

반송기능을 고려한 FMC의 構成設計에 관한 研究

金 壯亨*, 李 奉珍**

A study on the interactive approach for the system layout design of Flexible manufacturing cell

Kim-Jang Hyung* Lee-Bong Jin**

ABSTRACT

The problems concerning FMC (Flexible manufacturing cell) system layout were treated in this paper.

In fact, there being no clear definition about FMS (Flexible manufacturing system), it could be treated as the system adopting flexible-automation and FMS has been improving as a form of parts machining system.

It was thought that the problems of combination of machine tool groups and parts family were important.

Parts family and machine tool groups were made up by means of multivariate analysis and the minimum transfer concept using correlation coefficient (ρ).

And FMC system was layout by directional graph according to the FMS classifications.

1. 緒 論

지금까지는 少品種 多量生産 方式이 一般的 이었지만 수요자의 다양한 요구를 만족시키고, 수명 Cycle이 짧아진 제품을 경제적이고 경제 변동에 순응되게끔 効果의으로 製品을 生産해 내는 것이 곤란해 졌다. 그래서 多品種 中少量 生産을 目的으로 하는 Flexible manufacturing System (FMS) 이 研究, 開發되어 보급되고 있

다. 그러나 아직 FMS에 대한 確立된 定義는 없으나 많은 종류의 加工 對象部品을 유연하게 처리하고 높은 生産性을 유지시키는 시스템으로 認識되고 있다. 그래서 FMS는 Flexible-automation을 채용한 生産시스템이라고 할 수 있다., 現在의 FMS는 部品 加工用 시스템의 한 形態로 發展되고 있으며 그 形態의 構成은 理論的인 것 이라기 보다는 經驗的이고 편의적인 傾向이크다. FMS 本來의 특징을 발휘하기 위한 한 方法

* 濟州大學校 理工大學 情報工學科

** 日本 FANUC(株) 生産技術研究所

으로 本 論文에서는 FMC의 理論的인 構成背景을 部品の family化 즉 family化된 lot를 處理하는 製造 Cell (Flexibe manufacturing cell) 構成을 착안하여 理論을 展開하여 보았다. 최근, F-MC 構成에 관한 研究로서는 FMC의 형태를 評價한 研究⁶⁾, back forward Simulation을 導入한 FMC System⁹⁾, 그리고 mix flexibility를 고려한 FMS의 構成法¹⁰⁾이 發表되고 있으며 이들 工程間의 반송문제를 취급한 研究⁷⁾도 있다. 本 研究에서는 Solberg의 idea⁷⁾인 最短 搬送 개념을 응용하여 機械와 部品間의 취급한계를 Simulate 한 것으로서 Solberg idea의 現場에서 이용여부를 確認한 것이라 할 수 있다. 그리고 加工用 機械群 形成의 數式化는 數量化分析을 利用하였고 加工用 部品の family化에 대해서도 類似工程과 加工의 效果 評價에 上記⁷⁾의 最短 搬送개념을 導入, 工程과 加工間의 相關係數 ρ (Parameter)를 最大로 하는 具體的인 情報量의 數値에 따라 Cell을 構成하는 計數方法을 提示하여 보았다. 그리고 計數計算을 하기 위하여 새로운 Algorithm을 考案하였고 계산에는 濟州 大學校의 VAX/780을 使用하였다.

2. 理論모형 (model) 構成

2-1. 數量化的 方法

2-1-1. 部品 加工工程에 관한 情報의 符號化⁶⁾

加工對象 部品の 番号 및 각 部品の 加工工程에 대응하는 加工機械의 Sequence을 각각 부품번호 벡터 P, 가공공정 행렬 M_P로 나타 내기 로 한다.

$$P = [P_1, P_2, P_3, \dots, P_i, \dots, P_{NP}] \dots (1)$$

$$M_P = \begin{bmatrix} m_{1,1} & m_{1,2} & \dots & m_{1,ni} & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & & & & & \vdots \\ m_{i,1} & m_{i,2} & \dots & m_{i,j} & \dots & \dots & m_{i,ni} \\ \vdots & \vdots & & & & & \vdots \\ m_{NP,1} & m_{NP,2} & \dots & m_{NP,NNP} & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix} \dots (2)$$

여기에서 NP는 對象部品の 種類, P_i는 部品 番号, M_P의 第 i行은 部品 P_i의 加工 Sequence이다. 따라서 m_{i,j} (i=1, 2, 3, ..., NP), (j=1, 2, 3, ..., Ni)는 部品 P_i의 第 j工程의 加工機械이다.

2-1-2. 部品 製造時間에 관한 情報의 符號化

각 工程에서 部品 1개를 生産하는데 필요한 時間은 다음과 같이 정립할 수 있다.

i) 준비시간 (tp) : 素材의 着脱, 절삭공구의 접근, 이탈등 실제 切削에 관계하지 않는 시간을 말하며 준비시간 행렬 T_P로 나타낼 수 있다.

$$T_P = \begin{bmatrix} t_{1,1}^P & t_{1,2}^P & t_{1,3}^P & \dots & t_{1,ni}^P & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & & & & & \\ t_{i,1}^P & t_{i,2}^P & t_{i,3}^P & \dots & t_{i,j}^P & \dots & \dots & t_{i,ni}^P \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots & & & \\ t_{NP,1}^P & t_{NP,2}^P & t_{NP,3}^P & \dots & t_{NP,NNP}^P & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix} \dots (3)$$

ii) 加工時間 (tm) : 실제의 切削加工에 필요한 時間을 말하며 i)에서와 같이 加工시간행렬 T_M으로 나타낼 수 있다.

$$T_M = \begin{bmatrix} t_{1,1}^m & t_{1,2}^m & t_{1,3}^m & \dots & t_{1,ni}^m & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & & & & & \\ t_{i,1}^m & t_{i,2}^m & t_{i,3}^m & \dots & t_{i,j}^m & \dots & \dots & t_{i,ni}^m \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots & & & \\ t_{NP,1}^m & t_{NP,2}^m & t_{NP,3}^m & \dots & t_{NP,NNP}^m & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix} \dots (4)$$

iii) 工具交換時間 (te) : 마모한 工具 切削날을 새로운 것으로 교환하는데 필요한 시간이다. 이때 한개의 마모 切削날을 새 切削날과 교환하는데 필요한 시간을 tc라 하고 공구수명을 T라고 한다면 te=tc $\frac{t_m}{T}$ 이다. 이것을 i), ii)에서와 같이 工具교환시간 행렬 T_e로 나타낼 수 있다.

$$T_e = \begin{bmatrix} t_{1,1}^e & t_{1,2}^e & t_{1,3}^e & \dots & t_{1,ni}^e & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & & & & & \\ t_{i,1}^e & t_{i,2}^e & t_{i,3}^e & \dots & t_{i,j}^e & \dots & \dots & t_{i,ni}^e \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots & & & \\ t_{NP,1}^e & t_{NP,2}^e & t_{NP,3}^e & \dots & t_{NP,NNP}^e & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix} \dots (5)$$

2-2-3. 部品 생산갯수에 관한 情報의 符号化
 部品の 生産갯수를 N_p 로 나타내면

$$N_p = [n_1^p, n_2^p, n_3^p, \dots, n_i^p, \dots, n_{NP}^p] \dots \dots (6)$$

여기에서 n_i^p 는 p 의 생산갯수를 나타낸다.

2-3. 生産System의 構成

위에서 열거한 각각의 部品情報에서 加工工程에 使用된 加工機械의 類似性에 기초한 部品 family化와 그에 따른 加工機械群을 構成하기 위하여 加工工程행렬 M_p 에서 중복되는 加工機械를 제외한 모든 加工機械를 추출하여 벡터 M 으로 나타내면,

$$M = [m_1, m_2, m_3, \dots, m_i, m_{NM}] \dots \dots (7)$$

이다. 다음 加工機械에 대한 部品の 製造時間을 F_{MC} 으로 표시하면

$$F_{MC} = \begin{bmatrix} t_{1,1} & \dots & t_{1,j} & \dots & t_{1,NM} \\ \vdots & & & & \\ t_{i,1} & \dots & t_{i,j} & \dots & t_{i,NM} \\ \vdots & & & & \\ t_{NP,1} & \dots & t_{NP,j} & \dots & t_{NP,NM} \end{bmatrix} \dots \dots (8)$$

이다.

여기서,

$$t_{i,j} = \sum_{\{k | m_{i,k} = m_j\}} (t_{i,k}^p + t_{i,k}^m + t_{i,k}^e) \text{ 이며}$$

식 (1), (7), (8)에 의해서 加工機械 벡터 M 부품벡터 P 의 각 배열요소를 적당하게 배열시켜 부품과 機械의 대응행렬 ${}^c F_{MC}$ 을 구하면 다음과 같은 형태로 정리된다.

$${}^c M = [M^1 : M^2 : M^3 : \dots : M^{NC}] \dots \dots (9)$$

$${}^c F_{MC} = \begin{bmatrix} F_{MC}^1 & & & 0 \\ & F_{MC}^2 & & \\ & & \dots & \\ 0 & & & F_{MC}^{NP} \end{bmatrix} \dots \dots (10)$$

$${}^c P = \begin{bmatrix} p^1 \\ \dots \\ p^2 \\ \dots \\ p^3 \\ \dots \\ \vdots \\ \dots \\ p^{NC} \end{bmatrix} \dots \dots (11)$$

이때 P^i 는 부품family을 構成하고 M^i 는 部品 family에 對應하는 機械群을 形成할 수 있다.

$$P^i = [P_1^i, P_2^i, P_3^i, \dots, P_{NP_i}^i]$$

이고 $i = 1, 2, 3, \dots, NC$ 이다. 그리고

$$\sum_{i=1}^{NC} NP_i = NP \text{ 이다.}$$

$M^i = [m_1^i, m_2^i, m_3^i, \dots, m_{NM_i}^i]$ 이고 $i = 1, 2, 3, \dots, NC$ 이다.

그리고

$$\sum_{i=1}^{NC} NM_i = NM \text{ 이다. 또 } F_{MC}^i (i=1, 2, 3, \dots, NC)$$

는 部品family P^i 와 機械群 M^i 의 對應행렬 이고 F_{MC}^i 을 Cell 행렬, ${}^c F_{MC}$ 을 構成행렬이라고 한다. 構成행렬 ${}^c F_{MC}$ 에서 각 cell 행렬 F_{MC}^i 사이에 重複部分이 없는 독립된 경우에는 각 部品family P^i 는 機械群 M^i 내에서 完全하게 처리되고 따라서 각 機械群은 完全한 독립cell이 가능하다. 중복이 있는 경우에도 식(10)에서 非零要素가 적을 때 즉 部品family P^i 에 속한 部品の 일부 工程이 機械群 M^i 의 일부 기계에 負荷되는 경우에도 독립된 加工cell을 구성할 수 있다. 本論文에서는 이 兩者の 경우를 FMC System layout을 構想한 것으로서 非零要素가 많은 경우의 취급은 實際的인 경우를 생각하여 피하였다. 현재 FMS의 重要기능은 주로 加工機能과 搬送機能에 主要기능을 이루고 있으며 지금까지의 FMS 形態의 類形을 고려하여 취급상 다음과 같이 分類하기로 한다.³⁾

i) 직선형 : 비교적 少品種, 少工程數가 적은 경우

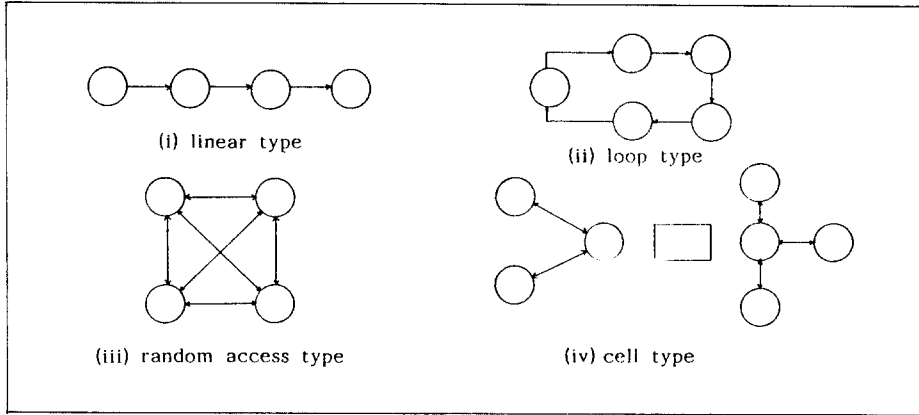


Fig. 1 FMS System layout

ii) 순환형 : 中品種으로 직선형과 random access형의 중간정도일 경우

iii) random access형 : 多品種, 비교적 복잡한 형상인 경우

iv) cell형 : 多品種, 비교적 단순형상인 경우

이 4 가지 형을 개념적으로 나타내면 Fig. 1 과 같고 FMC System layout을 구성하는 기본형 으로서는 cell 형으로 되어 있다.

3. 數量化分析

앞에서 나타낸 部品情報로서 對應行列 F_{MC} 를 構成行列 φ_{MC} 로 변환시키기 위하여 우선 각 部品의 加工工程이 가까운 정도를 parameter로서

$$U = [U_1, U_2, U_3, \dots, U_{NP}] \dots\dots\dots (12)$$

기계의 處理對象이 유사한 정도를 나타내는 parameter로서,

$$V = [V_1, V_2, V_3, \dots, V_{NM}] \dots\dots\dots (13)$$

을 도입한다. 즉 部品 P_i 와 P_k 의 加工工程이 유사할 때 각각의 값을 U_i 와 U_k 로 대응시키고 기계에는 m_j 와 m_i 에 대해서 기계처리 유사정도를 나타내는 parameter V_j 와 V_i 를 대응시킨다. 이와같은 目的을 위해서는 상관계수 ρ 를 최대화 하는 U 와 V 를 결정할 필요가 있다. 즉 相關係數 ρ 를 定義하면

$$\rho = \frac{6uv}{\sqrt{6u^2}\sqrt{6v^2}} \dots\dots\dots (14)$$

이다. 여기서 $6u^2$, $6v^2$ 은 U , V 의 分散, $6uv$ 는 共役分散이므로 다음식으로 나타낼 수 있다.

$$\bar{u} = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^{NP} \sum_{j=1}^{NM} n_i^p t_{i,j} u_i$$

$$\bar{v} = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^{NP} \sum_{j=1}^{NM} n_i^p t_{i,j} v_j$$

$$6u^2 = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^{NP} \sum_{j=1}^{NM} n_i^p t_{i,j} (u_i - \bar{u})^2 \dots\dots\dots (15)$$

$$6v^2 = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^{NP} \sum_{j=1}^{NM} n_i^p t_{i,j} (v_j - \bar{v})^2 \dots\dots\dots (16)$$

$$6uv = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^{NP} \sum_{j=1}^{NM} n_i^p t_{i,j} (u_i - \bar{u})(v_j - \bar{v}) \dots\dots\dots (17)$$

그리고 여기서 T 는

$$T = \sum_{i=1}^{NP} \sum_{j=1}^{NM} n_i^p t_{i,j} \dots\dots\dots (18)$$

이다. 이때 U 와 V 의 원점은 임의성이 있으므로 $\bar{u} = 0, \bar{v} = 0$ 의 조건을 가지는 것으로 한다. 여기서 ρ 를 최대화 하는 U 와 V 를 결정하기 위해서는

$$\frac{\partial \rho}{\partial u_i} = 0 \quad (i=1, 2, 3, \dots, NP) \dots\dots\dots (19)$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial v_j} = 0 \quad (j=1, 2, 3, \dots, NM)$$

의 解를 구해야 된다. 따라서 식(19)에 식(14)를

대입하고 계산하면

$$\frac{\partial 6uv}{\partial u_i} = \frac{1}{2} \rho \frac{6v}{6u} \frac{\partial 6u^2}{\partial u_i} \quad (i = 1, 2, 3, \dots, NP)$$

$$\frac{\partial 6uv}{\partial v_j} = \frac{1}{2} \rho \frac{6u}{6v} \frac{\partial 6v^2}{\partial v_j} \quad (j = 1, 2, 3, \dots, NM)$$

..... (20)

을 얻는다. 이 식에 식(15), (16), (17)을 대입하고 $\bar{u} = 0, \bar{v} = 0$ 의 條件을 만족하게 계산하면

$$\sum_{i=1}^{NP} t_{i,j} n_i^p u_i = \rho \frac{6u}{6v} \sum_{i=1}^{NP} t_{i,k} n_i^p v_k \quad (k = 1, 2, 3$$

....., NM)

$$\sum_{\tau=1}^{NM} t_{\tau,i} n_{\tau}^p v_j = \rho \frac{6u}{6v} x_{\tau} n_{\tau}^p u_{\tau} \quad (\tau = 1, 2, 3$$

....., NP)

..... (21)

이다. 여기서 $x_{\tau} = \sum_{i=1}^{NM} t_{\tau,i}$ ($\tau = 1, 2, 3, \dots, NP$)

이다. 식 (21)에서 연립方程式으로 U_{τ} 을 구하고 식 (21)의 윗 方程式에서 U_{τ} 을 소거하면

$$\sum_{i=1}^{NP} \sum_{j=1}^{NM} \sum_{x_i}^{n_i^p} t_{i,k} t_{i,j} v_j = \rho^2 \sum_{\tau=1}^{NP} t_{\tau,k} n_{\tau}^p v_k$$

($k = 1, 2, 3, \dots, NM$) (22)

가 구해진다. 여기서 식을 간단히 하기 위하여

$$b_k = \sum_{i=1}^{NP} t_{i,k} n_i^p \quad \dots \dots \dots (23)$$

$$z_k = \sqrt{b_k} v_k \quad (k, i = 1, 2, 3, \dots, NM) \quad \dots \dots \dots (24)$$

$$C_{k,i} = \frac{1}{\sqrt{b_k}} \frac{1}{\sqrt{b_i}} \sum_{j=1}^{NP} \frac{n_j^p}{x_j} t_{j,k} t_{j,i} \quad \dots \dots \dots (25)$$

로 두면 다음과 같은 고유方程式으로 정리된다.

$$\sum_{i=1}^{NM} C_{ki} z_i = \rho^2 z_k \quad \dots \dots \dots (26)$$

따라서 ρ 를 최대로하기 위해서는,

$C = (C_{ki})$ ($k, i = 1, 2, 3, \dots, NM$) 로 되는 행렬의 최대固有值를 구하면 좋으나 $\bar{u} = 0, \bar{v} = 0$ 의 조건에서의 物理的인 意味를 고려하여 ($\rho^2 = 1$ 이 되어 物理的인 뜻이 없음) 1이 아닌固有值에 대응하는 고유벡터 z_k 를 구하면 식 (24)에서 v_k 와 U_{τ} 를 구하는 것이 된다. 이와 같이 하여 類似度를 나타내는 벡터 U 와 V 가 구해진다.

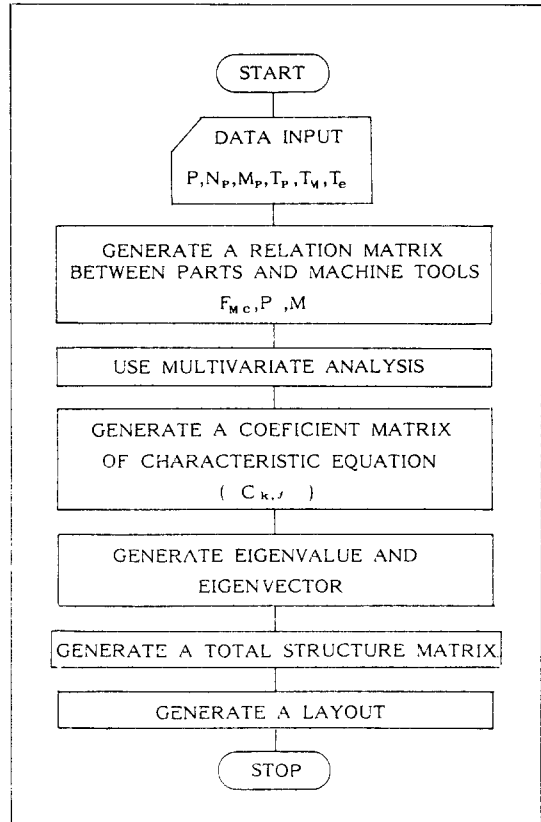


Fig. 2. General Flowchart of System Layout

따라서 要素의 큰 순으로 대응하는 部品과 機械를 배열 하면 加工部品の family化를 考慮한 최적 cell構成을 선택할 수 있다.

以上の 컴퓨터 처리 Algorithm folw chart 를 작성하면 Fig. 2와 같다.

4. 研究結果 및 考察

4-1. 계산예 1.

完全한 독립cell을 構成하는 경우의 人力情報를 Fig. 3에 나타낸다. 部品情報로는 각 部品の 生産갯수, 加工工程, 使用기계, 製造시간을 포함하고 있다. 앞에서의 數量化分析을 적용시켜 구성행렬 F_{mc} 을 구한 결과가 Fig. 4. (a), (b) 이다. Fig. 4.의 MT는 部品과 製造시간과의 대응 관계를 나타내는 기호이다. 구성행렬 F_{mc} 에서 이 生産시스템은 3개의 완전한 독립 System으

로 構成되고 1이외의 최대고유치를 구하면 ρ^2 은 0.220598, 0.190744, 0.137628, 0.095357, 0.064188, 0.050208, 0.040973 와 같은 결과를 얻을수 있으나 이중 적절한 상관계수 ρ 가 큰

쪽으로 3개의 상관계수값을 선택하고 그 상관계수의 값에 따라 $F_{Mc}^1, F_{Mc}^2, F_{Mc}^3$ 을 구성하고 FM S分類法에 따라 개념적으로 설계하면 된다.

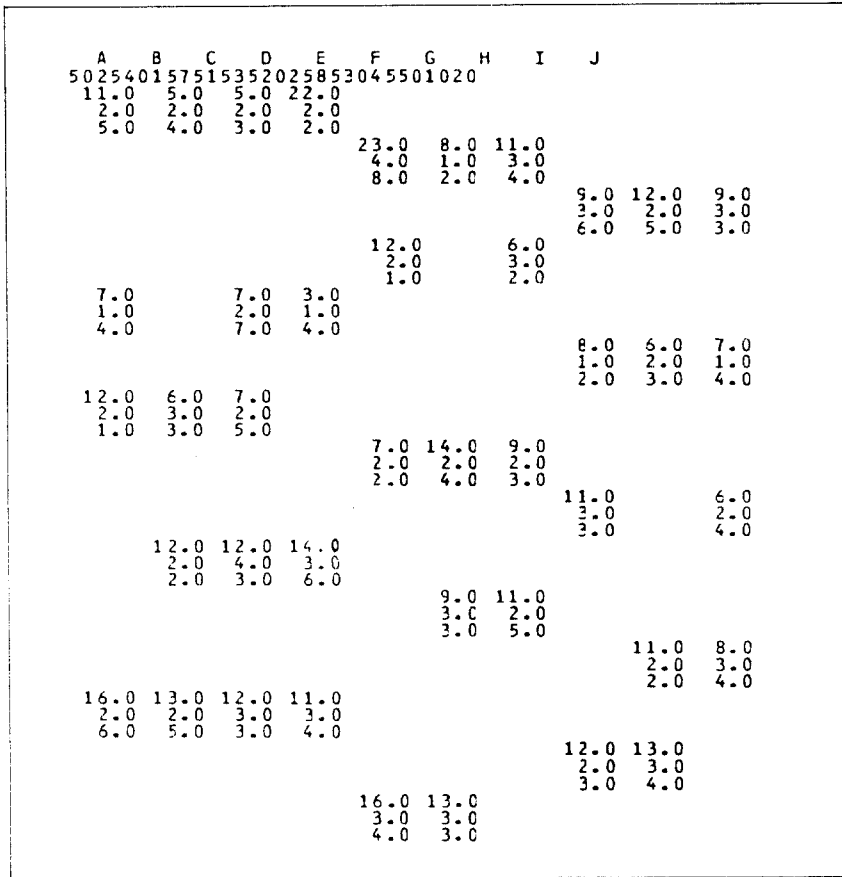


Fig. 3. Parts Information of Example 1.

Fig. 4. (b)에서 볼 수가 있듯이 부품이 family化되고 기계가 group化 되어 짐을 알 수가 있다.

4 - 2. 계산예 2

서로 간섭을 가진 製造cell을 構成하는 경우의 入力정보로서 3개의 製造時間을 포함한 것을 Fig. 5로 나타내고 그 결과를 Fig. 6. (a), (b)로 나타낼 수 있다. 계산예 1과 다른 것은 서로 간섭을 가지는 경우이므로 $\rho = 1$ 이외의 최대고유치를 찾아서 U와 V를 크기 순으로 배열

한다면 F_{Mc} 으로 변환 시킬 수가 있다. 이 예에서는 ρ 는 0.959420이 된다. 계산예 1, 2에서 최대고유치와 고유벡터를 구하기 위해서는 IMSL에 포함된 Eigrs 프로그램을 이용하여 풀 수 있다. 그리고 계산예 1, 2를 Fig. 7. (a), (b)와 같이 개념적으로 나타낼 수 있으며 이때 Algorithm의 flow chart를 Fig. 8과 같이 提示할 수 있다.

4 - 3. System layout

FMC System 構成은 cell형이 많이 利用되고

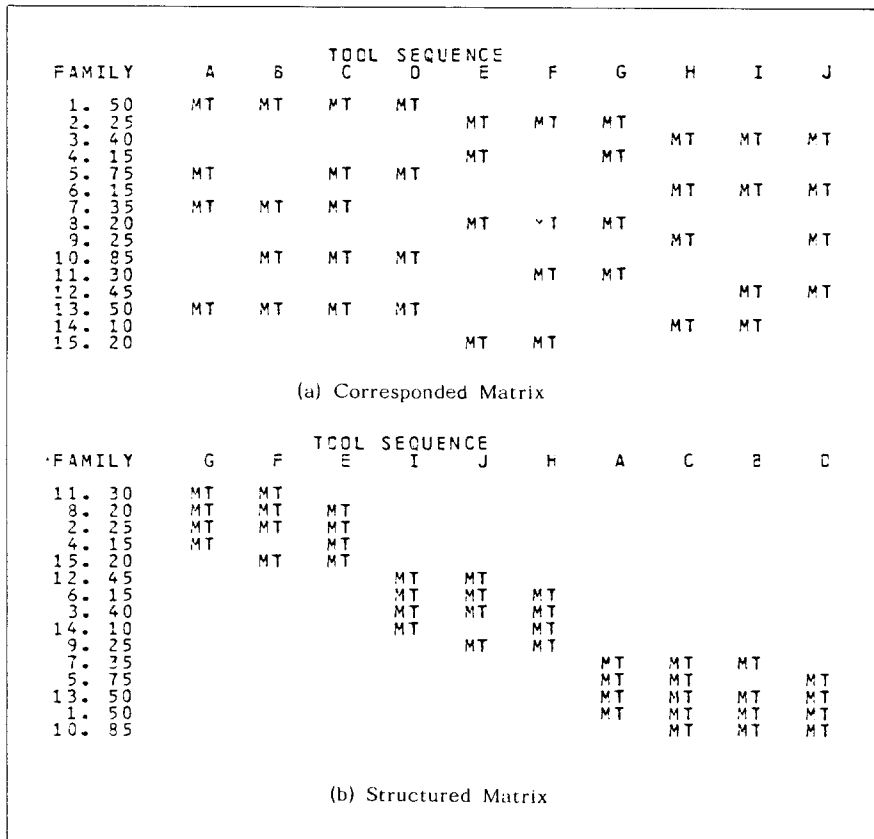


Fig. 4. Corresponded matrix and Structured matrix of Parts and machine tool

있으므로 cell형을 선정하고 이것을 有向graph 보면 Fig. 9와 같이 例示할 수 있다. 로 나타내어 FMC System layout를 구성하여

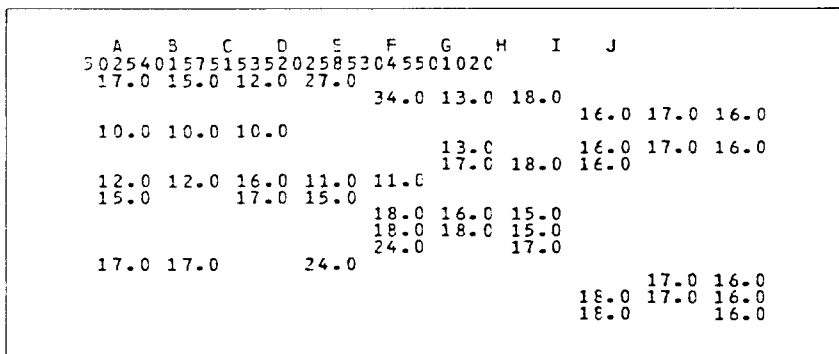


Fig. 5. Parts Information of Example 2.

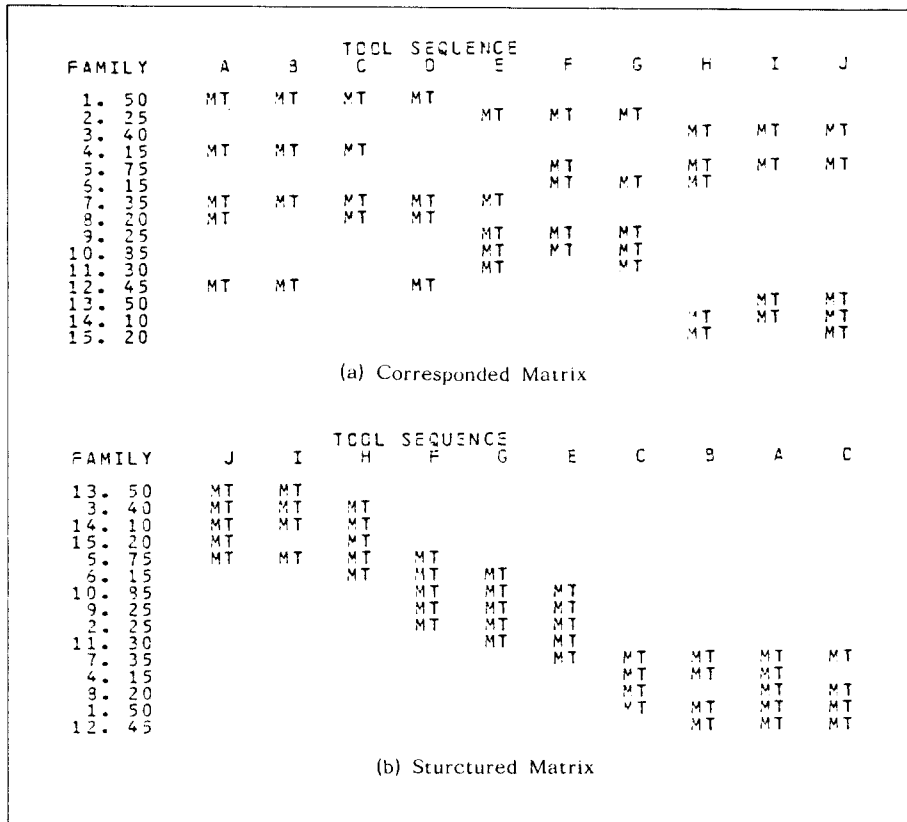


Fig. 6. Corresponded matrix and Structured matrix of parts and machine tool

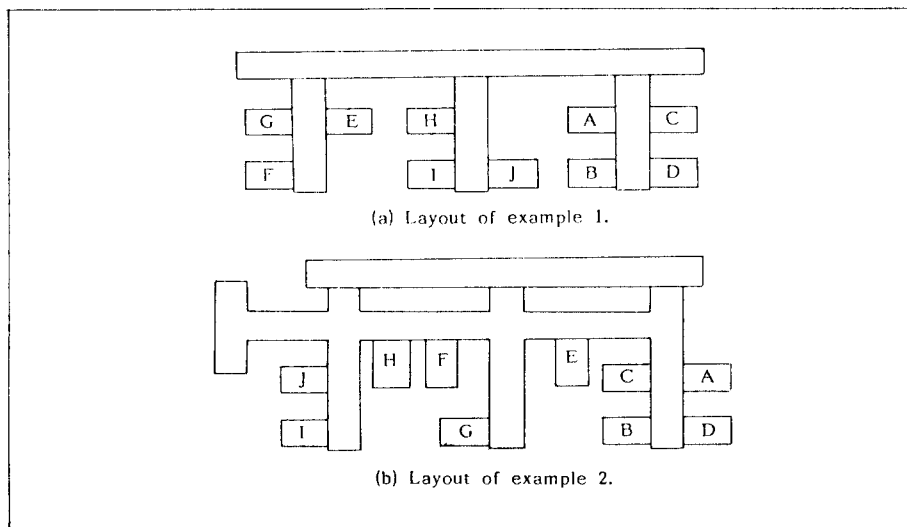
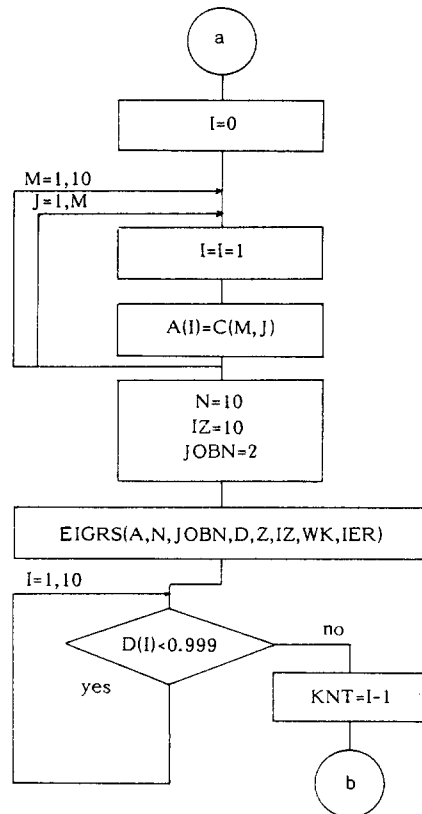
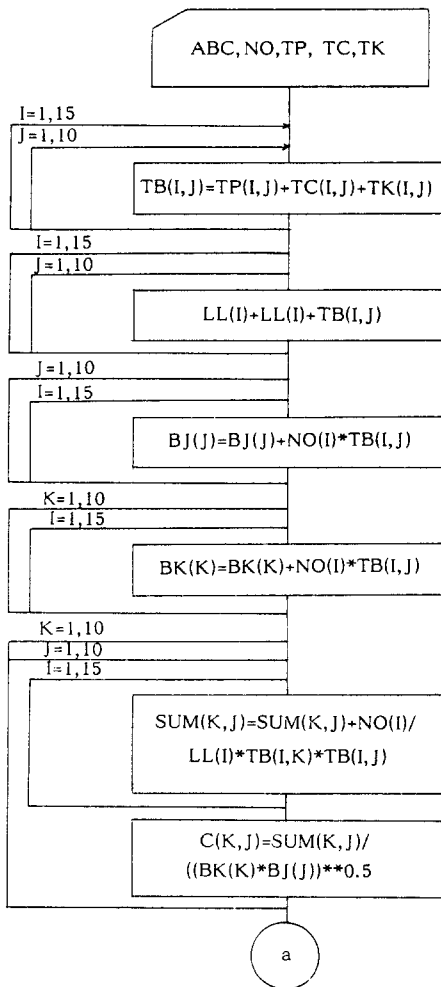
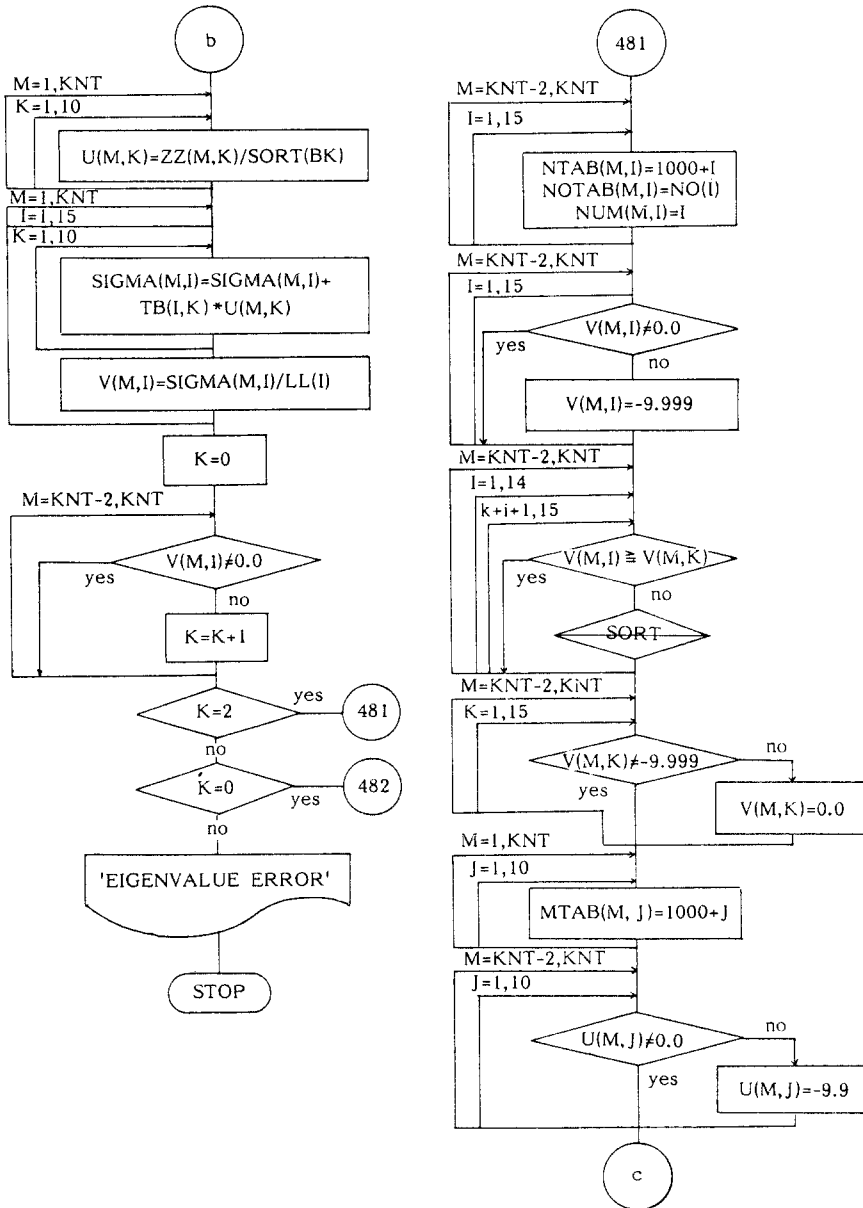


Fig. 7. Manufacturing System Layout





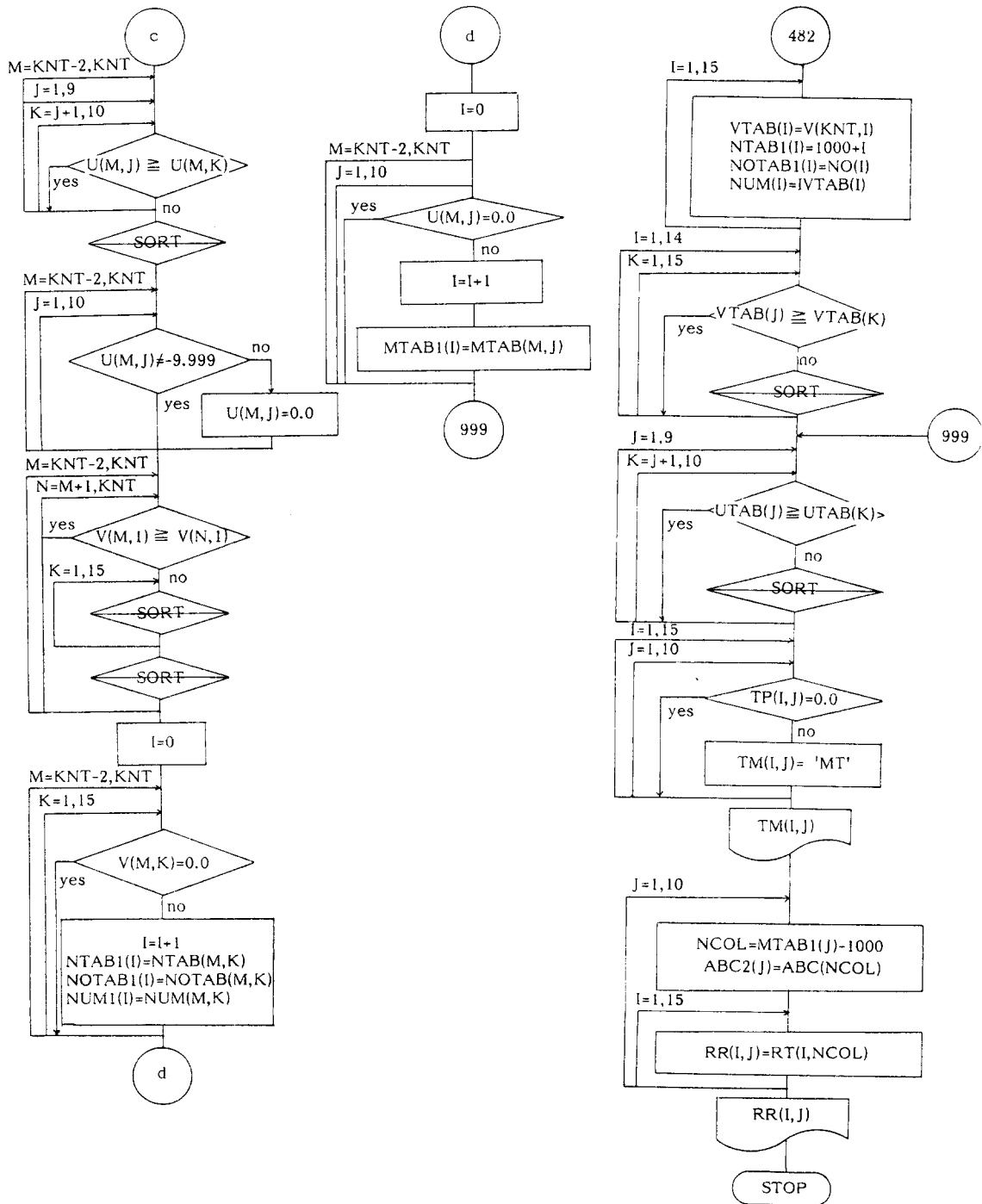
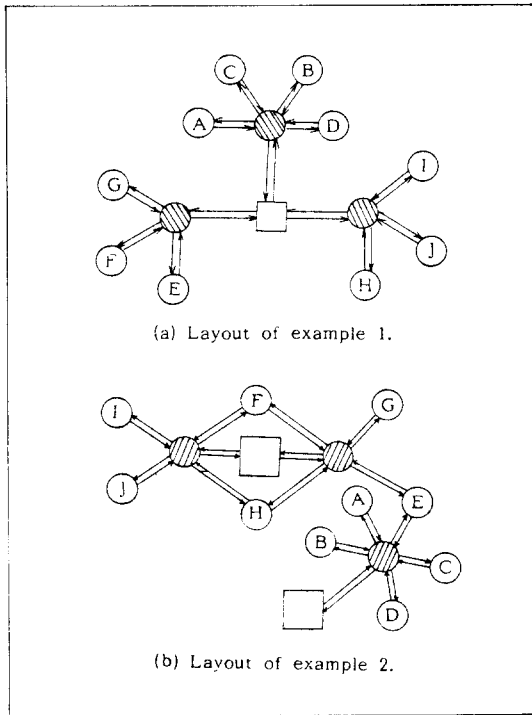


Fig. 8. Detail Flow chart of Layout



● Transfer machine ○ Machine tool □ Loading and unloading station

Fig. 9 Directional Graph System Layout

5. 結 論

本 研究에서는 적절한 FMC System layout 문제를 다루기 위하여 數量化分析과 최단반송개념을 적용하여 部品の family化와 加工 機械의 group化를 이루고 FMS分類法에 따라 System layout 문제를 취급하였다. 그 결과

1. 部品情報로서 部品製造時間, 생산갯수, 加工工程이 주어지면 數量化分析 적용이 가능하다.
2. 數量化分析을 利用하는데 部品情報, 加工工程이 주어지면 서로 독립cell을 구성하는 경우나, 간섭을 가진 cell을 구성하는 경우 모두 한번에 處理가 가능하다.
3. 實驗결과 非零要素가 적고 ρ (상관 계수)에 의거 반송을 고려한 部品の family化와 加工 機械간의 group化하는 方法은 20개 이하의 部

品番号와 각 부품마다의 加工工程에 대응하는 加工 Sequence가 15step 以下일 때에 있어서 有利함을 알 수 있다. 따라서, lay out시 意思決定 지표로 삼을 수 있고 제한된 공간의 적절한 利用이 가능하다.

4. 20개 以上の 部品番号와 각 部品 加工工程에 對應하는 15step 以上の 加工 Sequence에 對하여는 20개의 부품 번호와 15step의 加工 sequence를 module로 한 multi System 構成을 제안하고 싶다.

참고문헌

1. 大陽., 加藤., 津村., 安田., 1984. フレキシブル生産システムの構造設計, 日本機械學會論文集(c), Vol. 50, P. 1306 - 1312
2. 藤原., 大田崎. 菊池., 1979. 決定理論을 應用한 레이아웃手法, 日本機械學會論文集(c) Vol. 45, P. 1426 - 1433
3. Machinist, 1981, 歐米의 FMS 事例集
4. 伊東正智., 1979. FMS의 導入 加工機械의 選定條件, 機械技術 第30卷 1号 Vol. 30, P. 46 - 51
5. 李奉珍., 金壯亨., 1985. 生産시스템工學, 技術情報, P. 100 - 199
6. 李奉珍., 宋森引., 1983. 生産設計工學, 正祐社, P. 64 - 79
7. J. J. Solberg., S. Y. NoF., 1980. Analysis of flow control in alternative manufacturing configurations, Journal of Dynamic Systems, Vol. 102, p. 141 - 147
8. 胡金鳴, 伊東誼: 1986. 3. 機械加工用 FMC의 시스템形態 評價 日本精密工學春季大會
9. 井上一郎외: 1986. 3. Back forward Simulation 生産System 日本精密工學大會
10. 私本和男외: 1986. 3. mix flexibility를考慮した FMC의 構成法, 日本精密工學春季大會