

AHP를 이용한 수출유망 원자력 기술 분야 선정

이덕주* · 황주호** · 김상국* · 박광현** · 강진수***

〈 목 차 〉

1. 서론
2. AHP 개요 및 분석과정
3. 분석 결과
4. 결론

Summary : The purpose of this paper is an application of AHP in the problem of exportable nuclear technology selection based on data gathered from nuclear experts. In this paper, the decision criteria for evaluating export competitiveness of nuclear technologies are identified and the hierarchical structure of decision making process is developed systematically. Subsequently the values of weights for relative importance among decision criteria are derived using AHP methodology, and the score of importance of nuclear technologies with respect to each criterion is evaluated. Finally the score indicating exportability of each nuclear technology is quantified in order to prioritize them. We discuss implications of our results with a viewpoint of national nuclear technology policy.

키워드 : 기술선정문제, 원자력기술, AHP, 수출경쟁력평가, 의사결정

* 경희대학교 테크노공학대학 산업공학전공 교수 (e-mail : ldj@khu.ac.kr, sangkim@khu.ac.kr)

** 경희대학교 테크노공학대학 원자력공학과 교수 (e-mail : jooho@khu.ac.kr, kpark@khu.ac.kr)

*** 경희대학교 테크노공학대학 산업공학전공 석사과정

1. 서론

1978년 고리 1호기 상업 운전 이후 지금까지 국내 원자력산업계는 중요한 사건·사고를 겪어오면서 발전을 지속해 왔다. 이러한 과정에서 1980년대까지는 현대 첨단산업의 총아로서 국민의 각광을 한 몸에 받은 적도 있으나, 두 차례의 큰 세계적 사고에 의한 반핵 분위기에 따라 국내에서도 원자력에 대한 저항이 있어 왔고, 이러한 분위기는 원자력산업의 장기적 침체와 장래에 대한 불안을 야기하고 있다.

특히 최근의 국내외 동향은 밝은 면과 어두운 면이 계속 엇치락뒤치락 하고 있는 실정이다. 우선 국제적으로는 지구온난화와 전력 부족의 우려로 원전 지지율이 증가하고 있다. 그러나 아직 거센 반핵의 저항은 여전하며 9.11테러 이후 원전 보안에 대한 우려가 풀어야 할 숙제로 남아 있다. 거기에는 유럽의 반핵 분위기가 더욱 거세짐에 따라 벨기에에는 2025년까지 현재 가동 중인 7기를 폐지하기로 의결했고, 독일도 2020년까지 단계적으로 폐지하기로 했다. 이렇게 국내외 희비가 엇갈리는 가운데 향후 원자력 건설 시장은 지난 수십 년의 침체기를 벗어나 재도약기로 부활하고자 하는 움직임을 보이고 있다.

우리나라의 원자력산업동향을 살펴보면 원자로 분야에서는 우리나라의 고유 모델로 개발한 140만kW급 신형경수로 (APR-1400)의 표준설계가 완성되어 세계적 수준의 원자로를 갖게 되었으며, 핵연료 분야에서는 경제성과 안전성 측면에서 여러가지 장점을 갖는 개량 핵연료인 「Plus7」을 개발하여 작년 12월부터 올진 원전을 시작으로 장전된 바 있고, 현재는 미국과 유럽 국가들과도 수출 협상이 진행되고 있다. 연구개발 부문에서는 일체형 원자로 (SMART)와 100MeV급의 양성자가속장치개발사업 등 2개의 대형 국책 연구개발사업이 착수되었다. 원자력의 국제협력 분야에서는 아시아 지역 17개국에 참가한 원자력협력 센터인 아·태 원자력 협력협정 (RCA) 지역 사무국을 우리나라에 유치하여 개소식을 거행하였으며, 세계청소년 원자력과학기술자대회 (IYNC)와 세계원자력발전사업자 대회 (WANO)가 우리나라에서 개최되어 우리의 국제적 위상을 향상시키는데 크게 기여한 바 있다.

한편 최근의 국제적인 원자력동향을 살펴보면 미국은 원자력이용확대 정책을 바탕으로 2010년까지 신규원전 건설·운전을 목표로 'Nuclear Power 2010 Initiative'를 수행하고 있으며, 1979년 TMI사고 이후 중단된 신규원전 건설을 재개하고자 하고 있다. 영국도 기존 원전을 대체할 목적으로 AP1000의 도입을 평가하기 위한 작업에 착수하였고, 집권 노동당도 신규원전 건설을 지지할 것으로 예상되고 있다. 러시아는 '2030년까지의 원전 개발 전략'을 수립하여 추진하고 있으며, 2005년까지 3~4기의 신규 원전을 추가 건설할 계획을 갖고 있다.

일본은 2002년 3월, 2010년까지 13기의 원전을 추가로 건설기로 확정하였으며, 그 목표가 달성되면 현재의 원전 점유율인 34%를 2010년에는 42%로 확대시킬 수 있을 것을 예상하고 있다. 한편 동남아시아 여러 나라에서도 원전 도입을 타진하고 있고, 특히 작년 중국에서 4기(링아오 1, 2, 진산 2원전 1호기, 3원전 1호기)가 상업 운전을 개시하였고 향후 2005년까지 총 4기의 신규 원전을 추가 건설할 것으로 본다. 이에 따라 현재 건설되고 있는 원전은 세계 13개국에서 총 43기(약 4천만kW)로 추산되고 있다.

이와 같이 국내·외적으로 원자력산업의 중흥을 꿈꿀 수 있는 분위기가 점점 조성되어 가고 있으며, 이러한 상황에서 우리는 국내의 원자력산업이 그동안의 침체된 분위기를 떨쳐버리고, 세계적인 원자력 중흥의 흐름을 선도하기 위해 해야 할 일이 무엇인가에 관한 진지한 고민을 요구하고 있다. 이러한 맥락에서 국내 전문가들로부터 “국내 원자력산업의 수출산업화”라는 화두가 나오게 되었고, 정부에서는 이에 대한 국가 정책과 구체적 이행계획을 수립하고자 하고 있다.

특히 산업자원부에서는 국가 원자력 기술정책의 관점에서 우리나라가 현재까지 보유하고 있는 원자력 기술 중에서 가장 수출 유망한 기술 분야를 발굴하고, 유망한 기술 분야에 대해서 국제시장에서 수출 경쟁력이 있을 정도의 수준을 확보하기 위하여 보다 집중적인 연구개발 투자를 실시하려는 계획을 가지고 있다. 이러한 시점에서 보다 과학적이고 체계적인 방법에 의해 객관적인 관점에서 수출 유망한 원자력 기술 분야를 선정하기 위한 연구가 필요하게 되었다.

본 연구는 우리나라가 현재까지 보유하고 있는 원자력 기술분야 중 수출가능성이라는 관점에서 유망한 기술 분야를 체계적으로 선정하기 위해서 기존의 프로젝트 선정문제에 널리 활용되어 오고 있는 AHP (Analytic Hierarchy Process) 방법론을 응용하는 것을 목적으로 하고 있다. 수출경쟁력 관점에서 원자력 기술 분야에 대한 우선순위를 도출하기 위해서는 체계적인 의사결정 계층구조를 구성하고, 이러한 의사결정 계층구조 하에서 각 기술 분야의 수출경쟁력을 평가하기 위한 일정한 평가기준들을 선정하여야 할 것이다. 그리고 의사결정자 또는 전문가들의 의견을 종합하여 각 계층상의 평가기준들에 대한 중요도 및 각 기술 분야별 수출 경쟁력을 평가하여, 최종적으로 원자력 기술 분야들의 수출 경쟁력에 관한 우선순위를 도출하여야 할 것이다. 본 연구에서는 이와 같은 국내 보유 원자력기술 중 수출유망 기술을 선정하기 위한 의사결정 문제가 계층화된 의사결정 문제라는 인식하에, 수출 경쟁력을 평가하기 위한 평가기준들의 중요도 가중치를 보다 객관적으로 산출하기 위하여 체계적 의사결정 분석과정에 있어서 중요도 산출에 널리 활용되고 있는 AHP를 분석방법론으로 접근해 보고자 한다.

Saaty (1977)에 의해 개발된 AHP는 주어진 의사결정 문제를 계층화 한 뒤, 상위계층에 있는 한 의사결정 요소의 관점에서 직계 하위계층에 있는 의사결정 요소들의 상대적 중요도를

각 요소에 대한 쌍대비교 (pair-wise comparison)에 의해 측정하는 방식을 통해서 궁극적으로는 최하위 계층에 있는 의사결정 대안들의 우선순위를 구할 수 있도록 고안된 기법으로서, 일반적으로 비구조적이고 전략적인 성격이 있는 의사결정 문제에 적합한 방법론으로 알려져 있다. 특히 AHP 분석은 전문가들의 오랜 경험을 통한 직관을 평가의 바탕으로 하고 있기 때문에 수치화 가능한 정량적 평가기준 뿐만 아니라 의사결정 과정에서 다루기 곤란하면서도 반드시 고려하지 않으면 안 되는 정성적 평가기준들도 비교적 쉽게 처리가 가능하다는 장점을 가지고 있다. 따라서 본 연구의 “수출 가능한 원자력 기술분야 우선순위 도출 문제”와 같이 정성적 평가요소가 필수적으로 고려되어야 하는 국가 전략적인 특성을 가지고 있는 의사결정 문제를 다루는데 있어서 AHP는 매우 효과적인 방법론이 될 수 있을 것으로 사료된다.

본 연구와 같이 국가차원 프로젝트의 전략적 의사결정 문제를 해결하는데 있어서 AHP 방법으로 접근하고 있는 최근의 연구들을 살펴보면 다음과 같은 것들을 찾아 볼 수 있다. 이동엽, 안태오, 황용수 (2002)는 AHP를 이용하여 국가 과학기술의 투자효율성을 최대한 제고하기 위한 국가연구개발사업의 투자 배분 방향 수립을 목적으로 투자우선순위 설정에 필요한 과학기술 부문별 중요도 산출하였다. 특히 이를 위해서 과학기술부문에 대한 우선순위를 설정하기 위한 일정한 평가기준을 확립하고 의사결정의 계층구조를 구성하였으며, 각 계층의 평가기준들의 중요도 평가를 통하여 최종적으로 과학기술 부문별 중요도를 산출하였다. 한편 안승범, 김의준, 변의석 (2003)은 1990년대 이후 정부에서 추진한 내륙화물기지 중 대구와 경북권에 추진한 영남권 내륙화물기지에 대한 입지선정 문제에 있어서 다수 품목의 취급, 도로와 철도의 연계, 그 외 지역의 균형발전 등의 다양한 공공성을 감안한 내륙 컨테이너기지 및 복합화물터미널을 선정하기 위하여 AHP 분석법을 이용하였다.

사기업 차원의 전략적 의사결정 문제에 대한 AHP 기법의 응용연구로는 조성백, 한인구 (2002)는 AHP를 이용하여 통신장비회사가 시장특성, 사업의 강점, 시너지효과, 수익성 등의 범주에 포함되는 총 16가지의 선정기준들을 고려할 수 있는 신규사업개발 과제를 평가하기 위한 방법론을 제시하고 있다. 또한 Lai, Trueblood & Wong (1999)는 멀티미디어 저작 시스템 (multimedia authoring system)에 있어서 소프트웨어 선정문제를, Al-Harbi (2001)는 일반적인 프로젝트 선정문제를 각각 AHP를 이용하여 분석하고 있다.

본 연구의 목적은 전문가들의 설문조사결과를 토대로 AHP를 이용하여 수출경쟁력 관점에서 원자력 기술 분야에 대한 우선순위를 도출하는 것이다. 이를 위하여 본 연구에서는 우선 원자력 기술 분야의 수출 가능성을 평가하기 위한 평가기준들을 선정하고 이들에 대한 체계적인 의사결정 계층구조를 구성하였다. 그리고 전문가들의 설문결과를 기초 자료로 각 계층별 평가기준들에 대한 상대적 중요도를 산출하고, 각 평가기준의 관점에서 본 연구에서 고려하는 원자력 기술 분야들에 대한 수출 가능성을 평가하였다. 최종적으로 평가기준별 상대적 중요도

와 기술 분야별 수출 가능성 평가치를 종합하여 수출경쟁력 관점에서의 원자력 기술분야에 대한 우선순위를 도출하고, 정책적 시사점을 논의하였다.

2. AHP 개요 및 분석과정

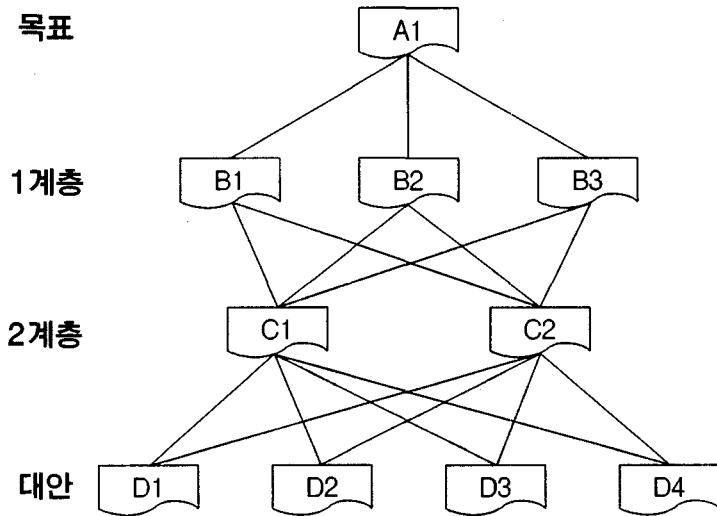
2.1 AHP 개요

1976년에 Saaty는 다기준 의사결정 방법으로 AHP를 제안하였다. 이 방법은 복잡한 의사결정의 문제를 작은 문제로 나누어 계층화함으로써 단순화시켜 합리적인 의사결정을 가능하게 하도록 체계적으로 분석하는 기법으로써, 의사결정 문제를 계층화한 후 각 평가 기준의 관점에서 대안들의 상대적인 중요도와 평가 기준들간의 상대적인 중요도를 쌍대비교 (pair-wise comparison)를 통해 측정한다. 이를 통해 AHP에서는 최하위 계층에 있는 대안들의 가중치 혹은 우선순위를 구할 수 있게 한다.

AHP는 의사결정문제에 있어 정보와 판단을 조직하여 합리적인 의사결정을 지원하는 방법론으로써, 여러 가지 행동 및 선택의 대안들에 관한 정량적 및 정성적인 판단기준을 상위-하위 속성으로 계층화하고 이들에 대한 합리적인 비교방법을 제시함으로써 모호한 의사결정 문제를 체계화하고 손쉽고도 합리적인 대안의 선택에 이르도록 유도한다. AHP의 주요 특징을 간단히 정리해보면 다음과 같다. 첫째, 정성적인 문제를 정량적인 방법으로 해석함으로써 의사결정을 체계적으로 할 수 있다. 둘째, 복잡하고 불명확한 문제를 여러 계층으로 정리하고 부분적인 관계는 일대일 비교를 통해 각각의 중요성이나 성취도를 평가함으로써 의사결정자는 좀더 정확한 의사 결정을 할 수 있다. 셋째, 다수 관계자들의 의견과 관계자들의 비중을 반영함으로써 보다 객관적인 평가를 할 수 있다.

2.2 AHP 분석과정

AHP를 이용하여 의사결정에 영향을 미치는 여러 속성들간의 체계적인 가중치 혹은 순위를 부여하기 위해서는 다음과 같은 단계를 거친다. 우선 대상의 목표를 선정하고 그 목표에 영향을 미치는 관련 속성들을 계층적으로 세분화하여 의사결정구조를 설정한다. 계층구조를 완성하기 위하여 최상위 계층에 목표를 두고 최종적인 목표로 나타내고 다음 계층은 목표를 달성하기 위한 기준을 표현한다. 그 다음 계층은 앞 계층에 영향을 미치는 부속성을 나타낸다. 이를 도식화하면 <그림 1> 과 같다.



<그림 1> AHP의 계층구조

계층적 구조를 형성하고 난 다음의 작업은 각 계층별로 각 단계의 요소들을 평가하는 것이다. 계층분석 과정은 동일한 단계에 있는 요소들 사이에 어떻게 중요도를 측정할 것인가와 어떠한 척도 (scale)를 사용할 것인가의 문제이다. 중요도는 우선성 (priority)이라고도 부르는데 이의 측정 방식은 두 개의 요소들만 상호비교하는 쌍대비교 (pair-wise comparison)에서 자료를 얻을 수 있으며, 이 이원비교들로 구성되는 행렬의 고유치 (eigenvalue)를 통해서 그 중요도를 산출하게 된다. 이원비교에 사용되는 척도는 인간이 느낄 수 있는 차이를 최대한도로 반영할 수 있는 범위를 요구한다. Miller (1956)의 심리학실험에서 “인간은 $7(\pm 2)$ 개의 대상을 혼동이 없이 동시에 비교가 가능하다”라는 결과로부터 척도의 범위는 1에서 9까지의 수 또는 이의 역수들로 한다. 이들 숫자는 일상의 언어적 표현과 밀접한 관계를 갖는다. 이를 나타내면 다음의 <표 1>과 같다.

<표 1> 상호비교척도

중요도 척도	언어적 정의
9	극단적으로 중요
7	매우 강하게 중요
5	강하게 중요
3	약간의 중요
1	동등하게 중요
2, 4, 6, 8	중간 정도 중요

한편 중요도의 척도에 따라 이원비교를 통해 아래와 같은 행렬 A 가 구성되는데, 즉, n 개의 속성으로부터 두개씩 비교하여 그 상대적 중요도를 1부터 9사이의 실수로 행렬 A 를 구성할 수 있다. 이때 행렬 A 의 원소 a_{ij} 는 요인 i 의 요인 j 에 대한 상대적 중요도 값이 되고, 그 역인 요인 j 의 요인 i 에 대한 상대적 중요도는 $a_{ji} = 1/a_{ij}$ 와 같이 역수의 값으로 구성한다. 한편 행렬 A 의 주대각 (diagonal) 원소는 $a_{ii} = 1$ 로 구성하게 된다.

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{pmatrix} \dots\dots\dots (1)$$

식(1)과 같은 행렬 A 가 모든 i, j, k 에 대해서 만일 $a_{ik}/a_{ij} = a_{jk}$ 를 만족하면 완전 일관성 (perfect consistency)을 가지고 있다고 하며, 각 요인에 대한 평가가 완전 일관성을 만족하도록 평가되었을 경우, 요인별 상대적 중요도를 나타내는 열벡터를 $\vec{w} = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T$ 로 표시하였을 때 $a_{ij} = w_i/w_j$ 를 만족하게 된다. 그러나 일반적으로 판단자료의 일관성이 완전한 평가결과를 얻기란 매우 어려우며, 이렇게 판단자료의 일관성이 완전하지 않을 경우 Saaty (2001)는 가중치 추정을 위한 방법으로 고유벡터법이 최적임을 제시하고 있다. 이 방법에 의하면 행렬 A 의 특성 상 $A\vec{w} = \lambda\vec{w}$ 의 성질을 만족하게 되고, 이 식은 다음과 같은 행렬 A 의 특성방정식 (characteristic equation)으로 표현될 수 있다.

$$(A - \lambda I)\vec{w} = 0 \dots\dots\dots (2)$$

여기에서, λ 는 행렬 A 의 고유값이 되고 I 는 단위행렬이며 \vec{w} 는 고유벡터가 된다. 이때 행렬 A 가 완전 일관성이 있다면 특성방정식의 근 $\lambda_i (i = 1, 2, \dots, n)$ 는 가장 큰 근 하나만이 $\lambda_{\max} = n$ 을 가지며 나머지 근들은 0이 되고, 고유값 n 에 해당하는 고유벡터 \vec{w} 를 구한 후, $\sum w_j = 1$ 이 되도록 정규화하면 각 요소의 가중치가 된다. 한편 일관성이 완전하지 않은 경우에는 가중치 벡터 \vec{w} 의 근사값으로 비록 n 의 값은 아니더라도 가장 큰 고유값인 λ_{\max} 에 해당하는 고유벡터 \vec{w} 를 구한 후, $\sum w'_j = 1$ 이 되도록 정규화한 결과를 각 요소의 가중치로 사용하면 된다.

비교대상을 서로 비교한 후 일관성 비율 (C.R.: consistency ratio)값을 이용해 평가의 일관성을 검증한다. 우선, 행렬 A 가 일관성이 있기 위한 필요조건은 이 행렬이 역수 행렬

$(a_{ji} = 1/a_{ij})$ 이 되는 것이며 필요충분조건은 이 행렬의 최대 고유값 λ_{\max} 가 n 이 되는 것이다. 한편 행렬 A 가 완전 일관성을 만족하지 못하는 경우에는 λ_{\max} 가 언제나 n 보다 큰 값을 가지게 된다. (Saaty, 2001) 따라서 만일 상대비교에서 기준치의 부여가 일관성이 없다면 불일치의 정도는 $\lambda_{\max} - n$ 에 의해 측정될 수 있다.

이와 같이 $\lambda_{\max} - n = 0$ 이 일치되는 정도를 지수로 나타낸 것을 일관성지수 (C.I.: consistency index)라 하며, 다음 식(3)과 같이 정의 된다.

$$C.I. = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \dots\dots\dots (3)$$

실제로 일관성 검정을 할 때에는 일관성지수 사용하는 대신에 일관성지수를 경험적 자료로 얻어진 평균 무작위지수 (R.I.: random consistency index)로 나눈 일관성비율 (C.R.: consistency ratio)로 검정하는 것이 일반적이다. (Saaty, 2001)

$$C.R. = \frac{C.I.}{R.I.} \dots\dots\dots (4)$$

여기에서 무작위 지수란 1에서 9까지 정수들을 무작위 추출하여 역수 행렬을 작성한 후 이로부터 일치지수를 구한 것을 말한다. 표본 500개로부터 무작위 지수를 구하여 평균한 값은 다음의 <표 2>와 같다.

<표 2> 무작위 지수 (Random Consistency Index)

행렬의 크기 (n)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
무작위 지수 (R.I.)	0	0	0.58	0.9	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

통상 일관성비율의 값이 10% 이내인 경우에는 서수적 순위에 무리가 없는 신뢰할 수 있는 결과이고, 20%이내인 경우라도 용납할 수 있는 결과이지만, 20%이상이면 일관성이 부족한 것으로 판단하고 있다.

3. 분석 결과

3.1 의사결정 계층구조

본 연구에서 AHP 분석을 통하여 달성하고자 하는 최종 목적은 국내에서 보유하고 있는 원자력 기술 중에서 해외수출이 가능한 전략적 기술을 선정하는 것이다. 이때 국내에서 보유하고 있는 수출 가능한 원자력 기술의 대안으로는 다음과 같은 9개의 기술분야를 선정하였다.

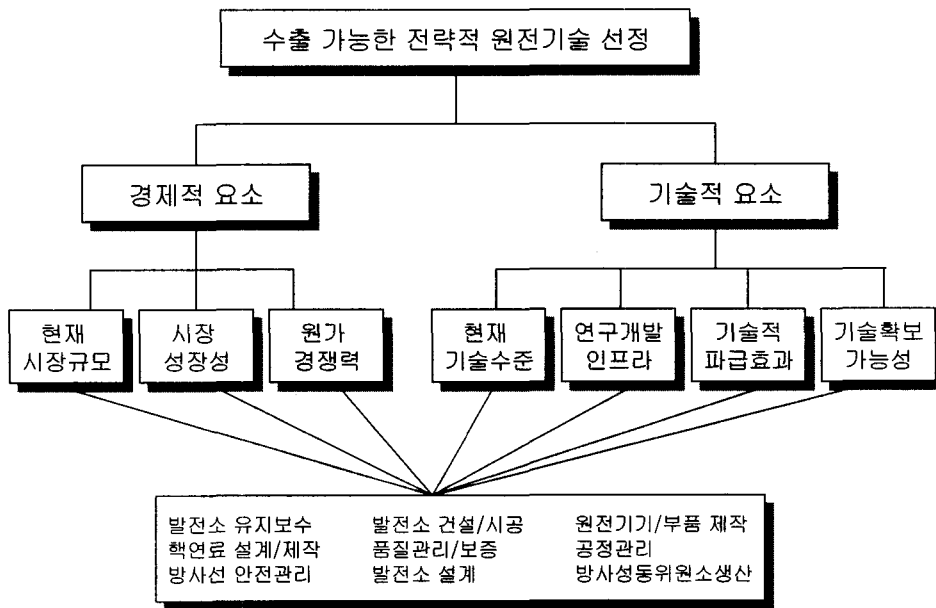
기술분야 선정과정은 관련 문헌 조사, 원자력 산업계 및 연구계의 전문가 면담을 거친 후, 최종적으로 본 연구진의 브레인스토밍 과정을 통해서 선정하였다.

- 원자력발전소 유지보수 기술
- 원자력 발전소 건설/시공 기술
- 원전기기 및 부품 제작 기술
- 핵연료 설계 및 제작 기술
- 품질관리 및 보증 기술
- 공정관리 기술
- 방사성 동위원소 기술
- 방사선 안전관리 기술
- 원자력 발전소 설계기술

위 9개 기술 분야의 수출 가능성을 평가하기 위한 평가기준은 일반적인 R&D 프로젝트 선정관련 기존 문헌을 조사한 후, 본 연구진의 브레인스토밍 과정을 거쳐서 국내 현실에 맞는 계층적 평가기준을 선정하였다. 우선 상위계층 평가 기준으로는 기술적 요소와 경제적 요소를 선정하였다. 그리고 기술적 요소에 따르는 하위 계층 평가요소로는 현재의 국내 기술수준, 관련기술 인력이나 시설 등의 연구개발 인프라 확보 정도, 해당기술의 기술적 파급효과 정도, 그리고 마지막으로 해외로 수출 가능한 정도의 기술수준을 확보할 수 있는 가능성 등의 네 가지 평가기준을 선정하였다. 한편 경제적 요소에 따르는 하위계층 평가기준으로는 현재의 세계시장 규모, 향후 시장 성장성, 마지막으로 국내기술의 세계시장에서의 가격 경쟁력 등의 세 가지 평가요소를 선정하였다.

위에서 선정한 목적, 평가요소, 기술 대안들을 이용하여 AHP 의사결정 계층구조를 도시하

면 다음과 같다.



<그림 2> AHP 의사결정 계층구조

3.2 평가요소별 가중치 계산

본 연구에서는 AHP를 이용하여 평가요소별 가중치 계산을 위한 질문을 설문조사를 통하여 전문가의 의견을 수합하였다. 설문은 한국원자력학회에 등록되어 있는 국내 원자력 및 관련업계 전문가에게 전자우편으로 보내, on-line 상에서 해당 문항에 대한 응답을 수행토록 하였다. 모든 문항에 대한 응답이 끝나고, 반송키를 누를 경우 실시간으로 설문결과를 집계할 수 있었다. 본 설문은 2003년 4월 25일부터 5월 2일까지 수행되었으며, 총 1,029명의 국내 원자력전문가에게 설문문항을 발송한 결과, 264명이 설문에 응해주었다.

총 264개의 설문응답결과를 일차자료로 하여 우선 응답결과의 일관성 검정을 실시하였다. 각 응답자의 일관성 검정 결과 앞 절의 식 (4)와 같은 일관성 비율값이 경제적 요소의 경우 평균 0.498, 기술적 요소의 경우 평균 0.645가 나왔다. 따라서 응답결과 전체의 자료에 대한 일관성 비율이 20%를 넘고 있음에 따라 모든 자료가 신뢰성 있는 자료로 보기에 문제가 있다는 판단 하에 일관성비율 값이 20% 이상인 자료는 제외하고, 20% 이하인 신뢰성 있는 자료만을 선정하여 가중치 계산에 이용하기로 하였다. 최종적으로 일관성 검정을 통과한 유효 자료의 수는 기술적 요소의 경우 107개 (41%), 경제적 요소의 경우에는 44개 (17%)의 자료에

그쳤다.

다음 <표 3>은 각 평가기준 요소별 상대적 중요도 평가치의 평균값을 정리한 것이다.

<표 3> 각 평가기준 요소별 상대적 중요도

상위기준	중요도	하위 기준	중요도
기술적 요소	0.4314	현재기술수준	0.1503
		연구개발 인프라	0.2547
		기술적 파급효과	0.2875
		기술확보 가능성	0.3075
경제적 요소	0.5686	현재시장규모	0.1657
		시장성장성	0.4422
		원가경쟁력	0.3921

<표 3>에 나타난 결과를 살펴보면, 우선 상위계층 평가 기준의 상대적 중요도는 경제적 요소가 기술적인 요소보다 다소 중요하게 평가되고 있는 것으로 나타났다. 실제로 기술혁신론에 의하면 하나의 혁신이 성공하기 위해서는 크게 기술적 불확실성과 시장 불확실성이라는 두 종류의 불확실성이 해결되어야 하는 것으로 설명되면서, 혁신의 최종적인 성공을 보장하는 것은 기술적 성공이 아니라 상업적 성공이라는 사실을 강조하고 있다.

이러한 관점에서 “수출 가능성”이라는 본 연구의 최종 목표에는 기술적 성공보다는 상업적 성공이라는 측면을 보다 강조하는 경향을 찾아볼 수 있으며, 전문가들의 의견도 이러한 측면을 일정정도 뒷받침하고 있는 것으로 해석할 수 있다. 다만 기술적 요소와 경제적 요소의 상대적 중요도가 그렇게 큰 차이를 보이고 있지는 않는 것으로 나타남으로서, 두 가지 요소를 균형 있게 고려하여야만 전략적인 기술 분야를 선정할 수 있다는 사실을 보여주고 있다.

한편 기술적 요소의 하위계층 요소에 대한 상대적 중요도 산출결과를 보면, 기술 확보 가능성이 가장 중요한 것으로 나타났고, 그 다음으로 기술적 파급효과와 연구개발 인프라 부분이 거의 비슷한 정도의 중요도를 보였으며, 현재의 기술수준에 대한 중요도는 그다지 높지 않은 것으로 나타났다. 경제적 요소의 경우에는 시장 성장성이 가장 중요한 요소로 평가되었으며, 다음이 원가경쟁력 요소이었고, 현재의 시장규모가 가장 중요도가 낮은 요소로 산출되었다. 전반적으로 국내 전문가들은 향후 수출 가능한 원자력 기술분야를 선정하기 위해서는 현재의 경제적, 기술적 위치보다는 미래의 기술력 확보 가능성이나 시장 성장성을 중요하게 고려하여야 할 것으로 응답하고 있다.

3.3 기술 분야별 수출 가능성 평가

본 연구에서는 각 하위계층 평가요소별로 9개의 원전기술에 대한 수출 가능성을 7점 척도로 질문하였으며 응답결과에 대한 신뢰성 검정결과는 Cronbach-alpha 값이 0.9566으로 신뢰성이 높은 결과가 도출되었다. 다음 <표 4>는 기술 분야별 수출 가능성 평가 결과의 평균값을 정리한 것이다.

<표 4> 기술 분야별 수출 가능성 평가 결과

	기술적 요소				경제적 요소		
	현재 기술수준	연구 인프라	기술적 파급효과	기술확보 가능성	현재 시장규모	시장 성장성	가격 경쟁력
발전소유지보수	5.42	5.05	4.62	5.47	4.72	5.08	5.07
발전소건설/시공	5.69	5.33	5.00	5.71	4.34	4.55	5.33
원전기기부품제작	4.56	4.50	5.44	5.04	4.46	4.77	4.83
핵연료설계/제작	4.97	4.99	5.22	5.20	4.54	4.81	4.72
품질관리/보증	4.63	4.48	4.50	4.60	3.82	4.11	4.29
공정관리	4.85	4.62	4.34	4.66	3.74	4.03	4.30
방사성동위원소생산	4.20	4.21	4.66	4.62	4.28	4.81	4.24
방사성안전관리	4.64	4.52	4.43	4.52	3.88	4.25	4.24
발전소설계	4.68	4.73	5.54	5.08	4.28	4.64	4.75

응답결과를 보면, 현재의 기술수준이나 연구개발 인프라 확보의 관점에서는 ‘발전소 건설/시공’과 ‘발전소 유지 보수’ 기술이 높은 기술수준을 확보하고 있는 것으로 나타났다. 반면에 기술적 파급효과의 측면에서는 ‘발전소 설계와 원전기기 부품제작’ 기술이 가장 파급효과가 클 것으로 평가 되었으며, 그 다음으로 ‘핵연료 설계/제작’ 과 ‘발전소 건설/시공’ 기술이 뒤를 이었다. 기술확보 가능성의 측면에서는 ‘발전소 건설/시공’ 기술이 월등히 높은 점수를 보였고, 그 다음으로 ‘발전소 유지/보수’ 와 ‘핵연료 설계/제작’ 기술이 가능성이 높은 분야로 나타났다.

경제적 요소 중 현재 시장규모는 ‘발전소 유지/보수’ 기술이 가장 규모가 큰 것으로 추정되었으며, ‘시장 성장성’도 ‘발전소 유지/보수’ 기술이 전망이 좋을 것으로 나타났다. 그 다음으로 시장 성장성이 높을 것으로 예측된 기술 분야는 ‘핵연료 설계/제작’과 ‘방사성 동위원소 생산’ 분야가 있었다. 마지막으로 가격 경쟁력 측면에서는 ‘발전소 건설/시공’ 분야가 가장 경쟁력이

있을 것으로 응답되었고, 그 다음이 ‘발전소 유지/보수’ 기술 분야였다.

한편 ‘품질관리/보증’과 ‘공정관리’ 그리고 ‘방사성 안전관리’ 기술 분야는 전반적으로 모든 평가요소에서 경쟁력이 낮은 기술 분야로 나타났다.

3.4 수출 경쟁력 관점에서 원자력 기술분야별 우선순위 도출

다음 <표 5>는 AHP를 이용하여 도출한 평가요소별 상대적 중요도 값과 기술분야별 수출 가능성 평가결과를 이용하여 각 기술 분야의 수출 가능성에 대한 가중평균 값을 계산하고 그 결과값을 기초로 기술 분야에 대한 우선순위를 도출하여 정리한 것이다.

<표 5> 전략적 원전기술 분야의 순위 결과

순위	기술분야	가능성 점수 (7점 만점)
1	발전소 건설/시공	4.665
2	발전소 유지보수	4.612
3	핵연료 설계/제작	4.469
4	원전기기 및 부품제작	4.412
5	발전소 설계	4.408
6	방사성동위원소생산	4.081
7	방사성 안전관리	3.961
8	공정관리	3.953
9	품질관리/보증	3.949

결과를 보면 수출 가능성 점수를 기초로 국내 원자력 기술분야의 수출 가능성 순위를 크게 세 가지 단계로 분류할 수 있다. 우선 기술적, 경제적 관점을 종합해서 볼 때, ‘발전소 건설/시공’ 기술과 ‘발전소 유지/보수’ 기술 분야가 가장 수출 가능한 상위 그룹 기술분야로 나타났다. 그 다음 단계를 형성하는 중위 그룹 기술 분야로는 ‘핵연료 설계/제작’, ‘원전기기 및 부품제작’, ‘발전소 설계’ 기술이 위치하고 있었으며, 수출경쟁력이 가장 낮은 하위 그룹의 기술 분야로는 ‘품질관리/ 보증’, ‘공정관리’, ‘방사성 안전관리’ 그리고 ‘방사성 동위원소 생산’ 기술 분야가 있음을 알 수 있다.

4. 결론

수출경쟁력 관점에서 원자력 기술분야에 대한 우선순위를 도출하기 위해서는 체계적인 의사결정 계층구조를 구성하고, 이러한 의사결정 계층구조 하에서 각 기술분야의 수출 가능성을 평가하기 위한 일정한 평가기준들을 선정하여야 할 것이다. 그리고 의사결정자 또는 전문가들의 의견을 종합하여 각 계층상의 평가기준들에 대한 중요도 및 각 기술 분야별 수출 가능성을 평가하여, 최종적으로 원자력 기술 분야들의 수출 가능성에 관한 우선순위를 도출하여야 할 것이다. 본 연구에서는 이와 같은 국내 보유 원자력기술 중 수출유망 기술을 도출하기 위한 의사결정 문제가 계층화된 의사결정 문제라는 인식하에, 수출 경쟁력을 평가하기 위한 평가기준들의 중요도 가중치를 보다 객관적으로 산출하기 위해 체계적 의사결정분석과정의 중요도 산출에 널리 활용되고 있는 AHP를 분석방법론으로 선정하였다.

AHP 방법론을 통한 본 연구의 결과가 수출 가능한 전략적 원자력 기술분야를 선정하는데 있어서 유일하고 확실한 결과를 보장할 수는 없다. 그러나 국내의 원자력 관련 전문가들의 광범위한 의견을 기초로 하고 있다는 점에서 일정정도 의견의 편향성을 배제하면서 결과의 대표성 또한 확보하고 있다고 말할 수 있으며, 이들의 의견을 체계적인 방법론을 통하여 계량적으로 종합화하였다는 점에서 일정정도 결과의 과학성 및 객관성을 보장할 수 있는 결과라고 볼 수 있겠다. 이러한 관점에서 볼 때 본 연구의 결과가 효율적이고 효과적으로 수출 가능한 전략적 원자력 기술 분야를 선정하는 문제에 있어서 꽤 의미 있는 가이드라인을 제시할 수 있으리라 기대한다. 또한 본 연구에서 사용된 의사결정분석 방법론은 여타 원자력 관련 전략적 의사결정 시 적절히 수정, 보완되어 활용될 수 있으리라 기대한다.

다만 우선순위 도출에 있어서 본 연구의 결과를 보면 각 기술분야의 점수 차이가 너무 적어 변별력이 부족한 경향이 있으므로, 추후 연구에서는 설문결과의 일관성을 높이는 방안을 마련하여 우선순위를 보다 확실하게 결정할 수 있는 노력이 필요할 것이다. 특히 본 연구의 경우, 원자력학회 등록 인력으로 구성된 전문가 집단을 대상으로 실시한 설문조사의 응답률과 유효자료 비율이 다소 낮았다는 문제점을 보이고 있으므로, 추후 유사한 연구를 수행하는 경우에는 소수의 전문가 집단을 선정하여 평가방법에 대한 내용을 사전에 숙지시키고 델파이 방법을 동원하여 평가함으로써 이와 같은 문제점을 보완하는 노력 등이 요구된다. 마지막으로 본 연구의 수출 유망한 원자력 기술 분야 선정결과를 기초로 향후 보다 구체적이고 정량적으로 수출가능한 시장의 규모 및 성장률에 대한 전망과 수출점유가능성에 대한 면밀한 분석이 전략적 관점에서 이루어져야 할 것이다.

〈참고문헌〉

- 안승범 · 김의준 · 변의석 (2003), “계층분석방법을 이용한 화물터미널 입지선정에 관한 연구: 영남권 내륙화물기지 사례를 중심으로”, 「산업공학」, 제16권 제1호, pp. 34-43.
- 이동엽 · 안태호 · 황용수 (2002), “AHP를 이용한 과학기술 부문별 국가연구개발 투자우 선순위 선정”, 「기술혁신연구」, 제10권 제1호, pp. 83-97.
- 조성백 · 한인구 (2002), “AHP를 이용한 신규사업과제의 평가모형 개발 및 통신장비회사의 사례연구”, 「한국경영과학회지」, 제27권 제1호, pp. 53-73.
- Al-Harbi, K. A. (2001), “Application of the AHP in Project Management”, *International Journal of Project Management*, Vol. 19, pp. 19-27.
- Lai, V. S., R. P. Trueblood and B. K. Wong (1999), “Software Selection: A Case Study of the Application of the Analytical Hierarchical Process to the Selection of a Multimedia Authoring System”, *Information & Management*, Vol. 36, pp. 221-232.
- Miller, G. A. (1956), “The Magical Number Seven Plus or Minus Two: Some Limits on Our Capacity for Processing Information”, *The Psychological Review*, March, pp. 81-97.
- Saaty, T. L. (1977), “A Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structures”, *Journal of Mathematical Psychology*, Vol. 15, pp. 234-281.
- Saaty, T. L. and L. Vargas (2001), *Models, Methods, Concepts and Applications of the Analytical Hierarchy Analysis*, International Series: Kluwer Academic Publishers.