Journal of the KSQC
Vol. 19, No. 1, June. 1991

1991년 6월 韓國品質管理學會誌 제19권 제1호

공장자동화를 위한 FMS의 경제성 평가에 관한 연구
An Economic Analysis on FMS for FA

강 영 식*
함 효 준**

ABSTRACT

This paper is aimed to construct a CIM(Computer Intergrated Manufacturing) model through optimal flexible manufacturing systems for factory automation in order to provide higher productivity.

This paper provides a case through an analytical method to construct flexible manufaciuring systems for factory automation.

The contents of this paper include forecasting of demands which analyze variation of demand using Winter's model, line balancing utilizing Lanked Positional Weight Method, and a case analysis through simulation by Monte Carlor Method.

The result shows the manpower and net present value of investment have decreased 42% and 19.6%, respectively, and yearly net profit has increased 30%.

* 아주대학교 경영학과
** 아주대학교 산업공학과

1. 서론 : 研究의 目的

生産方式을 결정짓는 두개의 주요 비용요소인 資本費用(Capital Cost)과 勞動費用(Labor Cost)중 노동비의 상승은 자본 또는 기술집약적 生産方式으로의 전환을 불가피하게 하고 있다.[1] 노동비용의 상승뿐만 아니라 노사문제, 품질및 신뢰성 보전문제 등 기업의 경쟁력 향상을 위해서 최근 활발히 논의 되고 있는 생산방식 중의 하나가 CIM이며 이 시스템의 經濟的 效率性을 제고시키는 柔軟生産 시스템의 실제 도입도 관심의 대상이 되고 있다.

이와같은 관점에서 本 硏究는 설비의 생산성을 최대로 높일수 있는 柔軟生産 제조 시스템(Flexible Manufacturing Systems)을 도입할시에 고려해야될 각각의 요소들을 체계화하고 최적의 柔軟生産제조 시스템(Optimal Flexible Manufacturing Systems)을 構築하여 그에 따른 성과를 분석함으로써 현실적으로 가장 바람직한 設備投資에 대한 經濟性 評價의 제시와 CIM 構築을 위하여 필요한 실제적인 방법을 제시하는데 그목적이 있다.

특히, 柔軟生産제조시스템의 실증적 연구는 국내에서는 많지 않은 실정이므로 本 硏究는 설비의 가동률을 최대로 높여서 設備의 生産性을 극대화 시키는 설비셀팅의 전산화에 대하여 중점적인 바탕을 두었다.

2. 旣存의 硏究

柔軟生産 제조시스템을 構築하기 위한 세부적인 연구진행을 살펴보면 다음과 같다.

첫째, 需要豫測 기법은 가장 간단한 이동평균법의 약점인 가중치 선정기준과 대상 기간의 선정에 대한 불합리성을 보완한 指數平滑法(Exponential Smoothing)이 소개 되었으며, 그 이후로 季節變動 및 趨勢變動을 더욱 확실히 고려하여 不規則要因을 제거한 Winters의 Model(21)이 등장했으며, 豫測의 基礎資料를 정확히 제공해 주는 기법으로는 Julius Shiskin과 Harry Eisenpress(13)가 개발한 T(趨勢), S(季節性), C(循環), I(不規則要因)을 가지고 시계열을 분석한 X-11모델이 소개되었으며, 需要豫測에 있어서 理論的으로는 매우 정확한 推定과 檢定을 통하여 豫測誤差를 가장 最少化시켜 실제예측에 사용한 BOX-JENKINS(7) 시계열모형이 대두 되었다.

둘째, 라인 均衡化에 관한 기법은 Kilbrige와 Wester(11)는 先行作業基準에 의한 探索均衡法을 소개했으며, Helgeson와 Birnie(10)는 위치에 비중을 두어 크기대로 나열한후 最適의 라인均衡化를 시도 했으며, Moodie와 Young(14)이 작업시간을 어떤 분포를 가지는 確率變數로 취급하여 模型化했고, Thomopoulos(18)는 작업시간을 상수로 가정하여 多品種生産에 관한 라인均衡化를 소개하였으며, Tonge(19)는 선후관계를 중심으로 몇개의 작업요소를 모아 집단을 이루고 작업량을 조절하는 라인均衡化를 이루었으며, Kottas와 Law(12)는 작업자의 임금과 제품조립에 발생하는 미 완성품의 처리에 소요되는 비용을 最小로 하는 것을 目的으로 했으며, Vrat와 Virani(20)는 다품목 생산의 확률적인 라인均衡化에 관한 연구를 발표했다.

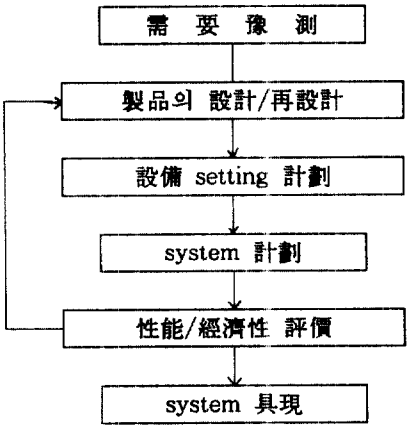
세째, 設備投資에 관한 비용분석으로는 Motely, Netwon(15)과 Dean, Nishry(9)등이 柔軟生産 제조 시스템을 위한 경제성을 평가

註 1) 成泽駿, "TPM과 그 추진내용", 1990. 11, 자동제어 계측사, P. 16.

하는 점수산정모델을 개발 시켜왔으며, Suresh, Meredith(17)는 개량된 모델로써 비가중요인 점수산정모델을 소개 했으며, Nelson (16)은 더욱더 확장하여 戰略的, 定性的要因을 모형화 했다.

3. 模型의 定立

工場 自動化를 추진하는데 있어서 FMS를 構築하기위한 일반적인 모형은 다음과 같다.



<그림 1>

本 硏究에서는 柔軟生産 제조 시스템을 위하여,

첫째, 需要豫測기법으로는 多品目 少量·中量生産體系에 적합한 Winters Model(21)을 기초로하여 需要豫測을 전산화하고 둘째, 설비를 효율적으로 재 배치한다음에 라인 均衡化의 문제에 있어서는 Helgeson과 Birnie(10)의 R. P. W. M(Ranked Positional Weight Method)을 기초로 하여 Thmopoulos(18)의 기법과 Tonge(19)의 기법을 혼합하여 最適의 라인 均衡化를 도출하고자 한다.

設備投資의 평가는 Suresh, Meredith(17)와 Nelson(16)이 제안한 戰略的, 定性的要因을 고찰한 다음에 이 중 純現價는 컴퓨터 시뮬레이션으로 정확한 값을 추정하고 예산 대 비용요소는 MAPI방식에서 도출하여 가장 效率的인 유연생산 제조시스템을 構築하려 한다.

本 硏究는 FMS의 도입시에 각각의 시스템을 전산화하고, 이를통해 높은 生産性을 追求하여, 그에 따른 成果를 分析함으로서 最適의 柔軟生産 제조 시스템을 構築하여 가장 바람직한 自動化시스템으로, 또한 CIM에 접근 하는데에 目的이 있다.

3-1. Winter's Model에 의한 需要豫測

Winter's Model(21)은 실제 데이타에 의한 需要豫測을 정확히 할수 있으며, 中·短期豫測과 재고관리에 아주 유용한 기법으로 季節指數(S), 趨勢値(T), 季節除去平滑常數(α), 季節指數 平滑常數(β), 趨勢値의 平滑常數(γ)를 가지고 需要豫測을 하는것이다. 이때, 누적오차도 함께 산출되는데 이 誤差의 값이 적을수록 예측치가 실제와 가까워지며, α, β, γ를 실제로 구하려면 많은 어려움이 있으므로 simulation한 平滑常數는 0.1 -0.3으로 압축 되는데 누적오차값이 너무 클 경우에는 平滑常數 0.1 -0.3에서 조정하여 需要豫測을 해야한다.

3-2. 設備의 재 배치와 라인均衡化를 模型의 定立

1) 假定

① 작업요소 시간을 서로 독립이다.

② 가공순서 즉 선후관계가 정의된다.

③ 작업자의 학습과 피로의 영향은 무시한다.

④ 일정한 수요를 갖는다.

⑤ 비용과 수입은 동시에 이루어진다.

⑥ 투입된 조립물의 이동은 자동적으로 운반된다.

⑦ 모든 작업요소 i의 작업소요시간은 정규분포를 하며 각 작업요소 시간들의 관계는 서로 독립이다.

⑧ 작업시간을 상수로 가정한다.

2) 라인均衡化를 위한 模型의 定立

① 몇개의 작업요소를 집단으로 단순화시킨다.

② 작업소요를 효율적으로 재 분배한다.

③ 자신의 작업에 후속되는 모든 작업시간을 合하여 위치 비중이 큰 순서대로 배열하여 Grouping한다.

④ 만일 어떤 작업시간이 현재 그 작업대에 남아있는 여유시간 보다크거나 Precedence Constraint가 성립 되지않으면 그다음 작업이 고려의 대상이 된다.

⑤ 더이상 고려의 대상이 없으면 다음 작업장에 대해서 시작된다.

3-3. 設備投資에 관한 經濟性評價

3-3-1. 戰略的要因 分析(P1)

1) 記號 및 用語解說

a1, a2, a3 : 전략적 요인중 각 세부항목에 대한 가중치

$\bar{t}i$: 각 대안의 기술평가 상대점수(i= 1, 2, 3)

$\bar{e}i$: 각 대안의 설비평가 상대점수(i= 1, 2, 3)

$\bar{C}i$: 각 대안의 공정능력 변화 상대점수(i= 1, 2, 3)

t1 : 대안으로 등장한 FMS의 기술수준

t2 : 대안으로 등장한 FMS의 장래전망

t3 : 대안으로 등장한 FMS의 기술효과

ti : 각 대안의 i의 상대기술 가중점수

tm : 각 대안 기술점수중 최대치의 기술점수값

n : Sub FMS의 수

$\bar{t}$: Main FMS의 기술 평가점수

e1 : 대안으로 등장한 FMS의 연간보수비용이 총 구입비중 차지하는 비율점수

e2 : 대안으로 등장한 FMS의 수명점수

e3 : 대안으로 등장한 FMS의 설비 적합성점수

Wj1 : 설비 상태점수

nj1 : 대안에서 j상태로 평가된 Sub FMS수

n1 : 대안에서 총 Sub FMS의 수

nj2 : 대안에서 설비사용연수가 j로 판명난 Sub FMS의 수

n2 : 대안에서 총 FMS의 수

Wj2 : 해당 사용연수의 점수치

ej31 : 대안의 j Sub FMS의 상태 1.

ej32 : 대안의 j Sub FMS의 상태 2.

$\bar{e}i$: 대안 i의 상태설비 평가점수

ei : 대안의 설비 평가점수

em : 대안 i중 최대값을 갖는 설비 평가점수

Co : 각 대안에 관한 FMS의 설비를 도입시에 얻을 수 있는 평균공정능력 변화량

Cr : 각 대안에 관한 FMS의 설비를 도입시에 얻을 수 있는 공정능력변화량

$\overline{Wo}$: 평상시 설비의 평균 공정능력

$\overline{Wr}$: 평상시 설비의 최대 공정능력

Ci : 각 대안의 i의 절대 공정능력

Cm : Ci 값중 최대값.

2) 模型의 定立

戰略的要因의 고려요소는 기업경쟁력의 강

화, 잠재적수요에 대비한 기계설비의 생산능력 강화, 단기 수명주기를 갖는 제품에 대처할수있는 설비유연성의 강호, 설비 운영의 KNOW-HOW로서의 기술확보 등을 고려할 수 있는데 수식으로는

$$P1=a1*\bar{t}i+\bar{a}2*\bar{e}i+a3*\bar{c}1$$

단, i=1, 2, 3 ····· (3.1)

$$Ti=t1+t2+t3$$ 단, $1\leq t1\geq 4$, $1\leq t2\geq 5$,

$1\leq t3\geq 5$, ····· (3.2)

$$t3=\sum_{j=1}^{5} t3j,\ t3j=0 \text{ or } 1 \quad \cdots\cdots (3.3)$$

이상의 기술점수를 정규화된 값으로 나타내면,

$$\bar{t}i=\frac{ti}{tm}=\frac{t1+t2+t3=\sum_{j=1}^{5} t3j}{tm}$$

단, t3j=0 or 1 ····· ····· (3.4)

Main FMS형성시는 평균치 개념을 도입하여 나타내면,

$$\bar{t}=\sum_{i=1}^{n} t3i$$ 단, t3i=o or 1 ····· (3.5)

기술평가점수는 $\bar{e}i$는

$ei=e1+e2+e3$ 단, $1\leq e1\geq 5$, $1\leq e2\geq 5$,

$0\leq e3\geq 1$ ····· (3.6)

$$e1=\frac{\sum_{j=1}^{5} nj1*Wj1}{n1}$$

단, $1\leq e1\geq 5$ ····· (3.7)

$$e2=\frac{\sum_{j=1}^{5} nj2*Wj2}{n2}$$

단, $1\leq e1\geq 5$ ····· (3.8)

$$e3=\frac{\sum_{j=1}^{5} ej31*ej32}{n3}$$

단, $1\leq e1\geq 5$ ····· (3.9)

이상의 설비평가점수를 정규화시키면,

$$\bar{e}i=\frac{ei}{em} \quad \cdots\cdots (3.10)$$

공정능력 변화점수 $\bar{C}i$는

$$Ci=\left|\frac{(Co-Cr-)/Cr}{(\bar{W}o-\bar{W}r)\bar{W}r}\right| \quad \cdots\cdots (3.11)$$

이상의 기술점수를 정규화시키면,

$$\bar{C}i=\frac{Ci}{Cm} \quad \cdots\cdots (3.12)$$

이와같이 가중치를 할당한 전략적 요인의 가중치 총합은 다음과 같다.

$$P1=a1*\bar{t}i+\bar{a}2*\bar{e}i+a3*\bar{c}1$$

단, i=1, 2, 3 ····· (3.13)

$$a1*\left[\frac{t3=\sum_{j=1}^{5} t3j}{(tm}\right]+$$

$$a2*\left\{\frac{\sum_{j=1}^{5} nj1*Wj1}{n1}+\frac{\sum_{j=1}^{5} nj2*Wj2}{n2}+\frac{\sum_{j=1}^{n} (ej31*ej32)}{n3}\right\}+$$

$$a3*\left[\frac{(Co-Cr)/Cr}{(\bar{W}o-\bar{W}_r)/\bar{W}_r}\right] \quad \cdots\cdots (3.16)$$

3-3-3. 定性寂要因 分析(P2)

FMS 관련된 정성적요소로는 人的要因과 物的要因으로 구별하는데 수식으로는

$$P2=\sum_{j=1}^{N} (fj+hj+gj*mj) \quad \cdots\cdots (3.5)$$

fj, gj : 정성적요인 중 인적요인과 물적요인의 가중치

hj : 각 대안의 인적요인의 상대점수

mj : 각 대안의 물적요인의 상대점수

인적요인의 고려오소로는 소비자 구매력 영향도, FMS의 관리방식, 종업원의 사기, 공정 setting이 미치는 영향, 작업자통제를 들수 있으며, 물적요인으로는 작업환경의 변화, lot out 재 작업에 관한 변화, 물량흐름 제어방식, FMS설비관리, 작업탄력을 들수 있다.

3-3-4. 定量的要因 分析(P3)

새로운 설비투자나 여러 대안들을 비교 평가하는 방법 중 本 硏究는 정확한 N.P.V값을 산출 하기위해 시뮬레이션에 관한 **模擬實驗**을 통하여 비용분석을 하려하며 예산 대 비용요소는 M. A. P. I 방식에서 유도하여 하나의 시스템을 구현하려한다.

1) 假定

① 장래의 도전설비에 관한 종합최소 부담액은 현 도전설비의 종합최소 부담액과 같다.

② 현 도전설비인 FMS의 조업열성은 그 사용기간을 통하여 직선적으로 증가한다.

③ 투입량과 산출량은 일량분포(Uniform Distribution), 이산분포(Dormal Distribution), 정규분포(Normal distrbution)를 따른다.

2) 純現價값을 測定하기 위한 資料

① 초기투자액(Initial Investment)

② 내용연수(Useful Life)

③ 잔존가치(Salvage Value)

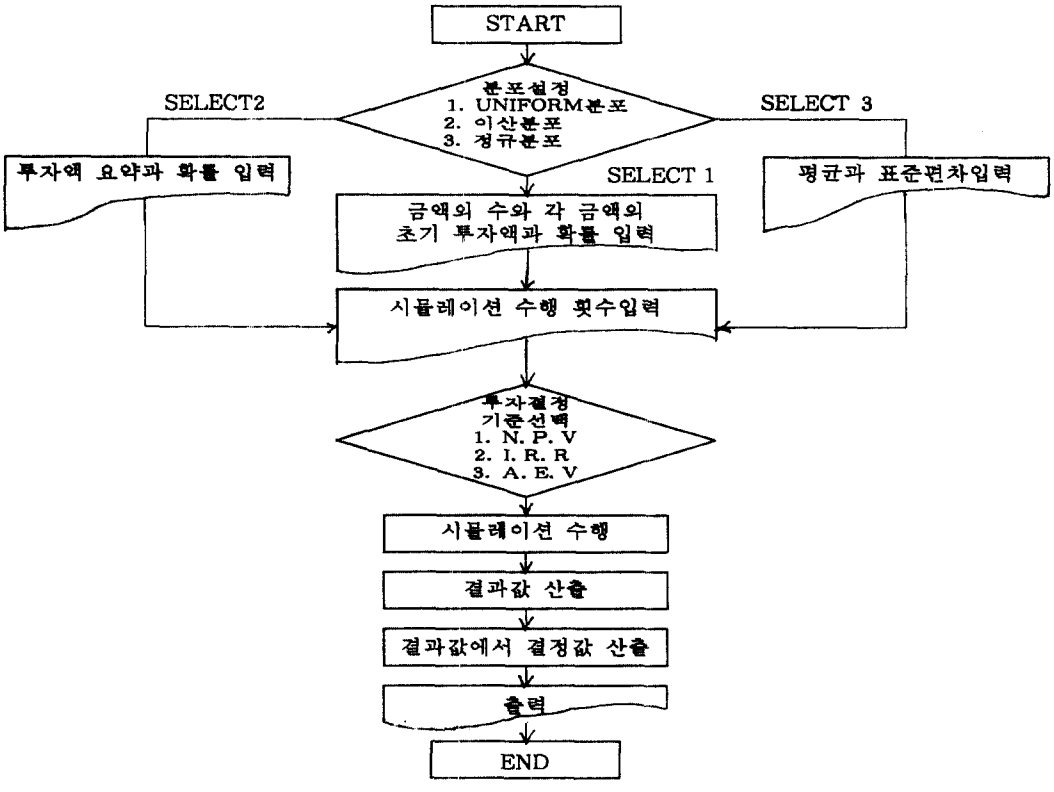
④ 연간지출(Annual Expence)

⑤ 연간수입(Annual Return)

⑥ 자본비용(Capital Cost)

3) N.P.V 추정을 하기위한 Simulation흐름도

<표 1> Simulation흐름도



4. A, B企業의 電算 出力結果

이상의 변수를 갖고 Simulation해 본 결과는 다음과 같다.

需要豫測은 電算化에 의한 효율적인 예측으로 生産計劃에 확실한 정보를 제공해 주며, 設備 Seetting에 있어서 공정의 효율은 84%에서 100%로 증가됐다. Cycle Time은 25에서 20으로 줄어들었는데 공정의 효율을 높이기 위해서 Cycle Time을 Max $Ti \leq C \geq \sum_{i=1}^{N} Ti$ 에서 탐색접근을 하지만 사이픔 타임이 작아야 생산성이 그만큼 높아 지는데 이결과치는 인원의 감소와 효율과 생산성이 아주 이상적으로 부합된 결과치라 하겠다. 순현가 값을 추정하기위한 시뮬레이션에 이한 전산 출력결과는 다음과 같다.

<표 2> 시뮬레이션 출력결과

* TRIAL NUMBER = 98
* * * CASH FLOW TABLE * * *

INTIAL INVESTMENT	USEFUL LIFE	SALVAGE VALUE	ANNUAL EXPENSE	ANNUAL RETURN	NET CASHFLOW
6.904486E+07		.8200003			
		406757.3			

* TRIAL NUMBER = 99
* * * CASH FLOW TABLE * * *

INTIAL INVESTMENT	USEFUL LIFE	SALVAGE VALUE	ANNUAL EXPENSE	ANNUAL RETURN	NET CASHFLOW
7.358195E+07		.8200003			
		235238.6			

* TRIAL NUMBER = 100
* * * CASH FLOW TABLE * * *

INTIAL INVESTMENT	USEFUL LIFE	SALVAGE VALUE	ANNUAL EXPENSE	ANNUAL RETURN	NET CASHFLOW
7.288277E+07		.8120003			
		529479.8			

98. NET PRESENT VALUE=6.904486E+07
99. NET PRESENT VALUE=7.351895E+07
100. NET PRESENT VALUE=7.288277E+07

* * * * * * * SIMULATION RESULT OF NPV METHOD * * * * * * *

1. EXPECTED NET PRESENT VALUE=7.4549E+07
2. STANDARD DEVIATION OF NPV=3533902

挑戰方式에 의한 기대되는 純現價 : 7천 4백 5십 4만 9천원

5. 結 論

실제로 A, B企業의 事例 硏究 電算結果를 요약하면 아래와 같다.

<표 3>

종 류	현 재 방 식	도 전 방 식
수요예측	의사결정자의 임의 결정	정량적인 효율적인 결정
R.P.W.M에 의한 라인 균형	84%	100%
작업방식	F/C에 의한 수작업	FMS에 의한 작업
CYCLE TIME의 범위	10≤ C ≤ 63	15≤ C ≤ 60
CYCLE TIME	C = 25	C=20
인원	24 名	14名
N.P.V	92,668,980원	74,549,000원
연간 순이익	28,800,000원	38,016,000원
연간수량	8,000개	10,560개
가공대상품	2-3개	10개

위 企業은 多品種 少量生産 體制라 할수 있는데 갯수로는 많은 양을 生産하는 業體로 CYCLE TIME은 25에서 20으로 줄어들어 그만큼 生産性이 높아졌으며 勞動人力은 42%로 減少되고, N.P.V는 19.6%로 減少되며, 年間純利益은 30%로 증가된다.

또한, 需要豫測으로 DRD-1500, DMB-U5, DMB-V3의 평활상수는 각각 $\alpha=0.1$, $\beta=0.3$, $\gamma=0.1$, $\alpha=0.1$, $\beta=0.2$, $\gamma=0.1$, $\alpha=0.1$, $\beta=0.3$, $\gamma=0.1$로 나타났으며 DRD-1500과 DMB-U5의 수요는 각각 4%, 1% 증가할것이며 DMB-U3는 46%가 감소될것이라 추정된다.

위의 결과를 분석하여 기대되는 효과를 살펴보면,

첫째로, 정량적인 효율적인 需要豫測으로 재고비와 재공품의 공간절약으로 기업의 경쟁력이 강화되며,

둘째로, 공정 CHART에 의한 설비의 재 배치와 最適의 라인均衡化로 공정의효율을 높여서 생산성을 극대화 시킬수가 있으며,

세째로, 각시스템의 비용을 시뮬레이션에 의한 經濟性評價를 함으로서, LABOR COST가 현저히 줄어들어 재무구조를 강화시키며,

네째로, 시스템의 전산화로 자동화부서와 다른부서와의 有機的인 結合으로 가장 능률적인 경영관리 체제를 유지할 수 있으며,

다섯째로, 시스템의 電算化에 의해서 장차 무인자동화를 하기 위해 CIM 구축에 가장 效率的으로 대처할수가있으며,

여섯째로, 이시스템이 柔軟性(Flexibility), 生産性(Productivity), 信賴性(Reliability)을 겸비하므로 자동화시스템으로서 매우 효율적으로 환경변화에 대처할수가 있는 것이다.

본 연구에서는 FMS를 구축하기 위하여 새로운 접근방법을 제시하였으며, 본 연구와 더불어 과제로 고려될 수 있는것은 우리나라 실정에 맞는 효율적인 설비 Setting과 고장에 관한 신뢰도 분석이 요구되며, 설비보존에 관한

TPM에 관한 연구가 필요하다 하겠다.

참 고 문 헌

(1) 姜榮植, 咸洋駿 工場自動化를 위한 FMS의 構築模型에 관한 硏究 1990. 11 '90 대한 산업공학회 논문집 pp. 195－213

(2) 김기영 生產管理 1985 法文社

(3) 김치우 다품목 생산시스템하에서의 確率的 라인均衡化에 관한 硏究 1984, 韓國科學技術院

(4) 梁鍾熙 加重要因點數計算에 의한 FMS의 經濟性評價에 관한 硏究 1989 亞洲大

(5) 咸洋駿 經濟性工學 1990 博英社

(6) Bowman, E. H., "Assembly Line Balancing by LP", OPS. Research, Vol. 8, No. 3, 1960.

(7) Box, G. E. P., G. M. Jenkins, "Time Series Analysis, Forecasting, and Control", San Francisco: Holden-day, 1970.

(8) Brown, R. G., "Decision Rules Inventory Managemant", New York : Holt, Rinehart, and Winston, 1967.

(9) Dean & Nishry, "A Scoring Model for Multimachine Systems", Journal of manufacturing Systems, 1965.

(10) Helgeson and Birnie, "Assembly Line Balancing Using the Ranked Positional Weight Technique", The Jour, of IE., Vol. 12, No. 6, 1961.

(11) Kilbridge, M.D.&Wester, L., "A Heuristric Method of Assembly Ling Balancing", The Jour. of IE Vol. 12, No. 4, 1961.

(12) Kottas, J. F. & Lau H. S., "A Cost Oriented Approach to Stochastic Lines Balancinng" AIIE Transaction Vol 5, No 2, 1973.

(13) Julius, Shiskin. & Harry, Eisenpress., "Series Analysis, Forecasting Sales, and Control," Management Science, 1965.

(14) Moodie, C. L. & Young, H. H., "A Heuristic Method of Assembly Line Balancing for Assumptions of Constant or Variable Work Element Times", The Jour. of IE., Vol 16, No. 1, 1965.

(15) Motely & Netwon. "Justifying Multimachine Systems", Jour. of Manufacturing, 19－59.

(16) Nelson. C. A., "A Scoring Model for Manufacturing System Project Selection", European Jour. of O.R, Vol. 24, No. 3, 1986.

(17) Suresh & Meredith, "Justifying Multimachine Systems", Journal of Manufacturing Systems, Vo. 14, No. 2, 1985

(18) Thomopoulos, N. t., "Mixed Model Ling Balancing With Smoothed Station Assignments", Management Science, Vol. 16, No. 9, 1970.

(19) Tonge, F. M., "Summary of Heuristic Ling Balancing Procedure", Management Science, Vol. 7, No. 1, 1970.

(20) Vrat, P & Virani, A., "A Cost Model for Optimal Mix of Balanced Stochastic Assembly Ling and Modular. Assembly System for a Customer oriented Production System", Jour. of Prod Res., Vol. 14,

No. 4, 1976.

(21) Winters, P. R., "Forecasting sales by Exponentially Weighted Moving Averages", Management Science 6(April 1960), pp. 324－342.