브레인스토밍(brainstorming)을 통해 다양한 영향요인들을

발굴한 후, 미래전략 에너지기술의 후보를 선정하기 위한 영향요인으로 3개의 상위요인(Criteria)과 10개의 하위요인(Sub-Criteria)을 선정하여 분석·평가하였다<Table 1>.

Table 1. Impact Factor Category

Criteria	Sub-Criteria	비고
1. 기술개발 성공 가능성	1-1. 원천기술 확보가능성	-미래전략 에너지기술 선정시 기술개발 성공가능성을 고려하여 평가
	1-2. 선진국 대비 기술수준	-고려해야 할 세부항목으로는 원천기술 확보가능성, 선진국대비 기술수준, 경쟁기술과의 우위성
	1-3. 경쟁기술과의 우위성	
2. 기술의 적용성	2-1. 기술의 독창성	-미래전략 에너지기술 선정시 기술의 적용성을 고려하여 평가
	2-2. 융복합기술 활용성	-고려해야 할 세부항목으로는 기술의 독창성, 융복합기술 활용성, 상용화 가능성
	2-3. 상용화 가능성	
3. 기술의 파급효과	3-1. 에너지효율 향상	-파급효과는 개발 및 적용에 따른 부가적 효과를 고려하여 평가
	3-2. 에너지 공급성	
	3-3. 기술수입 대체성	-고려해야 할 세부항목으로는 에너지효율 향상, 에너지 공급성, 기술수입 대체성, 기대 수익성
	3-4. 기대 수익성	

3.1 기술개발 성공가능성

미래전략 에너지기술의 후보를 도출하기 위하여 기술개발의 성공가능성을 고려하는 것은 중요하다. 갈수록 치열해지는 에너지기술 시장의 환경 속에서 가능하면 실패를 줄여 시행착오를 최소화해야만 에너지기술 시장에서의 주도권을 확보할 수 있다. 또한 최근 기술들이 대형화·융복합화 되면서 투자비의 규모도 기하급수적으로 늘어나기 때문에 사전 기획단계에서부터 기술개발의 성공가능성을 고려하여야 한다. 이를 위한 보다 구체적인 영향요인으로는 원천기술 확보가능성, 선진국 대비 기술수준, 경쟁기술과의 우위성이 있다.

3.2 기술의 적용성

두 번째로 기술의 적용성을 고려해야 한다. 막대한 R&D 비용을 투자하여 연구실 규모에서 끝나는 연구가 아니라 실질적으로 상용화 단계까지 발전시킬 수 있는 기술들을 개발해야 한다. 이제 는 에너지기술들이 더 이상 요소기술이 아닌 독립적인 기술로 영역을 확대하면서 시장을 구축해야 한다. 최근 고유가와 기후변화협약 등이 국제적인 이슈로 대두되면서 어느 때보다도 에너지기술에 대한 관심이 커진 상황에서, 에너지기술에 대한 독창성과 융복합화와 함께 상용화 가능성은 에너지기술을 선정하는데 중요한 요인으로 부각되고 있다.

3.3 기술의 파급효과

마지막으로 기술의 파급효과를 고려해야 한다. 특정 에너지기술을 개발하고 적용함으로써 기대되는 부가적인 효과로는 경제성 뿐만 아니라 에너지시스템 상에서의 기여하는 부분까지 종합적으로 파악해야 한다. 구체적으로는 기술개발을 통해 에너지효율 향상에 대한 기여도와 에너지시스템상의 공급성, 기술수입의 대체성, 그리고 수

익성을 고려해야 한다.

4. 중요도 산출

4.1 계층구조 설계

미래전략 에너지기술의 후보를 도출하기 위하여 우선적으로 평가기준의 계층구조(Hierarchy Structure)를 설계해야 한다. AHP 기법을 적용하기 위하여 본 연구에서는 계층구조를 1계층(Criteria)과 2계층(Sub-Criteria)으로 구분하여 기본모형을 설계하여 이에 따른 평가를 실시하였다<Fig. 1>.

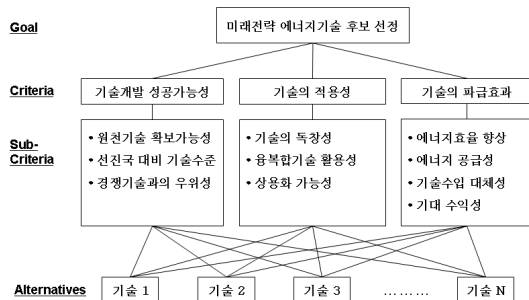


Fig. 1 Hierarchy Structure of AHP

4.2 관련요소의 쌍대비교

미래전략 에너지기술을 선정하기 위하여 <fig.1>과 같이 계층구조를 설계한 후, 하위요인들이 직계 상위요인에 대하여 얼마나 많은 영향을 받는지 또는 중요성을 갖는지 평가해야 한다. 계층구조 상에서 평가기준들의 중요도 측정은 관련요소들 간에 1:1 비교를 통해 계산할 수 있으며, 쌍대비교(pairwise comparison)로 구성되는 행렬(matrix)의 특성벡터(eigen vector)와 특성근(eigen value)을 통하여 그 중요도를 산출하게 된다. 쌍대비교에 사용되는 척도는 인간이 느낄 수 있는 차이를 최대한도로 반영할 수 있는 범위를 요구한다. 1956년 Miller의 심리학실험에서 “인간은 7개의 대상을 혼동없이 동시에 비교가 가능하다”라는 결과를 발표하였다. 이러한 결과를 고려하여 Saaty에 의해 개발된 척도를 이용하여 쌍대비교를 하였다. 척도의 범위는 1에서 9까지로 나타내며, 숫자가 커질수록 기준이 되는 구성요소의 중요도가 증가함을 의미한다<Table 2>.

Table 2. Pairwise Comparison Scale

척도	정의
1	비슷함 (Equal importance)
3	약간 중요함 (Moderate importance)
5	중요함 (Strong importance)
7	매우 중요함 (Very strong importance)
9	극히 중요함 (Extreme importance)
2,4,6,8	위 값들의 중간값 (The intermediate values)

본 연구에서는 AHP 기법을 이용하여 미래전략

에너지기술을 선정하기 위한 영향요인의 중요도를 산출하기 위하여 신재생/에너지효율/기후변화/소재/정책 분야 등 관련 전문가들을 대상으로 설문평가를 실시하였다. 회수된 설문평가서 내용이 일관성을 유지하고 있는지 파악하기 위해 아래와 같이 일관성 지수(Consistency Index)와 일관성 비율(Consistency Ratio)을 구하였다.

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

$$CR = (CI / RI) \times 100 \quad (2)$$

<Table 3>은 일관성 비율의 수식에 있는 난수 지수(Random Index)를 의미한다.

Table 3. Random Index

Size(n)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

일관성 비율을 계산하여 유효 일관성 비율(10% 이내)에 들지 못한 정보는 제외하거나 재설문을 받았으며, 취합된 정보는 기하평균(geometric mean)을 이용하여 계산하였다. 기하평균은 설문조사 결과가 몇 개의 극단치에 좌우되는 단점을 최소화하며 결과를 종합할 수 있으며, 영향요인에 대한 중요도를 산출하기 위하여 AHP전용 S/W인 Expert Choice 2000을 사용하였다.

4.3 영향요인의 중요도 산출

미래전략 에너지기술을 도출하기 위한 영향요인의 중요도를 산출하기 위하여 일관성 검증을 통과한 전문가들의 평가서를 바탕으로 분석을 실시하였다.

<Table 4>는 AHP 기법에 의해 산출된 영향요인의 중요도를 나타낸다. 1계층(Criteria)에서는 기술의 적용성(0.352), 기술적 파급효과(0.340), 기술개발의 성공가능성(0.308) 순으로 중요도가 산출되었으며, 2단계(Sub-Criteria)에서는 원천기술 확보가능성(0.497)과 상용화 가능성(0.468), 에너지효율 향상(0.319) 요인이 각각의 계층에서 1순위를 차지하였다.

Table 4. Importance Weights of Impact Factors

Criteria	개별 가중치 (①)	개별 순위	Sub-Criteria	개별 가중치 (②)	개별 순위	환산 가중치 (③=①×②)	전체 순위
기술개발 성공가능성	0.308	3	원천기술 확보가능성	0.497	1	0.153	2
			선진국 대비 기술수준	0.160	3	0.049	10
			경쟁기술과의 우위성	0.342	2	0.105	5
기술의 적용성	0.352	1	기술의 독창성	0.206	3	0.073	8
			융복합기술 활용범위	0.326	2	0.115	3
			상용화 가능성	0.468	1	0.165	1
기술적 파급효과	0.340	2	에너지효율 향상	0.319	1	0.108	4
			에너지 공급성	0.226	3	0.077	7
			기술수입 대체성	0.176	4	0.060	9
			기대 수익성	0.279	2	0.095	6
합계						1.000	

영향요인에 대한 최종 가중치는 상용화 가능성(0.165)이 가장 높게 산출되었으며, 그 다음으로는 원천기술 확보가능성(0.153), 융복합기술 활용범위(0.115) 순으로 나타났다. 중요도가 가장 적은 하위 3가지 영향요인의 가중치는 기술의 독창성(0.073), 기술수입 대체성(0.060), 선진국 대비 기술수준(0.049)로 나타났으며, 최상위 영향요인과 최하위 영향요인간의 가중치 편차는 0.116이었다.

5. 분석 및 결론

일반적으로 의사결정문제는 서로 상반된 기준과 불완전한 정보 및 제한된 자원 하에서 최적의 대안을 선택해야 하는 문제를 내포하고 있다. AHP 기법은 단순성 및 명확성, 적용의 간편성 및 범용성이라는 특징으로 여러 의사결정분야에서 널리 활용되고 있다.

본 연구에서는 미래전략 에너지기술 후보를 도출하기 위하여 브레인스토밍(brainstorming)을 이용하여 선정기준이 될 수 있는 영향요인을 발굴하고, AHP 기법을 적용해서 그 중요도를 산출하였다. 영향요인으로는 3개의 Criteria와 각 Criteria별로 Sub-Criteria를 구성하여 10개의 영향요인을 발굴하였다. Criteria는 기술개발 성공가능성, 기술의 적용성, 기술의 파급효과로 이루어지며, Sub-Criteria로는 원천기술 확보가능성, 선진국 대비 기술수준, 경쟁기술과의 우위성, 기술의 독창성, 융복합기술 활용성, 상용화가능성, 에너지효율 향상, 에너지 공급성, 기술수입 대체성, 기대 수익성을 발굴하였다. 그리고 각 영향요인들간의 쌍대비교를 통해서 요인간 중요도를 산출하였는데, 가장 중요도가 높은 세가지 항목으로는 실용화 가능성, 원천기술 확보가능성, 융복합기술 활용범위였고, 가장 낮은 항목은 선진국 대비 기술수준이었다. 높은 점수를 받은 세가지 항목들을 살펴보면 최근의 연구개발사업의 성향과 그 맥을 같이 하고 있다. 과거에는 연구개발사업의 성과로서 논문이나 특허 등이 중요시 되었지만, 최근에는 개발된 기술들의 기술 이전 실적이나 기술료 수입 등이 더욱 중요시되고 있다. 그리고 과거에는 선진 기술들을 수입하여 모방하면서 우리의 기술자생력을 키워왔으나 이제는 원천핵심기술을 확보하는 것이 중요하게 되었다. 또한 기술들간의 벽이 허물어지면서 시너지효과를 발휘할 수 있는 융복합기술의 등장이 R&D 분야의 새로운 트렌드라고 할 수 있다. 반면, 에너지분야의 문제를 해결하기 위해서는 국제적인 공동노력이 필요함에 따라 국가간 협력이 필수적이고, 선진기관과의 MOU를 통해 기술적인 협력연구도 활발히 진행되고 있는 점을 감안할 때 선진국 대비 기술수준은 다른 항목들에 비해 중요시 다뤄져야 할 항목이 아니라는 결과가 도출되었다.

본 연구에서 발굴한 10가지의 영향요인과 요인별 중요도는 미래의 전략적인 에너지기술 후보를 도출하는데 기초자료로 활용될 수 있을 것이며, 나아가 국가 에너지기술개발을 위한 방향성을 제시하고, 장기적으로 전략적 에너지기술개발 영역을 확보하는데 도움이 될 것이다.

References

- [1] 이덕기, 2005.6., AHP를 이용한 신재생에너지 보급확산 제도 평가, 한국신재생에너지학회지 Vol.1 No.2 pp79-90
- [2] 홍성준, 이용대, 김승권, 김중훈, 2006. , "상수도관망의 이상징후 판정을 위한 위험요소 평가 -PROMETHEE와 ANP 기법 중심으로-", 한국수자원학회지 Vol.39, No.1 pp35-46
- [3] Fatemeh Zahedi, 1986., "The Analytic Hierarchy Process : A Survey of the Method and its Applications", INTERFACES, Vol.16, No.4, pp96-108
- [4] Miller, G. A., 1956., "The Magical Number Seven, plus or minus Two: Some Limits on our Capacity for Processing Information", Psychological Rev., Vol.63
- [5] Saaty, T. L, 1980., The Analytic Hierarchy Process, McGraw-Hill, p.54., pp170-171
- [6] Saaty, T. L, 1986., "Axiomatic Foundation of the Analytic Hierarchy Process", Management Science, Vol. 32, No.7, pp841-855
- [7] Saaty, T. L, 1996., "Decision making with dependence and feedback the analytic network process", RWS Publisher, USA, pp21-70
- [8] Vargas, L. G., 1990., "An overview of the analytic hierarchy process & its application", European Journal of Operational Research, Vol.48, pp2-8