

# 柔軟生産시스템에서의 버퍼시스템 設計

## Buffer System Design in the Flexible Manufacturing System Environments

강 희 정\*  
김 환 성\*\*  
조 남 호\*

### Abstract

The determination of appropriate buffer capacity is an important issue in the design of the advanced manufacturing systems and closely related to the system efficiency and flexibility. Work-in-process is usually not desirable. However, in reality, maintaining some capacity of buffer storage is inevitable in compensation for the machine blocking and break down. The objective of this paper is to present analytical methods and tools for the buffer capacity planning in the Flexible Manufacturing System Environments. The effects when machine blocking is critical factor are also discussed.

### 1. 序 論

柔軟生産시스템 方式(Flexible Manufacturing Cell; FMC, Flexible Manufacturing System; FMS) 등과

같은 進歩된 形態의 生産시스템 들이 공통적으로 指向하는 것은 높은 機械效率(Machine Utilization), 準備作業時間(Set-Up Time)의 短縮, 生産흐름時間(Flow Time)의 短縮, 높은 品質, 빠른 市場變化에

\* 建國大學校 産業工學科

\*\* 三星航空 産機事業本部

대응한 多品種 小量生産시스템 構築 등을 들 수 있다. 이러한 目的들을 달성하기 위해서는 FMC, FMS를 構成하고 있는 복잡한 하드웨어와 소프트웨어의 構成을 얼마나 效率的으로 결합하느냐에 달려 있다. 따라서 이러한 問題들을 合理的이며 體系的으로 解決하기 위해서는 計劃段階에서 시스템의 分類와 追求하고자 하는 目標의 效果的인 解法에 대한 研究가 必要하다. Van Looveren(12), Kalkunte 等(7)이 이러한 問題에 대한 階層的(Hierarchical) 分類에 대하여 論하였다. 또한 이러한 문제들에 접근하는 모델링 方法으로는 1) 待期行列 네트워크(Queuing Network), 2) 數學的 모델(Mathematical Programming), 3) 시뮬레이션(Simulation) 등이 주로 사용되는 이외에도 Petri-net(8), Mean Value Analysis(11), Perturbation Analysis(13) 등의 모델링 方法이 研究되었다. 本 研究의 目的은 FMC나 FMS와 같은 進歩된 形態의 시스템 效率에 큰 영향을 주는 設計段階의 目的函數中的 하나인 버퍼在庫의 特性에 대하여 살펴보고 待期行列 네트워크와 시뮬레이션을 利用한 버퍼시스템 모델링의 近似的 解法을 提示하는 데 있다.

## 2. 버퍼시스템의 特性

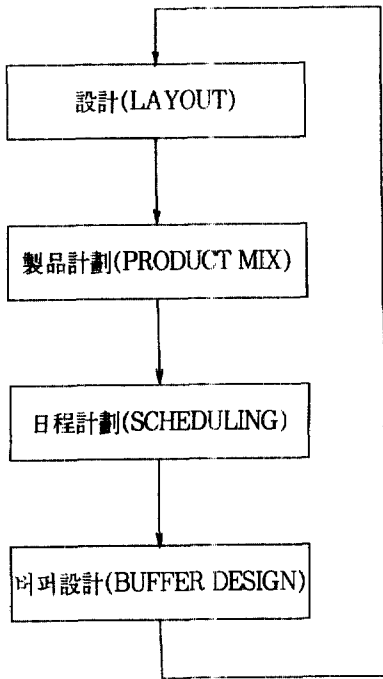
生産시스템에서 어떤 形態의 在庫도 理想的으로

는 不必要하다. 그러나 現實的으로 在庫의 存在가 生産성의 側面에서 필수불가결한 경우가 있는데 버퍼在庫가 그것이다. 버퍼在庫는 生産시스템에서 두 가지 이유 때문에 그 필요성을 說明할 수 있는데 첫째는 機械故障(Machine Break Down)의 영향을 감소시키기 위한 것이고, 둘째는 加工時間의 變動에 의한 機械干涉(Machine Blocking)의 영향을 감소시키기 위한 것이다. 그러나 버퍼在庫를 두게 되면 그 크기만큼의 設置費用과 管理, 運用費用이 발생하고 소요면적이 필요하게 되므로 버퍼在庫의 適正크기 문제가 제기된다. 버퍼在庫의 크기 결정 문제는 FMC나 FMS와 같은 自動화된 工場에서는 初期投資費에 대한 經濟的 側面뿐 아니라 최근 主要 시스템化 目標로 고려되고 있는 無人化 作業時間의 연장과도 관련이 있으므로 設計段階에서 重要的 問題로 대두되고 있다. 이러한 버퍼在庫問題에 대한 既存의 主要 研究로는 Buzacott(2), Buzacott와 Hanifin(3), Buzacott와 Shanthikumar(4), Yao와 Buzacott(14), Okamura와 Yamashina(9), Gershwin와 Schick(6), Atioko와 Stidham(1), Yao(15), Park와 Steudel(10) 등의 研究가 進行되어 왔는데, Park와 Steudel(14)은 既存의 研究들이 버퍼問題를 하나의 獨立的인 問題로 보고 階層的的要求(Hierarchical Order)를 고려하지 못했다고 지적하고, 버퍼在庫의 크기가 加工順序와 밀접한 관련이 있는 것을 分散分析(The Two-way Analysis of

Variance)을 이용하여 보여 주었다.

### 2.1 버퍼시스템의 階層的 構造

序論에서 언급한 FMC나 FMS의 計劃段階의 分類에 의한 시스템설계와 위와같은 버퍼시스템의 特性을 고려한 效率的 버퍼在庫의 크기결정 節次는 (그림 1)과 같이 나타낼 수 있다.



(그림 1) 버퍼시스템의 設計節次

初期 設備配置計劃에 의해 Common Buffer 시스템을 운영할 것인지 Local Buffer 시스템을 운영할 것인지가 결정되면 製品生産計劃에 의해서 어떤 제품을 얼마큼 生産할 것인가 결정되고, 이를 토대로 어떤 제품을 어떤 加工經路로 生産할 것인가를

決定하게 된다. 이러한 計劃이 수립되면 適正 버퍼 시스템의 크기가 決定되고 이를 다시 피드백시켜 最終 設備配置計劃에 반영하는 節次를 갖게 된다.

### 2.2 버퍼시스템의 모델링 概念

버퍼시스템의 결정요인으로 작용하는 機械故障과 機械干涉이 시스템에 미치는 影響은 다음과 같이 說明할 수 있다. 만일 製品 A가 Loading - 機械 1 - 機械 2 - 機械 3 - Unloading의 順序로 加工이 되는 工程이 있다면, 버퍼在庫가 없을 경우 機械 2에 故障이 생겼을 때 製品 A는 機械 2가 補修完了될때까지 製品의 生産이 중단된다. 그러나 機械 2의 버퍼在庫가 存在한다면 加工순서는 Loading - 機械 1 - 버퍼 - 機械 3 - Unloading의 順序로 계속 公정이 이어질 수 있다. 따라서 버퍼在庫는 機械故障으로 인한 生産量 감소를 보상해 줄 수 있다. 이러한 개념에 의해서 機械故障의 確率이 증가하면 이와 比例해서 生産量 감소를 보상해 줄 수 있는 버퍼在庫가 증가한다고 할 수 있는데, 버퍼在庫의 증가는 設備費用의 增加와 管理運用費의 增加를 가져오게 되므로 이는 서로 보상(Trade Off) 관계에 있기 때문에 線形計劃法에 의한 最適化 모델링도 可能하다.

機械干涉은 日程計劃(Scheduling), 機械負荷 등과 관련이 있다. 투입되는 물량이 加工처리되는 물량보다 많을 경우 待期가 發生하게 되는데 이는

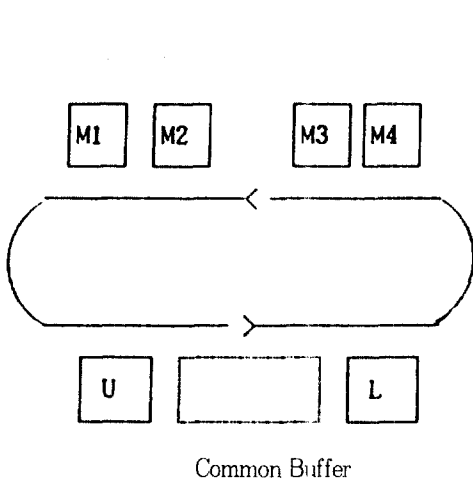
버퍼시스템의 버퍼在庫로 처리될 수 있다. 만일 이러한 버퍼공간이 존재하지 않을 경우 待期가 發生하는 앞 工程은 뒤 工程에 영향을 미치게 되나 버퍼공간이 존재한다면 待期物量은 버퍼공간에서 처리하고, 該當機械의 負荷가 감소되었을 때 버퍼在庫를 처리하면 되므로 生産量의 增加와 機械效率를 증가시키는 역할을 한다. 本 研究에서는 버퍼在庫決定에 機械干涉을 主要 考慮事項으로 包含시키고자 한다.

2.3. 버퍼시스템 形態에 따른 效率分析

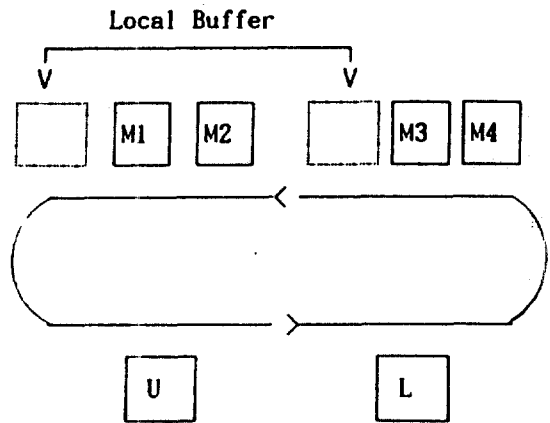
버퍼시스템은 運營方法에 따라 (1) Common Buffer시스템, (2) Local Buffer시스템으로 나눌 수

있는데 어떤 시스템을 導入할 것인가도 설계상에서 重要한 問題가 될 수 있다. Common Buffer시스템은 버퍼시스템을 공동으로 관리하므로 設備面積의 效率的 運營과 作業日程의 조정 역할을 수행할 수 있어 시스템의 柔軟性과 效率性 面에서 各 機械에 해당하는 各各의 버퍼를 가지는 Local Buffer 시스템보다 有利하다. 그러나 Common Buffer시스템은 Local Buffer시스템보다 많은 移動時間을 要求하고 이로 인한 資材移動設備 負荷增加의 短點이 있다.

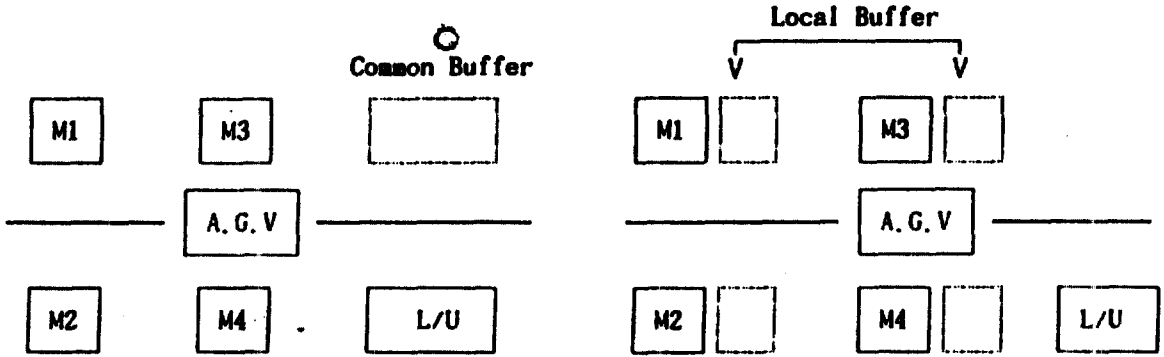
여기에서는 <그림 2-a>와 <그림 2-b> 형태의 Free Flow Line과 <그림 2-c>, <그림 2-d>와 같은 Job-Shop형의 FMC에서의 버퍼시스템 형태에 대한 比較를 시뮬레이션을 利用하여 分析하였다.



(a) Common buffer in Free Flow Line



(b) Local Buffer in Free Flow Line



(e) Common Buffer in Job Shop

(d) Local Buffer in Job Shop

L=Loading Station, U=Unloading Station, M=Machine

〈그림 2〉 FMC의 構成圖

〈그림 2-a, 2-b〉의 Free Flow Line은 컨베이어를 利用하여 加工對象物을 移動시키는데 버퍼가 없는 경우 加工서비스를 받지 못한 加工對象物은 서비스를 받을 때까지 컨베이어에 의해서 循環移動을 하게 되고, 〈그림 2-c, 2-d〉의 FMC는 1대의 Stacker Crane형 주차대행차에 의해서 一定한 加工順序에 따라 加工物이 移送된다. Free Flow Line의 시뮬레이션은 先工程과 後工程間의 加工時

間의 標準偏差 差異의 變化에 따라서 실시하였고, Job-shop은 各 工程의 加工時間의 分布(指數分布, 均等分布)에 따라서 실시하였다. 이는 Free Flow Line과 Job-shop의 實際 生産形態의 特性을 반영하기 위함이다. 對象모델에 따른 시뮬레이션 條件은 〈表 1〉과 같고 시스템이 安定狀態에 도달하는 상태의 데이터만을 수집, 분석한 결과는 各各 〈表 2〉, 〈그림 3〉과 같다.

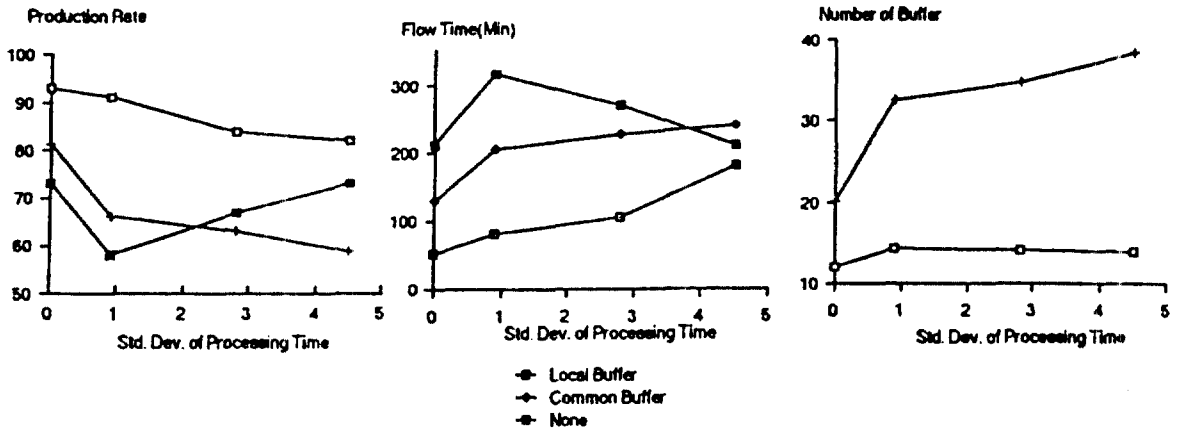
〈表 1〉 시뮬레이션 條件

對象 모델	시스템 效率 範圍	加工 時間 範圍	모 델 수
Free Flow	40~100%	2~15(분)	120
Job-shop	40~ 85%	30~60(분)	60

〈表 2〉 Job-shop에서의 結果

Buffer	加工分布	生産量(分)	Flow Time(分)	Buffer 需要量
Local Buffer	指數分布	547.3	367.3	30.1
	均等分布	559.1	207.5	10.3
Common Buffer	指數分布	540.5	568.9	20.3
	均等分布	559.3	240.1	5.7
None	指數分布	264.5	25,118.0	—
	均等分布	463.4	8,128.0	—

\* 위 分析데이터는 대상모델의 平均數值임.



〈그림 3〉 Free Flow Line에서의 結果

위 分析에 의하면 Free Flow Line에서는 Local Buffer가 유리하고, Job-shop형의 FMC에서는 Local Buffer에서 흐름시간이 더 짧지만 生産量은 Common Buffer와 비슷하고, 버퍼在庫의 必要數가 적으므로 Common Buffer가 유리함을 알 수 있다. 또한 Free Flow Line에서 Common Buffer는 先工程과 後工程의 加工時間의 標準偏差가 크면 클수록

다른 두 比較 代案들보다 劣等함을 알았다. Job-shop형의 FMC에서는 버퍼의 有無가 흐름시간에 상당히 큰 영향을 미치는 것을 나타내주고 있고, 加工時間의 分布에 따라서도 버퍼요구량이 큰 영향을 받는 것을 알 수 있다. 그러나 Job-shop형의 FMC에서는 Free Flow Line에서와 같이 버퍼시스템의 形態에 따른 生産성의 變化는 크지 않지만

Buffer 有無에 따른 생산성의 變化는 Free Flow Line 以上으로 큰 것을 알 수 있다.

### 3. 機械干涉에 대한 버퍼在庫 크기 決定

作業時間의 多樣性 때문에 機械干涉이 일어나게 되는 데 이때 發生하는 機械干涉의 횟수와 停滯時間은 待期行列理論으로 설명할 수 있다. 따라서 本研究에서는 機械干涉에 의한 Buffer 在庫 크기 決定問題의 解法에 待期行列 네트워크(Closed Queueing Network) 모델을 이용하였다. Closed Queueing Network 모델의 應用에 대해서는 이미 Dalley와 Yao 等(5)이 提示하였는 데, 本研究에서는 이를 버퍼在庫 크기결정에 적용하고, 이의 결과를 시뮬레이션과 比較 分析하였다. Closed Queueing Network를 이용한 버퍼 크기결정 近似解法節次는 다음과 같다.

(1) 對象 모델공정을 (그림 4)와 같은 네트워크 圖表로 나타내고 이를 토대로 (表 3)과 같은 各 工程의 加工經路 確率을 만든다.

(2) (表 3)에 의해서 聯立方程式을 만들고 여기서 各 機械에 投入되는 投入率을 구한다.

(3) 各 機械의 加工時間을 알고 있으므로 모델公정이 Jackson's theorem의 條件(指數分布의 加工時間, 포아슨分布의 到着時隔, 選入選出의 待期法則 安定狀態)을 滿足한다고 가정하면 各 機械의 시스

템 待期數를 M/M/1 待期行列理論을 이용하여 구할 수 있다.

(4) 待期行列 시스템에 n개의 待期가 發生할 確率은 다음과 같다.

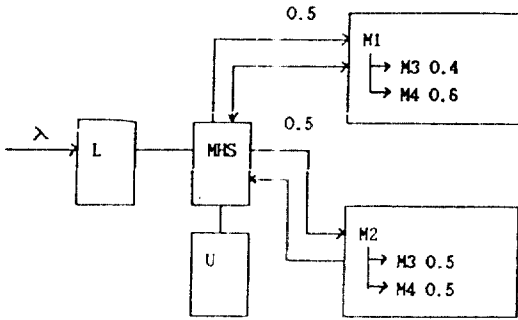
$$P_n = (\lambda/\mu)^n P_0 \dots\dots\dots (1)$$

(여기서  $P_0$ 은 시스템에 待期가 發生하지 않을 確率,  $\lambda$ 는 平均到着率,  $\mu$ 는 平均 서비스率)

Local Buffer의 경우 節次 (3)에서 구한 各 機械에서의 平均待期 횟수를 平均 버퍼 크기로 하고 식 (1)에 의해서 최대버퍼의 크기를 待期發生 確率로서 구한다. 즉, 식 (1)은

$$n = \log(P_n/P_0) / \log(\lambda/\mu) \dots\dots\dots (2)$$

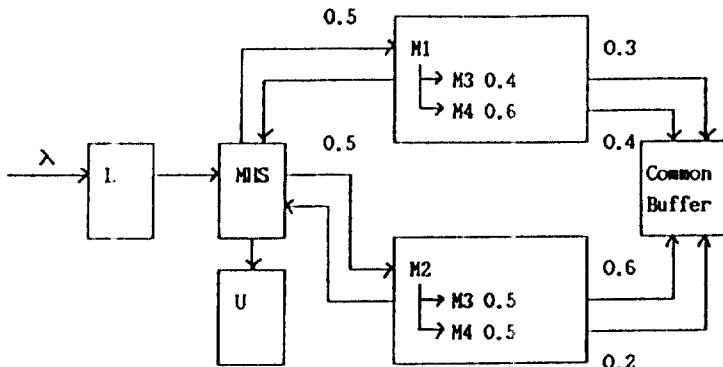
로 變換시킬 수 있으므로  $P_0$ 의 변동에 따른 n을 구할 수 있다. Common Buffer의 경우 待期가 發生할 確率은  $1 - P_0(P_0 = 1 - \lambda/\mu)$ 이므로 待期가 發生할 때 Common Buffer에서 처리한다면 (그림 5)와 같은 네트워크 圖表를 만들 수 있고 이를 토대로 節次 (2), (3)에 의해 Common Buffer를 구할 수 있다.



〈그림 4〉 待期모델 構成圖

〈表 3〉 各工程의 加工經路 確率

	M1	M2	M3	M4	U
L	0.5	0.5	--	--	--
M1	--	--	0.4	0.6	--
M2	--	--	0.5	0.5	--
M3	--	--	--	--	1.0
M4	--	--	--	--	1.0



〈그림 5〉 Common Buffer를 고려한 待期 네트워크

比較分析을 위해 시스템 效率이 30%에서 60% er 시스템으로 하였다. 本 研究에서 導入한 近似解에 있는 8個의 모델을 選定하고, 對象모델의 시스템에 의한 解와 컴퓨터 시뮬레이션과의 比較結果 待期 형태는 〈그림 2〉의 Free Flow Line의 Local Buffer는 〈表 5〉와 같다.

〈表 5〉 比較結果(버퍼在庫 要求量)

(單位: 個)

	시뮬레이션		近似解法			平均시스템 效率(%)
	平均	MAX平均	平均	93%*	95%*	
1	0.12	2.25	0.43	2.48	2.92	44.8
2	0.2	3.75	0.54	2.75	3.2	44.0
3	0.17	2.75	0.18	1.33	1.63	30.0
4	0.2	3.25	0.81	3.26	4.34	53.8
5	0.31	3.5	1.25	5.0	6.6	56.8



6	0.2	3.0	0.32	1.88	2.24	36.0
7	0.7	4.5	1.91	4.4	5.1	60.0
8	0.14	3.0	0.72	3.24	3.78	45.0
總平均	0.26	3.25	0.77	3.1	3.74	46.3

\* n個까지 待期가 發生할 確率이 93%임.

\*\* n個까지 待期가 發生할 確率이 95%임.

本 比較分析에 의하면 Closed Queueing Network 를 이용한 近似解法은 최대치일 경우 93%와 95% 사이의 待期發生 確率에서 시뮬레이션의 解와 近似함을 알 수 있다. 그러나 이러한 確率은 시스템의 效率에 따라 다르게 적용하여야 한다. 시스템效率에 따른 적절한 待期發生 確率을 적용하면 效率的인 解를 구할 수 있는데 이러한 待期發生 確率과 시스템效率에는 一定한 相關關係가 있음을 알 수 있다.

#### 4. 結 論

버퍼시스템이 생산성에 影響을 준다는 것은 序

論에서 열거한 既存의 많은 研究에서도 證明이 되었다. 또한 生産工程의 配置空間의 形態, 生産方法, 日程計劃, 시스템의 信賴度 등에 影響을 받는 것을 알 수 있다. 따라서 위와같은 것들을 고려한 시스템의 設計가 이루어져야 한다. 本 研究에서는 生産 라인의 形態에 따른 버퍼시스템 종류의 比較分析 結果를 提示하였고, 機械干涉에 따른 크기 결정의 近似 解法을 제시하였는데, 本 研究에서 提示된 分析들과 解法들이 버퍼設計의 하나의 모델이 될 수 있을 것으로 기대한다. 向後 補完研究로는 機械故障과 機械干涉 사이의 버퍼在庫에 대한 相關關係에 대한 檢證作業과 設備配置 觀點에서의 分析도 다루어져야 할 것이다.

## 參考文獻

1. Altioke, T. and Stidham, S. (1983), "The Allocation of Interstage Buffer Capacities in Production Lines," IIE Transactions, Vol. 15, No 4, pp. 292~299.
2. Buzacott, J. A. (1967), "Automatic Transfer Lines with Buffer Stocks," International Journal of Production Research, Vol. 5, No. 3, pp. 183~200.
3. Buzacott, J. A. and Hanifin, L. E. (1978), "Models of Automatic Transfer Lines with Inventory Banks: A Review and Comparison," AIIE Transactions, Vol. 10, No. 2, pp. 197~207.
4. Buzacott, J. A. and Shanthikumar, J. G. (1980), "Models for Understanding Flexible Manufacturing Systems," AIIE Transactions, Vol. 12, No. 4, pp. 339~350.
5. Dallery, Y. and Yao, D. D. (1986), "Modelling a System of Flexible Manufacturing Cells," Modelling and Design of Flexible Manufacturing Systems., Edited by Kusiak A., Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, Netherland., pp. 289~300.
6. Gershwin, S. B. and Schick, I. C. (1983), "Modeling and Analysis of Three-stage Transfer Lines with Unreliable Machines and Finite," Operations Research, Vol. 31, No. 2, pp. 354~380.
7. Kalkunte, M. V., Sarin, S. C., and Wilhelm, W. E. (1986), "Flexible Manufacturing Systems: A Review of Modelling Approaches for Design, Justification and Operation," Flexible Manufacturing Systems., Edited by Kusiak A., Elsevier Science Publishers B. V., North-Holland, pp. 3~25.
8. Narahari, Y. and Viswanadham, N. (1984), "Analysis and Synthesis of Flexible Manufacturing System Using Petri Nets," Proceedings of the First ORSA/TIMS conference on Flexible Manufacturing Systems., Ann Arbor, MI.
9. Okamura, K. and Yamashina, H. (1977), "Analysis of the Effect of Buffer Storage Capacity in Transfer Line Systems," AIIE Transactions, Vol. 9, No. 2, pp. 127~135.
10. Park, T. and Steudel, H. J. (1989), "The Need to Consider Job Sequencing Policy when Determining Buffer Capacity for FMC Flow Lines," Proceedings of the Third ORSA/TIMS Conference on Flexible Manufacturing Systems., Edited by Steke K. E. and Suri R., Elsevier Science Publishers B. V., Amsterdam, Netherland, pp. 173~178.
11. Reiser, M. and Lavenberg, S. (1980), "Mean Value Analysis of Closed Multichain Networks," Journal of Acm., Vol. 27., No. 2, pp. 313~322.

12. Van Looveren, A.J., Gelders L.F., and Van Wassenhove, L.N.(1986), "A Review of FMS Planning Models," Modelling and Design of Flexible Manufacturing Systems, Edited by Kusiak A., Elsevier Science Publishers B. V., Amsterdam, Netherland, pp. 3~20.
13. Yao, D. D. (1984), "A Short Tutorial on Perturbation Analysis of Discrete Event Dynamic Systems," Proceeding of First ORSA/TIMS Conference on Flexible Manufacturing Systems., Ann Arbor, MI.
14. Yao, D. D. and Buzacott, J. A. (1985), "Queuing Models for a Flexible Machining Station Part I: The Diffusion Approximation," European Journal of Operational Research, Vol. 19, No. 2, pp. 233 ~ 240.
15. Yao, D. D. (1986), "An Optimal Model for a Flexible Manufacturing System," Flexible Manufacturing Systems., Edited by Kusiak A., Elsevier Science Publishers B. V., North-Holland, pp. 113 ~ 125.