

多基準 分析을 利用한 柔軟生産시스템에서의 多目的 生産計劃 模型에 관한 研究

A Multi-objective Production Planning Model in a Flexible Manufacturing System Using Multiple Criteria Analysis

李 英 光*

Abstract

The decision making process for production planning in FMS usually involves multiple conflicting objectives and criteria.

This study consists of prescreening and analytical phase.

In the prescreening phase, criteria are used to reduce the set of alternative system configuration down to a small number of candidates.

After this phase, a multiobjected programming model is formulated for each remaining configuration.

1. 序 論

최근 注文生産品에 대한 需要의 增加는 많은 選擇과 製品의 變化를 가져왔다.

顧客에 의해 要求되는 多樣한 製品은 傳統的으로 Job shop 또는 작은 Batch production의 形態로

生産되어 왔다.

그러나 낮은 生産성과 높은 生産原價로 Job shop의 設備들은 代替로 大量生産에는 適合치 않으므로 다양한 製品을 大量生産으로 可能的 價格으로 生産할 수 있는 生産시스템에 대한 需要가 일어나게 되었다.

* 大有工業專門大學 工業經營科

이러한 목적을 위한 편리한 Batch production system으로서 매력적인 代替案이 柔軟生産시스템(Flexible Manufacturing System : FMS)이다.

이같은 복잡한 FMS와 같은 계획은 서로 다른 工程條件을 위한 豫見된 시스템 遂行을 할 수 있는 모형화(Modeling)하는 道具로서 有用하다.

FMS의 목적은 복잡한 製品의 多様な 生産能力, 짧은 納期, 쉬운 生産量 또는 Batch size의 變更, 融通性있는 日程計劃들 보다는 可能한 한 生産工程을 萬能的이며 融通性있게 하는 것이다. 一般적으로 보다 높은 融通性은 會社가 市場과 顧客의 要求에 變化를 쉽게 修正할 수 있으며, 製品의 品質水準을 높게 維持해 준다. 하지만 FMS의 이러한 手段에 앞서 FMS에 關聯된 多様な 技術的, 經濟的, 設計的, 經營的 및 社會的 要素의 影響에 대한 세심한 可能性과 遂行分析이 必要하다.

最近의 研究도 技術 그 自體보다는 FMS設計, 遂行, 社會的 및 經營的 觀點과 關聯된 이들 要素의 重要性을 보여주고 있다.

FMS계획을 위한 多目的 分析은 여러 측면에서 행하여 지고 있으며, 대체로 分析의 模型과 Simulation 接近法이 主流를 이루고 있다.

우선, 최근의 分析의 模型에서는 이상문과 정현주[1989]의 FMS에서의 多目的 生産計劃 模型에 관한 研究가 있으며, 이 模型은 FMS生産 시스템의 生産計劃時 서로 相反되는 여러 目的을 目標計劃法(Goal Programming)을 利用하여 동시에 만족시키는 절차이다. 또한 Chen과 Askin[1990]은 "FMS의 Loading段階에서의 多目的 評價"에서는 發見的 節次(Heuristic Algorithm)을 이용하였으며, Stam과 Kuula(1991)는 "多重基準分析을 使用한 FMS의 選擇"에서 2단계로 나누어 분석하였으며, 1段階의 事前選別段階에서는 Expert Choice라는 Package를 이용하여 여러 代案을 3~4개의 代案으로 줄인 후 Visual Interactive Goal Programming(VIG) Package를 이용하여 1段階에서 남은 후보 代案들에 대한 자세한 計量的 分析을

하였다.

2. 意思決定過程

提案된 方法은 두 段階로 構成되어 있다. 初期資料가 수집되고, FMS를 위한 計劃基準의 모든 候補의 集合이 全體적으로 特性化되고, 分類되었다고 假定한다. 두 段階의 一般的인 說明은 다음과 같다.

2.1. 段階 1

初期 活用가능한 代替案은 상당히 많아서 석이안(Trade-off)을 評價하는見地에서 관리하기가 까다롭다.

Steuer[1986]는 人間의 마음으로, 效果的으로 同時에 評價할 수 있는 석이안을 기껏해야 5~7개의 代替案이라는 研究를 하였으며, Stam[1987]도 複數基準을 包含하는 相互對話式의 應用에 意思決定者의 한 사람으로서도 위와 같음을 알 수 있었다고 하였다.

이와같은 이유로 段階 1에서 응용되는 事前選別節次는 FMS의 候補代案의 목록을 보다 효율적으로 관리할 수 있는 數로 줄이는 것이다.

본 연구에서는 FMS 設計의 組織的 또는 社會的 影響과 같은 計數的 基準뿐만 아니라, 費用과 같이 計量的으로 관련된 석이안을 분석할 수 있다. 따라서 事前選別分析의 유용한 觀點은 모든 FMS 設計基準를 評價할 수 있는 것이다. 즉, 수리적인 것으로 표현되는 有形의 基準이나 數理的인 의미를 갖지 않는 無形의 基準도 評價할 수 있다는 것이다.

본 연구에서 模型化의 주된 觀念은 意思決定問題를 의사결정자로 하여금 석이안의 평가를 보다 쉽게 할 수 있도록 작은 문제로 나누는 것이다.

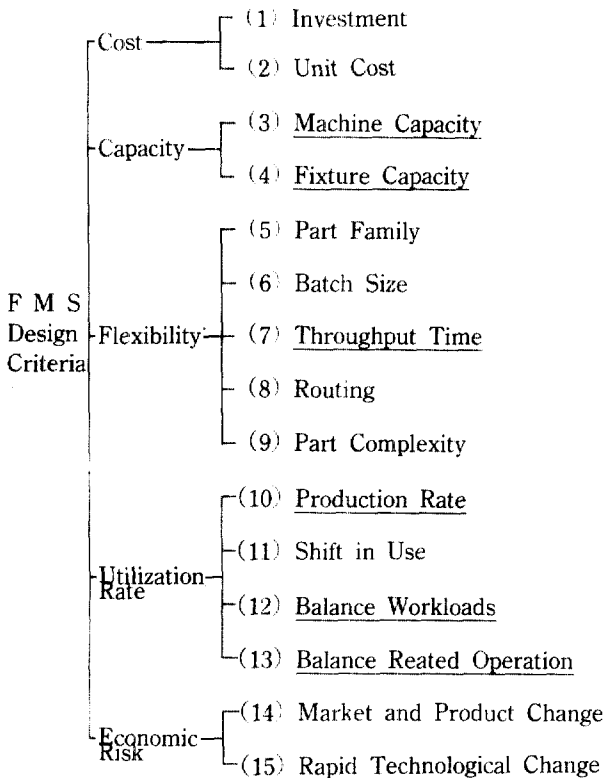
예를들면 전체적 기준으로 능력이나 유연성은 기계능력, 고정장치능력, 생산시간 등의 [그림 1]

과 같은 작은 기준으로 나눌 수 있다.

이들 작은 기준은 차례로 의사결정 문제의 段階的 나무 構造로 細分되고, 가장 아래 수준이 대체안이 되는 것이다.

代替案을 評價하는 方法으로는 既存에 널리 사용되는 雙比較法(Pairwise Comparison)과 評價法(Rating)[3]이 있으며, 代案의 選好度에 따라 順位가 결정되며, 대안의 모든 順位決定과정은 完了된 후에 가장 높은 順位の 한 대안이 가장 선호되는 것으로 선택되어 수행된다. 事前選別段階에서는 매력적이지 못한 代案을 다음 단계의 분석을 위해 제거하고자 할 뿐이다.

그러므로 단계 1에서 고려되는 代案보다 적은 수의 代案이 단계 2의 분석을 위하여 算定된다.



[그림 1] FMS Design Criteria

2. 2 段階 2

단계 2는 여러 면에서 단계 1과 다르다.

우선, 事前選別段階에서는 단지 각 基準의 水準에 관한 一般的인 判斷이 요구되는 반면, 두번째 단계에서는 자세한 計量的 情報가 必要하게 된다.

둘째로 남은 적은 수의 대체안은 計量的 技法으로 보다 자세히 分析된다.

세째는 두번째 단계에서 남은 기준사이의 遂行度를 評價하기 위한 分析방법은 FMS하에서의 生産계획의 수행도 특성과 물리적 제약하에서 고려되어야만 하므로 FMS와 관련된 觀點을 數式化하기 위해서는 多目的 數理計劃模型으로 되며, 이를 最適化하게 된다.

앞에서 결정된 기준들의 特定變數의 係數는 數式化 과정의 投入要素로 사용되며, 여기서 중요한 점은 투입요소에 의한 多目的 分析의 結果가 각 係數의 값에 따라 敏感하므로 相當히 正確해야 한다는 것이다.

3. 模型樹立

3. 1 假定

FMS결정의 모형화에 대한 GP의 적용을 구체화하기 위하여 모형구조를 單純化시키는 假定은 다음과 같다.

(1) 각 部品의 種類는 하나 또는 그 이상의 工程으로 構成되어 있다.

(2) 각 工程은 하나 또는 그 이상의 機械를 거친다.

(3) 部品 移動時間은 調達期間에 영향을 미치지 않는다. 計劃과 調整이 잘 되어있는 FMS에서는 工程을 위하여 하나 또는 그 이상의 部品이 待機하고 있기 때문이다.

(4) 시스템은 각 作業者의 能力에 따른 각 機械의 총서비스 時間의 제약뿐만 아니라, 요구되는

각 機械에 대한 部品の 形態에 따른 經路도 제약된다.

- (5) 工具 交替時間은 作業時間에 포함된다.
- (6) 모든 대안에 필요한 工程時間과 作業時間에 대한 資料가 주어진다.

3. 2 시스템 제약

시스템 제약의 조건은 시스템 遂行度에 대한 그들의 영향을 調査하기 위한 것으로 다음과 같이 區分될 수 있다.

- (1) 한 部품을 生産하기 위해 要求되는 工程의 關聯된 그룹.
이 모형에서 한 部품은 一連의 工程을 통하여 生産되는 것으로 고려되기 때문에 한 종류의 部품을 생산하기 위해 要求되는 相關된 각 工程은 같은 數만큼 遂行되어야 한다.
즉, 모든 機械에 割當된 工程의 총 수는 한 種類의 部품을 生産하기 위하여 相關된 工程의 수와 반드시 一致하여야 한다.
이를 수식화하면 다음과 같다.

$$\sum X_{j(g)k} - \sum X_{j(g-1)k} + d_p^- - d_p^+ = 0 \quad \dots\dots\dots(1)$$

$g=1, \dots, |s_1| ; i=1, \dots, m$

여기서 m은 部품종류의 수이며, j는 일련의 工程을 나타낸다.

즉, $j=\{1, \dots, n\}$; $j(g)$ 는 s_1 의 g번째 要素를 나타낸다.

$S_i = \{j(g) | j(g) \text{와 部품 } i \text{의 필요한 工程}\}$ 이며, $k=1, \dots, \ell$, 여기서 ℓ 은 기계의 수를 나타낸다. $p=1, \dots, \sum |s_i|$.

- (2) 機械能力

각 기계에 할당된 총 作業負荷는 最大能力을 초과해서는 안된다.

즉, 각 기계의 활용 가능한 공정시간은 다음과 같다.

$$\sum T_{jk} X_{jk} + d_q^- - d_q^+ = MAT_k ; k=1, \dots, \ell$$

\dots\dots\dots (2)

여기서 T_{jk} 는 각 部품의 종류에 대해 j공정을 위한 기계 k에서의 공정 시간을 나타내고, MAT_k 는 기계 k의 최대 활용 가능한 시간이며, ℓ 은 시스템내의 기계의 수이다. $q = \sum |s_i| + 1, \dots, \sum |s_i| + 1$.

- (3) 固定裝置能力.

고정장치는 기계작업 또는 운반 도중에 部품을 잡고, 위치하고, 배열하는데 사용되므로 FMS에서 중요한 역할을 한다.

시스템내에서 각 部품에 대한 고정장치 의 수는 제한되므로 각 部품에 대한 총 고정장치 사용시간은 해당되는 고정장치 의 총 사용시간을 초과하지 않아야 한다.

$$\sum \sum (T_{j(g)k} + FT_k) X_{j(g)k} + d_r^- - d_r^+ = NP_i^* FAT_i$$

\dots\dots\dots (3)

$i=1, \dots, m$.

여기서 FT_k 는 기계 k에서 부가적 고정장치 의 수이며, FAT_i 는 部품종류 i에 대한 최대 활용 가능한 시간이다.

$$r = \sum |s_i| + 1, \dots, \sum |s_i| + 1 + m.$$

3. 3. 目標制約

목표제약은 시스템 遂行의 評價基準을 根據하여 形成되며, FMS를 위한 전형적인 시스템 수행도 評價基準은 다음과 같다.

- (1) 生産量

주어진 계획기간 동안 각 部품에 대한 生産 목표가 있고, 이들의 상대적 중요도에 따라

다기준 분석을 이용한 유연생산시스템에서의 다목적 생산계획 모형에 관한 연구 이영광
 각 부품종류에 대한 가중치가 주어져 있다. 가장 짧은 공정시간을 나타낸다.

$$\sum X_{j;g;k} + d_i^- - d_i^+ = PR_i ; i=1, \dots, m ; g=1, \dots, |s_i| \dots\dots\dots(4)$$

여기서 PR_i는 부품종류 i의 요구되는 생산량을 나타낸다.

$$t = \sum |s_i| + 1 + m + 1, \dots, 2\sum |s_i| + 1 + m$$

(2) 機械負荷

각 기계에 전체부하를 均衡있게 割當하는 것이 FMS에서 반드시 필요한 최상의 목적은 아닐지라도 작업시간의 차이, 다른 機械道具의 요구, 한정된 도구틀(magazine)의 용량 때문에 때때로 실질 상황에서는 중요한 목적이 되며, 隘路工程을 豫防하기 위해 고려된다.

$$\sum T_{jk}X_{jk} - \sum T_{j,k+1}X_{j,k+1} + d_u^- - d_u^+ = 0 ; k=1, \dots, \ell \dots\dots\dots(5)$$

$$j=(1, \dots, n) ; u=2\sum |s_i| + 1 + m + 1, \dots, 2\sum |s_i| + 2l + m.$$

(3) 生産時間

工程 중의 在庫水準은 生産時間 길이에 의해서 影響을 받으며, 재고수준의 조절관점에서 생산기간 最少化는 시스템 遂行도 評價基準으로 사용될 수 있다. 그렇지만 이는 機械均衡目的과 相衡될 수 있다.

$$\sum (T_{jk} - \text{MINPT}_j)X_{jk} + d_v^- - d_v^+ = 0 ; j=1, \dots, n \dots\dots\dots(6)$$

$$v=2\sum |s_i| + 2l + m + 1, \dots, 3\sum |s_i| + 2l + m.$$

여기서, MINPT_j는 공정 j를 위해 요구되는

4. 適用例

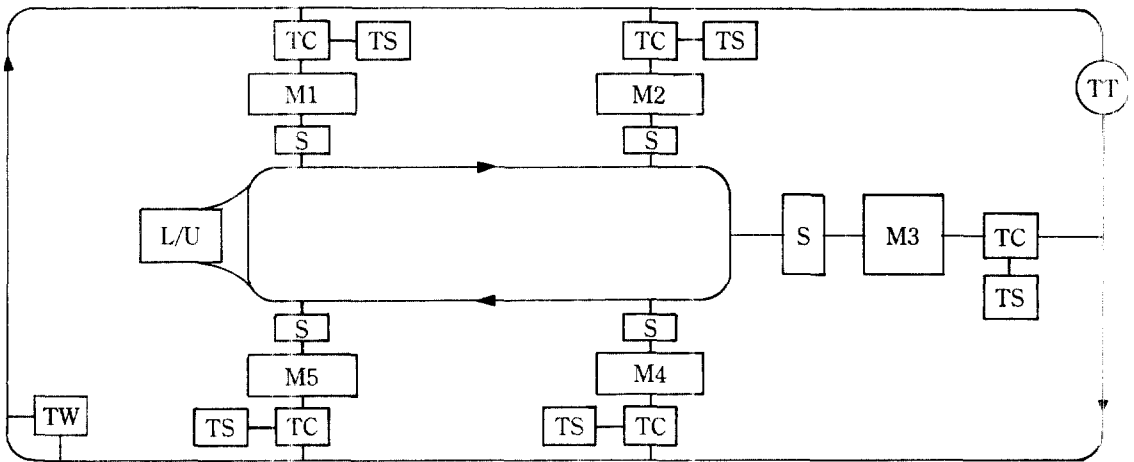
앞에서 개발된 모형에 例를 適用하기 위하여 單純한 FMS의 例를 나타내었다. FMS의 예에 대한 配置는 [그림 2]와 같다. 먼저 단계 1을 적용하여 [그림 1]의 基準을 考慮하여 雙比較法 結果가 [표 1]이며, 이 段階에서 15개의 기준이 6개로 줄어들어서 段階 2로 넘어간다.

段階 2에서는 段階 1에서 남은 基準을 가지고 Saaty [3]에 의해 開發된 분석적단계과정(AHP)을 이용하여 각 기준의 Priority를 정하게 된다. [표 2]는 段階 2에서의 기준에 대한 選好도를 比較하기 위한 質問書이고, [표 3]과 [표 4]는 [표 2]를 근거로 雙比較法의 行列과 順位加重值計算의 標準化된 행렬로 나타낸 것이다.

다음으로 最適化 과정으로 [표 5]에는 機械가 遂行할 수 있는 공정과 最大活用可能時間을 나타냈으며, [표 6]에는 部品別 필요한 공정과 生産量, 固定裝置數, 使用可能時間을 나타냈으며, [표 7]에는 기계별 單位工程 시간 및 附加的 固定裝置使用時間이 나타나 있으며, 이들을 根據로 하여 目標計劃法으로 解決한 結果가 [표 8]에 나타나 있으며, 여기서 決定變數는 한 機械에서 한 部品에 대한 각 工程의 進行數를 나타낸다.

[표 1] 각 기준들에 의한 쌍비교
(P : Preference, = : Equality)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	선호된수	순위
1		P			P	P		P	P		P			P	P	8	7
2					P	P		P	P		P			P	P	7	8
3	P	P		=	P	P	P	P	P		P	P		P	P	11 1/2	3
4	P	P	=		P	P	P	P	P		P	P		P	P	11 1/2	3
5						P		P	P		P			P	P	6	9
6														P		1	14
7	P	P			P	P		P	P		P			P	P	9	6
8						P			P					P	P	4	11
9						P								P	P	3	12
10	P	P	P	P	P	P	P	P	P		P	P		P	P	13	2
11						P		P	P					P	P	5	10
12	P	P			P	P	P	P	P		P			P	P	10	5
13	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P		P	P	14	1
14						P								P		2	13
15																0	15



→Material handling system ; →tool handling system ; M1-M5. machine stations ; S. shuttle ; L/U, load/unload station ; TW. tool warehouse ; TC. tool changer. TS. secondary tool storage ; TT. tool transporter.

[그림 2] FMS의 예

[표 2] 선호도 비교를 위한 질문서

Beat overall	F N S	AB VS	F.S WE	EQU	WE F.S VS AB	Attribute
Criteria		9 8 7 6	5 4 3 2	1	2 3 4 5 6 7 8 9	
Production rate	A				×	B : B. R. Operation C : Workloads D : Throughput time E : Capacity
	A		×			
	A		×			
	A		×			
Balance Related Operation	B		×			C : Workloads D : Throughput time E : Capacity
	B		×			
	B		×			
Workloads	C			×		D : Throughput time E : Capacity
	C			×		
Throughput time	D				×	E : Capacity

[표 3] 쌍비교법의 행렬

						Decimal Equivalents				
	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
A. Production rate	1	1/3	5	6	5	1	0.33	5	6	5
B. B. R. Operation	3	1	6	7	6	3	1	6	7	6
C. Workloads	1/5	1/6	1	3	1	0.20	0.17	1	3	1
D. Throughput time	1/6	1/7	1/3	1	1/4	0.17	0.14	0.33	1	0.25
E. Capacity	1/5	1/6	1	4	1	0.20	0.17	1	4	1
						Σ=4.57	1.81	13.33	21.0	13.25

[표 4] 쌍비교법과 순위가중치 계산의 Normalized Matrix

	A	B	C	D	E	행 Σ	평균 =Σ/5
A	0.219	0.184	0.375	0.286	0.377	1.441	0.288
B	0.656	0.551	0.450	0.333	0.454	2.444	0.489
C	0.044	0.094	0.075	0.143	0.075	0.431	0.086
D	0.037	0.077	0.025	0.048	0.019	0.206	0.041
E	0.044	0.094	0.075	0.190	0.075	0.478	0.096
	Σ=1.000	1.000	1.000	1.000	1.000		1.000

[표 5] 수행공정 및 기계에서의 최대공정시간

기 계 (k)	공 정 (j)	가용시간 (h)
1	(1, 2)	72
2	(2, 3, 6)	72
3	(1, 3, 5)	72
4	(3, 4)	72
5	(4, 5, 6)	72

[표 6] 부품에 대한 관련공정, 생산량, 총고정장치 활용시간

	부품종류			
	1	2	3	4
관련공정	(2, 4, 6)	(2, 3, 5)	(1, 5)	(1, 3, 4)
생산량	220	110	330	150
고정장치 수	3	2	3	2
고정장치 가용시간	216	144	216	144

[표 7] 기계별 단위공정 시간 및 부가적 고정장치 사용시간

부품종류 (i)	공정 (j)	기계				
		1	2	3	4	5
1	2	0.3	0.1	—	—	—
	4	—	—	—	0.2	0.4
	6	—	0.3	—	—	0.2
2	2	0.3	0.1	—	—	—
	3	—	0.4	0.2	0.3	—
	5	—	—	0.3	—	0.2
3	1	0.1	—	0.3	—	—
	5	—	—	0.3	—	0.2
4	1	0.1	—	0.3	—	—
	3	—	0.4	0.2	0.3	—
	4	—	—	—	0.2	0.4
부가적 고정장치 사용시간		0.1	0.1	0.2	0.2	0.2

이상의 예에서 보인 것처럼 意思決定을 2段階로 나누어 段階 1에서 事前選別함으로 基準의 수를 줄인 후 段階 2에서 보다 客觀化된 基準의 값을 根據로 한 것이 본 研究의 特徵이라고 할 수 있다.

5. 結 論

FMS 生産計劃을 위한 多目的 시스템을 分析함에 있어서 本 研究는 模擬實驗(simulation)이나 發見的 模型(Heuristic Model)이 最適解를 구할 수 없다는 弱點을 보완하기 위하여 最適해를 구할 수 있는 分析的 模型(多目的數理計劃法)으로 接近하였으며, 過去의 다른 模型과는 다르게 다목적 수리계획법에서 일반적으로 고려하지 않은 보다 客觀的인 여러 代案과 複數의 決定基準의 加重值를 고려한 代案의 설정을 통하여 一次로 事前選別段階를 거친 후 選定된 몇몇 代案에 대한 計量的 分析을 통하여 最適해를 구하게 된다. 本 研究는 既存의 研究의 어떤 特定 패키지를 이용하는 경우, 우선적으로 費用의 負擔이 있거나 特定 패키지를 購入하기가 용이하지 않다는 점에 착안하여 FMS에서의 多目的 分析을 比較的 널리 알려진 접근방법(Pairwise, Rating Method, Analytic Hierarchy Process, Goal Programming)을 이용하여 비교적 간단한 계산으로 FMS 生産計劃 시스템을 計劃할 수 있도록 接近하게 하는 것이다.

[표 8] 목표계획법에 의한 최적해

부품종류	공정	기계	결정변수	최적해
1	2	1	X ₁	0
		2	X ₂	220
	4	4	X ₃	220
		5	X ₄	0
	6	2	X ₅	157
		5	X ₆	63
2	2	1	X ₇	80
		2	X ₈	30
	3	2	X ₉	0
		3	X ₁₀	110
		4	X ₁₁	0
	5	3	X ₁₂	0
		5	X ₁₃	110
3	1	1	X ₁₄	330
		3	X ₁₅	0
	5	3	X ₁₆	67
		5	X ₁₇	263
4	1	1	X ₁₈	150
		3	X ₁₉	0
	3	2	X ₂₀	0
		3	X ₂₁	150
		4	X ₂₂	0
	4	4	X ₂₃	150
		5	X ₂₄	0

參考文獻

1. Antonie Stam and Markku Kulla(1991), Selecting a Flexible Manufacturing System Using Multiple Criteria Analysis, *Int. J. Prod. Res.*, 1991. Vol. 29, No. 4, 803-820.
2. James P. Ignizio(1982), *Linear Programming in Single & Multiple Objective Systems*. Prentice-Hall.
3. John R. Canada & William G. Sullival(1989), *Economic and Multi Attribute Evaluation of Advanced Manufacturing Systems*. Prentice-Hall.
4. Sang M. Lee & Hun-joo Jung(1989), A Multi-Objective Production Planning Model in a Flexible Manufacturing Environment, *Int. J. Prod. Res.*, Vol. 27, No. 11, pp. 1981~1992.
5. Shu-Hsing Chung & Tzong-Ru Lee(1989), A Heuristic Method for Solving FMS Master Production Scheduling Problem, *Proceeding of the Third ORSA/TIMS Conference on FMS*; Elsevier Science Publishers b. v. Amsterdam.
6. Stam, A. Joachimsthaler E. A. & Gardiner, L. R. (1987), *An Interactive Decision Support for Sales Resource Allocation with Multiple Objectives*. Working Paper No. 87-243 College of Business Administration, University of Georgia.
7. Steuer, R. E. (1986), *Multiple Criteria Optimization ; Computation and Application*, New-York ; Wiley, Co. .
8. Yung-Jung Chen & Ronald G. Askin(1990), A Multi-Objective Evaluation of Flexible Manufacturing System Loading Heuristics. *Int. J. Prod. Res.*, Vol. 28, No. 5, 895-911.
9. 朴淳達(1984), *經營管理를 위한 BASIC 프로그램集*, 大英社.
10. 李相文, 李炳贊(1986), *多目標意思決定論*, 法文社