

☒ 응용논문

AHP를 이용한 원자력 연구개발 대안평가*

- A Study on the Determination of the Priority of Investment on R&D Planning on Nuclear Power Technology using AHP -

이 병욱**
Lee, Byung Wook
임 채영**
Lim, Chae Young

Abstract

This paper considers the determination of the priority of investment on R&D planning on nuclear power technology using AHP. Due to the complexity of problem, the hierarchy was divided into two parts; main hierarchy and sub-hierarchies. The result shows that the priority of technology options of evolutionary reactor and safety evaluation was higher than that of others.

1. 서론

산업혁명 이후 각 국가들은 경제개발을 가속화시키기 위해 과학 및 기술개발에 상당부분 의존하였으며, 그 결과 연구개발(R&D) 노력이 각 국가의 중요한 관심사로 인식되었다[1]. 우리나라에서도 연구개발을 증진시키기 위한 노력이 여러 분야에서 이루어졌다. 그러나 연구개발 과제의 선정에 있어서는 체계적인 방법이 적용되지 못하고, 비공식적이며 의사결정자의 주관적인 추론에 의해 이루어졌다고 보아도 과언이 아니다[2]. 최근 들어 연구개발 계획에 대한 객관적인 평가의 필요성이 인식되어 연구개발 과제의 우선 순위 선정 등에 있어서 여러 가지 평가기법들이 적용되고 있다.

원자력과 같이 중요한 분야의 연구개발 정책 목표를 설정하는데 있어서, 자원이 부족한 국가들은 한정된 자원과 인력을 효율적으로 이용하기 위한 전략을 설정하는 것이 필요하다.

연구개발 프로젝트 포트폴리오(portfolios)의 계획에 관한 문제는 지난 수년간 많은 연구자들의 관심대상이 되어왔다. 이러한 문제를 해결하기 위해 scoring model[3]에서부터 복잡한 수학적 모델[4]이 개발되는 등 수많은 시도가 행해졌다[5, 6]. 비록 이러한 모델들이 계속 복잡하게 개발되어 왔지만 실제로 많은 부분에서 응용되지는 않았다. 이의 주된 이유는 연구개발의 복잡성과 불확실성에 있으며, 또 다른 이유로는 많은 경우, 평가자료들이 정성적인 특성을 띠기 때문이다. 이러한 문제점들을 극복하고, 적용하기 쉬운 방법론 중의 하나가 Saaty T. L.가 개발한 계층화 의사결정기법(AHP: Analytic Hierarchy Process)이다. AHP기법은 계층구조를 이용하여 반복적으로 분석하는 방법으로서 이해하기 쉽고 간단해서 여러 분야에 응용되고 있으며, 특히 향후 개발할 기술의 대안을 선정하는데 많이 이용되고 있다[7, 8, 9, 10].

* 본 연구는 한국원자력연구소 기관고유사업의 일환으로 수행한 것이며, 연구결과는 한국원자력연구소의 공식적인 입장을 표명한 것은 아님.

** 한국원자력연구소

본 연구는 한국의 원자력기술 연구개발 투자의 우선 순위를 결정하는데 기초 자료로 활용할 수 있도록 하기 위하여 연구개발 대안의 체계적 평가를 모색한다. 이를 위해 문제의 구조를 계층화하고 각 평가기준과 대안을 정의한 다음 이 분야의 전문적인 지식을 보유하고 있는 사람들을 대상으로 설문조사를 실시하였다. 일반적으로 AHP를 적용하는 경우 하나의 계층구조를 설정하여 평가를 해나가지만 본 연구에서 다루는 문제는 하나의 계층구조로 나타낼 수 없는 특수성을 지니고 있어서 2개의 계층구조를 작성한 다음 평가를 실시하였다.

2. 원자력 연구개발 대안평가

2.1 문제의 정의

원자력을 이용하여 전력을 안정적으로 공급하기 위해서는 우선 원자력 발전소의 이용률을 향상시켜야 하며, 안전성을 확보하여 발전소에서 사고가 발생하지 않도록 해야 한다. 이를 위해서는 원자력발전소를 구성하는 주요 품목인 원자로, 핵연료 기술을 개선시켜야 하며, 발전소 건설 및 운영기술이 확보/유지되어야 한다. 또한 발전소에서 나오는 방사성폐기물을 안전하게 처리/처분하기 위한 기술이 지원되어야 하며, 이외에도 안전한 발전소 운영의 토대가 되는 안전성 기술, 주변 기기의 제작 및 운영에 필요한 기반 기술도 동시에 개발되어야 원자력발전소의 전체적인 시스템이 정상적으로 운영될 수 있게된다.

원자력기술의 연구개발 정책에 관한 의사결정 문제는 기술, 사회 그리고 환경적인 요인과 수많은 기술 대안들을 포함하는 복잡한 문제의 대표적인 사례다. 본 논문에서는 연구개발 의사결정에 포함될 각 대안과 기준을 결정하기 위하여 먼저 관련 연구개발 보고서 등을 조사하고 과학기술부에서 발표한 원자력 연구개발 중장기계획을 참고하였으며, 이를 기초로 계층구조의 초안을 작성하였다.

2.2 평가기준의 설정과 문제의 계층화

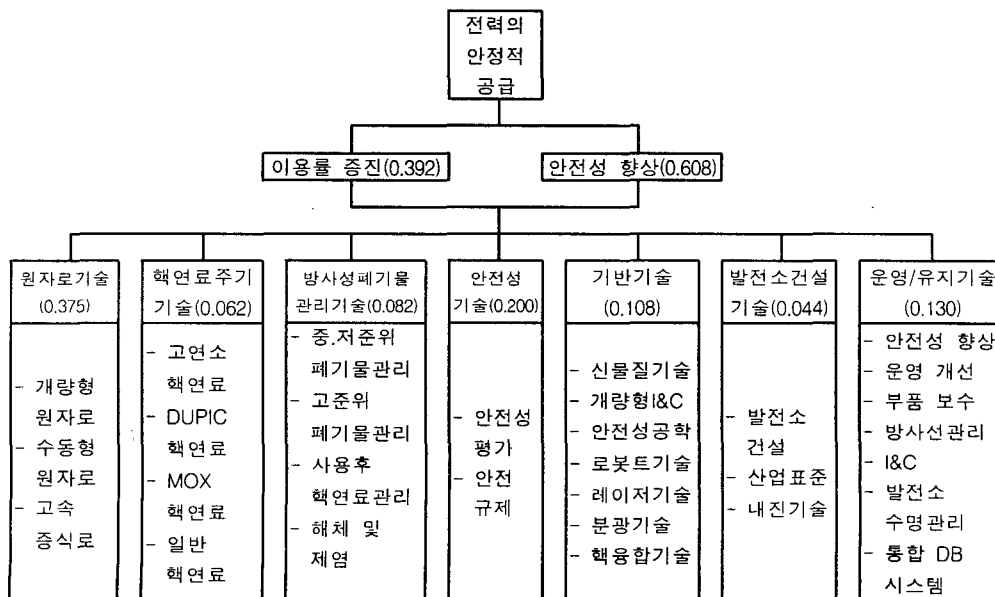
특정 문제에 대해 객관적인 의사결정을 추구하기 위해서는 1명의 전문가 의견을 반영하기보다는 전문가 그룹의 합의를 바탕으로 실시하는 것이 더욱 유리한 것으로 평가되고 있다[11]. 그러나 기존의 그룹의사결정 방식에서는 특정의 문제에 대해서 1명의 의사결정자가 기준 및 대안 등을 설정하고 전문가 그룹에게 평가만을 요구하였는데 이 경우 문제의 정의 및 구성단계에서 전문가 집단의 의견이 반영되지 못하고 전문적인 인력자원을 효과적으로 이용하지 못하는 결과를 초래하게 된다. 따라서 2.1의 문제의 정의에서 작성한 계층구조 초안을 완성하고 평가를 실시하기 위해 '한국과학기술원 원자력공학'과 대학원생 10명으로 구성된 의사결정 그룹을 구성하였다. 원자력 연구개발에 대한 의사결정을 위해서는 원자력 산업의 특수성과 기술 자체가 포함하고 있는 각 기술특성을 이해하고 있는 사람들의 의견반영이 필요하다. 현재 이러한 능력을 보유하고 있는 전문가가 많이 있지만 이들 대부분은 원자력 산업의 특정 분야에서 근무하고 있기 때문에 이들의 참여는 의사결정을 편향되게 할 우려가 있다. 따라서 본 연구에서는 원자력산업의 각 기술특성을 이해하고 있으면서도 특정 분야에 근무하고 있지 않은 집단을 의사결정 그룹으로 선정하였다. 그리고 주계층과 부계층을 확정하기 위해 비생산적인 요소를 배제하면서 양질의 합의를 도출할 수 있는 명목그룹기법(NGT: Nominal Group Technology) 절차에 따라 계층의 확정작업을 추진하였다[12]. 일반적으로 NGT를 수행하는 과정은 개인적인 아이디어 창출, 돌아가며 아이디어 제안, 제안된 아이디어 항목들을 통합하고 조정, 조정된 항목들에 대한 투표, 투표결과에 대한 토의 등이다[13]. 그러나 본 논문을 수행하는 과정에서는 먼저 의사결정 그룹에 대해 NGT를 설명하여 주고 2.1의 문제의 정의에서 작성한 계층구조의 초안을 제시한 다음 NGT를 수행하였기 때문에 개인적인 아이디어 창출단계는 생략하고 평가기준과 기술대안들을 추가하거나 삭제하는 과정을 통하여 계층구조를 수정·확정하였으며, 그 후 우선 순위를 평가하기 위하여 AHP기법에 따른 쌍대비교를 실시하였다. 이러

한 절차에 따라 연구를 수행함으로써 말이 많은 사람이 모임을 주도하는 것을 방지할 수 있었으며, 여러 사람의 생각을 종합할 수 있었고 생산성 없이 돌고 도는 토론을 방지하는 등의 장점이 있었다. 그러나 의사결정 집단이 NGT에 대한 지식이 부족하여 수시로 이에 대한 설명이 필요하였으며, 주제층의 기술분야 및 분야별 기술대안이 너무 많은 관계로 대안이 상호 경쟁관계가 되지 못하여 일부 기술분야의 경우 쌍대비교를 수행하기가 곤란한 문제점이 발생하기도 하였다.

2.3 우선순위 결정을 위한 계층구조 설정

원자력 사업은 타산업과는 달리 대규모인 동시에 여러 가지 기술을 필요로 한다. 이러한 기술들은 또한 다양하게 존재하며, 특정 기술에 대한 투자의 우선 순위를 선정하는데 있어서 다수의 요인이 복합적으로 의사결정에 영향을 미치는 양상을 나타내고 있다. 일반적으로 AHP를 이용하여 특정 문제를 평가할 때 하나의 계층구조로서 문제를 나타낸다. 계층구조의 최상위에는 문제의 목표를 설정한 다음 그 하위 계층으로 내려가면서 상위 계층에 기여하거나 영향을 미치는 속성이나 기준들을 나타내고 맨 하위계층에 대안들을 나타낸다. 그러나 본 논문에서 다루고 있는 우선 순위 평가문제는 많은 기술들을 평가해야 하고 전체 목표를 달성하는데 필요한 대안들과 각 대안들의 평가를 위한 기준을 하나의 계층구조로 나타낼 수 없는 특수한 문제로 귀착되어 계층구조를 주제층(main hierarchy)과 부계층(sub-hierarchy)으로 나누어 설계하였다.

본 논문에서는 에너지의 안정적 공급을 주제층의 목표로 삼고 이 목표를 달성하는데 필요한 2가지의 측면 즉, 원자력 이용률의 증진과 원자력의 안전성 확보로 정하였다. 이 두 기준은 주제층의 2번째 단계에 위치하며, 원자력기술 대안들은 맨 하위계층에 위치하고 있다. <그림 1>에 나타난바와 같이 주제층은 목표를 달성하는데 필요한 대안 즉, 각 기술분야(예를 들면, 원자로기술, 핵연료기술 등) 및 기술분야의 대안들(원자로기술의 경우 개량형 원자로, 수동형 원자로 등)만을 나타낼 수 있을 뿐 각 평가기준을 나타낼 수는 없는 특수한 유형의 문제로 정의된다.



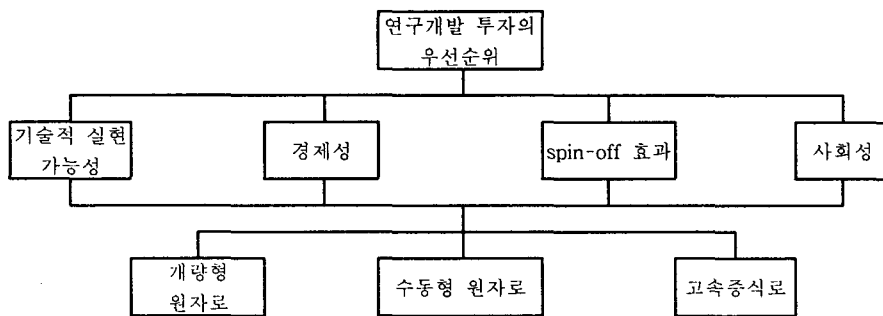
<그림 1> 원자력 연구개발 우선순위 평가의 주제층

예를 들면 원자로기술의 경우 3개의 대안이 원자로기술의 향상에 어느 정도 영향을 미치는지를 평가하는 것이 아니라 하나의 대안을 선정해야하는 문제로 귀착되기 때문이다. 따라서 각 대안들을 평가하기 위한 기준의 설정이 있어야 하며, 이러한 기준의 설정은 주계층에 나타낼 수 없고 별도의 부계층에 포함시켜야 한다.

기술대안의 평가기준으로는 기술적 실현 가능성, 경제성, spin-off 효과, 사회적 수용성으로 정하였다. 각 평가기준의 자세한 내용은 <표 1>에 나타나 있고 이를 각 기술분야별 계층(부계층)으로 나타내면 <그림 2>와 같다. 부계층은 각 분야별 기술을 평가해야 하기 때문에 기술분야의 수만큼 존재하게 되며, 각 분야별 기술의 대안 중에서 우선 순위를 선정하게 된다. 부계층은 <그림 1>의 주계층에서 나타난 각 분야별 기술에 대해서 모두 나타내야 하나 본 논문에서는 원자로 기술에 대해서만 그림으로 나타냈다.

<표 1> 기술대안의 평가기준

기술적 실현가능성	프로젝트를 성공적으로 수행하는데 필요한 기술적 결과의 성취 가능성
경제성	프로젝트가 상업화되었을 경우 돌아오는 이익
Spin-off 효과	기술개발이 다른 분야에 미치는 영향
사회적 수용성	정부의 규제 규정에 합치하거나 일반 국민이 수용할 가능성



<그림 2> 원자로 기술의 계층도

2.4 우선 순위의 평가

직계 상위계층의 평가기준에서 직계 하위계층 요소들의 상대적인 중요도를 평가하기 위해서는 쌍대비교를 해야하며, 이를 계량화하는 것이 필요하다. 여기에 이용되는 비율척도(ratio scale)로는 통상 9점 척도가 널리 이용되고 있으며[14], 본 연구에서도 9점 척도를 이용하여 설문서를 작성하였으며, 앞에 설명한 의사결정 그룹에 평가를 의뢰하였다.

2.5 복수 평가자 자료의 결합

평가의 정확성을 기하기 위해 여러 전문가, 의사결정자 또는 관련자에 의하여 쌍대비교 행렬을 얻을 수 있으나 각자의 주관적 사고가 서로 다를 수 있으므로 같은 행렬을 얻는 것은 어렵다. 이 때 좋은 방법은 평가자들의 판단이 일치될 때까지 토의를 통해 합의된 쌍대비교 행렬을 얻는 것이다.

그러나 이러한 합의에 실패하거나 합의에 도달하기 위한 토론이 이루어질 수 없는 경우에는 평가자 각자의 판단을 통합해야 한다. 이러한 방법으로 여러가지가 있을 수 있으나 쌍대비교에

의한 역수특성(reciprocal property)을 만족해야 하므로 여러 전문가의 판단이 결합된 행렬도 이 특성을 만족해야 한다. 이 특성은 쌍대비교 행렬의 각 성분이 기하평균으로 결합될 때 유지될 수 있다[14].

즉, k번째 평가자의 판단 행렬이 $A_k = (a_{ijk})$ 라면 평가자 n명의 결합된 판단행렬은 다음과 같다.

$$\bar{A} = (\bar{a}_{ij}) \quad \text{단,} \quad \bar{a}_{ij} = \left(\prod_{k=1}^n a_{ijk} \right)^{1/n}$$

따라서 각 평가자들의 쌍대비교 행렬의 일관성을 평가하고 일관성이 좋지 않은 평가자의 자료는 평가에서 제외하고 나머지 평가자들의 판단행렬들을 앞에서 언급한 방법으로 결합한 후에 요인들의 평균가중치를 추정하였으며, 주계층의 평가결과는 <그림 1>에 나타나 있고 부계층의 평가결과는 <표 2>에 나타나 있다.

3. 평가결과의 분석

3.1 주계층

주계층의 목표인 전력의 안정적 공급을 위한 두 가지 요소인 원자력의 이용률 향상은 0.39로 나타났고 원자력의 안전성 증진은 0.61로 나타났다(그림 1 참조). 이는 원자력의 안전성을 증진하여 국민의 이해를 확보하는 것이 원자력의 이용률을 향상시켜 경제성을 증진시키는 것보다도 더욱 중요하다는 것을 의미한다.

원자력 이용률과 안전성 향상을 위해서는 새로운 형태의 원자로를 개발하는 것이 제일 중요한 것으로 나타났으며, 그 다음으로 안전성 기술을 향상시키는 것이 중요한 것으로 나타났다. 이는 원자력 안전성 문제는 원자로 자체에서 기인하는 것으로써 안전규제나 평가기술의 개발보다는 원자로의 기술을 더욱 진보시켜 안전성을 강화시키는 것이 중요한 것으로 평가된다.

3.2 부계층

본 논문에서는 부계층의 여러 기술분야 가운데 중요하다고 생각되는 원자로기술, 핵연료주기 기술, 방사성폐기물 기술, 원자력 안전성 기술에 대해서만 평가하였으며, 그 결과는 <표 2>에 나타나 있다. 일반적으로 계층에 나타나 있는 평가대안은 모두 쌍대비교를 실시하여 중요도나 우선순위를 부과해야 하나 <그림 1>의 기반기술, 발전소 건설기술, 운영/유기기술은 비교가 곤란한 대안으로 구성되어 있으며, 의사결정 그룹이 이 분야에 대해서 전문지식이 없으므로 평가를 실시하지 않았다.

<표 2>에서 나타난 바와 같이 평가기준에서는 경제성과 사회적 수용성이 가장 높은 비중을 차지하고 있다. 이는 원자력산업이 최첨단의 복합적인 기술이지만 타 발전원에 비하여 경쟁력을 확보하지 못하면 개발의 의미가 약하다는 것이며, 또한 방사성 폐기물 처분장 건설에 따른 국민이해 확보가 중요하다는 것을 의미하는 것으로 해석된다.

원자로기술의 경우 개량형 원자로기술이 다른 2개의 기술대안에 비해 우위를 나타내고 있으며, 다음으로 수동형 원자로기술이 높은 비중을 나타내고 있다. 핵연료주기 기술에서는 고연소도 핵연료기술과 기존 핵연료의 개선이 다른 2개의 기술대안에 비해 높은 중요도를 보이고 있는데 이는 개량형 원자로의 중요도와 연계되어 높은 우선 순위를 보인 것으로 판단된다.

폐기물관리 분야에서는 현재 방사성폐기물 처분장을 확정하지 못한 상태를 반영하여 중.저준위 방사성폐기물 관리 문제가 제일 중요한 것으로 나타나고 있으며, 방사성 물질에 오염된 원자로 시설을 해체하고 제염하는 기술은 내방사성 물질이나 장비의 개발 등에 미치는 파급효과가 크다고 판단하여 높은 우선 순위를 차지하고 있는 것으로 평가된다. 안전성 분야에서는 안전규제나 평가기술간에 큰 차이가 없는 것으로 나타나고 있다.

<표 2> 부계층에 대한 평가 결과표

대안 \ 기준	기술적 실현 가능성(0.203)	경제성 (0.446)	Spin-off효과 (0.061)	사회적 수용성 (0.290)	
원 자 로	개량형 원자로	0.642	0.635	0.146	0.271
	수동형 원자로	0.265	0.230	0.230	0.477
	고속중식로	0.093	0.135	0.624	0.152
핵 연 료	고연소 핵연료	0.457	0.399	0.303	0.505
	DUPIC 핵연료	0.083	0.108	0.184	0.086
	MOX 핵연료	0.131	0.100	0.388	0.103
	일반 핵연료	0.329	0.393	0.125	0.306
방사 성폐 기물 관리	중·저준위 폐기물관리	0.602	0.425	0.100	0.617
	고준위 폐기물관리	0.152	0.256	0.173	0.105
	사용후 핵연료 관리	0.158	0.185	0.121	0.133
	해체 및 세염	0.088	0.134	0.606	0.145
안 전 성	안전성 평가	0.471	0.707	0.659	0.500
	안전규제	0.529	0.293	0.341	0.500

4. 결론 및 토의

다수의 대안과 평가기준이 포함되는 복잡한 의사결정 문제들은 이를 공통적으로 수용할 수 있는 절대적인 판단 기준이 없기 때문에 대안의 평가는 매우 어렵다. 원자력 연구개발 기술평가는 기술적 실현가능성, Spin-off 효과, 사회적 수용성 등 하나의 공통 척도로 정량화하기가 곤란하기 때문에 AHP는 매우 유용한 도구라 할 수 있다. 일반적으로 AHP를 적용하는데 있어서 주요 목표와 이를 달성하는데 영향을 미치거나 필요한 기준(또는 속성) 및 대안들을 하나의 계층구조에 나타내고 각각의 기준에 따라 대안들을 평가한 다음 이를 종합하여 각 대안들의 우선 순위를 정한다. 그러나 본 논문에서 취급한 문제는 하나의 계층구조로 나타낼 수 없는 특수한 문제를 두개의 계층구조로 분해하여 해결하였다.

원자력 기술의 우선순위 평가결과 개량형 원자로기술, 고연소도 핵연료기술, 중·저준위 방사성폐기물 관리기술이 다른 대안기술보다도 중요한 것으로 평가되었다. 각 평가기준에서는 경제성과 원자력의 사회적 수용성이 높은 비중을 차지하고 있는데 이는 원자력과 경쟁상대인 석탄화력 발전의 경제성이 원자력의 그것과 동등한 수준에 도달하였기 때문이며, 방사성 폐기물 처분장 건설이 지역주민들의 반대로 성사되지 못하고 있는 현 상황을 반영한 결과로 평가된다. 따라서 원자력 사업은 안전성을 보다 강화하는 동시에 경제성 있는 기술을 개발해야 함을 보여주고 있다.

참고문헌

[1] Jones, P. M. S., "Cost Benefit and Public Policy Issues," *R&D Management*, Vol. 19, No 2, pp. 127-134, 1989.
 [2] Lee, J. J., Lee, S. J. and Bae, J. T., "The Practice of R&D Management: An Empirical Study of Korean Firms," *R&D management*, Vol. 16, No 4, pp. 297-308, 1986.
 [3] Mottley, C. M. and Newton, R. D., "The Selection of Projects for Industrial Research," *Operations Research*, Vol. 7, Nov-Dec, pp. 740-751, 1959.

- [4] Lockett, A. G. and Gear, A. E., "Representation and Analysis of Multi-stage Problems in R&D," *Management Science*, Vol. 19, No 8, pp. 947-960, 1973.
- [5] Gear, A. E., Lockett, A. G. and Pearson, A. W., "Analysis of Some Portfolio Selection Models for R&D," *IEEE Transactions on Engineering Management*, EM-18, No 2, pp. 66-76, 1971.
- [6] Davies, G. and Pearson, A., "The Application of Some Group Problem-solving Approaches to Project Selection in Research and Development," *IEEE Transactions on Engineering Management*, EM-27, No 3, pp. 66-73, 1980.
- [7] Liberatore, M., "An Extension of the Analytic Hierarchy Process for Industrial R&D Project Selection & Resource Allocation", *IEEE Trans. Eng. Manag.*, EM 34(1), pp. 12-18, 1987.
- [8] Prasad, A. V. S. and Somasekhara, N., "The Analytic Hierarchy Process for Choice of Technologies", *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 38, pp. 151-158, 1990.
- [9] Melachrinoudis, E. and Rice, K., "The Prioritization of Technologies in a Research Laboratory", *IEEE Transactions on Engineering Management*, Vol. 38, No. 3, August, pp. 269-278, 1991.
- [10] Sharif, M. N. and Sundararajan, V., "A Quantitative Model for the Evaluation of Technological Alternatives", *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 24, pp. 15-29, 1983.
- [11] Egon, T., "Organizing, Collection, Selection, and Ranking of Ideas Leading to National R&D Projects," *IEEE Transactions on Engineering Management*, EM-24, 2, 1977.
- [12] Plebani, L. P. and Jain, H. K., "Evaluating Research Proposals with Group Techniques", *Research Management*, Nov., pp. 34-38, 1981.
- [13] Sink, D. S., "Using the Nominal Group Technique Effectively", *National Productivity Review*, Spring, pp. 82, 1983.
- [14] Aczel, J. and Saaty, T. L., "Procedure for Synthesizing Ratio Judgments," *Journal of Mathematical Psychology*, Vol. 27, pp. 93-102, 1983.