

다속성 효용분석을 이용한 원자력연구개발과제 사후평가지표 개발*

A multi-attribute index for evaluating of national nuclear
R&D projects in Korea: multi-attribute utility analysis

곽 승 준** · 유 승 훈*** · 김 찬 준****

〈目 次〉

- | | |
|-----------------|-----------------|
| I. 서 론 | IV. 연구결과에 대한 논의 |
| II. 연구방법론: MAUA | V. 결 론 |
| III. 적용절차와 결과 | |

<Abstract>

The national nuclear R&D projects have been implemented for the purpose of supply of nuclear power which was proved to be safety and stability. Evaluating the national nuclear R&D projects has critical importance in nuclear energy management aspect. This paper employs multi-attribute utility analysis as a basis for obtaining an evaluation index to assess the national nuclear R&D projects using a specific case study of Korea. To structure and quantify basic values for the evaluation, we elicited important attributes, then refined and structured them into a hierarchy. A multi-attribute index is constructed as a multi-attribute utility function, based on value judgments provided by a group of technical experts, policy makers, and faculties. As a result, the objective of attainment of a proposed object is given the highest priority, followed by appropriateness of project and research strategy, utilization of research output, within attribute ranges defined for the attributes. We found that the work and results of this study can provide valuable insights and decision opportunities for virtually all major decision making in evaluation of the national nuclear R&D projects in Korea.

Key words: 다속성 의사결정, 다속성 효용분석, 원자력연구개발과제, 사후평가지표

* 본 논문은 2001년 5월 한국기술혁신학회 춘계학술대회에 발표한 논문을 수정·보완하여 작성되었다.
** 고려대학교 교수
*** 호서대학교 교수
**** 고려대학교 연구원

I. 서론

원자력은 국내·외적인 환경의 변화에 따라 그 중요성이 더욱 부각되고 있다. 1970년대 이후 우리나라는 본격적으로 추진된 경제개발계획에 따라 중화학공업을 중심으로 높은 경제성장을 지속해 왔다. 한편 경제성장과 함께 에너지소비 또한 높은 성장세를 보였다. 1985년 이후 급증하였던 에너지소비는 경제침체 후인 1998년에 1997년 대비 15.6% 하락하였으나 다시 1999년에 7.5% 상승하였다(과학기술부, 2000a). 또한 에너지자원의 한계와 에너지소비의 급증으로 국내의 해외에너지 수입의존도는 1999년의 경우 97%에 달하였다. 에너지 소비증가세는 당분간 지속될 것으로 보이며, 거의 모든 에너지를 외국에서 수입하게 될 것으로 전망되고 있다. 따라서 우리나라가 현실적으로 선택할 수 있는 에너지원의 범위는 매우 한정적이며, 특별한 대체에너지가 없는 이상 현 시점에서 원자력은 유일한 대안이 되고 있다(산업자원부, 2001).

과학기술부는 에너지의 안정적인 확보, 원자력기술 선진화, 원자력 이용 다변화 및 원자력산업 경쟁력 제고 등을 목표로 원자력진흥종합계획의 부문별 시행계획의 일환으로 1992년 6월에 『원자력연구개발 중·장기계획(1992~2001)』을 수립하였다. 이후 1999년 2월에 과학기술부는 원자력연구개발사업을 목표지향적, 수요지향적, 그리고 공개경쟁적인 체제로 개편하기 위하여 『원자력연구개발 중·장기계획』을 보완·수정하여 시행해 오고

있다. 원자력연구개발사업은 원자로 및 핵연료, 원자력 안전, 방사성폐기물관리, 방사선 이용 및 방호, 원자력기반 등의 분야에서 추진되고 있다(과학기술부, 2001).

원자력연구개발사업에 대한 정부의 투자가 증대되고 있는 가운데, 원자력연구개발과제에 대한 성과분석과 사후평가체계의 마련이 중요한 이슈로 등장하고 있다. 즉, 원자력연구개발과제로 인한 기술개발과 원자력산업의 국가경쟁력확보라는 측면뿐만 아니라 연구개발과제의 효율성 및 연구결과에 대한 평가체계의 확립이 중요시되고 있다. 따라서 1999년에 과학기술부는 원자력연구개발과제는 물론 국가연구개발과제에 대한 평가를 목적으로 한국과학기술기획평가원(KISTEP)을 설립·운영하고 있다.

한편 원자력연구개발과제의 다양성과 복잡성이라는 특성과 평가지표 선정상의 문제로 인해 연구개발과제 평가시 전문가들간에 의견이 서로 상충될 수 있다. 또한 정부 및 관리기관인 한국과학기술기획평가원에 의한 일방향적 평가는 과제의 특성과 연구자의 견해가 효과적으로 평가에 반영되지 못하는 측면이 있다. 이러한 문제의식 하에서 전문가들은 원자력연구개발과제의 특성에 맞는 객관적이고 과학적인 평가방법과 이를 통한 평가지표개발의 필요성을 인식해 왔다. 따라서 원자력뿐만 아니라 국가연구개발과제에 대한 평가와 의사결정에 도움을 줄 수 있는 방법론에 대한 관심이 증가하여, 여러 가지 평가기법들이 다양한 실증연구에서 사용되어 왔다(Lee et al., 1996; 이찬구, 1997; 임윤철 외, 1997; 과학기술부, 2000b; 한국과학기술기획평가원, 2001).¹⁾

1) 실증연구에서 적용한 연구개발과제에 대한 평가기법으로는 서지분석법, 과학기술지표법, 비용-편익 분석법, 경제적 영향 분석법 등이 있다. 서지분석법은 출판물의 수나 출판물에 대한 인용의 빈도 등을 분석하는 방법으로 정량적 기법의 보조수단으로 많이 활용된다. 과학기술 지표법은 측정수단들은 집계수준에 수집될 뿐, 이러한 지표를 이용하여 구체적인 연구개발활동의 연구성과를 측정하는 데에는 단점을 가지고 있다. 비용-편익분석은 할인율과 할인시점의 결정 문제, 화폐로 환산할 수 없는 무형의 편익들을 고려하기 어려움이 있다. 계량경제법의 단점은 충분한 양의 이용가능한 자료 또는 관측치를 확보하는데 문제가 있으며, 이는 단일 연구개발과제에 대해 특히 문제가 된다.

이때 도출되는 여러 가지 정보는 연구개발과제평가에서 가치판단의 기본적인 중요성에 관심을 집중시켰다. 하지만 연구개발과제평가에서 고려되어야 할 요소는 대단히 많은 반면, 가용기법은 적용하기에 비용, 시간 등의 측면에서 어려움이 적지 않다. 즉, 문제의 다차원성(multi-dimensionality)을 반영하는 방법론이 개발되어야 한다. 최근 들어 연구개발과제에 대한 평가에 다속성 의사결정법(multi-attribute decision approach)을 이용한 평가방법이 다각도로 진행되고 있다(과학기술정책연구원, 1995; Brown *et al.*, 1995; Kagazyo *et al.*, 1997; Pan and Rahman, 1998; Goumas *et al.*, 1999; 한국개발연구원, 2000).

다속성 의사결정법은 다양한 기준들을 고려하여 의사결정을 내리는 방법이다. 다속성 의사결정법은 확일적 평가기준이 아닌 다양한 전문가들의 의견을 반영하여 평가기준을 설정한 후, 설정된 평가기준을 토대로 평가지표들을 계층적 구조로 구성하여 평가 지표개발에 유용하다. 따라서 도출된 다속성 지수(multi-attribute index)는 원자력연구개발과제의 종합 목표 하에 각각의 세부과제들의 성과를 사후적으로 평가하기 위한 평가지표로 사용될 수 있다. 원자력연구개발과제의 평가에 적용할 수 있는 유용한 방법론 중 하나는 다속성 의사결정법의 한 가지 방법인 다속성 효용분석(multi-attribute utility analysis: MAUA)이다. MAUA는 여러 속성들의 가치로부터 전체적인 의사결정이 가능하도록 해주며 전문가들이 느끼는 가치에 숫자를 적절하게 부여할 수 있어 정성적 평가지표를 계량화하는 데 유용하다. 또한 MAUA는 속성수준선택의 유연성으로 인해 시점별, 세부과제별 상이

한 특성들을 반영하므로 연구개발과제의 지속적인 평가를 가능하게 만드는 장점을 지니고 있다.

본 논문은 평가와 관련한 의사결정상황에서 MAUA를 적용하여 연구개발과제 사후평가지표를 개발하고자 한다.²⁾ 즉, 원자력연구개발과제 평가시 전문가들이 중요하게 고려하는 목표를 식별해낸 후, 원자력연구개발과제 사후평가지표구성을 위한 속성들을 밝혀낸다. 도출된 속성들을 체계적으로 결합할 수 있는 다속성 효용함수(multi-attribute utility function: MUF)를 통한 다속성 지수를 개발한다. 이러한 노력의 목적은 원자력연구개발과제에 대한 사후평가지표 개발을 통해, 원자력연구개발과제 평가에 필요한 객관적 기준 및 근거를 마련하며, 기술 및 정책 전문가의 의견 반영뿐만 아니라 다양한 계층의 입장도 반영함으로써 보다 효과적인 원자력연구개발과제 평가방안을 마련하는 것이다. 특히, 원자력연구개발과제의 사후평가에 대한 가치판단을 얻는 기초로서 MAUA의 적용가능성을 검토한다.

이후 본 논문의 구성은 다음과 같다. 제Ⅱ장에서는 연구의 방법론인 MAUA에 관해 개략적으로 소개한다. 제Ⅲ장에서는 구체적인 실증연구절차 및 결과를 설명한다. 제Ⅳ장에서는 연구결과에 대한 논의 및 결과의 잠재적 유용성을 제시하고, 마지막장은 결론으로 할애한다.

2) 일반적으로 원자력연구개발과제에 대한 평가는 사전평가, 사후평가, 그리고 중간평가로 구성되며, 본 연구에서는 사후평가에 초점을 맞추었다. 사후평가는 과제 종료 후 해당과제의 성과 및 이와 관련된 여러 가지 항목을 기준으로 과제가 제대로 수행되었는지, 연구결과가 유용한지에 대한 다양한 평가기준 하에 평가하는 것을 의미한다.

II. 연구방법론 : MAUA

다속성 의사결정법인 MAUA는 복잡한 의사결정에 대한 식견을 얻는 데 유용한 통계적 의사결정이론부터 개념적인 구조를 도입하고 있다. 또한 심리학, 경영과학 등으로부터의 일련의 응용기법과 실증경험에서 개발된 의사결정이론을 포함하고 있다. 특히, MAUA는 통상적인 비용-편익 분석의 외부에 놓여 있는 무형의 부분에 대한 인식이 증가하고 다뤄야 할 대상이 일차원적이지 않고 다차원적인 부분이 많아짐에 따라 공공부문에 널리 적용되어 왔다.

MAUA는 여러 속성들의 가치로부터 전체적인 의사결정이 가능하도록 해주는 것으로 사람들이 느끼는 가치에 숫자를 적절하게 부여할 수 있는 조건들을 공리적으로 정리한 것이다(Keeney, 1982; von Winterfeldt and Edwards, 1986). 본질적으로 MAUA는 선호에 대한 일련의 공리적 이론들이며 각 이론의 중심 내용은 다음과 같다.

사람들이 자신의 선호에 근거한 선택을 할 수 있고 이러한 선택들이 공리를 만족시킨다면 효용이나 가치는 숫자로 표현될 수 있으며, 더 큰 값을 갖는 것이 보다 선호되도록 효용함수를 구성할 수 있다(이윤중, 1999; 이창효, 1999).

MAUA를 통한 의사결정론적 접근방법은 지난 40여년 동안 꾸준히 발전되어 왔을 뿐만 아니라 수자원개발계획, 대규모 발전소입지 등 환경이나 지역경제에 큰 파급효과를 갖는 대규모 프로젝트 및 공공계획에 대한 공학적, 경영학적 의사결정과정에 폭넓게 활용되어 왔다. 예를 들어, Jones *et al.*(1990)과 McDaniels(1994)는 MAUA를 적용하여 각각 영국에너지 정책에 대한 평가와 BC Hydro 수력발전회사의

네 가지 전략에 대한 평가를 하였다. 또한 Keeney and von Winterfeldt(1994)는 원자력폐기물 처리전략의 선정에, Kim *et al.*(1998)은 전략산업의 입지선정 문제에 관한 가치판단에 MAUA를 적용한 바 있다.

한편 MAUA는 연구개발과제평가 이외의 분야에서 대상의 속성에 대한 지수도출 및 이를 이용한 가치판단 작업에 이용되고 있다. 예를 들어, Kwak *et al.*(2002)은 MAUA를 이용한 환경영향의 중요도에 관한 가치판단을 이끌어 낸 후 이를 이용하여 환경영향지수를 도출하였다. 유승훈 외(2000)는 전파자원의 장기적인 관리정책에 영향을 미치는 요소를 개발하고 MAUA를 적용하여 다속성 평가지수를 도출하였다. 한편 Feeny *et al.*(1998)은 의학분야에서 건강효용지수를 개발하기 위해 MAUA를 사용하였다. 비록 국내에서 박주형·김정흠(1999)이 연구개발사업 우선순위 선정에 MAUA를 적용한 바가 있으나 연구개발과제 사후평가를 위한 다속성 지수개발에 관한 국내·외 연구는 아직 없는 상태이다. MAUA는 연구개발평가에 대한 다양한 모형과 기법을 제시하고 있으며 원자력연구개발과제 평가를 위해 정교하게 묘사하는데 필요한 방법론을 제공한다. 따라서 이러한 접근절차를 이용할 경우 원자력연구개발과제 사후평가를 위한 다속성 지수를 도출하는데 유용하다.

이하의 내용에서는 원자력연구개발과제의 사후평가 지표개발에 MAUA를 적용하고자 한다. 본 연구에서는 평가지표를 결정하고 MAUA에 근거한 가중치를 산정하기 위해 원자력전문가들을 대상으로 인터뷰를 실시하였다. 이를 통해 원자력연구개발과제에 대한 사후평가지표인 다속성 지수를 도출한다. 아울러 도출된 다속성 지수를 이용하여 원자력연구개발과제 관련 전문가를 대상으로 실제 원자력연구개발과제에 대한 사후평가를 실시한다.

Ⅲ. 적용절차와 결과

본 장의 주요한 관심은 원자력연구개발과제를 사후평가할 수 있는 다속성 지수를 도출하는 데 있다. MAUA를 이용하여 고려대상 속성에 대한 전문가의 관점을 수학적으로 대표하는 종합지수(overall index), 즉 종합 효용함수(overall utility function) 또는 종합 가치함수(overall worth function)라고도 불리는 MUF의 개발 단계를 살펴본다. 한편 원자력연구개발과제 사후평가에 MAUA를 적용하기 위해서는 다음과 같은 항목들의 설정이 명확해야 한다. 첫째, 속성에 대한 가중치 산정방법에 대한 논의, 둘째, 단일속성 효용함수의 형태에 대한 논의, 셋째, 속성별 가중치와 효용함수에 대한 MUF의 설정문제, 넷째, 다수전문가들의 의견에 대한 수렴문제에 관한 것이다. 이러한 문제의식 하에서 원자력연구개발사업 사후평가에 대한 MAUA의 적용절차를 다음의 여섯 단계로 채택하였다.

1. 구체적 목표와 평가지표의 식별

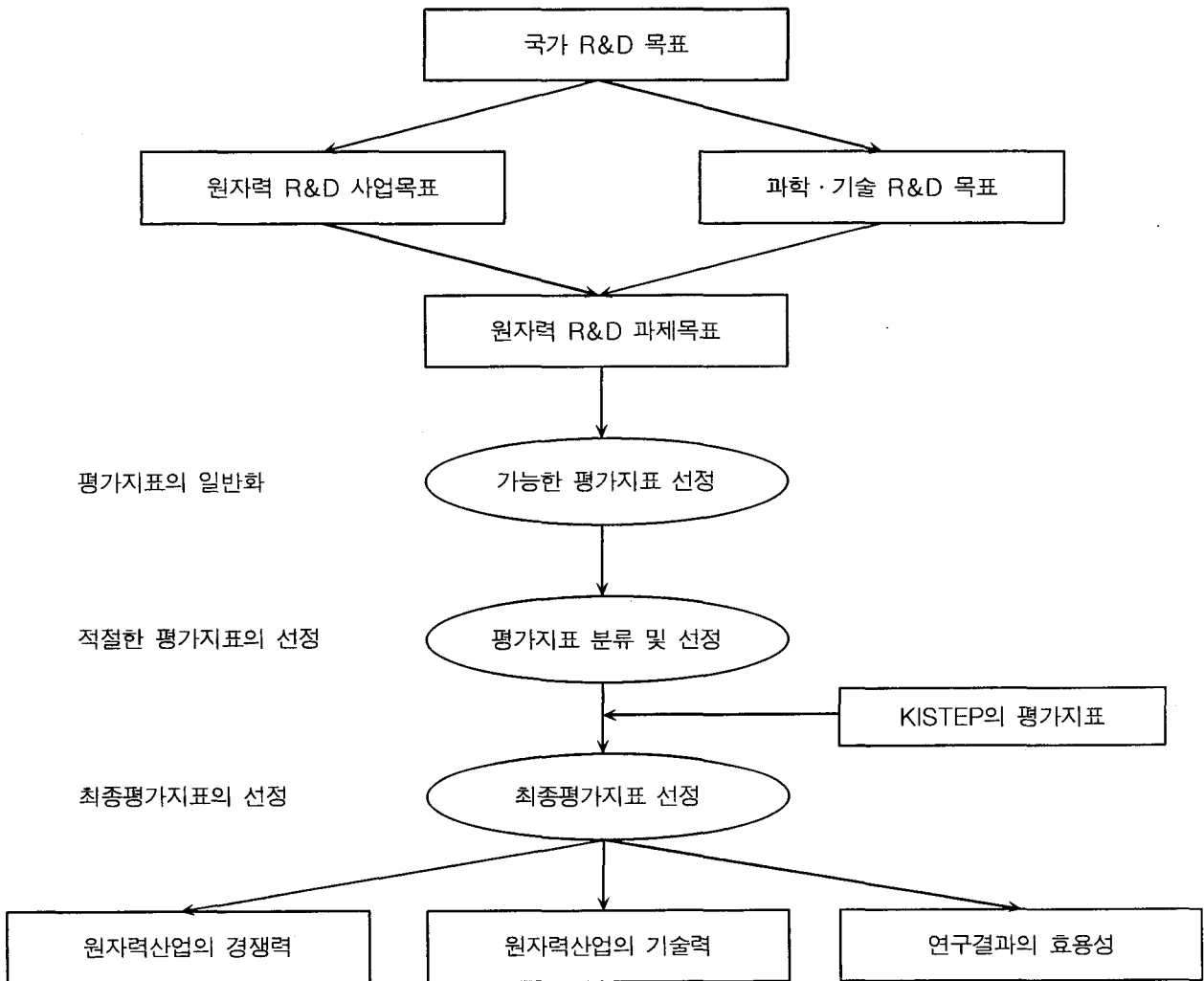
연구개발과제로 인한 원자력산업의 선진화란 종합 목표달성을 위해 주요 고려대상 평가지표(속성)들을 결정하는 단계는 목표달성의 명확화와 과제평가에 직접적인 연관성을 갖고 있기 때문에 중요하다. 구체적 목표와 평가지표의 식별방법은 원자력연구개발과제의 구성요소를 잘 이해하고 있는 전문가, 즉 원자력연구개발과제를 수행하고 있는 연구원 및 산업체, 연구개발과제를 담당하고 있는 과학기술부 등을 대

상으로 한 인터뷰 시행과 과학적 근거 확보를 위한 문헌조사로 이루어진다. 이와 같은 조사방법과 선별 작업을 통해 불필요한 속성을 제외하면서 꼭 필요한 속성을 결정할 수 있다.³⁾ 속성선택 기준에서 가장 중요한 것은 해당 속성이 사후평가단계에서 요구되는 범위에 포함되는가 여부이다. 즉, 분석의 범위를 어떻게 정하느냐가 문제인데, 전문가들에게 직접적으로 중요한 문제들에 대해서만 검토하는 방식으로 한계를 정하는 것이 바람직하다.

최종평가지표 선정과정은 「평가지표의 일반화」, 「적절한 평가지표의 선정」, 「최종평가지표의 선정」이라는 세 단계로 구별되며, 이러한 평가지표의 선정과정은 [그림 1]에 제시되어 있다.

평가지표를 선정하기 위해 본 연구에서는 평가들의 최상위 개념인 평가기준으로부터 최종적으로 원자력연구개발과제 평가지표를 도출할 수 있도록 Top-down 접근방식을 취하였다. 「평가지표의 일반화」단계에서 국가연구개발사업의 목표 및 원자력연구개발사업의 목표에 대해 고찰하였다. 국가 R&D 목표는 과학기술기반구축, 인력양성, 국제협력, 조사정책, 기술이전 및 확산 등이며, 이러한 목표 하에서 국가연구개발사업이 진행되고 있다. 또한 과학·기술 R&D 목표는 국내과학기술의 선진화 및 기술의 저변확대를 목표로 하고 있다. 원자력 R&D의 경우 국제 경쟁력제고, 원자력이용다변화, 국가의 전략적 중요성에 따른 기반기술능력확보 등의 전략적 정책목표 하에서 이루어지고 있다. 따라서 정부는 국가 R&D 목표, 과학·기술 R&D 목표, 그리고 원자력 R&D 사업목표의 맥락에서 원자력산업에 대한 기본목표를 설정하여 국가연구개발과제를 추진해 오고 있으며,

3) 속성이 만족해야 할 여러 가지 성질에 대해서는 Keeney(1992)를 참고할 수 있다.



〔그림 1〕 최종평가지표 선정과정

그 기본목표는 다음과 같다. 첫째, 국내 전력생산의 주종 에너지원으로서 원자력의 위상을 확립하여 원자력을 국내 전력의 주에너지원으로 활용하고자 한다. 둘째, 종합적이고 체계적인 원자력연구개발을 통해 원자로 및 핵비확산성 핵연료주기기술의 자립역량을 확보하고자 한다. 셋째, 민간의 창의와 참여를 바탕으로 원자력산업기술을 고도화하고 원자력을 수출산업으로 육성하고자 한다. 넷째, 농·공·의학 및 산업분야에서의 원자력 이용을 확대하고, 원자력 기초연구를 활성화하여 기초과학의 입지를 강화하고자

한다. 이와 같은 네 가지 기본목표 하에서 원자력연구개발과제의 최종적인 종합목표는 원자력산업의 선진화라 할 수 있다.

본 연구에서는 원자력산업의 선진화라는 종합목표 하에서 원자력연구개발과제의 사후평가지표를 도출하기 위해 광범위한 국내·외 문헌을 조사하였으며, 52개의 적용 가능한 평가지표를 선별해 내었다. 「적절한 평가지표의 선정」단계에서 33여 명으로 구성된 원자력 관련 전문가 집단을 대상으로 1차 설문조사를 거쳐 52개의 평가지표에서 17개의 평가지표를 도출

하였다. 「최종 적용할 평가지표의 선정」단계에서는 앞서 도출된 17개의 평가지표에 한국과학기술기획평가원(KISTEP)의 연구개발사업 평가지표를 절충하여 원자력연구개발과제 17개의 사후평가지표를 최종적으로 결정하였다. 선별과정에서 원자력산업의 선진화를 위해 고려되어야 할 대부분의 측면을 반영하는 다양한 평가지표를 식별할 수 있었다.

선별과정을 통해 결정된 원자력연구개발과제의 최종 평가지표는 <표 1>에 제시되어 있다. 종합목표 달

성을 위한 평가지표는 원자력산업의 경쟁력효과, 원자력산업의 기술력효과, 연구결과의 효율성효과 등 3개의 속성으로 구분된다. 경쟁력효과는 다시 기술수준효과, 산업효과, 기술이용효과 등 3개의 하위속성으로, 기술력효과는 투입요소효과와 학술공동효과 2개의 하위속성으로 구분되었다. 연구결과의 효율성효과는 개발목표효과 및 과제수행효과 2개의 하위속성으로 결정되었다.

<표 1> 원자력연구개발과제의 종합목표 및 평가지표

종합목표	연구개발과제로 인한 원자력산업의 선진화
<ol style="list-style-type: none"> 1. 원자력산업의 경쟁력효과 <ol style="list-style-type: none"> 1.1 기술수준효과 <ol style="list-style-type: none"> 1.1.1 기술축적효과 1.1.2 기술선진화효과 1.2 산업효과 <ol style="list-style-type: none"> 1.2.1 수입대체효과 1.2.2 수출산업효과 1.3 기술이용효과 <ol style="list-style-type: none"> 1.3.1 연구개발결과의 파급효과 1.3.2 최종 연구결과의 활용성 2. 원자력산업의 기술력효과 <ol style="list-style-type: none"> 2.1 투입요소효과 <ol style="list-style-type: none"> 2.1.1 국내외 전문가의 효율적 활용효과 2.1.2 주요 연구시설 및 설비확보효과 2.2 학술공동효과 <ol style="list-style-type: none"> 2.2.1 공개발표된 연구개발성과 2.2.2 산학연간 네트워크 구축효과 3. 연구결과의 효율성효과 <ol style="list-style-type: none"> 3.1 개발목표효과 <ol style="list-style-type: none"> 3.1.1 연구개발 목표달성 3.1.2 계획·전략의 적정성 3.2 과제수행효과 <ol style="list-style-type: none"> 3.2.1 관련문헌 및 자료조사의 충실성 3.2.2 실험 및 조사·분석결과의 신뢰도 3.2.3 관련기술개발 기간단축효과 3.2.4 연구책임자·연구원의 역할분담 및 수행적정성 3.2.5 과제계획서의 연구방법 및 추진체계의 효율적 수행여부 	

2. 평가지표의 정량화

평가지표(속성)수준의 정량화에 있어서 한가지 어려운 점은 원자력연구개발과제 평가를 위한 구체적이고 과학적인 정보가 그리 풍부하지 않다는 것이다. 따라서 본 연구에서는 평가지표의 수준을 정량화하기 위해 평가지표의 영향과 관련된 여러 가지 자료들

을 광범위하게 수집 및 검토하는 데 많은 시간을 할애하였다. 평가지표에 대한 정량화는 국내문헌들을 수집하여 외국의 문헌과 비교하여 평가지표의 단위 및 범위를 결정하였다.⁴⁾

또한 결정된 평가지표의 단위 및 범위는 1차 설문 대상자인 33명의 전문가들로부터 검토를 받았으며, 그 결과는 <표 2>에 제시되어 있다.

<표 2> 속성의 평가단위 및 범위

속 성	가장 좋은 수준	가장 나쁜 수준
1.1.1 기술축적효과 연구개발사업으로 인한 기술자립도(%)	100	0
1.1.2 기술선진화정도 선진국과의 기술격차년수(년)	0	20
1.2.1 수입대체효과 개발된 기술·제품의 연간 수입대체액(억원/년)	1000	0
1.2.2 수출산업효과 수출증가율(%)	100	0
1.3.1 연구개발결과의 파급효과 기술이용증가율(%)	100	0
1.3.2 최종연구결과의 활용성 기업의 연구개발 활용률(%)	100	0
2.1.1 국내외 전문가의 효율적 활용도 자문 및 의견수렴의 적정성(%)	100	0
2.1.2 주요 연구시설 및 설비확보정도 연구개발을 위한 설비·장비의 증가수(개)	30	10
2.2.1 공개발표된 연구개발성과 논문발표건수(편/년)	50	0
2.2.2 산학연간 네트워크 구축효과 공동연구수행회수(회수/년)	20	0
3.1.1 연구개발 목표 달성도 과제계획서의 단계연구목표 달성도(%)	100	0
3.1.2 계획·전략의 적정성 연구범위 일정계획에 따른 추진체계의 적정성(%)	100	0
3.2.1 관련문헌 및 자료조사의 충실성 관련문헌 및 자료조사의 타당성(%)	100	0
3.2.2 실험 및 조사·분석결과의 신뢰도 실험 및 조사·분석 결과의 신뢰도(%)	100	0
3.2.3 관련 기술개발기간 단축효과 연구기간 대비 기술개발기간 단축율(%)	100	0
3.2.4 연구책임자·연구원의 역할분담 및 수행적정성 역할분담 및 수행적정성(%)	100	0
3.2.5 당초 과제계획서의 연구방법 및 추진체계의 효율성 추진체계의 타당성(%)	100	0

4) 본 연구에서는 명확하고 세밀한 평가지표 및 정량화를 위해서 특정연구개발사업, 공업기반기술개발사업, 선도기술개발사업, 창의적연구개발사업, 원자력기초연구사업, 기술개발 용역사업 및 각종 연구기관평가모형의 일부 항목 등을 참고하였다.

3. 가정의 적절성 확인

MAUA는 일련의 공리에 근거하여 개별 속성에 대한 효용함수들을 체계적인 형태로 결합함으로써 속성들이 의미하는 바를 명확히 한다. 결합된 모형의 기능적 형태, 즉 지수설정을 위한 모형의 기본적인 형태는 평가속성에 대한 독립성의 유무에 의존한다. 효용함수의 집합에 영향을 주는 속성독립의 조건은 선호독립(preferential independence), 효용독립(utility independence), 가법독립(additive independence)의 세 가지이다. Fishburn(1965)은 세 개의 독립조건이 만족될 때 가법형(additive form)을 사용하는 것이 적절하다고 언급하였다. 한편, Stewart(1996)와 Hobbs and Meier(2000)는 일반적으로 실증연구에서 다속성 효용함수(multi-attribute utility function, MUF)형태를 가법형으로 가정하고 논의를 진행시켜도 결과치가 실제의 가치에 비교적 가깝다고 지적하였다.⁵⁾

실증연구의 관점에서 각 속성이 다른 속성에 대한 수단이 아니라는 점에 있어서 근본적(fundamental)이고, 속성의 목록이 포괄적(comprehensive)이라면 독립성에 대한 검증없이 가법형 형태의 MUF를 사용하는 것이 바람직하다(Keeney, 1992). 또한 가법형 형태는 다양한 상황에서 응용 MAUA 연구에 대해 강건(robust)할 뿐만 아니라 보다 복잡한 승법형(multiplicative) 형태의 기본적인 출발점이 되기에 충분하다(Hobbs, 1986; McDaniels, 1996; Stewart, 1996). 대부분 실증연구에서 의사유도절차의 복잡성을 줄이기 위해 단순한 가법형 형태가 널리 사용된다

(Edwards and von Winterfeldt, 1987). 따라서 본 연구에서는 근본적인 초점에 맞추고 이중계산을 피함으로써 독립적일 수 있는 잘 정의된 속성집합을 정의하고자 하였으며, MUF를 가법형으로 가정한다.⁶⁾

4. 단일속성 효용함수의 도출

이 단계에서는 MUF의 구성요소인 단일속성 효용함수의 적합한 형태를 결정한다. 이를 위해서는 먼저, 각 속성에 대한 전문가의 위험태도(risk-attitude), 즉 위험기피(risk-averse), 위험중립(risk-neutral), 위험선호(risk-prone)가 결정되어야 한다. 그런 후에 일반적인 형태로부터 구체적인 단일속성 효용함수가 식별된다. 단일속성 효용함수는 지수 및 선형함수형태가 가정되며, 이러한 형태를 사용하는 것이 전문가의 단일속성 효용함수를 도출하는 데 있어서 강건한 것으로 알려져 있다. 이론적으로 구간에 따라 증감이나 서로 다른 위험태도가 혼재된 보다 복잡한 함수형태를 사용하여 효용함수의 형태를 결정할 수 있다. 하지만 여러 실증연구결과로 판단할 때, 단일속성 효용함수가 MUF의 구성요소로 사용되는 경우에는 복잡한 효용함수가 거의 요구되지 않는다(Keeney, 1992; Hobbs and Meier, 2000).

전문가들의 위험태도에 대한 단일효용함수의 구체적인 형태는 다음과 같다.

$$u(x) = a - b \exp(-cx) \tag{1}$$

$$u(x) = a + b (cx) \tag{2}$$

$$u(x) = a + b \exp(cx) \tag{3}$$

5) MUF형태의 자세한 내용은 Farquhar(1984), Hobbs(1986), Barron and Schmidt(1988), Delquie and Luo(1997)과 Lam et al.(1997)을 참고하기 바란다.

6) 3개의 독립성 가정에 대한 검토가 MUF 형태를 결정짓는 데 필요하며, 3개 모두가 만족될 때 가법형이 적절하다. 본 연구에서는 독립성 가정에 대한 검토를 하지 않고 가법형 효용함수를 사용한다. 하지만 본 논문의 목적이 현존하는 문헌에 근거하기에 가정의 적절성 검증이 본 연구의 주요결과에 영향을 주지는 않을 것이다.

여기서 a 와 b 는 $u(x) \in [0,1]$ 을 보장하는 0보다 큰 상수이며, c 는 증가함수에서는 (+)이고, 감소함수에서는 (-)인 상수이다. 또한 c 는 각 식에서 위험기피도를 나타내며, 식 (1)에서는 증가함수이면 1, 감소함수이면 -1이다. 식 (1)은 위험기피적, 식 (2)은 위험중립적, 식 (3)은 위험선호적 효용함수를 나타낸다.

본 연구에서는 전문가들의 단일속성 효용함수를 구하기 위해 1차 설문대상자 33명을 포함하여 총 206명을 대상으로 직접면담과 우편을 통해 2차 설문을 실시하였다. 설문결과 응답한 전문가는 56명이었으나 우편설문에 의한 10명의 설문은 일관성의 결여로 실증분석에는 이를 제외시켰다. 결국 원자력전문가 46명의 단일속성 효용함수를 도출할 수 있었다.⁷⁾

5. 속성의 상대적 중요성 평가

이 단계의 목적은 여러 속성의 상대적 중요성에 대한 전문가들의 태도를 결정하는 것이다. 즉, 2차 설문을 통해 전문가들로부터 각 속성에 대한 순위와 가중치 응답을 이끌어냄으로써 3개의 하위목표와 17개의 속성 중 어느 것이 보다 중요하며 얼마나 더 중요한지에 대해 분석한다. 따라서 본 연구에서는 속성의 가중치를 결정하기 위해 스윙기법(swing weighting)을 사용하였다(Roessler and McDaniels, 1994; Hobbs and Meier, 2000; Russell et al., 2001; Yoo et al., 2001; Kwak et al., 2002).

스윙기법은 가중치를 결정하는 여러 가지 방법 중에 하나이다.⁸⁾ 스윙기법은 실증연구에서 가장 널리

사용되며 가장 적절한 방법으로, 방법상 절차는 다음과 같다. 먼저 각 전문가들은 가장 중요한 속성에서 가장 덜 중요한 속성들을 차례대로 나열한다. 순위를 매기는 작업은 각 속성의 중요성에 대한 전문가들 자신의 가치판단에 근거한다. 다음으로 가장 중요한 속성에 100의 점수를 주고, 속성의 상대적 중요도에 따라 감소하는 형태로 점수를 매긴다. 점수는 합해서 특정한 숫자가 될 필요는 없지만 반드시 감소형태가 되며 동일한 중요도를 갖는 속성에는 같은 점수를 매겨도 무방하다. 한편, 독립성 조건의 충족을 위해 전문가들에게 인터뷰 실시과정에서 고려하고 있는 각 속성을 제외한 나머지 속성들은 어떤 특정수준에서 변화하지 않음을 지속적으로 주지시켰다.

6. MUF의 구성

MAUA 방법에서 도출된 속성들은 연구의 대상이 되는 종합목표에 얼마나 기여하는가를 나타내는 하나의 수학적인 MUF로 결합될 수 있으며, 이는 종합목표를 평가하는 일종의 다속성 지수를 개발하는 데 사용될 수 있다. 다속성 효용함수 U 는 식 (4)와 같이 원자력산업의 경쟁력효과(x_1), 기술력효과(x_2), 그리고 연구결과의 효율성효과(x_3)의 3개의 구성요소를 가지고 있으며 가법형의 구조를 가진다.

$$U(x_1, x_2, x_3) = k_1 u_1(x_1) + k_2 u_2(x_2) + k_3 u_3(x_3) \quad (4)$$

여기서 $\sum_{i=1}^3 k_i = 1$ 이고, <표 2>의 범위에 걸쳐 U 와

7) 46명의 원자력전문가들은 단일속성 효용함수 도출과정에서 17개의 평가지표에 대해 다양한 위험태도를 보였다. 각 전문가에 대한 단일속성 효용함수의 구체적 형태를 제시하기 위해서는 상당한 지면이 필요하므로 본 논문에서는 이의 소개를 생략하고자 한다. 그러나 필요시 저자에게 요청할 수 있다.

8) 가중치를 결정하는 여러 가지 방법의 소개와 스윙기법의 바람직성에 대한 보다 자세한 논의는 Roessler and McDaniels(1994)와 Hobbs and Meier(2000)를 참고할 수 있다.

u_i 는 0에서 1사이의 크기를 가지며, k_i 는 주요 구성요소에 대한 비례상수이다.

경쟁력효과는 효용함수 u_1 이 기술수준효과, 산업효과 및 기술이용효과와 3개 하위 속성에 대해서, 기술수준효과(u_{11})의 2개 하위 속성과 기술이용효과(u_{13}) 2개 하위속성에 대해서 각각 가법형이다. 산업효과(u_{12})의 2개 하위속성에 대해서도 가법형으로 표현될 수 있다.

$$u_1(x_1) = u_1(x_{11}, x_{12}) = k_{11}u_{11}(x_{11}) + k_{12}u_{12}(x_{12}) + k_{13}u_{13}(x_{13}) \quad (5)$$

$$u_{11}(x_{11}) = u_{11}(x_{111}, x_{112}) = k_{111}u_{111}(x_{111}) + k_{112}u_{112}(x_{112}) \quad (6)$$

$$u_{12}(x_{12}) = u_{12}(x_{121}, x_{122}) = k_{121}u_{121}(x_{121}) + k_{122}u_{122}(x_{122}) \quad (7)$$

$$u_{13}(x_{13}) = u_{13}(x_{131}, x_{132}) = k_{131}u_{131}(x_{131}) + k_{132}u_{132}(x_{132}) \quad (8)$$

여기서 $\sum_{i=1}^3 k_{1i} = 1, \sum_{i=1}^2 k_{11i} = 1, \sum_{i=1}^2 k_{12i} = 1, \sum_{i=1}^2 k_{13i} = 1$ 이 만족되며, 모든 u 는 <표 2>의 범위에 걸쳐 0에서 1사이의 값을 가지고, k 는 이러한 범위에 대응되는 비례상수이다.

원자력기술력향상효과 효용함수 u_2 는 투입요소효과, 학술공동효과와 2개 하위 속성에 대해 가법형이며, 투입요소효과 효용함수(u_{21})은 2개의 하위 속성에 대해, 학술공동효과 효용함수(u_{22})는 2개의 하위 속성에 대해서 역시 가법형이다. 여기서 $\sum_{i=1}^2 k_{2i} = 1, \sum_{i=1}^2 k_{21i} = 1, \sum_{i=1}^2 k_{22i} = 1$ 이 만족되며, 모든 u 는 <표 2>

의 범위에 걸쳐 0에서 1사이의 크기를 가진다.

$$u_2(x_2) = u_2(x_{21}, x_{22}) = k_{21}u_{21}(x_{21}) + k_{22}u_{22}(x_{22}) \quad (9)$$

$$u_{21}(x_{21}) = u_{21}(x_{211}, x_{212}) = k_{211}u_{211}(x_{211}) + k_{212}u_{212}(x_{212}) \quad (10)$$

$$u_{22}(x_{22}) = u_{22}(x_{221}, x_{222}) = k_{221}u_{221}(x_{221}) + k_{222}u_{222}(x_{222}) \quad (11)$$

연구결과의 효율성효과의 효용함수 u_3 는 개발목표효과, 과제수행효과와 2개 하위 속성에 대해, 개발목표효과 효용함수(u_{31})은 2개의 하위 속성에 대해 가법형이다. 과제수행효과 효용함수(u_{32})는 5개의 하위 속성에 대해서 역시 동일하다. 여기서 $\sum_{i=1}^2 k_{3i} = 1, \sum_{i=1}^2 k_{31i} = 1, \sum_{i=1}^5 k_{32i} = 1$ 이 만족되며, 모든 u 는 <표 2>의 범위에 걸쳐 0에서 1사이의 값을 가진다.

$$u_3(x_3) = u_3(x_{31}, x_{32}) = k_{31}u_{31}(x_{31}) + k_{32}u_{32}(x_{32}) \quad (12)$$

$$u_{31}(x_{31}) = u_{31}(x_{311}, x_{312}) = k_{311}u_{311}(x_{311}) + k_{312}u_{312}(x_{312}) \quad (13)$$

$$u_{32}(x_{32}) = u_{32}(x_{321}, x_{322}, x_{323}, x_{324}, x_{325}) = k_{321}u_{321}(x_{321}) + k_{322}u_{322}(x_{322}) + k_{323}u_{323}(x_{323}) + k_{324}u_{324}(x_{324}) + k_{325}u_{325}(x_{325}) \quad (14)$$

식 (4)의 최종적인 MUF는 식 (5)부터 식 (14)까지를 이용하여 구성된다.

한편, 한 명의 전문가를 대상으로 MAUA를 적용할 경우 단일속성 효용함수에 의해 도출된 값들을 가법의 형태로 합치기만 하면 된다. 하지만 다수전문가들을 대상으로 한 경우 효용함수의 결합문제에 직면하게 된다. 이를 해결하기 위해 본 연구에서는 단일속성 효용함수를 위험중립의 형태로 가정하였다. 또한 식(4)에 따라 MUF를 구성하는 비례상수(가중치)는

46명의 전문가를 대상으로 구해진 가중치를 하나의 값으로 도출하기 위해 산술평균(arithmetic mean)과 기하평균(geometric mean)에 의해 구해졌다(Bard, 1992).⁹⁾ <표 3>은 전문가들의 가치판단에 근거하여 원자력연구개발과제 평가와 관련된 속성들의 우선순위 계산결과를 보여 주고 있으며, 가중치는 합쳐서 1이 되도록 정규화되었다.

〈표 3〉 가중치산정과 중요도 순위

속 성	산 술 평 균		기 하 평 균	
	가 중 치	순 위	가 중 치	순 위
1.1.1	0.04370	12	0.03780	12
1.1.2	0.03665	13	0.03378	16
1.2.1	0.05628	9	0.05865	9
1.2.2	0.02651	17	0.02782	17
1.3.1	0.06948	6	0.07265	4
1.3.2	0.08578	3	0.09343	3
2.1.1	0.06981	5	0.05887	8
2.1.2	0.04620	11	0.04101	11
2.2.1	0.08239	4	0.06467	6
2.2.2	0.03563	14	0.03564	13
3.1.1	0.11167	1	0.12303	1
3.1.2	0.09593	2	0.10136	2
3.2.1	0.03219	16	0.03422	15
3.2.2	0.06131	8	0.06278	7
3.2.3	0.03409	15	0.03526	14
3.2.4	0.04933	10	0.05036	10
3.2.5	0.06305	7	0.06867	5
계	1.00000		1.00000	

9) 기하평균의 경우 각 응답자에 따른 가중치의 변동성이 큰 경우 산술평균을 이용한 가중치와 그 순위에 있어서 어느 정도의 차이가 발생하게 된다. Bard(1992)에서는 가중치의 서로 다른 정도가 결과의 순위를 결정할 정도로 크게 나타나는 경우는 기하평균을 이용하여 대표적인 단일 가중치를 집계하도록 하고, 그렇지 않은 경우는 산술평균을 통하여 집계하고 있다.

도출된 가중치는 각 속성이 <표 2>의 최저수준에서 최고수준으로 변하는 것에 대한 상대적 중요도를 나타낸다. 즉, 가중치는 여러 속성들이 원자력산업의 선진화란 종합목표에 얼마나 기여하는지를 나타내며, 사후평가지표인 다속성 지수를 의미한다. <표 3>에서 전문가들은 주어진 범위 내에서 「연구개발 목표달성(3.1.1)」, 「계획·전략의 적정성(3.1.2)」을 중요한 속성으로 평가하였다.

IV. 연구결과에 대한 논의

본 장에서는 III장에서 제시된 실증연구 결과에 대한 논의를 다룬다. 먼저 MUF를 통해 도출된 원자력연구개발과제평가 평가지표인 다속성 지수의 의미와 시사점에 대해 설명한 후, 최종적으로 도출된 다속성 지수를 이용한 한 가지 사례로 원자력연구개발 세부과제에 대한 평가결과를 제시한다. 아울러 46명의 전문가를 산·학·연·관으로 구분하여 그룹별 가중치를 계산한 후, 각 세부과제에 대해 평가한다. 마지막으로 연구결과의 여러 가지 잠재적 유용성에 대해 논한다.

1. 목표와 평가지표의 식별

목표와 속성의 식별과 관련하여 본 연구에서는 원자력연구개발과제의 평가에서 <표 1>에 제시되어 있는 바와 같이 원자력산업의 종합목표 하에서 원자력산업의 경쟁력효과, 원자력산업의 기술력효과, 연구결과의 효율성효과가 평가지표에서 중요한 고려대상이 되고 있음을 알 수 있었다. <표 1>에 제시된 목표와 이에 따른 평가지표는 전반적인 원자력연구개발

과제 사후평가에서 유용하게 사용될 수 있다.

원자력연구개발과제 평가과정에서 사후평가지표의 합의도출과 원활한 의견의 교환을 촉진할 수 있는 가장 효과적인 방법 가운데 하나는 원자력연구개발과제가 추구하는 목적을 분명하게 정의하고 이에 관련된 정보가 평가자와 피평가자들간에 원활히 유통되도록 하는 것이다. 이러한 맥락에서 원자력연구개발과제 평가시 MAUA를 통해 도출된 사후평가지표인 다속성 지수를 이용하는 것이 합리적이다. 또한 이렇게 제공된 정보는 전문가들로 하여금 효과적으로 평가가 이루어질 수 있도록 도움을 줄 수 있다.

도출된 가중치는 각 속성이 원자력산업의 선진화란 종합목표에 얼마나 기여하는지를 나타낸다. <표 3>에서 전문가들에게 가장 중요성을 갖는 속성이 주어진 범위 내에서 「연구개발 목표달성(3.1.1)」, 「계획·전략의 적정성(3.1.2)」, 「최종연구결과의 활용성(1.3.2)」 등의 순으로 나타났다. 「수출산업효과(1.2.2)」는 국내 원자력산업의 현황상 아직 초기단계이기 때문에 전문가들이 가장 덜 중요한 속성으로 평가하고 있었으며, 오히려 「수입대체효과(1.2.1)」를 더 중요하게 평가하였다. 따라서 「연구개발 목표달성(3.1.1)」은 원자력연구개발과제 평가에서 가장 중요하게 고려되어야 하는 평가지표이다. 또한 <표 3>에서 산술평균에 근거한 「연구개발 목표달성(3.1.1)」평가지표의 중요도는 11.2%를 차지하고 있다. 이러한 관점에서 원자력연구개발과제를 사후적으로 평가할 때 「연구개발 목표달성(3.1.1)」이 「수출산업효과(1.2.2)」보다 강조되어야 함을 알 수 있다.

2. 세부과제에 대한 평가

본 연구는 원자력연구개발사업 세부과제에 대한

평가에 적용 가능하다. 원자력연구개발과제의 실제 세부과제인 A, B, C, D, 그리고 E에 대한 각 단일속성 효용함수의 값이 <표 4>에 제시되어 있다.¹⁰⁾

<표 4>의 두 번째열에서 여섯 번째열까지의 각 값은 단일속성 효용함수값을 나타내며, 하단에 각 세부과제에 대한 MUF값이 제시되어 있다. 도출된 단일속성 효용함수의 값만으로는 어느 과제가 우월한지에

대한 판단을 할 수 없다. 하지만 MUF를 구성하고 이에 따른 효용함수값을 계산하는 경우, 이 값에 의해 다섯 개 세부과제에 대한 수평적 비교가 가능해진다.

과제 A의 MUF의 값은 0.68081로 계산되었으며, 과제 B, C, D, E의 값은 각각 0.66299, 0.62986, 0.61637, 0.61450이다. 결과적으로 과제 A가 가장 높게 평가됨을 알 수 있다.¹¹⁾

<표 4> 각 과제에 대한 단일속성 효용함수값

구 분	과제 A	과제 B	과제 C	과제 D	과제 E
$u_{111}(x_{111})$	0.83433	0.74671	0.65538	0.65538	0.65538
$u_{112}(x_{112})$	0.72285	0.61796	0.61796	0.46622	0.46622
$u_{121}(x_{121})$	0.03419	0.03419	0.03419	0.01637	0.01637
$u_{122}(x_{122})$	0.18972	0.18972	0.18972	0.14186	0.14186
$u_{131}(x_{131})$	0.57662	0.57662	0.47603	0.36882	0.36882
$u_{132}(x_{132})$	0.82994	0.82994	0.74034	0.64735	0.64735
$u_{211}(x_{211})$	0.88662	0.88662	0.88662	0.88662	0.88662
$u_{212}(x_{212})$	0.23858	0.23858	0.12046	0.42787	0.42787
$u_{221}(x_{221})$	0.25595	0.25595	0.25595	0.38319	0.38319
$u_{222}(x_{222})$	0.77427	0.77427	0.77427	0.77427	0.77427
$u_{311}(x_{311})$	0.91142	0.82057	0.91142	0.82057	0.82057
$u_{312}(x_{312})$	0.83086	0.83086	0.77427	0.72736	0.72736
$u_{321}(x_{321})$	0.90286	0.90286	0.80514	0.90286	0.90286
$u_{322}(x_{322})$	0.79853	0.79853	0.69868	0.69868	0.69868
$u_{323}(x_{323})$	0.89891	0.89891	0.89891	0.79853	0.79853
$u_{324}(x_{324})$	0.82994	0.82994	0.82994	0.82994	0.79201
$u_{325}(x_{325})$	0.76059	0.76059	0.67427	0.67427	0.67427
$U(x)$	0.68081	0.66299	0.62986	0.61637	0.61450

10) 개별과제의 익명성을 보장하기 위해 원자력연구개발사업 세부과제명을 A, B, C, D, 그리고 E로 표기하였다.

11) 본 연구에서는 사례연구로서 5개 세부과제를 대상으로 정량적 분석을 시도하였으며, 실증연구의 객관성과 신뢰도 확보 측면에서 후속연구를 통해 더욱 과학적인 민감도 분석이 이루어져야 할 것이다.

3. 그룹별 MUF

앞서 Ⅲ장에서 언급한 바와 같이 원자력연구개발 과제 사후평가에 대한 2차 설문응답자는 46명에 달하며, 이를 산·학·연·관으로 구분할 수 있다. 본 장에서는 산·학·연·관 그룹별 가중치를 계산한 후, 각 과제에 대해 평가를 시도하고자 한다. 앞서 도출된 속성의 중요도는 전문가 전체의 선호를 반영하고 있을 뿐, 각 속성의 중요도에 대한 그룹별 전문가의 시각을 이해하는 데 제한적이었다. 따라서 각 그룹별 속성의 중요도를 도출한 후, 각 그룹이 최종평가지표 17개에 대해 어떠한 선호를 가지고 있는지 평

가하고자 한다. 그룹별 속성에 대한 중요도는 Ⅲ장에서 제시된 연구방법론에 의해 계산되었다. 그룹별로 도출된 속성의 가중치와 순위는 <표 5>에 제시되어 있다.

<표 5>에서 산업계는 평가지표 중 「계획·전략의 적정성(3.1.2)」, 「최종연구결과의 활용성(1.3.2)」, 「연구개발결과의 파급효과(1.3.1)」를 중요하게 평가하였다. 학계는 「계획·전략의 적정성(3.1.2)」, 「연구개발 목표달성(3.1.1)」을, 연구계는 「연구개발 목표달성(3.1.1)」, 「수입대체효과(1.2.1)」를, 관(정부)계는 「국내외 전문가의 효율적 활용(2.1.1)」, 「공개발표된 연구개발 성과(2.2.1)」를 중요하게 평가했다. 도출된 평가지표

<표 5> 산·학·연·관 각 그룹별 가중치 도출

구 분	산업계		학계		연구계		관(정부)	
	가중치	순 위	가중치	순 위	가중치	순 위	가중치	순 위
1.1.1	0.03297	14	0.04776	9	0.08389	3	0.01025	17
1.1.2	0.03432	13	0.02824	13	0.07285	6	0.01246	16
1.2.1	0.05257	9	0.04640	10	0.09063	2	0.03553	12
1.2.2	0.01916	15	0.02241	16	0.03449	15	0.02686	13
1.3.1	0.09595	3	0.08514	5	0.05789	8	0.03893	9
1.3.2	0.10426	2	0.09641	4	0.07966	4	0.06307	6
2.1.1	0.04576	10	0.02563	14	0.04089	12	0.16744	1
2.1.2	0.01002	17	0.05394	8	0.04666	11	0.07417	5
2.2.1	0.01104	16	0.10230	3	0.07111	7	0.14518	2
2.2.2	0.04458	12	0.05395	7	0.02848	16	0.01550	15
3.1.1	0.09089	4	0.12196	2	0.11453	1	0.11939	3
3.1.2	0.11612	1	0.13115	1	0.07695	5	0.05958	7
3.2.1	0.04554	11	0.02124	17	0.03689	14	0.02420	14
3.2.2	0.08275	6	0.02882	12	0.05423	9	0.08074	4
3.2.3	0.05397	8	0.02328	15	0.02172	17	0.03750	10
3.2.4	0.08783	5	0.03409	11	0.03995	13	0.03563	11
3.2.5	0.07227	7	0.07728	6	0.04918	10	0.05357	8
계	1.00000		1.00000		1.00000		1.00000	

의 중요도가 그룹별로 차이를 보이는 것은 각 속성에 대한 그룹별 전문가들의 가치판단과 선호의 다양성을 반영하고 있기 때문이라 판단된다.

도출된 각 그룹별 속성의 가중치에 근거하여 원자력연구개발과제의 실제 세부과제인 A, B, C, D, 그리고 E에 대한 산·학·연·관 그룹별 MUF의 값을 구할 수 있었으며, 계산된 결과는 <표 6>에 제시되어 있다.

산업계, 학계, 연구계의 경우 세부과제의 우선순위는 $A > B > C > D > E$ 로 나타났으며, 관(정부)계는 $A > B > D > E > C$ 의 순위를 보였다. 결국 네 그룹에서 과제 A가 가장 우월하였음을 알 수 있었다. 평가결과 주목할 점은 산업계, 학계, 연구계와 달리 관(정부)계는 과제 C를 다섯 번째 순위로 평가하고 있다는 사실이다. 이러한 평가결과의 차이는 <표 5>의 그룹별 속성에 대한 중요도에서 관(정부)계의 가중치에 대한 순위가 다른 세 그룹과는 상이하기 때문이다. 즉, 관(정부)계는 「국내외 전문가의 효율적 활용(2.1.1)」, 「공개발표된 연구개발성과(2.2.1)」를 상대적으로 중요하게 평가하고 있는 반면, 산·학·연은 관(정부)계가 높은 가중치를 부여하고 있는 평가지표에 대해 낮은 가중치를 매기고 있다. 이러한 결과는 산·학·연 그룹과의 원자력연구개발과제를 평가하는

데 있어 전문가들의 속성에 대한 다양한 선호 및 가치판단의 차이점으로 해석할 수 있다. 따라서 향후 원자력연구개발과제 사후평가를 위한 평가지표의 선정에 있어 다양한 전문가들의 의견이 종합적으로 수렴될 필요가 있음을 시사한다.

4. 연구결과의 유용성

국가연구개발과제는 연구개발의 복합화, 조직화, 장기 대형화, 고비용화 경향의 특징을 가지며, 이러한 이유로 연구개발과제에 대한 평가는 국가적인 차원에서 중요한 이슈가 되고 있다. 이러한 문제의식 하에 과학기술부와 KISTEP은 국가연구개발과제에 대한 평가제도를 마련하고 있으며, 또한 연구개발과제 평가를 위한 전문화된 연구인력 확보와 사전평가, 중간평가, 사후평가와 관련한 평가기준 및 제도적 장치를 마련하여 운영하고 있다. 한편, 사후평가 측면에서 효과적이고 효율적인 연구개발과제평가를 위해 본 연구에서 적용한 MAUA와 같은 객관적이고 과학적인 방법론이 필요하다.

MAUA의 운영은 원자력연구개발과제 사후평가 지표인 다속성 지수개발을 적용하는 데 있어 매우 유용

<표 6> 각 과제에 대한 그룹별 효용함수 값

과제	산업계		학계		연구계		관(정부)계	
	효용함수 값	순위	효용함수 값	순위	효용함수 값	순위	효용함수 값	순위
A	0.74160	1	0.66772	1	0.65365	1	0.66202	1
B	0.72686	2	0.64949	2	0.62825	2	0.64897	2
C	0.68760	3	0.61494	3	0.59570	3	0.62274	5
D	0.65037	4	0.60276	4	0.57856	4	0.63513	3
E	0.64704	5	0.60147	5	0.57705	5	0.63378	4

하다. 첫째, 다속성 지수는 원자력연구개발사업 세부 과제의 상대적 순위를 매기는데 사용될 수 있으며, 이 때의 순위(평가)는 효용의 관점에서 정의되며 국가연구개발과제에 대한 전문가들의 판단을 반영한다. 따라서 전문가들의 판단에 근거하여 특정 속성의 영향을 효용의 관점에서 비교할 수 있으며, 그 결과로서 연구개발과제에 대한 평가결정을 하는데 도움을 줄 수 있다. 둘째, 속성수준선택의 유연성을 들 수 있다. 이는 시점별, 세부과제별 상이한 특성들을 반영할 수 있도록 신축성 있는 속성수준의 선택을 가능하게 함으로써 원자력연구개발과제의 지속적인 평가를 가능하게 한다. 셋째, MAUA는 단일속성 효용함수와 이를 체계적으로 결합하는 MUF의 도출에 비교적 많은 노력이 요구되지만, 일단 원자력연구개발과제 평가라는 해당 문제에 대한 MUF를 구성한 후 효용측면의 가치측정에 있어 용이하다. 따라서 MAUA는 평가해야 하는 과제의 수가 비교적 많아도 이에 대한 재계산이 매우 용이하다는 장점을 지닌다.

한편, 전문가 그룹별 도출된 속성의 중요도에서 관(정부) 전문가들은 「국내외 전문가의 효율적 활용(2.1.1)」, 「공개발표된 연구개발성과(2.2.1)」 등의 속성을 중요하게 평가하고 있으나, 기타 전문가들은 「계획·전략의 적정성(3.1.2)」, 「연구개발 목표달성(3.1.1)」을 중요하게 평가하고 있었다. 전문가 그룹별 속성에 대한 중요도의 차이는 향후 과학기술부와 KISTEP의 원자력연구개발과제 사후평가지표 선정에 있어 확실적인 평가지표 선정이 아닌 연구개발과제의 특성과 다양한 전문가들의 의견이 종합적으로 평가지표에 반영될 필요가 있음을 의미한다. 또한 평가과정에서 평가자와 피평가자간에 평가목적에 대한 합의가 명확하게 이루어져야 하며, 평가방법과 평가지표에 대한 타당성과 신뢰성이 신중하게 검토되어야 함을 시사한다.

V. 결 론

본 연구의 목적은 원자력연구개발과제 사후평가를 위한 방법론의 체계적 적용을 시도하고 이러한 방법론적 절차에 따라 사후평가지표를 개발하는 것이다. 이를 위해 본 연구에서는 다속성 지수개발을 위한 방법론으로 MAUA의 적용절차에 대한 검토를 실시하였다. 원자력연구개발과제 사후평가에 있어 전문가들은 「연구개발 목표달성」, 「계획·전략의 적정성」, 「최종연구결과의 활용성」을 중요한 속성으로 평가하였다. 한편 그룹별 속성의 중요도 분석결과에서 관(정부)계는 다른 세 그룹과는 다소 차이를 보이고 있었다. 이러한 상이한 결과는 산·학·연 그룹과의 원자력연구개발과제를 평가하는 데 있어 전문가들의 속성에 대한 다양한 선호 및 가치판단의 차이에 기인한다고 볼 수 있다. 따라서 향후 원자력연구개발과제 사후평가지표의 선정에 있어 다양한 전문가들의 의견이 종합적으로 수렴될 필요가 있다.

본 연구에서는 원자력연구개발과제에 대한 사후평가지표 개발을 통해, 원자력연구개발과제 평가에 필요한 객관적 기준 및 근거를 마련하고, 기술 및 정책 전문가의 의견 반영뿐만 아니라 다양한 계층의 입장도 반영함으로써 보다 효과적인 원자력연구개발과제 평가방안을 제시하고자 하였다. 또한 원자력연구개발과제에 대한 평가측정과 합리적 의사결정론의 도입이 필요한 상황에서 본 연구가 채택한 MAUA는 정량적 평가방법으로써 연구개발과제평가와 관련한 잠재적 유용성을 갖는다고 말할 수 있다. 또한 본 연구에서 적용한 방법론은 원자력연구개발과제뿐만 아니라 기타 국가연구개발과제에 대한 평가에 광범위하

게 활용될 수 있을 것이다. 한편 본 연구에서 제시된 연구결과는, 원자력연구개발과제 사후평가라는 견지에서 볼 때 개선되어야 할 점이 없지 않다. 현재의 연구구도는 세 가지 점에서 후속연구를 통해 해결되어야 할 것이다. 첫째, 평가항목의 수준결정에 있어 과학적이고 객관적으로 정확한 자료를 획득하는 일이다. 만일 정보의 부재가 존재할 경우 원자력연구개발과제 사후평가지 평가결과가 불명확해지는 결과를 초래할 수 있다. 둘째, MAUA의 적용에 있어 전문가들의 주관적 판단이 최종적으로 도출된 MUF 구성에 영향을 미칠 수가 있다. 즉, MAUA는 위험에 대한 개인의 태도를 반영한 효용함수와 선택된 속성들이 모형에 구체화되도록 하고 있으며, 모형의 적절한 함수적 형태의 식별문제는 개개인의 선호와 효용에 근거하고 있다. 따라서 MUF의 구성시 전문가들의 주관적 판단의 개연성의 문제를 극복할 필요가 있다. 셋째, 본 연구에서는 MUF 구성을 가법의 형태로 가정하였다. 하지만 평가항목의 공리적 조건들이 만족되지 않을 경우, 승법의 형태를 적용할 수 있다. 따라서 향후 연구에서는 이와 같은 한계를 극복한 연구가 진행되기를 기대한다.

참 고 문 헌

- 과학기술부, 『1999년 원자력산업 산업실태 조사보고서』, 한국원자력산업회의, 2000a.
- _____, 『선도기술개발사업 성과분석 및 추진방향에 관한 연구』, 2000b.
- _____, 『원자력진흥종합계획 2001 세부사업추진 계획』, 2001.
- 과학기술정책연구원, 『연구기관 종합평가를 위한 평가요소의 개발과 가중치 설정 연구』, 1995.
- 박주형·김정흠, “연구개발사업 우선순위 설정에 있어서 다속성 효용이론과 계층분석과정의 비교,” 『기술혁신학회지』, 제2권 제2호, 한국기술혁신학회, 1999.
- 산업자원부, 『에너지정책 Highlight』, 자원정책실, 2001.
- 유승훈·김준상·김태유, “전파자원 관리에 대한 의사결정분석: 다속성 효용이론의 적용을 중심으로,” 『정보통신정책연구』, 제7권 제1호, 정보통신정책학회, 2000, pp. 59-84.
- 이윤종, 『의사결정론』, 세종출판사, 1999.
- 이찬구, 『연구개발사업의 메타 평가에 관한 연구』, 박사학위논문, 충남대학교, 1997.
- 이창효, 『다기준 의사결정론』, 세종출판사, 1999.
- 임윤철·이철원·이정원, 『국가혁신시스템 강화를 위한 국가연구개발사업 평가방법 연구』, 과학기술정책관리연구소, 1997.
- 한국개발연구원, 『예비타당성조사 수행을 위한 다기준분석 방안 연구』, 2000.
- 한국과학기술평가원, 『첨단기술의 기술가치 평가방법론에 대한 연구』, 2001.
- Bard, J. F., “A comparison of the analytic hierarchy process with multiattribute utility theory: a case study,” *IIE Transactions* 24, 1992, pp. 111-121.
- Barron, H. and Schmidt, C. P., “Sensitivity analysis of additive multiattribute value models,” *Operations Research* 36, 1988, pp. 122-127.
- Brown, M. A., Curlee, T. R. and Elliott, S. R., “Evaluating technology innovation programs: the use of comparison groups to identify impacts,” *Research Policy* 24, 1995, pp. 669-684.
- Delquie, P. and Luo, M., “A simple trade-off con-

- dition for additive multiattribute utility," *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis* 6, 1997, pp. 248-252.
- Edwards, W. and D. von Winterfeldt, "Public values in risk debates," *Risk Analysis* 7, 1987, pp. 141-158.
- Farquhar, P. H., "State of the art: utility assessment methods," *Management Science* 30, 1984, pp. 1283-1300.
- Feeny, D., Furlong, W. and Barr, R. D., "Multiattribute approach to the assessment of health-related quality of life: health utility index," *Medical and Pediatric Supplement* 1, 1998, pp. 54-59.
- Fishburn, P. C., "Independence in utility theory with whole products sets," *Operation Research* 13, 1965, pp. 28-43.
- Goumas, M. G., Lygerou, V. A. and Papayannakis, L. E., "Computational methods for planning and evaluating geothermal energy projects," *Energy Policy* 27, 1999, pp. 147-154.
- Hobbs, B. F., "What can we learn from experiments in multiobjective analysis?" *IEEE Transactions on System, Man and Cybernetics*, SMC-16(3), 1986, pp. 384-394.
- Hobbs, B. F. and Meier, P., *Energy decisions and the environment: a guide to the use of multicriteria methods*, Kluwer Academic Publishers, 2000.
- Jones, M., Hope, C. and Hughes, R., "A multiattribute value model for the study of UK energy policy," *Journal of the Operational Research Society* 41, 1990, pp. 919-929.
- Kagazyo, T., Kaneko, K., Akai, M. and Hijikata, K., "Methodology and evaluation of priorities for energy and environmental research projects," *Energy* 22, 1997, pp. 121-129.
- Keeney, R. L., "Decision analysis: an overview," *Operation Research* 30, 1982, pp. 803-838.
- _____, *Value-focused thinking: a path to creative decisionmaking*, Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, 1992.
- Keeney, R. L. and von Winterfeldt, D., "Managing nuclear waste from power plants," *Risk Analysis* 14, 1994, pp. 107-130.
- Kim T. -Y., Kwak, S. -J. and Yoo, S. -H., "Applying multi-attribute utility theory to decision-making in environmental planning: a case study of the electric utility in Korea," *Journal of Environmental Planning and Management* 41, 1998, pp. 597-610.
- Kwak S. -J., Yoo S. -H. and Shin, C. -O., "A multiattribute index for assessing environmental impacts of regional development projects: a case study of Korea," *Environmental Management* 29, 2002, pp. 301-309.
- Lam, P., Moskowitz, H., Eppel, T., and Tang, J., "Decomposition, interdependence and precision in multiattribute utility measurement," *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis* 6, 1997, pp. 25-40.
- Lee, M., Son, B., and Om, K., "Evaluation of national R&D projects in Korea," *Research Policy* 25, 1996, pp. 805-818.
- McDaniels, T. L., "Sustainability, value trade offs, and electric utility planning," *Energy Policy* 22, 1994, pp. 1045-1054.
- _____, "A multiattribute index for evaluating environmental impacts of electric utilities", *Journal of*

- Environmental Management* 46, 1996, pp. 57-66.
- Pan, J. P. and Rahman, S., "Multiattribute utility analysis with imprecise information: an enhanced decision support technique for the evaluation of electric generation expansion strategies," *Electric Power Systems Research* 46, 1998, pp. 101-109.
- Roessler, C. and McDaniels, T. L. *A critique of analytical approaches for full cost accounting*. Report to Environment Canada, DOE FRAP 1994-08, 1994.
- Russell, C., Dale, V., Lee, J., Jensen, M. H., Kane, M. and Gregory, R., "Experimenting with multi-attribute utility survey methods in a multi-dimensional valuation problem," *Ecological Economics* 36, 2001, pp. 87-108.
- Stewart, T. J., "Robustness of additive value function methods in MCDM," *Journal of Multicriteria Decision Analysis*, Vol. 5, 1996, pp. 301-309.
- von Winterfeldt, D. and Edwards, W, *Decision Analysis and Behavioral Research*, Cambridge University Press, Cambridge, 1986.
- Yoo, S. -H., Kim, J. -S. and Kim, T. -Y., "Value-focused thinking about strategic management of radio spectrum for mobile communications in Korea," *Telecommunications Policy* 25, 2001, pp. 703-718.