

다속성 효용이론을 이용한 평가지표개발

- 원자력연구개발사업의 사후평가를 중심으로 -

A Multi-attribute Index for Evaluating of National Nuclear R&D Projects A Case Study of Korea

곽승준* · 유승훈** · 김찬준***

Seung-Jun Kwak · Seung-Hoon Yoo · Chan-Jun Kim

<목 차>

- I. 서론
 - II. 연구방법론 : MAUT
 - III. 적용절차와 결과
 - IV. 결과에 대한 논의
 - V. 결론
- 참고문헌

* 고려대학교 경제학과 교수

** 호서대학교 경상학부 교수

*** 발표저자, 고려대학교 경제학과 박사과정

Abstract

Evaluating the results of National Nuclear R&D projects has critical importance in nuclear management aspect. This paper uses multi-attribute utility theory as a basis for obtaining a value index to assess the results of nuclear R&D projects and applies the theory to a specific Korean case study. 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 decision-makers. The implications of the results are also discussed. We found that the work and results can provide valuable insights for assessment of nuclear R&D consequences.

Key words: Multi-attribute utility theory; Multi-attribute index; Decision analysis; Decision-making; National Nuclear R&D projects

I. 서론

원자력연구개발사업은 원자로 및 핵연료, 원자력안전, 방사성폐기물관리, 방사선 이용 및 방호, 원자력기반 등의 원자력 각 분야로 구성되는 목표지향적 중점연구개발사업으로 시행되고 있다. 또한 최근 정부의 연구개발사업부문 투자의 중요성 인식과 더불어 원자력연구개발사업에 많은 지원이 이루어져 왔다. 하지만 연구개발사업에 대한 적절한 성과 분석은 미흡한 점이 없지 않았으며, 이에 따라 투자에 따른 성과측정과 엄정한 평가체계의 시행이 요구되고 있는 실정이다. 따라서 막대한 연구비가 투입되는 사업의 성격을 고려할 때 평가지표개발을 통해 사업을 평가하고 사업의 계속성과 의의를 확보해야 할 필요성이 제기된다.

기술혁신과 경제발전을 이루기 위한 연구개발부문에 대한 투자는 공공·민간부문 모두에 걸쳐 지속적으로 확대되어 온 것이 사실이며, 비교적 최근에 이르러 기술혁신과 이를 위한 연구개발투자의 목표 달성이 얼마만큼 이루어졌는가에 대한 명시적인 검증이 이루어질 필요성이 점점증하고 있다. 이러한 인식 하에서 연구개발투자의 타당성을 검증·제시하고, 이를 바탕으로 연구개발투자를 촉진시키며, 가용 기술개발자원을 효율적으로 배분하기 위해서 연구개발투자의 효과를 가시화하려는 시도가 이어져 왔다¹⁾.

현재까지 국내에서 시도된 연구성과들을 보면 연구개발투자의 경제적 효과분석을 위해 생산함수를 사용하여 생산성을 측정하고 연구와 정부투자기관 자체의 효율성 및 효과성을 분석한 연구, 그리고 연구개발사업의 평가를 위한 방법론의 개발과 적용등 다양한 각도에서 평가와 관련된 연구가 진행되어 왔음을 볼 수 있다²⁾. 하지만 이러한 연구성과들은 대부분 연구개발평가에 대한 필요성과 당위성을 제시할 뿐 연구개발에 따른 표준적인 평가항목 및 평가지표를 충분히 보여주지 못하는 어느 정도 한계를 지니고 있다. 이와 같은 한계점은 연구개발 및 연구개발 프로그램의 성격에 내재된 것이지만 연구개발평가가 어떻게 계획되어 수행되고 사용되는가 하는 문제와도 깊이 관련되어 있다(Roessner, 1989). 특히 공공부문에서의 연구개발산물은 거의 무형적인 것이 많으며 이로 인해 거의 측정이 불가능한 경우도 다수 존재한다.

이런 필요성하에 원자력연구개발사업 사후평가를 위한 평가기법은 평가들의 평가지표들을 측정할 수 있는 것으로서, 일반적으로 모든 평가에서 가장 기본적이고도 광범위하게 사용되는 평가기법들을 고려할 수 있다.

본 연구는 DM의 의사결정상황에 대한 분석을 통해 원자력연구개발사업의 세부프로젝트를 평가하는데 도움을 줄 수 있는 방안을 적용해보고자 한다. 또한 원자력연구개발사

1) 국가연구개발사업의 특징은 연구개발의 복잡화, 조직화, 장기 대형화, 고비용화 경향을 띠고 있다. 이러한 이유로 외부효과(externalities)와 고위험(high-risks)이라는 시장실패(market failure)의 요인을 안고 있다.

2) 이에 대한 문헌으로는 김계수 외(1995), 서상혁(1992), 이정훈(1993), 이찬구(1997), 이희경·김정우(1996), 임윤철·이철원·이정원(1997), 황용수(1993) 등이 있다.

업을 사후적으로 평가하기 위한 평가항목에 대한 속성들을 밝혀내고 DM이 의사결정상황에서 중요하게 고려하는 목표를 식별해내어 궁극적으로는 의사결정과 가치추정의 기초가 되는 다속성 효용함수(multi-attribute utility function: MUF)를 구성하고 다속성 평가지표를 개발하는 데에 있다. 방법론적인 측면에서는 다속성 효용이론(Multi-Attribute Utility Theory: MAUT)을 통한 추정을 사용하여 연구개발사업의 중요도에 관한 가치판단을 이끌어내고 이를 이용하여 평가지표를 도출하는 절차에 기반하고 있다.

이후 본 논문의 구성은 다음과 같다. 제II장에서 연구의 방법론인 MAUT에 관한 개략적인 소개를 제시한다. 제III장에서는 구체적인 실증연구와 결과를 설명한다. 제IV장에서는 도출된 결과를 이용한 잠재적 유용성과 정책적 함의를 제시하고, 마지막으로 제V장은 결론으로 할애하도록 한다.

II. 연구방법론 : MAUT

MAUT의 접근방법은 von Neumann and Morgenstern(1947)의 효용이론에 기반하고 있으며, Keeney and Raiffa(1976)에 의해 구체적인 기법과 적용절차 등이 개발되었다. 이 접근방법은 위험에 대한 개인의 태도를 반영한 효용함수와 선택된 속성들이 모형에 구체화되도록 하고 있을 뿐만 아니라 모형의 적절한 함수적 형태의 식별문제가 개개인의 선호와 효용에 대한 행태적 가정으로부터 공리적으로 도출된다. 그리고 개별 속성에 있어서 위험에 대한 태도는 DM이 응답한 결과와 이후의 이론적 적용절차에 의해 결정되는 특징이 있다.

효용 혹은 심리적 가치는 과거 행동의 평가와 미래의 대안들 간의 선택을 위한 의사결정의 기초로 사용된다. 따라서 여러 대안들의 효용을 체계적으로 평가할 필요가 있다. 이와같은 문제를 해결하기 위한 방법이 다속성 효용접근법이며, 이 방법은 의사결정과 평가를 하기 위한 기초가 되는 가치구조(value structure)를 만들기 위해 여러 속성들을 파악하고 측정하고 그리고 결합하는 과정을 의미한다. 다속성 효용기법은 직관적이고 전체적인 기준의 통합이라기 보다는 문제가 분석되고 또 각 속성의 효용이 평가되고 나아가서 이런 효용들이 전체로 결합되는 절차이다. 따라서 이 방법의 목적은 매우 복잡한 상황에서 의사결정자에게 그의 선호체계를 이해하는 데 있다(Coner, 1978).

다속성 효용이론은 복잡한 의사결정과정에 대한 통찰력을 얻는데 유용하게 사용되는 통계적 의사결정이론으로부터 개념적인 구조를 도입하고 있으며, 심리학, 경영과학 등으로부터의 일련의 응용기법과 실증경험에서 개발된 의사결정과정을 포함하고 있다. 이 접근방법은 '상식을 사용하기에는 너무 복잡한 문제에 대한 상식의 정형화'란 직관적인 설명이 가능하다(Keeney, 1992). 공공부문 계획문제와 관련하여 MAUT는 지난 40여년 동안

꾸준히 발전되어 왔다(von Winterfeldt and Edwards, 1986).

MAUT는 원래 다목적 계획법(multi-objective programming)의 한가지 방법으로 수자원개발계획, 대규모 발전소입지 등 환경³⁾이나 지역경제에 큰 파급효과를 갖는 대규모 프로젝트에 대한 공학적, 경영학적 의사결정과정에서 폭넓게 활용되어 왔으며, 의학분야에서 건강 효용지수를 개발하기 위해 사용되고 있다(Feeny et al., 1998). 평가는 주로 전문가를 위주로 하는 위원회 구성을 통해 이루어지며 이때 응답자는 한 명 또는 다수로 구성된다(Keeney and Raiffa, 1979; Keeney, 1992).

이하의 내용에서는 원자력연구개발사업의 사후평가를 위해 MAUT를 적용하여 평가지표를 개발하고자 한다. 본 연구에서는 원자력전문가들을 대상으로 평가항목의 선정과 방법론에 근거한 가중치산정을 위해 인터뷰를 실시하였다. 원자력연구개발사업에 대한 평가항목과 평가지표 선정 후, 원자력연구개발사업 관련 전문가를 대상으로 실제연구의 선별적 사후평가를 실시하여 평가지표를 도출하고자 한다.

III. 적용절차와 결과

본 장의 주요한 관심은 원자력연구개발사업을 사후적으로 평가할 수 있는 지수를 구성하는데 있다. 여기서의 평가항목들은 다속성효용함수로 표현되며, 이는 여러 가지 우선적인 고려사항과 더불어 속성간의 상충관계가 수학적으로 표시된 것을 말한다. 원자력연구개발사업 사후평가에 대한 다속성 효용이론을 적용하기 위해서는 다음과 같은 항목들의 설정이 명확해야 한다. 첫째, 속성의 문제에 대한 기여도를 어떠한 방식으로 산정할 것인가하는 문제로 가중치 산정방법에 대한 논의. 둘째, 속성별 효용함수의 형태를 어떻게 구성할 것인가하는 문제로 단일효용함수의 형태에 대한 논의. 셋째, 속성별 기여도(가중치)와 효용함수를 어떤 총합모형으로 설정할 것인가하는 문제이다. 넷째, 다수전문가들의 의견을 어떻게 수렴할 것인가하는 문제에 관한 것이다. 이런 배경하에서 원자력연구개발사업 사후평가에 대한 다속성 효용이론의 적용절차를 다음의 여섯 단계로 채택하였다.

1. 구체적 목표와 속성의 식별

연구목적을 명확히하고 이와 관련된 속성들을 결정하는 단계로 원자력연구개발사업 사후평가에 직접적으로 관련되므로 가장 먼저 이루어져야 할 중요한 단계이다. 속성(평가항목)선택 기준에서 가장 중요한 것은 해당 속성이 계획 단계에서 요구되는 범위에 포함되

3) 비시장재화에 MAUT를 적용한 문헌으로는 유승훈·곽승준·김태유(1998, 1992), 유승훈·김준상·김태유(2000) 등이 있다.

는가 여부이다. 즉 분석의 범위를 어떻게 정하느냐가 문제인데, DM에게 직접적으로 중요한 문제들에 대해서만 검토하는 방식으로 한계를 정하는 것이 바람직하다⁴⁾.

복잡한 문제의 여러 속성들은 가치보유자들(stakeholders)의 동의를 거쳐 도출된 '가치나무(value tree)'로 수직적 구조화가 가능하다. 가치독립성이 만족되지 않거나 부족하다면 고려되지 않은 추가적 속성이 존재한다는 것을 나타낸다⁵⁾.

정부는 원자력산업에 대한 기본목표를 설정하여 국가연구개발사업으로 추진하고 있다. 원자력연구개발사업의 기본목표는 다음과 같다. 첫째, 국내 전력생산의 주종 에너지원으로서 원자력의 위상을 확립하여 원자력을 국내 전력의 주에너지원으로 활용하고자 하며, 둘째 종합적이고 체계적인 원자력연구개발을 통해 원자로 및 핵비확산성 핵연료주기기술의 자립역량 확보에 중점을 두고 있다. 셋째, 민간의 창의와 참여를 바탕으로 원자력산업 기술을 고도화하고 원자력을 수출산업으로 육성하고자 한다. 넷째, 농·공·의학 및 산업 분야에서의 원자력 이용을 확대하고, 원자력 기초연구를 활성화하여 기초과학의 입지를 강화하고자 하고 있다. 네 가지 기본목표하에 원자력연구개발사업의 전체적인 목표는 원자력산업의 선진화라 할 수 있다.

본 연구에서는 이러한 전체적인 목표하에서 원자력연구개발사업의 사후평가항목으로 원자력산업의 경쟁력효과, 원자력기술력효과, 연구결과의 효율성효과 등의 세 개의 하위 목적으로 구분되었다. 경쟁력효과는 다시 세 개의 하위속성으로 나뉘어 지고, 기술력효과와 연구결과의 효율성효과는 각각 두 개의 하위속성으로 구분된다(<표 1> 참고). 결국 목적과 속성의 식별과정에서 중요한 최하위속성으로 17개가 선정되었다⁶⁾⁷⁾.

4) Keeney(1992)와 Brennan and Anthony(2000)에 제시된 속성결정에 필요한 여러가지 원칙을 속성을 결정하고자 하였다.

5) Keeney(1992)가 제시한 속성들이 갖추어야 할 바람직한 조건들은 필수성, 통제가능성, 완비성, 측정가능성, 운용성, 분해가능성, 중복배제성, 간결성, 이해가능성 등이 있다.

6) 문헌조사와 원자력전문가를 대상으로 1차 설문으로 통해 최종 17개의 평가항목이 결정되었다.

7) Lam et al.(1997)은 단일효용함수가 독립적이라고 가정한다면, MUF의 분산값은 속성의 수가 증가할 수록 낮아진다고 하여 속성의 개수에 제한을 둘 필요는 없다고 하였다.

<표 1> 연구에 채택된 목표와 속성

종합목표	연구개발사업으로 인한 원자력산업의 선진화
1. 원자력산업의 경쟁력효과	
1.1 기술수준효과	
1.1.1 기술축적효과	
1.1.2 기술선진화효과	
1.2 산업효과	
1.2.1 수입대체효과	
1.2.2 수출산업효과	
1.3 기술이용효과	
1.3.1 연구개발결과의 파급효과	
1.3.2 최종 연구결과의 활용성	
2. 원자력산업의 기술력효과	
2.1 투입요소효과	
2.1.1 국내외 전문가의 효율적 활용효과	
2.1.2 주요 연구시설 및 설비확보효과	
2.2 학술공동효과	
2.2.1 공개발표된 연구개발성과	
2.2.2 산학연간 네트워크 구축효과	
3. 연구결과의 효율성효과	
3.1 개발목표효과	
3.1.1 연구개발 목표달성	
3.1.2 계획·전략의 적정성	
3.2 과제수행효과	
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. 속성의 정량화

속성의 수준을 정량화하는데 있어서 속성의 영향과 관련된 여러 가지 자료들이 사용되었다. 그러나 이를 조사하는데 있어서 원자력연구개발사업의 사후평가에 대해 구체적인 과학적 정보가 그리 많지 않았다는 점을 지적할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 광범위한 문헌 수집·검토에 많은 시간을 할애하였다. 평가항목에 대한 정량화는 국내문헌들을 수집하여 외국의 문헌과 비교하여 속성의 평가단위 및 수준범위를 결정하였다⁸⁾. 각 속성에 대해 <표 2>에서 나타낸 바와 같이 DM이 고려할 수 있는 수준에서의 최소와 최대허용범위를 결정하였다.

8) 명확하고 세밀한 평가지표 및 정량화를 위해서 다음과 같은 문헌을 참고하였다. 특정연구개발사업, 공업기반기술개발사업, 선도기술개발사업, 창의적연구개발사업, 원자력기초연구사업, 기술개발용역사업 및 각종 연구기관평가모형의 일부 항목 등을 참고하였다.

<표 2> 속성의 평가단위 및 수준범위

속 성	가장 좋은수준	가장 나쁜수준	단위
1.1.1 기술축적효과 연구개발사업으로 인한 기술자립도	100	0	%
1.1.2 기술선진화정도 선진국과의 기술격차년수	0	20	년
1.2.1 수입대체효과 개발된 기술·제품의 연간 수입대체액	1000	0	억원/년
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	30	10	개
2.2.1 공개발표된 연구개발성과 논문발표건수	50	0	편
2.2.2 산학연간 네트워크 구축효과 공동연구수행횟수	20	0	회수/년
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	%

3. 가정의 적절성 확인

본 단계에서는 가정의 적절성의 확인을 통하여 다속성 효용함수의 함수적 형태를 도출할 수 있게 된다. 따라서 여기서는 선호독립, 효용독립 및 선호의 가법성으로 구성되는 가치독립에 관한 테스트가 요구된다. 테스트 결과에 따라 이러한 여러 조건들이 만족되는 것으로 확인되면, 가법적인 다속성 효용함수를 상정하는 것이 타당하게 된다(Fishburn, 1965). 그러나 DM으로부터 이러한 독립성 조건들이 만족되는가를 확인하기 위해서는 여러 단계의 길고 복잡한 검증과정을 거쳐야 하는 문제가 야기된다. 따라서 현실적인 제약을 고려할 때, 가법적인 형태를 가정하고 논의를 진행시켜도 실제의 가치에 비교적 잘 근

사하는 것으로 상정된다⁹⁾.

이는 첫째, 실증연구의 관점에서 각 속성이 다른 속성에 대한 수단이 아니라는 점에 있어서 근본적(fundamental)이고 속성의 목록이 포괄적(comprehensive)이라면 독립성에 대한 검증없이 가법형 형태의 다속성 효용함수를 사용하는 것이 별 무리가 없기 때문이다(Keeney, 1992). 둘째, 일부 속성들은 속성이 어떻게 만들어지는가, 즉 생산함수의 관점에서 독립적이지 않을 수 있지만, 속성들의 가치가 어떻게 평가되는가, 즉 가치함수(value function)의 관점에서는 얼마든지 독립적일 수 있다. 따라서 대부분의 실증연구에서도 의사유도절차의 복잡성을 줄이기 위해 단순한 가법형 구조가 거의 항상 가정된다(Edwards and von Winterfeldt, 1987). 셋째, 가법형 함수는 다양한 상황에서 응용 MAUT 연구에 대한 한 기초로서 강건할 뿐만 아니라 보다 복잡한 승법형 함수의 기본적인 출발점이 되기에 충분하다(McDaniels, 1996)¹⁰⁾¹¹⁾.

본 연구에서 사용되는 함수적 형태는 다음과 같다.

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

여기서 U 는 MUF를 나타내며, 포함하고 있는 세 개의 주요 하위 속성으로 경쟁력효과(x_1), 기술력효과(x_2), 그리고 연구결과의 효율성(x_3)이 포함되어 있으며, 가법적인 구조를 갖는다. k_i 는 주요 구성요소에 대한 비례상수로서 $\sum_{i=1}^3 k_i = 1$ 이고, U 와 u_i 는 <표 2>에서의 범위에서 0과 1 사이에 값을 갖는 것으로 정규화되어 있다. 이하의 하위속성에 대해서도 가법형 함수로 설정하였다¹²⁾.

4. 단일속성 효용함수의 도출

단일속성 효용함수의 정확한 형태를 얻기 위해서는 먼저, DM이 가진 특정 속성에 대한 위험태도가 결정되어야 한다. 그런 후에 일반적인 형태로부터 구체적인 개별속성함수

9) Keeney and Raiffa(1976), Keeney(1977, 1992)가 제시한 승법형 효용함수는 속성들에 대한 의사결정자들의 선호가 무차별할 경우 가법형태를 취하는 것이 바람직하다고 하였다. MUF를 형성하는데 있어 단일효용함수가 상호연관성(interdependence)의 성격을 가질 경우 추정되는 값에 오차가 발생할 수가 있다(Lam et al., 1997). Lam et al.(1997)에 의하면 단일효용함수가 독립적이라고 가정한다면, MUF의 분산값은 속성의 수가 증가할수록 낮아진다고 하였다¹⁾. 즉, 선호독립과 효용독립이 만족된다면 효용함수를 가법의 형태로 사용하는 것이 바람직하다고 하겠다.

10) Keeney and Raiffa(1976)는 가치모형의 적절한 형태를 결정하는데 필요한 독립성 가정과 의사결정 분석에서 이러한 가정들을 사용하는 기초를 자세하게 설명하고 있다.

11) Yoo et al.(2001)은 산업요소 효용함수의 3개의 하위 속성에 대해 승법을, 시장요소 효용함수의 2개 하위 속성에 대해 역시 승법의 형태를 취하였다.

12) 하위속성에 대한 승법형 함수의 설정은 $k = 0$ 일 경우 승법형 함수는 가법형으로 변형할 수 있다(Keeney and Raiffa, 1976).

가 식별된다. 일반적으로는 지수적 함수형태 또는 선형의 함수형태가 가정되며, 이러한 형태를 사용하는 것이 개별속성 효용함수를 추정하는데 있어서 강건(robust)한 것으로 알려져 있다(Keeney, 1992)¹³⁾¹⁴⁾. 본 연구에서는 원자력전문가 48명을 대상으로 2차 설문을 실시하였는데 DM의 수가 많아서 모든 DM의 단일속성 효용함수를 전부 싣기는 거의 불가능하기에 편의상 단순성을 위해 단일속성 효용함수를 위험중립(risk-neutral)의 형태로 가정하였다¹⁵⁾.

5. 속성의 상대적 중요성 평가

개별속성에 대한 효용함수를 도출한 후에는 각 속성들의 상대적 중요성을 평가하여 이로부터 DM에게 어떠한 속성들이 얼마만큼의 중요도를 갖는가를 도출할 수 있게 된다. 상대적 중요성을 평가하기 위해서는 설문을 통해 자신이 선호하는 속성에 따라 속성들을 나열하고 이에 대해 가중치를 매기도록 유도하게 된다. 이러한 과정을 수행하기 위해 여기서는 가장 일반적으로 사용되는 가중치 결정방법인 스윙기법을 사용하였다(Russell et al., 2000; Dale et al., 1996)¹⁶⁾¹⁷⁾. 독립성 조건의 충족을 위해 DM에게는 인터뷰 실시과정에서 각각 고려하고 있는 속성을 제외한 나머지 속성들은 어떤 특정수준에서 변화하지 않음을 지속적으로 주지시켰다.

6. MUF의 구성

연구의 대상이 되는 종합목표에 여러 속성들이 얼마나 기여하는 가를 나타내는 하나의 수학적, 즉 MUF로 결합될 수 있으며, 이는 종합목표를 평가하는 일종의 지수를 개발하는데 사용될 수 있다. MUF를 구성하는 데에는, 4단계에서 구한 단일속성 효용함수와 비례

-
- 13) 이론적으로 구간에 따라 증감이나 서로 다른 위험태도가 혼재된 보다 복잡한 효용함수를 사용하여 효용함수의 형태를 결정할 수 있다. 하지만 여러 실증연구결과로 판단할 때, 단일속성 효용함수가 MUF의 구성요소로 사용되는 경우에는 복잡한 효용함수가 거의 요구되지 않는다(Keeney, 1992).
 - 14) 유승훈·곽승준·김태유(1998)에서는 확률을 가정한 확정적 변수 평가법을 사용한 단일효용함수의 형태를 구성하였다. Farquhar(1984)는 확률변수법과 확정적 변수 평가법을 이용한 함수형태에 대해 논의하고 있다.
 - 15) 단일속성 효용함수의 구체적 형태는 저자에게 요청시 구득가능하다.
 - 16) 가중치를 결정하는 여러 가지 방법의 소개와 스윙기법의 바람직성에 대한 보다 자세한 논의는 Roessler and McDaniels(1994)를 참고할 수 있다.
 - 17) 유승훈·곽승준·김태유(1998)에서는 스윙기법이 사용되었다. Barron and Barrett(1996)은 다속성 효용이론의 적용에서 ROC(rank order centroid weights)을 사용하였으며, 이는 순위와 스윙기법을 합한 형태이다. Edwards and Newman(1982)의 Drug-Free Center에 적용한 다속성효용이론에서의 가중치 결정은 비율평가(ratio estimation)를 사용하였다. Ulvila and Snider(1980)에서는 가장 선호되는 속성의 값을 100의 점수를 주고 내림차순으로 점수를 매겨 정규화하여 각 속성별 가중치를 산정하였다. Bard(1992)가 제시한 각 전문가들의 가중치를 산술평균과 기하평균을 이용하여 최종적인 가중치를 구하고 순위를 매기는 방법도 적용할 수 있다. 박주형·김정흠(1999)의 연구개발사업의 우선순위결정연구에서는 가중치는 순위(ranking)에 의해 결정하였다.

상수 k_i 가 사용된다. 이 비례상수는 5단계에서 구한 가중치가 합해서 1이 되도록 정규화함으로써 유도하였다. 선호독립, 효용독립, 가법독립 세 개의 독립조건이 모두 만족될 때 가법형이 적절하며(Fishburn, 1965), 만약 독립성 조건이 만족되지 않는다면 속성들을 재구성하거나 함수형태를 보다 복잡한 승법형으로 바꾸는 것이 고려될 수 있다.

Keeney and Raiffa(1976), Keeney(1977, 1992)가 제시한 승법형효용함수는 속성들에 대한 의사결정자들의 선호가 무차별할 경우 가법형태를 취하는 것이 바람직하다고 하였다. MUF를 형성하는데 있어 단일효용함수가 상호연관성의 성격을 가질 경우 승법형 효용함수를 사용한다(Delquie and Luo, 1997).

이와 같은 과정을 통해 도출된 속성의 중요도와 정규화된 비례상수의 값이 <표 3>에 제시되어 있다. 이러한 비례상수의 값을 통해서 우리는 DM에게 가장 중요성을 갖는 속성이 주어진 속성의 범위내에서 산업계는 계획·전략의 적정성(3.1.2), 최종 연구결과의 활용성(1.3.2), 연구개발결과의 파급효과(1.3.1) 등의 순으로 나타났다. 학계는 계획·전략의 적정성(3.2.1), 연구개발 목표달성(3.1.1), 공개발표된 연구개발성과(2.2.1) 등의 순으로, 연구계는 수입대체효과(1.2.1), 연구개발 목표달성(3.1.1), 기술축적효과(1.1.1) 등의 순이다. 관(정부)계는 국내의 전문가의 효율적 활용(2.1.1), 공개발표된 연구개발성과(2.2.1), 연구개발 목표달성(3.1.1) 등의 순이다.

한편 한면의 전문가를 대상으로 다속성 효용이론을 적용할 경우 속성별 효용함수의 형태에 의해 도출된 값들을 가법의 형태로 합치기만 하면 된다. 하지만 다수전문가들을 대상으로 할 경우 다수의 총효용을 어떻게 합칠 것인가, 즉 다수의 의견을 어떠한 형태로 수렴시킬지에 대한 문제에 봉착하게 된다¹⁸⁾. 본 연구에서는 단일속성 효용함수를 위험중립의 형태로 가정하였다. 이 가정을 통해 개별 DM들의 속성별 가중치를 산술평균과 기하평균의 방법으로 총합할 수 있다(Bard, 1992).

이와 같은 과정을 통해 도출된 속성의 중요도와 산술평균과 기하평균으로 구하여 정규화된 비례상수(가중치)의 값이 <표 3>에 제시되어 있다. 이러한 가중치를 통해서 DM에게 가장 중요성을 갖는 속성이 주어진 속성의 범위내에서 연구개발 목표달성(3.1.1), 계획·전략의 적정성(3.1.2), 최종연구결과의 활용성(1.3.2) 등의 순으로 나타남을 알 수 있다. 수출산업효과(1.2.2)는 국내 원자력산업의 현황상 아직 초기단계이기 때문에 DM이 가장 덜 중요한 속성으로 인식하고 있으며, 오히려 수입대체효과부문(1.2.1)을 더 중요하게 인지하고 있다.

18) 이는 Arrow(1951)의 불가능성정리의 이론적 배경이 필요하며, 전문가들의 MUF을 어떻게 합칠 것인지에 대한 문제로 사회후생함수를 극대화하는 방법론에 대한 확장이 필요하다.

<표 3> 가중치산정과 중요도 순위

속성	산술평균		기하평균	
	가중치	순위	가중치	순위
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	

IV. 결과에 대한 논의

지금까지 원자력연구개발사업 사후평가를 위한 지표개발에 MAUT의 적용가능성을 검토해보았다. 본 장에서는 도출된 가중치와 다속성 효용함수를 이용하여 DM이 직면한 원자력연구개발사업 사후평가에 대한 시사점을 제시하고자 한다. 연구개발사업의 중요한 측면과 관련된 DM의 관점을 반영하는 MAUT 접근방법은 다음과 같은 여러 장점을 지닌다. 첫째, 의사결정의 기술적인 구성요소와 가치의 구성요소를 명확하게 구별할 수 있게 하고, 기술적인 정보는 전문가나 관련 문헌으로부터 도출하며, DM 또는 관련 이해당사자들은 이에 대한 가치판단을 수행하게 한다. 둘째, 상황변화에 대한 유연성을 지닌다. 이는 각 속성의 변동을 상당히 넓게 허용하는 이론의 특성에 따른 것이라고 할 수 있다. 결

과적으로 의사결정상황이 변화하더라도 재계산이 용이하여 이로부터 필요한 정보를 얻을 수 있다.

1. 각 그룹에 대한 가중치 도출

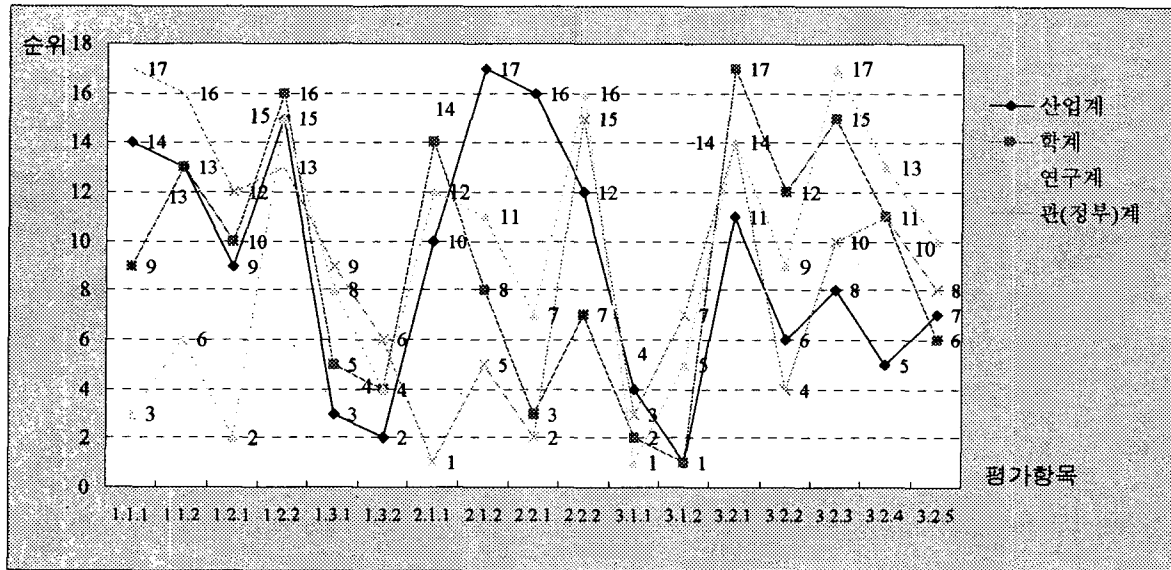
원자력연구개발사업 사후평가에 대한 2차 설문대상자의 수는 48여명에 달한다. 48명은 크게 산·학·연·관으로 그룹을 나눌 수 있으며, 산술평관을 이용하여 각 그룹에 대한 가중치를 계산하였다¹⁹⁾.

<표 4> 그룹별 가중치산정

속성	산		학		연		관	
	가중치	순위	가중치	순위	가중치	순위	가중치	순위
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	

19) 그룹별 총효용함수의 가중치를 결정하는 방법은 다음과 같다. 첫째, Zimmermann(1987)가 제시한 평균연산의 적용이 가능하다는 것이다. 각 전문가의 MUF을 집단구분을 하지 않고 모든 전문가의 총효용의 값을 가법의 형태로 구성하는 경우이다. 이때의 모든 가중치는 1로 취급하는 것이다. 둘째, 집단을 분류하여 각각의 집단의 가중치를 1로 놓는 경우이다. 예를 들어 다수의 전문가들을 산·학·연·관으로 구분하여 각 그룹별로 가중치를 1로 설정하는 것이다.

<표 4>에서 보면 산업계는 계획·전략의 적정성(3.1.2), 연구개발결과의 파급효과(1.3.1), 최종연구결과의 활용성(1.3.2)를, 학계는 계획·전략의 적정성(3.1.2), 연구개발 목표달성(3.1.1)를, 연구계는 연구개발 목표달성(3.1.1), 수입대체효과(1.2.1)를, 관(정부)계는 국내의 전문가의 효율적 활용(2.1.1), 공개발표된 연구개발성과(2.2.1)를 중요하게 여기고 있다. 이러한 차이점은 각 그룹의 특성을 반영하고 있는 것으로 판단된다. 각 속성에 대한 그룹별 순위를 그림으로 나타내면 <그림 1>과 같다.



<그림 1> 그룹별 가중치 분포도

2. 실증분석

본 연구는 DM이 원자력연구개발사업 여러 세부프로젝트에 대한 평가에 적용 가능하다²⁰⁾. <표 5>에는 원자력연구개발사업의 실제 세부프로젝트인 A, B, C, D, E에 대한 각 속성의 값과 산·학·연·관 그룹별 총효용함수의 값이 제시되어 있다. 두 번째행의 두 번째에서 여섯번째 열의 각 값은 단일 효용함수의 수치이다. 제시된 단일속성 효용함수의 값만으로는 어느 것이 우월한 대안인지에 대한 판단이 쉽게 서지 않게 된다. 그러나 MUF를 구성하고 이에 따른 효용함수값을 계산하는 경우 이 값에 의해 다섯 개의 프로젝트의 수평적 비교가 가능해지게 된다. 산업계, 학계, 연구계의 경우 A>B>C>D>E의 순으로 나타났으며, 관(정부)계는 A>B>D>E>C의 순이다. 결국 네 개의 그룹에서 과제 A가 가장 우월한 것임을 알 수 있다. 반면 관(정부)계의 과제 C에 대한 평가가 다섯 번째 순위에 놓여 있다. 이는 <표 4> 그룹별 가중치산정에서 관(정부)계의 가중치순위가 다른 세

20) 연구의 익명성을 보장하기 위해 원자력연구개발사업 세부프로젝트의 과제명을 A, B, C, D, E과제로 표기한다.

그룹과는 차이를 보이고 있기 때문이라고 판단된다. 즉, 과제 C의 속성별 단일효용함수의 값과 가중치순위를 비교하여 보면 높은 순위에서 낮은 효용값을 보이고 있다. 이는 산·학·연 그룹과의 원자력연구개발사업을 평가하는 데 있어 나타나는 가치관의 차이점으로 볼 수 있다.

<표 5> 각 과제에 대한 그룹별 평가

구분	A	B	C	D	E
$u_{111}(x_{111})$	0.8	0.7	0.6	0.6	0.6
$u_{112}(x_{112})$	0.75	0.65	0.65	0.5	0.5
$u_{121}(x_{121})$	0.01	0.01	0.01	0.015	0.015
$u_{122}(x_{122})$	0.2	0.2	0.2	0.15	0.15
$u_{131}(x_{131})$	0.5	0.5	0.4	0.3	0.3
$u_{132}(x_{132})$	0.8	0.8	0.7	0.6	0.6
$u_{211}(x_{211})$	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
$u_{212}(x_{212})$	0.25	0.25	0.1	0.5	0.5
$u_{221}(x_{221})$	0.4	0.4	0.4	0.6	0.6
$u_{222}(x_{222})$	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
$u_{311}(x_{311})$	0.9	0.8	0.9	0.8	0.8
$u_{312}(x_{312})$	0.8	0.8	0.75	0.7	0.7
$u_{321}(x_{321})$	0.9	0.9	0.8	0.9	0.9
$u_{322}(x_{322})$	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7
$u_{323}(x_{323})$	0.9	0.9	0.9	0.8	0.8
$u_{324}(x_{324})$	0.8	0.8	0.8	0.8	0.75
$u_{325}(x_{325})$	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7
$U(x)$ -산	0.72467	0.70889	0.66754	0.63215	0.62777
순위	1	2	3	4	5
$U(x)$ -학	0.66887	0.64907	0.61096	0.61075	0.60905
순위	1	2	3	4	5
$U(x)$ -연	0.65162	0.62459	0.58905	0.58235	0.58036
순위	1	2	3	4	5
$U(x)$ -관	0.68033	0.66612	0.63671	0.66610	0.66432
순위	1	2	5	3	4

<표 5>를 통해 각 과제에 대한 그룹별 MUF의 값을 수평적으로 비교하여 보았다. 이제 그룹별 MUF를 총합한 총합MUF의 값이 <표 6>에 제시되어 있다. 총합MUF의 값은 <표 3>에서 제시되어 있는 산술평균과 기하평균에 의하여 산정된 가중치와 속성별 단일효용

함수의 값으로부터 구할 수 있다. 각 과제에 대한 총합MUF의 값은 산술평균과 기하평균이 동일하게 A>B>C>D>E의 순으로 값을 나타내고 있다. 이에 대한 분석은 Bard(1992)의 가중치를 산정하는 데 있어 산술평균과 기하평균 중 어느 것을 사용해도 됨을 뒷받침해주고 있다.

<표 6> 총합 MUF의 산정

구분		A	B	C	D	E
총효용합수	산술평균	0.68137	0.66217	0.62607	0.62284	0.62037
	순위	1	2	3	4	5
	기하평균	0.68843	0.66896	0.63309	0.62218	0.61967
	순위	1	2	3	4	5

총합 MUF는 원자력연구개발사업 사후평가를 위한 평가지표 개발의 필요성을 만족시킨다. 총합 MUF는 몇 가지 측면에서 매우 유용하다. 첫째, 원자력연구개발사업 세부프로젝트의 상대적 순위를 매기는데 사용될 수 있는데, 이 때의 순위(평가)는 효용의 관점에서 정의되며 국가연구개발사업에 대한 DM과 원자력전문가들의 판단을 반영한다. 따라서 이에 근거하여 특정 속성의 영향을 효용의 관점에서 비교할 수 있는 것이며, 그 결과로서 정책결정을 하는데 도움을 줄 수 있을 것이다. 둘째, 속성선택의 유연성을 들 수 있다. 이는 시점별, 세부사업별 상이한 특성들을 반영할 수 있도록 신축성있는 속성의 선택을 가능하게 함으로써 원자력연구개발사업의 지속적인 평가를 가능하게 한다.

V. 결 론

본 연구의 목적은 원자력연구개발사업 사후평가에 대하여 DM에게 정책결정에 타당한 정보를 제공할 수 있는 방법론에 대한 체계적 적용을 시도하고 이러한 방법론적 절차에 따라 다속성 지수를 개발하는 것이었다. 본 연구에서는 MAUT의 적용절차에 대한 검토를 실시하였으며, 도출된 다속성 지수를 이용하여 DM에게 원자력연구개발사업이 전체적인 목표하에 세부프로젝트의 성공적인 결과가 도출되는지에 대한 사후평가지표를 제공하고 하였다. 이러한 목적을 이루기 위해서는 채택된 방법론을 통해 현실에서 실현가능하고 의사결정과정에 영향을 주는 여러 가지 잠재적 상황에 대한 고려가 가능하도록 설계되어야 한다. 원자력연구개발사업에 대한 평가측정과 합리적 의사결정론의 도입이 필요한 상황에서 본 연구가 채택한 MAUT 접근이 어느 정도 잠재적 유용성을 갖는다고 말할 수 있다. 본 연구결과 원자력연구개발사업에 대한 사후평가분석을 통해 다음의 세 가지 효과를 얻을 수가 있다. 첫째, 기술적 측면에서 원자력연구개발사업 지원에 필요한 객관적 기준 및 근거를 마련할 수 있다. 둘째, 산업·경제적 측면에서는 기술 및 정책 전문가의 의견 반영뿐만 아니라 다양한 계층의 입장도 반영함으로써 보다 효과적인 원자력연구개발사업 운영 방안을 도모할 수 있을 것이다. 또한 본 연구의 결과를 연장하여 기타 다른 과학기술분야의 연구개발투자에 대한 평가에 활용할 수 있을 것이다.

참고문헌

1. 김계수 외, “국책연구개발사업의 평가 시스템에 관한 연구”, 과학기술정책동향, 제 4 권, 1995
2. 박주형·김정흠, “연구개발사업 우선순위 설정에 있어서 다속성효용이론(MAUT)과 계층분석과정의 비교,” 기계연구원, 1999.
3. 서상혁, “『공업기반기술개발사업의 성과분석 및 평가기법 최적화를 위한 연구(I)』”(최종 보고서), 1992.
4. 양지원·강창순, “다속성효용함수를 이용한 사용후원전연료 정책대안 비교 연구,” 한국원자력학회, ‘99 추계학술발표회 논문집, 1999.
5. 유승훈, 곽승준, 김태유, “환경관련 의사결정을 위한 환경영향지수 - 전력산업을 중심으로,” 자원경제학회지, 제7권, 제2호, 한국자원경제학회, 1998. pp. 111-135.
6. 유승준, 곽승준, 김태유, “서울시 대기질 속성의 가치측정 - 다속성 효용이론에 근거한 조건부 가치측정법,” 환경경제연구, 제7권, 제2호, 한국환경경제학회, 1992. pp. 243-270.
7. 유승훈, 김준상, 김태유, “전파자원 관리에 대한 의사결정분석 - 다속성 효용이론의 적용을 중심으로,” 정보통신정책연구, 제7권, 제1호, 정보통신정책학회, 2000. pp. 59-84.
8. 이정훈, “대형국가연구개발프로젝트의 전략적 관리: 사례연구,” 박사학위논문, 한국과학기술원, 1993.
9. 이찬구, “연구개발사업의 메타 평가에 관한 연구,” 박사학위논문, 충남대학교, 1997.
10. 이창효, 『다기준 의사결정론』, 1999.
11. _____, 『집단의사결정론』, 2000.
12. 이회경·김정우, “연구개발투자의 산업간 파급효과: 한국 제조업에 대한 실증연구” 기술혁신연구, 제4권 제1호, 1996.
13. 임운철·이철원·이정원, 『국가혁신시스템 강화를 위한 국가연구개발사업 평가방법 연구』, 과학기술정책관리연구소, 1997.
14. _____, 『집단의사결정론』, 2000.
15. 장유길, 다속성효용이론에 관한 연구, 경영학연구 제16권 제2호, 1987.
16. Edwards, W. and D. von Winterfeldt, "Public Values in Risk Debates," *Risk Analysis*, Vol. 7, 1987, pp. 141-158.
17. Arrow, Kenneth J., "An extension of the basic theorems of classical welfare economics," in Neyman, J.(ed), *Proceedings of the second Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability*, 1951.
18. Bard. J. F., "A Comparison of The Analytic Hierarchy Process with Multiattribute Utility Theory: A Case Study," *IEE Transactions*. Vol. 24. 1992.
19. Barron, H. and Barrett, B. C., "The efficacy of SMARTER-Simple Multi-Attribute Rating Technique Extended to Ranking," *Acta Psychologica* 93, 1996.

20. Barron, H. and Schmidt, C. P., "Sensitivity Analysis of Additive Multiattribute Value Models," *Operations Research*, Vol. 36, No. 1, 1988.
21. Brennan, P. F., "Measuring Nursing Practice Models Using Multi-Attribute Utility Theory," *Research in Nursing and Health*, Vol. 23, 2000.
22. Coner, A., "Relevance and Application of Multiattribute Utility Theory and Risk Aversion Analysis to Participatory Group Decision Making," *Ph.D. Dissertation*. Michigan State University. 1978.
23. Dale V., C. Russell, M. Hadley, M. Kane and R. Gregory, "Applying Multi-Attribute Utility Techniques to Environmental Valuation: A Forest Ecosystem Study," *Paper Presented at the Southern Economic Association Meetings*, Washington, D.C., November 1996.
24. Delquie, P. and Luo, M., "A Simple Trade-off Condition for Additive Multiattribute Utility," *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, Vol. 6, 1997
25. Edwards, W. and Newman, J. R., *Multiattribute Evaluation*, Sage University Paper series on Quantitative Applications in the Social Sciences, 1982.
26. Farquhar, P. H., "A Fractional Hypercube Decomposition Theorem for Multiattribute Utility Functions," *Operations Research*, 23, 1975.
27. _____, "State of the Art: Utility Assessment Methods," *Management Science*, Vol. 30, 1984.
28. Feeny, D. and Furlong, W. and Barr, R. D., "Multiattribute Approach to the Assessment of Health-Related Quality of Life: Health Utility Index," *Medical and Pediatric Supplement*, Vol. 1, 1998.
29. Fishburn, P. C., "Independence in Utility Theory with Whole Products Sets," *Operation Research*, Vol. 13, 1965, pp. 28-43.
30. _____, "Methods of Estimating Additive Utility," *Management Science*, Vol. 13, 1967.
31. Goicoechea, A., D. R. Hansen and L. Duckstein, *Multiobjective Decision Analysis with Engineering and Business Applications*, New York, John Wiley & Sons, 1982.
32. Keeney, R., "Multiplicative utility functions," *Operation Research*, Vol. 22, 1974
33. _____, "The art of assessing multiattribute utility functions," *Organizational Behav. Human Performance*. Vol. 19, 1977.
34. _____, *Value-Focused Thinking: A Path to Creative Decisionmaking*, Harvard University Press, 1992.
35. Keeney, R. and Lilien, G. L., "New Industrial Product Design and Evaluation Using Multiattribute Value Analysis," *J. Prod. Innov. Manag.*, 1987.
36. Keeney, R. and H. Raiffa, *Decisions with Multiple Objectives*, John Wiley & Sons, New York, 1976.
37. Kim T. Y., S. J. Kwak and S. H. Yoo, "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*, Vol. 41(1998), pp. 597-610.
38. Kwak Seung-Jun, Yoo Seung-Hoon and Kim Tai-Yoo, "A Constructive Approach to Air Quality Valuation in Korea," *Ecological Economics*, 2001.
 39. Lam, P. and Moskowitz, H. and Eppel, T. and Tang, J., "Decomposition, Interdependence and Precision in Multiattribute Utility Measurement," *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, Vol. 6, 1997.
 40. Pan, J. 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*, Vol. 46, 1998.
 41. Roessner, J. D., "Evaluating government innovation programs: Lessons from the U.S. experience", *Research Policy*, Vol.18, 1989, 343-359.
 42. Turston, D. L., "Multiattribute Utility Analysis in Design Management," *IEEE Transactions on Engineering Management*, 1990.
 43. Ulvia, J. W. and Snider, W. D., "Negotiation of International Oil Tanker Standards: An Application of Multiattribute Value Theory," *Operations Research*, Vol. 28, No. 1, 1980.
 44. von Neumann, J. and O. Morgenstern, *Theory of Games and Economic Behavior*, Princeton University Press, 1947.
 45. Winterfeldt, Detlof V. and Ward Edwards, *Decision Analysis and Behavioral Research*, Cambridge University Press, 1986.
 46. Yoo, S. H. and Kim, J. S. and Kim, T. Y., "Value-Focused Thinking about Strategic Management of Radio Spectrum for Mobile Communications in Korea," *Telecommunications Policy*, forthcoming
 47. Yoon, K. P. and Hwang, C. L., *Multiple Attribute Decision Making: an Introduction*. Sage University Paper series on Quantitative Applications in the Social Sciences, 07-104. Thousand Oaks, CA: Sage. OR. 1995.
 48. Zimmermann, H. J., Fuzzy Sets, *Decision Making, and Expert Systems*, Kluwer Academic Publishers, Boston, 1987.