

집단의사결정에 의한 정보통신 기술분야별 R&D투자배분결정 모형개발:

다목적선형계획법의 응용

이동엽* · 이장우**

〈 목 차 〉

1. 서 론
2. 정보통신산업 기술부문별 적정 R&D 투자배분 결정
3. 정보통신 국책연구개발사업의 투자배분 결정사례를
통한 모형의 적용 검토
4. 결 론

1. 서 론

최근 세계경제의 성장은 혁신적 기술과 새로운 아이디어를 주요 경쟁력의 원천으로 하는 첨단기술에 의해 주도되고 있으며, 이러한 첨단기술들 중에서도 정보통신기술은 정보통신산업 그 자체 뿐만 아니라 다른 산업의 발전과 생산성 향상, 나아가 국가 전체의 생산성 향상에 미치는 영향이 크게 증대되고 있다. 이에 따라 주요 선진국들은 정보통신분야의 기술혁신을 21세기 세계경제의 주도권 확보를 위한 핵심요소로 파악하고 이에 따른 기술개발을 강화하고 있으며, 핵심기술 이전 기피, 지적재산권 보호 및 기술로열티 증액 요구 등 다양한 기술 보호 수단을 강구하고 있다.

우리 나라의 경우 최근의 경제적 어려움을 극복하고 재도약의 전기를 마련하기 위해서는 개발기술의 사업화 지원 또는 세제 및 판로 지원 등과 같은 단기적인 조치만으로는 효과를

* 해천대학 경영정보시스템과 조교수(e-mail : yeup@hcc.ac.kr)

** 한국전자통신연구원 기술경제연구부 선임연구원(e-mail : jwoo@etri.re.kr)

기대하기 어려우며, 기술을 축으로 하는 선진국형 산업구조로 탈바꿈해 나갈 필요가 있다. 그러나 IMF체제에 따른 연구개발투자의 상대적인 위축 등 기술개발자원의 한계로 인하여 최소의 자원으로 최대의 기술개발성과를 실현할 수 있는 방안의 마련이 시급한 국가적인 과제로 대두되고 있다.

민간부문을 포함한 우리 나라의 정보통신산업 총연구개발투자는 1988년의 3,568억원에서 1997년에는 5조 179억원으로 약 13배의 증가를 보인 것으로 나타났으나, 1998년에는 처음으로 약 4조원 수준으로 줄어든 것으로 추산되고 있다. 또한 현 시점에서 연구개발투자의 획기적인 증대가 곤란한 실정이므로 효율적인 연구개발 투자계획 수립을 통한 투자의 효율성 제고는 다른 무엇보다도 시급한 과제라 할 수 있다.

일반적으로 연구개발투자의 목적은 조직의 특성에 따라 달라질 수 있으나 대부분의 경우 투자로 인한 수익률을 제고하는 것 이외에도 기술경쟁력 향상, 조직에서 추구하는 선도적 위치 확보 등 여러 가지 목표에 맞추어 투자계획을 설정한다. 특히 공공기관의 투자인 경우 그 목적이 투자로 인한 수익률 제고보다는 국익을 고려하고 국민 편익을 증진시킬 수 있는 공익성을 우선시하는 경우가 많다.

본 논문에서 다루고자 하는 정보통신산업의 국책연구개발투자의 경우에도 이 분야 연구개발이 타 분야 기술발전에 가져오는 전후방 효과와 국민생활에 직간접으로 영향을 주는 점들을 종합적으로 고려하여 투자계획이 수립되어야 한다.

그동안 R&D 자원배분과 과제선정에 관하여 선형계획법(Linear Programming : LP), 목표계획법(Goal Programming : GP), 정수계획법(Integer Linear Programming : ILP)을 비롯하여 계층분석과정(Analytic Hierarchy Process : AHP)을 이용한 다양한 경영과학적 기법들이 적용되어 왔다. 특히 최근에는 각각의 개별모형들을 통합하여 R&D과제 선정과 자원배분에 응용할 수 있는 모형들이 개발되고 있는데, 여기에는 AHP를 확률동적계획법(Stochastic Dynamic Programming)과 정수목표계획법(Integer Goal Programming)에 결합하여 R&D 투자활동에 있어서의 불확실성을 고려한 투자계획수립문제를 다루는 모델^[3]과 AHP로 R&D과제의 우선순위를 도출한 후 정수계획법으로 가용예산 제약 하에서의 과제선정 문제를 다루는 모델^[21] 등이 있다.

정보통신기술분야에 대한 R&D 투자계획수립과 관련한 최근 연구로는 백광천 외 3인의 논문 "R&D 투자규모 결정 및 자원배분에 관한 연구"^[2]와 백관호 외 이규현의 논문 "LP 모형에 의한 한국 정보산업기술의 R&D투자규모 결정사례"^[1]를 들 수 있다. 전자의 경우 한국 통신의 경우를 예로 들어 AHP를 이용한 기술부문별 가중치의 산출 결과에 따라 자원배분을 산정하는 투자효율성 제고를 위한 미시적 접근방법을 사용하였는데, 이 경우 LP모형에서와는 달리 가용자원의 제약 상황을 고려치 않았으며, 후자의 경우 정보통신기술을 포함한

정보산업 전체분야를 대상으로 하였으나 R&D 투자계획 수립시 고려해야하는 여러 가지 중요 요인들 중에서 투자에 대한 경제성만을 최대화하는 LP 모형을 개발하였다.

본 연구에서는 위의 모형들의 단점들을 보완하고 보다 현실 적용이 가능한 모형의 개발을 위하여 정보통신기술 부문별 R&D투자 배분시 고려해야 하는 경제성 뿐만 아니라 기술성 및 기술경제외적 사회성 등의 3가지 기준들을 동시에 고려하면서 가용자원의 제약 상황 하에서 최선의 대안을 선택할 수 있는 다목적선형계획모형을 설정하였다.

모형 설정시 본 연구에서의 의사결정문제가 국책사업부문의 R&D 전략계획을 수립하기 위한 문제라는 점을 고려하여 의사결정과정에서 특정개인 한사람에 의한 의사결정보다는 여러명의 전문가들로 구성된 집단 의사결정문제로 모형화하였다. 이를 위해 집단의사결정에 관계되는 개별 전문가들의 각각의 평가기준(기술경제외적 사회성, 기술성, 경제성)에 대한 중요도를 종합적으로 고려하여 반영할 수 있는 선형의 의사결정함수를 도출하여 의사결정 과정에 이용하였다. 결국 본 논문에서 제시한 집단의사결정문제는 다목적선형계획문제의 유효해 집합(efficient set : 본 논문 3장 2절 참조)내에서 선형의 의사결정함수를 최적화하는 문제로 모형화되는데, 이러한 문제의 적용과 해법과정의 개발이 최근들어 경영과학분야에서 활발히 연구되고 있는 실정이다^[10,13,15,16,22].

모형 설정 후 적용사례로서 우리 나라 정보통신 국책연구개발사업의 향후 3년(1999~2001)동안 기술부문별 R&D 투자배분 문제를 모형에 적용해 보았다. 이 과정에서 모형의 적용을 위하여 필요한 기술경제외적 사회성, 기술성, 경제성 등의 각각의 평가기준별 가중치와 각각의 평가기준에서 정보통신산업의 기술부문별 중요도의 산출을 위하여 여러 전문가들의 의견을 객관적이고 용이하게 반영하기 위해 계층화 분석과정(AHP)을 이용하였다.

2. 정보통신산업 기술부문별 적정 R&D 투자배분 결정 :

집단의사결정을 위한 다목적선형계획모형

정보통신산업의 기술부문별 R&D 투자계획 수립시 고려하여야 하는 기준들은 사용목적에 따라 매우 다양한 항목들이 고려될 수 있다. 이와 관련하여 백광천 외 3인의 논문 “R&D투자 배분결정 및 자원배분에 관한 연구”^[2]에서는 한국통신의 기술분야별 R&D 투자계획 수립의 경우를 사례로 평가기준들에 대하여 자료수집, 설문·면담조사 및 정보통신산업관련 전문가들의 회의 등의 광범위한 의견수렴 과정을 통하여 도출된 다양한 평가 기준들은 크게 ① 기술경제외적 사회성 ② 기술성 ③ 경제성 등의 3개의 기준(criteria)으로 종합하여 분류할 수 있다고 하였다.

우리 나라 정보통신기술분야의 국가적 연구개발수요를 상당부분 충족시켜온 한국통신을 대상으로 광범위하게 조사·분석하여 결정된 3개의 평가기준들은 정보통신산업의 R&D 투자계획 수립에 있어서 고려되어야 하는 객관성을 지닌 중요한 기준들이 될 수 있다.

본 장에서는 이러한 3개의 평가기준인 기술경제외적 사회성, 기술성, 경제성 등을 동시에 고려하면서 가용자원의 제약 상황에서 정보통신 기술부문별 적정 R&D투자 배분비율을 구할 수 있는 다목적선형계획 모형을 개발하고자 하는데, 이 경우 다음과 같은 세 개의 목적함수를 도출 할 수 있다.

$$\text{Maximize } z_1 = \sum \alpha_{1j}x_{tj} \quad (1)$$

$$\text{Maximize } z_2 = \sum \alpha_{2j}x_{tj} \quad (2)$$

$$\text{Maximize } z_3 = \sum \alpha_{3j}x_{tj} \quad (3)$$

여기에서 x_{tj} 는 특정기간 t 기간 동안의 j 기술부문 ($j = 1,2,\dots,n$)에 대한 투자배분비율, α_{ij} 는 특정기간 t 기간동안 기준 i ($i = 1,2,3$)에 대한 j 기술부문의 가중치이다. 따라서 목적함수 (1), (2), (3)은 특정기간 t 기간동안 각각 기술경제외적 사회성, 기술성, 경제성 기준에 대한 기술부문별 가중치를 고려한 투자배분비율의 총합을 나타내는 지수(index)값을 의미한다.

다음으로 의사결정변수가 기술부문별 투자배분비율을 나타내므로 이러한 변수들의 총합은 1이 되어야 하고 다음과 같은 제약조건을 지니게 될 것이다.

$$\sum x_{tj} = 1 \quad (4)$$

물론 특정기술부문에 대한 투자배분비율에 대한 의사결정시에 관련 기술간의 균형이나 경쟁대상 국가나 조직의 투자배분비율을 고려하여 특정기술부문에 대한 배분비율의 상한도 및 하한도를 정할 수 있는데 이 경우의 제약조건은 다음과 같다.

$$\beta_j \leq x_{tj} \leq \gamma_j \quad (5)$$

여기에서 β_j 와 γ_j 는 각각 특정기간 t기간 동안에 기술부문 j의 투자배분비율 하한도와 상한도를 나타낸다.

연구개발투자에 대한 의사결정시 투자의 연속성을 반드시 고려하여야 하는데, 이는 연구개발투자에 따른 연구시설 및 연구인력의 확보가 단기간에 이루어 질 수 있는 성격이 아니고 현실적으로도 급격한 변화는 바람직하지 못하다. 따라서 기술부문 j에 대한 특정기간 t 기간 동안의 연구개발 투자배분비율은 이전기간 t-1 기간동안의 투자배분비율 수준을 나타

내는 $x_{t-1,j}$ 로 부터 일정한 수준을 유지하여야 하므로 다음과 같은 제약 조건이 추가되는데, 대부분의 실제 상황에서는 $x_{t-1,j}$ 는 과거의 자료로부터 획득 가능한 값으로 의사결정 변수가 아닌 상수로 나타난다.

$$x_{t-1,j} - \delta_j \leq x_{tj} \leq x_{t-1,j} + \delta_j \quad (6)$$

여기에서 δ_j 는 기술부문 j 에 대한 이전기간 $(t-1)$ 기간 동안의 투자배분비율로부터 특정 기간 t 기간 동안의 투자배분비율의 최대 허용 투자변동비율을 나타낸다.

제약조건 중 마지막으로 각 기술에 대한 투자배분비율은 음수가 될 수 없으므로 다음과 같은 비음수 제약조건이 추가된다.

$$x_{tj} \geq 0 \quad (7)$$

여기서 언급한 제약조건외에도 실제 상황에 있어서는 보다 많은 제약조건이 필요할 수도 있다.

일반적으로 이와 같은 다목적선형계획문제의 해법과정에서 의사결정자는 제약조건을 만족시키는 해 중에서 가장 만족하는 목적함수치를 산출하는 절충해를 최종해로 선택하게 되는데, 이러한 최종해의 선택은 의사결정자의 각각의 평가기준에 대한 중요도를 나타내는 가중치에 의해 결정된다.

그러나 본 연구와 같은 국책사업의 R&D 전략계획을 수립하기 위한 문제에서는 여러명의 전문가들로 구성된 집단의사결정문제로 모형화하는 것이 바람직할 것으로 판단해 여기에서는 집단의사결정자에 속하는 개별 전문가들의 각각의 평가기준(기술경제외적 사회성, 기술성, 경제성)에 대한 중요도를 종합적으로 고려하여 반영할 수 있는 다음과 같은 선형의 의사결정함수를 도출하여 의사결정 과정에 이용하였다.

$$\text{Maximize } \sum \lambda_i z_i \quad (8)$$

여기서 λ_i 는 특정기간 t 기간동안 평가기준 i ($i = 1,2,3$)에 대한 가중치를 의미하며 의사결정함수치의 의미는 평가기준별 가중치를 고려한 목적함수치의 총합으로 나타내진다.

따라서 본 논문에서 제시된 다목적선형계획모형에서 구하고자 하는 해 x_{tj} , 즉 특정기간 t 기간동안의 정보통신산업 기술부문별 투자배분비율은 위의 제약조건식 (4)부터 (7)까지를 충족시키면서 (1)부터 (3)까지 세 개의 목적함수에 대해 만족할 만한 목적함수치를 산출하는 해(이러한 해를 '유효해'라고 부름)들 중에서 선형의 의사결정함수 (8)을 최적화하는 문제로 요약될 수 있다.

3. 정보통신 국책연구개발사업의 투자배분 결정사례를 통한 모형의 적용 검토

3.1 모형의 적용(application)

여기에서는 앞에서 제시한 투자배분 결정모형을 응용하여 우리 나라의 정보통신기술부문 별 적정 R&D 투자배분비율을 산출하여 보기로 한다. 그러나 민간부문을 포함한 정보통신산업 총연구개발투자에 대한 부문별 실적자료의 미흡으로 투자배분대상을 정보통신부가 주관하여 정부 주도로 투자 배분이 이루어지고 있는 '국책연구개발사업'에 한정하여 기술부문별 적정 투자배분비율을 산출해 보기로 한다.

정보통신 국책연구개발사업은 공공분야 중에서도 정부가 직접 관리하고 있는 기술개발사업으로서 정부의 정책의지를 잘 반영할 수 있고 의사결정 여부에 따라 투자효율성을 최대한 제고시킬 수 있는 사업분야이다. 또한 정보통신 국책연구개발사업의 규모가 확대되면서 국민에의 책임성 확보와 국가 발전을 위한 효율적인 연구개발 투자효과를 얻기 위하여 보다 과학적이고 합리적인 투자계획 수립을 통한 효율적인 자원배분의 중요성이 증대되고 있다. 정보통신 국책 연구개발사업의 최근 3년간('96 ~ '98) 기술부문별 투자액(융자제외) 및 투자배분비율은 <표 1>과 같다.

<표 1>에서 보는 바와 같이 최근 3년간의 국책연구개발사업의 투자는 정보처리기술, 반도체·부품기술 및 전자·방송기술 중심으로 이루어지고 있음을 알 수 있다. 이는 정보통신기

<표 1> 정보통신 국책연구개발사업의 최근 3년간('96~'98) 기술부문별 투자액(융자 제외) 및 투자배분비율

(단위: 백만 원)

	유선통신 기술	전자·방송 기술	컴퓨터H/W 기술	정보처리 기술	반도체·부품 기술	총투자액
'96	29,970	30,273	12,053	21,909	43,790	137,995
'97	32,378	35,458	12,335	50,718	34,068	164,957
'98	22,941	31,500	13,327	38,574	23,715	130,057
합 계	85,289	97,231	37,715	111,201	101,573	433,009
(배분비율)	(19.7%)	(22.45%)	(8.71%)	(25.68%)	(23.46%)	(100%)

주) 98년도의 경우 연초 계획치이며 전략기술개발 100대 과제 사업비 44,098백만원은 제외
출처: 정보통신연구진흥원 내부자료

술의 국제경쟁력 확보를 위하여는 이 분야의 투자가 우선되어야 한다는 정부의 의지가 반영된 결과로 볼 수 있다. 이에 비하여 컴퓨터 H/W기술 부문의 투자는 전체 투자의 8.71%로서 매우 미비함을 알 수 있다.

모형의 적용에 앞서서 적절한 기술분류와 분석대상기간의 선정이 선행되어야 하는데, 기술분류와 관련하여 본 논문에서는 정보통신연구진흥원의 기존 분류체계를 근거로 하여 유선통신기술(Telecommunication Technology), 전파·방송기술(Radio-Broadcasting Technology), 정보기술(Information Technology), 반도체·부품기술(Part Semiconductor Technology)로 분류하고 정보기술을 H/W에 해당되는 컴퓨터H/W기술(Computer Hardware Technology)과 S/W에 해당되는 정보처리기술(Data Process Technology)로 분류한다. 분석대상 기간은 R&D투자계획 수립시 고려해야하는 기술부문별 중요도 산출의 용이성과 정확성을 고려하여 1999년 현재부터 3년 뒤인 2001년까지로 한다.

이에 따라 모형의 적용을 위한 우선적 작업으로서 단·중기적인 관점에서 기술경제외적 사회성, 기술성, 경제성의 각 기준에 대한 5대 기술부문 각각의 가중치를 도출하여야 한다. 도출된 가중치는 여러 전문가들의 의견을 객관적으로 반영할 수 있는 수치이어야 하는데 이를 위한 방법론으로 T.L. Satty에 의하여 개발된 계층화 분석과정(Analytic Hierarchy Process : AHP)을 이용하였다.

AHP는 문제와 관련된 제요소들을 계층적으로 분석하여 상호 비교(Pairwise Comparison)을 통하여 각 대안들의 중요도를 산정하는 기법이다. AHP의 장점으로는 첫째, 정량적 요소 뿐만 아니라 정성적 요소까지도 의사결정의 기준으로 포함시킬 수 있으며 둘째, 큰 문제를 점차로 작은 요소로 분화함으로써 단순한 이원비교에 의한 판단으로 문제 해결을 가능하게 한다는 데 있다.

일반적으로 AHP에 의한 다기준 의사결정문제의 해결을 위해서 가장 중요한 것은 대안들을 평가하기 위한 평가기준들의 설정과 이들 기준들간의 계층분석기준을 파악하는 것이다. 이와 관련하여 본 고에서는 기술경제외적 사회성, 기술성, 경제성의 각 기준에 대한 5대 기술부문에 대한 가중치 도출을 위한 계층분석으로 평가기준별 하위기준(sub-criteria)과 정의에 대해 백광천 외 3인의 논문 "R&D투자 배분결정 및 자원배분에 관한 연구"^[2]에서 조사된 결과를 참고하여 이용하였다. <표 2>는 평가기준별 하위기준과 정의를 요약한 것이다.

앞에서 언급한 AHP의 장점을 이용, 정성적인 기준 즉, 기술경제외적 사회성, 기술성, 경제성등을 반영하는 하위기준들 (예를 들면, 기술경제외적 사회성을 반영하는 하위기준으로는 공익성과 미래지향성)을 AHP 계층구조에 포함시켜 각 하위기준들의 상대적 중요도를 그들간에 이원비교를 통하여 산출하였다. 다음으로 각각의 하위기준별로 5대 기술부문들간에 이원비교를 수행하여 기술부문별로 가중치를 구하고 최종적으로 기술경제외적 사회성,

기술성, 경제성 등의 각 기준에 대한 5대기술 부문별 종합가중치를 산출하였다.

가중치 산정을 위한 이원비교는 설문조사를 통하여 이루어졌는데, 여기에는 한국전자통신 연구소에 근무하는 7명의 전문가에게 중요도를 문의하여 이들의 의견을 기하평균(Geometric Mean) 하였다. 이들 전문가 집단의 선정에 있어서는 국가 정보통신 연구개발사업의 기술부문별 적정배분에 대한 연구의 경험이 있거나 투자배분 방향을 설정하여 본 경험자를 중심으로 구성하였고 특정기술부문관련 종사자 등 의견 제시에 있어서 특정기술부문에 편협될 수 있는 전문가는 제외함으로써 조사결과의 신뢰성을 높이고자 하였다. 또한 이들 전문가 집단이 행한 개별 이원비교 행렬과 이들 의견을 종합한 이원비교 행렬들의 서수적 순위에 대한 신뢰성 여부를 측정하기 위한 지수로서 일관성 비율(C.R.: Consistency Ratio)을 검토한 결과 모든 경우에 있어서 0.05이하로 나타나 조사결과에 대하여 신뢰 할 수 있다고 하겠다. 참고로 AHP기법을 제안한 Satty는 C.R.이 0.1 이하이면 신뢰성이 있다고 말하고 있다^[24].

〈표 2〉 평가기준별 하위기준과 정의

평가기준 (Criteria)	하위기준 (Sub-criteria)	정 의
I. 기술경제 외적 사회성	1. 공 익 성	- 국익 고려 - 기술의 이용편의성 - 국가과학기술에의 기여도 - 관련산업에의 성장기여도 - 국민편익 증대 (저가의 양질 서비스)
	2. 미래지향성	- 전략적으로 선도적 위치에 도달시킬 가능성 - 고도 정보사회 실현 기여도 - 선진국이 되기 위해 필요한 기술
II. 기술 성	3. 기술실현성	- 개발시기의 적시성 (timing) - 성공가능성(현재 기술능력 감안)
	4. 기술자립성	- 기술예속 탈피 - 기술기반 확충
	5. 기술발전성	- 기술축적에의 기여도 - 차세대기술로의 진화 용이성 - 서비스 고도화에의 기여도
	6. 기술연관성	- 현재 확보기술과의 보완성 - 타분야 기술로의 전후방효과
III. 경 제 성	7. 수 익 성	- 기존자원 활용 - 원가절감 - 매출액 증대에의 기여도
	8. 성 장 성	- 서비스의 시장잠재력 - 관련산업분야의 성장성 - 미래수요 창출
	9. 활 용 성	- 사업적용 가능성 - 서비스 다양화에의 기여도

각 평가기준별로 최종적으로 도출한 5대 기술부문의 종합가중치는 <표 3>에 나타나 있다. 이 표의 2번째 열에 있는 값들은 평가기준 각각의 측면에서 평가된 하부기준들의 상대적 중요도이며, 나머지 열에 있는 값들은 하부기준 각각의 측면에서 평가된 5개 기술부문의 상대

<표 3> 평가기준별 5대 기술 부문들의 가중치 계산결과

- 기술경제외적 사회성 기준에서의 대안별 가중치 계산결과

평가기준	하위기준	대 안 (기술부문)				
		유선통신기술	전파·방송기술	컴퓨터 H/W기술	정보처리기술	반도체·부품기술
기술경제외적사회성	공익성 (C ₁ =0.417)	0.360	0.275	0.075	0.174	0.116
	미래지향성 (C ₂ =0.583)	0.083	0.405	0.095	0.329	0.088
대안의 종합 가중치		0.206	0.347	0.086	0.260	0.101

- 기술성 기준에서의 대안별 가중치 계산결과

평가기준	하위기준	대 안 (기술부문)				
		유선통신기술	전파·방송기술	컴퓨터 H/W기술	정보처리기술	반도체·부품기술
기술성	기술실현성 (C ₁ =0.201)	0.337	0.180	0.116	0.163	0.204
	기술자립성 (C ₂ =0.312)	0.352	0.198	0.097	0.162	0.191
	기술발전성 (C ₃ =0.257)	0.135	0.434	0.094	0.217	0.120
	기술연관성 (C ₄ =0.230)	0.173	0.214	0.158	0.196	0.259
대안의 종합 가중치		0.252	0.246	0.119	0.183	0.200

- 경제성 기준에서의 대안별 가중치 계산결과

평가기준	하위기준	대 안 (기술부문)				
		유선통신기술	전파·방송기술	컴퓨터 H/W기술	정보처리기술	반도체·부품기술
경제성	수익성 (C ₁ = 0.689)	0.079	0.392	0.083	0.257	0.190
	성장성 (C ₂ =0.168)	0.071	0.399	0.080	0.307	0.143
	활용성 (C ₃ =0.143)	0.093	0.406	0.089	0.253	0.159
대안의 종합 가중치		0.079	0.395	0.083	0.264	0.178

적 중요도이다. 그리고 표의 마지막 행에 나온 값은 각 평가기준 측면에서 5개 기술부문의 종합가중치이다. 예를 들어, 기술경제외적 사회성 기준에서 유선통신기술의 종합가중치는 $(0.360 \times 0.417 + 0.033 \times 0.583)$ 에 의해 구해진 값이다.

〈표 3〉에 나타난 각 평가기준에 대한 5대기술 부문별 종합가중치는 앞 장에서 제시된 다목적 선형계획모형에서의 세 개의 목적함수들의 목적함수계수로 이용되는데 이에따라 다음과 같이 세 개의 목적함수를 설정 할 수 있다.

$$\text{Max } 0.206x_{11} + 0.347x_{12} + 0.086x_{13} + 0.260x_{14} + 0.101x_{15}$$

$$\text{Max } 0.252x_{11} + 0.246x_{12} + 0.119x_{13} + 0.183x_{14} + 0.200x_{15}$$

$$\text{Max } 0.079x_{11} + 0.395x_{12} + 0.083x_{13} + 0.264x_{14} + 0.178x_{15}$$

여기서 분석대상기간($t=1$)은 1999년부터 2001년까지를 기준으로 하고 이전기간($t-1=0$)은 1996년부터 1998년까지로 하였다. 따라서 기술부문별 투자 배분비율을 나타내는 의사결정변수들의 첫 번째 첨자는 분석대상기간과 이전기간을 구별하는 것을 의미하고 두 번째 첨자는 차례로 유선통신기술, 전파·방송기술, 컴퓨터 H/W기술, 정보처리기술, 반도체·부품기술을 나타낸다.

제약조건을 나타내는 식으로는 우선, 모든 의사결정변수들이 배분비율을 나타내므로 이들 변수들의 총합이 1이 되어야 한다.

$$x_{11} + x_{12} + x_{13} + x_{14} + x_{15} = 1$$

이전기간('96~'98)동안 국책 연구개발사업의 기술부문별 투자에 대한 자료 (〈표 1〉 참조)에서 살펴보았듯이 컴퓨터 H/W기술 부문의 투자수준은 전체 투자의 8.71%로 매우 미비한데, 이는 '97년도의 생산액기준으로 본 세계 컴퓨터 H/W 시장규모(358,758백만불)가 세계 정보통신산업 전체의 시장규모(2,221,742백만불)에서 차지하는 비중이 16%이상이 되고 있다는 점^[9]과 컴퓨터 H/W 시장의 국내 수입의존도(내수 대비 수입액)가 '96년말 현재 48.3%로 매우 높은 점^[9]을 감안하면 이 부문의 연구개발 투자비율은 매우 낮은 수준이다. 특히 기술부문간의 균형발전의 중요성 등을 인식할 때 앞으로 이분야의 R&D투자 배분비율은 최소한 이 보다는 적지 않아야 한다. 따라서 이 경우의 제약조건은 다음과 같다.

$$x_{13} \geq 0.0871$$

기간에 따라 이루어지는 기술부문별 연구개발투자에 대한 배분비율은 어느 정도 일관성과

연속성을 유지하여야 하는데, 이는 일시적으로 이루어지는 연구개발 투자규모나 배분비율의 급격한 변화로는 소요인력, 시설 장비 등의 뒷받침이 부족함으로 인해서 바람직한 투자효과를 기대할 수 없게 된다. 여기서는 분석대상 기간인 1999년부터 2002년까지의 기술부문별 연구개발투자 배분비율이 이전기간 1995년부터 1998년 동안의 투자 배분비율(〈표 1〉 참조) 수준, 즉 기존의 각 기술 부문별 배분비율 수준의 최대허용 투자변동율을 10% 이상 벗어나지 않게 한다. 이 경우 다음과 같은 제약 조건식들이 추가된다.

$$0.0970 \leq x_{11} \leq 0.2970$$

$$0.1245 \leq x_{12} \leq 0.3245$$

$$0 \leq x_{13} \leq 0.1871$$

$$0.1568 \leq x_{14} \leq 0.3568$$

$$0.1346 \leq x_{15} \leq 0.3346$$

여기서 예를 들어 유선통신기술의 경우 $x_{t-1,1} = 0.1970$ 이므로 $x_{t,1}$ 이 변할 수 있는 하한선과 상한선이 각각 0.0970과 0.2970이 되며 컴퓨터 H/W기술의 경우는 $x_{t-1,3} = 0.0871$ 이므로 하한선이 0이하가 될 수 없으므로 하한선과 상한선이 각각 0과 0.1871가 된다. 마지막 제약조건으로 각 기술에 대한 투자비율은 음수가 될 수 없으므로 다음과 같은 비음수 제약조건이 추가된다.

$$x_{tj} \geq 0 \quad (t=1, j=1,2,3,4,5)$$

끝으로 앞장에서 제시한 다목적선형계획모형에 적용을 위해 필요한 의사결정함수를 도출하기 위한 전문가집단으로 위에서 언급한 한국전자통신연구소에 근무하는 7명의 개별 전문가들의 각각의 평가기준(기술경제외적 사회성, 기술성, 경제성)에 대한 중요도를 종합적으로 고려하여 반영하기 위하여 AHP를 이용하여 〈표 4〉와 같은 결과를 도출하였다.

〈표 4〉 각 평가기준에 대한 전문가집단의 가중치 계산결과

평가기준	가중치
기술경제외적 사회성	0.102
기술성	0.296
경제성	0.572

〈표 4〉에 나타난 전문가집단의 평가기준별 가중치는 앞 장에서 제시된 다목적선형계획모형에서의 의사결정함수의 가중치로서 이용되는데 이에 따라 다음과 같은 선형의 의사결정함수를 설정할 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{Max } & 0.102 * (0.206x_{11} + 0.347x_{12} + 0.086x_{13} + 0.260x_{14} + 0.101x_{15}) + \\ & 0.296 * (0.252x_{11} + 0.246x_{12} + 0.119x_{13} + 0.183x_{14} + 0.200x_{15}) + \\ & 0.572 * (0.079x_{11} + 0.395x_{12} + 0.083x_{13} + 0.264x_{14} + 0.178x_{15}) \end{aligned}$$

위에 제시된 다목적선형계획모형의 문제를 해결한다는 것은 도출된 선형의 의사결정함수를 다목적선형계획문제의 유효해집합내에서 최적화한다는 것을 의미하는데, 이를 통하여 향후 우리 나라 정보통신 국책연구개발사업의 단·중기 기술부문별 R&D 투자배분비율의 방향성을 도출하게된다.

3.2 해법(solution method)

일반적으로 다목적의사결정문제에서는 만약 의사결정자(decision maker)가 모든 목적함수를 동시에 최대화 하고자 하는 경우에 고려되는 거의 모든 대체안(alternatives)들은 어느 하나의 목적함수치를 개선시키면 다른 목적함수치를 劣化시킨다. 일반적으로 목적함수들은 서로 상충하므로 모든 목적함수가 동시에 최소화 되는 대체안이 존재하는 경우는 극히 드물다. 그러므로 의사결정자가 여러 대체안에서 어느 하나를 선정한다는 것은 이들 상충하는 목적함수치들로부터 일종의 절충된 대체안을 선정하게 됨을 의미한다. 그런데, 이러한 절충에 있어서는 단지 유효대체안(efficient alternatives, nondominated alternatives) 혹은 유효해(efficient solution, nondominated solution)만이 그 대상이 되어야 한다. 어떤 대체안이 유효한 대체안이라는 것은 어느 하나의 목적함수치를 개선시키기 위해 최소한 다른 하나의 목적함수치를 劣化시켜야만 되는 경우를 말한다. 즉 유효대체안이란 다른 대체안에 지배당하지 않는 대체안을 말한다. 이에 반해 다른 대체안에 지배당하는 대체안을 비유효대체안(inefficient alternatives, dominated alternatives)이라 부른다.

이러한 문제의 해법으로는 여러가지 기법들이 연구·개발되어 왔는데 일반적으로 다목적선형계획문제를 푸는 방법으로 다목적선형계획문제에 대한 모든 유효해를 찾는 방법이 많이 개발되어 왔다^[19,20,25]. 그러나 대부분의 현실문제에 있어서는 많은 유효해가 존재하므로 모든 유효해를 찾는다는 것은 계산상 문제의 어려움에 직면하게 된다. 또한 이러한 접근법들에 있어서는 의사결정자가 찾아진 수많은 유효해 중에서 선호도가 가장 높은 선호해(preferred solution)를 선택해야 하는 어려움이 따른다.

이에 따라 선형의 의사결정함수를 유효해집합(efficient set)내에서 최적화하는 문제에 대한 연구가 경영과학자들 사이에 최근들어 활발히 이루어지고 있다^[10,13,15,16,22]. 이 문제에서 나타나는 가장 중요한 특징 중 하나는 '유효극해(efficient extreme solution)들 중 하나는 반드시 최적해이다'라는 사실이다^[13,16,22]. 이러한 특징을 이용하여 최근들어 이 문제를 해결할 수 있는 여러개의 해법과정들이 개발되고 있다^[13,15,16,22]. 그러나 본 논문의 경우에서와 같이 유효극해의 수가 상대적으로 적은 다목적선형계획 문제에서는 유효극해를 모두 찾음으로서 유효극해들 중에서 가장 최적의 의사결정함수치를 산출하는 해, 즉 이 문제에서의 최적해를 쉽게 구할 수 있다.

본 논문의 경우에서는 1983년 Steuer교수가 개발한 다목적선형계획 문제에서 유효극해를 찾는 소프트웨어 프로그램인 ADBASE^[22]를 이용하여 <표 5>와 같이 4개의 유효극해를 구하였는데 그 중에서 가장 최적의 의사결정함수치를 산출하는 유효극해는 $(X_{11}, X_{12}, X_{13}, X_{14}, X_{15}) = (0.0970, 0.3245, 0.0870, 0.3368, 0.1347)$ 이며 이 해가 최적해가 된다. 이에 따르면 향후 우리나라 정보통신 국책연구개발사업의 기술부문별 R&D투자 배분비율의 방향을 정보처리기술(33.68%), 전파·방송기술(32.45%), 반도체·부품기술(13.47%), 유선기술(9.70%), 컴퓨터 H/W기술(8.70%)로 할 것을 제시하였다.

<표 5> 산출된 유효극해와 그에 대응하는 목적함수치와 의사결정함수치

	유효극해	목적함수치	의사결정 함수치
	($X_{11}, X_{12}, X_{13}, X_{14}, X_{15}$)	(Z_1, Z_2, Z_3)	
1	(0.0971, 0.3245, 0.0870, 0.3568, 0.1346)	(0.24645, 0.20686, 0.26122)	0.243183
2	(0.0970, 0.3245, 0.0870, 0.3368, 0.1347)	(0.24643, 0.20685, 0.26123)	0.243185
3	(0.2970, 0.3245, 0.0870, 0.1569, 0.1346)	(0.23565, 0.22065, 0.22424)	0.224687
4	(0.2970, 0.3245, 0.0870, 0.1568, 0.1347)	(0.23563, 0.22066, 0.22423)	0.224680

4. 결 론

본 연구에서는 정보통신산업 R&D투자계획 수립을 위한 기술부문별 투자배분 결정과 관련하여 경제성만을 최적화하는 지금까지의 연구와는 달리 경제성 뿐만 아니라 기술성 및 기술경제외적 사회성 등의 3가지 기준들을 동시에 고려하면서 가용자원의 제약 상황에서 최선의 대안을 선택할 수 있는 더욱 더 현실 적용이 가능한 다목적선형계획모형을 개발하였

다.

본 연구에서의 의사결정문제가 정보통신분야 국책사업의 R&D전략계획 수립시에 도움을 주기 위한 목적임을 고려하여, 모형설정시 의사결정 과정에 특정 개인 한사람에 의한 의사결정보다는 여러명의 전문가들로 구성된 집단의사결정문제로 모형화하여 최근 경영과학자들에 의해 활발히 연구되고 있는 다목적선형계획문제의 유효해집합내에서 선형의 의사결정함수를 최적화하는 문제로 모형화하였다.

제시된 모형을 우리 나라 국책연구개발사업의 향후 3년(1999~2001)동안 기술부문별 적정 R&D 투자배분비율을 결정하는 문제에 적용하였는데, 모형적용과정에서 필요로 하는 기술경제외적 사회성, 기술성, 경제성등의 각각의 평가기준별 가중치와 개별 평가기준에 대한 5대 기술부문별 중요도의 산출을 위하여 여러 전문가들의 의견을 객관적이고 용이하게 반영할 수 있는 AHP를 이용하였다.

AHP를 이용하여 도출된 가중치들과 과거 3년(1996~1998) 동안의 정보통신 국책연구개발사업의 기술부문별 투자에 대한 통계자료를 가지고 모형에 적용하여 다목적선형계획문제를 구체화하였다. 최종해의 결과에 의하면 향후 단·중기적으로는 우리 나라 정보통신 국책연구개발사업의 기술부문별 R&D투자 배분비율의 방향을 정보처리기술(33.68%), 전파·방송기술(32.45%), 반도체·부품기술(13.47%), 유선기술(9.70%), 컴퓨터 H/W기술(8.70%)로 할 것을 제시하였다.

본 연구에서 개발된 다목적선형계획모형은 정보통신 국책연구개발사업 뿐만 아니라 우리 나라 전체 정보통신산업의 기술부문별 R&D 투자정책 방향을 수립하는데 전문가집단의 의견수렴을 통한 의사결정을 지원함으로써 투자배분에 있어서 효율성 제고를 통한 효과적인 투자정책 방향을 제시하는데 활용될 수 있을 것이다.

참고문헌

1. 백관호, 이규현, “LP 모형에 의한 한국 정보산업기술의 R&D투자규모 결정사례”, 「기술혁신연구」, 제4권 제1호, 1996, pp. 27~47.
2. 백광천 외 3인, “R&D 투자규모 결정 및 자원배분에 관한 연구”, 「경영과학」, 제10권 제1호, 1993, pp. 81~105.
3. 이영찬, 민재형, “불확실한 상황 하에서의 다목적 R&D 투자계획수립에 관한 연구”, 「한국경영과학회지」, 제20권 제2호, 1995, pp. 39~60.
4. 이동엽, “Interactive Face Search Procedure for Multiple Objective Linear Programming”, 「경영과학」, 제10권 제2호, 1993, pp. 11~26.
5. 이동엽, “Interactive Weight Vector Space Reduction Procedure for Bicriterion Linear Programming”, 「경영과학」, 제13권 제2호, 1996, pp. 205~213.
6. 정호원, 강인배, “AHP를 이용한 전자경비 시스템의 평가에 관한 연구”, 「경영과학」, 제13권 제2호, 1996, pp. 49~60.
7. 한국산업기술진흥협회, 「국내외 정보통신 연구개발 현황조사」, 1997.
8. 한국전자통신연구원, 「97 정보통신기기 및 연구개발 통계」, 기술경제연구부, 1997.
9. 통신개발연구원, 「정보통신산업동향」, 1997. 7.
10. 이동엽, 안태호, “A Face Optimization Algorithm for Optimizing over the Efficient Set”, 「경영과학」, 제15권 제1호, 1998, pp. 77~85.
11. Aksoy, Y., “Interactive Multiple Objective Decision Making: A Bibliography (1965-1988)”, *Management Research News*, 2, 1990, pp. 1~8.
12. Benayoun, R., J. de Montgolfier, J. Tergny, and O. Laritchev, “Linear Programming with Multiple Objective Functions: Step Method(STEM)”, *Mathematical Programming*, Vol. 1, No. 3, 1971, pp. 366~375.
13. Dessouky, M. I., Ghiassi, M, and Davis, W. J., “Estimates of the Minimum Nondominated Criterion Values in Multiple-Criteria Decision Making”, *Engineering Costs and Production Economics*, Vol. 10, 1986, pp. 95~104.
14. Evans, G. W., “An Overview of Techniques for Solving Multiobjective Mathematical Programs”, *Management Science*, 30, 1268-1282, 1984.
15. Harold P. Benson and Sayin, S., “A face search heuristic algorithm for optimizing over the efficient set”, *Naval Res. Logist.*, 40, 1993, pp. 103~116.

16. Harold P. Benson and Dongyeup Lee, "An Outcome-Based Algorithm for Optimizing over the Efficient Set of a Bicriteria Linear Programming Problem", *Journal of Optimization Theory and Applications*, Vol. 88, No. 1, Jan. 1996, pp. 77~105.
17. Harold P. Benson, Dongyeup Lee and J. P. McClure, "A Multiple-Objective Linear Programming Model for the Citrus Rootstock Selection Problem in Florida", *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, Vol. 6, 1997, pp. 283~295.
18. Harold P. Benson, Dongyeup Lee and J. P. McClure, "Global Optimization in Practice: An Application to Interactive Multiple Objective Linear Programming", *Journal of Global Optimization*, Vol. 12, 1997, pp. 353~372.
19. Isermann, H., "The enumeration of the set of all efficient solutions for a linear multiple objective program", *Operational Research Quarterly*, 28, 1977, pp. 711~725.
20. Isermann, H., "The enumeration of all efficient solutions for a linear multiple-objective transportation problem", *Naval Research Logistics Quarterly*, 26, 1979, pp. 123~139.
21. Liberatore, M. J., "An Extension of the Analytic Hierarchy Process for Industrial R&D Project Selection", *IEEE Transactions on Engineering Management*, EM-34, No. 1, 1987, pp. 12~18.
22. Steuer, R. E., *Multiple Criteria Optimization: Theory, Computation, and Application*, John Wiley and Sons, New York, 1986.
23. Saaty, T. L., "Priority Setting in Complex Problems", *IEEE Transactions on Engineering Management*, Vol. EM-30, No. 3, 1983, pp. 140~155.
24. Saaty, T. L., "How to make a decision the analytic hierarchy process," *European Journal of Operational Research*, Vol. 48, 1990, pp. 9~26.
25. Yu, P. L., and Zeleny, M., "The set of all nondominated solutions in linear cases and a multiple criteria simplex method," *Journal of Mathematical Analysis and Applications*, 49, 1975, pp. 430~468.