

생산시스템의 설치에 따른 비용분석 및 경제성평가

Cost Analysis and Economic Evaluation for Manufacturing System Installation

최형호*

Choi, Hyung-Ho

ABSTRACT

The paper examines the cost analysis and economic evaluation for manufacturing system installation in a metal industry. The evaluation procedure is consist of four steps. 1) Attribute determination of manufacturing system 2) Cost Estimating 3) Alternative and Model determination of manufacturing system 4) Economic Analysis. The impact of manufacturing system installations on employment displacement and strategic benefit is discussed and suggested to make a coherent determination of company's objective.

1. 서론

기업의 생산시스템의 설치는 기업내 경영상황의 개선, 제품의 품질향상 및 가치의 부가, 가격의 저렴화, 시장의 개척, 경쟁력 강화를 가능케 해준다. 신기술의 개발도입은 신공정기술을 요구하게 되며 추가된 투자에 의한 수입으로 타당성을 평가받게 된다. 제품을 제조하는데에 신기술의 사용은 시장의 변화에 대한 기업의 대응능력을 결정지어 주며 생산공정에서의 신기술의 사용은 기업의 유연성을 높여주며, 공정의 유연성증가는 제품에 대한 적응력을 향상시켜 준다.

소비자의 요구는 보다 다양화, 고급화되고 있으며, 기업은 생산성 향상을 통한 원가절감 및 품질향상 뿐만 아니라 소비자의 다양한 요구에 대한 신속한 대응과 제품 개발기간 단축을 통한 기업간 시장선점 경쟁에서의 우위유지 등이 절대적으로 요구되고 있다. 이를 위해 기업에서는 제품 설계공정에 CAD 시스템을 도입하고, 제품 생산공정에서 CAPP시스템, CAM시스템 등을 활용하여 각 부문별 자동화를 통한 제품설계 및 생산공정의 생산성 향상에 주력해 왔다. 이러한 노력은 많은 효과를 거두어 기업의 모든 정보를 생산시스템과 효율적으로 통합함으로써 기업의 전 생산시스템의 유기적인 효율성을 추구하는 컴퓨터 통합생산(CIM)시스템으로 발전하고 있다.

*한양대학교 산업공학과

생산시스템의 설치에 따른 비용분석 및 경제성평가에 관한 연구로서, Klahorst[6]는 여러 시스템으로 이루어진 첨단생산시스템의 효율성을 측정하는 것이 상당히 어렵고, 측정할 수 있는 비용절감의 효과만을 고려할 수 있음을 강조하였고, Blank[3]는 순현재가치방법(Net Present Value), 내부수익율(Internal Rate of Return)등의 할인현금흐름 (Discounted Cash Flow)모델을 사용하여 생산 시스템을 평가하는 경우의 일반적인 고려사항을 제시하였다. Primrose와 Leonard[15]는 컴퓨터 프로그램으로 첨단생산시스템의 재무적이고 경제적인 사항을 결정하는 새로운 평가기법을 소개하였다.

최근에는 많은 구성요소가 복잡하게 상호연결된 생산시스템을 효율적으로 분석하기 위해 전문가시스템(Expert System)을 도입한 경제성 평가를 시도하고 있는 데, Fisher와 Noff[5]는 생산시스템내에서 이루어지는 현금흐름의 추정에 도움이 되는 전문가 시스템을 개발하였고, Meyer[9]는 전문가시스템을 이용한 자본투자평가에 관한 내용을 언급하였다.

Son과 Park[17]은 생산시스템평가의 주요사항인 생산성, 유연성, 품질에 대한 부분적인 평가척도에 근거하여 전체시스템의 평가척도를 제시하고, 전통적인 원가회계방법을 사용할 때 첨단생산시스템의 실제적인 이익을 발견하지 못하는 경우의 결점을 보완한 다단계(Multi-Stage) 투자결정모델을 제시한 후 제안된 모델에서 생산성, 유연성, 품질의 경제적 평가척도를 결합한 수리모형(LP)을 개발하였다[18].

Azzone과 Bertele[2]는 생산의 자동화에 따른 경제성평가를 위해 여러 논문의 모델을 분석하여 새로운 접근방법을 제시하였는 데, 이 논문은 생산시스템의 유연성에 따른 경제적인 영향을 평가하기 위해 Primrose와 Leonard[16]의 논문과 Suresh와 Meredith[19]의 논문에 기초를 두고 있다.

이 논문에서는 생산시스템의 설치와 관련된 여러가지 비용요소와 수익요소를 분류 및 분석한 후, 이 자료를 바탕으로 경제성 분석기법들을 사용하여 생산시스템의 경제적인 이점을 결정하고 평가한다.

2. 본론

2.1 생산시스템

첨단 생산 시스템은 통합수준에 의해 연속적인 개념상의 전개로 고려해보면 독립적인 환경의 기계로부터 컴퓨터통합 생산시스템(CIM)까지를 그림 1과 같이 나타낼 수 있다[10]. 로봇과 수치제어(NC)기계는 독립환경에 속하며, 생산시스템내의 자재처리기계등과 통합되어 사용된다. 이러한 기계들의 도입은 기존의 설비를 대체하기 위한 것이다. 독립환경의 시스템은 GT, FMS, AS/RS등과 같은 시스템과 결합되어 상호연결 환경을 이루는데, 이 단계는 중간정도의 통합수준을 이룬다. 통합 환경은 생산시스템의 설계, 계획, 자재처리, 생산 그리고 지원시스템(주문처리, 원가관리, 구매 등)들이 컴퓨터로 서로 결합되어 공장 전체가 완전히 통합된 컴퓨터통합 생산시스템(CIM)이 된다.

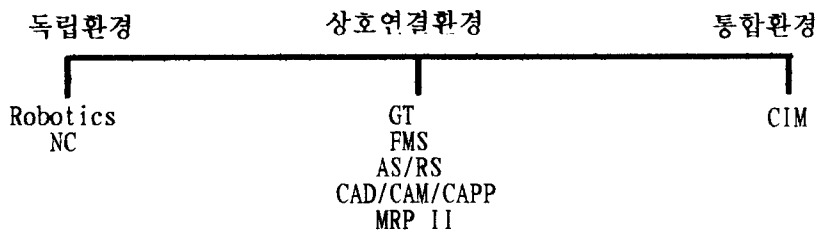


그림 1. 생산시스템의 분류

최근에는 컴퓨터통합 생산시스템(CIM)을 거쳐 다음 단계로 각 생산시스템이 가질 수 있는 시스템의 속성, 즉 유연성(Flexibility), 통합성(Integration), 그리고 지능성(Intelligence)의 동시적인 통합을 통해 지능생산시스템(Intelligent Manufacturing Systems)으로 발전하고 있다[11]. 자기진단 및 지능을 갖춘 개방형 통합생산시스템인 지능 생산시스템은 인공지능을 모든 부문에서 이용하고 있는 데, 인공지능의 발달은 생산시스템에 큰 영향을 주었고, 첨단생산시스템의 모든 부문들은 인공지능의 영향을 받는다. 연구자와 기술자들은 가공과 조립생산에 적용하기 위한 지능 생산시스템에 관한 연구를 계속하고 있다.

이러한 적용분야는 생산시스템의 설계와 관리에 주력하고 있으며, 지능 생산시스템은 로봇, 컴퓨터, 비전시스템, 음성시스템등의 4개의 주요요소로 구분할 수 있다[7,8].

일반적으로 생산시스템의 기능은 크게 계획(Planning), 설계(Design), 통제(Control)로 나눌 수 있는데, 위에서 언급한 특징적인 생산시스템의 속성에 따라 각 단계에서 성취되어야 할 목표를 분류해보면 표 1과 같다.

표 1. 생산시스템의 속성, 기능, 목표

생산시스템의 속성	기능에 따른 생산시스템의 목표		
	계획	설계	목표
유연성	Strategic Policies	FMS Cells & Tooling	Robotics & AGVs
통합성	Quick-Turn-Around	CAD/CAM/CAPP	Compatible Architecture
지능성	Computational Modeling	Knowledge Based Design	Sensing & Expert Systems

2.2 경제성평가

전통적으로 사용되는 기업의 자본투자에 대해 사용되는 타당성 평가방법은 개별적인 투자가 생산성 향상에 어느 정도 기여하는가를 파악하는 것이 주된 내용이다. 그러나 제조형태가 노동집약형에서 자본 집약형태로 전환되면서 전반적으로 생산성이 비례해서 증가하지 않고 기업내의 비용측면에서 기여하였다. 대규모적인 자본투자는 제품의 생산가격을 고정시키면서 시장을 공략할 수 있는 대기업에서 가능한 것으로 생산가격의 고정은 대기업이 단기에측을 하는데 도움을 주며, 장기적으로는 고가의 기술을 도입하게 해주었다. 따라서 대기업은 총체적인 비용의 감소와 이익의 극대화와 함께 안정적인 시장확보와 노동력 및 공급자의 관리에 주요목표를 두었다.

투자를 분석하고 투자 대안들을 비교하기 위한 기법으로는 총투자액이 완전히 회수될 때까지의 기간을 측정함으로써 대안을 비교하는 방법인 기간회수법(Payback Period Method: PPM)과 미래의 모든 비용의 현재가치와 미래의 모든 수입의 현재가치를 같게 만드는 이율로서 추정된 비용과 수익을 기초로 하여 제안된 프로젝트의 회수율을 결정하는 투자회수율법(Return On Investment: ROI)로 평가한다. 그러나 이러한 평가방법은 새로운 기술의 경우나 시도되지 않았던 기술의 경우는 그 정확성이 떨어지게 된다. 투자회수율과 같은 전통적인 투자경제성 평가방법은 근본적으로 지엽적이고 단기적인 회수방법에 의존하는 것으로 직접 노무비와 같은 "단위비용의 절감"이라는 값을 사용하고 있다. 이는 투자의 효과를 설비에 대한 가시적인 효과에만 한정시켰을 뿐 아니라 투자에 대한 수익성의 평가도 투자와 관련된 경영진이나 전문가에 의해 단지 금전적인 측면에서 이루어졌다.

과거의 생산성문제는 제품생산에 관련된 수작업의 기계화 또는 노후설비의 대체에 관한 기술에 국한되어 다루어졌다. 이러한 기계화의 추진은 제품의 생산성과 품질의 향상을 가져와 단기적으로 생산성을 증진시키는데 기여한 바가 크다. 그러나 장기적인 측면에서 기술투자는 생산성을 지속적으로 향상시키는데 한계가 있다. 왜냐하면 기업의 비용구조를 분석해보면 생산과 관련된 직접비용보다 경영, 판매, 유통, 계획, 기술, 관리, 서비스등과 같은 일반경비가 훨씬 높기 때문이다. 좀더 상세히 설명하면, 총생산비의 60%이상을 점유하는 일반경비에 비해 불과 15%를 점유하는 생산성부분에 공장의 많은 관심을 쏟는 커다란 원인은 일반경비와 관련된 내용은 기계화 또는 기술사항처럼 쉽게 처리되기 어렵기 때문이다.

위에서 살펴 본 그림 1의 생산시스템에 관한 올바른 경제성 평가를 위한 접근방법은 단일 자동화설비 평가에 이용하는 경제적 접근방법(Economical Approach)과 여러 자동화 설비로 이루어진 시스템 평가에 이용하는 분석적 접근방법(Analytic Approach) 그리고 통합된 시스템 평가에 이용하는 전략적 접근방법(Strategic Approach)으로 구분할 수 있다[10].

경제성 평가연구의 발전에 따라 첨단자동화 설비를 위한 세련된 재무적이고 경제적인 평가방법이 개발되고 소개되었는데, 현재 대표적으로 쓰이는 기법들을 4개의 그룹으로 분류해보면 그림 2와 같다

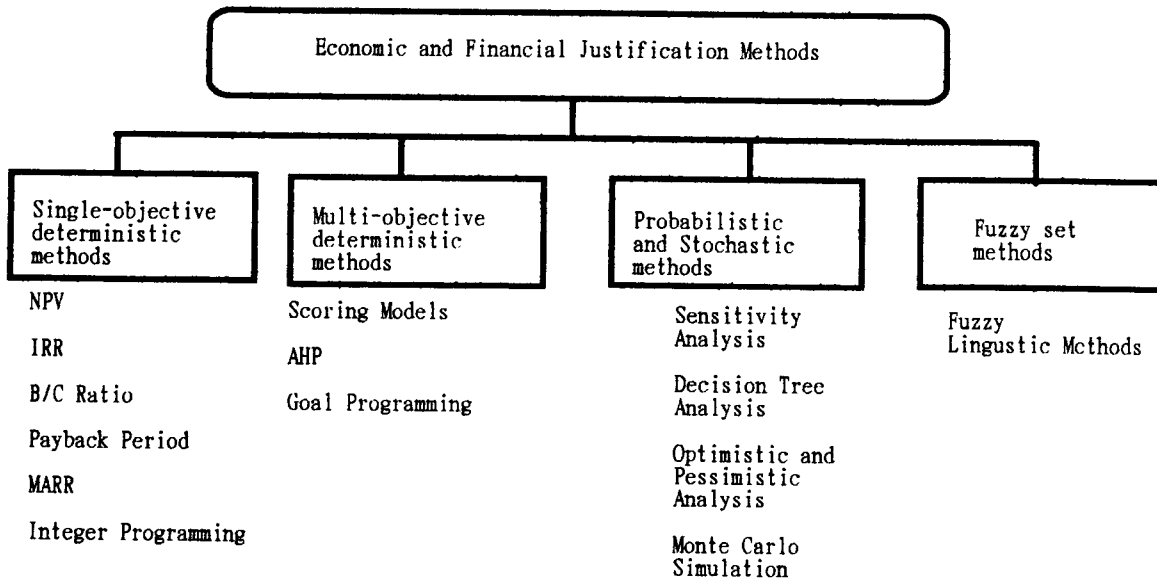


그림 2. 경제적 타당성평가방법의 분류

2.3 속성선정 및 비용추정

이 논문의 대상시스템인 로봇트는 표 1에서 모든 생산시스템의 통제단계에서 유연성을 고려해야 하는 부문의 중요한 고려사항이다. 로봇트는 자동화 공장을 지원하는 요소로서 자재처리, 기계의 적재와 하역작업, 용접과 도공을 포함하는 적용분야 및 조립과 검사등의 작업에 폭넓게 쓰이고 있다. 로봇트는 최신 메카트로닉스기술의 집합체로서 고생산성 및 고품질화를 위한 고속, 고정밀도의 요구, 작업공간의 효율적 활용을 위한 로봇트 기구의 콤팩트화, 넓은 동작범위, 로봇트의 적용범위 확대 지향에 따른 고기능, 취급 간이화를 위한 조작의 편리성, 유지보수의 용이성, 그리고 내환경성 등을 갖추어야 한다.

초기의 개발단계에서 로봇트가 대부분 복잡하거나 어려운 작업을 제외하고 단순작업, 반복작업, 위험한 작업을 대신하는 것으로 기대되었던 것은 사실이나, 지금은 개선된 능력과 더불어 가격이 낮아져 보급이 확대되고 많은 분야에 쓰이고 있다. 그러나, 로봇트에 의한 작업대체가 생산량의 증대와 품질의 향상등에 관계되는 비용의 감소와 항상 연계되는 것은 아니다. 특히 인간을 로봇트로 대체하는 결정은 사회문제(실업, 비인간화등)를 일으킬 소지도 갖는다. 더구나 그러한 결정이 경제적인 것이 아닐때에는 엄청난 역효과를 가져올 수도 있다. 결국 완전한 경제성분석이 수행되고 모든 비용이 경제적으로 고려될 때에 비로소 결정이 가능한 것이다. 이러한 경우에 확실하고 기본적인 비용정보는 타당성있는 경제성분석을 위하여 반드시 필요하므로 우선 성공적인 로봇트의 도입을 평가하기 위한 속성들을 분류[표 2]해보면 다음과 같다[1,13,20].

1) 공학적 속성

로봇트의 작업수행능력을 결정하고, 속도, 재현성(Repeatibility), 정확성(Accuracy)등을 포함한다.

2) 공급자 속성

로봇트 제조업자의 상품성을 결정한다.

3) 비용 속성

로봇을 설치하고, 운영하는 데 쓰이는 총비용을 결정한다.

표 2. 로봇 평가에 사용되는 속성

공학적 속성	공급자 속성	비용 속성
Load capacity	Brand	Robot cost
Repeatability	Availability of training	Installation cost
Velocity	Quality of training	Tooling cost
Programming method	Documentation	Energy consumption
Vertical research	Installation support	Labor cost
Horizontal research	Spare parts availability	Maintenance cost
Memory size	Installation leadtime	
Acceleration	Pre-sale service	
Deceleration	Servicing ability	
Degrees of freedom	Warranty	
Reliability		
Diagnostic capability		
Programming language		
Software		
Control type		
Recovery from error		

로봇의 도입을 평가하기 위한 속성들을 표 2에서 분류하였지만, 대안을 결정하는 것은 회사의 기술적이고 경제적인 면을 고려하기 때문에 결정시기가 적당하지 않거나 성급한 대안의 결정은 다른 유용한 투자안에 대한 기회를 잃어버리는 결과가 되므로 비용/효과 분석이 가장 중요하다. 그러므로 로봇 대체모델을 로봇의 비용 속성측면에서 고려하는 것이 로봇도입의 타당성있는 경제성분석을 위한 생산시스템의 효과를 나타내는 가장 확실한 방법이다. 로봇의 비용정보에 관한 목록은 표 3과 같다.

표 3. 로봇의 비용정보

투자비용	운영 및 유지비용
Robot purchase costs	Direct labor costs
Engineering costs	Indirect labor costs
Installation costs	Maintenance costs
Special tooling costs	Utilities costs
Miscellaneous costs	Training costs

2.4 대안 및 모델의 설정

제안된 로봇의 설치에 관한 경제성분석을 수행하기 위하여 프로젝트에 관한 확실하고 기본적인 정보가 요구된다. 이러한 정보에는 고려중인 프로젝트의 형태, 로봇 설치비용, 생산주기시간, 프로젝트에서 얻어지는 수익(인력절감, 생산성 향상)등이 포함되어 있어야 한다. 로봇 설치에는 다음과 같은 두 가지 대안이 있다.

1) 새로운 설치로서 기존의 설비가 없는 경우로서 이런 경우는 여러 대안들이 비교되고, 회사의 투자정책과 일치하는 가장 적절한 대안이 선택된다.

2) 현재의 작업방법을 로봇 설치로 대체하는 경우로서 현재방법은 전형적인 수작업으로 수행되는 생산공정을 갖고 있으며, 로봇은 어느정도 인력을 대신하여 사용되는데, 로봇 설치에 대한 경제적 근거를 로봇 대체의 이점보다는 수작업의 비효율성과 비용에 두는 경우가 대부분이다.

대안이 결정되면 각 대안에 대한 모델의 설정이 필요한데, 우선 대안 1에 대한 모델의 설정으로 로봇의 선택에 관한 대체모델을 일반적인 수리식으로 나타내면 다음과 같다. 이 모델은 적절한 로봇의 선택이 로봇의 집합 J에서 조건식을 만족하지 않는 로봇들을 제거한 후, 로봇이 지닌 속성을 최대화시키는 나머지 이용가능한 로봇에서 이루어진다.

$$\begin{aligned} \text{Maximize } f(X) &= \sum_{i \in I} f_i(X_i) \\ C_j &\leq b, \\ L_i &\leq x_{ij} \leq U_i, \quad \forall i \in I \end{aligned}$$

- 여기서, $f(X)$: 로봇의 속성을 최대화하는 목적함수
 $j \in J$: 고려되는 로봇의 집합
 $i \in I$: 로봇의 속성으로 이루어진 집합
 X_i : i번째 속성을 나타내는 변수
 X : 로봇의 전체 속성으로 이루어진 벡터
 x_{ij} : 로봇 j에 대한 X_i 의 값
 U_i : 수행할 작업에 의해 결정된 최대요구값
 L_i : 수행할 작업에 의해 결정된 최소요구값
 C_j : 로봇 j의 비용
 b : 로봇에 쓰이는 총비용

다음으로 대안 2에 대한 모델의 설정은 단위기간당 평균 비용을 최소화하는 자산(Asset)의 경제적 서비스 기간(Economic Service Life)을 결정한다. 경제적 서비스 기간은 사용자가 주어진 목적을 위해서 자산을 유지하고자 하는 사용기간 n을 말한다. 자본회수비용(Capital Recovery Cost)이 감소하는 경제적 서비스기간은 운영 및 유지비용이 증가함으로써 절충되므로 기간의 결정으로 바람직한 자본회수시점으로 결정해야 한다. 자본회수비용은 초기비용과 처분가치의 연불등가(Annual cost of capital recovery with a return)를 고려하여 투자하는 사용자가 투자한 금액에 대해서 경제적 수명 기간동안에 매년 최소한 회수해야 할 비용을 나타낸다.

생산활동의 기계화는 단위비용에 중요한 요인이 된다. 예를 들어 첨단생산시스템의 설치로 인해 제품으로 효율적으로 생산하는 경우 단위비용은 감소하게 된다. 기술이 도입되는 초기단계에서는 가끔 인력절감에 따른 비용과 설비로 도입으로 인한 비용을 비교하는 경우가 있다. 단위비용은 생산규모가 소형일 경우 높아지고 반대로 많은 량의 수량을 제조할때 감소하게 된다. 그러나 사람들은 누적된 생산량에 거의 상관없이 이 단위비용을 유지하게 된다. 그러나 이렇게 단위비용으로 평가하는 방법은 생산수량이 많은 경우에는 평가가 정확하나 현재의 상황처럼 생산수량이 많지 않은 경우에는 그러한 판단이 틀릴 수 있다. 단위비용은 하나의 생산품을 제조하는데 소용되는 비용이다. 이는 변동비를 총생산 개수로 나누는 경제적인 모델로부터 산출되어진다. 대안 2에 대한 모델은 다음과 같다.

$$\text{Minimize } f(X) = AC_n = \frac{I}{n} + \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n c_j$$

- 여기서, AC_n : n기간에 걸친 기간당 평균비용
 I : 자산에 포함된 초기투자비용 (경제적서비스기간의 끝의 잔존가치는 0)
 c_j : 기간 j의 운영 및 유지비용

3. 적용사례

한 금속공장의 작업장은 그림 3에서 보여지는 것처럼 반숙련된 작업자에 의해 작동하는 기계 4대로 구성된 기어가공작업장이다. 작업자는 두 조로 나누어 작업이 이루어지는데, 생산필요에 따라 4축기어 가공기계와 절삭기계 그리고 8축기어 가공기계와 절삭기계가 사용된다. 작업자는 기어를 적재하여 기어의 모양으로 깎고, 반쯤 완성된 부품을 쌓아놓고 절삭기계에서 기어를 트리밍한다. 절삭후에 거치는 세척과 검사공정도 역시 수작업으로 이루어진다.

한편 이 공장에 그림 4와 같이 단일 로봇이 도입되면서 기어의 적재와 하적작업이 자동화되고 한 명의 작업자가 나머지 작업을 하게되었다. 작업자의 역할은 로봇을 프로그래밍해서 출발시키고, 들어오는 상자에서 부품을 배열하고, 완성품을 정기적으로 검사하여, 나가는 상자에 놓으며, 작업장에 대해 일반적인 보수를 한다.

작업을 위해 특별한 공구가 설치되었고, 로봇이 설치되었으며 시간연구(Time Study)를 실시하여 작업에 대한 주기가 88.1초로 결정되었다. 이 주기시간으로부터 자동화된 공정의 생산능력은 1315 단위/일로 추정되었으며 수작업시의 생산능력은 800 단위/일로 추정되었다.

이 수치예제의 가정은 다음과 같다.

- 1) 로봇에 의해 증가된 생산량은 모두 팔린다.
- 2) 로봇의 수명은 10년이고, 잔존가치는 \$10,000이다.
- 3) 이자율은 연 12%이다.
- 4) 인플레이션은 고려하지 않는다.
- 5) 최소기대 수익율은 25%이다.
- 6) 법인세율은 46%이다.
- 7) 고정비와 변동비, 수익은 제조업자와 공급업자로부터의 정보로 추정된다.(표 4.5)

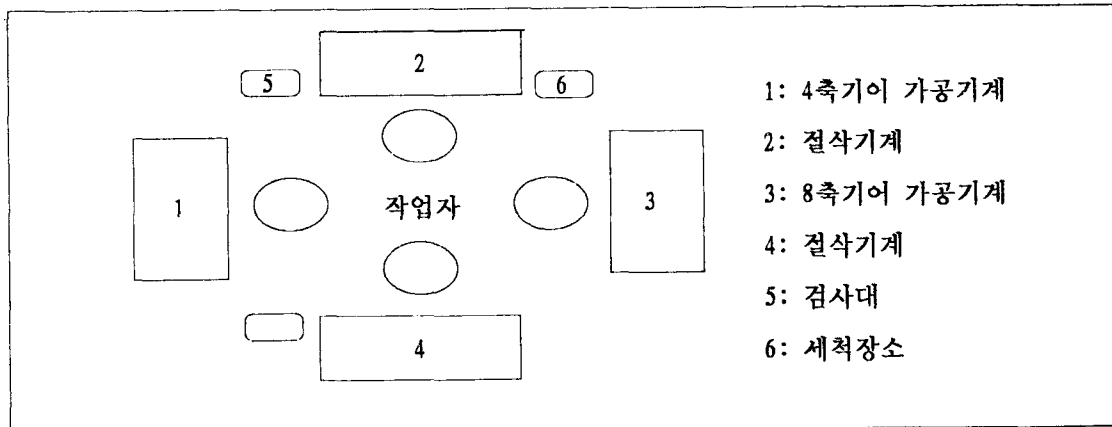


그림 3. 기어가공 작업장

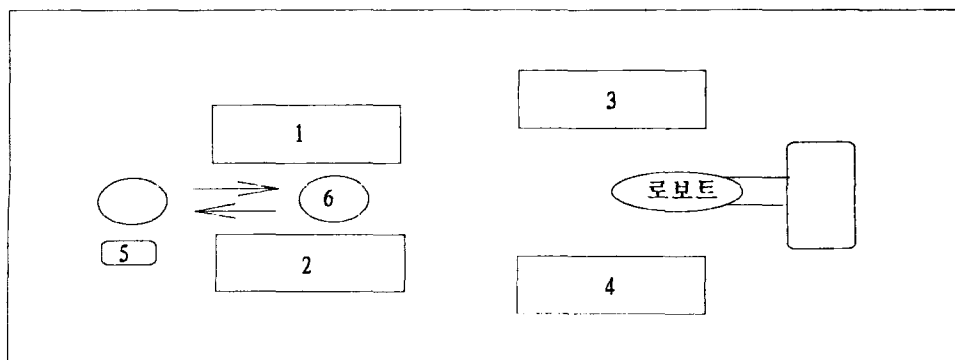


그림 4. 로봇이 도입된 기어가공 작업장

표 4. 로봇 설치에 따른 초기비용

비용설명	현금 (\$)
Cost of Robot (base)	80,000
Special Tools	3,000
Installation Cost	
Rearrangement cost	1,280
Installation cost	1,500
Feedback & Interface devices	5,000
Feasibility study	300
Rearrangement Cost	
Conveyor cost	4,362
Fence	670
Feeds & Trays	2,000
Special Tooling Cost	
Grippers	4,000
Special arbor & fixture	2,000
Control lucks & safety	5,000
전체비용	\$109,112

표 5. 매년 현금흐름의 변화

현금흐름의 설명	현금 (\$) /년
작업장의 보수 및 서비스 노무비용	6,000
운영비용	3,000
기술자의 훈련비용	✓530
세금 및 보험 (2.5%) 비용	2,721
기술자의 임금상승	5,000
잡비	1,000
매년 전체 변동비	17,801
작업자의 대체로 생신 이득	\$60,000

✓ 로봇트 잔존가치의 현재가치는 \$10,000로 가정한다.

3.1 경제성 분석

표 4와 5로부터 총 고정비 \$109,112, 총 변동비/년 \$17,801, 총 노무비 수익/년 \$60,000을 얻었으므로 이 자료로 투자회수율(ROI)이 추정된다. 표 6은 10년동안의 순현금흐름(Net Cash Flows)과 납세후 현금흐름을 나타낸다.

표 6. 현금흐름분석

연수	수익 (\$/YR)	비용 (\$/YR)	순현금흐름 (\$/YR)	감가상각✓	납세후 현금흐름✓
1	60,000	17,801	42,199	14,867	34,645
2	60,000	17,801	42,199	21,805	32,818
3	60,000	17,801	42,199	20,813	32,361
4	60,000	17,801	42,199	20,813	32,361
5	60,000	17,801	42,199	20,813	32,361
6	60,000	17,801	42,199	0	22,787
7	60,000	17,801	42,199	0	22,787
8	60,000	17,801	42,199	0	22,787
9	60,000	17,801	42,199	0	22,787
10	60,000	17,801	42,199	0	22,787

✓ 감가상각에서 이 투자안의 가속 비용회수법 (ACRS) 은 장기수명의 공공사업용자산을 제외한 모든 설비이고, 수명이 10년이므로 5년 자산이 된다 [12]. 감가는 \$99,112으로 계산되고, 1년도의 감가는 \$14,867, 2년도의 감가는 \$21,805이며, 3-5년도의 감가는 \$20,813이다.

✓ 세금은 순현금 흐름에서 감가를 뺀 액수에 0.46을 곱한 값이고, 납세후 현금흐름은 순현금흐름에 세금을 뺀 액수이다.

표 6의 현금흐름을 이용하여 투자회수율(ROI)은 다음과 같이 계산된다.

1) 납세전 현금흐름

$$[109,112 - 10,000] - 42,199[P/A_i, 10] = 0$$

이 때의 투자회수율은 약 40.96%이고, 회수기간은 약 2.45년으로 계산되었다.

2) 납세후 현금흐름

$$[109,112 - 10,000] - 34,645[P/F_i, 1] - 32,818[P/F_i, 2] - 32,361[P/F_i, 3] - 32,361[P/F_i, 4] - 32,361[P/F_i, 5] - 22,787[P/A_i, 5][P/F_i, 5] = 0$$

이 때의 투자회수율은 약 28.76%이고, 회수기간은 약 3.48년으로 계산되었다.

그러므로, 납세전후의 현금흐름을 분석해본 결과, 최소기대수익율(MARR)이 25%이므로 회사의 장기적인 비용의 효과를 거둘 수 있으므로 로봇 설치는 정당하다. 또한 투자의 정당성을 증명하기 위해 제조되어야 할 제품들의 개수를 결정하는 분지점분석을 적용해보는 데, 비용과 수익함수는 표 6에서 주어진 정보로 추정한다. 연간 비용과 수익은 생산량에 분포되어 있으므로 다음과 같이 비용함수와 수익함수를 구할 수 있다. 자동화된 공정의 연간 생산량은 341,900 단위이다.

$$\begin{aligned} 1) \text{ 비용함수} &= (\text{투자액} - \text{잔존가치}) + (\text{연간비용}/\text{연간생산량}) * X \\ &= (109,112 - 10,000) + (17,801 / 341,900) * X \\ &= 99,112 + 0.05 X \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2) \text{ 수익함수} &= (\text{연간수익}/\text{연간생산량}) * X \\ &= (60,000/341,900) * X \\ &= 0.17 X \end{aligned}$$

$99,112 + 0.05X = 0.17X$ 이므로 $X = 99,112/0.12 = 825,933.33$ 이다. 그러므로, 최소한 투자액이 회수되기 위해서는 825,934 units가 생산되어야 할 것이다.

3.2 생산율을 고려하는 경우의 경제성 분석

수작업생산에 대해 자동화 생산 기법을 비교하는데 자주 일어나는 문제는 두 대안사이의 생산율의 차이이다. 자동화 방법은 수작업보다 생산량이 많다. 이러한 이점들 역시 고려되어야 한다.

수작업이 매일 800 units를 생산하는 데 비하여 로봇틀 이용하는 생산 방법은 매일 1315 units를 생산한다. 각 unit당 수익을 \$0.1이라 하면, 연간 판매수익은 \$34,190(0.1*1315*260)이고, 노무비절감으로 인한 수익이 \$60,000이므로 총 순수익은 \$94,190이 된다. 달라진 현금흐름의 내용은 표 7과 같다.

표 7. 생산율을 고려한 현금흐름분석

연수	수익 (\$/YR)	비용 (\$/YR)	순현금흐름 (\$/YR)	감가상각	납세후 현금흐름
1	94,190	17,801	76,389	14,867	48,089
2	94,190	17,801	76,389	21,805	51,280
3	94,190	17,801	76,389	20,813	50,824
4	94,190	17,801	76,389	20,813	50,824
5	94,190	17,801	76,389	20,813	50,824
6	94,190	17,801	76,389	0	41,250
7	94,190	17,801	76,389	0	41,250
8	94,190	17,801	76,389	0	41,250
9	94,190	17,801	76,389	0	41,250
10	94,190	17,801	76,389	0	41,250

1) 납세전 현금흐름

$$[109,112 - 10,000] - 76,389[P/A_i, 10] = 0$$

이 때의 투자회수율은 약 40.96이고, 회수기간은 약 2.45년으로 계산되었다.

2) 납세후 현금흐름

$$[109,112 - 10,000] - 48,089[P/F_i, 1] - 51,280[P/F_i, 2] - 50,824[P/F_i, 3] - 50,824[P/F_i, 4] - 50,824[P/F_i, 5] - 41,250[P/A_i, 5][P/F_i, 5] = 0$$

이 때의 투자회수율은 약 50.0%이고, 회수기간은 약 2년으로 계산되었다.

그러므로, 회사의 최소기대수익율은 25%이므로 이 공정에 대한 로봇 설치는 상당히 바람직한 투자이다. 더욱, 생산율을 고려함으로써 실질적인 자본의 회수기간을 추정할 수 있었다. 제조되어야 할 제품의 개수를 결정하는 분지점분석의 경우는 다음과 같다.

1) 비용함수 = (투자액 - 잔존가치) + (연간비용/연간생산량) * X
 = (109,112 - 10,000) + (17,801 / 341,900) * X
 = 99,112 + 0.05 X

2) 수익함수 = (연간수익/연간생산량) * X
 = (94,190/341,900) * X
 = 0.2755 X

위의 경우에 99,112 + 0.05X = 0.2755X 이므로 X = 99,112/0.2705 = 439,521이다. 그러므로, 최소한 투자액이 회수되기 위해서는 439,521 units를 생산해야 할 것이다.(그림 5)

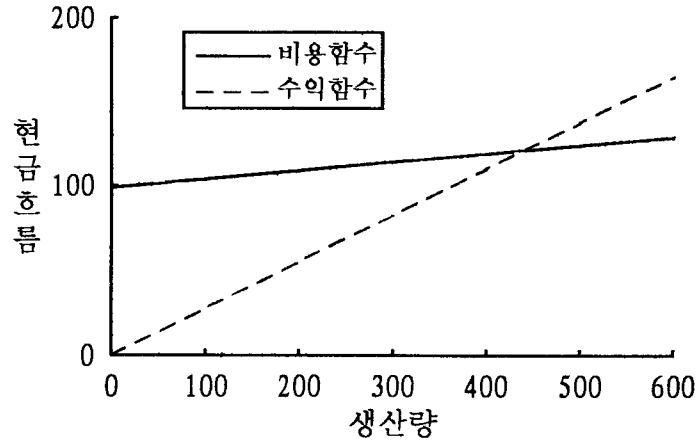


그림 5. 분지점분석

4. 결론

경제성 분석기법을 사용하여 생산시스템의 주요요소인 로봇 설치에 따르는 비용분석 및 경제적인 이점들을 살펴보았다. 수작업에 대체하는 로봇 설치에 관련된 대안들에 따라 비용요소들을 분류하여 모델을 세우고, 이를 고려하면서 자동화 설비와 생산을 중대의 관계를 파악하였다. 이 논문에서는 두가지 대안을 놓고 경제성 분석을 하였지만, 더욱 세련된 경제성 공학기법을 가지고 실질적인 투자분석을 할 때에는 대안들의 유형적인 이익에 관한 정확한 결정을 내릴 수 있을 것이다. 또한 본 논문에서 고려하지 않은 측정이 어려운 무형적인 이익(유연성, 품질 등)에 관한 연구도 진행해야 할것이다. 특히 지능 생산시스템(Intelligent Manufacturing System)도입의 경제성을 평가하는 데 있어서 원가 추정(Cost Estimating)이 고려되어야 할 것이고, 최근에 설계단계에서의 혁신적인 비용 및 시간을 단축하는 동시공학(Concurrent Engineering)의 제품개발단계에서의 원가 측정도 아울러 진행해야 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] Agrawal, V. P., Khohl, V. and Gupta, S., "Computer Aided Robot Selection: The Multiple Attribute Decision Making Approach", *International Journal of Production Research*, Vol. 29, 1988, pp. 1629-1644.
- [2] Azzone, G. and U. Bertele, "Measuring the Economic Effectiveness of Flexible Automation: A New Approach", *International Journal of Production Research*, Vol. 27, No. 5, 1988, pp. 735-746.
- [3] Blank, L., "The Changing Scene of Economic Analysis for the Evaluation of Manufacturing System Design and Operation", *The Engineering Economist*, Vol. 30, No. 3, 1985, pp 227-244.
- [4] Dore, A. M., and E. K. Ro, "Economic Evaluation of Robot-based Assembly Systems", *International Journal of Production Research*, Vol. 29, No. 2, 1988, pp. 267-276.

- [5] Fisher, E.L. and S. Nof, "Knowledge-based Economic Analysis of Manufacturing Systems", *Journal of Manufacturing Systems*, Vol. 6, No. 2, 1987, pp. 137-150.
- [6] Klahorst, H. T., "How to Justify Multimachine Systems", *American Machinest*, 1983.
- [7] Kusiak, Andrew, *Intelligent Manufacturing Systems*, Prentice-Hall, 1990
- [8] Kusiak, Andrew, *Intelligent Design and Manufacturing*, John Wiley & Sons, 1992
- [9] Meyer, S., "Notes on an Expert System for Capital Budgeting", *Financial Management*, Vol. 17, No. 3, 1983, pp. 23-31
- [10] Meredith J. R. and Suresh, N. C., "Justification Techniques of Advanced Manufacturing Technologies", *International Journal of Production Research*, Vol. 24, No. 5, 1986, pp. 1629-1644.
- [11] Milacic, V. R., *Intelligent Manufacturing Systems II*, Elsevier, 1988
- [12] Newman, Donald G., *Engineering Economic Analysis*, Engineering Press Inc., 1988.
- [13] Nnaji, B. O., "Evaluation Methodology to Performance and Systems Economics for Robotic Devices", *Computers and Industrial Engineering*, Vol. 14, 1989, pp. 477-493.
- [14] Parsaei, H. R. and Mital, A., *Economics of Advanced Manufacturing Systems*, Chapman & Hall, 1992.
- [15] Primrose, P. L. and R. Leonard, "The Financial Evaluation and Economic Application of Advanced Manufacturing Technology", *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, Vol. 200, No. B1, 1986, pp. 27-31
- [16] Primrose, P. L. and R. Leonard, "The Use of a Conceptual Model to Evaluate Financially Flexible Manufacturing Systems Projects", *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, Part B., 1985.
- [17] Son, Y.K. and C.S. Park, "Economic Measures of Productivity, Quality and Flexibility in Advanced Manufacturing Systems", *Journal of Manufacturing Systems*, Vol. 6, No. 3 (1987), pp. 193-207
- [18] Son, Y. K. and C. S. Park, "An Economic Evaluation Model for Advanced Manufacturing Systems", *The Engineering Economist*, Vol. 34, No. 1, 1988, pp. 1-26.
- [19] Suresh, N. C., and J. R. Meredith, "Justifying Multimachine Systems: An Integrated Strategic Approach", *Journal of Manufacturing Systems*, Vol. 4, No. 2, 1985, pp. 117-134
- [20] Seidmann, A., Arbel, A., and Shapira, R., "A Two-phase Analytic Approach to Robotic System Design", *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, Vol. 12, 1984, pp. 181-190