

# 통합생산시스템의 설계를 위한 물류시스템의 성능 및 비용분석 모델의 연구

## A Study on Performance and Cost Analysis Model for Material Handling Systems in FMS Design

황 홍 석 \*

동의대학교 산업공학과  
부산시 부산진구 가야동 산24,  
Tel : 890-1657, Fax : 890-1619,  
E-Mail : hshwang@hyomin.donggeui.ac.kr

### Abstract

통합생산시스템의 최적설계를 위하여 이의 생산공정(Manufacturing Process)과 물류시스템(Material Handling System)은 두 가지 중요한 요소이다. 본 연구에서는 물류시스템의 성능 및 비용을 분석을 위하여 제품의 생산계획(Production Control & Scheduling), 설비배치(Layout) 및 물류시스템(Material Handling System) 등을 고려하였다. 본 연구의 주요 목적을 통합생산시스템을 위하여 물류시스템 성능의 최적화와 경제적인 분석을 통하여 최적 물류시스템의 선택에 두고 다음 주요 내용들을 포함하였다: 1) 주요 입력 자료로서 통합생산 장비의 배치(Layout), 공정, 생산제품의 예측, 물류시스템 대안 등이 주어지고, 2) 이를 이용하여 각 물류시스템의 대안별 성능 및 비용 등을 비교 분석하고 최적 물류시스템을 선정한다. 본 연구를 위한 성능 및 비용분석을 위한 전산프로그램을 개발하고 이를 활용한 사례를 들어 보였다.

Key word : Material Handling System, Performance and Cost Analysis.

### 1. 개요

제조물류시스템(Material Handling)은 통합생산시스템의 설계에서 중요한 부분 중의 하나이다. 본 연구에서는 통합생산시스템의 설계를 위한 물류시스템 대안의 성능 및 비용 분석 모델의 연구로서 통합생산시스템의 설계 대안 분석의 기본이 된다. 본 연구에서 고려한 통합생산시스템은 생산계획(Production Control & Scheduling)과 설비위치(Location) 및 물류(Material Handling) 등 기본 구성요소로부터 제조공정(Process)과 재료 및 부분품(Materials) 등을 통해서 최종제품(Product)이 생산되는 시스템을 고려하였다. 지금까지의 대부분의 연구들이 위의 각 개별 구성요소에 관한 연구들이 수행되어 왔으며 이에 따른 최적설계의 결과도 각 요소의 연관관계를 고려하지 못한 개별 최적 하에 국한되고 있는 실정이다. 본 연구는 이러한 통합생산시스템의 설계 대안의 평가를 위하여 물류시스템을 중심으로한 성능 및 비용 분석의 관점에서 물류

시스템의 내·외적 요인들을 고려한 성능 및 비용평가 모델을 개발하였다. 본 연구에서 고려한 물류시스템 설계 문제의 내·외부 기능들의 연관관계를 그림 1과 같이 요약하였다.

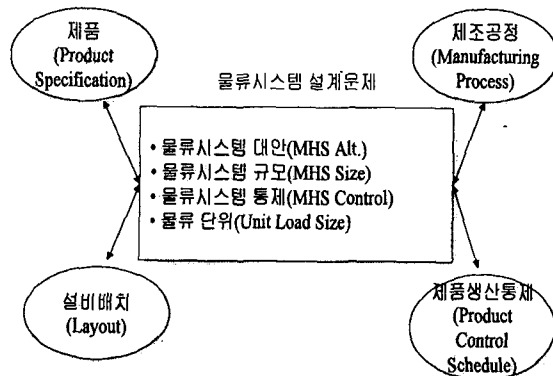


그림 1. 물류시스템 설계 요소의 연관도

본 연구의 목적은 통합제조공정시스템에서의 제품, 제조공정, 설비배치 및 제품생산통제 등과 연관관계를 고려한 물류시스템의 성능(Performance) 및 비용(Cost)을 분석하기 위한 모델의 개발이다. 본 연구에 고려된 주요 연구 분야를 요약하면 다음과 같다.

- 통합생산시스템의 설계차원에서 관련요인들을 고려한 통합설계 방법
- 물류시스템의 성능(Performance) 분석
- 물류시스템의 비용효과 분석
- 물류시스템의 성능 및 비용분석을 통합하여 최적대안설계에 응용
- 각 물류시스템대안에 따른 설계 요인들의 효과 분석

물류시스템의 성능 및 비용분석모델의 연구는 시스템 공학적인 설계와 이의 설계개념과 밀접한 관계가 있다. 이를 요약하면 그림 2와 같다. 이와 같이 공학설계(Engineering Design), 제조시스템설계(Mfg system Design) 및 경제적인 최적화 등의 접근 방법이 본 연구에서 고려된 방법들이다.

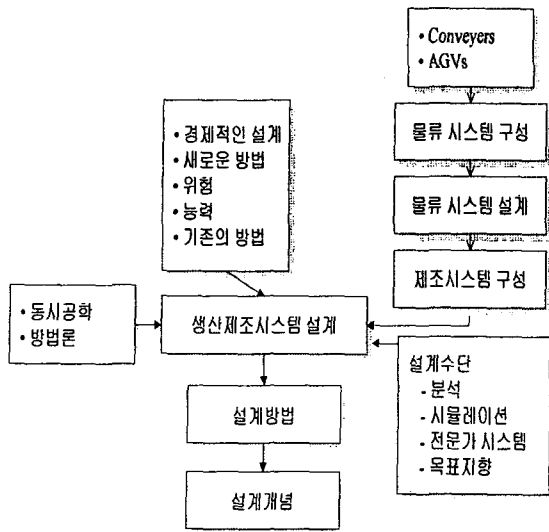


그림 2. 설계와 관련된 분야 및 최적화

### 3. 물류시스템의 최적설계 및 평가

공학설계의 최적화 개발의 개념이 최근의 Computer 시뮬레이션 및 각종 분석기법의 개발 등으로 설계 상세 기준 및 제한사항으로부터 통합설계 단계를 거쳐서 개발 시스템의 성능분석단계와 비용 및 경제성 분석 단계를 거치든 단계들 중에서는 성능평가와 비용분석 단계를 동시에 수행하고 설계성능 및 비용의 동시분석(Concurrent Design Performance and Economics)의 단계를 거치게 하므로 매우 효과적인 설계 과정을 추구하고 있다. 이를 요약하면 다음 그림 3과 같다.

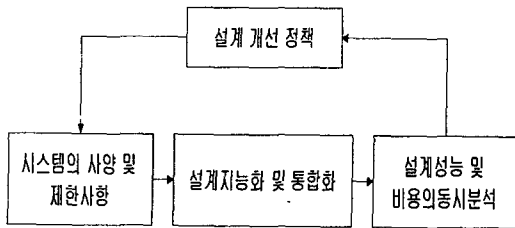


그림 3. 최적 설계의 흐름도

본 연구에서는 물류시스템(MHS)의 최적설계를 위한 분석 개념을 정리하고 최적설계 분석 모델을 제안하였다. 먼저 물류시스템의 최적 선정을 위한 분석과, 다음으로 물류시스템의 상세 설계와 전체 제조시스템 간의 연관관계를 설명하고 세 번째로 물류시스템 설계의 주요 요소들을 분석하고 실제 물류시스템 설계와 흐름 접근(Procedural Approach) 방법을 제시하였다. 실례를 들어 최적 물류시스템 설계 및 분석과정을 예를 들어 보았다.

#### 3.1 물류시스템 설계 분석 절차

물류시스템의 설계 분석을 통합제조시스템의 설계 개념에 따라 이루어지며 제조시스템 설계의 한 부분으로 타 기능들과 서로 연관 관계를 가진다. 그림 4에서 이러한 관계를 표시하였다. 본 연구에서 고려한 물류시스템의 설계 분석을 위한 절차를 다음 3개 단계로 요약할 수 있다.

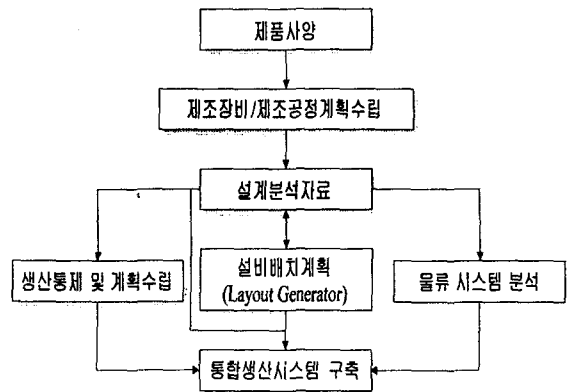


그림 4. 통합생산시스템 설계 흐름도

첫째가 고려된 통합생산시스템의 설계 자료의 생성과 연계하여야 하며, 다음으로 물류시스템의 대안을 도출하고 마지막 단계로 각 물류시스템 대안을 분석하고 최적 대안을 선택한다.

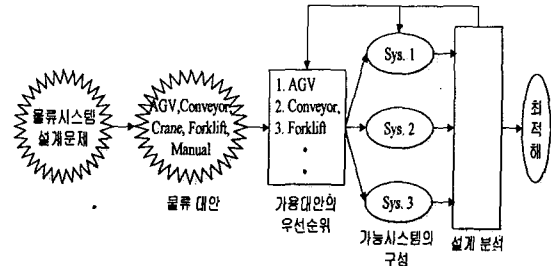


그림 5. 물류시스템 설계 분석 개념도

위의 물류시스템 설계 분석 개념도에 따라 주어진 통합생산시스템의 자료로부터 물류시스템의 설계 분석을 위한 논리 흐름 도를 그림 6과 같이 요약하였다.

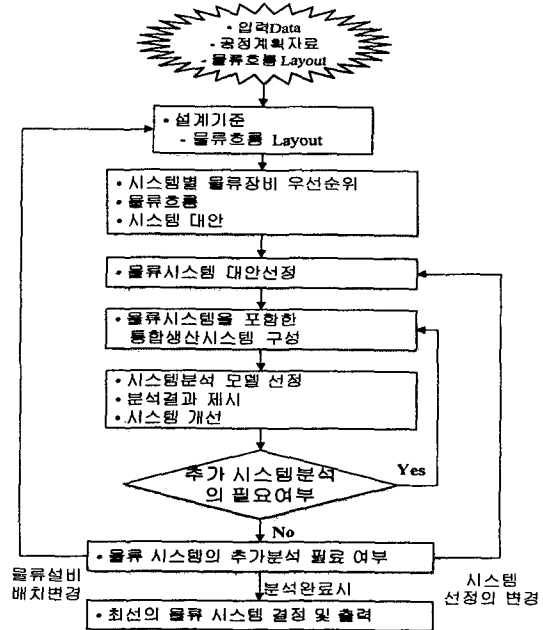


그림 6. 물류시스템 설계 분석의 논리 흐름도

### 3. 2 물류시스템 설계 분석

본 연구에서 고려된 물류시스템을 자동화 정도 (GIA : Grade Index of Automation)에 따라 다음과 같이 4가지 주요 분야(Type)으로 구분하고 각 분야에서 일반적으로 많이 사용되고 물류 장비를 표 1에서와 같이 구분하였다.

표 1. 물류장비 분류

| 장비 Type       | 장비 (수준)  |
|---------------|--|
| -인력운반(Manual) | · 인력으로 운반 (장비비 활용)   |
| -트럭           | · 수동 조정 장비<br>· 팔레트 이용<br>· 중력이용 상하차 차량<br>· Forklift 상하차<br>· 트랙터-트레일러시스템 |
| -컨베이어         | · 중력컨베이어<br>· 중력-롤러 컨베이어<br>· 파워 벨트 컨베이어<br>· 동력롤러 컨베이어                    |
| -자동운반차량(AGV)  | · 단위화물 취급 시스템<br>· 포크립트 시스템<br>· 트랙터-트레일러 시스템                              |

### 3.3 물류시스템의 성능 분석.

물류시스템 대안의 통합생산시스템에서의 성능을 분석하기 위하여 여러 가지 방법들을 고려할 수 있겠으나 본 연구에서는 Solberg[7]의 CAN-Q Mode로부터 확장 연구한 CAN-WIP모형을 이용하였으며 이를 확장하여 각 생산시스템 대안과 물류시스템 대안을 고려하여 최적 생산 시스템 능력을 만족하는 물류시스템의 성능을 분석하였다. 이를 위하여 먼저 제조공정, 공정계획, 단위 Load 등과 같이 물류장비 대안의 자료로부터 시스템의 목표성능(Object Performance)을 만족하는 시스템을 구하였으며 이의 과정을 그림 7에서와 같이 표시하였다.

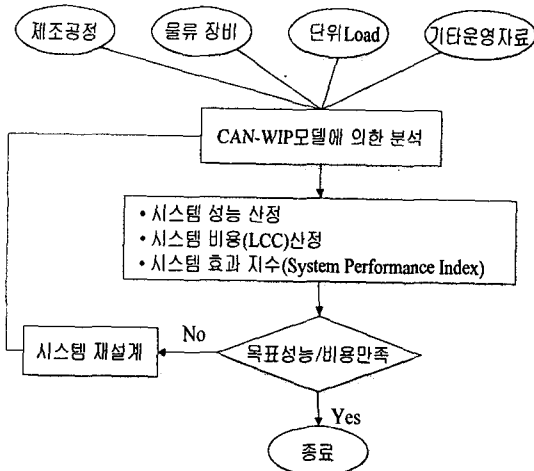


그림 7. CAN-WIP모델의 논리 흐름도.

여기서 고려된 시스템 비용을 순기비용(Life Cycle Cost : LCC)의 개념을 도입하였으며 순기비용 요소를 다음과 같이 고정비와 변동비로 구분하고 정비비 및 간접비를 고려하였다. 시스템의 순기비

용 개념과 비용 요소 및 이의 산정을 위한 비용계산식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \text{TSCCT} &= \text{고정비} + \text{변동비} \\ &= \text{고정비} + \text{수정정비비} + \text{총 예방 정비비} \\ &\quad + \text{간접비} \end{aligned}$$

$$= C_A + \sum_{j=1}^n C_j(t) + B_j * CP_j(t) + \text{LCOS}$$

$$C_A = C_F + \sum \sum \text{CAP}_j * \text{Exp}(-rI_{ji})$$

$$\text{LCOS} = \sum \alpha_1 * C_j(t) + \alpha_2 * B_j * CP_j(t)$$

$$\begin{aligned} \text{TLCC} &= C_F + \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^{M_j} \text{CAP}_j * [\text{Exp}(-rI_{ji})] + \sum_{j=1}^n \alpha_1 * \\ &\quad \sum_{K=1}^{N_j(t)} a_j * V_{jk} \text{Exp}[-rT_{Kj}] + \sum_{j=1}^n \alpha_2 * B_j \sum_{i=1}^{K_j(t)} \\ &\quad Y_{ji} \text{Exp}[-rT_j] \end{aligned}$$

여기서,  $C_F$  : 초기 시스템 투자비,  
 $C_j(t)$  : 총 정비비,  
 $B_j$  : 1 or 0 (예방정비시 1),  
 $CP_j(t)$  : 총 예방 정비비,  
 $\text{LCOS}$  : 총 물품지원비,  
 $\text{CAP}_j$  : j 부분품의 획득비용,  
 $\alpha_1, \alpha_2$  : 수정 정비비용 비율, 예방 정비비용 비율,  
 $r$  : 이자율,

$I_{ji}$  : 현 시점과 j Component의 i부분품의 단위 획득사이의 시간간격,

$Y_{ji}$  : i번째 예방정비를 위한 j Component의 Down시간(확률변수).

여기서 최선의 물류시스템 설계를 위한 분석을 그림 8에서와 같이 각 시스템 구성대안과 이의 파라미터 들로부터 시스템의 비용 및 성능을 계산하여 목표 성능을 만족하는 최선의 물류시스템을 선정하

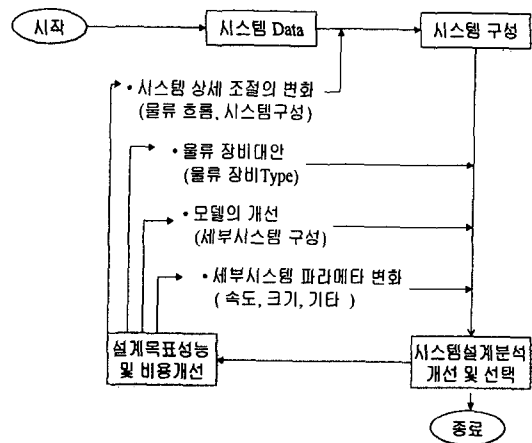


그림 8. 물류시스템 설계 분석 전략

는 논리를 표시하였다. 물류시스템의 성능분석(Performance Measure)을 위하여 다음과 같은 4가지 주요 내용들이 분석된다.

- 물류시스템 대안을 전체 생산 시스템의 목표 성능을 만족하는 범위 내에서 특정된다.
- 시스템 사용률(Utilization Rate)에 따라 시스템 비용 및 성능과 연계된 분석을 한다.

- 시스템 목표 비용을 만족하는 범위에서 최소의 단위비용의 시스템을 선정한다.
- 시스템 응용성(Flexibility)이 큰 대안을 선정한다.

#### 4. 설계 분석 모델의 응용

물류시스템 설계 분석은 크게 물류시스템의 Type과 각 Type 별 물류장비 소요를 구하는 문제이다. 이를 위하여 먼저 이를 사용하는 통합생산시스템의 목표성능과 비용을 만족하는 범위 내에서 구하여야 한다. 먼저 물류시스템 대안에 따른 분석 시스템 구성을 다음과 같이 가용 물류장비 대안에 따라 구분할 수 있다.

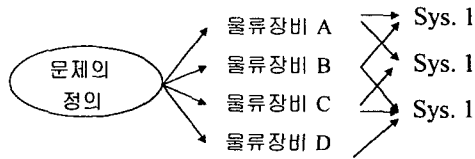


그림 9. 물류시스템 대안 설정

본 모델의 응용 사례를 위하여 중간 재고품 저장능력을 무한대로 가정하고 다음과 같이 6개의 작업(W/S)과 각 작업장의 소요 작업시간과 설치비용 등 관련 자료가 주어졌으며 이 시스템의 목표 성능은 5 unit/Hr

표 2. 입력 data

| W/S   | 획득비 | 생산제품가공 |    |
|-------|-----|--------|----|
|       |     | 시간     | 빈도 |
| W/S#1 | 250 | 14.17  | 1  |
| W/S#2 | 500 | 9.17   | 1  |
| W/S#3 | 200 | 3.22   | 1  |
| W/S#4 | 500 | 23.2   | 1  |
| W/S#5 | 200 | 17.23  | 1  |
| W/S#6 | 150 | 15.50  | 1  |

표 3. 물류장비 Data

| 대안 | 장비Type                  | 규격                                     | 획득비용     | Flexibility |
|----|-------------------------|--|----------|-------------|
| #1 | Powered Roller Conveyor | 속도: 60 ft/min<br>연장: 323pft            | 74,443.8 | 607.4       |
| #2 | Fork Lift Truck         | 속도: 400ft/min<br>수량: 6                 | 118,011  | 600.0       |
| #3 | AGV                     | 속도: 200ft/min<br>수량: 6<br>가능거리: 8940ft | 144,003  | 337.5       |

위의 3가지 물류시스템 대안 중 목표 시스템 성능 5 unit/Hr을 만족하는 최소 비용의 대안을 선정하기 위하여 본 연구에서 개발된 분석 과정을 따라 산출한 결과를 요약하면 표 4와 같다. 본 예제의 경우 목표 성능 5 unit/part를 만족하는 물류시스템의 설계 기준은 6대의 powered roller conveyor system이 6개의 구성으로 시스템 사용률 0.95로 가장 높으며 단위 생산품의 비용이 103.25 1,000/unit로서 최선의 물류시스템으로 선정할 수 있으며 이때의 중간 제공품은 전체 12단위 (3,0,1,5,2,1)로서 최선

의 조건을 갖추었다.

표 4. 물류시스템 대안별 설계분석결과(요약)

| 물류시스템대안                         | #1<br>Conveyor | #2<br>Truck   | #3<br>AGV       |
|---------------------------------|----------------|---------------|-----------------|
| · 시스템구성                         | (4,1,2,4,1,5)  | (4,1,2,4,1,5) | (4,1,2,4,1,5)   |
| · 물류장비수량                        | 9              | 6             | 6               |
| · 생산능력<br>(시스템성능)               | 5.08           | 5.3           | 5.9             |
| · 시스템사용률                        | 0.87           | 0.95          | 0.92            |
| · 단위생산비용<br>(Average Cost/Part) | 115.33         | 103.25        | 195.21          |
| · WIP                           | (3,0,1,10,5,3) | (3,0,1,5,2,1) | (3,7,10,12,9,2) |

#### 5. 결론

본 연구에서는 통합생산시스템 최적설계를 위하여 최선의 물류시스템을 구성하기 위한 설계분석 모델을 개발하였다. 고려된 통합생산시스템의 입력 자료로부터 최선의 물류시스템 대안을 구하기 위하여 시스템의 성능(Performance)산정과 이 경우의 생산제품단위? 비용을 산정하여 시스템 목표 성능을 만족하고 최선의 물류시스템을 선정하는 과정을 개발하고 이를 위한 전산프로그램들을 개발하였다. 이를 이용한 6개 작업장과 3개의 물류시스템대안의 예제를 분석하고 그 결과를 보았다. 실제 문제에 고려되는 여건을 고려할 수 있도록 확장 연구할 경우 물류시스템설계 분석에 유용한 모델로 활용될 수 있으리라 생각된다.

#### 참고 문헌

- [1] Alberti, N., S. Noto La Diega, A. Passannanti, "Cost Analysis of FMS Throughput." Annals of the CIRP, vol. 37, no. 1, pp. 413-416, 1998.
- [2] Davis, J.R. and S. Chang, Principles of Managerial Economics, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1986.
- [3] Diaz, I. and S. Lezman, "Material Handling Simulation: Minimizing Bottlenecks and Improving Product Flow Using Lotus 1-2-3," Industrial Engineering, Vol. 20, no. 6, pp. 40-46, 1988.
- [4] Egbelu, P.J., "Machining and Material Flow System Design for Minimum Cost Production." International Journal of Production Research, vol. 28, no. 2, pp. 353-368, 1990.
- [5] Hwang Heung-Suk, "A Model for Army Life Cycle Cost Analysis: ALLA Model", ADD Rep., Jan., 1986.
- [7] Solberg, J., "Optimal Design and Control of Computerized Manufacturing systems", Proceedings, AIIE Systems Engineering Conference, Boston, Mass, Dec., 1976.
- [8] Solberg, J., "Analysis of Flow Control in Alternative Manufacturing Configurations". Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control, Sept., 1980.