

AHP기법을 이용한 물류시스템의 경제성평가에 관한 연구

- A Study on the Economic Justification of a Material
Handling System using AHP -

장 원 호*

Jang, Won-Ho

함 효 준**

Hahm, Hyo-Joon

이 광 수***

Lee, Kwang-Soo

ABSTRACT

This study is concerned with the economic analysis of implementing a material handling system using automated guided vehicle(AGV)s in order to improve the productivity of the production process of chinawares. Analytic hierarchy process(AHP) method for selecting the facilities of material handling systems is presented. Subsequently, as an example, a chinaware production line is analyzed for the economic analysis. The result shows that seven manpowers can be reduced. However the introduction of the new material handling system is turn out to be undesirable due to high initial cost of AGV system. Nevertheless, in the long term, automatic material handling system such as AGV system are expected to play major roles in the modern manufacturing area.

1. 서 론

현재, 기업의 환경은 저임금 비교우위에 입각해서 노동집약적이었으나 지금은 생산비용 중에서 노동비의 상승으로 인하여 사람 대신에 사용가능한 대안이 제시되지 않으면 안되는 실정이다. 특히 기업환경이 급속하게 변화되는 가운데 시장수요에 있어 소비자 욕구가 날로 개성화, 다양화 됨에 따라 생산형태는 대량생산에서 다품종 소량생산으로 옮겨지며, 또한, 메카트로닉스의 급격한 발달에 따라 각 기업에서는 생산성의 향상, 코스트의 절감 등 생산합리화를 이룩하기 위하여 단순한 라인의 자동화에서 벗어나 환경변화에 유연성있게 대처할 수 있는 자동화를 추진하고 있다.

자동화와 더불어 공장내 물류분야는 원재료, 자재 및 제품의 반송작업이 필수적으로 존재해야만 하므로, 이들 분야의 원가절감은 중요한 과제로 인식되고 있다. 특히, 대부분의 공장이 실

* 韓國通信研究所 研究員

** 亞洲大學校 産業工學科 教授

*** 烏山專門大學 工業經營學科 副教授

계 원재료 가공보다 이송, 지장에 더 많은 시간이 소비하고 있으며, 심지어 어떤 경우에는 대부분의 노동비용이 이 부분에 소비되고 있다[17]. 이러한 작업자에 의한 운반을 위하여 작업을 중지하는 손실을 줄이기 위해 공정과 공정의 연결을 원활히 해주는 물자운반의 중요성이 나날이 증대되고 있다. 특히, 현재의 생산시간의 50%내지 70%를 차지하는 물자취급 시간을 줄이는 방법이 자동화 추세에 맞춰 여러 각도로 연구되고 있다[17]. 그러나, 새로운 물류장비의 이러한 장점에도 불구하고 현실적으로 매우 적은 경우만이 기업에서 고려 할 수 있는 대안으로 받아들여 지고 있는데 그 이유는 중·소량 규모의 생산량 체제에 대한 막대한 자본의 투자는 기업으로서는 상당한 위험을 내포하는 부담이 되기 때문에, 경제적 여유가 있더라도, 올바른 타당성 평가를 내릴수 있는 정보나 지식의 부족으로 기업의 막대한 비용이 소요되는 설비 투자에 응하지 못하는 실정이다.

본 연구의 목적은 국내 도자기 제조회사의 도자기 제조공정에서의 물류관리 시스템의 생산성 향상을 위하여 작업자의 비가동 시간을 줄이고, 장비의 대체를 통하여 공정의 물류개선 및 비용최적화를 하기 위한 것이다. 본연구의 추진절차는 각 기업에서 도입되는 물류장비의 선정에 있어 1970년대 Satty[29]가 정립한 계층화 의사결정기법(AHP:Analytic Hierarchy Process)을 이용한 타당성 평가를 통해 물류기기를 평가하고, 여기에서 선정된 AGV시스템을 갖고 SIMAN 시뮬레이션 언어로 모델링을 수행 함으로써 공장내에 알맞는 AGV의 최적 대수를 결정 한 후, 현재 사용하는 물류기기와 경제성 평가를 통해 물류시스템의 최적화 방안을 제시함으로써, 우리나라 산업계에서 유사한 물류시스템 도입시 장비선정 및 투자분식에 기여하고자 한다.

2. 기존의 연구

최근의 기업생산방식은 단순한 라인 자동화를 벗어나 주위환경에 대응이 빠른 유연한 FMS(Flexible Manufacturing Systems)나 CIM(Computer Aided Manufacturing)을 지향하고 있다. 이런 흐름에서 기존의 연구는 FMS 도입에 있어서 고려되는 여러가지 경제적, 전략적, 기술적요인 등에 의한 타당성 평가가 많이 이루어졌다. 타당성 평가에 대한 접근은 4가지 범주로 나눌 수 있다.

- (1) 경제적 타당성 평가방법(economic justification approach) : 경제성공학에서 설비대체에 대한 경제성 평가에 이용되는 접근방법으로 만일에 재고비용 또는 공간감소와 같은 몇 가지 편익은 고려되지 않더라도, 부가되는 경제적 편익 또는 비용을 산출해 낼 수 있는 경우에 이용되는 평가방법이다. 주로 회수기간법(payback:PB), 투자수익율(international rate of return:ROR), 순현재가법(net present value:NPV), MAPI(machinery and allied products institute)법 등이 있다. Suresh와 Meredith[32], 김 성인[34] 등이 이 접근방법을 이용한 평가를 시도한 바 있다.
- (2) 분석적 타당성 평가방법(analytic justification approach) : 시너지, 가변성 위험과 비경제적 편익을 고려하고자 할 때에는 분석적인 평가절차가 요구된다. 경우에 따라서 확률분포의 주관적 추정치나 특정 추정치가 이용 될 수 있고 분석에 포함 될 수도 있다. 주로 비수치적 평가(non-numerical analysis), 수학적 평가(mathematical analysis), 수치적 평가(numerical analysis), 위험분석(risk analysis), 가치분석(value analysis), 시뮬레이션(simulation) 방법 등을 이용한다. Choobineh[5], 등이 제시한 접근방법이다.
- (3) 전략적 타당성 평가방법(strategic justification approach) : 이 평가방법은 기술적 중요도, 사업 목표, 경쟁력 우위 등을 대상으로 하여 FMS가 기업에 주는 전략적 분야의 성과

를 중점적으로 평가한다. 물론, 전략적 평가방법을 이용 할 때에도 경제적 평가와 분석적 방법을 병행하여 분석·평가하는 것이 바람직하다. Hundy[34], Primrose와 Leonard[34] 등이 이 방법을 이용하여 신기술에 대한 평가를 실시한 바 있다.

(4) 사례 평가방법(case justification approach) : 실제의 현장에서 FMS를 도입하였을 때 도입전과 도입후의 시스템에 대한 성과의 비교분석을 기초로 한 평가방법으로서 상황이 다른 시스템의 평가에 적용해 가는 데에는 어려움이 따른다. Schmoll과 Popplewell[34] 등이 각국의 FMS도입 공장에 대한 사례평가를 실시한 바 있다.

기존의 연구에서 Srinivasan과 Miller[31]는 FMS의 평가를 위해 경제성공학적인 방법으로 가 대안들을 평가하여 헝가를 구한후, FMS의 정성적인 부분에 대하여서만 AHP를 적용하여 비중을 구하고, 이 비중을 헝가에 곱하여 대안들의 순위를 구하였다. 새로운 물류시스템에 대한 평가는 단순히 정량적인 비용절감의 측면만 있는것이 아니라 정성적이고 전략적인 측면의 이점이 포함되어 커다란 비중을 차지하고 있어 제래의 경제성 기법만으로는 평가하기 어렵다.

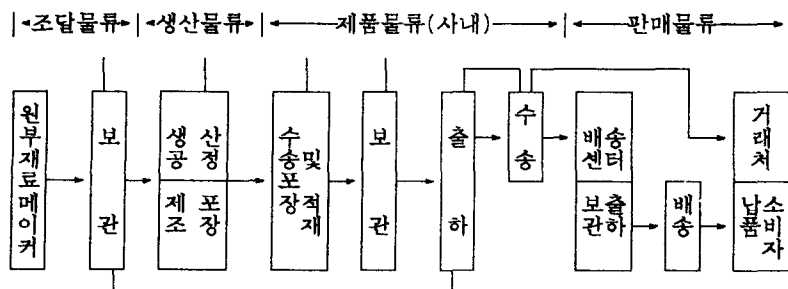
외국 문헌으로는 Tompkins와 White[20]가 AHP를 이용한 물류장비 선정을 제시했고, Frazell[8]은 5가지 항목을 선정하여 물류장비 대안의 AHP분석을 제시했으며, Tomas Klahorst [19]는 8가지 항목을 제시했는데 그중 도입시 정량화 어려운 2가지 항목(품목당 이송비용, 면적당 이송비용)을 고려해서 가중치 요인분석을 제시했다.

3. 물류시스템 선정 모형

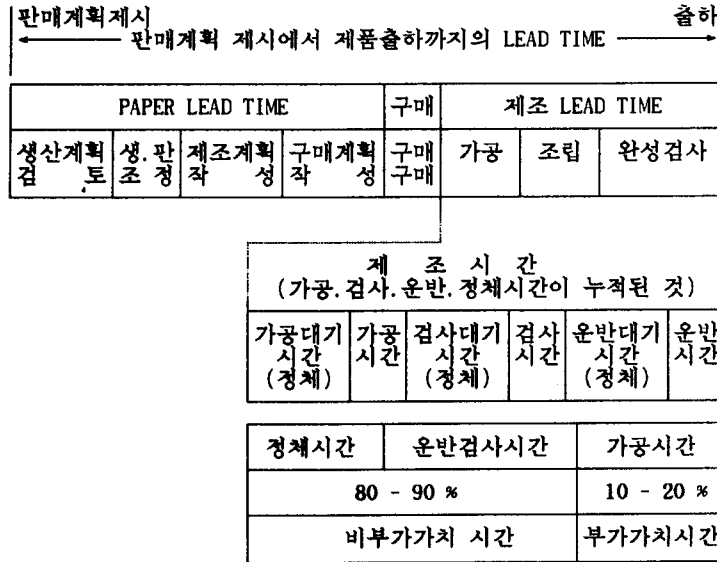
3.1 물류시스템의 추세

물류는 크게 아래의 [그림 1]과 같이 조달, 생산, 제품, 판매물류로 나눌 수 있다. [그림 2]에서 생산물류는 공장내 생산 공정과 관련된 자재의 흐름으로 가공(조립), 운반, 정제, 검사 등이 있으며 생산물류의 작업내용은 준비, 주체, 부수, 여유작업으로 구성된다. 자재취급과 저장은 공급간의 이동과 수단으로서 대부분의 제조 기업에서는 공정처리 시간보다는 자재취급에 더 많은 시간을 소비하고 있다. 특히, 노동비용면에서 볼 때, 전체 제조 비용의 2/3 이상을 차지하며 자재의 취급, 이동, 저장에 소비되고 있다.

이는 생산형태, 생산량, 물자취급의 자동화의 정도에 따라 다양한 데 이러한 자재 취급 기능은 가능한 효율적으로 적은 비용으로 안전하고 효과적으로 시간적으로 정확하게 손상없이 수행되는 것이 중요하다. 특히, 물류분야는 원재료, 자재 및 제품의 반송이라는 작업이 필히 존재하므로 물류분야에 원가 절감은 중요한 과제로 인식되고 있는데 이는 전체 기업적 측면에서 생산성의 향상, 비용의 절감 등 생산 합리화를 꾀하기 위하여 단순한 라인 자동화에서 벗어나 주위환경에 대응한 유연성을 추구하는 자동화로 이어지고 있기 때문이다.

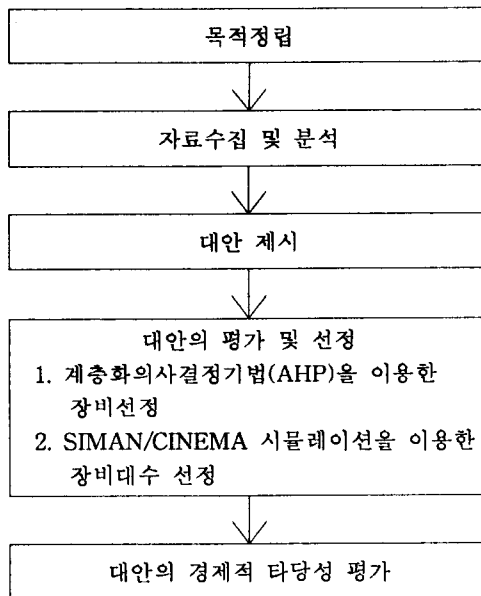


[그림 1] 물류의 영역



[그림 2] 선행기간의 내역 및 제조기간에서의 정체

3.2 물류시스템 선정 절차



[그림 3] 물류시스템 구축 추진 절차

- 1) 목적정립 : 문제의 정의와 범위, 대상, 계획, 예산 등을 정립
- 2) 대안의 선정 : 가능한 대안을 나열
- 3) 자료의 수집 및 분석 : 개선하는 물류시스템에 제안되는 각 물류기기정보 수집
- 3) 장비의 평가 : 유형, 무형적 요소 고려, 계층화 의사결정기법(AHP) 분석

- 4) 컴퓨터 모델링 분석 : 도입 결정된 물류기기를 컴퓨터 시뮬레이션을 통한 구현 및 분석
- 5) 경제성 평가 : 도입 결정후 시뮬레이션으로 분석된 물류시스템을 기존 시스템과의 비용분석
- 6) 시스템 구현 : 최적화 물류시스템 구현

3.3 물류장비 고찰

물류시스템은 여러 형태의 장비의 결합으로써 이루어 진다. 이러한 물류장비는 일반적으로 크게 포장 혹은 단위별 취급장비, 묶음 취급 장비로 나눌 수 있다. 그리고 물류장비는 자재의 취급에 있어서 운용되는 성지에 따라 분류된다.

기존의 물류장비의 분류를 보면,

- ① 고정 경로 취급장비(Fixed-path handling equipment)
- ② 제한 영역 취급장비(Limited area handling equipment)
- ③ 이동 장비(Mobile equipment)로 분류된다.

여기서 ①, ②는 공정내에서의 자재취급을 위해 사용되는 것이고, ③은 운전자가 필요하며 보통자재 운반에 사용된다. Sims[7]는 여기에다 ④ 물류공구와 저장기구(Material handling tools and Storage Furniture)를 더한 4가지로 분류하였다[같은]. 반면에, Tompkins와 White[20]는 ① 컨베이어 ② 모노레일, 호이스트, 크레인 ③ 자동창고 ④ 산업트럭 ⑤ 기타 장비의 6가지로 분류하기도 하였다.

위와 같이, 여러 학자가 다양하게 물류시스템 장비를 분류해 왔는데, 본 연구의 물류시스템 선정에서는 Morgan[26]의 분류에다 Sims[7]의 분류를 더한 4가지를 고려하였다.

3.4 AHP를 이용한 물류장비의 선정

가용되는 시스템의 대안들 중에서 최선의 대안을 선정하기 위해 각 대안의 정성적인 요인을 정량화 하는 문제는 MADM(Multiple Attribute Decision Making)방법으로서 ① 순차적 제거 방법과 ② 가중치 이용방법으로 나눌 수 있다. 본 연구에서는 가중치 방법중에서 기대치방법으로 널리 쓰이는 Satty[30]가 구조화한 분석적계층처리(Analytic Hierarchical Process:AHP)기법을 사용하였다.

3.4.1 분석적계층처리(AHP) 기법

분석적계층처리(AHP) 기법은 1970년대에 Saaty[29]가 정립한 다수의 평가항목을 고려할 수 있는 문제에 대한 의사결정기법으로써, 의사결정문제를 계층화 시켜서 각 계층마다 상대비교를 위한 점수를 부여하고 궁극적으로는 평가항목들의 상대적 중요도를 점수로 산정하여 비교분석 하는 것이다. 이러한 분석적계층처리(AHP)기법은 물류시스템의 타당성 평가문제에서 물류시스템의 평가항목들을 계층화 시킴으로써 평가의 일관성을 유지하며 분석할 수 있는 유용한 틀을 제공하여 준다. 분석적계층처리(AHP) 기법은 분해(Decomposition), 상대비교 판단(comparative judgement), 우선순위의 종합(synthesis of priorities)으로 구성되어 있다. 쌍방 비교행렬의 구성은 비교항목들에 대하여 쌍방 비교를 통해 판단이 이루어지므로 각각의 비교판단은 상호 독립적이다. 이 때, '9점측도'에 의해 각 쌍방 비교의 판단자료에 대한 질의 문제로 인하여 독립적인 각 판단들이 상호간의 일관성이 있었는지가 문제가 되는데, 이를 위하여 일관성을 검증하여야 한다.

3.4.2 분석적계층처리(AHP) 기법을 위한 평가항목

물류장비 선정에는 많은 기준이 있는데 적정 장비 선정과 적용을 위해서는 기술적인 요소가

있어야 하며, 요구되는 작업을 수행하기 위한 기기의 신뢰성과 능력, 그리고 종업원의 안전도 등이 있다. 더 넓은 관점에서 보면, 물류시스템 장비 선정에는 공장의 구조와 레이아웃 특성, 그리고 기존의 운영방식과의 호환성 등의 기준이 있다. 또한, 먼지, 소음 등과 같은 환경적인 측면과 윤리적인 측면도 고려되어야 한다. 그리고, 무엇보다도 경영층의 주요 관심사인 투자에 대한 적절한 회수의 보장, 노사관계에 미치는 영향 등 많은 요소가 고려되어야 한다. 물류시스템 선정 방법을 위한 기존의 연구로는 Tompkins와 White[20]가 1) 운영과 수행도에서의 적합 2) 사용자 안전성 3) 작동의 용이성 4) 작업에 대한 수행도 5) 기기의 신뢰성 6) 납품 기기의 인지도 등의 항목을 고려한 모델을 제시했고, Ed. Frazelle[8]은 비교 요인(factor)으로 1) 자본 회수율 2) 유연성 3) 호환성 4) 안전성 5) 보전성의 항목으로 제시했다. 그러나, 평가항목 중에서 앞으로 자동화 추세에 맞추어 요구되는 물류장비들이 정보(Information) 측면의 중요성은 고려하지 않았다. 공장자동화 지향의 지금 시점에서 컴퓨터를 이용한 물류장비의 평가항목이 점점 중요시 되고 있다. 본 연구에서 제시하는 모형은 그 외에도 사용자 용이(Easy of use), 중앙통제 용이성(Controllability), 정보수집기능(Data Acquisition)을 추가한 8가지 항목으로 평가하고자 한다.

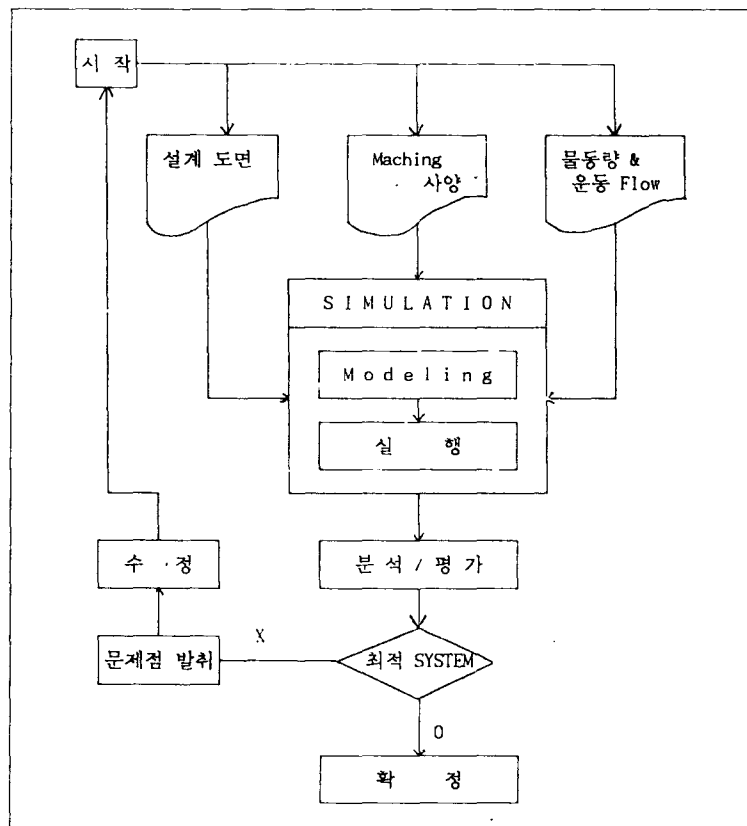
- ① 내부수익율(ROR) : 내부수익율법은 투자안을 비교하는데 가장 광범위하게 쓰이는 방법 중의 하나로서 이는 미래의 모든 비용의 현재가치와 수입의 현재가치를 동일하게 하는 비율로 투자회수율(return on investment) 또는 수익율(rate of return) 이라고도 하는데[38], 내부수익률은 일반적으로 기업의 경영정책상 의사결정자가 정하는 비율로서 기업마다 경영방침에 따라 다른 내부수익율을 정할 수 있다. 여기서 제시하는 내부 수익율은 퍼센트로 나타내어 평가된다. 내부수익율이 최소기대수익을 보다 클 때 투자안을 선택하게 된다. 자동화된 장비일수록 ROR이 높으나, 공정개선 유도로 고품질의 제품생산, 시장수요의 대응력이 높다.
- ② 유연성(Flexibility) : 이는 새로운 상황에 쉽게 대응하거나 적용할 수 있는 능력으로 각기 다른 속도로 여러 공정, 제품을 처리할 수 있어야 한다.
- ③ 안전성(Safety) : National Safety Council에 따르면 모든 산업재해의 약 60%가 물류와 관계 있다. 대부분의 이런 재해들이 Fork Lift Truck 의 부주의한 운송과 관련이 있다. 이들 장비의 사용에 있어 훈련과 일반적 안전조치가 개선되어야 한다.
- ④ 호환성(Compatibility) : 통합된 공장자동화로 가기 위해서, 물류시스템 장비는 기존 혹은, 새로운 공작기계, 저장장비, 컴퓨터 통제 하드웨어/소프트웨어, 다른 시스템 구성품과의 호환성이 있어야 한다. 호환성은 선정된 평가과정에 관련되어 있는데 선정된 평가기법이 평가되는 시스템 복잡성과 수준에 있어서 호환성이 핵심적인 요소다.
- ⑤ 보전성(Maintenability) : 물류장비는 신뢰성이 있어야 하며, 비싸지 않으며, 빈번한 사용에도 견디어 낼 수 능력을 보유하며 이들 요소의 중요성이 점점 강조되고 있다.
- ⑥ 사용자 용이(Ease of Use) : 갈수록 첨단화되는 물류기기는 공장 자동화 장비와 같이 시스템의 복잡성이 증가하고 있다. 이런점에서 사용자 중심의 용이성 확보와 훈련이 중요시 되고 있다.
- ⑦ 중앙통제 용이성(Controllability) : 지능화 추세의 물류장비의 추세는 각 세부 공정마다의 중앙 통제가 가능해지고 있다.
- ⑧ 정보수집기능(Data Acquisition) : 이러한 정보의 축적은 기업의 공정분석 등에 유용한 자료가 됨으로 공정운영에서 다른 생산장비와 높은 정확도를 갖게 한다.

3.5 시뮬레이션을 이용한 물류장비 대수 결정

대부분의 물류시스템은 실제적인 모델을 따르기에는 너무 복잡하여 수학적으로 표현하기가

불가능하다. 때문에, 이들 모델은 시뮬레이션이라는 도구로 체계화 되어야 한다. 본 연구에서는 선정된 대안인 무인운반차(AGV)를 실제 공장에 맞게 컴퓨터 시뮬레이션 모델링을 함으로서 최적 무인운반차(AGV) 대수를 결정한다. 본 연구에서는 시뮬레이션 소프트웨어로서 SIMAN/CINEMA를 이용한다.

우수한 시뮬레이션 모델을 구축하기 위해서는 우수한 문제해결 기법과 소프트웨어 공학에 대한 훈련이 겸비되어야 한다. SIMAN을 이용한 시뮬레이션의 수행절차를 나타내면 다음과 같다.

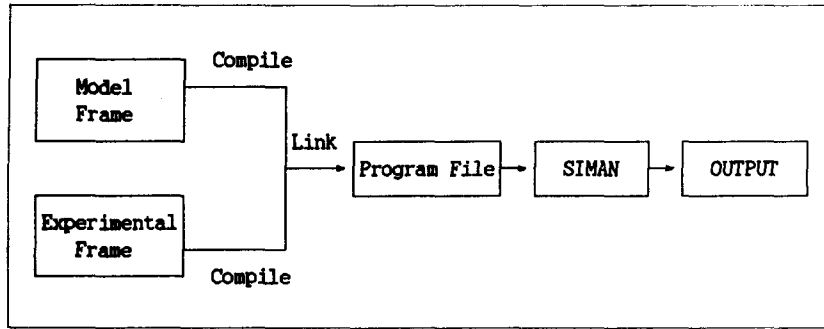


[그림 4] 시뮬레이션 수행 절차

SIMAN 시뮬레이션은 시스템 모델 개발, 실험체계 개발, 그리고 데이터 분석의 세가지 활동으로 나뉘어 진다. 이들 세가지 활동내에서, SIMAN 소프트웨어는 네개의 데이터 화일을 통해 상호 반응하는 다음과 같은 네개의 개별적인 프로세서로 구성되어 있다.

- 1) 모델 프로세서는 블록 다이어그램 모형을 구축하기 위하여 이용되며, 모델화일인 데이터 화일이 만들어 진다.
- 2) 실험 프로세서는 시스템 모델에 대한 실험체계를 결정하기 위해 이용되며, 실험화일이 만들어 진다.
- 3) 연결 프로세서는 프로그램화일을 만들기 위하여 모델화일과 실험화일을 결합시킨다.
- 4) 프로그램화일은 결과화일을 나타내 주고 시뮬레이션 가동을 실행해주는 가동 프로세서로 투입된다.
- 5) 결과 프로세서는 결과 화일에나타난 데이터를 분석하고, 형식화하며, 보여주기 위하여 이용된다.

즉, 모델 프로세서는 모델화된 시스템의 특성을 정의해 주는 시스템 모델 체계 화일을 처리하며, 실험 프로세서는 실험의 변수를 정의해 주는 관련된 실험체계화일을 처리해 준다. 도식화 하면 아래 그림과 같다.



[그림 5] SIMAN 소프트웨어 개요 흐름도

4. 사례 연구

4.1 소개

본 연구의 실증분석을 위해 도입되는 사례연구는 국내 도자기 생산 회사인 H사의 도자기 제조 공정이다. H사는 국내의 도자기 제조 회사중 가장 앞서 자동화를 추진하고 있다. 전체 생산 공정에 투입되는 인원이 자동화 설비를 도입 하기전 보다 1/3로 감소했다. 도자기 생산라인은 하루에 평균 25,000개를 생산하고 있으며, 도자기 제조의 물류는 원자재의 입고에서 원료혼합, 배토, 토련, 성형, 정형, 화공, 소성, 시유, 검사공정을 끝으로 출고하게 된다. 모든 도자기는 거의 동일한 공정을 거치게 되며 도자기의 종류에 관계없이 각 공정의 소요시간은 거의 같다. 물류시스템으로 구성된 도자기의 제조공정의 생산성 향상은 크게 다음과 같은 두가지 관점 1) 공정을 흐르는 생산품의 각 규격별 생산일정관리의 최적화, 2)공정을 흐르는 생산품의 물류최적화로 고려할 수 있다. 라인에서 생산될 도자기의 규격 및 생산량은 단기간의 주문종류에 따라 결정되는데 불필요한 재고를 최소화하면서 주문요구에 원활히 대응하는 제품생산(출하)를 달성할 수 있어야 한다.

도자기의 이송을 담당하는 기존의 물류장비로는 체인 컨베이어, Power & Free, 손수레, 카트, 포크 리프트, Pallet Jack, Pallet Truck, 컨베이어 등으로 구성되어 있다. 앞으로의 관심은 [그림 6]에 보이는 생산라인 사이의 원재료 이동과 중간 재공품사이의 물류를 개선하고자 하는데 목적이 있다.

4.2 물류장비의 선정

이 공장의 생산라인으로 볼 때 새로운 물류시스템으로 고려되는 물류장비로는 1)Tow-Line, 2)Shuttle Car, 3)Pollar/Rail, 4)Power & Free, 5)Stacker Crain, 6)Elevated Track, 7)Guided Vehicle 등으로 제안된다. 실무자, 각 층의 담당자가 참여해서 <표 1>과 같은 결과를 얻었다. 즉, 본 연구에서 제시한 정보중심적 모형의 적용 결과 AGVS가 가장 우수한 물류장비로 평가되었다.

<표 1> 분석적계층처리(AHP) 분석에 의한 물류장비 평가도

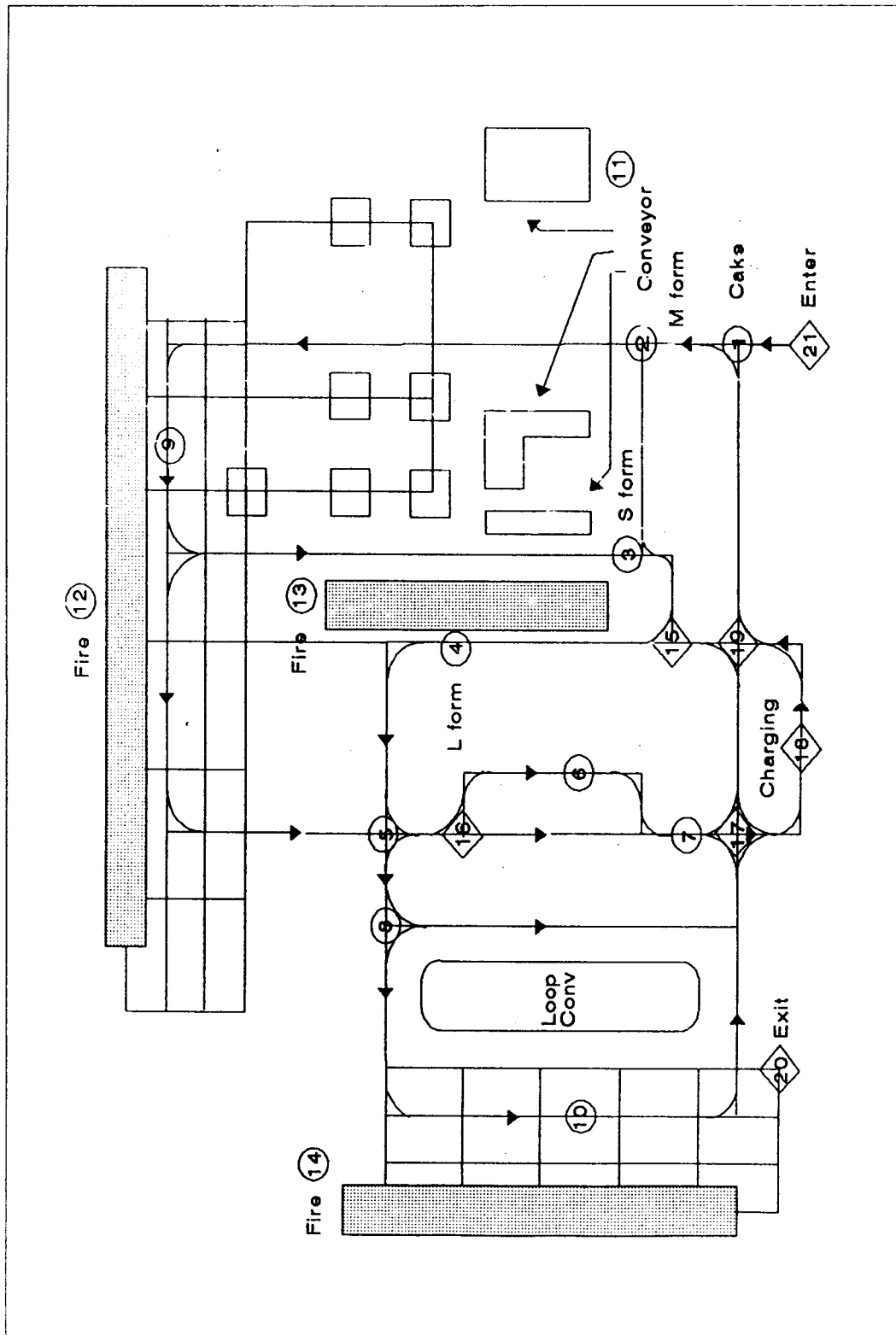
	요인	ROR	유연성	안전성	호환성	보전성	사용용이	통제용이	정보수집	점수	비고
	가중치	15	10	10	15	10	15	10	15		
① Tow line		0.7	0.5	0.7	0.5	0.5	0.7	0.6	0.5	59	
② AGVS		0.1	0.8	0.9	1.0	0.3	0.6	1.0	1.0	70.5	*
③ AGVS + Fork		0.7	0.9	0.3	0.6	0.6	0.8	0.8	0.7	68	
④ 기존 방식		0.0	1.0	0.1	0.1	0.9	0.3	0.5	0.1	32.5	
⑤ AGVS + Monorail		0.2	0.6	0.6	0.6	0.3	0.5	0.7	0.3	46.0	

4.3 시뮬레이션을 이용한 AGV 대수 결정

4.3.1 시뮬레이션을 위한 기본 상황 및 가정

AGV의 대수를 결정하기 위한 시뮬레이션을 수행하기 위해 관련된 상황과 가정은 다음과 같다.

- 1) AGV경로 형태는 닫힌 루프(Closed Loop) 형태이다. 현장에서 사용하고 있는 형태이다.
- 2) AGV는 어떠한 통로에서든지 단방향으로 움직인다. AGV의 가격의 비싸다는 이유도 있으나 양방향의 경우에는 제어가 복잡해지기 때문에 현장에서는 일반적으로 단방향 주행 시스템을 사용하고 있다.
- 3) 두 통제점 사이의 거리는 최소한 AGV의 길이 보다는 커야 한다. 이는 AGV가 주행할 시에 두 센서 사이의 거리가 AGV자체 길이 보다 짧다면 통제가 불가능해지기 때문에 그러한 설계는 있을 수 없다.
- 4) 경로 배치도는 [그림 6]에 주어져 있다.
- 5) 시스템의 모든 거리는 <표 2>에 알려져 있다.
- 6) 각각 기계들이 이용가능한 상태가 되었을 때만 AGV가 이동하므로 각각의 목적지에서는 대기가 발생하지 않는다.
- 7) AGV고장은 고려하지 않으며 언제나 가동상태에 있다고 본다. 작업이 없을 때에는 Charging Station에서 대기
- 8) AGV 들은 하나의 통로 상에서 서로 교차하지 않는다. 전 구획이 비어있을 때만 이동할 수 있고, 그렇지 않은 경우에는 이동할 수 있는 상태가 될 때까지 기다린다.
- 9) 작업물을 싣고 내리는데(Loading/Unloading) 걸리는 시간은 <표 4>에 주어져있다.
- 10) 한대의 AGV는 한번에 하나의 작업물(Unit Load)만을 운반할 수 있다.
- 11) AGV에 대한 작업할당(Dispatching)규칙은 각 작업장소로 가장 짧은 거리를 찾아간다.



[그림 6] 사례공장 레이아웃

<표 2> 각 Station 간의 이동거리

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1		8	20	48	50	76	54	42	86	102	18	28	70	34	30	20	114	128
2			12	42	42	70	62	50	80	96	26	22	76	42	38	28	138	122
3				30	30	58	56	44	68	84	20	10	64	36	32	40	126	110
4					20	28	64	54	38	54	30	20	34	46	42	68	96	80
5						30	66	64	40	56	50	40	36	66	62	70	98	82
6							36	34	10	26	58	48	6	42	54	96	68	52
7								12	46	62	36	46	30	20	32	74	104	88
8									44	60	24	34	28	8	20	62	102	86
9										16	68	58	16	52	64	106	58	42
10											84	74	32	68	80	122	42	58
11												10	52	16	12	38	126	110
12													54	26	22	48	116	100
13														36	48	90	74	58
14															12	54	110	94
15																50	122	106
16																	164	148
17																		16
18																		

<표 3> 공정별 데이터 분석표 (S 브랜드)

station	공정명	공정내용	개수 (pallet)	가공시간(s/w) (초/pallet)	인원
1	진공토련 공정	케이크형 원료를 진공기계 에 공기와 기포를 완전히 제거 후 제품 생산의 필요수분과 굵기 도 빼내는 공정	大: 21개 中: 31개 小: 81개	大: 420초 中: 620초 小: 1620초	2명
2	성형작업 공정	석고 형틀과 급형에 의하여 컴퓨터형 무인전자동 및 자동 기계에 의하여 기초제품 생산	大: 315개 中: 744개 小: 972개	大: 4410초 中: 7440초 小: 7776초	3명
3	1차검사 공정	초별구이가 끝난 제품을 각 공정별 품질검사원이 제품의 이상 유무를 한 piece 별로 세밀하게 검사하는 공정	大: 470개 中: 1200개 小: 1600개	大: 423초 中: 1080초 小: 1440초	3명
4	외주대기 공정	전사지부착과 2차소성을 위해 외주주기위해 적재하는 공정	上 同	上 同	15명
5	2차소성 공정	외주에서 들어온 전사지 부착 제품을 각제품에 필요한 무늬 만 완전 용착 시키는 공정	大: 112개 中: 224개 小: 420개	大: 1440초 中: 1440초 小: 1440초	6명

4.3.2 시뮬레이션을 위한 데이터
 H사의 각 공정별 제품별 수량과 가공시간 및 소요인원은 아래 <표 3>과 같다.

SIMAN 시뮬레이션 수행을 위한 입력요소는 다음과 같다.

- 1) 입고물품
 - 각 물품당 소요시간
 - 하루 몇시간,
- 2) 사용된 AGV 파라미터는 국내 S 기계의 실제 자료로서 다음과 같다.
 - 주행속도
 - 가속도 및 감속도
 - 권상 및 권하시간
 - 선입선출법

<표 4> AGV 사양

구 분		단 위	제원 / 특성	비 고
AGV Type			Uni-Direction	Single
Load Pick-Up Time		Sec	14.5	
Load Set Down Time		Sec	14.5	
AGV 수		대	1	
주 행	Acceleration	%	0.45	
	Deceleration	%	0.45	
	Forward Velocity	%	2	전진고속
	Curve Velocity	%	0.8	회전속도

시뮬레이션의 결과는 최적 AGV 대수는 1대로 결정됐다.

4.5 물류시스템의 경제성 평가

생산공정의 설계 및 개조를 할 때 물류시스템의 경제적 측면에 대하여 많은 시간과 노력을 들여 검토를 한다. 일반적으로, 기업의 경영주가 투자를 할 때는 투자가치가 높은 항목에 우선 순위를 둔다. 그러나, 투자에 대한 수익을 판정하는 문제는 그리 간단하지 않지만 좋은 물류 시스템 효과의 일부는 쉽게 예상이 된다. 그러나, 많은 측면에서의 집중적인 고찰이 필요하고, 물류관련 전문가나 생산관리자는 물류흐름과 저장에 대하여 직접적인 운반 및 저장 비용등은 물론 회사의 전체적인 효과를 고려하여야 한다. AGV 도입에 대한 정확한 투자 결정을 하기 위해서는 도입에 따른 비용 요소들이 정확히 파악되어야 한다. 정량적 평가방법에 의한 모델은 기존 생산설비에 대한 무인운반차(AGV) 대안에서 증분 내부수익률(IRR : Incremental Internal Rate of Return)을 기준으로 하는 현금흐름 분석을 이용하여 최적 대안을 선택한다. 무인운반차(AGV)와 같은 새로운 물류시스템을 도입함으로써 노무비감소, 사용공간의 감소, 설계 및 공정변화에 대한 신속한 대응 등의 여러가지 이득을 얻을 수 있는 반면에 이에 대한 투자비가 막대함으로 위험이 수반될 수 있다.

따라서, 본 장에서는 무인운반차(AGV)와 같은 신 물류시스템의 도입에 관하여 경제성 분석에 있어 가장 많이 쓰이는 순현재가 추정 기법으로 중점으로 분석 고찰하여 올바른 분석·평가 방법을 제시하고자 한다. 특히, 무인운반차(AGV)와 같은 신 물류시스템은 고가의 자본비용

(Capital cost)이 소요되므로 의사 결정의 정확성을 높이기 위해 이율 변동에 따른 민감도 분석을 행하고자 한다.

4.5.1 경제성 평가를 위한 기본 가정

- 1) 감가상각 방법으로는 국내에서 적용이 되고 있는 정액법 및 정률법을 선택할 수 있다.
- 2) 1987년 4월에 개정된 조세감면법에 의하여 "국산설비의 경우 투자금액의 10%, 외국설비의 경우 3%를 세액에서 직접 공제하거나 투자금액의 50%(외국설비는 30%)를 현금으로 처리할 수 있다."는 근거에서 투자감면 혜택을 고려한다.
- 3) 미래의 현금흐름을 반영하기 위하여 매년 다른 인플레이션율을 고려한다.
- 4) 각 대안별로 설비의 운용 기간은 서로 다를 수 있으며, 이때 비용 뿐만 아니라 생산품에 의한 수익도 현금흐름에 반영된다.
- 5) 대안들간의 충분 현금흐름에 대한 IRR은 초기 투자비 항목이 연차적인 비용 절감액보다 상대적으로 크므로 유일한 IRR이 존재할 것으로 가정하여 IRR법을 이용한다. 그러나 IRR이 두개 이상 존재할 경우에는 충분 순현재 가치 계산에 의하여 대안을 선정한다.

이상의 기본 가정들을 기초로 하여 경제성 평가를 행한다. 경제성 평가에는 1) 비용 분석 2) 현금흐름 분석으로 나누어 수행된다.

비용분석에서 고려되는 투자초기에 발생하는 비용항목으로는 ① 설비비용 ② 설치비용이 있고, 매년 발생하는 비용 항목으로는 ① 노무비 ② 유지비 ③ 간접비(난방, 조명, 세금, 보험, 수선등)가 있으며 이 밖에 다른 비용 항목들도 고려될 수 있다. 이들 비용 항목들은 다음과 같이 정의되며 계산된다.

① 설비비용 : 기계, 치공구, 운반설비 등을 포함하는 시스템 구성에 필요한 제반 설비에 대한 비용.

② 설치비용 : 설비를 설치하여 가동시키기까지 소요되는 비용으로서 설비설치비, 작업자 훈련비, 설계비, 운영 프로그램 개발비 등을 포함하는 제반 비용.

③ 노무비 : 이 비용은 작업자수, 연간 작업시간, 단위 시간당 임금, 교대수 및 특별급여율 등의 자료로부터 다음과 같이 계산된다.

$$(\text{작업자수}) \times (\text{교대수}) \times (\text{연간 작업시간}) \times (\text{단위 시간당 임금}) \\ \times (1 + \text{특별급여율})$$

따라서 작업자의 변동, 생산율등을 고려하는 복잡한 상황은 피하기로 한다.

④ 유지(정비)비 : 예방정비 계획이 수립 되어 있다는 가정 아래 각 기계에 대한 긴급 정비를 고려하여 모든 기계의 연간 유지비 또는 연간 평균 유지비를 추정하여 (기계수) × (기계당 연간 평균 유지비)로 계산한다.

⑤ 전력비 : 기계를 가동시키는데 소요되는 전력사용에 대한 비용으로서 (기계수) × (교대수) × (연간 작업시간) × (시간당 전력 사용료)로 계산된다.

⑥ 간접비 : 난방, 조명, 소모품, 유지비, 보험, 세금 등으로 매년 소요되는 간접 생산비용으로서, 이를 시스템의 소요 면적당 비용으로 계산하여 새로운 시스템의 도입으로 인한 소요 면적의 감소를 반영한다.

$$(\text{단위면적당 비용}) \times (\text{소요면적})$$

현금흐름 분석은 이러한 비용요소들을 고려하여 각 대안에 대한 비용과 비용절감액을 구한다. 즉, 위의 관계식에 대하여 투자 대안에 대한 초기 투자비와 연간 비용이 계산된다. 이를 기준으로 하여 법인세와 투자감면혜택을 적용하여 실질 연간 비용을 구하고, 여기에 매년의 인플

레이션을 고려하여 현금흐름을 예측한다. 현금흐름을 예측하는데 필요한 계산은 다음과 같다.

- 기존설비의 경우

- 1) 초기 투자비 = 설비의 잔존 가치 + 재공품 재고비
- 2) n차년의 연간비용
 = ((n-1)차년의 연간비용 - 세금 경감액) × (1 + 인플레이션을)
 여기서, 세금 경감액 = 연간비용 × 법인세

- 대체 설비의 경우

- 1) 초기 투자비 = 설비비용 + 설치비용 + 재공품 재고비 - 투자감면혜택
 여기서, 투자감면 혜택 = 설비비용 × 혜택률
 - 2) n차년의 연간비용 = 기존설비의 경우와 동일
 단, 세금 경감액 = (연간비용 + 감가 상각액) × 법인세
- 각 대안의 현금 흐름이 예측되면 IRR을 계산한다.

<표 5> 현재방식과 도전설비에 관한 총비용 자료

구 분	현 재 방 식	도 전 방 식
연 간 비 용	직접비, 간접비, 보수 유지비	
	3,000,000원	5,000,000원
수 명	15년	10년
투자비용		
AGV Machine	없 음	1대 : 75,000,000
PC-7000	"	1식 : 35,000,000
PLD 700	"	15,000,000
고정 적치대	"	9set : 6,300,000
Battery System (load 1,000Kg)	"	1식 : 4,500,000
Track 공사	"	12,400,000
기타 설비	"	7,200,000
		총계 : 119,000,000
년 간 수 입	0	51,900,000
처 분 가 격 (잔 존 가 치)	약간고려 1,000,000	고려 8,000,000

민감도 분석에서 이율을 고려할 때 18% 보다 높을 때는 기존의 방식이 더 우수한 것으로 나타났다. 다른나라에 비해 자본비용이 상대적으로 월등히 높은 우리나라의 현실을 감안할 때 현실적인 타당성이 높지 못하다. AGV 자체가격보다 시스템을 구성하는 주변장비가 2~3배에 달함으로써 AGV 시스템을 도입하는 분야는 현실적으로 자동창고나 혹은 계속적으로 재공품을 이동하는 생산라인에서 국한되어 왔다. 도입 결정을 내리는 의사결정자의 판단은 여러가지 요인이 있을 수 있으나 본 연구에서는 제시된 외적요인의 중요성을 감안하지 않더라도 적어도 AGV를 도입할 수 있는 현실적 여건은 여러 대의 AGV를 운용할 수 있는 분야이어야 할 필요가 있다.

5. 결 론

사례연구를 통한 종합적인 분석을 해보면 공장에 물류분야에서의 인원 절감은 7명으로 획기적인 인원감소를 가져올 수 있으나 AGV와 같은 신 물류시스템이 고가인 이유로 경제성 평가에서는 현실적이지 못하다. 특히 동일한 생산설비라 하더라도 국가별로 임금, 세제, 금융 등의 경제상황에 따라 달리 평가될 수 있다는 기존의 연구에서 밝힌 바와 같이 앞으로 생산라인의 경쟁력 강화 차원에서 정부의 강력한 정책지원이 제시되어야 한다고 본다. AGV와 같은 물류시스템의 주된 목적은 그 자체가 생산량을 증가시키는 것이 아니라 공정간의 이송을 가능하면 24시간까지 계속 반복 수행함으로써 공정의 연결을 원활히 해주는 것이다. 현실적으로, AGV가 사례연구로 제시된 H회사의 도입이 긍정적이지 못한 이유는 아직도 자본비용(Capital cost)이 선진국에 비해 상대적으로 높다는 것이 사실이며 특히, 기회비용의 측면에서 더욱 심하다. 더구나, AGV시스템을 구성하는 부수장비가 워낙 고가인 이유로 댓수가 많을수록 투자비용이 점점 낮아지는 것을 보면 아직도 대기업의 자동창고(AS/RS)에 국한되는 것과 연계성을 고려하지 않을 수 없다. 하지만 장기적인 측면에서 볼 때 무인운반차(AGV)는 많은 분야에 이용이 있으리라 본다.

본 논문에서는 물류시스템 개선을 위한 신 물류시스템의 도입을 위한 대안 평가시 비정량적인 요인 측면에 대하여 평가모형을 구축했고 아울러 선정된 신 물류시스템인 무인운반차(AGV)를 이용해 H사의 실제 도자기 공정에서 최적의 무인운반차(AGV) 대수를 SIMAN으로 시뮬레이션하여 구축했으며 이에 대한 경제성 평가를 행하므로써 향후 우리나라 기업의 물류시스템 개선을 위한 신 물류시스템 도입시 장비선정 및 투자분석의 도움을 줄 수 있도록 하였다.

參 考 文 獻

- [1] Angel R. Almodovar, "Manufacturing Simulators Save Time, Provided Good Data For Layout Evaluation," *I.E.*, June, 1988
- [2] Blair, E. L., P. Charnsethikul, and A. Vasques, Optimal Routing of Drivesless Vehicles in A Flexible Material Handling System, *Technical Report, Texas Tech, University and Rensselaer Polytechnic Institute, U.S.A.*, Novemver, 1985.
- [3] Bozer, Yavuz A. and Mandyan M. Srinivasan, "Tandem Configurations for AGV system Offer Simplicity and Flexibility," *I.E.*, Feb., 1989.
- [4] Choi, R. H. and E. M. Malstrom, "Phsical Simulation of Work Schedulings Rules in a Flexible Manufacturing System," *Proceeding of the 8th Annual Conference on Computer and I.E.*, University of Centrial Florida, Orlando, March, 1986.
- [5] Choobineth, F., "Justification of Flexible Manufacturing Systems," *FMS : Current Issues and Models, I.E. Press*, April, 1985
- [6] Conway, R. W., W. L. Maxwell and L. W. Miller, *Theory of Scheduling*, Addison-Wesley, 1967.
- [7] E. Ralph Sims, *Planning and Managing Industrial Logistics System*, ELSEVIER, 1991
- [8] Ed Frazells, "Suggested Techniques Enable Multi-Criteria Evaluation of Material Handling Alternatives," *I.E.*, February, 1985
- [9] Egbelu, Pius J., "Pull Versus Push Strategy for Automated Guided Vehicle Load

- Movement in A Batch Manufacturing System," *Manufacturing System*, Vol. 6, 1987.
- [10] Egbelu, Pius J. and J. M. A. Tanchoco, "Characterization of Automatic Guided Vehicle Dispatching Rules," *International Journal of Production Research*, Vol. 22, No. 3, 359-374, 1984.
- [11] Egbelu, Pius J. and J. M. A. Tanchoco, "Potentials for Bi-directional Guided-path for a Automated Guided Vehicle Based System," *International Journal of Production Research*, Vol. 24, No. 5, 1075-1097, 1986.
- [12] Egbelu, Pius J. and Nick Roy, "Material Flow Control in AGV/Unit Load Based Production Lines," *International Journal of Production Research*, Vol. 26, No. 1, pp. 81-94, 1988.
- [13] Garrett, S., "Strategy First : A Case in FMS Justification," *Material Handling Engineering*, Jan., 1984
- [14] Gaskins, R. J. and J. M. A. Tanchoco, "Flow Path Design for Automated Guided Vehicle System," *International Journal of Production Research*, Vol. 25, No. 5, pp. 667-676, 1987.
- [15] George K. Hutchinson, P. E., "Flexibility is key to Economic feasibility of Automatic Small Batch Manufacturing," *I.E.*, June, 1984
- [16] Grant, J. W. and S. A. Weinter, "Factors to Consider in Choosing A Graphically Animated Simulation System," *I.E.*, August, 1986.
- [17] Groover, Mikell P., *Automation, Production System, and Computer Integrated Manufacturing*, Prentice-Hall Inc., International ed., 1987.
- [18] Gunnar Lofgren, "Automatic Guided Vehicles Perform As Production Line System," *Industrial Engineering*, November, 1981
- [19] H. Thomas Klahorst, "Flexible Manufacturing System: Combining Elements To lower Costs, Add Flexibility," *I.E.*, November, 1981
- [20] James A. Tompkins & John A. White, *Facilities Planning*, John Wiley & Sons, Inc. 1984, pp. 621-631
- [21] Khaksar, Majid, Evaluation of Automated Guided Vehicle system by Simulation, *MS thesis*, Department of Industrial and Management Engineering, Renne Library, Montana State University, 1988.
- [22] Law, Arvil M., "Introduction to Simulation : A Powerful Tool for Analyzing Complex Manufacturing System," *I.E.*, May, 1986.
- [23] Lund, Richard E., *MSUSTAT*, Ver. 3.20, Montana State University, 1986.
- [24] Maxwell, W. L. and J. A. Muckstadt, "Design of Automatic Guided Vehicle System," *IIE Transactions*, June, 1982.
- [25] Maxwell, William L., "Solving Material Handling Design Problems with O.R.," *Industrial Engineering*, April, 1981.
- [26] Morgan, Frederick C., Jr., "Design An Optimum Flow In-process Handling System," *I.E.*, April, 1981.
- [27] Newton, Dave, "Simulation Model Calculates How Many Automated Guided Vehicles are Needed," *I.E.*, Feb., 1985.
- [28] Pedgen, C. D., *Introduction to SIMAN/CINEMA*, Systems Modeling Co., State College, Pa., 1987.
- [29] Satty, T. L., *A Mean-Variance Synthesis of Corporate Finance*, March, 1973.

- [30] Satty, T. L., *The Analytic Hierachy Process*, McGraw-Hill, New York, 1980.
- [31] Srinivasan, V. and R. Millen, "Evaluating Flexible Manufacturing Systems as a Strategy Investment," *Proceeding of the 2nd ORSA/TIMS Conference on FMS*, 1985.
- [32] Suresh and Meredith, "Justifying Multimachine Systems," *Journal of Manufacturing Systems*, Vol. 14, No. 2, 1985.
- [33] 강영식, 함효준, "공장자동화를 위한 FMS의 경제성평가에 관한 연구", *품질관리학회지*, Vol. 19, No. 1, 1991.
- [34] 김성연 외, "유연생산 시스템(FMS)의 경제성 평가에 대한 문헌고찰", *산업공학회지*, Vol. 13, No. 2, 1987.
- [35] 박태형, 김승권, 강석현, 김성연, "유연생산시스템(FMS:Flexible Manufacturing System)의 용량확충을 위한 이산적 최적제어 모델", *산업공학회지*, Vol. 14, No. 2, 1988.
- [36] 이문섭, 이상용, "시뮬레이션에 의한 AGV 최적대수 결정", *산업공학회지*, Vol. 16, No. 1, 1990.
- [37] 장성용, 박진우, "시뮬레이션 기법을 이용한 컨테이너 터미날의 운영시스템 결정", *산업공학 인터페이스*, Vol. 1, No. 1, 1988.
- [38] 함효준, *경제성 공학*, 개정판, 박영사, 1994.