

에너지기술 R&D 프로그램 선정을 위한 퍼지 다기준의사결정 프레임워크 수립

이성곤[†], GENTO MOGI^{**}, 김종욱^{*}

*한국에너지기술연구원 정책실, **일본 동경대학교 기술경영학과

Establishment of a Fuzzy Multi-criteria Decision Making Method Framework for Selecting R&D Programs of Energy Technologies

SEONGKON LEE[†], GENTO MOGI^{**}, JONGWOOK KIM^{*}

**Energy Policy Research Center, Korea Institute of Energy Research
71-2, Jang-dong, Yuseong-gu, Daejeon 305-340, Korea*

***Department of Technology Management for Innovation(TMI), Graduate School of Engineering,
The University of Tokyo, 7-3-1, Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo, 113-8656, Japan*

ABSTRACT

Energy environment has been changing rapidly such as the fluctuation of oil prices and the effect on UNFCCC. Oil price change affects Korea's economy heavily due to her poor natural resources and large dependence of consumed energy resources. Korea takes the 4th place of importing the crude oil and 9th place in CO₂ emissions with the 1st place of CO₂ emissions increasing rate. Considering the current statue of Korea including oil price change and UNFCCC, Korea will be expected to be the Annex I nation due to Korean energy environments and the quantity of CO₂ emission. Energy technology development is a crucial key to cope with Korea's national energy security and environments. In this study, we establish the framework, which allocates the relative weights of assessment criteria and sub-criteria, for assessing and selecting R&D programs of energy technologies strategically. We integrated fuzzy theory and analytic hierarchy process (AHP) approach since the fuzzy AHP approach reflects the vagueness of human thoughts and perception effectively as making pairwise comparisons of criteria and alternatives. The fundamental data of this research results will support R&D planning phase for policy-makers and the production of well focused R&D outcomes.

KEY WORDS : Energy policy(에너지정책), Fuzzy AHP(퍼지 계층분석적 의사결정기법), MCDM (다기준의사결정)

[†]Corresponding author : sklee@kier.re.kr

Nomenclature

AHP	: analytic hierarchy process
C	: cost
C.I	: consistency index
C.R	: consistency ratio
DEA	: data envelopment analysis
FAHP	: fuzzy analytic hierarchy process
EE	: energy environment
ES	: economical spin-off
KM	: KIER mission
M	: marketability
MCDM	: multi-criteria decision making
R.I	: randon index
TFN	: triangular fuzzy number
TS	: technical spin-off
UNFCCC	: united nations framework convention on climate change

1. 서 론

우리나라의 에너지 지수를 보면 우리나라는 소비에너지원의 98% 이상을 수입에 의존하는 에너지 다소비 국가이다. 총에너지소비는 234백만 TOE로 세계 9위를 차지하고 있다. 또한 온실가스 배출량은 449백만TOC(2005년 기준)로 세계 10위의 온실가스배출국가이다. 우리나라는 현재 온실가스감축비의무대상국(Non-Annex I)이나 우리나라의 에너지 지수를 고려할 경우 2013년 온실가스감축 의무대상국(Annex I)이 될 것으로 예상된다.

우리나라의 에너지안보를 확보하기 위해 자원이 부족한 현재의 상황을 고려할 경우 에너지기술 개발은 제 2의 에너지자원확보라 할 수 있다. 우리나라의 이러한 에너지 환경적 현황을 고려하여 정부는 2005년말 에너지자원기술개발 10개년 계획을 수립하였고, 에너지자원기술개발 R&D부문에 많은 연구개발비용을 투입하고 있다.

본 연구는 에너지기술 연구개발 프로그램의 선택과 집중을 위해 과학적·합리적 의사결정방법론을 에너지정책 수립에 적용하였다. 본 연구는 다기준 의사결정(multi-criteria decision making) 기법 중 계층분석적 의사결정기법(analytic hierarchy

process)과 퍼지이론(fuzzy theory)을 통합한 퍼지 계층분석적 의사결정기법(FAHP)을 적용하였다. 본 연구에서 제시된 방법론을 통해 전략적 에너지 연구개발 프로그램 선정을 효과적으로 수행할 수 있는 프레임워크를 수립하였다. 평가기준(criteria) 간의 상대적 독립성을 유지하고, 최적 대안 선정을 위해 AHP 기법을 적용하고, 상대적 가중치 도출 시 인간의 애매모호함을 효과적으로 반영하는 퍼지이론(fuzzy theory)을 적용하였다.

본 연구는 에너지 환경, 경제적 파급효과, 기술적 파급효과, 시장성, 기관 미션, 개발비의 6가지 평가기준(criteria)을 도출하였다. 그리고 6가지 평가기준(criteria) 및 이를 구성하고 있는 하부 평가기준(sub-criteria) 각각에 대한 상대적 가중치를 도출하였다. 단순히 AHP기법을 적용할 경우 발생할 수 있는 인간의 인지적 가중치(crisp number)를 하한값, 중앙값, 상한값의 범위 값을 도출하여 보다 합리적인 가중치를 도출하였다. 이는 전문가 설문조사시 정성적 선호도를 단순한 지표로 사용하지 않고, 범위 값(range value)를 적용하여 과학적 의사결정을 도출할 수 있다. 본 연구의 결과로 산출된 결과는 추후 에너지기술개발 연구개발 프로그램 선정시 에너지기술 정책자의 의사결정 자료로 활용 될 수 있다.

2. Fuzzy 이론

2.1 Fuzzy set 및 number

현실세계의 최적 대안 선정을 위한 의사결정문제에서 정확한 데이터를 도출하는 것은 매우 어렵고, 의사결정자는 선호도에 대한 정성적 직감을 특정 수치로 표현하기보다는 언어적 표현을 더 선호한다. Fuzzy 이론은 애매모호함이 내재되어 있는 현실문제에서 의사결정자의 언어적 선호도를 효과적으로 반영하는 장점을 가지고 있다. 개략적 정보와 불확실성을 고려하여 사람의 생각과 지각을 정량화함으로써 합리적인 의사결정 대안을 도출할 수 있다.

AHP기법의 계층화 장점을 활용하고, AHP의 9

점 척도의 한계를 극복하고, 언어적 표현 방식의 한계로 발생하는 모호성과 불확실성을 fuzzy 이론을 활용하여 문제를 해결하는 방법이 많이 연구되고 있다. 퍼지이론은 1965년 미국 UC Berkeley의 Zadeh교수가 최초로 개념 정립을 하였다⁴⁾. 퍼지이론은 퍼지 집합(fuzzy sets), 퍼지 함수(membership function), 퍼지 넘버(fuzzy number)의 3가지 요소로 구성되어 있다. Van Laarhoven(1983)은 삼각 퍼지 넘버(TFN)를 활용한 의사결정방법론을 제시하였다. Chang(1995)은 퍼지 넘버의 요소를 비교하는 방법론을 제시하였다.

삼각 퍼지 넘버(TFN)는 대안 선정시 명확한 숫자 대신 하한, 중앙값, 상한의 범위 값을 가진다. 즉 TFN $M_{ij}=(l_{ij}, m_{ij}, u_{ij})$ 로 표현되며, m_{ij} 는 중앙값에 해당되며, l_{ij}, u_{ij} 는 각각 하한값과 상한값에 해당된다. 2개의 TFN $M_1=(l_1, m_1, u_1)$ 과 $M_2=(l_2, m_2, u_2)$ 에 대한 다음 식이 성립한다.

$$(l_1, m_1, u_1) \oplus (l_2, m_2, u_2) = (l_1+l_2, m_1+m_2, u_1+u_2) \quad (1)$$

$$(l_1, m_1, u_1) \odot (l_2, m_2, u_2) = (l_1l_2, m_1m_2, u_1u_2) \quad (2)$$

$$(l_1, m_1, u_1)^{-1} = (1/u_1, 1/m_1, 1/l_1) \quad (3)$$

2.2 Fuzzy Analytic Hierarchy Process

본 연구는 AHP의 개념을 활용한 fuzzy AHP기법을 적용하여 의사결정자의 언어적 애매모호함을 정량적으로 반영하여 에너지기술개발 R&D 프로그램의 우선순위를 보다 과학적으로 선정하고자 한다.

Table 1은 Kahraman et al에서 적용한 fuzzy scale을 활용하였다. Fuzzy scale값을 1~9까지의 범위 값을 활용하여 산정한 경우도 있으나, 본 연구에서는 언어적 척도에 대한 범위 값을 1~4.5까지 반영하여 언어적 인지에 대한 범위 값을 줄여 신뢰성을 높인 방법을 적용하였다.

Table 1 Fuzzy scale

Fuzzy numbers	Definition
(1, 1, 1)	Equal importance
(2/3, 1, 3/2)	Moderate importance
(3/2, 2, 5/2)	Strong importance
(5/2, 3, 7/2)	Very strong importance
(7/2, 4, 9/2)	Extremet importance

Fuzzy AHP의 적용 process는 다음과 같다.

Step 1 : Fuzzy scale을 활용하여 criteria간 및 대안간 쌍대비교를 실시하여 가중치의 평균값을 산정

Step 2 : 식 (4), (5), (6), (7)을 이용하여 속성 i 번째의 TFN $S_i=(l_i, m_i, u_i)$ 값 산출

$$S_i = \sum_{j=1}^m M_{ij} \otimes \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{ij} \right]^{-1} \quad (4)$$

$$s.t \sum_{j=1}^m M_{ij} = \left(\sum_{j=1}^m l_{ij}, \sum_{j=1}^m m_{ij}, \sum_{j=1}^m u_{ij} \right) \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{ij} = \left(\sum_{i=1}^n l_{ij}, \sum_{i=1}^n m_{ij}, \sum_{i=1}^n u_{ij} \right) \quad (6)$$

$$\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{ij} \right]^{-1} = \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^n u_{ij}}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n m_{ij}}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n l_{ij}} \right) \quad (7)$$

Step 3 : TFN 값 S_i 를 식 (8)을 이용하여 각각 비교하여 $S_j \geq S_i$ 인 degree of possibility를 산출

$$V(S_j \geq S_i) = height(S_i \cap S_j) = \mu_{S_j}(d) = \begin{cases} 1, & \text{if } m_j \geq m_i \\ 0, & \text{if } l_i \geq u_j \\ \frac{l_i - u_j}{(m_j - u_j) - (m_i - l_i)}, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (8)$$

d 는 u_{Mi} 와 u_{mj} 의 가장 높은 교차점을 의미한다.

Step 4 : $V(S_j \geq S_i)$ 인 최소 degree of possibility
를 식 (10)에 의해 산출

$$V(S \geq S_1, S_2, S_3, \dots, S_k), \text{ for } i = 1, 2, 3, \dots, k.$$

$$= V[(S \geq S_1) \text{ and } (S \geq S_2) \text{ and } \dots \text{ and } (S \geq S_k)] \quad (9)$$

$$= \min V(S \geq S_k) \text{ for } i = 1, 2, 3, \dots, k$$

degree of possibility의 최소값은 식 (9)와 같음

$$d'(A_i) = \min V(S \geq S_i) \text{ for } i = 1, 2, 3, \dots, k$$

가중치벡터 W 는 식 (10)과 같이 정의된다.

$$W' = (d'(A_1), d'(A_2), \dots, d'(A_n))^T \quad (10)$$

$A_i(i=1,2,\dots,n)$ 는 n 개의 요소로 구성되어 있다.

Step 5 : 가중치 벡터를 정규화하여 최종 가중
도출

$$W = (d(A_1), d(A_2), \dots, d(A_n))^T \quad (11)$$

식 (11)에서 W 는 비퍼지 넘버를 의미한다.

3. 평가기준

에너지기술개발 R&D 프로그램 선정을 위해 평가기준(criteria) 및 평가기준의 계층구조는 Fig. 1과 같다.

평가기준(criteria)은 에너지기술 연구개발 프로그램의 사례 및 에너지자원기술개발 10개년 계획 수립시 적용한 평가기준(criteria)들을 활용하여 에너지 환경, 경제적 파급효과, 기술적 파급효과, 시장성, 기관 임무, 개발비의 6가지 평가기준(criteria)을 선정하였다. 에너지 환경요소의 경우 고유가, 기후변화협약, 수소경제사회구현의 3가지 하부 기준을 도출하였다. 경제적 파급효과와 기술적 파급효과는 기술개발시급성, 상용화가가능성, 기술수준 및 목표수준을 하부기준으로 선정하였다. 시장성은 국내외 시장규모, 수출가능시장규모,

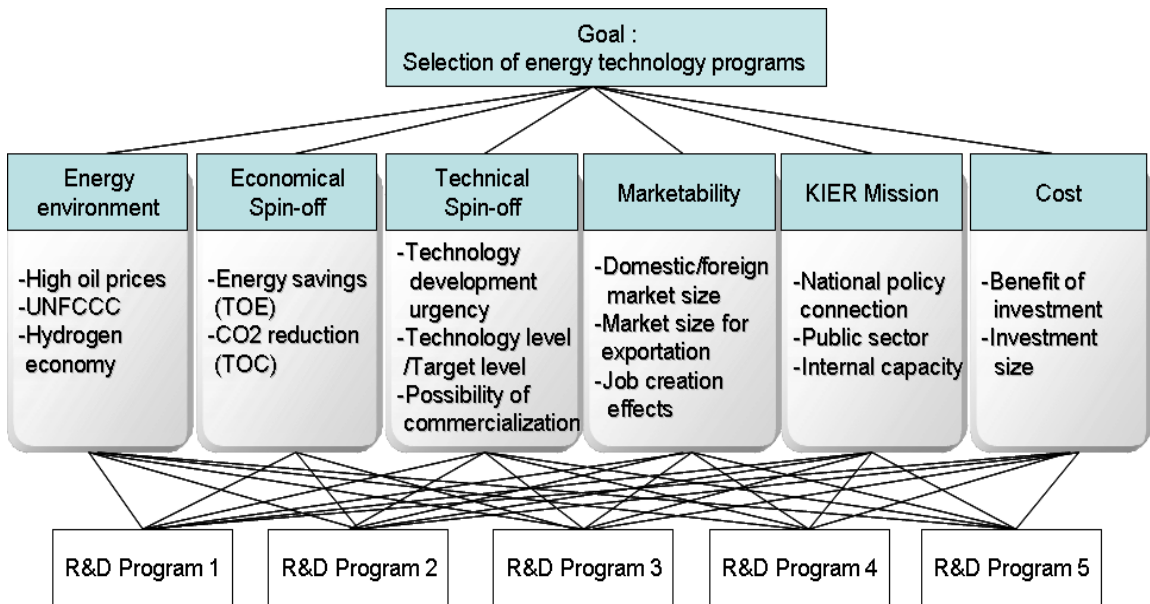


Fig. 1 Hierarchy of fuzzy AHP

Table 2 Fuzzy evaluation of criteria

	EE	ES	TS	M	KM	C	
EE	(1, 1, 1)	(2/3, 1, 3/2) (2/3, 1, 3/2) (2/5, 1/2, 2/3) (2/3, 1, 3/2) (1, 1, 1) • •	(2/3, 1, 3/2) (2/3, 1, 3/2) (2/5, 1/2, 2/3) (2/5, 1/2, 2/3) (1, 1, 1) • •	(2/3, 1, 3/2) (2/3, 1, 3/2) (2/5, 1/2, 2/3) (2/3, 1, 3/2) (1, 1, 1) • •	(2/3, 1, 3/2) (2/7, 1/3, 2/5) (2/5, 1/2, 2/3) (1, 1, 1) (1, 1, 1) • •	(3/2, 2, 5/2) (2/3, 1, 3/2) (2/3, 1, 3/2) (2/3, 1, 3/2) (1, 1, 1) • •	
ES	(2/3, 1, 3/2) (2/3, 1, 3/2) (3/2, 2, 5/2) (2/3, 1, 3/2) (1, 1, 1) • •	(1, 1, 1)	(1, 1, 1) (1, 1, 1) (2/3, 1, 3/2) (2/3, 1, 3/2) (1, 1, 1) • •	(1, 1, 1) (1, 1, 1) (2/3, 1, 3/2) (1, 1, 1) (1, 1, 1) • •	(2/5, 1/2, 2/3) (2/5, 1/2, 2/3) (2/3, 1, 3/2) (2/3, 1, 3/2) (2/3, 1, 3/2) • •	(7/2, 4, 9/2) (3/2, 2, 5/2) (2/3, 1, 3/2) (3/2, 2, 5/2) (2/3, 1, 3/2) • •	
TS	(2/3, 1, 3/2) (2/3, 1, 3/2) (3/2, 2, 5/2) (3/2, 2, 5/2) (1, 1, 1) • •	(1, 1, 1) (1, 1, 1) (2/3, 1, 3/2) (2/3, 1, 3/2) (1, 1, 1) • •	(1, 1, 1)	(1, 1, 1) (1, 1, 1) (2/3, 1, 3/2) (2/3, 1, 3/2) (2/3, 1, 3/2) • •	(1, 1, 1) (1, 1, 1) (2/3, 1, 3/2) (2/3, 1, 3/2) (2/3, 1, 3/2) • •	(2/5, 1/2, 2/3) (2/5, 1/2, 2/3) (2/3, 1, 3/2) (3/2, 2, 5/2) (2/3, 1, 3/2) • •	(7/2, 4, 9/2) (3/2, 2, 5/2) (3/2, 2, 5/2) (5/2, 3, 7/2) (2/3, 1, 3/2) • •
M	(2/3, 1, 3/2) (2/3, 1, 3/2) (3/2, 2, 5/2) (2/3, 1, 3/2) (1, 1, 1) • •	(1, 1, 1) (1, 1, 1) (2/3, 1, 3/2) (1, 1, 1) (1, 1, 1) • •	(1, 1, 1) (1, 1, 1) (2/3, 1, 3/2) (2/3, 1, 3/2) (2/3, 1, 3/2) • •	(1, 1, 1)	(2/5, 1/2, 2/3) (2/5, 1/2, 2/3) (2/3, 1, 3/2) (2/3, 1, 3/2) (2/3, 1, 3/2) • •	(2/3, 1, 3/2) (3/2, 2, 5/2) (2/3, 1, 3/2) (3/2, 2, 5/2) (2/3, 1, 3/2) • •	
KM	(2/3, 1, 3/2) (5/2, 3, 7/2) (3/2, 2, 5/2) (1, 1, 1) (1, 1, 1) • •	(3/2, 2, 5/2) (3/2, 2, 5/2) (2/3, 1, 3/2) (2/3, 1, 3/2) (2/3, 1, 3/2) • •	(3/2, 2, 5/2) (3/2, 2, 5/2) (2/3, 1, 3/2) (2/5, 1/2, 2/3) (2/3, 1, 3/2) • •	(3/2, 2, 5/2) (3/2, 2, 5/2) (2/3, 1, 3/2) (2/3, 1, 3/2) (2/3, 1, 3/2) • •	(1, 1, 1)	(7/2, 4, 9/2) (7/2, 4, 9/2) (3/2, 2, 5/2) (2/3, 1, 3/2) (2/3, 1, 3/2) • •	
C	(2/5, 1/2, 2/3) (2/3, 1, 3/2) (2/3, 1, 3/2) (2/3, 1, 3/2) (1, 1, 1) • •	(2/9, 1/4, 2/7) (2/5, 1/2, 2/3) (2/3, 1, 3/2) (2/5, 1/2, 2/3) (2/3, 1, 3/2) • •	(2/9, 1/4, 2/7) (2/5, 1/2, 2/3) (2/5, 1/2, 2/3) (2/7, 1/3, 2/5) (2/3, 1, 3/2) • •	(2/3, 1, 3/2) (2/5, 1/2, 2/3) (2/3, 1, 3/2) (2/5, 1/2, 2/3) (2/3, 1, 3/2) • •	(2/9, 1/4, 2/7) (2/9, 1/4, 2/7) (2/5, 1/2, 2/3) (2/3, 1, 3/2) (2/3, 1, 3/2) • •	(1, 1, 1)	

고용창출효과를 고려하였다. 기관 미션의 경우 국가정책 연계성, 공공성, 내부역량을 고려하였다. 비용의 경우 투자대비 효과 및 투자규모를 고려하였다.

4. 수리 예제

4.1 Criteria 가중치

에너지 환경, 경제적 파급효과, 기술적 파급효과, 시장성, 기관 미션, 개발비의 6가지 평가기준(criteira)에 대하여 fuzzy AHP기법을 적용여 평가 기준(criteria)간의 쌍대비교를 실시하였다. 설문대

Table 3 Fuzzy mean value of criteria

	EE	ES	TS	M	KM	C
EE	(1, 1, 1)	(0.775, 1.033, 1.373)	(0.650, 0.850, 1.133)	(0.662, 0.933, 1.340)	(0.630, 0.817, 1.097)	(0.852, 1.222, 1.722)
ES	(0.997, 1.300, 1.683)	(1, 1, 1)	(0.900, 1.000, 1.150)	(0.720, 1.100, 1.333)	(0.842, 1.133, 1.523)	(1.367, 1.700, 2.100)
TS	(1.090, 1.450, 1.867)	(0.900, 1.000, 1.150)	(1, 1, 1)	(0.962, 1.233, 1.590)	(1.063, 1.400, 1.833)	(1.490, 1.850, 2.267)
M	(0.967, 1.300, 1.750)	(0.929, 1.133, 1.390)	(0.962, 1.233, 1.590)	(1, 1, 1)	(0.587, 0.850, 1.250)	(0.900, 1.200, 1.600)
KM	(1.183, 1.500, 1.900)	(0.952, 1.283, 1.707)	(0.730, 1.017, 1.397)	(0.917, 1.300, 1.800)	(1, 1, 1)	(1.396, 1.722, 2.130)
C	(0.644, 0.889, 1.259)	(0.597, 0.758, 1.002)	(0.609, 0.792, 1.042)	(0.680, 0.900, 1.233)	(0.668, 0.900, 1.224)	(1, 1, 1)

상은 에너지기술 연구개발 및 정책분야 전문가를 대상으로 설문조사를 실시하였고, 일관성이 있는 값만을 취합하여 결과를 도출하였다. Table 2는 criteria간 쌍대비교시 fuzzy 선호도를 나타낸 것이다.

Table 3은 평가기준(criteria)간의 fuzzy 선호도의 평균값을 의미하고, 식 (4)~(8)에 의해 criteria의 TFN값을 도출하였다. $S_1(EE)$ 는 (0.089, 0.144, 0.235), $S_2(ES)$ 는 (0.113, 0.177, 0.269), $S_3(TS)$ 는 (0.126, 0.194, 0.298), $S_4(M)$ 는 (0.104, 0.165, 0.263), $S_5(KM)$ 는 (0.120, 0.192, 0.304), $S_6(C)$ 는 (0.082, 0.128, 0.207)로 각각 산출되었다.

식 (8)과 (9)에 의해 $V(S_j \geq S_i)$ 인 degree of possibility를 산출하면 다음과 같다.

$$D'(1) = \min V(S_1 \geq S_2, S_3, S_4, S_5, S_6) = \min (0.783, 0.681, 0.861, 0.704, 1.000) = 0.681,$$

$$D'(2) = \min V(S_2 \geq S_1, S_3, S_4, S_5, S_6) = 0.893$$

$$D'(3) = \min V(S_3 \geq S_1, S_2, S_4, S_5, S_6) = 1.000$$

$$D'(4) = \min V(S_4 \geq S_1, S_2, S_3, S_5, S_6) = 0.821$$

$$D'(5) = \min V(S_5 \geq S_1, S_2, S_3, S_4, S_6) = 0.985$$

$$D'(6) = \min V(S_6 \geq S_1, S_2, S_3, S_4, S_5) = 0.550$$

식 (10)과 (11)에 의해 산출된 EE, ES, TS, M, KM, C의 6대 criteria간 최종 상대적 가중치 $W = (0.138, 0.181, 0.203, 0.167, 0.200, 0.112)^T$ 이다.

6대 평가기준(criteria)중에서 기술적 파급효과가 0.203으로 가장 선호되는 평가기준(criterion)으로 도출되었으며, 두번째는 기관 미션, 세번째는 경제적 파급효과 순으로 나타났다.

4.2 Sub-criteria 가중치

하부 평가기준(sub-criteria)간의 fuzzy 선호도의 평균값은 식 (4)~(8)에 의해 TFN값으로 도출되며, 식 (9)과 (10)에 의해 $V(S_j \geq S_i)$ 인 degree of possibility를 산출하였다. 그리고 식 (11)과 (12)에 의해 하부 평가기준(sub-criteria)의 최종 가중치 W 값을 도출한다.

고유가, 기후변화협약, 수소경제사회에 대한 상대적 degree of possibility 값은 다음과 같다.

$$D'(1) = \min V(S_1 \geq S_2, S_3) = 0.690$$

$$D'(2) = \min V(S_2 \geq S_1, S_3) = 1.000$$

$$D'(3) = \min V(S_3 \geq S_1, S_2) = 0.470$$

최종가중치 W 는 각각 0.320, 0.463, 0.217로 산출되었다. 에너지 환경의 하부 평가기준(sub-criteria) 중 기후변화협약이 가장 선호되는 하부 평가기준(sub-criterion)으로 분석되었다.

에너지절감효과 및 CO₂저감효과에 대한 degree of possibility 값은 다음과 같다.

$$D'(1) = \min V(S_1 \geq S_2) = 1.000$$

$$D'(2) = \min V(S_2 \geq S_1) = 0.435$$

최종가중치 W는 각각 0.697, 0.303으로 산출되었다. 경제적과급효과의 하부 평가기준(sub-criteria) 중 에너지절감효과가 0.697로 가장 선호되었다.

기술개발시급성, 선진국대비 기술수준, 상용화가 능력에 대한 degree of possibility 값은 다음과 같다.

$$D'(1) = \min V(S_1 \geq S_2, S_3) = 0.807$$

$$D'(2) = \min V(S_2 \geq S_1, S_3) = 0.600$$

$$D'(3) = \min V(S_3 \geq S_1, S_2) = 1.000$$

최종가중치 W는 각각 0.335, 0.249, 0.415로 산출되었다. 기술적 과급효과의 하부 평가기준(sub-criteria) 중 상용화가능성이 0.415로 가장 선호되었다.

국내외시장 규모, 수출가능시장 규모, 고용창출효과에 대한 degree of possibility 값은 다음과 같다.

$$D'(1) = \min V(S_1 \geq S_2, S_3) = 1.000$$

$$D'(2) = \min V(S_2 \geq S_1, S_3) = 0.962$$

$$D'(3) = \min V(S_3 \geq S_1, S_2) = 0.629$$

최종가중치 W는 각각 0.386, 0.371, 0.243으로 산출되었다. 시장성의 하부 평가기준(sub-criteria) 중 국내외시장 규모가 0.386으로 가장 선호되었다.

국가정책 연계성, 공공성, 내부역량에 대한 degree of possibility 값은 다음과 같다.

$$D'(1) = \min V(S_1 \geq S_2, S_3) = 1.000$$

$$D'(2) = \min V(S_2 \geq S_1, S_3) = 0.674$$

$$D'(3) = \min V(S_3 \geq S_1, S_2) = 0.430$$

최종가중치 W는 각각 0.475, 0.320, 0.204로 산출

되었다. 기관임무의 하부 평가기준(sub-criteria) 중 국가정책 연계성이 0.475로 가장 선호되었다.

투자대비 효과 및 투자 규모에 대한 degree of possibility 값은 다음과 같다.

$$D'(1) = \min V(S_1 \geq S_2) = 1.000$$

$$D'(2) = \min V(S_2 \geq S_1) = 0.000$$

최종가중치 W는 각각 1.000, 0.000으로 산출되었다. 연구개발비의 하부 평가기준(sub-criteria) 중 투자대비 효과가 1.000으로 가장 선호되었다.

5. 결 론

에너지기술 연구개발 프로그램 선정을 위한 프레임워크 수립시, AHP기법과 퍼지이론을 통합한 fuzzy AHP기법을 통해 쌍대비교시 인간의 인지적 측면을 보다 효과적으로 반영하고 합리적 의사결정 대안을 도출할 수 있다. 또한 fuzzy AHP기법을 통해서 현실 세계의 복잡한 문제를 단순화(decomposition)하여 최적 대안을 도출 할 수 있었다. 본연구는 평가기준(criteria)간의 상대적 선호도를 기존 AHP에서 활용한 9점척도 대신 1~4.5의 상한값(upper value), 중앙값(median), 하한값(lower value)의 범위 값을 적용함으로써 정성적 값을 효과적으로 정량화하였다.

전략적으로 에너지기술 연구개발 프로그램 선정 프레임워크 수립시 상위단계는 기술적 과급효과, 기관 미션, 경제적 과급효과 순으로 상대적 중요성을 고려할 필요가 있으며, 하위단계는 기후변화협약, 에너지절감효과, 상용화가능성, 국내외 시장규모, 국가정책 연계성, 투자대비 효과를 고려할 필요가 있다.

에너지기술 R&D분야에 대한 정부의 공격적 지원에 부합하고, R&D 예산의 효과적인 할당 및 산업화 성과도출을 위해 최적의 연구개발 프로그램 선정에 중점을 두어야 한다. 본 연구 결과는 추후 에너지기술 R&D 프로그램 선정시 단순한 산출

(output)위주에서 탈피하고 결과(outcome) 및 파급효과(impact)가 더욱 더 중요시 되는 확장된 연구성과 도출에 집중하고, 에너지기술 정책 및 기획 단계에서 평가기준간의 최적의 상대적 가중치를 적용함으로써 최적의 연구개발 프로그램을 도출할 수 있다.

추후 본 연구결과를 바탕으로 AHP기법을 적용한 경우의 계량화 결과와 fuzzy AHP기법을 적용한 결과를 비교함으로써 평가기준간의 상대적 가중치 및 우선순위를 비교할 예정이며, 실제 수행되고 있는 연구개발 프로그램에 적용 및 비교분석할 예정이다. 또한 계량경제학적 관점에서 자료포락 분석(DEA)기법과 통합한 fuzzy AHP/DEA기법을 적용한 연구를 수행할 예정이다. 연구 결과는 추후 에너지기술정책개발 및 의사결정과 같은 에너지기술 정책수립부문에서 다양하게 활용할 수 있다.

후 기

본 연구의 설문에 응해주신 에너지기술 및 정책 분야 전문가분들께 감사합니다. 본연구는 KIER 기본사업 및 교과부 HERC의 연구비 지원으로 진행되었습니다.

참 고 문 헌

- 1) S.K. Lee, J.W. Kim, Y.J. Yoon, "A study on World Energy outlook and the optimal alternatives for Developing Energy Technology: Focusing on coal utilization technology", J. of Energy Engineering, 15(3), 2006, pp. 174-180.
- 2) S.K. Lee, Y.J. Yoon, J.W. Kim, "Long-term improvements in national energy efficiency and GHG control plans using the AHP approach", Energy Policy, Vol. 35(5), 2007, pp. 2862-2868.
- 3) S.K. Lee, G. Mogi, J.W. Kim, "Assessment model for selecting the strategic R&D programs of energy technology development: analytic network process", Proc. of Korea Institute of Chemical engineers Fall Conf., 2007, p. 233.
- 4) S.K. Lee, G. Mogi, J.W. Kim, "A study on the framework for selecting core R&D programs in Energy Technology Roadmap by the DEA approach", Proc. of World Energy Congress 2007, 2007, pp. 1-25.
- 5) S.K. Lee, G. Mogi, J.W. Kim, "A fuzzy AHP approach to prioritize the energy technology development strategy and policy", New and Renewable Energy, Vol. 4(1), 2008, pp. 19-24.
- 6) S.K. Lee, G. Mogi, J.W. Kim, "The competitiveness of Korea as a developer of energy technology: the AHP approach", Energy Policy, Vol. 36(4), 2008, pp. 1284-1291.
- 7) S.K. Lee, G. Mogi, S.C. Shin, J.W. Kim, "Measuring the relative efficiency of greenhouse gas technologies: an AHP/DEA hybrid model approach, Proc. of Int'l Conf. on Industrial Engineering 2008, 2008, pp. 1615-1619.
- 8) T.L. Saaty, "How to make a decision: the analytic hierarchy process", European Journal of Operations research, Vol. 48, 1992, pp. 9-26.
- 9) T.L. Saaty, "The Analytic Hierarchy Process", first ed., New York: McGraw-Hill, 1980.
- 10) S.K. Lee, G. Mogi, J.W. Kim, S.C. Shin, "Strategy of energy technology development for establishing the hydrogen economy", Trans. of the Korean Hydrogen and New Energy Society, Vol. 18(2), 2007, pp. 207-215.
- 11) S.K. Lee, G. Mogi, J.W. Kim, "Prioritizing the weights of hydrogen energy technologies in the sector of the hydrogen economy by using a fuzzy AHP approach", Proc. of the 3rd Korea-USA Joint Symposium on Hydrogen & Fuel Cell Technologies, 2008, pp. 263-272.
- 12) S.K. Lee, G. Mogi, J.W. Kim, "A fuzzy analytic hierarchy process approach for assessing national competitiveness in the hydrogen technology sector", International Journal of Hydrogen Energy, Vol. 33(23), 2008, pp. 6840-6848.

- 13) S.K. Lee, G. Mogi, J.W. Kim, "A fuzzy AHP/DEA hybrid model for allocating energy R&D resources efficiently: In case of energy technologies against high oil prices", Proc. of 7th International Conference on Sustainable Energy Technologies 2008, 2008, pp. 2042-2049.
- 14) S.K. Lee, G. Mogi, J.W. Kim, "Multi-Criteria Decision Making for Measuring Relative Efficiency of Greenhouse Gas Technologies: AHP/DEA Hybrid Model Approach", Engineering Letters, Vol. 16(4), 2008, pp. 1-5.
- 15) S.K. Lee, G. Mogi, J.W. Kim, "Multi-criteria Decision Making Method for Developing Greenhouse Gas Technologies Strategically Considering Scale Efficiency: AHP/DEA CCR-I and BCC-I Integrated model Approach", Trans. of the Korean Hydrogen and New Energy Society, Vol. 19(6), 2008, pp. 552-560.
- 16) L.A. Zadeh, "Fuzzy sets", Information and control, Vol. 8(3), 1965, pp. 338-353.
- 17) P.J.M .Laarhoven, W. Pedrycz, "A fuzzy extension of Saaty's priority theory", Fuzzy sets and systems, Vol. 11(3), 1983, pp. 229-241.
- 18) D.Y. Chang., "Application of the extent analysis method on fuzzy AHP", European Journal of Operations Research, Vol. 95(3), 1996, pp. 649-655.
- 19) S.K. Lee, G. Mogi, J.W. Kim, "Multi-criteria decision making for selecting strategic R&D programs of energy technologies: analytic network process approach", Proceeding of International conference of Applied Energy 2009, 2009, pp. 1513-1521.
- 20) S.K. Lee, G. Mogi, J.W. Kim, "Energy technology roadmap for the next 10 years: The case of Korea", Energy Policy, Vol. 37(2), 2009, pp. 588-596.