

# 다목적선형계획법을 이용한 한국 정보통신 기술분야별 R&D 투자규모결정 모형개발 및 사례연구\*

이 동 엽\*\*

## R&D Investment Model for the Information and Telecommunications Technology by Multiple Objective Linear Programming\*

Dongyeup Lee\*\*

### ■ Abstract ■

This paper presents a R&D investment model for the Information and telecommunications (I&T) technology using multiple objective linear programming (MOLP). The MOLP model involves the simultaneous maximization of three linear objective functions associated with three criteria, which are social, technological, and economic criterion. This model is different from the traditional one which only involves the maximization of economic criterion. It yields a suitable R&D investment ratio to each technology field. Its application to the National R&D Project in I&T Industry is also presented. In this application, the Analytic Hierarchy Process (AHP) is proposed to estimate the weights, which used as the coefficients in each objective function of the MOLP model. Then the problem is solved using the interactive method STEM. It is showed that with the aid of STEM, the MOLP model can be useful decision aid in formulating R&D investment plan in I&T industry. It is expected that the MOLP model works as the basis for planning R&D investment strategy in I&T industry.

## 1. 서 론

앞으로 다가오는 정보화사회에서의 정보통신기

술은 국가의 경제, 산업, 사회발전을 주도하는 핵심적 기술로 부각될 것으로 전망되며 2000년대에 우리 나라가 선진국으로 진입하기 위해 필수적으

\* 이 논문은 1997년 한국학술진흥재단의 공모과제 연구비에 의하여 연구되었음.

\*\* 해천대학 경영정보시스템과

로 확보하여야 할 전략적 기술이라 할 수 있다.

정보통신기술은 다른 산업분야의 기술에도 응용되어 정보통신산업 자체 뿐만 아니라 다른 산업의 발전과 생산성향상, 나아가서는 국가 전체의 생산성 향상에 미치는 파급효과가 막대하다.

선진주요국들은 이미 오래전부터 향후 본격화될 무한경쟁시대에 대비하여 정보화를 국가경쟁력의 핵심요소로 인식하고 21세기 정보사회에서 세계경제의 주도권 확보를 위하여 전략기술인 정보통신 기술분야에 대한 연구개발을 국가정책차원에서 강력하게 추진하고 있다.

정보통신기술 분야의 연구개발은 그 기술분야가 광범위하고 첨단기술로서 타분야에 비해 많은 규모의 R&D 투자(우리나라 1996년의 경우 약 39,929억원)를 요구하고 있으나, 연구개발 투자에 대한 성공률은 선진국에서조차도 매우 낮은 것으로 알려지고 있다.

따라서 우리 나라 정보통신부문의 기술개발을 성공적으로 추진하는데 현실적으로 직면하게 되는 중요 요인으로 국가적인 차원에서 제한된 기술개발 자원의 효과적인 배분을 들 수 있다.

특히 우리 나라의 경우 최근 IMF 구제금융이라는 상황을 직면하여 범국가적인 구조조정과 투자효율성 제고가 요구되는 시점에서 연구개발 투자는 상대적으로 그 규모가 축소 될 수 밖에 없기 때문에 효율적 연구개발 투자계획 수립을 통한 투자의 효율성 제고는 다른 무엇보다도 시급한 과제라 할 수 있다.

일반적으로 연구개발을 위하여 투자하는 목적은 투자하는 조직의 특성에 따라 목적이 달라질 수 있으나 대부분의 경우 투자로 인한 수익(률)을 제고하는 것 이외에도 기술 경쟁력 향상, 조직에서 추구하는 선도적 위치에 도달시킬 가능성 도모 등 여러 가지 목표에 맞추어 계획하여 투자계획을 설정한다. 특히 공공기관에서의 투자인 경우 그 목적이 투자로 인한 수익(률) 제고보다는 국익을 고려하고 국민 편익을 증진시킬 수 있는 공공성을 우선시하여 투자계획이 수립되어 지는 경우가 많다.

본 논문에서 다루고자하는 정보통신산업의 연구개발 투자의 경우에도 이 분야 연구개발이 타 분야 기술발전에 전후방 효과를 가져오며 국민 생활에 직간접으로 영향을 주는 점들을 종합적으로 고려하여 투자계획이 수립되어야 한다.

지금까지 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 각 개별적인 모형들을 통합하여 R&D 과제선정과 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&D 과제의 우선순위를 도출한 후 정수계획법으로 가용예산 제약하에서의 과제선정 문제를 다루는 모델[2]등을 들 수 있다.

정보통신 기술분야에 대한 R&D 투자계획수립과 관련한 최근 연구로는 백광천 외 3인의 논문 "R&D 투자규모 결정 및 자원배분에 관한 연구" [2]와 백관호 와 이규현의 논문 "LP 모형에 의한 한국 정보산업기술의 R&D투자규모 결정사례"[1]를 들 수 있다. 전자 연구의 경우 한국통신의 경우를 예로 들어 투자효율성 제고를 위한 미시적 접근 방법을 사용하였는데 이 경우 가용자원의 제약 상황을 고려치 않았고, 후자 연구의 경우 정보통신 기술을 포함한 정보산업 전체 분야를 대상으로 하였고 R&D 투자계획 수립시 고려해야하는 여러 가지 중요 요인들중에서 투자에 대한 경제성만을 최대화하는 LP 모형을 개발하였다.

본 연구에서는 위의 모형들의 단점들을 보완하고 보다 현실 적용이 가능한 모델의 개발을 위하여 정보통신기술 부문별 R&D 투자 배분시 고려해야 하는 경제성 뿐만 아니라 기술성 및 기술경제의

적 사회성 등의 3가지 기준들을 동시에 고려하면서 가용자원의 제약 상황에서 최선의 대안을 선택할 수 있는 다목적선형계획모형을 설정하였다.

모형 설정후 적용사례로서 우리나라 정보통신국책 연구개발사업의 향후 3년(1999~2001)동안 기술부문별 R&D 투자배분 문제를 모형에 적용하였고 대화형 다목적선형계획 해법의 대표적 기법인 STEM algorithm[12]을 해법과정에 이용하였다. 이 과정에서 모형의 적용을 위하여 필요한 기술경제외적 사회성, 기술성, 경제성 등의 각각의 기준에서 정보통신산업의 기술부문별 중요도의 산출을 위하여 여러 전문가들의 의견을 객관적이고 용이하게 반영하기 위해 계층화 분석과정(AHP)을 이용하였다.

## 2. 정보통신산업 기술부문별 적정 R&D 투자배분 결정을 위한 다목적선형계획모형

정보통신산업의 기술부문별 R&D 투자계획 수립시 고려하여야 하는 기준들은 사용목적에 따라 매우 다양한 항목들이 고려될 수 있다. 이와 관련하여 백광천외 3인의 논문 "R&D투자 배분결정 및 자원배분에 관한 연구"[2]에서는 한국통신의 기술분야별 R&D 투자계획 수립의 경우를 사례로 평가 기준들에 대하여 자료수집, 설문·면담조사 및 정보통신산업 관련 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.

우리나라 정보통신기술 분야의 국가적 연구개발 수요를 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 기술경제

외적 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.

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

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

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

여기에서  $x_{ij}$ 는 특정기간  $t$  기간 동안의  $j$  기술부문 ( $j = 1, 2, \dots, n$ )에 대한 투자배분비율,  $\alpha_{ij}$ 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.

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

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.

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

여기에서  $\beta_j$ 와  $\gamma_j$ 는 각각 특정기간  $t$ 기간 동안에 기술부문  $j$ 의 투자배분비율 하한도와 상한도를 나타낸다.

연구개발 투자에 대한 의사결정시 투자의 연속성을 반드시 고려하여야 하는데, 이는 연구개발 투자에 따른 연구시설 및 연구인력의 확보가 단기간에 이루어 질 수 있는 성격이 아니고 현실적으로

도 급격한 변화는 바람직하지 못하다. 따라서 기술 부문  $j$ 에 대한 특정기간  $t$  기간 동안의 연구개발 투자배분비율은 이전기간  $t-1$  기간동안의 투자배분비율 수준의 일정한 수준을 유지하여야 하므로 다음과 같은 제약 조건이 추가된다.

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

여기에서  $\delta_j$ 는 기술부문  $j$ 에 대한 이전기간  $(t-1)$ 기간 동안의 투자배분비율로부터 특정기간  $t$  기간 동안의 투자배분비율의 최대 허용 투자변동 비율을 나타낸다.

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

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

따라서 구하고자 하는 해  $x_{tj}$ , 즉 특정기간  $t$  기간 동안의 정보통신산업 기술부문별 투자배분비율은 위의 제약조건 (4) - (7)을 충족시키면서 목적함수 (1) - (3)을 동시에 만족하는 “가장 좋은” 절충해인 것이다. 앞에서 언급한 제약조건외에도 실제 상황에 있어서는 보다 많은 제약조건이 필요 할 수도 있다.

### 3. 한국의 투자배분 결정사례를 통한 모형의 적용 검토

#### 3.1 모형의 적용(Application)

이 장에서는 앞에서 제시한 투자배분 결정모형

을 응용하여 우리나라 정보통신산업 기술부문별 적정 R&D 투자배분비율을 산출하여 보기로 하는데, 본 논문에서는 우리나라 전체 정보통신산업의 기술부문별 연구개발 투자에 대한 과거자료의 미흡으로 투자배분대상을 정보통신부가 주관하여 정부 주도로 투자 배분이 이루어지고 있는 ‘국책 연구개발사업’에 한정하여 기술부문별 적정 투자배분비율을 산출하기로 한다.

정보통신 국책 연구개발사업은 공공분야 중에서도 정부가 직접 관리하고 있는 기술개발사업으로서 정보통신부를 비롯한 정부의 정책의지를 잘 반영할 수 있고 의사결정 여부에 따라 투자효율성을 최대한 제고 시킬 수 있는 사업분야이다. 또한 정보통신 국책 연구개발사업의 규모가 확대되면서 국민에의 책임성 확보와 국가 발전을 위한 효율적인 연구개발 투자효과를 얻기 위하여 보다 과학적이고 합리적인 투자 계획 수립을 통한 효율적인 자원배분의 필요성과 중요성이 대두하고 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 국책 연구개발사업의 투자는 정보처리기술, 반도체·부품기술 및 전파·방송기술 중심으로 이루어 지고 있음을 알 수 있다. 이는 정보통신기술의 국제경쟁력 확보를 위하여는 이분야의 투자가 우선되어야 한다는 정부의 의지가 반영된 결과로 볼 수 있다. 이에 비하여 컴퓨터 H/W기술 분야의 투자는 전체 투자의 8.71%로서 매우 미비함을 알 수 있다.

<표 1> 정보통신 국책 연구개발사업의 최근 3년간('96~'98) 기술부문별 투자액(융자제외) 및 투자배분비율

(단위 : 백만원)

|        | 유선통신 기술  | 전파·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 |
| 합계     | 85,289   | 97,231   | 37,715    | 111,201  | 101,573   | 433,009 |
| (배분비율) | (19.70%) | (22.45%) | (8.71%)   | (25.68%) | (23.46%)  | (100%)  |

\* '98년도의 경우 년초 계획치이며 전략기술개발 100대과제 사업비 44,000백만원은 제외  
출처 : 정보통신연구관리단 내부자료

모형의 적용에 앞서서 적절한 기술분류와 분석 대상기간의 선정이 선행되어야 하는데, 기술분류와 관련하여 본 논문에서는 정보통신연구관리단의 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 컴퓨터 H/W기술(Computer Hardware Technology)과 S/W에 해당되는 정보처리기술(Data Process Technology)로 분류한다. 분석대상기간은 R&D투자계획 수립시 고려해야 하는 기술부문별 중요도 산출의 용이성과 정확성을 고려하여 1999년 현재에서부터 3년 뒤인 2001년까지로 한다.

이에따라 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 뿐만아니라 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 본고에서는 기술경제외적 사회성, 기술성, 경제성의 각 기준에 대한 5대 기술부문에 대한 가중치 도출을 위한 계층분석으로 평가기준별 하위기준

(sub-criteria)과 정의에 대해 백광천외 3인의 논문 "R&D투자 배분결정 및 자원배분에 관한 연구"[2]에서 조사된 결과를 참고하여 이용하였다. <표 2>는 평가기준별 하위기준과 정의를 요약한 것이다.

<표 2> 평가기준별 하위기준과 정의

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

앞에서 언급한 AHP의 장점을 이용, 정성적인 기준 즉, 기술경제외적 사회성, 기술성, 경제성등을 반영하는 하위기준들(예를들면, 기술경제외적 사회성을 반영하는 하위기준으로는 공익성 과 미래지향성)을 AHP 계층구조에 포함시켜 각 하위기준들의 상대적 중요도를 그들간에 이원비교를 통하여 산출하였다. 다음으로 각각의 하위기준별로 5대 기술부문들간에 이원비교를 수행하여 기술부문

별로 가중치를 구하고 최종적으로 기술경제외적 사회성, 기술성, 경제성 등의 각 기준에 대한 5대 기술 부문별 종합가중치를 산출하였다.

가중치 산정을 위한 이원비교는 설문조사를 통하여 이루어졌는데, 여기에는 한국전자통신연구소에 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 특정기술부문 관련종사자 등 의견 제시에 있어서 특정기술부문에 편향될 수 있는 전문가는 제외함으로써 조사결

과의 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 신뢰할 수 있다고 하겠다. 참고로 AHP기법을 제안한 Satty는 C.R.이 0.1 이하이면 신뢰성이 있다고 말하고 있다[24].

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

<표 3> 평가기준별 5대 기술 부문들의 가중치 계산결과

- 기술성 기준에서의 대안별 가중치 계산결과

| 평가기준       | 하위기준                          | 대안 (기술부문) |         |           |        |          |
|------------|-------------------------------|-----------|---------|-----------|--------|----------|
|            |                               | 유선통신기술    | 전파·방송기술 | 컴퓨터 H/W기술 | 정보처리기술 | 반도체·부품기술 |
| 기술경제외적사회성  | 공익성 (C <sub>1</sub> =0.417)   | 0.360     | 0.275   | 0.075     | 0.174  | 0.116    |
|            | 미래지향성 (C <sub>2</sub> =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    |

- 기술경제외적 사회성 기준에서의 대안별 가중치 계산결과

| 평가기준       | 하위기준                          | 대안 (기술부문) |         |           |        |          |
|------------|-------------------------------|-----------|---------|-----------|--------|----------|
|            |                               | 유선통신기술    | 전파·방송기술 | 컴퓨터 H/W기술 | 정보처리기술 | 반도체·부품기술 |
| 기술성        | 기술실현성 (C <sub>1</sub> =0.201) | 0.337     | 0.180   | 0.116     | 0.163  | 0.204    |
|            | 기술자립성 (C <sub>2</sub> =0.312) | 0.352     | 0.198   | 0.097     | 0.162  | 0.191    |
|            | 기술발전성 (C <sub>3</sub> =0.257) | 0.135     | 0.434   | 0.094     | 0.217  | 0.120    |
|            | 기술연관성 (C <sub>4</sub> =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                         | 대안 (기술부문) |         |           |        |          |
|------------|------------------------------|-----------|---------|-----------|--------|----------|
|            |                              | 유선통신기술    | 전파·방송기술 | 컴퓨터 H/W기술 | 정보처리기술 | 반도체·부품기술 |
| 경제성        | 수익성 (C <sub>1</sub> = 0.689) | 0.079     | 0.392   | 0.083     | 0.257  | 0.190    |
|            | 성장성 (C <sub>2</sub> =0.168)  | 0.071     | 0.399   | 0.080     | 0.307  | 0.143    |
|            | 환용성 (C <sub>3</sub> =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    |

열에 있는 값들은 하부기준 각각의 측면에서 평가된 5개 기술부문의 상대적 중요도이다. 표의 마지막 행에 나온 값은 각 평가기준 측면에서 5개 기술부문의 종합가중치이다. 예를들어, 기술경제외적 사회성 기준에서 유선통신기술의 종합가중치는  $(0.360 \times 0.417 + 0.083 \times 0.583)$ 에 의해 구해진 값이다.

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

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

여기서 분석대상기간(t=1)은 1999년부터 2001년까지를 기준으로 하고 이전기간(t-1=0)은 1996년부터 1998까지로 하였다. 따라서 기술부문별 투자 배분비율을 나타내는 의사결정변수들의 첫 번째 첨자는 분석대상기간과 이전기간을 구별하는 것을 의미하고 두 번째 첨자는 차례로 유선통신기술, 전화·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 살펴 보았듯이 컴퓨터 H/W기술 부문의 투자수준은 전체 투자의 8.71%로 매우 미비한데, 이는 '97년도 의 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 부문

의 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 제약 조건은 다음과 같다.

$$x_{13} \geq 0.0871$$

기간에 따라 이루어지는 기술 부문별 연구개발 투자에 대한 배분비율은 어느 정도 일관성과 연속성을 유지하여야 하는데, 이는 일시적으로 이루어지는 연구개발 투자규모나 배분비율의 급격한 변화로는 소요인력, 시설 장비등의 뒷받침이 부족함으로 인해서 바람직한 투자효과를 기대할 수 없게 된다. 여기서는 분석대상기간인 1999년부터 2001년까지의 기술부문별 연구개발 투자 배분비율이 이전기간 1996년부터 1998년 동안의 투자 배분비율(<표 1> 참조) 수준에서 각 기술 부문별로 최대 허용 투자변동율을 10% 이상 벗어나지 않게 한다. 이 경우 다음과 같은 제약 조건식들이 추가된다.

$$\begin{aligned} 0.0970 & \leq x_{11} \leq 0.2970 \\ 0.1245 & \leq x_{12} \leq 0.3245 \\ 0 & \leq x_{13} \leq 0.1871 \\ 0.1568 & \leq x_{14} \leq 0.3568 \\ 0.1346 & \leq x_{15} \leq 0.3346 \end{aligned}$$

여기서 예를 들어 유선통신기술의 경우  $x_{11,11} = 0.1970$ 이므로  $x_{11}$ 이 변할 수 있는 하한선과 상한선이 각각 0.0970과 0.2970이 되며 컴퓨터 H/W기술의 경우는  $x_{11,13} = 0.0871$  이므로 하한선이 0이하가 될 수 없으므로 하한선과 상한선이 각각 0과 0.1871가 된다. 끝으로 각 기술에 대한 투자비율은 음수가 될 수 없으므로 다음과 같은 비음수 제약 조건이 추가된다.

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

위에 제시된 다목적 선형계획문제를 풀면 우리나라 정보통신 국책 연구개발사업의 단·중기 기술부문별 적정 R&D 투자배분비율을 구하게 된다.

### 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 지배당하지않는 대체안을 말한다. 이에 반해 다른 대체안에 지배당하는 대체안을 비유효대체안(inefficient alternatives, dominated alternatives)이라 부른다.

이러한 문제의 해법으로는 여러 가지 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.

이러한 문제점들을 없애주는 방법으로 대화형접근방법(interactive methodology)이 널리 이용되고 있는데 이 방법에서는 의사결정자가 문제해결과정

에 직접 개입하여 의사결정자와 분석전문가가 의사교환을 통해 선호해를 구하는 방법이다. 이러한 대화형접근방식은 매 반복과정마다 의사결정자로부터 얻어진 정보(information)에 의해서 새로운 해를 찾아가는 과정으로 진행되는데 의사결정자에게 요구되는 정보의 형태는 기법마다 차이가 있으며 이러한 과정은 의사결정자가 현재의 해에 만족하거나 해법절차상 더 이상의 반복을 행할 수 없을 때까지 진행하게 된다.

일반적으로 다목적의사결정문제에 대한 이러한 대화형접근방법이 다른 접근방법보다 많은 장점을 가지고 있는데 그중 중요한 점으로 대화형접근방법에서는 의사결정자가 능동적으로 의사결정과정에 직접 참여하여 최종적으로 도출해 낸 선호해에 대한 믿음과 확신감을 가질 수 있다는 사실이다. 실제로 다목적의사결정문제의 해법에 있어서 대화형접근방법은 다른 어떠한 접근방법 보다도 좋은 질의 절충해를 산출하는 접근방법으로 증명되었다 [참고 : Steuer, 1986, p.361].

지난 약 25년동안 다목적선형계획문제에 대한 대화형기법이 광범위하게 연구개발 되어 많은 기법들이 개발되어 왔는데[11, 14], 여기서는 제시된 문제의 해법으로 STEM algorithm (Benayoun et al., 1971)을 이용하기로 한다. STEM기법에 대한 단계별 내용에 대하여는 참고문헌[12, 22]을 참조하기로 하고, 본 연구에서 STEM 기법을 선택한 이유로는 다음과 같이 4가지를 들 수 있다. 첫째, STEM 기법은 기존의 다른 해법들보다 상대적으로 이해하고 적용하기 쉬워서 매우 많이 사용되고 있다. 둘째, 적용과정에서 의사결정자에게 각 목적함수들의 만족수준(aspiration levels)에 대하여만 응답을 요구함으로써 의사결정자가 별로 부담을 느끼지 않고 응답 할 수 있다. 셋째, 최종해를 산출하는 과정에서 극해(extreme solutions)들에만 국한하지않고 비극해(nonextreme solutions)들도 탐색 가능하게 하여 극해들만을 탐색대상으로 하는 다른 대화형기법들 보다 더 좋은 질의 최종해 산출가능성이 높다. 마지막으로 최종 선택된 해들



이 “약한 유효해(weakly efficient solution)”[22]로 불려지는 좋은 질(quality)의 해를 산출해냄으로써 일반적으로 다른 기법에 비해 의사결정자에게 더욱 만족을 주는 최종해를 산출한다.

다목적선형계획 문제의 해법과정에 STEM기법과 같은 대화형 접근방법을 적용하기 위해서는 제시된 문제에 대한 합리적인 의사결정을 할 수 있는 의사결정자의 선택이 우선시 되어야 하는데, 본 연구에서는 우리 나라 정보통신 국책연구개발사업의 기술분야별 R&D 투자배분의 경험이 있는 전문가를 의사결정자로 선정하여 문제를 풀었다(전문가의 요청에 따라 의사결정자를 임명으로 하였음).

일반적으로 STEM기법과 같은 대화형 기법의 적용에 있어서는 먼저 각 목적함수들이 유효해집합(efficient set)내에서 성취가능한 가장 나쁜값과 가장 좋은값의 범위를 알아야 할 필요가 있다. 이러한 범위는 절충범위(range of compromise)라고 불리어지며[13], 절충범위에 대한 지식은 의사결정자에게 매우 유용한 정보로서 사용되어 지는데, 의사결정자는 절충범위에 대한 지식을 통하여 각 목적함수치에 대한 희망수준(aspiration levels)을 대략 설정할 수 있으며 STEM기법 적용과정에서 요구되는 의사결정자의 정보 제공에 있어서도 의사결정자가 많은 도움을 받을 수 있다.

본 문제의 경우에는 각 목적함수들에 대한 절충범위를 성과표(payload table)에 의하여 쉽게 구할 수 있다. 하지만 경우에 따라서는 성과표에 의한 절충범위에 대한 정보 제공이 잘못되는 경우가 있다[13, 15, 16, 22].

성과표는 그 구성이 개개의 목적함수를 최적화

하여 얻어지는 해에 대응하는 함수값들을 성과표의 열(row)에 나타냄으로서 쉽게 만들어지는데 <표 4>는 본 문제에서의 성과표를 나타낸다.

<표 4> 성과표(payload table)

|       | $z_1$  | $z_2$  | $z_3$  |
|-------|--------|--------|--------|
| $z^1$ | 0.2464 | 0.2068 | 0.2612 |
| $z^2$ | 0.2356 | 0.2206 | 0.2242 |
| $z^3$ | 0.2464 | 0.2068 | 0.2612 |

성과표로부터 얻은 각 목적함수들의 절충범위는 기술경제외적 사회성관련 목적함수는 0.2356~0.2464이고, 기술성관련 목적함수는 0.2068~0.2206이며 경제성관련 목적함수는 0.2242~0.2612이다.

이러한 절충범위에 대한 지식을 의사결정자에게 제공하고 STEM기법을 적용한 결과 의사결정자는 컴퓨터와의 상호관계(man-machine interactions)를 4회 반복과정을 거쳐 최종해를 선택하였는데 매 과정별로 산출된 해와 해당 목적함수치는 <표 5>와 같다.

<표 5>에서 알 수 있듯이 초기해는 기술경제외적 사회성관련 지수값과 경제성관련 지수값은 절충범위내에서 가장 좋은 값을 산출한 반면, 기술성관련 지수값은 가장 나쁜 값을 산출하였다. 의사결정자는 정보통신산업이 국민생활경제와 정보화사회에 기여하는 공익적측면과 수익성제고와 같은 경제적 측면을 고려하여 기술경제외적 사회성과 경제성도 매우 중요하지만, 이에 못지않게 기술성 측면도 중요하다고 하였다. 특히 정보통신산업이 우리나라의 수출을 주도하고 있는 실정을 감안 이

<표 5> 산출해와 대응하는 목적함수치

| 회수 | 산출해  | 목적함수치                     |
|----|--|---------------------------|
|    | ( $X_{11}$ , $X_{12}$ , $X_{14}$ , $X_{11}$ , $X_{15}$ ) | ( $z_1$ , $z_2$ , $z_3$ ) |
| 1  | (0.0970, 0.3245, 0.0871, 0.3568, 0.1346)                 | (0.2464, 0.2068, 0.2612)  |
| 2  | (0.1171, 0.3245, 0.0871, 0.3367, 0.1346)                 | (0.2453, 0.2082, 0.2575)  |
| 3  | (0.1351, 0.3245, 0.0871, 0.3186, 0.1346)                 | (0.2443, 0.2094, 0.2541)  |
| 4  | (0.1543, 0.3245, 0.0871, 0.3024, 0.1346)                 | (0.2435, 0.2106, 0.2511)  |

분야의 수입대체기술의 개발을 위한 기술성의 확보는 지속적으로 이루어져야 한다고 하였다. 따라서 의사결정자는 매 반복과정마다 기술성 관련 지수값을 올리기 위하여 기술경제외적 사회성관련 지수값과 경제성관련 지수값을 어느정도 희생하고자 하였다. 4회 반복과정후 기술성관련 지수값이 어느정도 향상되자 의사결정자는 최종해를 선택하였는데, 최종해에 따르면 향후 3년간(1999~2001) 우리나라 정보통신 국책연구개발사업의 기술부문별 적정 R&D투자 배분비율을 전파·방송기술(32.45%), 정보처리기술(30.24%), 유선기술(15.13%), 반도체·부품기술(13.46%), 컴퓨터 H/W기술(8.71%)로 할 것을 제시하였다.

STEM기법을 통한 최종해 산출과정에서 기대한 바와 같이 의사결정자는 아무런 부담을 느끼지 않고 매우 쉽게 요구되는 정보를 제공할 수 있었다. 또한 산출된 해들이 초기해를 제외하고는 모두 비극해의 유효해(non-extreme efficient solutions) 들로서 극해에만 국한되지 않으면서 양질(good quality)의 유효해를 탐색하면서 최종해를 선택할 수있게 하는 것을 알 수 있다. 따라서 의사결정자는 매 과정의 반복이 진행 될수록 유효해집합(efficient set)에 대한 탐색이 가능하며 선택한 최종해에 대한 만족과 신뢰가 증가한다는 사실을 알 수 있었다.

## 4. 결 론

본 연구에서는 정보통신산업 R&D 투자계획수립을 위한 기술부문별 투자배분 결정과 관련하여 경제성만을 최적화하는 지금까지의 연구와는 달리 경제성 뿐만 아니라 기술성 및 기술경제외적 사회성등의 3가지 기준들을 동시에 고려하면서 가용자원의 제약 상황에서 최선의 대안을 선택할 수 있는 보다 현실 적용이 가능한 다목적선형계획모형을 개발하였다.

제시된 모형을 우리나라 국책 연구개발사업의 향후 3년(1999~2001)동안 기술부문별 적정 R&D

투자배분비율을 결정하는 문제에 적용하였는데, 모형적용과정에서 필요로 하는 기술경제외적 사회성, 기술성, 경제성의 각 기준에 대한 5대 기술부문 각각의 가중치 도출에 있어서 전문가들의 의견을 객관적으로 수렴하여 반영 할 수 있는 AHP를 이용하였다.

AHP를 이용하여 도출된 가중치들과 과거 3년(1996~1998)동안의 정보통신 국책 연구개발사업의 기술부문별 투자에 대한 통계자료를 가지고 모형에 적용하여 다목적선형계획문제를 구체화하였다. 해법과정에서는 대화형 해법의 대표적 기법인 STEM algorithm을 이용하여 의사결정자가 만족하는 최종해를 구하였는데, 최종해의 결과로는 정보통신 국책 연구개발사업의 향후 3년동안 기술부문별 R&D 투자배분비율을 전파·방송기술(32.45%), 정보처리기술(30.24%), 유선기술(15.13%), 반도체·부품기술(13.46%), 컴퓨터 H/W기술(8.71%)로 할 것을 제시하였다.

본 연구에서 개발된 다목적선형계획모형은 정보통신 국책 연구개발사업 뿐만 아니라 우리나라 전체 정보통신산업의 기술부문별 R&D 투자정책 방향을 수립하는데 의사결정을 지원 함으로서 투자배분에 있어서 효율성 제고를 통한 효과적인 투자정책 방향을 제시하는데 활용될 수 있을 것이다.

끝으로 본 논문에서는 모형적용에 있어서 정보통신 기술부문의 분류를 유선통신기술, 전파·방송기술, 컴퓨터기술, 정보처리기술, 반도체·부품기술등의 5대기술부문에 기본분류하였는데 추후 보다 정확하고 풍부한 통계자료와 함께 좀 더 세분화된 기술부문에 대한 투자배분 방안에 대한 적용도 연구되어 져야 할 필요가 있다.

## 참 고 문 헌

- [1] 백관호, 이규현, "LP 모형에 의한 한국 정보통신기술의 R&D투자규모 결정사례", 기술혁신연구, 제4권 제1호, pp.27-47, 1996. 10.
- [2] 백광천, 서의호, 서창교, 이영민, "R&D 투자

- 규모 결정 및 자원배분에 관한 연구”, 경영과학, 제10권 제1호, pp.81-105, 1993. 6.
- [3] 이영찬, 민재형, “불확실한 상황하에서의 다목적 R&D 투자계획수립에 관한 연구”, 한국경영과학회지, 제20권, 제2호, pp.39-60, 1995. 8.
- [4] 이동엽, “Interactive Face Search Procedure for Multiple Objective Linear Programming.” 경영과학, 제10권 제2호, pp.11-26, 1993.
- [5] 이동엽, “Interactive Weight Vector Space Reduction Procedure for Bicriterion Linear Programming.” 경영과학, 제13권 제2호, pp. 205-213, 1996.
- [6] 정호원, 강인배, “AHP를 이용한 전자경비 시스템의 평가에 관한 연구”, 경영과학, 제13권 제2호, pp.49-60, 1996.
- [7] 한국산업기술진흥협회, 국내외 정보통신 연구개발 현황조사, 1997.
- [8] 한국전자통신연구원, 97정보통신기기 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, pp.77-85, May 1998.
- [11] Aksoy, Y., “Interactive Multiple Objective Decision Making : A Bibliography(1965-1988).” *Management Research News*, 2, pp.1-8, 1990.
- [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, pp.366-375, 1971.
- [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, pp.95-104, 1986.
- [14] Evans, G. W., “An Overview of Techniques for Solving Multiobjective Mathematical Programs.” *Management Science*, 30, pp. 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, pp.103-116, 1993.
- [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, pp.77-105, Jan. 1996.
- [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, pp.283-295, 1997.
- [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, pp.353-372, 1998
- [19] Isermann, H., “The enumeration of the set of all efficient solutions for a linear multiple objective program,” *Operational Research Quarterly*, 28, pp.711-725, 1977.
- [20] Isermann, H., “The enumeration of all efficient solutions for a linear multiple-objective transportation problem.” *Naval Research Logistics Quarterly*, 26, pp.123-139, 1979.
- [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, pp.12-18, 1987.
- [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, pp.140-155, 1983.
- [24] Saaty, T.L., "How to make a decision the analytic hierarchy process," *European Journal of Operational Research*, Vol.48, pp. 9-26, 1990.
- [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, pp.430-468, 1975.