

■ 연구논문

비용추정이 불확실한 상황에서 AHP를 이용한 최적설비 선정방법

김성집

한양대학교 산업공학과

박홍석

인덕전문대학 공업경영과

An AHP Procedure for Selecting the Best Facility under Uncertain Cost Attributes

Seong-Jip Kim

Dept. of Industrial Engineering, Hanyang University

Hong-Seok Park

Dept. of Industrial Engineering, Induk Junior College

Abstract

The investment to advanced manufacturing techniques is essential to reinforcement of future competitiveness. To make a decision for selecting an appropriate manufacturing facility is very important; it is, however, rather difficult to get a precise evaluation through conventional cost analysis methods. The supreme decision-maker does not only take into consideration tangible cost attributes in decision-making; he also takes into account such intangible attributes as strategic ones. This study combines Analytic Hierarchy Process and Simulation in order to graph the variations of weighted indices of alternatives for effective decision making when cost attributes are uncertain. A numerical example is illustrated to explain the basic mechanics of the proposed decision procedure.

1. 서론

효율적인 생산기술 및 설비 관리는 경쟁력 강화를 위해서는 필요불가결한 것이다. 적절한 생산기술의 선택과 그것에 수반되는 설비의 체계적인 관리는 기업의 수익성과 사활에 아주 중요한 영향을 미치는 의사결정 문제이다. 체계적인 생산기술 및 설비 관리를 위해서 많은 연구들이 수리적인 모델에 근거해서 개발되었는데, 그러한 수리적인 접근법은 실제 적용성에 있어서 많은 문제가 있음이 지적되어왔다[Gustavsson, 1984]. 수리적 접근법들은 전략적인 이슈를 충분히 반영하기 힘들뿐만 아니라, 무형요소들(intangible factors)을 무리하게 정량화하는 경우가 많다[3, 7, 19, 22].

오늘날 생산기술이 더욱 복잡해지고 다양해짐에 따라서 설비 교체시 대안의 결정이 더욱 까다로워지고 있다. 현 설비와 유사한 생산기술을 사용하는 대안들을 비교할 때에 비해서 기술적으로 상당히 발전한 대안을 평가 및 선정할 때는 평가방법도 과거와는 달라야 한다[6, 7, 10, 12, 21]. 기존의 연구들은 새로운 기술의 도입시 포착하기 어려운 이익들을 평가하기 위한 방법으로 전통적인 재무계산 법칙하에서 정량화를 시도하였다. 이러한 연구에서는 유연성[2, 5, 8, 9, 11], 품질[15, 16, 18], 그리고 포착하기 어려운 요소중의 하나인 경제적 경쟁력가치의 측정[13, 14, 19, 22]을 위한 방법 개발에 초점을 맞추었다.

최근 컴퓨터가 발달됨에 따라서 다양한 의사결정법과 컴퓨터 기능을 이용한 평가방법들이 대두되고 있다. 이러한 방법들은 더 이상 무리하게 전략적 요소들이나 무형적 요소들을 정량화하는 것을 필요로하지 않는다. 설비투자 결정시 기업의 장기적인 생산전략과 사업목적을 위해서 생산설비 선택에 관련된 전략과 무형요소를 효과적으로 고려한 대안 선택 방법이 필요하다.

본 연구에서는 비용분석에 덧붙여 정량적으로 표현하기 어려운 요소들을 파악하고 이들을 계층분석과정 (Analytic Hierarchy Process: 이하 AHP라 칭함)을 이용하여 설비 교체 대안들을 평가하는 방법을 제시한다. 또한, 생산시 변동적인 여러가지 비용요소들에 대해서 불확실성을 허용하여서 보다 포괄적으로 제시된 대안선정 방법이 응용될 수 있도록 한다. 이 경우에는 AHP를 통해서 금전적인 요소와 무형의 요소를 조합하고 시뮬레이션을 이용해서 불확실한 비용추정치를 반영하여 설비교체 결정을 위한 근거를 제공한다.

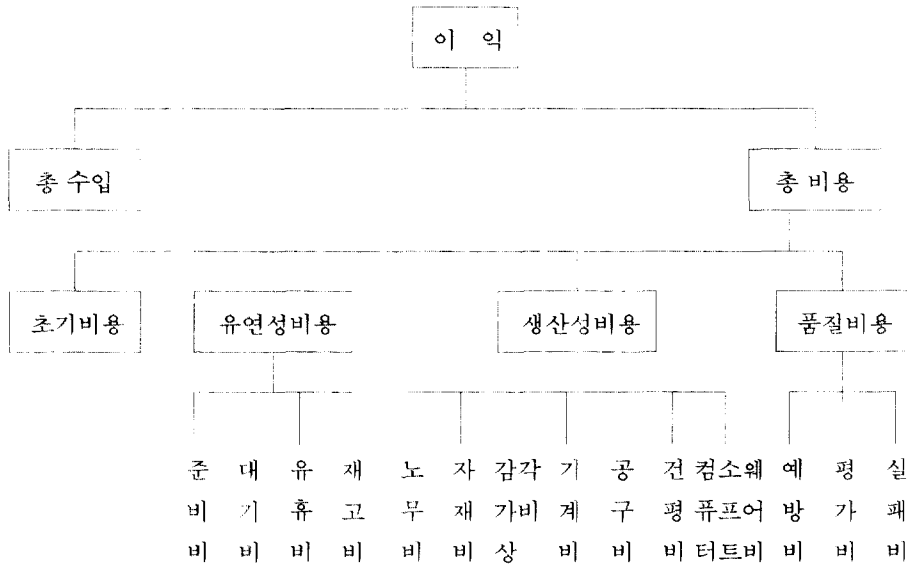
2. 설비 교체시 고려해야할 제 요소들

본 장에서는 설비교체시에 고려할 요소들을 크게 두가지로 분류한다. 즉, 금전적으로 환산이 가능한 비용요소들과 정량화하기 힘든 전략요소 및 무형요소들로 분류한다.

2.1 금전적으로 환산 가능한 비용 요소들

전통적인 회계방법에 의해서 비용요소들만 고려한 설비투자방법들은 설비의 평가기준이 다양해짐에 따라 실제 응용에 적합하지 못하다. 그렇지만, 대부분의 요소들이 금전으

로 환산될 수 있다면 여러가지 유리한 점이 있는 것도 사실이다. 정량화하기 어려운 요소들이더라도 가능한한 정량적 요소로 나타내고, 그렇지 못한 요소들만을 따로 분리하여 대안선택시에 반영해야 한다. 그래서 평가하기 어려운 요소들이지만 정량화가 가능한 유연성과 품질 관련 요소를 금전으로 환산시킨 연구가 많이 진행되었다[4, 14, 18, 20, 22]. 특히 Son & Park[13, 18] 이 제시한 수익-비용 분류법에 따르면 다음과 같이 비용요소들을 분류할 수 있다.



< 그림 1 > 신설비도입을 위한 비용요소

다음에서는 Son & Park[13, 18]이 제시한 비용요소와 기타 중요한 비용요소들을 간단히 정리하여 본다.

2.1.1 생산성에 관련된 비용요소들

노무비 : 노무비는 생산활동과 관련된 직접과 간접 노동비용으로 일용급, 월급, 그외의 간접비용 등이다. 일용급은 직접 노동에 대해 지불되는 돈이며 월급은 간접노동을 위해 지급되는 돈이다. 기타 부대비용은 직접과 간접 노동 둘다에 대한 편익으로써, 사회 복지비용, 의료와 안전보험 훈련비, 휴일, 휴가 그리고 질병에 관련된 비용이다.

자재비 : 자재비는 생산에 필요한 모든 자재를 구비하는데 사용되는 비용이다. 즉, 주문비, 구입비, 수송비 등과 직접재료비 뿐만 아니라 윤활유와 같은 간접재료비도 포함한다.

기계비 : 기계비는 에너지비용, 보수비용, 수리비용, 보험료, 생산설비 (선반, drilling

machine 등)에 대한 재산세 등이다. 전통적 생산시스템에서는 이 기계비용을 총 장비항목인 직접 노동시간에 할당하였다. 따라서 개별작업일 때는 기계시간에 대한 자료수집이 어렵고 사무비용이 추가된다. 그러나 공장자동화와 같은 새로운 기술환경하에서는, 기계비용의 추정이 아주쉽고 빠르게 이뤄질 수 있다. 즉 컴퓨터와 기계, CNC, DNC(direct numerical control), robots, AGVS(automated guided vehicle systems)의 연결로 이러한 추정이 가능해졌다.

공구비 : 공구비용은 현재의 절삭공구 비용으로 마모나 파손으로 인하여 교체된 절삭공구의 비용을 포함한다. 공구비용에는 공구변경비용을 포함시키지 않는데 그 이유는 공구가 수동으로 변경될 때는 노무비 부분에 포함되며 자동으로 교체될 때는 공구변경시간을 무시할 수 있기 때문이다. 과거의 회계시스템에서는 공구비용을 테일러의 방정식을 기초로 하여 확정적 조건하에서 공구수명을 계산하여 측정하였다. 그러나, 공구의 고장현상은 확률적 특성을 갖기 때문에 예상되는 공구 고장의 객관적 해석방법을 개발하는 것이 비교적 어렵다. 그래서 공구의 수명이 평균공구수명에 도달하기 전에 규칙적으로 공구를 바꾸고 유통 공구수명을 가정하는 방법이 널리 사용되고 있다[Elmaraphy, 1985].

건평비(Floor-space cost) : 건평비는 생산 건평과 관계된 재산세, 보험료, 수리비, 보수비, 에너지비용을 나타낸다. 이것은 기계공구들이 차지하는 공간을 말한다. 즉 자재 취급 장비와 컴퓨터, 재공품 재고, 공구와 지그, 팔레트, 휴게실, 탈의실, 카페테리아 같은 보조시설 등이다.

컴퓨터 소프트웨어비(Computer software cost) : 컴퓨터 소프트웨어 비용은 운영체제(OS), NC 머신비용, APTs(automatically programmed tools), DBMS(database management systems), MAP, MRP, OPT 등과 같은 컴퓨터 소프트웨어 유지비용이다.

감가상각비 : 감가상각비는 사용년수에 따른 가치감소를 회수하기 위한 생산장비와 설비의 비용이다. 다른 비용요소들과는 달리 계획기간 중의 감가상각 추정치는 회계법에 따라서 할 수 있다.

2.1.2 품질비용 요소들

품질비용 요소들은 검사와 시험, 재작업과 폐기, 품질보증, 제품 책임소송과 같은 활동에 관련된 비용들을 포함한다[박영택, 1993]. 거의 모든 부서들이 이런 활동과 어느 정도 관련이 있으며, 품질비용 발생에 이들 부서들이 원인을 제공한다. 일반적으로 제조기업들이 판매수입의 15~25% 정도를 낮은 품질수준 때문에 지불하고 있는 것으로 조사결과 나타났다[Oh and Park, 1993]. 따라서 제품의 품질 또한 기업의 수익목표에 중대한 영향을 미치므로, 이와 관련된 척도를 개발할 필요가 있다[8, 13, 15, 16].

예방비용 : 예방비용은 품질계획, 교육훈련, 신제품검사, 공정관리, 품질감사, 공급자 품질

평가등과 같은 예방활동과 관련된 비용이다.

평가비용 : 평가비용은 최종 검사 전에 공정 중의 품질 문제들을 점검하고 수정하므로써 불량품을 방지하기 위한 비용이다. 이와 관련된 비용은 수입검사,감사,확인,점검 및 최종 검사등과 관련된 비용이다.

실패비용 : 실패비용은 사내실패, 사외실패, 과잉속성, 기회상실등의 비용을 합하여 구한다. 사내실패비용은 고객에게 전달되기 이전의 재작업과 수리등과 관련된 비용이다. 사외실패비용은 고객에게 전달된 후의 수리, 교환, 환불등에 관련된 비용이다. 과잉속성비용은 고객으로부터 그 가치를 인정받지 못하는 제품이나 서비스의 특성 때문에 발생하는 비용이다. 기회상실비용은 고객이 경쟁업체로부터 구매함으로써 초래되는 수입상실로 인한 비용이다.

2.1.3 유연성비용 요소들

설비의 유연성을 설비 도입의 척도로 삼은 연구가 많이있다[2, 4, 9, 11, 22]. 본 연구에서는 유연성과 관련된 비용으로 준비비용, 대기시간비용, 유희비용, 재고비용등 크게 네가지로 나누어 비용을 추정한다.

준비비용 (Set-up cost) : 준비비용은 제품 생산을 위한 기계 준비비이다. 내적 준비비와 외적 준비비로 나눌 수 있다. 설비의 가동에는 영향을 미치지 않는 외적 준비비는 이미 노부비 항목과 기계비 항목에 포함되었으므로 여기서는 내적준비비(기계의 가동중지와 관련된) 만을 취급한다.

대기시간 비용 (Waiting cost) : 대기시간 비용은 생산공정 중에 서비스를 받기 위해 기다리는데 소요되는 비용, 즉 재공품 재고비용이다.

유희비용 : 유희비용은 설비의 이용률에 따라 발생하는 비용이다. 즉, 설비를 사용하지 않을 때 발생하는 총비용을 말한다.

재고비용 : 재고비용은 저장공간 이용비와 재고부족 및 유지비용의 합계로 나타낸다. 재공품 재고비용은 대기비용에서 이미 고려되었으므로 여기서는 원자재와 완제품에 관련된 비용만을 나타낸다.

2.2 전략적 및 무형 요소들

의사결정자는 최적의 대안 선정에 있어서 금전적으로 환산 가능한 요소들 뿐만 아니라 금전적으로 환산하기 어려운 요소들도 고려하여 설비의 도입 여부에 대한 결정을 한다. 우선 현 설비의 개선 가능성 여부를 검토한 후, 설비의 개선 범위를 결정할 것이다. 즉, 설비의 도입 규모를 단일설비로 제한할 것인지, 아니면 서로 연관된 복수설비로 할지를 검

도할 것이다. 이러한 검토하에 결정된 설비의 도입을 단기, 중기, 장기에 걸쳐서 할 것인지를 결정해야한다. 또한, 도입할 설비가 기업의 사업전략과 일치하는지의 여부도 함께 고려해야한다.

이와 같이 하나의 사업 계획을 위해서 설비의 도입시 고려해야 할 요소들이 무수히 많음을 알 수 있다. 의사결정시 고려되어야할 이러한 비금전적인 요소들, 즉, 전략적 및 무형 요소들을 정리하면 다음과 같다.

2.2.1 적합성(Suitability)

적합성은 도입할 설비가 기업의 사업목표와 일치하는지의 여부를 검토하기 위하여 사용될 수 있는 척도로 다음 사항들을 고려한다.

운영관리 측면 : 도입할 설비가 운영관리 측면에서 안정성이 있으며, 예측 가능한가, 그리고 관리상의 용이성 등을 고려한다.

투자의 한계성 : 설비 투자에 필요한 자본의 조달 능력이라든지, 투자의 포트폴리오는 어떻게 이루어지고 있는지의 여부를 생각한다.

기술성 : 도입할 설비가 장래의 기술적 변화에 대응할 수 있는 능력을 충분히 보유하고 있는지, 또 운용 가능한 노동력이 충분한지를 평가한다. 즉, 기술수준, 기술 가용성, 인사이동 등을 고려한다.

노사관계 : 근로자의 태도, 사기, 결근률, 태업, 프로젝트의 수용성, 배치이동효과, 작업자의 질, 사용가능 기술, 보상들을 고려한 설비의 적합성 여부를 검토한다.

2.2.2 설비능력(Capability)

설비능력은 설비가 목표하는 바를 잘 달성할 수 있는지 여부를 측정하는 척도로 설계능력, 설비의 기능, 가용성, 유용성 등을 고려한다.

설계(Design) : 제품생산의 효율성, 표준화, 조달기간, 특성들을 고려한 설비의 능력이다.

기능 : 설계의 변경이라든가 제품의 변경 등에 적응할 수 있는 기능을 설비가 지녔는가를 검토한다.

가용성 : 이론적인 학습곡선과 실질적인 학습곡선의 관계를 검토한다.

유연성 : 앞 절에서 금전적 요소들로 환산한 유연성 요소들 외에도 고려되어야 할 유연성 요소들이 많다. 즉 부품의 크기와 기하학적 형상, 배취크기와 제품 유형의 변화를 시스템이 처리할 수 있는가 등이 있다.

2.2.3 경쟁력 (Competitiveness)

경쟁력은 기업의 성장성, 시장지위, 기술적 위치 등을 고려하여 도입할 설비가 그들 요소에 미치는 영향을 측정한다.

성장성 : 설비의 도입으로 새로운 시장개척이 가능한지, 그리고 만드는 제품이 시장경쟁력을 가질 수 있는지의 여부로 성장성을 검토한다.

시장지위 : 가격 경쟁력이나, 민감성, 제품 혼합률, 고객의 요구를 탄력적으로 대응할 수 있는가, 또 시장 점유율과 침투력, 사업의 존속력, 취약성 등은 어떤지 검토한다.

기술적 위치 : 시스템의 현대화, 종합화, 혁신화 등에 타당한지의 여부를 검토한다.

3. 계층분석과정과 설비교체에의 응용

이 장에서는 AHP의 기본적인 개념을 설명하고, 그것을 설비교체를 하는데에 어떻게 비용요소들과 전략 및 무형요소를 통합하여 응용할 수 있는가를 설명한다.

3.1 계층분석과정

AHP는 계층구조를 구성하고 있는 요소들간의 쌍대비교(Pairwise Comparison)에 대한 평가자의 선호도를 토대로 평가자의 지식, 경험 및 직관을 포착하여 의사결정을 하는 새로운 의사결정 방법중의 하나이다. 이 방법은 이론의 단순성과 명확성, 그리고 적용의 수월성 때문에 여러 의사결정 분야에서 널리 응용되어 왔으며, 지금도 이에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다[3, 4, 7, 12]. 계층 분석 과정에 대한 보다 상세한 내용은 Canada and Sullivan[7]과 Saaty[17]를 참조하기 바란다. 보통 AHP의 분석과정은 5단계로 구성된다.

- 단계1. 결정요소의 계층구조를 이용해서 의사결정구조를 세운다.
- 단계2. 결정요소들의 쌍대비교에 의해 평가자의 선호도를 파악한다.
- 단계3. 최대 고유치(maximum eigenvalue vector)를 구하여 평가자 선호도의 일관성을 검토한다.
- 단계4. 쌍대비교 행렬의 고유벡터로써 결정요소들의 상대적 가중치를 계산한다.
- 단계5. 수리적 결과를 얻기 위하여 결정요소의 상대적 가중치를 통합하고, 이 가중치를 의사결정을 위한 판단의 근거로 삼는다.

위의 5단계를 따라서 분석을 한다면 일단 계층구조가 구성되면 각 계층에서 평가자의 쌍대비교에 대한 선호도를 얻은뒤 어떻게 상대가중치를 결정하느냐가 주요관심사가 된다. 다음에 그 부분을 설명해 본다. 평가자가 모든 요소들을 쌍대비교하여 그 결과를 다음과

같은 행렬로 구성하였다고 하자.

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

여기서 a_{ij} 는 요소 i 와 요소 j 에 대한 평가자의 상대적 중요도 or 선호도로서

$$a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}}, \forall i, j \text{ 그리고 } a_{ii} = 1, j=1, 2, \dots, n \text{이다.}$$

행렬 A 가 $a_{ik}/a_{ij} = a_{jk}, \forall i, j, k$ 이면 평가자의 선호도가 완전히 일관성을 갖는다고 한다. 일관성에 대한 한 예를 들면, 대안 1을 2보다 2배 낮다고 하고, 대안 1이 3보다 4배 낮다고 한다면, 대안 2가 3보다 2배 낮다고 말하면 평가자는 일관성이 있는 것이다.

AHP는 평가자로 하여금 완전한 일관성을 요구하지는 않지만, 대신에 주어진 행렬의 일관성 정도를 측정할 수 있는 방법을 제공한다. 일관성이 지나치게 적으면, AHP는 일관성을 개선시킬 것을 추천한다. 상대비교 가중치의 기준은 <표 1>에 나와있는 Saaty의 쌍대비교 척도에 따른다[17].

< 표 1 > 쌍대비교 척도

상대적 중요도의 척도	
척 도	정 의
1	같음
3	약간 중요
5	중요
7	매우 중요
9	절대 중요
2, 4, 6, 8	2개의 인접한 판단의 중간치

평가자는 상대 기준으로 선호도를 나타낼 때, 각 요소의 상대적 중요도를 규정지를 가중치의 벡터는 모른다고 가정한다. 이 경우에, 벡터로 표시되는 상대가중치, W 의 추정치는

$$A' \cdot W' = \lambda_{max} \cdot W' \quad (2)$$

이며, 여기서

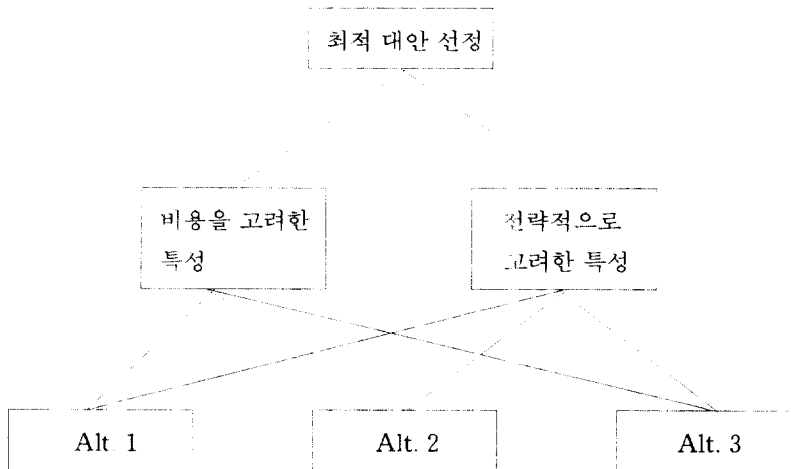
A' = 쌍대비교의 선호도 행렬.

λ_{\max} = A 의 최대 고유치(eigenvalue), 그리고

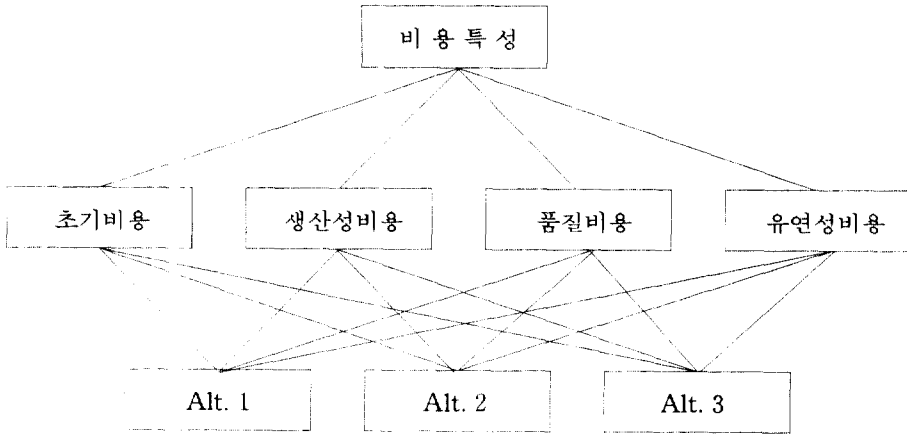
W' = W 의 추정치이다.

3.2 AHP의 설비교체에의 응용

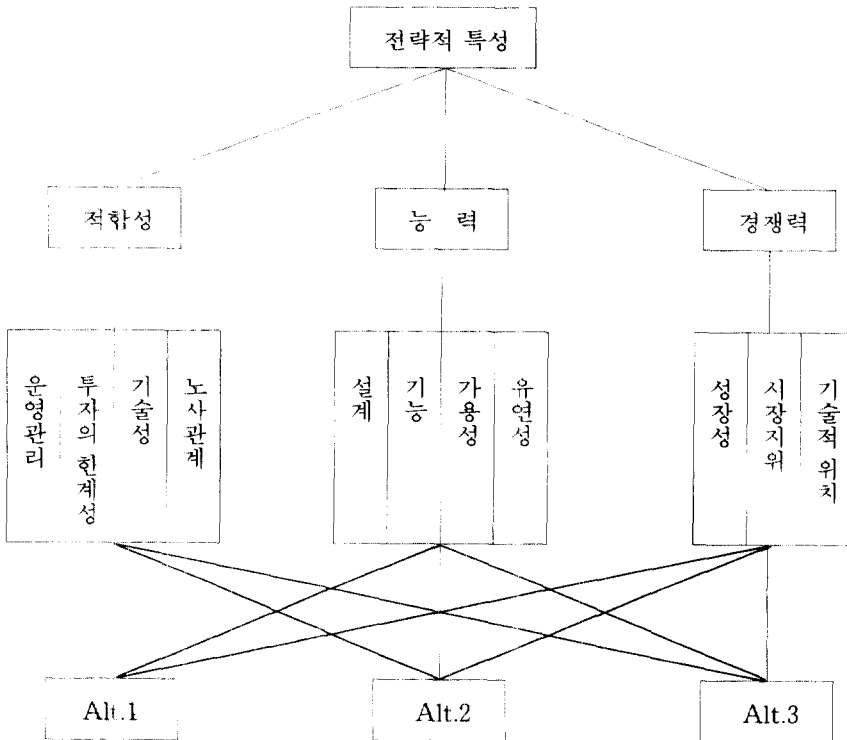
앞 절에서 설명한 비용요소들과 전략적 및 무형요소들을 의사결정의 판단근거로 삼기 위하여 계층구조를 구성한다. 그림 2~4는 본 연구가 설비교체 대안평가를 위해서 제시하는 3수준 계층구조이다. 첫번째 수준은 그림 2에 나타난 것과 같이 비용 특성과 전략 특성의 비교이다. 두번째 수준은 <그림 3>과 <그림 4>에 나타난 각 비용요소들과 전략 및 무형 요소들이다. 그 아래의 수준은 비교대상이 되는 상호 배타적 설비대안들의 집합이다. 전략적 특성에서는 사실 계층 수준 4까지 존재한다는 것을 주목해주시기 바란다. 그림 2~4를 총체적으로 조합한 구조가 있는 전체 계층구조가 형성되는 것이다.



<그림 2> 최적 대안선정을 위한 계층 구조



< 그림 3 > 비용 특성들의 하위 요소들에 대한 계층 구조



< 그림 4 > 전략적 특성의 계층 구조

이 그림의 각 결정요소들에 대한 평가자의 선호도 행렬은 한 단계 높은 수준에 있는 어떤 고정된 요소에 대하여, 그들의 상대적 중요성에 따라 같은 계층 수준에서의 요소들을 쌍대비교를 통해서 얻는다. 예를 들어서, 대체안들의 수준에서, “생산성 비용에 대하여, 설비1 보다 대체 설비를 얼마나 강력히 원하는가?”에 대한 평가자의 대답이 그의 선호도가 되는 것이다.

다만 여기에서 비용특성에 있는 요소들에 대해서는 각 대안에 대해서 비용으로 수치가 주어져서 대안비교가 평가자의 관여없이도 쌍대비교가 될 수 있다. 이 경우에 어떻게 상대가중치를 계산하는지를 아래에서 설명한다. 각 대안에 대한 비용 행렬 C 가 다음과 같이 주어졌다고 가정하자.

$$C = \begin{matrix} & \text{Alt. 1} & \text{Alt. 2} & \dots & \text{Alt. } n \\ \text{기준 1} & v_{11} & v_{12} & \dots & v_{1n} \\ \text{기준 2} & v_{21} & v_{22} & \dots & v_{2n} \\ & \vdots & \vdots & & \vdots \\ \text{기준 } n & v_{n1} & v_{n2} & \dots & v_{nn} \end{matrix} \quad (3)$$

이 식의 값을 다음과 같이 각 기준에 대한 상대비용 행렬 값 C' 로 전환하여 각 대안에 대한 가중치(X_i)를 구한다. 즉, C' 에 (2)식을 이용해서 구한 각 기준의 가중치(w_j)를 대안들의 상대비교 값과 곱한후 그 값들을 더하면 각 대안의 비용 요소에 대한 가중치가 나온다. 이를 수식으로 나타내면 다음과 같이 된다.

$$C' = \begin{matrix} & \text{기준 1} & \text{기준 2} & \dots & \text{기준 } n \\ & w_1 & w_2 & & w_n \\ \text{Alt. 1} & v_{11}/\Sigma v_{1j} & v_{12}/\Sigma v_{1j} & \dots & v_{1n}/\Sigma v_{1j} \\ \text{Alt. 2} & v_{21}/\Sigma v_{1j} & v_{22}/\Sigma v_{1j} & \dots & v_{2n}/\Sigma v_{1j} \\ & \vdots & \vdots & & \vdots \\ \text{Alt. } n & v_{n1}/\Sigma v_{1j} & v_{n2}/\Sigma v_{1j} & \dots & v_{nn}/\Sigma v_{1j} \end{matrix} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} X_1 &= w_1 v_{11}/\Sigma v_{1j} + w_2 v_{21}/\Sigma v_{1j} + \dots + w_n v_{n1}/\Sigma v_{1j} \\ X_2 &= w_1 v_{12}/\Sigma v_{1j} + w_2 v_{22}/\Sigma v_{1j} + \dots + w_n v_{n2}/\Sigma v_{1j} \\ &\vdots \\ X_i &= w_1 v_{1i}/\Sigma v_{1j} + w_2 v_{2i}/\Sigma v_{1j} + \dots + w_n v_{ni}/\Sigma v_{1j} \end{aligned} \quad (5)$$

여기서 X_i 는 대안 i 의 상대가중치가 된다.

계층구조의 각 수준에서 상대가중치가 구해지면, 이들 가중치의 통합처리는 계층구조의 각 요소들에 대해서 AHP를 적용하여 구한 가중치를 곱하고, 대안별로 구한 가중치에 최종의 요소가중치들을 곱한뒤 이들을 각 대안별로 더하여서 구한다. 각 대안별로 가중치가 나오면 가장 가중치가 큰 대안을 최적대안으로 선택한다. 이 과정은 계층구조만 주어져 있으면 AHP를 직접응용하여 대안선정이 가능하므로 이곳에서는 수치예제를 생략한다.

4. 불확실한 비용요소하에서의 의사결정 방법

여러가지 대체가능한 설비들의 모든 비용요소를 사전에 정확히 알고 있다고 가정하는 것은 무리가 있다. 몇몇 비용요소들은 예측에 의해서 판단될 뿐 아니라, 품질비용같은 것은 아무리 완벽한 측정시스템하에서도 정확한 산출은 불가능하다. 이러한 불확실한 비용요소들에 대해서 평가자로 하여금 어떤 구간의 값을 가지고 비용을 추정할 수 있게하여 준다면 훨씬 유연성이 있는 의사결정이 될 것이다. 이 장에서는 앞에서 제시한 계층분석과정을 어떻게 구간으로 추정된 비용이 존재하는 경우에 적용할 수 있는지를 논한다.

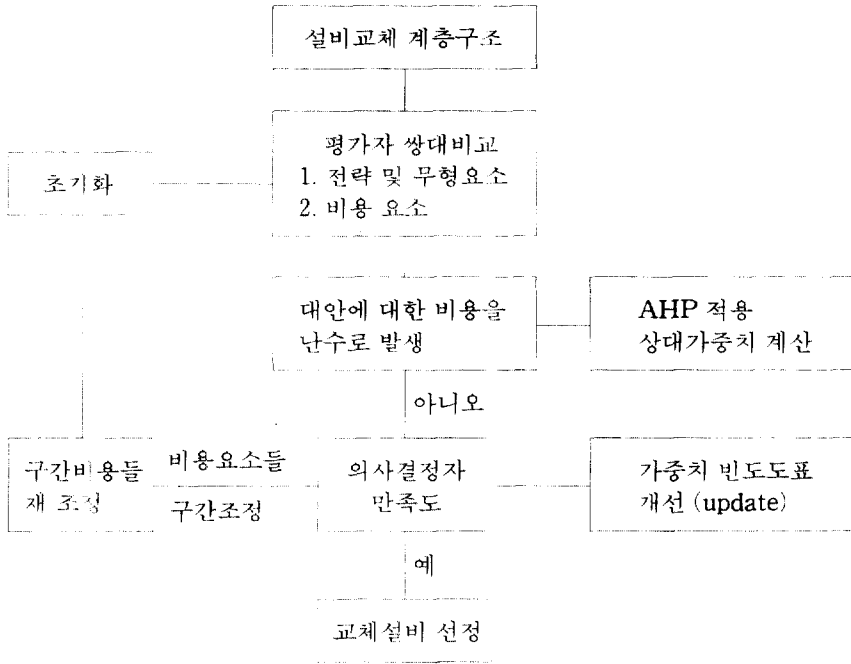
4.1 구간비용 추정과 구간 가중치 비교

미래에 발생할 비용들은 주변의 생산조건에 따라서 상당히 유동적이다. 여기에서는 이러한 유동적인 비용들을 고려하여 의사결정에 반영한다. 즉 모든 비용들에 대해서 하한(optimistic)값과 상한(pessimistic)값을 허용하고 실제비용은 이들 범위내에서 어떤 분포함수를 갖는 확률변수(random variable)로 본다. 예를 들어서, 그 구간내에서 완전히 불확실하면 일양 분포(uniform distribution)를 갖는다고 볼수 있으며, 중앙값에서 가장 가능성이 높으면 삼각 분포나 truncated된 정규분포로 볼 수 있겠다. 물론, 확실한 하나의 값이 주어지면 그 점에서 degenerate한 분포로 처리한다. 이러한 방법을 이용하면 어떠한 분포를 가정해도 상관없이 현실적으로 가장 가능성있는 것을 이용하면 된다.

본 연구에서는 각 비용구간내에서 가정된 분포에 따라서 난수를 발생시켜 AHP를 적용한다. 이 경우 난수의 값에 따라 상대가중치가 변할 수 있으며, 최종 통합 가중치가 이러한 시행을 반복함으로써 해서 다양한 값을 가질 수 있으므로 각 대안에 대한 빈도분포 형태로 주어지게된다. 평가자는 각 대안들에 대한 빈도분포를 비교하여서 최적 교체설비를 선정할 수 있는 것이다. 어떤 대안설비가 압도적으로 우세한 가중치 빈도분포를 갖는다면 당연히 그 대안이 최적 대안으로 선정되겠지만, 비교 대안끼리 가중치 구간들이 중복이 되는 경우에는 판단을 유보하고 비용요소들의 구간을 재조정하는 것이 바람직하다. 이러한 일련의 의사결정과정을 (그림 5)에 단계적으로 나타내었다.

4.2 수치 예제

여기에서는 다음과 같은 상황에서 설비교체를 고려한다고 가정하고, 위에서 제시된 의사결정법을 적용하여 수치예를 든다. 이 예제의 의도는 불확정적인 비용발생이 설비교체



< 그림 5 > 불확실한 비용하에서의 설비교체 대안 선정방법

의 상대가중치에 미치는 영향을 그래프로써 보여주고자 하는 것이다.

어떤 가상의 제조회사를 모델로 한 설비와 2개의 도전 설비에 대한 평가를 고려한다고 하자. 현 설비에 의한 작업은 완전수동이며, 도전안은 반자동설비와 완전자동설비이다 이들 각 대안들에 대한 최선의 비용발생 행렬 (optimistic matrix)와 최악의 비용발생 행렬 (pessimistic matrix)들은 표 2~4에 나타난 것과 같고, 각 구간내에서 실제비용은 일양분포 (uniform distribution)를 갖는다고 가정하자. 물론 각 세부적인 비용요소들이 주어져서 이들의 값이 계산되는 것이 더 현실적이지만 예제를 가능한한 단순화시키기 위해서 이들의 비용들이 직접 구간으로 주어진다고 가정하자. 또한, 각 년도들에 따른 현가계산도 이자율을 이용해야겠지만 이곳에서는 단순한 합의 값을 이용한다. 각 비용은 임의의 값이니 만큼 이러한 가정이 제시된 의사결정법을 예시하는데에는 큰 상관이 없다.

< 표 2 > 현설비의 현금 흐름 (註: (-)는 최선의 비용 흐름, (+)최악의 비용흐름)

년 도	0	1	2	3	4
초기투자	520,000				
생산성비용	66,000 ± 6,000	68,000 ± 6,500	70,000 ± 7,000	72,000 ± 7,000	74,000 ± 7,400
유연성비용	48,000 ± 4,000	48,000 ± 4,000	48,000 ± 4,000	48,000 ± 4,000	48,000 ± 4,000
품질비용	100,000 ± 10,000	100,000 ± 10,000	100,000 ± 10,000	100,000 ± 10,000	100,000 ± 10,000

〈 표 3 〉 반자동 설비의 현금 흐름(註 : (-)는 최선의 비용흐름, (+)는 최악의 비용흐름)

년 도	0	1	2	3	4
초기투자	1,248,000				
생산성비용	50,000 ± 5,000	52,000 ± 5,000	54,000 ± 5,000	56,000 ± 5,000	58,000 ± 6,000
유연성비용	32,000 ± 3,000	32,000 ± 3,000	32,000 ± 3,000	35,000 ± 3,000	35,000 ± 3,000
품질비용	70,000 ± 5,000	70,000 ± 5,000	70,000 ± 5,000	78,000 ± 6,000	78,000 ± 6,000

〈 표 4 〉 자동설비의 현금흐름(註 : (-)는 최선의 비용흐름, (+)는 최악의 비용흐름)

년 도	0	1	2	3	4
초기투자	2,400,000				
생산성비용	42,000 ± 4,000	43,000 ± 4,000	45,000 ± 4,000	47,000 ± 4,000	49,000 ± 5,000
유연성비용	25,000 ± 2,000	2,5000 ± 2,000	25,000 ± 2,000	28,000 ± 3,000	28,000 ± 3,000
품질비용	20,000 ± 3,000	20,000 ± 3,000	20,000 ± 3,000	30,000 ± 3,000	32,000 ± 3,000

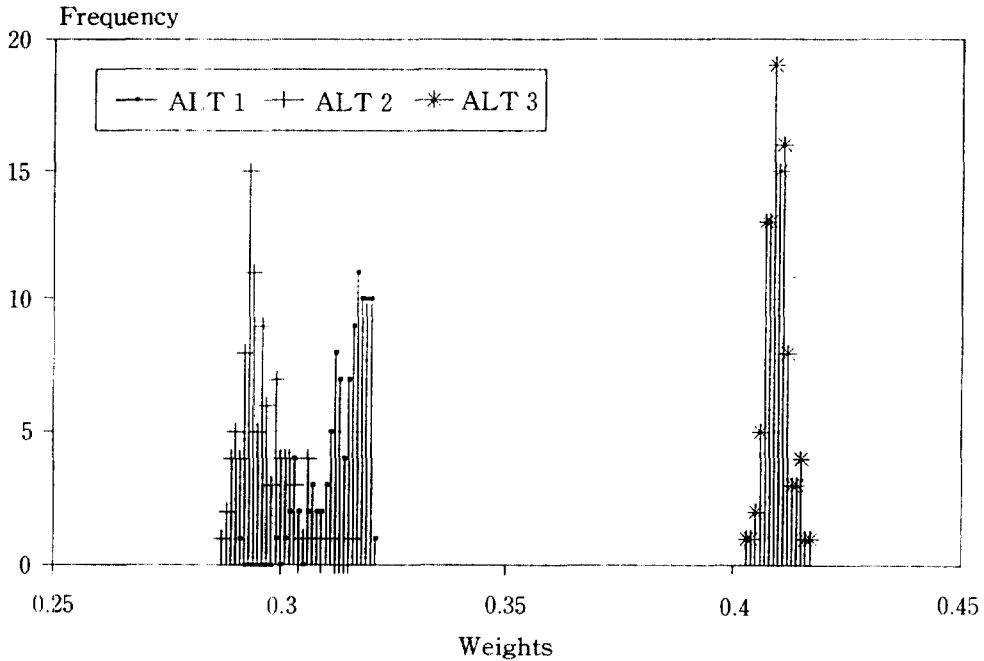
각 비용요소들에 대한 평가자의 쌍대비교 선호도는 〈표 5〉에 나타난 것과 같다고 하자 이 예제에서는 생산설비의 자동화와 기술의 진보로 비용발생요소들 중, 생산성관련제비용 요소들은 점점 안정적인 추세를 보이는 반면에, 소비자의 다양한 욕구로 인한 제품의 다양성이라든가, 품질의 하자로 인한 비용 발생등은 그 규모가 크고 상당히 유동적이어서 그 중요성을 강조한 경우라고 볼 수있다. 즉, 품질비용의 변동폭을 크게 표현하였다.

〈 표 5 〉 비용요소의 각 기준에 대한 쌍대비교 행렬

$$C = \begin{matrix} & C_1 & C_2 & C_3 & C_4 \\ \begin{matrix} C_1 \\ C_2 \\ C_3 \\ C_4 \end{matrix} & \begin{vmatrix} 1 & 1/3 & 1/5 & 1/5 \\ 3 & 1 & 1/2 & 1/2 \\ 5 & 2 & 1 & 1 \\ 5 & 2 & 1 & 1 \end{vmatrix} \end{matrix}$$

비용요소들 외에 전략 및 무형요소들에 대한 평가자의 쌍대비교 선호도 행렬은 부록에 포함되어있다.

위의 예제에 대해서 비용을 난수로 발생시킨후 AHP를 적용하여 설비에 대한 상대가중치를 계산하는 시뮬레이션 실험을 120번 시행하였다. 〈그림 6〉은 120번 시행후 나타나는 가중치의 빈도분포이다. 이 경우는 설비 3이 다른 대안보다 월등히 좋다는 것이 분명하다 (즉, 가중치 구간이 겹치지 않는다). 따라서, 평가자는 이 단계에서는 설비 3을 최적설비로 선정할 수 있겠다.



〈 그림 6 〉 120번 시뮬레이션한 후의 가중치의 빈도분포

평가자는 가중치의 빈도분포에서 대안들의 우열이 뚜렷이 가려지면 어느 시점에서나 멈출 수 있다. 만일 여러번의 반복시험 후에도 가중치의 구간이 크게 중복되는 등 우열을 가리기가 힘들면 비용구간을 조정하는 것이 바람직하다.

5. 결론 및 추후 연구과제

본 연구에서는 비용분석에 덧붙여 정량적으로 표현하기 어려운 요소들을 파악하고 이들을 AHP를 이용하여 설비교체 대안들을 평가하는 방법을 제시했다. 또한, 생산시 변동적인 비용요소들에 대해서 불확실성을 구간으로 표시할 수 있도록하여 포괄적인 대안 선정을 시도하였다. 이 방법에서는 AHP를 통해서 금전적인 요소와 무형의 요소를 조합하고 시뮬레이션을 이용해서 불확실한 비용추정치에 반영하여 설비교체 결정을 위한 근거를 제공했고, 수치예를 들어서 응용가능성을 설명했다.

본 연구에서는 비용요소와 전략요소에 대한 가중치를 일정하다고 가정하고 분석하였으나, 이들의 가중치가 다양하게 변할때 각 대안의 가중치의 빈도분포에 미치는 영향을 살펴보는 것이 필요하다. 또한, 빈도분포가 모호하게 겹치는 경우 어떻게 최적대안을 선정할 것인지도 연구할 가치가 있다고 본다.

참고문헌

- [1] 박영택(1993), “품질경영의 기본사상,” 「품질경영연구」, 1권 1호, pp. 195-209.
- [2] 편영식(1994), “A Method for Quantifying Flexibility Values of Automated Manufacturing Systems,” 한국 과학 기술원 박사 학위 논문.
- [3] Azhar, T. M. and Leung, L. C. (1993), “A Multi-Attribute Product Life-Cycle Approach to Replacement Decisions; An Application of Saaty’s System-with-Feedback Method,” *The ENG. ECON.*, Vol. 38, No. 4, pp. 321-344.
- [4] Boucher, T. O. and Macstravic, E. L. (1991), “Multiattribute Evaluation within a Present Value Framework and its Relation to the Analytic Hierachy Process,” *The ENG. ECON.*, Vol. 37, No. 1, pp. 1-32.
- [5] Brill P. H. and Mandelbraum, M. (1989), “On Measures of Flexibility in Manufacturing Systems,” *INT. J. PROD. RES.*, Vol. 27, No. 5, pp. 747-756.
- [6] Canada, J. R. (1986), Annotated Bibliography on Justification of Computer-integrated Manufacturing Systems,” *The ENG. ECON.*, Vol. 31, No. 2, pp. 137-150.
- [7] Canada, J. R. and Sullivan, W. G. (1989), *Economic and Multiattribute Evaluation of Advanced Manufacturing System*, Prentice-Hall.
- [8] Chen, F. F. and Adam, E. E. Jr. (1991), “THE Impact of Flexible Manufacturing Systems on Productivity and Quality,” *IEEE. TRANS. on EM*, Vol. 38, No. 1, pp. 33-45.
- [9] Elmaraphy, H. A. (1985), “Automated Tool Management in Flexible Manufacturing,” *J. MFG. SYS.*, Vol. 4, No. 1, pp. 1-13.
- [10] Falkner, C. H. and Benhajla, S. (1990), “Multiattribute Decision Models in the Justification of CIM Systems,” *The ENG. ECON.*, Vol. 35, No. 2, pp. 91-114.
- [11] Gustavsson, S. D. (1984), “Flexibility and Productivity in Complex Production Processes,” *INT. J. PROD. RES.*, Vol. 22, No. 5, pp. 801-808.
- [12] Meredith. J. R. and Suresh, N. C. (1986), “Justification Techniques for Advanced Manufacturing Technologies,” *INT. J. PROD. RES.*, Vol. 24, No. 5, pp. 1043-1056.
- [13] Oh, C. J. and Park, C. S. (1993), “An Economic Evaluation Model for Product Design Decisions under Concurrent Engineering,” *The ENG. ECON.*, Vol. 38, No. 4, pp. 275-297.
- [14] Park, C. S. and Son, Y. K. (1988), “An Economic Evaluation Model for Advanced Manufacturing System,” *The ENG. ECON.*, Vol. 34, No. 1, pp. 1-26.
- [15] Plunkett, J. J. and Dale, B. G. (1988), “Quality Cost: a Critique of Some ‘economic cost of quality’ Model,” *INT. J. PROD. RES.*, Vol. 26, No. 11, pp. 1713-1726.

- [16] Porter, L. J. and Rayner, P. (1992), "Quality Costing for Total Quality Management," *INT. J. PROD. ECONO.*, Vol. 27, pp. 69-81.
- [17] Saaty, T. L. (1980), *The Analytic Hierarchy Process*, McGraw-Hill, New-York.
- [18] Son, Y. K. (1991), "A Cost Estimation Model for Advanced Manufacturing Systems," *INT. J. PROD. RES.*, Vol. 29, No. 3, pp. 441-452.
- [19] Son, Y. K. (1991), "A Decision Support System for Factory Automation; A Case Study," *INT. J. PROD. RES.*, Vol. 29, No. 7, pp. 1461-1473.
- [20] Son, Y. K. (1991), "A Framework for Mordern Manufacturing Economics," *INT. J. PROD. RES.*, Vol. 29, No. 12, pp. 2483-2499.
- [21] Sullivan, W. G. (1986), "Models IE's Can Use to Include Strategic, Non-Monetary Factors in Automation Decisions," *I. E., Mar.*, pp. 42-50.
- [22] Suresh, N. C. (1991), "An Extended Multi-Objective Replacement Model for Flexible Automation Investments," *INT. J. PROD. RES.*, Vol. 29, No. 9, pp. 1823-1844.

부 록

〈 표 5 〉 전략적 특성들에 대한 쌍대비교

STA	SUIT	CAP	COM	SUIT	OM	IM	T	L
SUIT	1	2	4	MO	1	2	5	5
CAP	1/2	1	2	IM	1/2	1	3	3
COM	1/4	1/2	1	T	1/5	1/3	1	1
				L	1/5	1/3	1	1

A. 전략적 특성

B. 적합성 특성

CAP	D	F	C	FX
D	1	1	4	6
F	1	1	4	6
C	1/4	1/4	1	2
FX	1/6	1/6	1/2	1

C. 능력 특성에 대한 쌍대 비교

COM	G	MP	TP
G	1	4	7
MP	1/4	1	2
TP	1/7	1/2	1

D. 경쟁력 특성에 대한 쌍대 비교

〈 표 6 〉 적합성 특성들에 대한 쌍대비교

OM	ALT. 1	ALT. 2	ALT. 3	IM	ALT. 1	ALT. 2	ALT. 3
ALT. 1	1	2	5	ALT. 1	1	1/2	1/6
ALT. 2	1/2	1	3	ALT. 2	2	1	1/3
ALT. 3	1/5	1/3	1	ALT. 3	6	3	1

E. 운영관리에 대한 각 대안들의 쌍대비교

F. 투자의 한계성에 대한 각 대안들의 쌍대비교

T	ALT. 1	ALT. 2	ALT. 3	L	ALT. 1	ALT. 2	ALT. 3
ALT. 1	1	3	7	ALT. 1	1	5	6
ALT. 2	1/3	1	3	ALT. 2	1/5	1	1
ALT. 3	1/7	1/3	1	ALT. 3	1/6	1	1

G. 기술성에 대한 각 대안들의 쌍대비교

H. 노사관계에 대한 각 대안들의 쌍대비교

< 표 7 > 능력 특성들에 대한 쌍대비교

0	ALT. 1	ALT. 2	ALT. 3	F	ALT. 1	ALT. 2	ALT. 3
ALT. 1	1	1/2	1/6	ALT. 1	1	1/3	1/7
ALT. 2	2	1	1/3	ALT. 2	3	1	1/2
ALT. 3	6	3	1	ALT. 3	7	2	1

I. 설계에 대한 각 대안들의 쌍대비교

J. 기능 특성에 대한 각 대안들의 쌍대비교

C	ALT. 1	ALT. 2	ALT. 3	FX	ALT. 1	ALT. 2	ALT. 3
ALT. 1	1	3	5	ALT. 1	1	1/5	1/9
ALT. 2	1/3	1	2	ALT. 2	5	1	1/2
ALT. 3	1/5	1/2	1	ALT. 3	9	2	1

K. 가용성에 대한 각 대안들의 쌍대비교

L. 유연성에 대한 각 대안들의 쌍대비교

< 표 8 > 경쟁력 특성들에 대한 쌍대비교

G	ALT. 1	ALT. 2	ALT. 3	MP	ALT. 1	ALT. 2	ALT. 3
ALT. 1	1	1/6	1/9	ALT. 1	1	1/5	1/7
ALT. 2	6	1	1/2	ALT. 2	5	1	1/2
ALT. 3	9	2	1	ALT. 3	7	2	1

M. 성장성에 대한 각 대안들의 쌍대비교

N. 시장위치에 대한 각 대안들의 쌍대비교

TP	ALT. 1	ALT. 2	ALT. 3
ALT. 1	1	1/5	1/8
ALT. 2	5	1	1/1.5
ALT. 3	8	1.5	1

O. 기술적 지위에 대한 각 대안들의 쌍대비교