

緩衝在庫를 고려한 生産흐름라인의 最適設計에 관한 研究

A Study on the Optimal Design of Production Flow Line with Buffer Storage

李	相	道	*
金	正	子	**
李	康	雨	***
徐	洵	根	****
李	昌	變	*****

Abstract

In this paper, we present the effect of buffer storage capacity in two-stage transfer lines in such a way as to introduce the production rate to be reduced which is called a Slowed Down(SD) state.

A Markov model is used to establish a formulation for the analysis of the delays associated with the stage to be starved or blocked.

Operating policies are proposed by analyzing the effect of the decision variables such as the production rates, the failure rates, buffer capacities and SD rates through computer simulation experiments.

1. 序 論

製造工程의 自動化는 多段階(multistage)의 工程을 직접 연결한 거대한 生産시스템의 設計와 稼動을 可能하게 하였다. 이러한 거대한 生産시스템은 大量의 資本投資를 필요로 하므로 이와같은 시스템은 각 段階(stage)間的 不均衡化로 인해 일어나는 遊體期間 동안의 機械 혹은 人力(manpower)의 融通性(flexibility)을 고려하여 설계해야 한다.

融通性 부족은 生産 效率의 低下를 초래하여 投資된 資本이 실제의 生産에 使用되지 못하는 經濟的 損失을

가져오므로 이에 대한 解決方法으로 시스템 效率의 全般的인 向上을 達成하기 위한 여러가지 代案중의 하나가 生産시스템의 段階사이에 緩衝在庫(buffer storage)를 設置하는 것이다.

緩衝在庫를 설치하는 理由는 라인 作業時 한 作業場(station)에서의 故障(breakdown)이 全體라인을 멈추게 하는 效果를 減少시키며 週期時期(cycle times)의 變動(variation) 效果를 緩和시키기 때문이다[1].

一般的으로 生産흐름라인의 評價尺度인 效率을 最大化하는 研究는 全體作業量을 多數의 作業場에 可能한 限 均等하게 分配하는 라인 均衡化問題와 라인의 設計와 運營에 관련된 故障과 修理, 緩衝在庫를 包含한 信賴性 問題 接近과 期待시스템 問題 接近으로 區分할 수 있다.

따라서 本 研究는 作業時間의 變動性, 故障과 修理에 의한 作業中斷을 고려하여 自動흐름라인의 設計와 稼動政策을 提示한다.

一般的으로 生産시스템은 作業의 持續性和 利用의 規則性에 의해 連續工程과 斷速工程으로 大別되며, 連

* 東亞大學校 工科大学 産業工學科 教授
 ** 東亞大學校 工科大学 産業工學科 副教授
 *** 國立 釜山水產大學 水産經營學科 副教授
 **** 東亞大學校 工科大学 産業工學科 助教授
 ***** 東亞大學校 工科大学 附設 韓國資源開發研究所 研究員 接受日: 1987. 12. 18.

이 論文은 1986年度 文敎部 大學附設 研究所 支援 學術研究造成費에 依하여 研究되었음.

積工程은 生産品目的 多樣性에 따라 單一模型(single model), 多重模型(multi model)으로 區別되며, 自動化的 정도에 따라 手動흐름라인(manual flow line)과 自動흐름라인(automated transfer line)으로 區分된다.

手動흐름라인에는 後續作業의 完了를 가리는 blocking 現象과 先行作業者의 非能率에 의해 starving 現象이 發生되며 自動흐름라인에서는 作業場의 作業可能한 對象物의 不足으로 starving 現象이 發生된다. 自動흐름라인중에 있는 한 機械의 故障은 部品の 흐름을 中斷시켜 그 다음 工程에 있는 故障나지 않은 機械까지도 作業을 不可能하게 한다.

이에 대한 對策으로 作業場 사이에 內部 在庫領域(bank)을 設置하여 blocking과 starving 現象을 減少시켜 生産率을 向上시키는 方案이 提示되고 있으나 生産라인의 機械 配置에 관한 假定과 待期(stand by) 機械의 設置에 대한 認識不足등으로 인해 실제 現場에서는 適用이 잘 되고 있지 않다.

본 研究에서는 在庫領域(bank)의 容量, 故障과 修理率의 確率分布 등이 全體시스템의 生産率에 미치는 影響을 定量的으로 把握하여 2段階인 경우의 模型樹立과 計算節次를 提示하여 실제 生産시스템 設計時에 반영하도록 하였으며, 故障發生이나 forced down時의 稼動準備費(set up cost)가 發生하는 경우에 이의 費用을 줄이기 위해 生産速度減少(slowed down, SD) 概念을 導入하여 生産量과 費用을 考慮한 稼動政策을 樹立하고자 한다.

또한 提示된 方法의 優越성을 立證하기 위하여 컴퓨터 시뮬레이션을 행하여 結果를 比較 考察하였다.

2. 生産흐름라인의 理論的 考察

2.1 手動흐름라인

手動흐름라인의 라인균형화(line balancing)에 관한 문제의 解決方法으로 最適解를 구할 수 있는 LP, DP, IP등의 解析的인 方法과 不正確(inexact)한 解를 구할 수 있는 發見的, 近似的인 方法이 있는데, 問題의 複雜性(NP-hard)에 의해 發見的인 方法이 주로 많이 연구되고 있다. 또한 라인균형화 문제는 모형의 가정에 의해 SALBP(Simple Assembly Line Balancing Problem)와 GALBP(General Assembly Line Balancing Problem)의 두가지 형태로 대별할 수 있다. SALBP는 single-model deterministic line balancing이라고도 하며 制約條件으로는 週期時間과 先後關係만 고려하며, GALBP는 確定的, 確率的 模型에 관계없이 mixed mode, zoning requirement, must-do task, processing alternative등의 현실적인 制約條件들을 포함한

라인균형화 문제이다.

이에 대한 研究는 1950년 중반 Salverson이 LP 方法으로 解를 구하는 方法을 제시한 이래 Bowman의 IP 技法, Jackson, Held등은 週期期間(cycle time)이 주어졌을때, 作業場을 최소로 하는 方法의 研究를 하였다.

그후, Arcus, Kilbridge와 Wester, Hoffman, Helgeson과 Birnie등의 發見的 技法 研究와 Mansoor의 位置加重法, Moodie와 Young의 2段階 計算節次, Kottas와 Lau, Silverman과 Carter의 確率的 라인균형화에 이르기까지 라인균형화에 대한 研究가 상당히 진척되어 실제 현장에 적용되고 있다. 그리고 拙稿 組立工程의 確率的 라인 均衡化에 관한 研究는[2] 確率的 라인 均衡化를 확장한 것으로서 未完成 作業要所 費用을 고려하여 週期期間내에 完成되지 못하였을 때 취할 수 있는 가능한 조치들과 관련하여 선택하는 다수의 評價基準으로 S.I(Smoothness Index, 平滑指數), 週期時間내에 완성할 確率, 平均 라인 均衡化 效率와 未完成 費用을 고려한 確率的 模型으로 컴퓨터 이용이 용이한 計算節次를 제시하였다.

이에 관한 기존의 研究節次는 Table-1에 나타나 있다.*

2.2 自動 흐름 라인

自動흐름라인의 설치를 할 경우 당면하는 문제는 자기체의 성능에 비해 전체라인의 作業效率이 낮아지는 데 있다. 이는 만약 한 作業場(station)이 멈추면 라인상에 있는 모든 다른 作業場이 forced down되는 결과를 가져오기 때문이다. 실제로 自動흐름라인의 生産量 및 部品の 融通性 및 變動의 관계에서 본 自動흐름라인의 특성은 Figure-1과 같다.

Figure-1에서와 같이 自動흐름라인은 FMS(Flexible Manufacturing System)보다 部品の 多樣성과 融通性은 적지만 비교적 안정된 製品壽命과 높은 製品需要, 그리고 製造方法의 變更이 많은 勞務費를 필요로 할 경우에는 가장 적절한 生産手段으로 많이 사용된다. [1]

따라서 勞務費를 減少시키며 生産率을 增加시키고 在庫費用의 減少와 作業場사이의 이동거리를 最小로 하며 또한 作業의 專門化和 作業을 統合化하는 목적으로 많이 사용하기 때문에 본 研究에서도 自動흐름라인에 대해 다루고자 한다.

*拙稿: 李相道, 徐洵根, 李昌燮, "組立工程의 確率的 라인均衡化에 관한 研究", 東亞大學校 韓國資源開發 研究所 研究報告, 第11卷 2號, 1987, 參照.

Table-1. Listing of the Approach for the Assembly Line Balancing Problem

	S A L B P	G A L B P	
		기 타	Stochastic
EXACT	Bowman(LP) Thangavelu and Shetty(0-1 program) Gutjahr and Nemhauser(shortest route model) Held. et al(DP) Salverson(LP) White(LP) Klein(assignment) Patterson and Albracht(0-1 program)	Pinto(parallel station) Roberts and Villa(multiproduct)	
INEXACT	Acrus(COMSOAL) Tonge(random choice) Kilbridge and Wester(column) Helgeson and Birnie(R.P.W) Moodie and Young(1단계. LCR) Hoffman(precedence matrix) Jackson(enumeration) Mansoor(backtracking) Nevins(best bud search) Bennett. et al(learning experience) Dar-El and Rubinovitch(MUST) Baybers(combinations)	Nanda and Scher(overlapping station) Pintor. et al(processing alternative) Thomopoulos(mixed model)	Moodie and Young(2단계) Kottas and Lau Reeve and Thomas Brennecke Vrat and Virani Silverman and Carter Ransing and Downing Chakravarity and Shtub

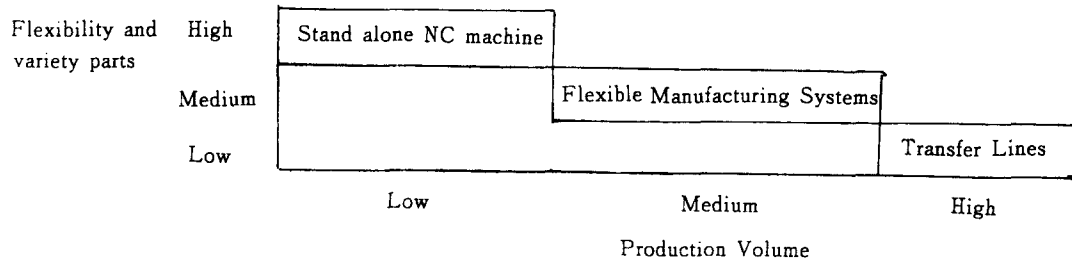


Figure-1. Application Characteristics of the Transfer Line System

그리고 forced down에 의한 낮은 效率性에 대한 대책의 방법은 특정 段階(stage) 혹은 라인 부서간에 緩衝在庫(buffer stock)를 설치하는 것이다.

自動흐름라인에서 한 段階에 있는 기계의 作業이 중단되더라도 緩衝在庫를 가지고 있는 다음 段階는 作業을 계속할 수 있다.

즉 라인의 마지막 段階는 모든 緩衝在庫가 枯渴(empty)될 때까지 作業을 계속할 수 있고 라인의 첫 段階는 作業이 中斷된 段階와 첫 段階 사이의 모든 緩衝在庫가 채워(full)질 때까지 作業을 계속할 수 있다.

이러한 緩衝在庫의 설치로 生産效率은 증대되는 반

면에 이들 緩衝在庫가 有限일 경우에는 starving과 blocking 現象이 存在可能하며 또한 緩衝在庫를 설치하는 데에는 점유공간이 필요하고 設置費用 및 在工品在庫費用이 발생하기도 한다. 그러나 일반적인 研究 추세는 空間占有率, 在工品在庫維持費, 設置費用은 무시하고 生産效率의 면에서 많이 다루고 있다. 自動흐름라인의 生産率에는 段階數, 緩衝在庫容量, 加工時間, 기계의 故障分布, 修理分布 등의 여러 變數들에 의해 영향을 받는다.

緩衝在庫에 대한 초기의 分析的 研究는 Koenigsberg [3]에 의해 행해졌으며, Buzacott [4, 5, 6, 7]는 任意

Table-2. Listing of the Approach for Automatic Transfer Line with Buffer Storage

연구자	단계수	수리분포	고장분포	가공시간분포	버퍼량	APPROACH
buzacott (1967)	2	기하, 일정	random	확정적	(in-) finite	최적 stage 할당 방법 exact formulas
J. Masso M.L. Smith (1974)	3	지수	지수	constant	given	simulation에 의해 버퍼 할당-근사해, 버퍼용량과 비용문제
N. Prakasa Rao(1975)	2	지수+ Erlang	*	general, Erlang	생산물에 대한	closed expression sequential relay model
T.J. Sheskin (1975)	multi	random	random	*	*	decomposition algorithm
K. Okamura H. Yamashina (1977)	2	〃	〃	constant	given	Markov chain model scrap
E. Ignall A. Silver (1977)	2	지수, general	지수, general	〃	유한	sequential relay model output를 계산하는 heuristic procedure
J. Wijngaard (1979)	2	지수	지수	*	*	closed form solution
A.L. Soyster J.W. Schmidt M.W. Rohrer (1979)	2	독립적 베르누이 과정	수리분포와 동일	*	given	안정상태확률을 위해 상한과 하한을 설정
Y.C. Ho M.A. Eyer T.T. Chien (1980)	multi	作業중속적 failure		*	유한	Down을 피하기 위해서 Slowed Down 고려 two-stage의 분석적 연구, multi-stage로 확장
S.B. Gershwin O. Berman (1981)	2	지수	지수	지수, Erlang	유한	Markov chain model 3 stage로 확장
S.S. Law (1981)	4	지수	*	*	*	discrete-time computer model 효과를 분산분석모형과 Duncan's multiple range test로 분석, not scrap
J. Malathronas J. Perkins R.L. Smith (1983)	2	지수	*	*	*	stochastic process murphy의 가동성적인 "tank-full" 사용
T. Altiok S. Stidham (1983)	2	지수	*	*	유한	단위시간당의 평균이익을 최대로 하는 분석모형 phase-type Coxian 형태의 Markov chain

(random)故障과 修理를 포함한 離散時間 模型에 대한 解를 구하였다. Gershwin와 Berman[8]은 自動흐름라인을 Markov process 模型으로 제시하였으며 Altiok 등은[9,10] 總利益을 最大로 하는 緩衝在庫 容量割當

問題를 分解(decomposition)技法으로 다루었고, 또한 Gershwin와 Schick[11]은 Markov process 模型을 사용하여 3段階의 自動흐름라인 模型을 제시하였다. Chong와 Gershwin[12]은 分解技法을 사용하여 Gersh-

win와 Berman의 2段階 모형을 확장하였다. 緩衝在庫를 이용한 自動흐름라인의 주요 研究 狀況은 Table-2와 같다.

3. 自動흐름라인의 一般的 模型

自動흐름라인의 대한 研究의 初期傾向은 대부분 2段階에 대한 것으로 각 段階에 1대의 기계만 있다는 가정하에 緩衝在庫割當과 생산시스템 效率에 關係 研究 하였으며 Markov과정을 이용하여 생산시스템을 分析, 研究하고 있는 趨勢이다. 그리고 3段階 이상이나 각 段階에 여러 대의 기계가 있는 2段階 모형에서는 定式化의 어려움 때문에 주로 近似的 解를 구하는 方法을 研究하고 있다.

Okamura와 Yamashina[16]는 緩衝在庫 領域에 있는 平均在工品數와 生産率로 2段階 라인 緩衝在庫 效果를 分析하기 위해 Markov 過程을 이용하였다.

그들은 특히 緩衝在庫가 없는 경우와 緩衝在庫가 있는 경우로 구분하여 緩衝在庫가 없는 경우에는 生産率을, 緩衝在庫가 있는 경우에는 生産率과 平均在工品數를 도출하였다.

3.1 緩衝在庫가 없는 경우

緩衝在庫가 없는 경우에는 2段階 흐름라인에서 6개의 狀態로 分類하여 遷移確率(transition probability) 行列을 구하였다. Markov 過程이 正規(normal)이기 때문에 각 상태 S_1, S_2, \dots, S_6 의 安定狀態 確率

$$\pi = (\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_6)가$$

가 존재한다.

$$\text{단, } \pi_j = \sum_{i=1}^6 \pi_i P_{ij} \quad j=1,2,3,4,5,6$$

$$\sum_{j=1}^6 \pi_j = 1 \dots\dots\dots (1)$$

여기서 P_{ij} : 천이 확률 행렬에 있는 (i, j)요소
 π_i : 狀態, $j=1,2,3,4,5,6$ 의 安定狀態 確率
 그리고 $\pi_2(1-\lambda_2)$ 는 安定狀態에서의 生産率을 나타내며 다음과 같다.

$$P = \pi_2(1-\lambda_2)$$

$$= \frac{(1-\lambda_1)(1-\lambda_2)(\gamma-\rho_1 S^2)}{(1+\rho_1)(\lambda-\rho_1 S^2)+(1-\lambda_1)^2 \rho_2 \gamma} \quad (2)$$

- 단, $\lambda_i(i=1,2)$: 故障率
- $\mu_i(i=1,2)$: 修理率
- $\rho_i = \lambda_i / \mu_i(i=1,2)$
- $\gamma = 1 - (1 - \mu_1)(1 - \mu_2)$
- $S = \mu_1(1 - \mu_2)$

3.2 緩衝在庫가 있는 경우

緩衝在庫가 있는 경우에는 緩衝在庫의 容量이 N일 때 2段階 흐름라인에서 (4N+6)개의 가능한 狀態로 구분할 수 있다. 여기서 $S_{2+i}(i=0, 1, 2, \dots, N)$ 와 $S_{2N+5+i}(i=1, 2, \dots, N)$ 는 完製品을 生産할 수 있는 狀態이며, 이에 따라 遷移確率 行列을 구해 Markov 過程의 정규성을 검토한 후에 $S_1, S_2, \dots, S_{4N+6}$ 의 安定狀態 確率 $\pi = (\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_{4N+6})$ 를 구하였다. 그러므로 生産率 P는

$$P = (1-\lambda_2) \left(\sum_{i=0}^N \pi_{2+i} + \sum_{i=1}^N \pi_{2N+5+i} \right) \dots\dots (3)$$

로 구해지며 緩衝在庫 領域에 있는 平均在工品數 M은

$$M = \sum_{i=1}^N i \cdot (\pi_{2+i} + \pi_{N+3+i} + \pi_{3N+6+i})$$

$$+ \sum_{i=1}^{N-1} i \cdot \pi_{2N+6+i} + N \cdot \pi_{2N+4} \dots\dots\dots (4)$$

로 구할 수 있다

2段階 흐름라인에서 緩衝在庫의 容量, 故障 및 修理 確率が 주어지면 각 安定狀態 確率을 연립 1차방정식의 조합으로 풀어서 緩衝在庫 영역에 있는 平均在工品數와 生産率을 계산할 수 있다. 즉 緩衝在庫 용량이 N인 경우에는 (5)식과 같이 (4N+6)개의 연립 1차방정식을 풀어야 한다.

$$\pi_j = \sum_{i=1}^{4N+6} \pi_i P_{ij} \quad j=1,2,\dots,(4N+6)$$

$$\sum_{j=1}^{4N+6} \pi_j = 1 \dots\dots\dots (5)$$

단, P_{ij} : 천이 확률 행렬에 있는 (i, j)요소

이와같은 모형의 實效성은 Markov 過程의 遷移確率 行列이 (4N+6)개 상태의 動作特性을 얼마나 잘 나타내느냐에 달려 있다.

이러한 Markov 過程 技法은 Ignall과 Silver[17], Gershwin과 Berman[8], Shanthikumar과 Tien[23], Yeralan[24] 등의 研究에서도 사용되고 있다.

4. 提示된 模型 및 稼動政策

4.1 模型 設定 및 稼動政策

Ho, Y.C., Eyley, M.A.와 Chien, T.T.(1983) [20]는 機械의 內部故障외에 라인상의 다른 機械의 相互作用으로 인해 機械가 멈추는 現象을 방지하기 위해 각 機械의 生産率을 減少시키는 새로운 接近法을 도입하였다.

다른 機械의 相互作用은 다음 2가지 경우로 구분된다. 첫째, 投入되는 緩衝在庫 B_{i-1} 이 枯渴(empty)되어 있

을 때 기계 M_i 는 기계 M_{i-1} 의 생산률보다 더 많이 생산할 수 없고, 둘째, 出力되는 緩衝在庫 B_i 가 完全히 채워졌을(full)때는 기계 M_i 는 기계 M_{i+1} 의 생산률보다 더 많이 생산할 수 없다. 첫번째 條件에 의해 일어나는 現象을 NI(No Input), 두번째 條件에 의해 일어나는 現象을 FO(Full Output)라 하며 이 둘의 條件중 하나에 의해 기계 M_i 의 생산률이 減少되는 現象을 SD (Slowed Down)라고 부른다. SD狀態일 때의 생산률 y_i 는 $0 < y_i < \rho_i$ (단, ρ_i =full rate)의 범위를 가지며, SD 狀態의 결과 減少된 率이 0으로 되는 現象을 FD(Forced Down)狀態라고 한다. 본 研究에서는 이러한 SD狀態를 導入하여 Markov 過程을 이용한 2段階의 模型樹立 및 稼動政策을 제시하고자 한다. 제시된 模型에서 고려하는 一般의인 假定은 다음과 같다.

- (1) 機械들의 生産率은 同一하다.
- (2) 機械들의 故障率과 修理率은 1주기시간동안 각기 일정한 λ_i, μ_i 를 가진다.
- (3) 機械가 FD된 후 再稼動하기 위해서는 稼動準備費가 發生된다.
- (4) 機械가 down시 加工중인 部品은 시스템에서 제거된다.
- (5) 加工될 部品은 항상 無限히 공급된다. 즉 첫번째 機械의 starving은 없다. 그리고 加工이 끝난 部品의 在庫空間은 충분하며 마지막 機械의 blocking은 없다.
- (6) 機械가 FD된 경우에는 故障이 發生하지 않는다.

機械의 down시 再稼動을 위해서는 稼動準備費가 發生된다. 機械內部故障에 의한 down시 SD狀態를 導入하기 위해 稼動準備費는 각 경우가 동일하므로 고려하지 않고 自動 흐름라인의 특성상 發生하는 blocking이나 starving에 의한 forced down일 때 發生되는 稼動準備費만 고려한다.

라인에서 blocking이나 starving에 의한 稼動準備費가 發生되는 것을 피하기 위해 機械가 故障(breakdown) 났을때 인접機械의 生産率을 일정한 率로 減少시키면 forced down 횟수가 減少됨으로 稼動準備費의 減少를 가져온다. 이때의 減少된 稼動準備費와 減少된 生産率과의 相殺(trade-off)點을 맞아 最適의 稼動政策을 決定하고자 한다.

緩衝在庫의 容量이 N 이고 SD를 고려한 라인에서는 $(4N+6)$ 개의 가능한 狀態가 存在한다. Figure-2는 $(4N+6)$ 개의 가능한 狀態를 圖示하고 있다.

Figure-2에서의 狀態를 1週期時間後의 遷移確率 行列로 나타내면 Figure-3과 같다.

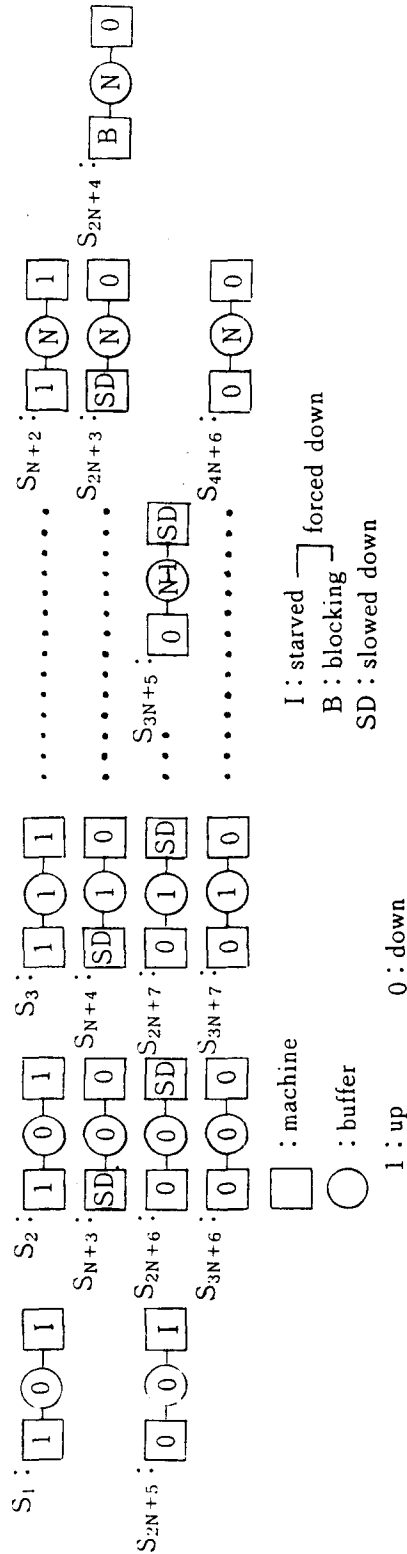


Figure-2. $(4N+6)$ possible States of a Two-stage Line with a Buffer Capacity of N considering a Slowed Down.

Figure-3의 遷移確率行列은 ergodic하지 않고 또한 SD의 導入으로 인해 週期時間이 變化하므로 安定狀態의 確率은 구할 수 없다.

따라서 시뮬레이션에 의해 長期의 각 狀態에 도달할 比率로서 生産率 및 發生比率을 計算할 수 있다.

여기서 生産率은 λ_2 가 機械 2의 故障率이라 할 때 다음과 같이 (6)式으로 나타낼 수 있다.

$$P = (1 - \lambda_2) \left(\sum_{i=1}^N \pi_{2+i} + \sum_{i=1}^N \pi_{2N+5+i} \right) \dots \dots (6)$$

그리고 forced down에 의해 稼動準備費가 發生하는 比率은 (7)式으로 나타낸다.

$$P_S = \pi_1 + \pi_{2N+4} + \pi_{2N+5} \dots \dots \dots (7)$$

단, π_i =長期의 i狀態에 도달할 比率($i=1, 2, \dots, 4N+6$)

6)式과 7)式에서 生産率의 減少率과 稼動準備費의 減少率과의 相殺點을 구하면 最適의 稼動政策 樹立이 가능하다.

또한 緩衝在庫量이 각 경우에 生産率과 稼動準備 費수에 미치는 영향을 검토함으로써 緩衝在庫의 必要性 및 크기들을 生産흐름라인의 設計에 반영할 수 있다.

4.2 Simulation 結果 및 考察

生産率과 FD에 영향을 미치는 變數들로서 故障率, 修理率, 緩衝在庫量, SD率 등을 고려하였고 이러한

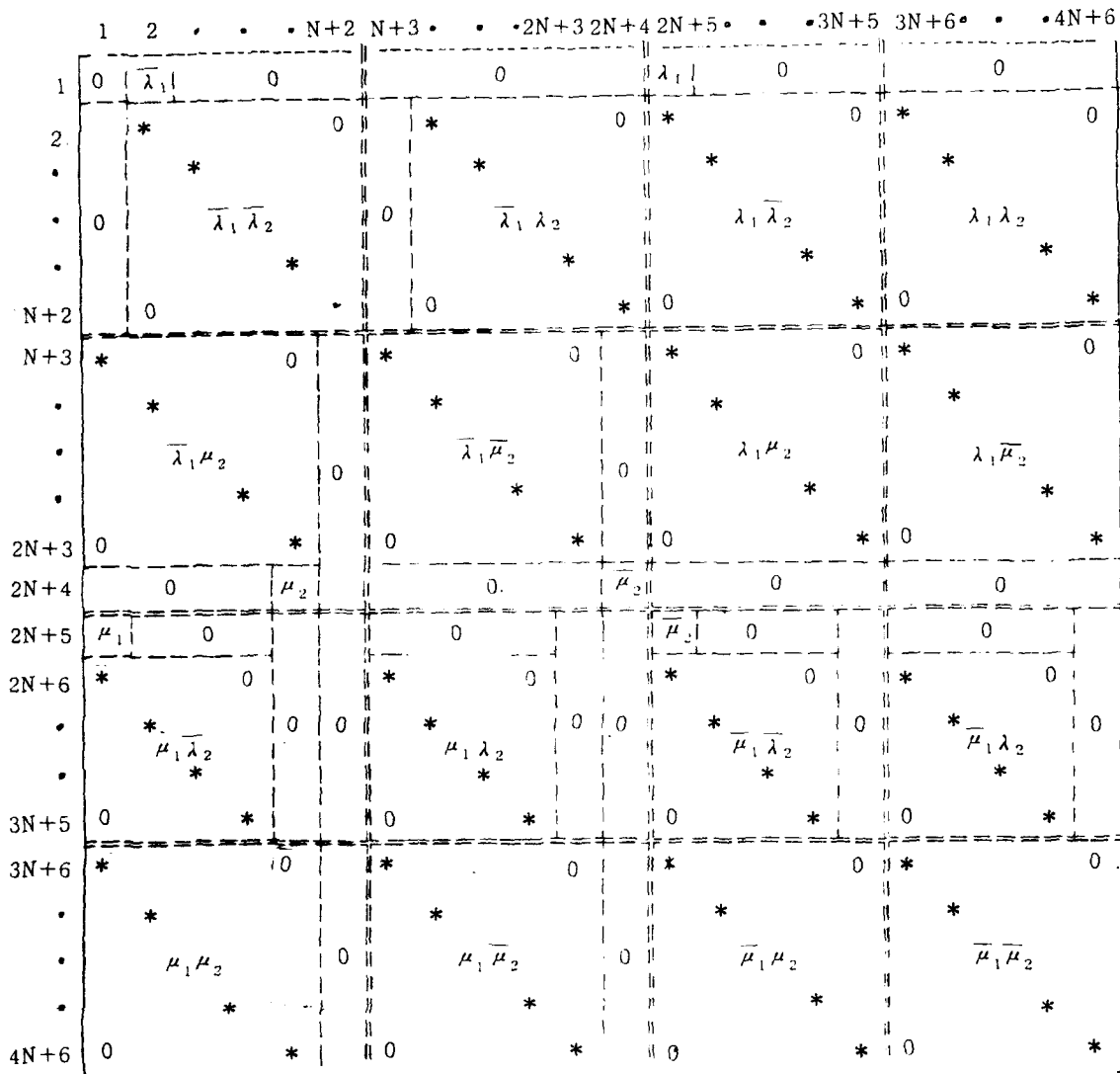


Figure-3. Transition Probability Matrix of a Two-stage Line with a Buffer Capacity of N considering Slowed Down.

變數들을 變化시켜 시뮬레이션 實驗을 통하여 各 條件에서의 生産率 變化와 FD 減少 效果를 分析하였다.

여기서 SD는 solwed down시의 生産率을 나타내는 것으로서 $0 < SD < 1 = \text{full rate}$ 의 範圍를 가진다.

各 機械의 狀態를

- A. $\lambda_1 = \lambda_2$
- B. $\lambda_1 > \lambda_2$ (or $\mu_1 < \mu_2$)
- C. $\lambda_1 < \lambda_2$ (or $\mu_1 > \mu_2$)

3가지 경우로 나누어 시뮬레이션을 행하였으며 各 경우의 結果는 다음과 같다.

- A. 故障率과 修理率이 同一한 경우 : $\lambda_1 = \lambda_2, \mu_1 = \mu_2$

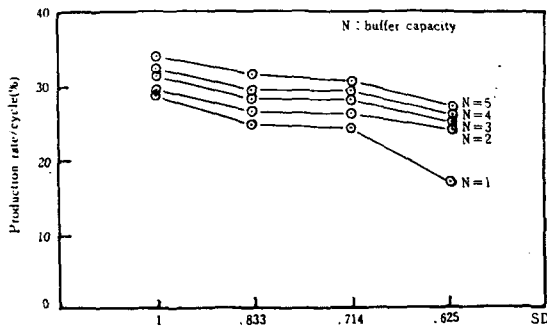


Figure-4. Production rate curve with Slowed down ($\lambda_1 = \lambda_2 = 1/10, \mu_1 = \mu_2 = 1/10$)

Figure-4는 SD率과 緩衝在庫量에 대한 生産率과의 關係를 나타내고 있다. 緩衝在庫量이 적으면 적을수록 機械 1의 SD率이 機械 2의 生産率에 影響을 많이 미친다. 여기서는 이러한 機械 1의 SD率이 機械 2의 生産率에 미치는 影響은 緩衝在庫量이 2에서부터 어느 정도 完化됨을 파악할 수 있다. 그러므로 生産率의 측면에서 보면, SD에 의한 生産率의 減少를 어느정도 낮게 유지하려면 緩衝在庫量이 2일때 바람직하다.

Figure-5와 Table-3을 FD 측면에서 보면 各 緩衝在庫量에 대한 最適 SD 政策의 生産率 減少와 FD 減少를 比較하면 Table-4와 같다.

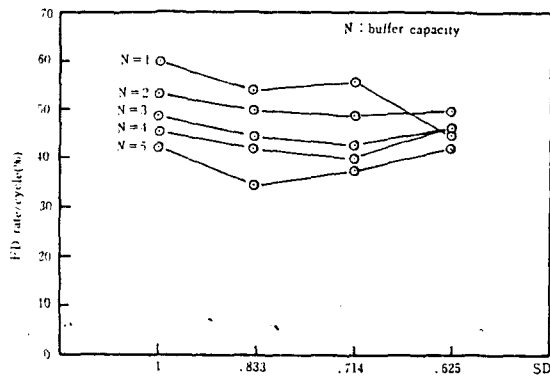


Figure-5. Forced down rate curve with Slowed down ($\lambda_1 = \lambda_2 = 1/10, \mu_1 = \mu_2 = 1/10$)

Table-3. Comparison of blocking rate and starving rate when $\lambda_1 = \lambda_2 = 1/10, \mu_1 = \mu_2 = 1/10$.

N	FD \ SD	1		. 833		. 714		. 625	
		B	T	B	T	B	T	B	T
1	B	. 24	100 %	. 20	83 %	. 14	58 %	. 18	75 %*
	S	. 36	100 %	. 34	94 %	. 43	119 %	. 27	75 %
	T	. 60	100 %	. 54	90 %	. 57	95 %	. 45	75 %
2	B	. 26	100 %	. 19	73 %	. 13	50 %	. 12	46 %
	S	. 27	100 %	. 31	115 %	. 36	133 %	. 37	137 %
	T	. 53	100 %	. 50	94 %	. 49	92 %	. 49	92 %
3	B	. 24	100 %	. 17	70 %	. 12	50 %	. 10	42 %
	S	. 24	100 %	. 28	116 %	. 31	129 %	. 35	146 %
	T	. 48	100 %	. 45	94 %	. 43	90 %	. 45	94 %
4	B	. 24	100 %	. 16	67 %	. 13	54 %	. 08	33 %
	S	. 21	100 %	. 26	124 %	. 27	129 %	. 37	176 %
	T	. 45	100 %	. 42	53 %	. 40	89 %	. 45	100 %
5	B	. 23	100 %	. 14	61 %	. 12	52 %	. 07	30 %
	S	. 20	100 %	. 21	105 %	. 26	130 %	. 35	175 %
	T	. 43	100 %	. 35	81 %	. 38	89 %	. 42	98 %

SD ; Slowed down rate/cycle

FD ; forced down rate/cycle

N ; buffer capacity

B ; blocking rate/cycle

S ; starving rate/cycle

T ; total FD rate/cycle

* ; fraction of B when SD = 0. 625 ($0. 18 / 0. 24 \times 100 = 75$)

Table-4. Comparison of each optimal policy

N	decreasing rate of P (%)	decreasing rate of FD(%)	optimal SD rate
1	37.9	25	0.625
2	13.9	7.5	0.625
3	6.5	10.4	0.714
4	6.3	11.1	0.714
5	5.9	18.6	0.833

P ; production rate/cycle

여기서 最適 緩衝在庫量의 割當 문제는 각 最適 SD 政策을 비교하여 生産率의 減少에 대한 FD 減少 比率이 큰 경우의 緩衝在庫量을 구하는 것이고 最適 稼働政策이 된다. 그러므로 最適 稼働政策은 SD=.833, N=5(生産率 減少: 5.9%, FD 減少: 18.6%)이다.

그리고 緩衝在庫量이 2이상일 때, SD率을 減少시키면 starving이 增加되어 전체 FD率이 增加되는 現象이 보인다. 이것은 在工品이 緩衝在庫로 流入되는 量보다 流出되는 量의 比率이 相對的으로 높아지기 때문이다.

또한 生産率의 減少보다 FD의 減少에 더욱 중점을 둔다면 緩衝在庫量을 적게 割當하고 SD率을 낮게 하는 것이 더욱 效果的이다.

B. 機械 2의 故障率이 작을 경우: $\lambda_1 > \lambda_2$
(機械 2의 修理率이 클 경우: $\mu_1 < \mu_2$)

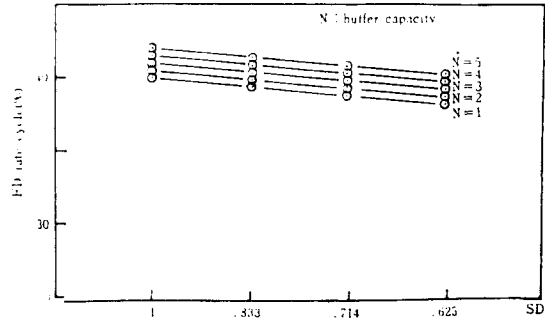


Figure-6. Production rate curve with Slowed down ($\lambda_1=1/10, \lambda_2=1/100, \mu_1=\mu_2=1/10$)

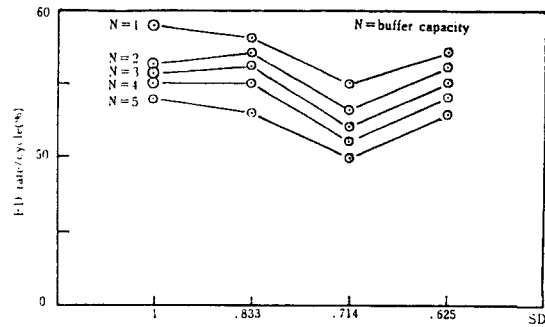


Figure-7. Forced down rate curve with Slowed down ($\lambda_1=1/10, \lambda_2=1/100, \mu_1=\mu_2=1/10$)

Figure-6, Figure-7과 Table-5에서, 機械 2의 故障率(修理率)이 작아서(커서) (A)의 경우와 比較하면 生

Table-5. Comparison of blocking rate and starving rate when $\lambda_1=1/10, \lambda_2=1/100, \mu_1=\mu_2=1/10$.

N	FD SD	SD							
		1	.833	.714	.625				
1	B	.05	100%	.05	100%	.06	120%*	.03	60%
	S	.54	100%	.53	98%	.49	91%	.54	100%
	T	.59	100%	.58	98%	.55	93%	.57	97%
2	B	.04	100%	.05	125%	.05	125%	.03	75%
	S	.52	100%	.51	98%	.49	94%	.53	102%
	T	.56	100%	.56	100%	.54	96%	.56	100%
3	B	.04	100%	.04	100%	.05	124%	.02	50%
	S	.52	100%	.51	98%	.47	90%	.53	102%
	T	.56	100%	.55	98%	.52	93%	.55	98%
4	B	.03	100%	.04	133%	.04	133%	.02	67%
	S	.52	100%	.51	98%	.47	90%	.52	100%
	T	.55	100%	.55	100%	.51	93%	.54	98%
5	B	.03	100%	.03	100%	.04	133%	.01	33%
	S	.51	100%	.50	98%	.46	90%	.52	102%
	T	.54	100%	.53	98%	.50	93%	.53	98%

SD ; slowed down rate/cycle

FD ; forced down rate/cycle

N ; buffer capacity

S ; starving rate/cycle

B ; blocking rate/cycle

T ; total FD rate/cycle

* ; fraction of B when SD = 0.714 (0.06/0.05 x 100 = 120)

產率은 높아지고 이의 減少比率은 낮아진다. starving 發生 比率이 높아짐으로서 전체적으로 FD가 增加되는 傾向이 있고 SD가 낮을 때는 이러한 FD의 增加가 더욱 크다.

이 경우는 緩衝在庫量에 關係없이 SD가 낮으면 FD가 增加함으로 Figure-7에서 나타난 것처럼 FD가 減少하다가 增加하는 臨界點의 SD率이 FD減少에 대한 最適 SD 稼動政策이 된다.

Table-6. Comparison of each optimal policy

N	decreasing rate of P (%)	decreasing rate of FD (%)	optimal SD rate
1	1.2	6.8	0.714
2	1.2	5.4	0.714
3	1.2	7.1	0.714
4	1.2	7.3	0.714
5	1.2	7.4	0.714

P ; production rate/cycle

Table-6은 각 最適 SD 稼動政策을 比較한 것이다. Table-4의 경우 最適의 緩衝在庫量을 결정하고 最適稼動政策을 구한다. 따라서 最適稼動政策은 SD=.714, N=4(生産率 減少:1.9%, FD 減少:7.4%)이다.

이 경우는 緩衝在庫量에 關係없이 SD가 낮으면 FD가 增加함으로 Figure-7에서 나타난 것처럼 FD가 減少하다가 增加하는 臨界點의 SD率이 FD 減少에 대한 稼動政策이 된다.

Table-7. Comparison of blocking rate and starving rate when $\lambda_1=1/100, \lambda_2=1/10, \mu_1=\mu_2=1/10$.

N	FD \ SD	SD							
		1	.833	.714	.625				
1	B	.51	100 %	.42	82 %*	.34	67 %	.30	59 %
	S	.08	100 %	.04	50 %	.06	75 %	.06	75 %
	T	.59	100 %	.46	78 %	.40	68 %	.36	61 %
2	B	.51	100 %	.44	86 %	.34	67 %	.30	59 %
	S	.03	100 %	.02	67 %	.02	67 %	.04	133 %
	T	.54	100 %	.46	85 %	.36	67 %	.34	63 %
3	B	.51	100 %	.43	84 %	.35	69 %	.30	59 %
	S	.02	100 %	.02	100 %	.02	100 %	.04	200 %
	T	.53	100 %	.45	85 %	.37	70 %	.34	64 %
4	B	.51	100 %	.43	84 %	.35	69 %	.29	57 %
	S	.02	100 %	.02	100 %	.02	100 %	.03	150 %
	T	.53	100 %	.45	85 %	.37	70 %	.32	60 %
5	B	.50	100 %	.42	84 %	.35	70 %	.29	58 %
	S	.01	100 %	.01	100 %	.01	100 %	.03	300 %
	T	.51	100 %	.43	84 %	.36	70 %	.32	63 %

SD ; slowed down rate/cycle

FD ; forced down rate/cycle

N ; buffer capacity

S ; starving rate/cycle

B ; blocking rate/cycle

T ; total FD rate/cycle

* ; fraction of B when SD = 0.833 (0.42 / 0.51 × 100 = 82)

C. 機械 1의 故障率이 작을 경우 : $\lambda_1 < \lambda_2$
(機械 1의 修理率이 클 경우 : $\mu_1 > \mu_2$)

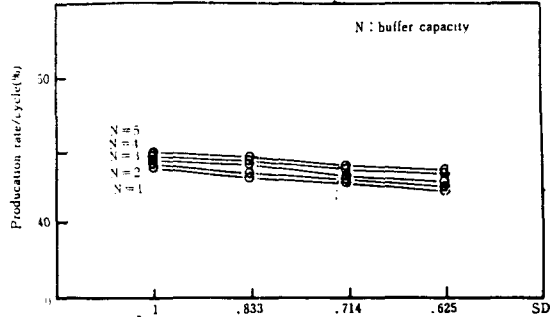


Figure-8. Production rate curve with Slowed down ($\lambda_1=1/100, \lambda_2=1/10, \mu_1=\mu_2=1/10$)

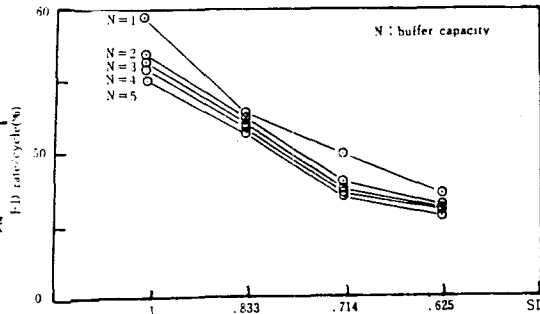


Figure-9. Forced down rate curve with Slowed down ($\lambda_1=1/100, \lambda_2=1/10, \mu_1=\mu_2=1/10$)

Figure-8, Figure-9와 Table-7에서 機械 1의 故障率(修理率)이 機械 2보다 작(크)기 때문에 (A), (B)의

경우와 比較하면 starving 增加로 인한 FD의 增加현상이 減少된다. 그러므로 SD가 작을 때, 生産率의 減少에 대해 相對的으로 FD의 減少가 크게 줄어든다.

이때의 稼動政策은 단지 生産率의 減少에 대한 FD 減少 比率이 큰 것을 最適 稼動政策으로 選擇한다. 그리고 一般적으로 稼動準備費가 많을 경우에는 機械 1의 故障率을 작게 하거나 修理率을 높게 함으로써 SD가 減少됨에 따라 FD의 發生比率이 낮은 SD率을 最適稼動政策으로 選擇한다.

Table-8. Comparison of optimal policy

N	SD rate	decreasing rate of P (%)	decreasing rate of FD (%)
1	. 833	2.2	22 *
	. 714	4.1	32.2
	. 625	5.5	39
2	. 833	2.3	14.8
	. 714	3.4	33.3
	. 625	5.7	37
3	. 833	2.3	15.1
	. 714	3.4	32.1
	. 625	5.7	35.8
4	. 833	2.3	15.1
	. 714	3.4	32.1
	. 625	5.7	39.6
5	. 833	2.5	15.7
	. 714	3.8	29.4
	. 625	5.0	37.9

P ; production rate/cycle

* Forced down rate at full production rate-Forced down rate at Slowed down rate

Forced down rate at full production rate

$$= (.59 - .49) / .59 \times 100 = 22$$

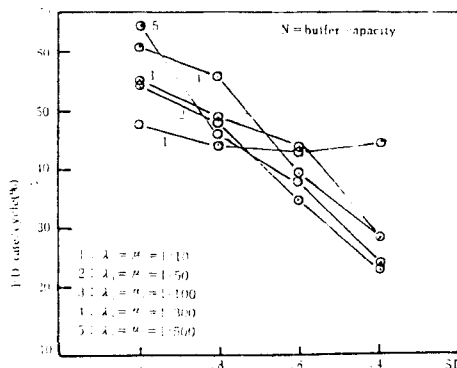


Figure-10. Forced down rate curve with Slowed down

Table-8은, 각각의 緩衝在庫量과 SD率에 대한 生産率 減少比率을 比較한 것이다. 각 경우의 生産率 減少에 대한 FD 減少比 3이 가장 큰 경우가 SD=.714, N=2(生産率 減少: 3.4%, FD 減少: 33.4%)이므로

이것이 最適 稼動政策이 된다.

Figure-10은 緩衝在庫量(N)이 3일때 故障率과 修理率이 동일한 경우의 각각의 率에 대한 FD率을 圖示한 것으로 機械의 故障率과 修理率이 작을때 일반적으로 SD에 의한 FD의 減少效果가 크다는 것을 알 수 있었다. 이것은 故障率이 작을 때 각 機械의 故障時間이 길어지므로 SD가 그만큼 지속되기 때문이다.

5. 結 論

緩衝在庫를 고려한 自動흐름라인에 대한 研究로 在庫領域의 容量, 故障率과 修理率의 確率分布 등이 全體 시스템의 生産率에 미치는 영향을 定量的으로 把握하여 2段階 模型(two-stage model)에 대해서 最近의 研究 趨勢인 Markov 過程에 의한 模型을 提示하였다. 또한 各 段階들이 forced down될 때 再稼動하기 위해서는 稼動準備費(set up cost)가 發生되는데 이의 費用을 줄이기 위해 機械가 down될 때 隣接機械들의 生産率을 slowed down하는 方法을 考慮한 稼動政策을 樹立하였다.

slowed down에 의한 生産率, 稼動準備費 發生比率과 緩衝在庫量간의 關係를 컴퓨터 시뮬레이션을 行하여 分析한 結果는 다음과 같다.

1) $\lambda_1 = \lambda_2$ 이거나 $\lambda_1 > \lambda_2$ (or $\mu_1 < \mu_2$)일 경우

SD에 의해 FD가 減少에서 增加되기 始作하는 臨界點을 適正 SD 稼動政策으로 하고 生産率 減少에 대한 FD 減少 比率이 큰 경우의 容量을 最適 緩衝在庫量으로 選擇한다.

2) $\lambda_1 < \lambda_2$ (or $\mu_1 > \mu_2$)일 경우

단지 SD率과 緩衝在庫量的 各 경우를 比較하여 生産率 減少에 대한 FD 減少 比率이 큰 것을 最適 稼動政策으로 選擇한다.

그리고 緩衝在庫量(N)이 작을 경우와 機械 1의 故障率이 機械 2의 故障率보다 작을 경우, 혹은 機械 1의 修理率이 機械 2의 修理率보다 클 경우 그리고 라인 1의 故障率 및 修理率이 작을 경우에는 SD에 의한 FD의 減少效果가 크을 알 수 있었다.

本 研究에서 提示한 模型 및 稼動政策은 關聯 業係의 실제 生産라인의 設計時 效率의 率으로 반영할 수 있을 것이다.

그리고, 2段階 模型을 多段階 模型으로 擴張하여 適用 可能하게 하는 것이 앞으로의 研究 課題로 남아 있다.

參 考 文 獻

1. M. P. Groover. *Automation, Production System and*

- Computer-Aided Manufacturing*, Prentice-Hall, pp. 93-125, 1980.
2. 李相道, 徐洵根, 李昌燮, "組立工程의 確率的 라인均衡化에 관한 연구" 東亞大學校 附設 韓國資源開發研究所 研究報告, 제11권 2호, pp. 1-9, 1987.
 3. Koenigsberg, E., "Production Lines and Internal Storage-A Review", *Management Science*, Vol. 5, pp. 410-433, 1959.
 4. Buzacott, J. A., "Automatic Transfer Lines with Buffer Stocks", *Int. J. Prod. Res.*, Vol. 5, pp. 183-200, 1967.
 5. Buzacott, J. A., "Prediction of the Efficiency of Production Systems without Internal Storage", *Int. J. Prod. Res.*, Vol. 6, pp. 173-188, 1968.
 6. Buzacott, J. A., "The Role of Inventory Banks in Flow-Line Production Systems", *Int. J. Prod. Res.*, Vol. 9, pp. 425-436, 1971.
 7. Buzacott, J. A. and Hanifin, L. E., "Model of Automatic Transfer Lines with Inventory Banks - A Review and Comparison", *AIIE Transactions*, Vol. 10, pp. 197-207, 1978.
 8. Gershwin, S. B. and Berman, O., "Analysis of Transfer Lines Consisting of Two Unreliable Machines with Random Processing Times and Finite Storage Buffers", *AIIE Transactions*, Vol. 3, pp. 2-11, 1981.
 9. Altiok, T. and Stidham, S., "The Allocation of Interstage Buffer Capacities in Production Lines", *IIE Transactions*, Vol. 15, pp. 292-299, 1983.
 10. Altiok, T., "Production Lines with Phase-type Operation and Repair Times and Finite Buffers", *Int. J. Prod. Res.*, Vol. 23, pp. 489-498, 1985.
 11. Gershwin, S. B. and Schick, I. C., "Modeling and Analysis of Three-Stage Transfer Lines with Unreliable Machines and Finite Buffers", *Operations Research*, Vol. 31, pp. 354-380, 1983.
 12. Choong, Y. F. and Gershwin, S. B., "A Decomposition Method for the Approximated Evaluation of Capacitated Transfer Lines with Unreliable Machines and Random Processing Times", *IIE Transactions*, Vol. 19, pp. 150-159, 1987.
 13. Masso, J. and Smith, M. L., "Interstage Storages for Three Stage Lines Subject to Stochastic Failures", *AIIE Transactions*, Vol. 6, pp. 354-358, 1974.
 14. Rao, N. P., "Two-Stage Production Systems with Intermediate Storage", *AIIE Transactions*, Vol. 7, pp. 414-421, 1975.
 15. Sheskin, T. J., "Allocation of Interstage Storage along an Automatic Production Line", *AIIE Transactions*, Vol. 8, pp. 142-152, 1976.
 16. Okamura, K. and Yamashina, H., "Analysis of the Effect of Buffer Storage Capacity in Transfer Line Systems", *AIIE Transactions*, Vol. 9, pp. 127-135, 1977.
 17. Ignall, E. and Silver, A. P. E., "The Output of a Two-Stage System with Unreliable Machines and Limited Storage", *AIIE Transactions*, Vol. 9, pp. 183-188, 1977.
 18. Wijngaard, J., "The Effect of Interstage Buffer Storage on the Output of Two Unreliable Production Units in Series, with Different Production Rates", *AIIE Transactions*, Vol. 11, pp. 42-47, 1979.
 19. Soyster, A. L., Schmidt, J. W. and Rohrer, M. W., "Allocation of Buffer Capacities for a Class of Fixed Cycle Production Lines", *AIIE Transactions*, Vol. 11, pp. 140-146, 1979.
 20. Ho, Y. C., Eyster, M. A. and Chien, T. T., "A New Approach to Determine Parameter Sensitivities of Transfer Lines", *Management Science*, Vol. 29, pp. 700-714, 1983.
 21. Law, S. S., "A Statistical Analysis of System Parameters in Automatic Transfer Lines", *Int. J. Prod. Res.*, Vol. 19, pp. 709-724, 1981.
 22. Malathronas, J. P., Perkins, J. D. and Smith R. L., "The Availability of a System of Two Unreliable Machines Connected by an Intermediate Storage Tank", *IIE Transactions*, Vol. 15, pp. 195-201, 1983.
 23. Shanthikumar, J. G. and Tien, C. C., "An Algorithmic Solution to Two-Stage Transfer Lines with Possible Scrapping of Units", *Management Science*, Vol. 29, pp. 1069-1086, 1983.
 24. Yeralan, S. and Muth, E. J., "A General Model of a Production Line with Intermediate Buffer and Station Breakdown", *IIE Transactions*, Vol. 19, pp. 130-139, 1987.
 25. Pegden, C. D., *Introduction to SIMAN*, System Modeling Corporation, pp. 1-191, 1982.