

ANP 모델을 이용한 연구개발 성과의 상대적 비교에 대한 연구

정 · 옥[†]

동국대학교 경영학과

A Study on Relative Comparison of R&D Performance Using ANP Model

Uk Jung[†]

Dept. of Management, Dongguk University

This study explores the application of the analytic network process (ANP) approach for the evaluation of R&D projects with heterogeneous objectives. The ANP model in this study produced the final priorities of projects with respect to several performance measures when there are interdependencies between research objectives and performance measures. The paper provides value to practitioners by providing a generic model for R&D project evaluation. The ANP approach is tested against empirical data drawn from fourteen R&D projects under six different objective programs sponsored by the Korean government.

Keywords : R&D Project Selection, ANP, Interdependency, Preference Index

1. 서론

연구개발이 국가의 경쟁우위 여부를 결정짓는 중요한 요소로 인식됨에 따라 많은 국가들은 다양한 정부출연 연구개발과제를 통한 연구개발 투자에 적극적으로 나서고 있다. 이 과정에서 한정된 자원의 효율적 활용이라는 이슈가 부각되고 그 결과 상대적으로 우수한 성과를 내는 연구개발 과제를 선정하는 것은 점점 더 중요한 문제로 대두되고 있다(Hsu, Tzeng, and Shyu, 2003). 다양한 연구개발 과제의 규모, 개발기술의 복잡성, 그리고 연구개발 목적의 다양성 등으로 인해 정부출연 연구개발 과제들을 선정하는 문제는 전형적인 다 기준 의사결정(multiple criteria decision making : MCDM) 문제의 형태를 띠게 된다.

다 기준 의사결정 문제로서의 연구개발과제 선정에 관

해서는 수많은 방법론과 기법들이 소개되어 왔다. 대부분의 접근방법들은 산학연 전문가들의 정성적 의견들을 반영하는 방식에서부터 복잡한 최적화 모형을 통한 고도의 수학적 기법들 사용하는 것들까지 다양하다(Henriksen and Traynor, 1999; Martino, 1995; Steele, 1988). 그러나 현실적인 문제에서 널리 지지를 받은 특정 기법을 발견하기란 쉽지 않으며(Liberatore and Titus, 1983; Schmidt and Freeland, 1992) 최근의 추세는 다양한 기법들을 통합하여 각각의 장점을 특정 상황에 맞게 활용하여 접근하는 방식을 따르고 있다(Fahrni and Spatig, 1990).

우선 정부에서 주도하는 연구개발 활동의 추진 체계상의 특징을 살펴보자. 대부분의 연구개발 과제 선정에 대한 연구들은 정부/공공/비영리 영역에 속한 내용 보다는 주로 영리기업 중심의 의사결정 문제가 많았다. 그러나 기본적으로 정부출연 연구개발과제는 영리기업의

연구개발 과제와는 다른 특성을 지니고 있다. 정부출연 연구개발 과제는 잠재적으로 수익성이 있는 기술 분야에 대한 영리기업들의 투자를 활성화시키기 위해 일단 장기간의 투자 과정을 거쳐야 하는 공공의 목적이 강하다. 이러한 정부의 정책적 이슈에서 기인하는 특성으로 말미암아 정부출연 연구개발과제들은 주로 정부에서 주도하는 대형의 사업단위(program)로 큰 방향이 결정되고 각각의 대형 사업들은 내부에 다수의 과제(project)를 구성하게 된다. 이들 사업 단위들은 다양한 정책적 관점에서 각각의 목적을 지니게 되는데 예를 들면 기초/순수과학을 연구하여 학술논문을 양산하거나, 응용개발 연구 분야에서 다수의 특허 및 시제품을 산출하거나, 혹은 연구개발 인력양성을 위해 자금을 지원하는 사업들이 존재하게 된다. 이러한 다양한 이질적 목적을 지니는 대형 사업 단위에 포함되는 연구개발 과제들을 함께 상대 비교하여 제한된 자원을 나누어 투자하는 것은 매우 어려운 일임에도 불구하고 한정된 자원, 즉 국가의 연구개발 예산을 배분해야 하는 관리자 입장에서는 의미 있는 명분 아래 의사결정을 내려야만 한다.

연구개발 과제(project)의 수행결과를 평가하는 것은 대상 과제가 속해 있는 연구개발 사업(program)의 독특한 특성을 반영하여 평가되어야 한다. 또한 다수의 산출지표(evaluation criteria)들을 조합하여 하나의 평가지표(performance measure)를 만들어 내기 위해서는 다수의 산출지표들의 중요도 가중치가 고정된 값으로 결정되어야 한다. 연구개발 과제의 평가가 동일한 목적을 지닌 하나의 연구개발 사업에 속한 과제들만을 대상으로 하는 경우에는 AHP(Saaty, 1996)와 같은 방법을 통해 이를 달성할 수 있다. 그러나 서로 다른 목적을 지닌 다양한 사업들의 과제들이 함께 평가 대상이 될 경우 다수 산출지표들의 고정된 중요도 가중치를 결정하는 것은 매우 어려운 일이며 기존의 AHP를 통해서서는 쌍대비교 자체가 불가능하다. 즉 쌍대비교를 위한 공통된 관점(여기서는 비교의 목적)이 존재하지 않기 때문이다.

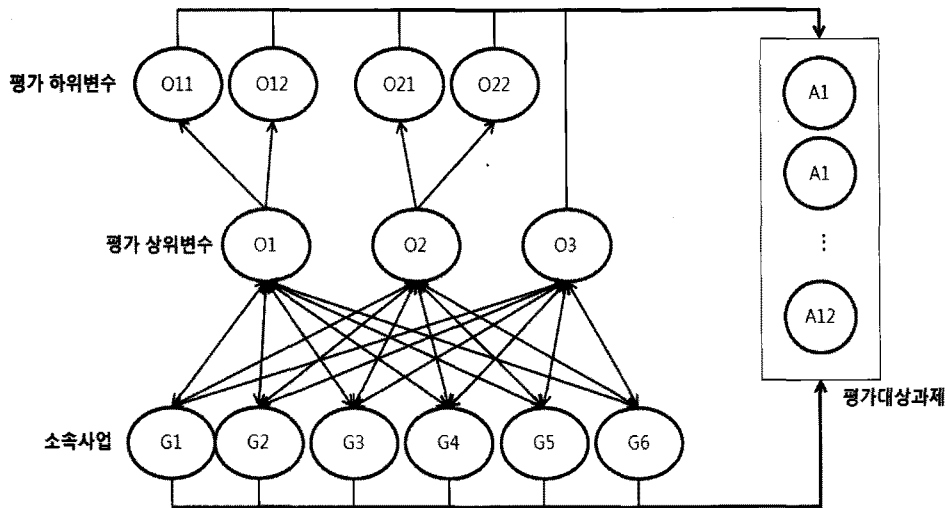
본 연구는 이와 같은 다양한 목적을 지닌 대형 사업 단위 내에 존재하는 다수의 정부 출연 연구개발 과제의 평가를 위한 의사결정 모형을 제시하는 것을 목적으로 한다. 본 연구에서는 네트워크 의사결정 분석기법(analytic network process : ANP)을 이용하여 과제평가를 위한 평가기준들과 목적이 다른 사업들 간의 상호의존적 관계를 투영시키고자 한다. 상호의존적 관계의 한 예를 들면, 특정 목적을 지닌 연구개발 사업에 대한 평가기준들(논문, 특허, 인력양성 등) 간의 상대적 가중치를 벡터로 나타내면 각 연구개발 사업들 별로 각각의 다른 평가기준 가중치 벡터를 가질 것이다. 뿐만 아니라 특

정 평가기준의 관점에서 볼 때 다른 여러 목적을 지닌 연구개발 사업들의 중요도 혹은 기대정도를 벡터로 나타내면 각각의 평가기준들마다 연구개발 사업들의 중요도 벡터가 다를 것이다. 이처럼 연구개발 사업과 평가 기준 간에는 서로간의 쌍방향으로 존재하는 중요도에 대한 가중치 벡터를 가지게 된다. 이것이 바로 본 연구에서 ANP를 활용하고자 하는 이유이다.

ANP는 가장 널리 쓰이는 다 기준 의사결정 기법 중 하나인 AHP(Saaty, 1996)의 보다 일반화된 형태로 역시 Saaty(1980)에 의해 개발되었다. AHP는 하나의 문제를 여러 계층구조를 가지는 다수의 수준으로 분해하고 각 수준에 존재하는 각 의사결정 요소들이 상호 독립적이고 가정하고 있다. 그러나 ANP는 이러한 AHP를 의사결정 요소 간 의존(dependence)과 피드백(feedback)을 내포하는 다른 문제로 확장시킨다. 이와 같은 개념의 확장은 문제 내에 존재하던 계층 구조를 네트워크 구조로 대체함으로써 의사결정 요소(기준)들 간의 복잡한 상호관계성을 포함하게 만든다(Meade and Sarkis, 1999). 최근 품질(Bayazit and Karpak, 2007), 로지스틱스(Jhankaria and Shankar, 2007), 구매(Demirtas and Ustun, 2007, 정 옥, 장병운, 2009), 전략(Yuksel and Dag deviren, 2007), 생산(Lin, Chiu, and Tasi, 2007), 프로젝트(Cheng and Li, 2005), 제품디자인(Wei and Chang, 2007) 등을 위한 의사결정 문제에 이러한 ANP의 적용사례들을 볼 수 있다. ANP에 대한 보다 자세한 내용은 Saaty(1996)을 참고하기 바란다.

이러한 ANP의 특징을 활용하여 본 연구에서는 연구개발 사업들과 평가기준들 간의 상호관계를 측정함으로써 최종의 각 대안 별 선호도를 제공할 수 있도록 해준다. R&D 이슈에 대한 기존의 AHP/ANP 연구들(Hsu et al., 2003; Meade and Presley, 2002)은 주로 공통의 목적을 지니는 동일한 사업 내에서 평가기준들 간의 상호의존적 관계를 투영한 반면 본 연구에서는 상이한 목적을 지니는 다수의 사업들과 평가기준들 간의 상호의존적 관계를 투영하였다는 점이 본 연구와 기존 ANP 관련 연구들과의 차이점이라 하겠다. 이러한 기존 논문과의 차이를 가능하게 하는 핵심은 기존의 ANP에서 볼 수 없었던 새로운 네트워크 모형을 구조화 하는데 있으며 (<그림 1> 참조) 이는 일반적인 방법론을 새로운 연구문제에 접목시켰다는 점에서 본 연구의 학문적 의의를 찾을 수 있을 것이다.

ANP에 의한 의사결정의 과정이 다수 의사결정권자들의 현명한 판단(여기서는 쌍대비교 판단을 의미)을 성공적으로 종합하여 합리적인 의사결정을 제시한다는 사실은 이미 많은 ANP 관련 연구문헌들을 통해 검증되어



<그림 1> 연구개발 과제의 상대적 평가를 위한 ANP 모형

왔다. 사실 의사결정권자들로 하여금 그들이 소유한 경험이나 느낌을 제대로 표현하지 못하는, 다시 말해, 비합리적인 판단을 내리는 것을 애초에 막을 수 있는 방법은 없다. 그리고 만약 그러한 비합리적인 판단을 바탕으로 얻게 되는 ANP의 최종의사결정은 결코 합리적인 최종 의사결정을 보장할 수 없다. 그러므로 의사결정권자들의 그룹 토론에서 개별 의사결정권자들의 잘못된 판단이나 간과하고 있는 중요한 사항들에 대해 서로 비평하고 상호 검증하는 과정이 필요하다. ANP는 이러한 토론의 과정을 가능하게 만들고 개별 의사결정권자들의 올바른 지적을 반영하여 개별 산출지표에 더 높은, 혹은 더 낮은 가중치를 부여하는 개선된 의사결정 과정을 가능하게 만든다. 이것이 본 연구에서 사용하는 ANP 의사결정 모델의 장점이라고 할 수 있다.

본 연구에서는 다양한 연구개발 과제평가의 문제에서 적용할 수 있는 본 평가모형을 설명하는 것을 목적으로 한 가상의 과제평가자가 정부에서 주도하는 여섯 개의 대형사업 내에 존재하는 14개의 연구개발 과제들의 정량적 자료를 바탕으로 연구개발 과제들의 상대평가를 행하는 사례를 이용하여 본 연구의 모형을 설명하고자 한다. 본 모형은 한정된 자원을 효율적으로 배분하기 위한 정부의 연구개발 과제선정 문제에 대한 큰 기여를 할 것으로 예상된다.

본 연구의 이후 내용은 다음의 절차를 따른다. 제 2 장에서는 다양한 목적을 지닌 정부 출연 연구 사업들에 대해 논한다. 그리고 제 3장에서는 본 연구에서의 적용 사례를 중심으로 ANP 적용 방식에 대해 자세히 기술하고 본 연구를 통해 얻은 결론에 대해서는 제 4장에서 언급하기로 한다.

2. 정부 출연 연구개발 과제 현황

본 연구는 한국의 한 정부부처에서 지원하는 여섯 개의 국가 R&D 사업들에 속한 14개의 연구과제들을 평가하는 사례를 소개한다. 이 정부부처는 다양한 R&D 사업들을 구성하고 지원하는 것으로 창의적이고 잠재력 있는 한국 과학기술의 발전을 도모하고자 한다. 각각의 여섯 개 사업들은 그들만의 고유한 추진 목적을 가지고 있으며 이는 <표 1>에 정리되어 있다. 이 정부부처는 한 사업 내에 속한 여러 연구과제들에 대해 전문가 집단의 정성적인 평가와 정량적인 자료들을 가지고 한 사업 내에 속한 개별 과제들 끼리를 상호 평가해 왔으나 여러 다른 사업들에 속한 다수의 연구과제들의 성과들을 상대적으로 평가해오지는 못했다. 정부부처의 관리자는 각각의 사업들이 가지고 있는 목적을 완수하는 정도에 따라 연구과제들 간의 성과 우열을 평가할 필요성을 인식해 왔으나 다른 목적을 지닌 사업 내에 속한 다수의 연

<표 1> 연구개발 사업의 분류

- 원천기술연구(G1) : 중장기 미래원천 및 핵심 기초연구를 위한 이론적/실험적 연구개발 사업
- 공공복지기술연구(G2) : SOC, 에너지 등 대국민 서비스 제고 및 환경보호, 의료 등 국민복지와 삶의 질 향상을 위한 연구개발 사업
- 단기산업연구(G3) : 상용화를 목표로 한 단기의 신기술 및 신제품 개발을 위한 연구개발 사업
- 중장기산업연구(G4) : 중장기적으로 실용화를 목표로 추진 중인 핵심기술개발 및 응용연구개발 사업
- 인력양성(G5) : 과학기술 전문 인력 양성을 위한 사업 및 대학/대학원 중심의 육성 지원사업
- 연구기반조성(G6) : 연구개발 인프라 구축, 공동연구시설 지원 사업 및 혁신센터(COE)등 연구 거점 지원 사업

구과제들끼리 상대 비교할 방법을 찾지 못해왔다.

본 연구에서 다루고 있는 여섯 개 대형 사업들의 특성을 살펴보면 다음과 같다. 사업 G1의 경우는 기초과학의 연구에 중점을 둔 반면 사업 G3과 G4는 각각 단기와 중기의 연구기간을 필요로 하는 응용연구들에 중점을 두고 있다. 사업 G2의 주요목적은 에너지, 환경 또는 건강과 관련된 복지를 증진시키기 위한 것이고 사업 G5는 석 박사 연구원들을 배출하여 과학기술의 발전을 위한 인력양성을 추구하는 것에 주요 목적을 두고 있다. 끝으로 사업 G6은 산학연 협력을 촉진시키기 위한 연구센터 건립 등의 연구기반을 조성하는 것이 주된 목적이다. 한편, 이들 여섯 개 대형 사업들에 공통적으로 적용될 성과에 대한 평가기준들이 <표 2>와 같이 선정되었다.

<표 2> 평가 기준 설명

상위 변수	하위 변수	설 명
학술논문(O1)	SCI(O11)	SCI에 등재된 학술지에 게재 혹은 게재 확정된 논문의 수
	Non-SCI(O12)	SCI에 등재되지 않은 학술지에 게재 혹은 게재 확정된 논문의 수
특허(O2)	등록특허(O21)	등록된 특허의 수
	출원특허(O22)	출원된 특허의 수
양성인력(O3)		연구 과제를 통해 배출된 석/박사 학생의 수

본 연구에서는 문제를 단순화시키기 위하여 모든 대형 연구개발 사업들 내에 포함되어 있는 개별 연구과제들이 동일한 규모의 지원(투입연구비, 연구원의 수 등)을 받았다고 가정하고 성과측정의 관련변수로 학술논문(O1), 특허(O2), 그리고 인력양성(O3)의 세 가지 상위 변수들을 가정하였다(본 연구에서는 문제의 단순화를 위하여 동일 규모의 지원을 가정하였으나 지원규모의 상대적 비교 역시 성과에 대한 상대적 비교와 같은 방법으로 접근할 수 있을 것이다). 이들 각각 변수들을 간략하게 설명하면 다음과 같다. 먼저 학술논문의 수(O1)는 그 하부에 SCI 논문의 수(O11)와 non-SCI 논문의 수(O12)로 구성되어 있다. 학술 논문의 수는 연구자의 성과를 평가하는 가장 일반적인 측정지표이다. 유사한 목적으로 특허의 수(O2)는 등록된 특허의 수(O21)와 출원된 특허의 수(O22)로 구성된다. 인력양성(O3) 변수는 석 박사 학위를 수여 받고 졸업하게 되는 공동연구원(대학원생)의 수로써 민간기업의 연구개발 활동과는 다르게 공공/정부 기관의 연구개발 활동의 특성으로 추가되는 변수이다. <표 3>은 여섯 개 사업들에 속한 14개 연구과제들의 각 변수 별 측정치를 보여주고 있다.

<표 3> 평가 변수 별 정량적 자료

사업	연구 과제	O1		O2		O3
		O11	O12	O21	O22	
G1	A1	154	59	2	0	218
	A2	286	145	67	57	4
G2	A3	36	34	14	1	2
	A4	113	113	20	47	46
	A5	101	39	40	2	7
G3	A6	134	124	41	133	300
	A7	602	480	304	403	5
G4	A8	1914	488	414	559	547
	A9	423	219	102	139	34
G5	A10	13	3	2	3	340
	A11	4252	852	327	535	1530
G6	A12	16	2	0	1	1
	A13	179	37	22	47	20
	A14	830	131	35	55	136

3. 제안 모형

3.1 네트워크 모형의 구조화

본 절에서는 다른 목적을 가진 6개 사업 내에 속한 총 14개의 정부지원 연구과제들의 성과평가를 위한 ANP 모형을 개발한다. 본 ANP 모형의 목적은 이들 연구과제들의 상대평가를 통해 순위를 측정하고 지속적인 연구자금 지원 여부의 결정에 참고하기 위함이다. <그림 1>은 ANP 모형을 구성하는 네트워크 구조를 보여준다. 본 연구에서의 네트워크 구조는 연구과제들이 소속된 사업들의 상대적 가중치와 평가 상위변수들의 상대적 가중치가 상호간에 영향을 미치는 것으로 가정하고 있다. 그리고 몇몇 평가 상위변수들은 그들만의 하위변수들을 내포하고 있다. 결과적으로는 소속사업들의 최종 가중치와 평가 변수들의 가중치가 합리적으로 결정되면 이를 바탕으로 평가대상과제들을 정량적으로 평가하는 의사결정 모형이다.

3.2 쌍대비교의 수행 및 선호도 벡터의 산출

먼저 사업 군집(G1, G2, ..., G6포함)과 평가기준 상위변수 군집(O1, O2, O3포함)간의 상호의존관계를 파악하기 위한 쌍대 비교를 수행한다. 한 예로써, 사업 G1에 대한 편익 변수들(O1, O2, 그리고 O3)의 선호도 벡터를 얻게 되는 쌍대 비교 행렬이 <표 4>에 나타나 있

다. 이 비교를 위한 질문의 예는 다음과 같다. “사업 G1의 경우 학술논문(O1)은 특허(O2)에 비해 상대적으로 몇 배나 더 많이 산출되어야 하는가(몇 배나 더 중요한가)?” 이런 식의 질문을 나머지 5개 사업에 대해서도 반복한다. 쌍대 비교 행렬 및 선호도 벡터를 구하는 방식은 AHP에서의 방식과 동일하다. j 번째 요소에 대한 i 번째 요소의 상대적 중요도인 a_{ij} 의 값은 1점에서 9점 사이의 한 값으로 표현되며 1점은 동등한 중요성을, 9점은 극도로 보다 중요함을 나타낸다. i 번째 요소에 대한 j 번째 요소의 상대적 중요도인 a_{ji} 는 a_{ij} 의 역수 값 ($a_{ji} = 1/a_{ij}$)으로 나타낸다. 또한 i 번째 요소에 대한 i 번째 요소의 상대적 중요도인 a_{ii} 는 1의 값을 갖는다. 이러한 상대적 중요도들은 쌍대 비교 행렬을 구성하게 되고 이렇게 구성된 쌍대 비교 행렬로부터 국소 선호도 벡터(local priority vectors)를 얻기 위해 고유벡터(eigen-vector) 방법이 사용된다. Saaty(1980)는 국소 선호도 벡터의 근사값을 구하기 위한 여러 알고리즘들을 제안하고 있으며 본 연구에서는 다음의 3단계 과정을 사용하고자 한다. (a) 쌍대 비교 행렬의 각 열(column)의 값들의 합계를 구한다. (b) 쌍대 비교 행렬의 각 요소를 각 열의 합계로 나눈다. 이렇게 구해진 행렬은 정규화 쌍대 비교 행렬(normalized pair-wise comparison matrix)로 불린다. (c) 정규화 쌍대 비교 행렬의 각 행(row) 요소들의 평균을 구한다. 이 평균은 상위 수준의 기준에 대한 각 요소들의 상대적 선호도(relative priorities)의 추정치가 되고 이러한 선호도 벡터들은 모든 쌍대 비교 행렬에 대해서 구해져야 한다.

〈표 4〉 사업 G1에 대한 편의 변수의 쌍대 비교 행렬 및 선호도 벡터(PV)

	O1	O2	O3
O1	1.000	4.000	3.000
O2	0.250	1.000	0.500
O3	0.333	2.000	1.000
PV	0.623	0.137	0.239
CR : 0.016			

쌍대비교 행렬을 통해 선호도 벡터를 구할 때마다 평가자의 의사결정에 대한 일관성을 파악하기 위하여 일관성 비율(CR; Consistency Ratio)을 검토해야 한다. 이는 평가자들의 의사결정에 대한 일관성이 선호도 벡터를 통한 우선순위의 신뢰도에 결정적인 역할을 하기 때문이다. 이때 CR값이 0.1(10%) 이하이면 평가자들의 평가가 일관성이 있다고 하며, 0.15(15%) 이하이면 허용 가능한 범위(이정, 이상설, 2005)의 평가라고 할 수 있다.

〈표 5〉 학술논문(O1)에 대한 사업들 간의 쌍대 비교 행렬 및 선호도 벡터(PV)

	G1	G2	G3	G4	G5	G6
G1	1.000	2.000	4.000	3.000	2.000	8.000
G2	0.500	1.000	2.000	1.000	0.333	3.000
G3	0.250	0.500	1.000	0.500	0.200	2.000
G4	0.333	1.000	2.000	1.000	0.500	3.000
G5	0.500	3.000	5.000	2.000	1.000	6.000
G6	0.125	0.333	0.500	0.333	0.167	1.000
PV	0.351	0.131	0.071	0.128	0.278	0.041
CR : 0.016						

〈표 6〉 학술논문(O1)에 대한 편의 하부변수들의 쌍대 비교 행렬 및 선호도 벡터(PV)

	O11	O12
O11	1.000	4.000
O12	0.250	1.000
PV	0.800	0.200
CR : 0.000		

다음으로 각각의 평가기준 상위변수들(O1, O2, 그리고 O3)에 대해 사업 노드들(G1 ... G6)의 상대적 중요도를 쌍대 비교를 통해 파악한다. 예를 들어, 학술논문(O1)에 대한 사업들의 쌍대 비교 행렬이 <표 5>에서와 같이 수행된다. 본 쌍대 비교에서의 질문은 다음과 같다. “학술논문(O1)에 대해서 두 사업을 비교할 때 사업 G1에서의 기대수준은 사업 G2에서의 기대 수준에 비해 몇 배나 큰가?” 이와 같은 쌍대 비교들을 다른 두 편의 변수인 특허(O2)와 인력양성(O3)에 대해서도 수행한다. 다음으로 하위 변수들을 내포하는 상위변수들(O1, O2)에 대해서 하위 변수들(O11, O12, O21, O22)의 중요도를 쌍대 비교한다. 예를 들면, 학술논문(O1)에 대한 쌍대 비교 행렬이 <표 6>에 나타나 있다. 이 비교를 위한 질문의 예는 다음과 같다. “학술논문(O1)의 관점에서 볼 때 SCI(O11)은 non-SCI(O12)에 비해 몇 배나 더 중요한가?”. 이런 식의 질문을 특허(O2)에 대해서도 수행한다.

3.3 초행렬의 생성 및 변환

모든 종류의 쌍대 비교를 수행한 후, 상호 의존관계를 파악하기 위해 수행된 쌍대 비교의 결과로부터 선호도 벡터를 이용하여 초행렬(supermatrix)을 구성한다. 초행렬의 개념은 마야코프 체인 과정(Markov chain process)의 안정상태 확률을 구하는 과정과 유사하다(Saaty, 1996). 쌍대비교를 통해 구한 선호도 벡터의 값들은 초

행렬(W)을 구성하며 이 초행렬은 두 군집간의 관계를 나타내게 된다(초행렬, 가중 초행렬, 그리고 극한 초행렬에 대한 보다 자세한 정의는 Saaty(1996)을 참고하기 바람). 사업들과 상위변수들 간의 상호 의존 관계를 파악하기 위한 쌍대 비교를 통해 얻어진 선호도 벡터들을 사용하여 구성된 초행렬(supermatrix, W)이 <표 7>에 나타나 있다. 본 연구에서의 초행렬은 이미 column stochastic(각 열에 대한 행들의 합이 1을 만족한다)한 조건을 갖추고 있으므로 곧바로 극한 초행렬(limit supermatrix)로 전환될 수 있다. 다음은 column stochastic한 초행렬에 멱수를 취하여 극한 초행렬을 만드는 과정이다. column stochastic한 초행렬에 멱수를 취하는 이유는 초행렬의 모든 가능한 경로를 통해 전해지는 영향력을 파악하기 위함이다. column stochastic한 초행렬의 각 요소 값들은 어느 한 요소에서 상대 요소로 전해지는 직접적 영향력만을 나타내고 있지만, 실제로는 상대 요소에 직접적 영향력을 지니는 다른 요소를 통해 간접적으로 영향을 미칠 수 있다. 이러한 일차적 간접 영향력은 가중 초행렬을 자승(squaring)하는 것을 통해 파악될 수 있고 이차적 간접 영향력은 가중 초행렬을 삼승(cubic power)

<표 7> 초행렬

	G1	G2	G3	G4	G5	G6	O1	O2	O3
G1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.351	0.158	0.310
G2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.131	0.065	0.088
G3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.071	0.366	0.053
G4	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.128	0.222	0.045
G5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.278	0.117	0.416
G6	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.041	0.072	0.088
O1	0.623	0.297	0.324	0.400	0.143	0.312	0.000	0.000	0.000
O2	0.137	0.164	0.587	0.400	0.143	0.198	0.000	0.000	0.000
O3	0.239	0.539	0.089	0.200	0.714	0.490	0.000	0.000	0.000

<표 8> 극한 초행렬

	G1	G2	G3	G4	G5	G6	O1	O2	O3
G1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.289	0.289	0.289
G2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.098	0.098	0.098
G3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.133	0.133	0.133
G4	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.117	0.117	0.117
G5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.295	0.295	0.295
G6	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.067	0.067	0.067
O1	0.362	0.362	0.362	0.362	0.362	0.362	0.000	0.000	0.000
O2	0.236	0.236	0.236	0.236	0.236	0.236	0.000	0.000	0.000
O3	0.401	0.401	0.401	0.401	0.401	0.401	0.000	0.000	0.000

하는 것을 통해 파악될 수 있다. 가중 초행렬을($2m+1$) 멱승 시키고 m 을 아주 큰 값으로 취하면 행렬의 수렴 현상을 얻을 수 있게 되고 이때 각 행의 값들은 행렬의 모든 열에 공통인 어느 한 값으로 수렴하게 된다. 그 결과 행렬이 바로 극한 초행렬이라 불리고 각 요소의 다른 요소들에 대한 모든 간접 영향력을 파악한 것으로 간주된다. 초행렬의 특성과 관련 이론들의 자세한 내용은 Saaty(1996)을 참고하기 바란다. 본 연구에서는 W^{23} 에서 극한 초행렬로 수렴하였다. 이렇게 구해진 극한 초행렬은 <표 8>에 나타나 있다.

3.4 평가 변수별 연구과제의 선호점수 계산

이제 각 최종 변수들(O11, O12, O21, O22, O3)에 대한 각 연구과제들의 정량적 자료들을 정규화 시키는 것에 의해 각 변수 별 연구과제들의 선호점수를 산출한다. 즉, 최종 변수 j 에 대한 각 연구과제 i 의 정량적 자료를 정규화시켜 각 연구과제의 선호 점수(b_{ij})를 산출한다. 즉, $b_{ij} = x_{ij} / \sum_{i=1}^I x_{ij}$ (여기서 x_{ij} 는 변수 j 에 대한 각 연구과제 i 의 정량적 측정값이고 I 는 평가대상 연구과제의 총 수)

3.5 최종 정규화 선호도의 산출

최종 선호도의 산출을 위해 다음과 같이 각 기호를 정의하자; Y_i^P : 연구과제 i 가 속해있는 사업의 상대적 가중치; Y_i^C : 연구과제 i 의 평가기준 최종 변수 값들을 정규화 하여 통합한 값; p_k : 극한 초행렬에서 사업 k 의 상대적 가중치(K 는 총 사업의 수); m_{ik} : 연구과제 i 의 사업 k 소속 여부 인덱스(연구과제가 사업에 속하면 1, 그렇지 않으면 0); w_j : 최종 변수 j 의 최종 가중치(J 는 최종 변수의 총 수); b_{ij} : 최종 변수 j 에 대한 연구과제 i 의 정규화 점수. 그러면 다음과 같은 연구과제 i 의 선호도 점수(S_i)를 얻을 수 있다.

$$S_i = Y_i^P \cdot Y_i^C = \left(\sum_{k=1}^K p_k \cdot m_{ik} \right) \cdot \left(\sum_{j=1}^J w_j \cdot b_{ij} \right) \tag{1}$$

각 연구과제의 최종 평가(S_i)는 식 (1)을 통해 <표 9>에서와 같이 구해진다. <표 9>에서 각 상위 변수(O1, O2, O3) 아래의 괄호에 명시된 값은 <표 8>에서 계산된 극한 초행렬로부터 구해진 상위 변수의 가중치이다. 하위 변수(O11, O12, O21, O22)들의 하부에 위치한 괄호에 명시된 값들은 값은 <표 6>의 과정을 통해 계산된 하위

〈표 9〉 최종 선호도 및 순위

연구 과제	O1(0.362)		O2(0.236)		O3 (0.401)	Y_i^C	Y_i^P	S_i	S_i 의 정규화값	순위
	O11 (0.800)	O12 (0.200)	O21 (0.750)	O22 (0.250)						
A1	0.017	0.022	0.001	0.000	0.068	0.034	0.289	0.010	0.048	5
A2	0.032	0.053	0.048	0.029	0.001	0.024	0.289	0.007	0.033	7
A3	0.004	0.012	0.010	0.001	0.001	0.004	0.098	0.000	0.002	13
A4	0.012	0.041	0.014	0.024	0.014	0.016	0.098	0.002	0.008	10
A5	0.011	0.014	0.029	0.001	0.002	0.010	0.098	0.001	0.005	11
A6	0.015	0.045	0.029	0.067	0.094	0.055	0.133	0.007	0.035	6
A7	0.066	0.176	0.219	0.203	0.002	0.083	0.133	0.011	0.054	4
A8	0.211	0.179	0.298	0.282	0.171	0.213	0.117	0.025	0.121	2
A9	0.047	0.080	0.073	0.070	0.011	0.041	0.117	0.005	0.023	8
A10	0.001	0.001	0.001	0.002	0.107	0.044	0.295	0.013	0.063	3
A11	0.470	0.313	0.235	0.270	0.480	0.409	0.295	0.121	0.586	1
A12	0.002	0.001	0.000	0.001	0.000	0.001	0.067	0.000	0.000	14
A13	0.020	0.014	0.016	0.024	0.006	0.013	0.067	0.001	0.004	12
A14	0.092	0.048	0.025	0.028	0.043	0.053	0.067	0.004	0.017	9

변수들의 가중치이다. 둘째 열부터 여섯 번째 열까지에 기록된 값은 각각의 변수들에 대한 정량적 값들의 정규화 값(b_{ij})들이고 일곱 번째 열에 기록된 값들은 최종 변수들에 의해 통합된 값(Y_i^C)들이다. 여덟 번째 열에 나타난 값들은, <표 9>에서 계산된 극한 초행렬로부터 얻어진, 연구과제가 속한 사업들의 상대적 가중치(Y_i^P)를 나타낸다. 그리하여 식 (1)을 통해 얻게 되는 선호도 점수(S_i)와 정규화된 값, 그리고 그들의 순위는 아홉 번째, 열 번째, 그리고 열한 번째 열에 각각 나타나 있다.

<표 9>의 결과를 해석해 보면 연구과제 A11의 경우가 가장 높은 값인 0.581을 얻어 가장 우수한 순위를 부여 받았으며 선호도의 순위로는 A11 > A8 > A10 > A7 > A1 > A6 > A2 > A9 > A14 > A4 > A5 > A13 > A3 > A12의 순으로 나타났다.

4. 결론 및 향후 연구방향

본 연구에서는 목적이 다른 대형 연구사업 내에 속한 다수의 정부출연 연구과제들의 성과 평가를 위해 ANP를 활용한 방법을 제안하면서 한국의 14개 정부출연 연구과제들에 적용된 사례를 보여주고 있다. 본 연구에서 제안된 방법론은 목적이 서로 다른 사업들과 평가기준(평가변수)들 간에 존재하는 상호의존성을 파악하여 최종 연구과제들의 선호도를 점수로 산출하였다. 기존의 R&D 이슈에 대한 ANP를 활용한 연구들은 주로 공통의 목적을 지니는 동일한 사업(Homogeneous set) 내에서 평가기준들 간의 상호의존적 관계를 투영한 반면 본 연구에서는 상이한 목적을 지니는 다수의 사업들(Hetero-

geneous sets)과 평가기준들 간의 상호의존적 관계를 투영하였다는 점이 본 연구와 기존 ANP 관련 연구들과의 차이점이라 하겠다. 본 연구는 실무자들에게는 과제선정에 관한 일반적인 모형을 제시하고 연구자들에게는 ANP의 새로운 활용사례를 보여주었다는 것에서 의미를 찾을 수 있다.

본 연구는 향후의 추가적인 연구를 통한 모형의 발전 및 검증에 대한 가능성 또한 내포하고 있다. 예를 들면, 본 방법론에서 사용된 ANP 모형은 모든 가능한 요소들과 평가기준들을 다 고려하고 있지 못하다. 즉, 의사결정의 환경이 변화함에 따라 추가적인 요소들의 고려가 가능할 것이다. 예를 들면 본 연구에서는 단지 사업들과 판정 기준들 간의 상호의존관계만을 고려했으나 여러 하부 판정기준들과 다른 판정 기준들 간의 상호의존관계 또한 추가할 수 있을 것이다. 그러므로 보다 복잡한 구조를 지닌 수정된 모형은 보다 정교한 내부 판정 요소간의 관계를 투영할 수 있을 것이다. 뿐만 아니라 쌍대 비교를 통해 표현되는 의사결정자들의 선호도 결정에 대해서는 퍼지 이론(Fuzzy theory)을 접목함으로써 의사결정자의 판단에 대한 애매모호함을 적절히 대처할 수 있을 것이다. 이러한 측면으로의 추가적인 의사결정 기법과의 접목을 통한 보다 심도 깊은 연구들은 ANP를 보다 매력적인 다 기준 의사결정 기법들 중의 하나로 발전시킬 것이다.

참고문헌

- [1] 이정, 이상설; “AHP를 이용한 인터넷 쇼핑몰 선택에 대한 연구”, 산업경영시스템학회지, 28(1) : 16-23, 2005.

- [2] 정 욱, 장병윤; “네트워크 분석과정을 이용한 공급업체 평가에 대한 연구”, *품질경영학회지*, 37(4) : 1-9, 2009.
- [3] Bayazit, O. and Karpak, B.; “An analytical network process-based framework for successful total quality management(TQM) : An assessment of Turkish manufacturing industry readiness,” *International Journal of Production Economics*, 105(1) : 79-96, 2007.
- [4] Cheng, E. W. L. and Li, H.; “Analytic network process applied to project selection,” *Journal of construction engineering and management*, 131(4) : 459-466, 2005.
- [5] Demirtas, E. A. and Ustun, O.; “Analytic network process and multi-period goal programming integration in purchasing decisions”, *Computers and Industrial Engineering*, doi : 10.1016/j.cie.2006.12.006, 2007.
- [6] Fahrni, P. and Spatig, M.; “An application-oriented guides to R&D project selection and evaluation methods,” *R&D Management*, 20 : 155-171, 1990.
- [7] Henriksen, A. D. and Traynor, A. J.; “A practical R&D project selection scoring tool,” *IEEE Transactions on Engineering Management*, 46(2) : 158-170, 1999.
- [8] Hsu, Y. G., Tzeng, G. H., and Shyu, J. Z.; “Fuzzy multiple criteria selection of government-sponsored frontier technology R&D projects,” *R&D Management*, 33(5) : 539-550, 2003.
- [9] Jharkharia, S. and Shankar, R.; “Selection of logistics service provider : An analytic network process (ANP) approach,” *Omega*, 35(3) : 274-289, 2007.
- [10] Liberatore, M. J. and Titus, G. B.; “The practice of management science in R&D project management,” *Management Science*, 29 : 962-974, 1983.
- [11] Lin, Y. H., Chiu, C. C., and Tsai, C. H.; “The study of applying ANP model to assess dispatching rules for wafer fabrication,” *Expert Systems with Applications*, doi : 10.1016/j.eswa.2007.02.033, 2007.
- [12] Martino, J. P.; *R&D Project Selection*, New York : Wiley, 1995.
- [13] Meade, L. and Presley, A.; “R&D Project Selection Using the Analytic Network Process,” *IEEE Transactions on Engineering Management*, 49(1) : 59-66, 2002.
- [14] Meade, L. and Sarkis, J.; “Analyzing organizational project alternatives for agile manufacturing processes : An analytic network approach,” *International Journal of Production Research*, 37(2) : 241-261, 1999.
- [15] Saaty, T.; “The analytic hierarchy process,” New York : McGraw-Hill, 1980.
- [16] Saaty, T.; “Decision making with dependence and feedback : The analytic network process,” Pittsburgh : RWS Publications, 1996.
- [17] Schmidt, R. L. and Freeland, J. R.; “Recent progress in modeling R&D project-selection processes,” *IEEE Transactions on Engineering Management*, 39(2) : 189-201, 1992.
- [18] Steele, L. W.; “What we’ve learned : selecting R&D programs and objectives,” *Research Technology Management*, 31(2) : 17-36, 1988.
- [19] Wei, W. L. and Chang, W. C.; “Analytic network process-based model for selecting an optimal product design solution with zero-one goal programming,” *Journal of Engineering Design*, doi : 10.1080/09544820601186054, 2007.
- [20] Yuksel, I. and Dagdeviren, M.; “Using the analytic network process(ANP) in a SWOT analysis-A case study for a textile firm,” *Information Sciences*, 177(16) : 3364-3382, 2007.