

## AHP기법을 활용한 에너지기술개발 전략도출방법론 개발에 관한 연구

박찬국 · 홍정석 · 박영구\* · 최기련

아주대학교 대학원 에너지학과, 에너지관리공단 기후변화대책반\*

### A Study on a Model for Energy R&D Strategies Using AHP

Chan-Guk Park, Jung-Seok Hong, Young-Gu Park\* and Ki-Ryun Choi

Dept. of Energy Studies, Ajou Univ. Graduate School, KEMCO\*

#### 요 약

본 연구에서는 정부주도 에너지연구개발사업의 기획시 활용가능한 기술개발전략도출 모형을 제시하고, 실용화를 앞두고 있는 대체에너지기술인 고분자전해질 연료전지를 대상으로 모델의 실용가능성을 점검하였다. 그 결과 각 중점기술개발과제별 기술환경특성이 고려된 추진전략 및 투자전략을 도출해 낼 수 있는 유용성이 입증되었다. 특히 본 연구의 모형은 그간 전문가의 직관적 판단에 의존하여 이루어지던 기술개발과제 도출과정에서 AHP 분석을 이용하여 체계적이고 객관적인 방법으로 개선하였으며, 이와 연계된 국내의 기술수준 및 기대효과, 국내 가능성 평가를 통해 기술개발 추진전략 및 투자전략을 수립할 수 있는 특성을 가지고 있다.

**Abstract**—In this study, we established a model for energy R&D strategy, which can be applied to the governmental R&D planning. As an empirical test, we applied this model to PEMFC (Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell), and we found potential effectiveness of this model. AHP (Analytic Hierarchy Process) technique is applied in this model for R&D project selection process, and linked to the national strategy, using techniques of Technological Assessment and Forecasting, Impact Assessment, Capability Assessment of R&D. We expect that this study will contribute to improve the effectiveness of governmental R&D program planning.

#### 1. 서 론

우리나라의 에너지기술개발은 '70년대의 석유과동 경험에 따라 단순한 에너지절약의 한계를 인식하여 기술개발이란 수단에 의한 궁극적 에너지문제 해결을 목적으로 하고 있다. 그러나 초기단계에서 체계적인 기술개발전략수립이 이루어지지 못하여 그 성과 및 실효성 측면에서 기대에 미치지 못하고 있다.

우리나라의 체계적인 에너지기술개발관리는 '92년 12월 에너지자원기술개발지원센터(현재의 에너지관리공단 R&D 본부)가 설립되면서 시작되었다고 해도 과언은 아니다. 하지만 10여년의 짧은 기술관리 역사로 인하여 아직도 에너지기술의 특수성을 감안하는 차별화된 기술개발전략의 수립이 미흡하며, 기술환경과 수요측면의 동태적 변화가 반영되지 못하는 등 사업비관리와 기술관리의 개념이 혼재된 기술개발관리가 이루어지고 있다. 이

에 우리나라의 현행 에너지기술개발관리체계에 대한 보완의 필요성이 제기된다.

#### 2. 에너지기술개발관리의 현황과 문제점

산업자원부가 추진하고 있는 국내 에너지기술개발사업에 '98년 총 590여억원의 자금이 소요되었으며, 이 중 약 400억원의 정부자금이 투입되었다<sup>1)</sup>. 하지만, 개발해야 할 기술과제들에 비해 예산이 부족하여 정부가 전략적으로 개발해야 할 과제들을 사전에 발굴하여 매년 공고하고 있으며, 공고된 과제에 대해 각 연구주체들로부터 연구개발 계획서를 제출받아 선정평가를 통해 지원을 하고 있다. 그러나, 과제도출 → 연구사업공모 → 선정평가 → 사업비지원 → 사후관리의 일련과정으로 대표되는 현 기술개발관리 체계에는 다음과 같은 한계점이 내포되어 있다.

첫째, 정부차원에서 전략적으로 추진해야 할 기술과제를 도출하는 과정이 소수 전문가를 동원한 기술수요조사 차원에 머무르고 있다. 따라서 기술적 특성 및 관련 시장상황에 대한 체계적 분석이 부족한 상태에서 전문가들의 직관적인 판단에 의한 과제도출이 주류를 이루고 있다.

둘째, 도출된 과제에 대한 국내의 기술개발 현황 및 기술개발시의 기대효과, 국내 기술개발능력 등의 요인들을 고려한 기술개발 추진전략 및 자금투자전략의 수립체계가 미흡하다. 위의 요인들을 체계적으로 분석하기 위해서는 이론적 전략 기반연구가 요구된다. 또한 공모된 사업계획서에 대한 선정평가지 이러한 전략을 평가기준으로 채택함으로써 연구사업 선정과정의 투명성을 높이고, 국가의 기술개발 목표를 효율적으로 달성하기 위한 전략적 추진과제의 선정이 가능해질 수 있다.

본 연구는 이상에서 언급된 한계점을 극복하는데 초점을 맞추고 있다. 즉, 기술특성 및 시장상황에 대한 다수 전문가들의 판단을 체계적으로 분석하고, 합리적인 과정을 거쳐 정부가 전략적으로 추진해야 할 기술과제를 도출하며, 국가의 기술개발목표를 효과적으로 달성하기 위한 효율적 추진전략 및 투자전략을 수립할 수 있는 모형을 개발하는데 그 목적이 있다.

### 3. 이론적 고찰

정부주도 기술개발과제의 도출은 장기적 관점에서 여러 요인들을 고려해야 하는 전략적인 상황에서의 다기준의사결정 문제로 볼 수 있다. 이러한 R&D 과제 도출에 관련된 평가기법들은 다음과 같이 분류될 수 있다<sup>[2]</sup>.

첫째, 평가기준과 대안의 직관적 상대비교를 통해 대안의 우선순위를 부여하는 결정론적 방법과 둘째, 비용과 수익의 개념을 이용한 경제론적 방법, 그리고 셋째로 연구개발활동의 현상이나 요인을 모델로 구현하여 미래를 예측하고 평가하는 OR적 기법으로 구분할 수 있다.

하지만 각 평가기준간의 중요도를 비교하거나, 여러 대안들에 대한 우선순위를 결정할 수 있는 객관적인 모형이나 정량적인 틀을 설정하기는 쉽지가 않다. 정량화가 쉬운 문제의 경우 수리적인 해법을 이용할 수 있으나, 기술과제의 선정과 같이 부분적으로 정량적 혹은 정성적인 문제의 경우에는 실질적으로 적용하기가 어려운 실정이다. 따라서 서로 경쟁관계에 있는 평가기준이나 대안들간의 중요도를 결정하기 위해서는 전문가들의 주관적인 판단을 체계적으로 종합하여 이용할 수밖에 없다.

이와 같이 정량적인 분석이 곤란한 의사결정문제에서 전문가들의 정성적인 지식을 이용하여 경쟁관계에 있는 평가기준과 대안들의 중요도를 결정할 수 있는 방법중

의 하나가 AHP 기법이다.

#### 3-1. AHP(Analytic Hierarchy Process)의 기본원리

AHP 기법은 기본적으로 시스템이론에 기초를 두고 있다. 즉 시스템적 사고를 바탕으로 복잡한 현상을 관찰하고 어떤 문제에 대한 해답을 도출하는 방법으로서 하나의 문제를 더 작은 구성요소로 분해하고 그 각각의 구성분자들을 더 작은 구성요소로 세분화하여 이를 계층적으로 나타내는 체계적인 절차를 말한다<sup>[3]</sup>. AHP 기법의 특성과 원리는 다음과 같은 공리에 의해 요약될 수 있다<sup>[4]</sup>.

[공리 1] 역수조건(reciprocal condition) : 의사결정자는 동일한 계층내에 있는 2개의 요인을 짝지어 비교할 수 있어야만 하고, 그 상대 중요도를 표현할 수 있어야 하며, 이 중요도는 역수조건을 만족시켜야 한다. 예를 들어, A가 B보다 X배 중요하다고 하면, B는 A보다 1/X 배 중요하다는 의미가 된다.

[공리 2] 비교가능성(comparability) : 상대 중요도는 제한된 범위내에서 정해진 척도에 의해 표현된다.

[공리 3] 독립성(independence) : 상대 중요도를 표현할 때 판단기준들은 대안들의 성질과 독립적이라고 가정한다.

[공리 4] 기대(expectation) : 의사결정의 목적에 관한 사항을 계층이 완전하게 포함하고 있다고 가정한다.

#### 3-2. AHP의 적용절차<sup>[5]</sup>

##### 3.2.1 계층구조화

계층구조화란 직접적으로 측정 혹은 평가하기 힘든 최종 목적을 보다 단순화하여 측정 혹은 평가가 용이한 복수의 하위목적, 기준, 활동으로 분해하는 작업이다. 이를 위한 기계적인 방법론은 없고, 분해된 하위계층을 종합하면 상위 계층의 윤곽을 형성할 수 있고, 계층내의 중복이 배제되지만 하던 된다. 이러한 문제구조의 계층화를 통해 문제가 처한 상황에 개입된 복잡한 관계를 파악하는데 도움이 되고, 기준과 대안들이 적절하게 비교되고 있는가를 인식하는데 도움이 된다. 계층화 구조는 Fig. 2를 참고하기 바란다.

##### 3.2.2 쌍대비교와 가중치 계산

쌍대비교는 각 계층의 요인들을 두 개씩 짝지어 상위 계층의 요인에 대한 상대 중요도를 판단하는 과정이다. 이때 이용되는 판단척도는 Table 1과 같으며, 쌍대비교의 과정은 해당 계층의 요인들간의 비교가 모두 끝날 때까지 반복 수행된다. 그 계층에서의 요인 수가 N이라면 쌍대비교의 수는  $nC_2 = N(N-1)/2$ 가 된다.

계층 1의 측면에서 계층 2의 요인들간의 비교가 모두 끝나면(즉 NC2회의 비교가 이루어지면), 계층 2의 한 요

**Table 1. The Fundamental Scale for pairwise comparison.**

척도	정의	설명
1	동급(equal importance)	두 가지 요소가 인접한 상위 목표의 기준에서 볼 때 똑같이 중요함
3	약간중요(weak importance)	한 요소가 다른 요소에 비해 약간 중요함
5	매우 중요(strong importance)	한 요소가 다른 요소에 비해 훨씬 중요함
7	시사적 중요(demonstrated importance)	한 요소의 우위성이 실증되고 있음
9	절대적 중요(absolute importance)	한 요소의 우위성이 절대시되고 있음
2,4,6,8	위에서 정의된 척도들의 중간	위에서 정의된 척도들 사이의 값이 요구될 때
위 척도들의 역수	요소 a가 요소 b의 중요도를 기준으로 할 때 위에서 주어진 척도로 표시하면 요소 b의 중요도는 요소 a를 기준으로 할 때 앞에서 얻어진 척도의 역수로 표현됨	

자료 : Thomas L. Saaty, "Axiomatic Foundation of the Analytic Hierarchy Process", Management Science, Vol. 32, No. 7, July 1986, p. 843

인에 대한 계층 3의 두 요인들간의 쌍대비교가 수행된다. 이러한 반복과정은 최하위 계층의 요인들까지 수행된다. 쌍대비교의 결과로 아래의 행렬 A와 같은 쌍대비교 행렬이 만들어질 수 있으며, 이 행렬로부터 가중치 벡터  $w^T = (w_1, w_2, \dots, w_n)$ 을 계산할 수 있다.

$$A = \begin{pmatrix} w_1/w_1 & w_1/w_2 & \dots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & w_2/w_2 & \dots & w_2/w_n \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & \dots & w_n/w_n \end{pmatrix}$$

행렬 A에 w를 곱하면  $Aw = nw$ 의 관계식을 얻을 수 있으며, 여기서 n은 행이나 열의 수이며 동시에  $w^T = (w_1, w_2, \dots, w_n)$ 의 최대 고유치(maximum eigenvalue)가 된다. 그리고  $(A-nI)w = 0$ 을 만족시키는 w를 구함으로써 가중치 벡터를 계산할 수 있다. 이를 위해서 고유벡터법(eigenvector method), 간편법(approximation method) 등이 알려져 있으며, Expert Choice와 같은 소프트웨어를 이용할 수도 있다.

3.2.3 대안의 평가와 일관성 검증

각 평가기준에 대한 대안들의 가중치 벡터와 평가기준들의 가중치 벡터가 계산되면, 이들을 곱하여 합산함으로써 각 대안들의 상대적 종합 중요도를 계산할 수 있으며, 이를 기준으로 대안별 우선순위가 결정될 수 있다.

AHP의 마지막 과정으로서 일관성 검증을 통해 쌍대비교행렬 작성자의 일관성있는 판단의 정도를 가늠할 수

있다. 일관성이 완벽하게 유지되는 경우 가중치 벡터(w)의 최대고유값( $\lambda_{max}$ )은 n이 되며, 행렬 A의 요소간 일관성이 깨지는 경우  $\lambda_{max}$ 는 n보다 커지게 된다<sup>1)</sup>. 이와 같은 성질을 이용하여 CI(Consistency Index)와 CR(Consistency Ratio)을 아래와 같이 정의한다.

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

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

이때 RI(Random Index)는 행렬 A의 각 원소에 1~9의 정수난수를 부여했을 때의 CI값으로 이는 Table 2와 같다. 즉, 일관성 비율 CR은 극도로 일관성이 깨졌을 경우의 RI값에 대한 CI값의 비율을 의미한다고 할 수 있다. 일반적으로 CR값이 0.1보다 작은 경우에는 우수한 일관성이 유지된 것으로 받아들이며, 0.2까지는 허용할만한 수준으로 인식되며, 그 이상인 경우에는 AHP 계층구조를 재설계하거나 쌍대비교행렬을 다시 작성해야 한다.

3-3. 에너지기술개발 전략도출모형의 요건

국가가 추진하는 연구개발사업은 범국가적으로 중요한 공통에로성 및 기반성을 갖는 연구사업과 공공성 및 파급효과가 큰 사업, 그리고 에너지기술과 같이 시장메카니즘에 맡기기에는 그 위험성, 자금규모 및 개발기간이 너무 크거나 긴 사업을 지원대상으로 하고 있다. 이에 시장성과 경제성이 충분히 확보되어 민간기업의 이

**Table 2. Random Index (RI).**

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

자료 : <http://sqis.changshin-c.ac.kr/lec/cyber/c24.htm>

<sup>1)</sup>본 논문에서 이에 대한 구체적 증명과정은 생략하며, 이는 참고문헌 [4]를 참고하기 바란다.

운동기를 유발시킬 수 있는 경우에는 개입하지 않음으로서 민간기업간의 공정성을 저해하지 않는 특성을 가지고 있다. 따라서 정부가 추진하는 기술개발사업의 전략도출을 위한 모형설정은 다음의 요건들을 갖추어야 한다.

첫째, 시장성과 경제성의 원칙에만 의존하여 평가할 경우, 공통된 화폐가치 혹은 자원단위로 환원시켜야만 평가가 가능하다. 하지만 공통애로성, 기반성, 공공성 그리고 파급효과 등의 요인들은 공통기준 계량화에 한계가 있어 정량적인 평가기준보다는 정성적인 평가기준이 많다. 또한 위험성과 관련된 기술적·상업적 성공가능성에 대한 다양한 요인들을 고려해야 하므로 전략도출 모형은 다원화된 평가기준을 고려할 수 있어야 한다.

둘째, 오늘날 연구개발의 대규모화, 다원화, 국제화 추세에 따라 한정된 자원을 효율적으로 배분하기 위한 연구개발계획의 수립이 매우 어려워지고 있다. 특히 다양한 분야에서 동시에 연구개발을 추진하는 정부 연구개발사업의 경우 가장 어려운 선택은 어떤 분야에 얼마의 자원을 투입해야 하는가를 결정하는 문제이다. 자원이 한정되어 있기 때문에 특정 분야를 너무 지나치게 강조하고 자원을 집중적으로 배분할 경우 다른 분야가 상대적으로 위축되거나 연구개발이 지연되는 경우가 발생할 수 있다. 따라서 연구개발의 효과를 극대화하고 효율성을 추구하기 위해서는 연구개발계획 수립과정에서 다양한 정보를 소화해내고 통합·정리함으로써 합리적인 선택에 도달할 수 있어야 하며, 이 과정에서 특히 중요한 것은 공정성과 객관성이 확보될 수 있는 방법론이 이용되어야 한다.

셋째, 선정된 기술과제에 대한 효율적 개발을 위해서는 기술분야별 동향파악과 기술현황분석, 국내 기술개발능력, 기대효과 등에 대한 종합분석을 통해 추진전략 및 투자전략이 세워져야 한다. 즉, 선정된 모든 기술개발과제를 가능하다면 국내 개발을 추진하는 것이 바람직하지만, 국내의 기술수준 및 성공가능성을 평가하여 외국과의 공동연구 및 기술도입을 추진하는 전략이 효율적일 수도 있다. 이에 기술개발전략도출 모형은 기술개발과제의 기본추진전략 및 투자전략까지를 이끌어 낼 수 있는 방안이 고려되어야 한다.

넷째, 기술개발의 전략을 수립하기 위해서는 기술관련 다양한 분야의 전문지식을 수립하고 이를 분석·정리하는 과정이 요구된다. 하지만 전략을 수립하는 연구개발 관리자가 이러한 다양한 전문적 지식을 모두 섭렵하기는 어려운 일이며, 따라서 전문가의 의견을 반영할 수밖에 없다. 그러므로 기술개발전략을 수립하는 모형은 다양한 전문가의 의견을 체계적으로 분석하고 또한 분석 과정에 대한 각 전문가의 이해를 통해 전략도출과정이 객관성 및 타당성을 가져야 한다. 이를 위해서는 다양한 분석기법과 이론적 배경이 뒷받침되어야 한다.

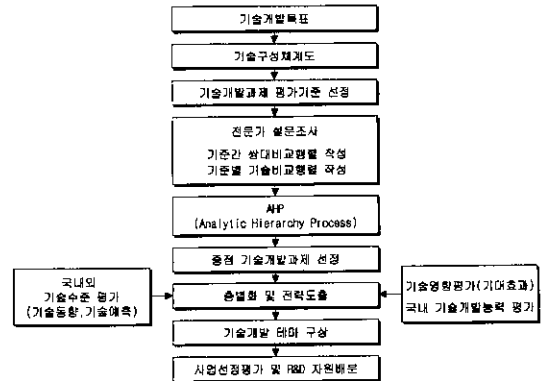


Fig. 1. Model of R&D strategies.

마지막으로 기술수명주기가 점차 짧아져가는 시대에 대응할 수 있도록 최신 자료를 모형의 입력자료로 이용할 수 있어야 하며, 이러한 자료들은 입수하기 용이해야 하고 또한 연구개발관리자가 이해하고 사용하기 편리한 모형이어야 한다.

#### 4. 에너지기술개발을 위한 전략도출 모형의 개발

##### 4-1. 개요

국내 에너지기술개발관리체계의 문제점을 개선하고 국가연구개발모형의 요건을 만족하며, 국가의 기술개발 목표를 효과적으로 달성하기 위해서 본 연구에서 제시하는 전략도출모형은 Fig. 1과 같다. 특히 본 연구에서는 기설정된 대분류 수준의 기술개발목표(예; 고분자전해질 연료전지(PEMFC) 상용화 기술개발)를 달성하기 위한 중점기술개발과제의 선정과 선정된 중점기술과제들에 대한 국내외 여건과 국내 기술개발능력을 고려하여 효율적 추진전략 및 투자전략을 설정하는데 관심을 두고 있다.

모형의 주요 프로세스는 크게 세 단계로 구분될 수 있다. 첫 번째 단계는 기 설정된 평가기준하에 AHP기법을 활용하여 목표달성을 위한 중점기술개발과제를 선정하는 단계이다. 두 번째 단계는 선정된 중점기술개발과제들에 대해서 국내외 기술수준비교 및 기대효과, 국내 개발능력평가 등 기술자원평가를 실시하는 단계이다. 세 번째 단계는 기술자원평가의 결과를 이용하여 유사 특성의 기술개발과제들을 총괄화하고 이에 따른 추진전략 및 투자전략을 수립하고, 기술특성이 비슷한 기술개발 테마군을 구상하는 단계이다.

##### 4-2. 중점기술개발과제의 선정

이 단계는 국가의 기술개발목표를 효율적으로 달성하

기 위한 중점기술개발과제를 선정하는 단계이다. 이를 위해서 먼저 대상 기술에 대한 기술체계도를 작성함으로써 핵심기술 및 요소기술들간의 연계성을 명확하게 파악하고, 중점기술개발과제의 선정을 위한 평가기준을 결정한다. 이 평가기준은 기술개발과제들의 중요도 우선순위를 결정하는 요인이기 때문에 공정성, 투명성 확보와 함께 전략성 유지가 가능하여야 한다.

다음 과정에서는 기술체계도로부터 추출된 기술개발 후보과제들을 대상으로 평가기준에 근거하여 중점기술개발과제를 선정한다. 이때 AHP기법이 이용되며, 이를 위해서는 기준들간의 상대 중요도와 각 기준들에 대한 기술개발후보과제들의 상대 중요도를 결정해야 한다. 이는 기준들간, 그리고 각 기준에 대한 각 기술과제들간의 쌍대비교행렬을 기초자료로 활용함으로써 결정되어 질 수 있으며, 쌍대비교행렬은 전문가를 대상으로 한 설문조사를 통해 작성할 수 있다.

4.3. 기술자원 평가

이 단계는 선정된 중점기술개발과제를 대상으로 국내외 기술동향 분석, 기술개발시의 기대효과, 국내 기술개발가능성 평가 등을 실시하는 단계이다. 이를 통하여 다음 단계에서 이루어질 기술개발과제들의 증별화 및 전략도출을 위한 기초자료를 확보하게 된다.

이러한 기술자원평가는 기술적 특성과 관련 기술환경에 대한 내용이 많이 포함되어 있으며, 분석결과가 정량적으로 표현될 때 다음 단계의 분석을 용이하게 수행될 수 있다. 따라서 전문가의 의견을 광범위하게 반영되어야 할 것이며, 이들의 의견을 종합적으로 분석하고 합리적인 방법으로 정량화함으로써 정량화 과정에서 그 효과가 과대 혹은 과소평가되는 경우가 발생하지 않도록 유의할 필요가 있다.

4.4. 증별화 및 전략도출

이 단계에서는 기술자원평가의 결과를 이용하여 유사한 특성을 보이고 있는 중점기술개발과제들을 증별화하고, 이를 바탕으로 기술개발전략을 수립하는 과정이다. 일반적으로 국내외 기술수준비교 결과를 통해 기술개발추진전략을 수립하고, 기대효과 및 국내 개발능력 평가결과를 이용하여 투자전략을 결정할 수 있다.

다만, 기술개발과제의 특성을 감안하여 기술수준 및 기대효과, 국내 개발능력에 대한 평가내용의 분류가 달라질 수 있으며, 이에 따라 전략의 내용이 다양해질 수 있다는 점에 유의할 필요가 있다. 예를 들면, 기초·응용/실용화/보급화 단계의 기술수준 분류보다는 신생기술/성장기술/성숙기술/쇠퇴기술 등의 분류를 통해 더욱 다양한 전략의 도출이 가능하다는 것이다. 이는 정

형화된 방법론에 의하는 것이 아니고, 기술개발목표 혹은 기술과제의 특성을 감안하여 분류하는 것이 편리할 것이다.

5. 사례연구: 고분자전해질 연료전지를 대상으로

연료전지는 고효율 무공해의 발전기술로 가까운 장래에 본격적인 실용화가 기대되며, 특히 최근 문제가 되고 있는 CO<sub>2</sub> 배출량을 줄일 수 있는 대체에너지기술이다. 그중에서도 고분자전해질 연료전지(PEMFC)는 높은 에너지효율과 안전성, 작동 편의성, 제작 용이성, 다양한 재료선택의 가능성으로 인해 최근에 무공해 차량용 동력원이나 현지설치형 발전원으로 관심이 증대되고 있는 연료전지 기술이다.

본 연구에서는 PEMFC 상용화 기술개발이라는 국가적 목표가 설정되었다는 가정하에 앞서 제시한 모형을 이용하여 이 목표를 달성하기 위한 전략 수립을 수행함으로써 본 연구모형의 실용성을 검증하고자 한다.

5-1. PEMFC 중점기술개발과제 선정

5.1.1 AHP 계층구조의 실제

중점기술개발과제의 선정을 위해서는 먼저 인간의 문제해결 논리구조와 유사한 AHP 계층구조를 구성하는 단계가 필요하다. 이를 위해서 후보과제들로부터 중점과제를 선정하기 위한 평가기준이 요구되며, 이 평가기준은 국가의 기술개발 목표를 효과적으로 달성하기 위한 기술과제들이 선정될 수 있는 것이어야 한다.

본 연구에서는 「PEMFC의 상용화 기술개발」이라는 기술개발목표달성을 위해서는 PEMFC의 핵심요소기술과 시장경쟁력 확보를 위한 기술이 우선적으로 개발되어야 한다는 취지에 이 두 기준을 우선순위 결정

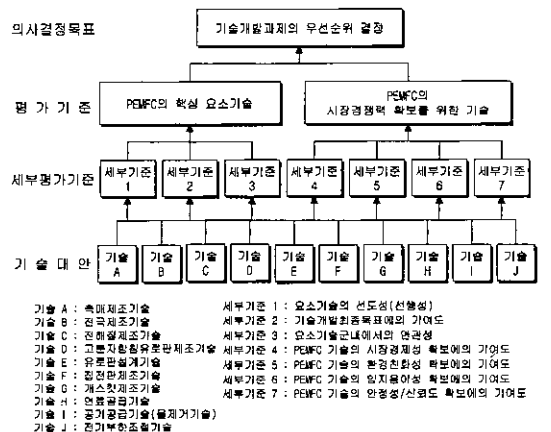


Fig. 2. AHP Structure for R&D project selection.

을 위한 평가기준으로 결정하였다. 그리고 이 두가지 평가기준은 각 3가지, 4가지의 세부평가기준으로 분류될 수 있다(Fig. 2 참조).

이상의 평가기준을 근거로 하여 후보 기술개발과제들의 중요도 우선순위를 결정하기 위한 AHP 계층구조는 Fig. 2와 같이 설계될 수 있다. 여기에서 후보 기술개발과제 대안들은 PEMFC의 기술구성체제도로부터 추출하였다. 이러한 AHP 계층구조는 인간의 문제해결논리와 그 구조면에서 유사하여 전문가의 의견들이 체계적으로 분석되는 과정을 설명하기가 용이하고, 또한 해당 전문가들이 결과의 도출과정을 쉽게 이해함으로써 중점개발과제의 선정과정이 투명해지고 객관성을 가질 수 있는 특성이 있다.

5.1.2 AHP 분석 및 중점기술개발과제의 선정

AHP 분석을 위해서는 기술개발목표달성을 위한 평가기준들간의 쌍대 중요도 비교행렬과 각 평가기준을 위한 세부평가기준들간의 쌍대 중요도 비교행렬, 그리고 각 세부기준에 대한 각 기술과제 대안들의 쌍대 중요도 비교행렬을 작성해야 한다. 이를 위해서 KIST 연료전지센터 연구원 16명을 대상으로 설문조사를 실시하였으며<sup>2)</sup>, 각 쌍대비교행렬을 이용하여 AHP 분석을 실시한 결과는 Table 3과 같이 요약될 수 있다.

AHP 분석결과, 기술개발목표달성을 위해서는 PEMFC의 시장경쟁력을 확보하기 위한 기술개발(중요도 0.67)이 핵심요소의 기술개발(중요도 0.33)보다 상대적으로 중요한 것으로 나타났으며, 세부평가기준들 중에서는 시장경쟁력 확보를 위한 기술개발이 가장 중요한 것으로 평

가되었다. 또한 Table 3에는 각 세부평가기준별 기술과제대안들의 상대적 중요도가 나타나있다. 예를 들면, 시장경쟁력 확보를 위해서는 연료공급기술의 개발(중요도 0.26)이 가장 중요한 것으로 분석되었다.

한편 마지막 행에 나타나있는 일관성 비율(CR)을 살펴보면, 대부분 0.1이하의 우수한 일관성을 유지하고 있는 것으로 보이며, 나머지 두가지 평가기준(선도성, 목표기여도)의 일관성 역시 0.2이하로서 수용할 만한 것으로 볼 수 있다.

각 기술과제별 종합중요도는 세부평가기준의 상대중요도와 각 기준별 기술과제의 상대중요도를 곱하여 합산함으로써 구해질 수 있으며, 이는 마지막 열에 나타나 있다. 모든 평가기준들을 고려할 때, 연료공급기술이 가장 우선적으로 개발되어야할 과제임을 알 수 있다. 본 연구에서는 종합중요도가 높은 상위 5개 과제를 중점기술개발과제로 선정하기로 한다.

5-2. 기술자원 평가

기술자원 평가는 선정된 중점기술개발과제의 추진전략을 수립하기 위한 관련 세부 기술환경자료를 확보하기 위해 실시된다. 이를 위해서 기본적으로 국내외 기술수준비교와 기술개발시의 기대효과, 국내 기술개발능력 평가 등이 이루어져야 한다. 하지만, 이들 각각의 평가를 위해서는 방대한 자료와 많은 이론적 연구가 필요한 것이 사실이다. 또한 본 연구에서는 이들에 대한 정밀한 평가가 아닌 기술개발전략의 도출을 위한 방법론을 제시하는 것을 목적으로 하고 있기 때문에, 본 연구

Table 3. The result of AHP.

기술과제	기준 (중요도)		PEMFC의 핵심요소기술			시장경쟁력확보를 위한 기술				종합 중요도
	평가기준	세부평가 기준	선도성	목표 기여도	연관성	시장 경제성	환경 친화성	임피 용이성	안정성/ 신뢰도	
축매제조기술			0.10	0.03	0.16	0.02	0.03	0.02	0.29	0.064
전극제조기술			0.07	0.15	0.16	0.03	0.04	0.02	0.05	0.072
전해질제조기술			0.30	0.15	0.16	0.13	0.24	0.04	0.06	0.138
고분자합침유로판 제조기술			0.15	0.08	0.06	0.09	0.14	0.13	0.08	0.096
유로판설계기술			0.06	0.14	0.05	0.11	0.04	0.13	0.08	0.096
집전판제조기술			0.03	0.03	0.04	0.04	0.04	0.09	0.05	0.047
개스킷제조기술			0.13	0.05	0.03	0.11	0.06	0.04	0.12	0.074
연료공급기술			0.06	0.11	0.14	0.26	0.25	0.30	0.13	0.216
공기공급기술			0.05	0.08	0.14	0.15	0.12	0.17	0.05	0.132
전기부하조절기술			0.06	0.17	0.05	0.06	0.04	0.05	0.08	0.069
일관성비율(CR)			0.13	0.11	0.01	0.08	0.03	0.07	0.08	

<sup>2)</sup>각 쌍별비교행렬은 지면관계상 생략하였으며, '산자부, 에너지기술개발의 전략적 접근방법론 개발에 관한 연구, 2000.4'를 참고하기 바란다.

기술	기술수준	기초/응용연구	실용화	보급률
전해질 제조 기술	불소계열 이황기술	국내	.....	.....
		국외	.....	.....
	HC계열 양이온 교환막제조기술	국내	.....	.....
		국외	.....	.....
스택 제조 기술	복합전해질막 제조기술	국내	.....	.....
		국외	.....	.....
	고분자합침유로판 제조기술	국내	.....	.....
연료 공급 기술	유로판 설계기술	국내	.....	.....
		국외	.....	.....
	메탄올개질기 설계기술	국내	.....	.....
		국외	.....	.....
공기공급 기술 (물세거기술)	가솔린개질기 설계기술	국내	.....	.....
		국외	.....	.....
	개질 촉매 기술	국내	.....	.....
		국외	.....	.....
직접수소 공급기술	국내	.....	.....	.....
	국외	.....	.....	.....

Fig. 3. Technological assessment and forecasting.

에서는 이들 평가를 위해서 AHP 설문과 동일한 집단을 대상으로 의견을 수렴하여 평가를 대신하기로 한다.

국내의 기술수준에 대한 설문결과는 Fig. 3과 같이 요약될 수 있다. 국내의 기술수준이 대부분 선진국에 비해 크게 뒤져 있는 것으로 나타났으며, 이러한 기술격차 정도는 크게 세가지 부류로 구분될 수 있을 것이다. 첫째, 선진외국의 경우 실용화 기술개발이 거의 완료된 상태이나, 국내의 경우 아직 기초응용연구수준에 머물러 있는 기술군으로 불소계열이황기술, 복합전해질막 제조기술, 메탄올개질기 설계기술, 개질촉매기술, 물세거기술 등을 들 수 있다. 둘째, 외국과의 어느 정도 기술격차는 있지만 외국도 아직 실용화기술개발을 완료하지 못한 기술군으로 HC계열 양이온교환막 제조기술, 고분자합침유로판 제조기술, 가솔린개질기 제거기술 등이 여기에 해당될 수 있다. 세 번째로 역시 기술격차가 있기는 하지만 국내의 기술수준이 실용화 초기단계에 다다른 기술군으로 유로판설계기술과 직접수소공급기술을 예로 들 수 있다.

기술개발시의 기대효과와 국내기술개발능력에 대한 평가항목 및 평가결과는 Table 4와 같이 요약될 수 있다.

Table 4. Result of impact and R&D capability assessment.

기술분야		기대효과				국내기술개발능력							
기술분야	세부 기술	타산업 파급 효과	기술적 파급 효과	경제적 효과	지식 기반 형성	가중 평균	관련 기술 축적 수준	투자 효율 및 회수 가능성	기술 개발 비용 규모	관련 연구 인력	예상 기술 개발 기간	기술 개발 용이성	가중 평균
기중치		2	3	5	4		10	9	4	5	3	8	
전해질 제조 기술	불소계열 이황기술	7	7	9	6	7.4	4	9	2	5	5	1	4.5
	HC계열 양이온 교환막 제조기술	8	5	5	6	5.7	2	5	3	6	5	3	5.7
	복합전해질막 제조기술	9	8	9	5	7.6	2	7	5	9	2	9	7.8
스택 제조 기술	고분자합침 유로판 제조기술	5	4	8	3	5.3	5	9	3	5	2	7	5.9
	유로판 설계기술	1	2	6	2	3.3	2	7	5	7	7	3	4.1
연료 공급 기술	메탄올 개질기 설계기술	9	7	7	7	7.3	5	9	7	5	5	4	5.9
	가솔린 개질기 설계기술	9	6	9	5	7.2	3	5	5	5	7	2	4.6
	개질 촉매 기술	8	7	5	5	5.9	3	9	5	3	3	7	5.4
	직접수소 공급기술	1	1	2	1	1.1	5	1	1	1	6	1	2.4
공기공급 기술 (물세거기술)		1	2	2	3	2.1	2	3	2	1	7	3	2.7

이는 전문가에 대한 설문조사서를 통하여 각 평가항목의 가중치를 결정하고, 각 평가항목에 대하여 0~10점씩의 점수를 부여하도록하여 이를 가중평균한 결과이다.

몇몇 기술과제를 제외하고는 대체적으로 국내의 기술개발능력이 중간정도의 비슷한 수준을 보이고 있는 것으로 평가되었으며, 전해질제조기술군과 연료공급기술군의 기대효과가 상대적으로 높게 나타났음을 알 수 있다.

이상의 기술자원평가 결과를 종합해볼 때, 기술개발능력과 기술수준이 일치하는 것은 아니며, 또한 기술수준에 따라 기대효과의 정도가 나타나는 것도 아니다. 즉, 기술특성과 국내 기술개발여건에 따라 각기 상이한 평가결과가 나타나고 있음을 알 수 있다. 따라서 각 평가결과를 이용한 기술개발전략을 도출하기 위해서는 유사한 평가특성을 보이고 있는 기술과제들끼리 총별화하여 그 추진전략을 차별화하는 과정이 요구된다.

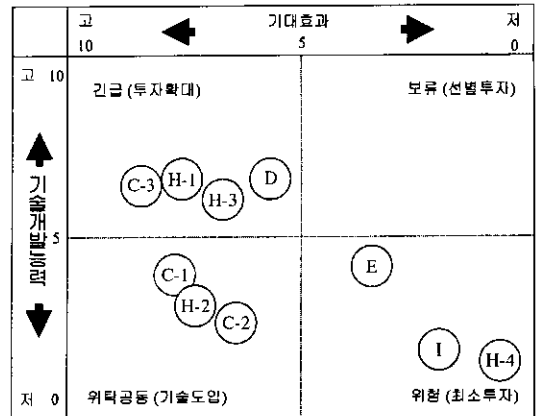
5.3. 총별화 및 전략도출

국내의 기술격차를 감안한 기술개발 추진전략은 Table 5 과 같이 설정될 수 있으며, 이는 기술수준을 세 단계로 분류한 예이며 기술수준의 분류에 따라 다양한 추진전략이 설정될 수 있을 것이다. PEMFC 기술의 경우 국내에서는 보급화단계에 이른 기술이 아직 없으며, 선진국의 경우 기초/응용단계에 머무르고 있는 기술이 없는 것으로 평가되었기 때문에 이에 해당하는 전략들을 제외하면 4가지의 추진전략이 설정될 수 있다.

또한 기술과제별 기대효과 및 국내 개발가능성 평가에 기초하여 투자의 시급성 및 투자전략의 수립이 가능하다. 즉 기대효과와 국내가능성이 큰 과제에 대해서는 우선투자가 이루어져야 할 것이고, 기대효과는 높으나 국내가능성이 낮게 평가된 과제에 대해서는 위탁 및 공동연구를 통해 기술도입을 추진하는 것이 바람직하다. 반면, 두 가지 모두가 낮게 평가된 기술과제에 대해서는 기존의 투자를 감소시키거나 반드시 필요한 기술과제에 대해서 신중한 투자가 이루어져야 할 것이다. 중점기술개발과제들에 대한 투자전략을 요약하면 Fig. 4와 같이 요약될 수 있다.

Table 5. R&D strategy considering technology level.

국내 선진국	보급화	실용화	기초/응용
보급화	공정기술혁신 보급촉진전략	운영기술확보 기술표준화	중간진입전략
실용화		자체개발	핵심요소기술 블파전략
기초응용			기초연구 및 감시전략



- C-1 : 수소개발이용기술
- C-2 : HC개발양이온교환막기술
- C-3 : 복합전해질막제조기술
- D : 고분자합성유로판제조기술
- E : 유로판설계기술
- H-1 : 메탄올개발기술계기술
- H-2 : 가솔린개발기술계기술
- H-3 : 개질촉매기술
- H-4 : 직접수소공급기술
- I : 공기공급기술(불채거기술)

Fig. 4 Investment strategy of R&D.

기본추진전략과 투자전략이 결정되면 이들 전략을 결합하여 최종 기술개발종합전략을 결정하고, 이를 효율적으로 추진하기 위해 기술특성을 고려하여 기술군 테마를 구성하는 과정이 요구된다. 본 사례연구에서는 세 가지의 기술개발 테마로 분류하였으며, 각 테마별 추진전략과 투자전략의 결합은 Fig. 5와 같다.

중점기술개발과제의 중요도 1, 2순위로 선정된 연료공급기술테마군과 전해질제조기술 테마군은 자체개발을 위해 신중한 투자가 요구되는 직접수소공급기술을 제외하고는 위탁 및 국제공동연구에 의한 중간진입전략 위주로 기술을 확보하는 것이 효과적인 것으로 분석되었다. 반면, 스택제조 및 공기공급기술 테마군의 경

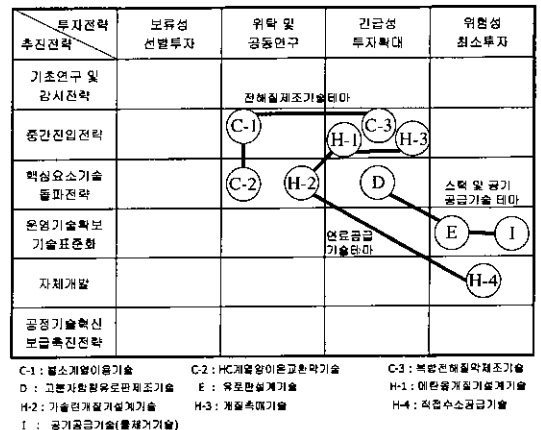


Fig. 5. Combination of strategies and design of R&D theme.



우에는 핵심요소기술개발을 위해 투자가 시급한 고분자합성유로판 설계기술을 제외하고는 운영기술확보 및 기술표준화를 위해 신중한 투자를 해야 할 것으로 나타났다.

## 6. 결론 및 향후 연구방향

기술개발관리 혹은 R&D 관리는 아직 국내에서 짧은 역사를 가지고 있는 학문분야이지만, 기술개발의 효율성을 증대시키고 전략적 기술개발을 위해서는 반드시 필요한 연구분야이다. 특히 정부 주도 기술개발사업의 경우 민간의 경우와는 달리 투자 효율성 제고의 개념이 투자 자원 배분 효율성과 시장 실패 보완 기능이 추가되어야 한다. 그러나 우리의 현실은 선정된 R&D 사업의 효율적 추진을 위한 관리/감독 방법들에 대한 연구는 어느 정도 이루어지고 있다고 볼 수 있겠지만, 전략적 기술관리 이론에 입각한 R&D 사업의 선정 및 이들의 효과적 추진을 위한 전략 수립에 관련된 연구는 거의 이루어지지 못하고 있는 실정이다.

본 연구에서는 정부주도 에너지연구개발사업의 기획시 활용가능한 기술개발전략도출 모형을 제시하고, 실용화를 앞두고 있는 대체에너지기술인 고분자전해질 연료전지를 대상으로 모델의 실용가능성을 점검하였다. 그 결과 각 중점기술개발과제별 기술환경특성이 고려된 추진 전략 및 투자전략을 도출해 낼 수 있는 유용성이 입증되었다. 특히 본 연구의 모형은 그간 전문가의 직관적 판단에 의존하여 이루어지던 기술개발과제 도출과정을 AHP분석을 이용하여 체계적이고 객관적인 방법으로 개선하였으며, 이와 연계된 국내의 기술수준 및 기대효과, 국내 가능성 평가를 통해 기술개발 추진전략 및 투자전략을 수립할 수 있는 특성을 가지고 있다.

하지만, AHP 분석에 이용되는 평가기준 선정단계에서 객관적인 타당성의 보완문제, AHP 분석을 위한 설문평가항목을 줄이는 문제, 기술과제의 선정시 다양한 평가기준을 반영하는 문제, 기술수준 예측치를 평가모형에 효율적으로 반영시키는 문제 등은 향후의 지속적인 연구를 통해 해결되어야 할 연구과제라 할 수 있다. AHP 설문항목을 줄이는 문제는 AHP 기법 자체에 내재된 문제로서 이 문제의 해결을 위해 다양한 방면에서 연구가 진행되고 있으며, 이를 해결할 경우에는 AHP 기법이 기술개발관리 실무에서 더욱 유용하게 이용될 수 있을 것

으로 보인다.

또한 본 연구의 모형이 공모된 사업의 선정평가 및 R&D 자원의 배분모형과 연계되어 모형의 결과인 추진 전략과 투자전략을 공모과제의 선정평가 및 R&D 자원의 배분 기준으로 이용할 경우, 정부주도 연구개발사업의 연구기획단계에서 공정성 및 객관성을 향상시킴으로써 기획단계의 투명성을 높이는 데 기여할 수 있을 것으로 판단된다. 더욱이 이를 통해 R&D 사업의 관리 및 감독과정에서도 일관성을 유지할 수 있는 토대를 마련할 수 있을 것으로 보인다. 즉 기술개발사업의 기획 단계에서부터 종료 시까지의 기술개발 전과정을 전략적으로 추진하기 위한 논리적 기반의 일부를 본 연구모형으로부터 도출해 낼 수 있기를 바란다.

## 감사의 글

본 연구는 산업자원부에서 시행한 에너지·자원기술 개발사업의 일환(과제관리번호:1998-N-NC03-P-01)으로 수행되었으며, 관계자 여러분께 감사드립니다.

## 참고문헌

1. 에너지관리공단: '99에너지절약편람, 1999.
2. 남인석, 김충영: 계층적분석방법(AHP)을 활용한 정부 R&D사업 선정모형에 관한 연구.
3. 김영규, 노시천: AHP모형을 이용한 우리나라 중소기업의 부실화 원인진단과 그 예방대책에 관한 실증연구, 재무관리연구 제14권 제1호, 1997.
4. STEPI: 국가연구개발사업의 연구기획체계 및 방법에 관한 조사연구, 1997.
5. Saaty T.L.: The Analytic Hierarchy Process, Newyoga, Mcgraw Hill.
6. Souder W.E.: System for Using R&D Projection Evaluation Methods, Research Management., Vol. 21, pp. 29-37, 1978.
7. Liberatore M.J.: An Extension of the Analytic Hierarchy Process for Industrial R&D Project Selection and Resource Allocation, IEEE Transactions, EM, No. 1, pp. 12-18., 1989.
8. Hall D.L. and Nauda A.: An Interactive Approach for Selecting IR&D Projects, IEEE, Transactions, EM, Vol. 37, No. 2, pp. 126-133, 1990.
9. 산자부: 에너지관리공단 대체에너지기술 세미나, 2000.