

# 自動化 生産시스템의 統合 客體指向 Modular 設計 接近

## -Integrated Object-oriented Modular Design of AMS-

김 만 균\*  
Kim, Man-Kyun  
함 효 준\*\*  
Hahm, Hyo-Joon

### Abstract

Development of control model and system for AMS (Automated Manufacturing Systems) has long been interested by researchers. Presented in the paper is a systematic approach to constructing a Petri-nets(PNs) model of AMS and method for design a graphical model of a AMS by using a new modeling tool which is called PNs. So, the procedure of modeling in the AMS is the same as current practice of AMS design and is based on the IOM (Integrated Object-oriented Modeling) paradigm. An AMS, which consists of various machine groups, can produce machine parts in different physical dimensions and lot size. To model such a system, the method which utilizes Sub-PNs are proposed. This enables the models according to part routings. The machine group which causes bottleneck is obtained and modified to relieve the problem. By iterating these steps which consist of modelling, simulation, and performance evaluation, an AMS can be obtained which satisfies the required manufacturing conditions. Finally, the implementation issues of PN modeling are addressed. The approach is the IOM from PN modeling by Sub-PNs and the other is a development of IOM tool for the performance evaluation of AMS.

### 1. 序 論

顧客의 多樣한 要求, 製品의 高品質化, 製品의 Delivery 및 Life Cycle 短縮에 따른 製造環境의 變化가 크게 이루어 지고있다. 이러한 變化에 適應하기 위한 手段으로 效率性과 性能이 크게 浮刻된 自動化 生産시스템(AMS : Flexible Manufacturing System)에 많은 관심을 갖는다.<sup>[2]</sup> 生産시스템의 自動化 水準이 向上되고 Computer 技術이 급격히 發展됨에 따라 AMS의 모델링 및 Simulation은 매우 중요한 問題로 浮刻되고 있다. 즉 CAD/CAM이 製品의 신속한 開發을 위하여 중요한 道具로 사용되듯, AMS의 設計 및 기존 시스템의 運營效率 分析을 위해 Computer Simulation이 중요한 Tool로 認識이 높아지고 있다.<sup>[1]</sup> 最近에 높은 關心을 갖고 研究가 되는 假像製造시스템(Virtual Manufacturing System)이라는 새로운 概念으로 이는 AMS의 假像 프로토타입(Virtual Prototype)이 構築되어 設計, 分析 및 運營의 全過程에 一貫性 있게 活用할 수 있는 統合化 道具(Synthesis Tool)에 대한 要求 事項이다. 따라서 AMS를 構築

\* 대우그룹 회장비서실

\*\* 아주대학교 산업공학과

하기 위해서는 Real System을 論理的인 形態의 Model로 바꾸어 주는 Modeling 段階와 이 Model을 Simulation하기 위해서 컴퓨터 Program화 하고 그 Simulation 結果를 分析하는 段階로 區分할 수 있다. 첫번째 段階인 Modeling을 위해서는 시스템에 대한 精確한 分析과 이를 統合的으로 Modeling 할 수 있는 Tool이 必要하다. Modeling Tool은 Graph로<sup>[20]</sup> 表現하는 方法과 모델명세어로 表現하는 方法이 利用되며, 모델명세언어는 그래프 모델을 거쳐서 作成하기도 한다. 그래프 모델중의 하나인 PN가 Modeling 能力과 Program化의 容易性, 그리고 理論的인 一般性으로 인하여 自動化生産시스템의 Modeling에 使用이 摸索되고 있다.<sup>[13][21]</sup> 그러나 아주 간단한 경우를 제외하고는 一般的인 生産시스템을 PN Modeling 하기가 매우 힘들고, 이것이 PN Model이 여러 가지 長點에도 불구하고 AMS의 Modeling에 잘 利用되지 못하는 가장 큰 이유중의 하나이다. PNs은 Modeling 專門家에게는 편리한 道具이나 FA Engineer가 천이(Transition)나 Place와 같은 PNs 용어를 사용하여 AMS의 형태를 記述한다는 것도 그리 쉽지 않은 일이다. 이와 類似하게 Inheritance이나 캡슐화(Encapsulation)등과 같은 概念은 統合 客體指向 프로그래밍 (IOP : Integrated Object- objected Programming) 專門家에게는 매우 자연스럽지만 FA Engineer가 보다 나은 Design을 하기 위해서는 별로 큰 도움을 주지 못한다. 따라서 FA Engineer가 AMS Model을 쉽게 構築할 수 있도록 FA Engineer의 Design process를 따라가는 使用者 中心 (User-oriented)의 자연스러운 Modeling Framework가 必要하게 된다. 最近 AMS들은 階層的이고 모듈러한 構造를 가지고 있고 標準化된 設備들을 조합함으로써 全體 시스템이 構築된다. 柔軟性和 Modular가 生産시스템의 成功的인 運營에 매우 중요한 요소이므로 標準化된 設備를 이용하여 전체 AMS가 몇 개의 Station으로 構成될 수 있도록 하는 모듈화 設計 概念을 採擇하는 것이 一般的인 趨勢다. 둘째 AMS 設計는 Analysis 뿐만 아니라 Synthesis 過程이 要求되는 順次的이고 反復的인 過程이다. 自動化生産시스템에 대한 종래의 性能評價 및 Modelling은 論理數學 및 順序 回路論을 基礎로한 方法에 불과하고 대부분의 경우 現場 주도형의 경험과 Know-how에 의한 性能評價 및 Modelling으로서 그 限界性이 있다. 이러한 限界性 때문에 최근에는 컴퓨터를 중심으로 한 性能評價 및 Modelling의 Modulization이 絶실히 要求되고 있다.

## 2. 페트리네트의 統合 客體指向 Modelling

製造시스템 Modeling 및 Simulation에 관한 範疇은 ① 모델명세 言語나 形式論(Formalism), ② Graphical Modeling Tool의 開發, ③ 統合 客體指向 Modeling 등이 있으며, 현재 使用되고 있는 Graphical Modeling Tool은 Event Graph, ACD(Activity Cycle Diagram), PNs 등이 있다. 圖表 1은 Graphical Modeling Tools의 長短點을 比較한 것이다. 페트리네트의 모델링 能力(modeling power), 및 分析能力(decision power)을 높이기 위하여 一般的인 페트리네트를 “擴張”하거나 “制限”을 가한다. Peterson이 정리한 페트리네트의 擴張 및 制約의 예는 다음과 같은 것들이 있다.

- ① 擴張 페트리네트 모델링 能力의 提高를 위한 方案
  - Constraints Petri nets : 동시에 한쌍의 place에 token이 있을 수 없는 페트리네트
  - Exclusive-OR 천이 : 천이의 firing을 위한 入力 place 어느 한쪽만 token이 있어야 함
  - Switches : 천이의 switch place에 token의 存在 여부에 따라 出力 place의 어느 한쪽에만 token이 出力됨
- ② 제한 페트리네트 : 分析 能力의 提高를 위한 方案

- State machine : 천이의 入出力 place를 하나씩으로 制限
- Marked graphs : place의 入出力 천이를 하나씩으로 制限
- Free-choice PNs : place가 분기되면 出力 천이는 다른 入力 place가 없어서 바로 firing이 可能함
- Simple PNs : 천이의 入力 place의 분기가 하나 이하 이어서 conflict에 制限을 가한 페트리네트임

Tool 명	Tool 說明	長 點	短 點
Event Diagram	• Event를 Node로, Event와 Event를 연결하는 Condition 및 Time을 Directed Arc로 표시	• Event diagram은 Event가 곧 Procedure이므로 실행 프로그램화 하는 방법이 비교적 용이	• 모델인 자체가 어렵고, 체계적인 Verification이 어려워 오류가능성이 많다.
Activity Cycle Diagram (ACD)	• 원 및 사각형과 이것들을 연결하는 화살표로 구성하며 원은 일반적으로 정해진 Queue를 나타내고, 사각형은 Activity를 나타낸다.	• Entity별로 Activity를 표현하므로 Modeling이 용이 • Physical System과 유사하며 해독성이 좋다.	• 전용 Package를 사용하지 않으면 Program화가 어렵다.
Block Diagram of SIMAN	• Entity를 기준으로 하여 Entity의 Process 따라 가면서 다른 resource 관계를 묘사하는 Block primitive를 사용하여 System을 표현한다.	• 비교적 Modeling이 용이 • Model을 바로 프로그램으로 전환할 수 있다.	• Primitive Symbol을 배우는 것이 쉽지 않으며, Primitive block으로 Modeling 할수 없는 부분이 있다.
Petri-net	• 프로그램 언어와 무관한 Modeling Tool로 place, transition과 이를 연결하는 directed Arc, 네트워크를 움직이는 token으로 System을 표현한다. PN= [P, T, I, O, Mo]	• 이론이 잘 정립되어 있다. • 생산시스템과 같은 Parallel process를 표현하기에 적합함 • Modeling Symbol(Place, transition, Arc, token)이 적어서 배우기 쉽다.	• 해독성이 낮다. • 복잡한 시스템의 Modeling이 어렵다. • Petri-net으로 표현할 수 없는 부분이 많다. (Modeling Power가 낮다.)
Extended Petri-net	• Petri-net의 여러 장점에도 불구하고 Modeling 능력의 제한으로 실제로 유용한 Modeling Tool로 활용하지 못함에 따라 Modeling Power를 높이는 방법으로 일부의 제한된 특성들을 제한한 것이다.	• 전통적인 Petri-net에서 해결할 없었던 특성을 개선 ① Timed nets : 천이 time을 허용 ② Colored tokens : Class와 type 이 다른 token을 표시 ③ Inhibitor arcs : place에 token 이 없을 때 transition이 fire됨 ④ Interrupt arc : 기계의 고장 표현에 적합하며, Interrupt 발생 시 token을 해당 천이로 이동 ⑤ Test arc : 조건에 따라 서로 다른 천이를 수행하는 arc 표시	• 이러한 특성을 제한하였음에도 불구하고 전통적인 Petri-net의 한계를 모두 극복이 어려움. • 전통 Petri-net의 장점인 Modeling Symbol이 적었으나 심볼중가로 System 표현이 복잡

圖表 1 Graphical Modeling Tools의 長短點 比較

“擴張 페트리네트(Extended PNs)”는 모델링의 편의를 위해서 提案한 특수한 형태의 페트리네트로써 特殊한 記號를 사용하여 表現하기도 하나, 根本적으로는 페트리네트의 가장 큰 制約인 Unbounded place의 “Zero testing” 能力을 表現하는 方案이라고 할 수 있다. 따라서 “Inhibitor arc”의 도입으로 위에서 설명한 擴張 페트리네트는 모두 表現 可能하다. “制限 페트리네트(Restricted PNs)”는 페트리네트의 分析能力을 높이기 위해서 一般 페트리네트에 制限을 가한 것으로 일반 페트리네트의 한 部分集合이다.

## 2. 1 페트리네트 Modelling 設定

自動化 生産시스템을 PNs를 이용하여 Modelling하는 方法으로 Bottom-up 方法과 Top-down 方法 있다. Bottom-up 方法은 生産시스템을 構成하는 要素들을 PNs로 모델링하여 全體시스템을 構成하는 方法이며, Top-down 方法은 全體시스템을 構成한 후, 反復적으로 요

소모델링을 행하는 方法이다.

### 2. 1. 1 Bottom-up 方法

각각의 機械가 수행하는 作業에 대하여 Sub-net 구한 다음, 이를 결합하여 全體시스템을 구성한다. 모델이 클 경우에도 invariant를 구할 수 있게 되었으므로, PNs모델의 boundedness와 liveness를 구할 수 있게 되었다. 그러나 PNs의 invariant가 全體시스템에 대한 정보, reversibility와 같은 성질은 파악할 수 없다는 것을 보였다. 또한 invariant를 이용한 PNs 해석 方法은, 시스템이 커짐에 따라 많은 계산량을 필요로 한다는 短點을 가지고 있다. 예를 들면 2대의 作業臺를 가진 生産시스템의 PNs 모델은  $58 \times 48$  행렬을 이용하여 계산이 수행되므로 계산량이 방대해진다. 또한 invariant 方法은 플레이스가 safe하지 않은 경우에는 이용할 수 없으므로 制約條件이 있다. 그런데, 生産시스템의 buffer와 같은 플레이스는 safe하지 않으므로 生産시스템을 해석하는 데는 invariant 方法은 不適合하다. 따라서 PNs를 이용한 全體시스템을 해석하는데 있어서 Bottom-up 方法은 適合하지 않다.

### 2. 1. 2 Top-down 方法

Top-down 方法은 全體시스템을 모델링한후 反復적으로 모델을 修正해 나가는 方法이다. 1979년 Valette는 反復적인 수정중에 liveness와 boundedness와 같은 성질을 유지하면서 시스템의 sub-net를 하나의 천이로 바꾸는 方法을 研究하였다. 또한 Zhou는 1989년에 실제 시스템을 제어하거나 PNs 모델을 設計하는 데에 Top-down 方法이 적절하다는 것을 보였다. 전체 시스템을 PNs로 구성한 후 이를 반복적으로 축약시켜 나가는 方法을 reduction 方法이라 한다. 그런데 이때 전체 시스템의 성질이 예를 들면 boundedness는 계속적으로 維持되면서 시스템 모델을 縮小시켜 나간다. 1972년 Hack에 의하여 처음으로 reduction 方法이 提案된 이후 Sub-net를 macro place로 代置시키는 reduction 方法을 研究하게 되었다.

## 2. 2 自動化 生産시스템의 部品 投入順序

여러 종류의 部品을 生産하는 自動化 生産시스템을 각기 다른 機械設備群, 物流運搬시스템 및 工具와 같은 非消耗性 資材로 이루어져 있다. 多樣한 종류의 部品은 주어진 시간동안 일정한 加工工程을 마치게 되는데, 이러한 部品들은 동일한 部品群으로 분류될 수 있다. 이때 같은 部品群에 속하는 部品은 동일한 加工工程을 거치며, 하나이상의 機械設備群에서 가공된다. 주어진 部品の 어떤 機械設備群에서 수행되는 加工工程은 다른 機械設備群에서 加工된다면 가공 시간이 달라진다고 가정한다. 한 機械設備群을 구성하는 機械들은 모두 같은 성능의 機械라 가정하며, 機械에 정착된 공구는 동일한 성능을 가졌으며, 機械를 運用하는 人力도 동일하다고 가정한다. 또한 어떤 機械設備群에서 한 部品에서 加工 완료한 후, 다른 部品을 가공할 경우 機械세팅 시간은 없다고 가정한다. 이제 部品 投入順序를 결정하기 위한 自動化 生産시스템을 정의하면 다음과 같다. 加工工程  $f$ 는 勞動力, 機械設備, 에너지 등으로 原材料를 다른 형태로 변환시키는 과정을 의미하며,  $f$ 는 自動化 生産시스템에서 수행될 수 있는 加工工程의 冚(set)이다. 部品種類는 주어진 시간동안 수행되어야 하는 동일한 部品の 冚이며,  $i$ 는 部品種類의 冚이며,  $D_i$ 는  $i$ 번째 部品種類의 部品개수를 뜻한다.  $N_i$ 는 部品群  $i$ 를 가공하는데 필요한 作業群을 뜻하며,  $M$ 은 機械設備群,  $R$ 은 非消耗性 기자재군을 뜻한다.  $S_m$ 은 機械設備群,  $m$ 을 구성하는 機械 수이며,  $C_{m,r}$ 은 機械設備群  $m$ 에서 비소모성 기자재  $r$ 을 동시에 저장할 수 있는 수를 의미한다.  $A_r$ 는 기자재  $r$ 중에서 사용가능한 수를 나타내며,  $U_{f,r}$ 은 加工工程  $f$ 를 수행하는데 필요한 기자재  $r$ 의 수이다.  $t_{i,n}$ 은 部品  $i$ 의 加工工程  $n$ 을 수행하는데 필요한 시간이며, 행렬  $E$ 는 機械設備群  $m$ 의 효율을 나타낸다. 즉, 機械設備群  $m$ 이 加工工程  $f$ 를 수행하는 데에 가정 효율이 좋

한다.  $A_r$ 는 기자재  $r$ 중에서 사용가능한 수를 나타내며,  $U_{f,r}$ 은 加工工程  $f$ 를 수행하는데 필요한 기자재  $r$ 의 수이다.  $t_{i,n}$ 은 部品  $i$ 의 加工工程  $n$ 을 수행하는데 필요한 시간이며, 행렬  $E$ 는 機械設備群  $m$ 의 효율을 나타낸다. 즉, 機械設備群  $m$ 이 加工工程  $f$ 를 수행하는 데에 가정 효율이 좋은 機械設備群이라면  $e_{m,f}$ 는 1이며, 그렇지 못하면  $e_{m,f}$ 는 0과 1사이의 값을 갖게 되며, 이는 機械設備群  $m$ 과 加工工程  $f$ 의 관계를 나타내는 효율계수이다.  $PT_{i,n,m}$ 은 機械設備群  $m$ 에서 部品  $i$ 의 加工工程  $f$ 를 수행하는 데에 소요되는 시간을 나타내며, 이를 식으로 표현하면 다음과 같다.

$$Pt_{i,n,m} = \frac{t_{i,m}}{e_{m,f(n)}} \text{ ----- ①}$$

$PP_{i,n,m}$ 은 機械設備群  $m$ 에서 部品  $i$ 의 加工工程  $f$ 를 遂行하는 比率을 의미하며,  $es_{i,h}$ 는 部品  $i$ 의  $h$ 번째 工程이 수행되는 機械設備群을 나타낸다.  $rp_{m,m1}$ 은 部品  $i$ 가 機械設備群  $m$ 에서 機械設備群  $m1$ 으로 보내지는 比率이다. 단,  $n$ 은  $es_{i,h}$ ,  $n1$ 은  $es_{i,h+1}$ 이다. 또한  $n2$ 는  $es_{i,h-1}$ , 즉 部品  $i$ 의  $h-1$ 번째 工程이 遂行되는 機械設備群이다.

$$PP_{i,n,m} = \sum_{m_2 \in M(n_2)} TP_{m_2,m}^{i,h-1} = \sum_{m_2 \in M(n_2)} TP_{m,m_1}^{i,h} \text{ ----- ②}$$

$\{is(j)\}$ 는 自動化 生産시스템의 投入順序이며,  $\{pr_{i,u}\}$ 는 加工工程이다. 먼저 投入順序를 결정하기 전에  $\{is(j)\}$ ,  $\{pr_{j,h}\}$ ,  $\{qt_{j,h}\}$  및  $\{et_{j,k}\}$ 는 다음과 같은 條件을 만족하여야 한다. ① 어떤 部品에 수행되어야 하는 作業中 한 作業은 단지 한 機械에서 加工되어야 한다. ② 作業間에는 우선순위가 없으며, 한 부품에 대하여 어떤 作業도 동시에 발생하지 않는다. ③ 각 機械設備群의 機械 대수는 制限되어 있으며, 한 機械設備群  $m$ 에서 동시에  $S_n$ 이상의 部品이 加工될 수 없다. ④ 물류운반 設備群의 용량은 초과할 수 없으며, 한 물류운반 設備群에서  $T$ 部品 이상 동시에 처리할 수 없으며, 機械設備群에 있는 部品은 加工待期, 加工中, 運搬待期 중의 한 상태 이다. ⑤ 비소모성 기자재  $r$ 의  $C_{m,r}$  이상의 機械設備群  $m$ 에서 동시에 사용될 수 없다. 이상과 같은 가정이 있을 때, 自動化 生産시스템을 운영하였을 경우 總製品 生産 完了時間을 最小로 하는 부품 투입 순서를 구한다. 部品 投入順序를 정하는 알고리즘은  $j$ 번째 部品 投入順序에서 실제로 각 機械設備群의 負荷와 주어진 기간동안 豫想負荷와의 차이를 最小化하는 投入順序를 구한다. 그러므로 목적함수는 다음과 같다.

$$\min \sum_{j \in J} d_j, \quad d_j = \sum_{m \in M} |aW_{m,j} - eW_{m,j}| \text{ ---- ③}$$

$aW_{m,j}$ 는  $j$ 번째 部品을 투입하는 시점에서 機械設備群  $m$ 의 實際作業負荷이며  $eW_{m,j}$ 는  $j$ 번째 部品을 투입하는 시점에서 豫想作業負荷를 뜻한다.

### 2.3 統合 客體指向 시스템 모델링

自動化 生産시스템의 초기 모델링 단계에서는 生産하고자 하는 部品 種類와 部品 각각이 加工되는 機械설비 종류가 결정되어야 하며, 이를 기호로 AMS 모델링을 한다. AMS을 구성하는 機械設備의 種類를 안다면, 全體 AMS을 모델링하기 전에 각각의 機械設備群을 모델링하고 이를 이용하여 전체 AMS을 구성한다. Fig. 1은 客體 R1 Robot의 PN을 이용한 統合 客體指向 Module Structure를 나타낸 것이다.

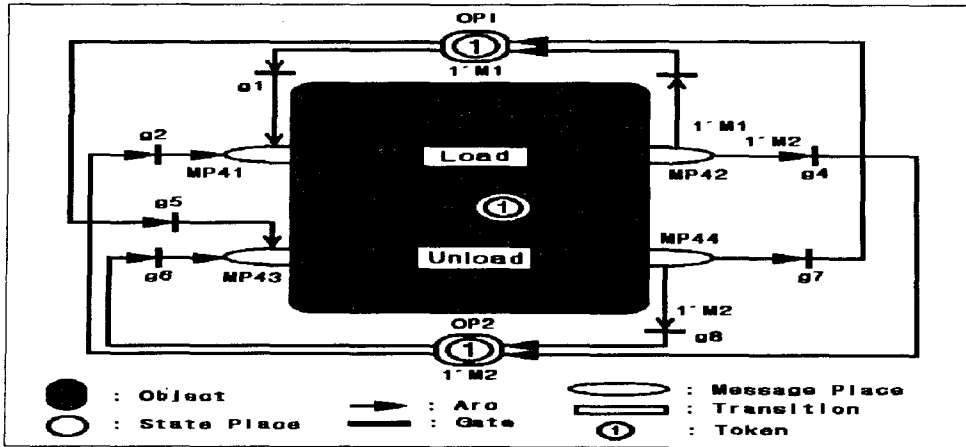


Fig. 1 R1 Robot의 統合 客體指向 Module

먼저 각 機械設備群의 機械數가  $S_m$ 이라 할때, 다음과 같이 Modelling 한다. 機械數  $S_m$  만큼의 place를 위치시키며, 제일 상위에 있는 place는 機械設備群의 buffer로서, 상위 機械群에서 加工이 끝난 部品은 버퍼에서 대기하여 機械에 투입되기를 기다린다. 버퍼에 部品이 대기하고 있으면, 이를 機械에 投入하게 되는데, 投入順序는 2. 2장에서 설명한 AMS의 部品 投入順序를 이용 한다. 機械設備群의 버퍼는 AMS에서 시스템 deadlock을 막기 위하여 機械設備群의 최상위에 위치 시켰으며, 버퍼에 있는 토큰은 機械設備群의 機械가 作業을 完了하면 바로 機械設備 플레이스로 移動하여 作業을 개시한다. 이때 機械設備群의 機械  $i$ 에 나타난다. 이제 機械의 稼動 狀態를 나타내기 위하여 各各의 機械 플레이스 옆에 機械狀態 플레이스를 위치시킨다. 機械 플레이스들 간에는 서로 排他的인 關係(exclusive relation)가 있으므로, 각 機械플레이스들 간에는 오직 하나의 토큰만이 存在한다. 만약 機械  $i$ 가 가동중이어서 機械 플레이스  $i$ 에 토큰이 存在하며, 機械狀態 플레이스는 토큰이 存在하지 않는다. 반대로 機械  $i$ 가 대기상태이면 機械狀態 플레이스에 토큰이 存在하며, 機械 플레이스  $i$ 에는 토큰이 存在하지 않는다. 또한 機械設備群 버퍼 플레이스에 토큰이 存在하고, 機械設備 플레이스에 토큰이 없을 경우 토큰이 버퍼 플레이스에서 機械플레이스로 이동한다. 따라서 部品の 이동에 따라 이를 PN으로 表現하면 Fig. 2와 같다.

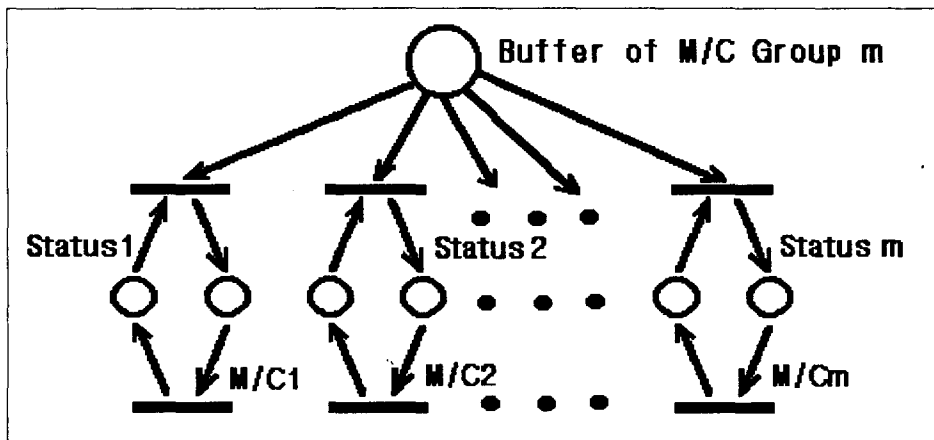


Fig. 2 M/C Group m의 模型圖

플레이스는 部品の 種類에 따라 여러 가지의 색으로 表現할 수 있으며, 機械狀態 플레이스는 단기 機械의 待期狀態를 나타내므로 機械狀態 플레이스에 위치하는 토큰은 部品種類와는 관계

없이 無色토큰이다. 이와같이 한 機械群이 모델링되면 AMS을 구성하는 다른 機械設備群들도 동일한 方法으로 모델링할 수 있다. Fig. 2에서 한 機械設備群의 機械臺數  $S_m$ 이라면, 플레이스 개수 :  $N_p = 2S_{m+1}$ , 천이 개수 :  $N_t = 2S_m$ 이 된다. 그런데 部品의 種類에 따라 加工順序가 따르게 되므로, 즉 토큰의 색에 따라 PN 모델에서의 흐름이 바뀌게 되므로, 토큰뿐만 아니라 플레이스를 연결하는 천이 또는 색을 갖게 된다.

### 3. AMS의 PNs Modeling

#### 3. 1. PN Modeling 具顯 接近方法

自動化 生産시스템 Modeling Tools에 대한 一般的인 要求事項은 다음과 같다. ① Powerful 한 Modeling, ② 意思疏通의 容易性, ③ Modeling Design의 容易性, ④ 具顯의 容易性, ⑤ 分析力동이며, PN Modeling은 위 要求事項을 汎用的으로 만족시킬 수 있다. 또한 PN Modeling 결과가 실제 Simulation 실행으로 이어지도록 하는 具顯方法은 다음과 같은 세가지 方法이 있다. ① PN modeling등과 같은 形式化된 model(Formal model)로의 變換, ② PN 기반의 통합 Proto typing Tool의 開發, ③ PN을 商用 Simulation package preprocessor로 사용동 이다. PN Model의 標準化된 設備들은 PN의 Macro-place(Sub PN) Node으로 표현되며, 作業흐름 Model에서의 Transfer는 천이 Node로 變換된다. 이렇게 變化된 PN은 Place Node와 천이 Node를 연결함으로, 첫번째의 정적인 PN이 Lay-out Model과 Work process Model으로부터 구해진다.

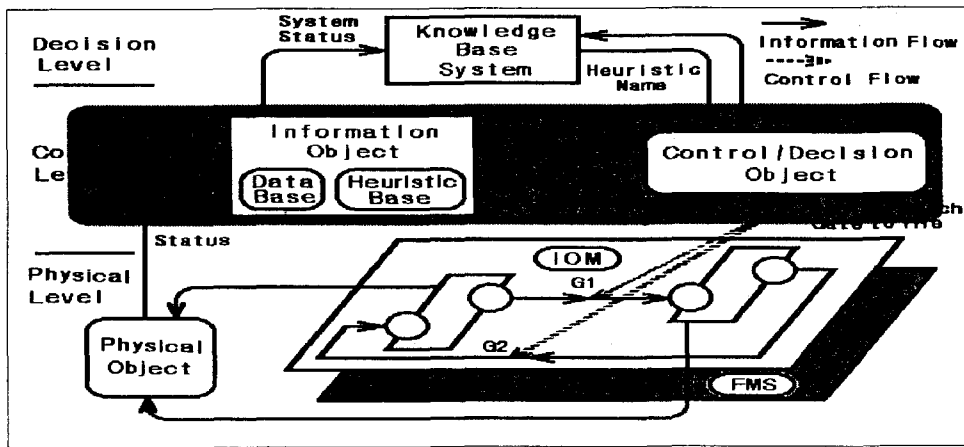


Fig. 3 The control structure of an Integrated Object-oriented AMS

따라서 Fig. 3에서와 같이 Transfer의 Dynamical control을 위해서 Control Model에서의 토큰 백이 Control place로 Transfer되어 이것들이 천이 Node의 firing 條件을 control하기 위해 정적인 PN에 附加되어 全體的인 Model이 얻어진다. 두번째 接近方法으로, PN Model이 IOM로 内部的으로 變換되어 시스템이 모듈단위로 階層的으로 分解되는 Modeling framework을 제공하기 때문에, 이는 PN Modeling System과 일치한다. 세번째 接近方法으로는 PN Model이 상업화된 simulation package의 Graphical Modeling Tools로 활용 될 수 있는 것이다.

#### 3. 2 AMS의 Modeling 節次

自動化 生産시스템의 가장 중요한 구성 요소인 AGV(Automated Guided Vehicle)의 조정을 Blackboard architecture를 이용해서 Modeling 하는 節次를 Fig. 6의 간단한 自動化 生産시스템의 Lay-out을 이용하여 說明하고자 한다.

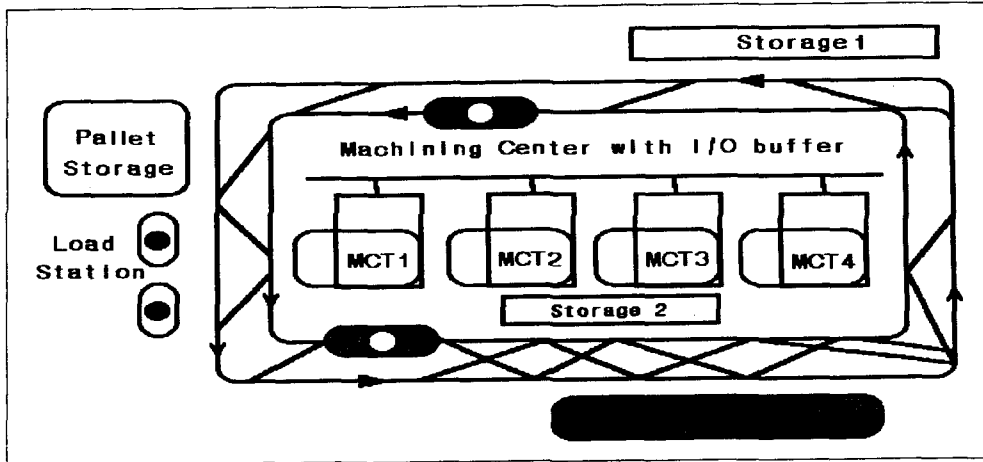


Fig. 4 AMS Lay-out

Fig. 4의 自動化 生産시스템 Lay-out의 概念은 한 사람의 作業者(W), 서로 다른 Input / output buffer(B1, B2)를 갖는 4대 Machine Center (MCT1), 두 대의 AGV(V), Storage에 용량 1인 m개의 Pallets(P), 10개의 buffer로 구성된 貯藏場所(S2)와 3개의 buffer로 구성된 중간 저장장소 S3 및 Unload Area S4로 각각 이루어진 System이다. 이때 AGV가 움직이는 Route network는 단방향(Uni-directional)으로만 움직이게 되어 있어 AGV간의 충돌은 일어나지 않는다고 가정을 한다. 作業을 作業者에 의하여 Load Station(S1)에서 Pallet(P)에 고정(Fixturing)되고, AGV에 의하여 Machine Center(MCTi)로 옮겨진다. 하나의 공정이 끝나면 作業物은 AGV에 의하여 다음 Machine Center로 이동되고, 만약 다음 Machine Center가 가용하지 않을 때는 中間 貯藏場所인 S2, S3 Buffer로 잠시 이동된다. 모든 作業이 끝나면 加工된 製品은 Unload Area(S4)로 이동되어 作業者에 의해서 내려진다(Unfixturing). Fig. 8은 Fig. 7의 自動化 生産시스템을 PN Model로 Modeling한 것이다

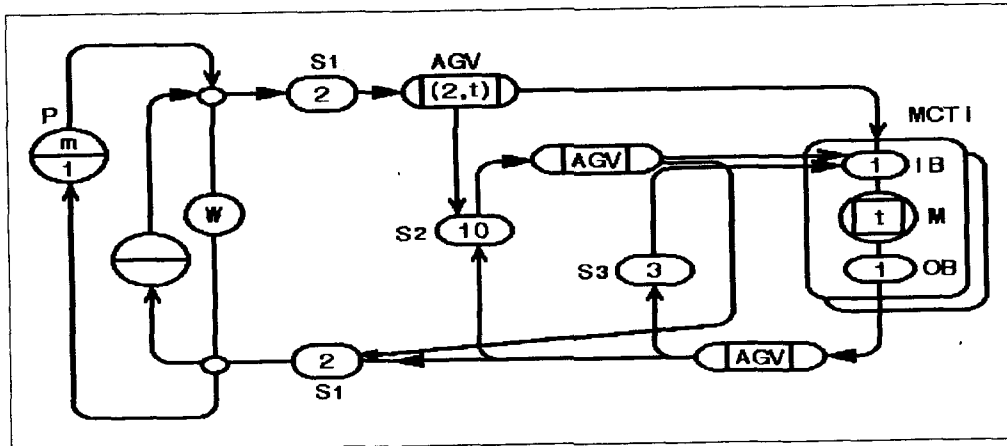


Fig. 5 自動化 生産시스템 Modeling

위 Fig. 5에서 AGV 제어는 Blackboard architecture에 의하여 이루어 졌으며, Blackboard primitive를 나타내는 論理素子가 表示되지 않았지만 이는 AGV의 位置에 따라 일관된 規則에 의하여 만들어진다. 즉 作業物이 다음 作業을 위하여 보내질 준비가 되는 상태(前工程의 出力 buffer로 보내지는 상태)에서 push blackboard 신호(SBB)를 보낸다. 반대로 作業物을 받을 준비가 되는 상태(後工程의 入力 buffer가 비어지는 상태)에서 Pull blackboard 신호(DBB)가 보내진다.



### 3. 3 AMS Modelling의 性能評價

AMS을 設計하는데 있어서 性能評價 項目은 여러 가지가 있으며, 이에 따라 全體시스템의 構성이 바뀌어 질 수도 있다. 그러므로 AMS을 Modelling 하기 전에 목적하는 바를 명확히 定義하여야 하며, 評價 項目으로는 다음과 같다. ① 모든 作業을 完了하는데 所要되는 總時間의 最小化, ② 部品 및 機械 待期時間의 最小化, ③ 平均 待期時間의 最小化, ④ 半製品數의 最小化 등이다. 作業을 완료하는데 필요한 總時間의 最小化 하는 것은 加工部品이 시스템내에서 소비하는 시간이 적다는 점이다. 이는 시스템내의 半製品 수를 줄임으로써 半製品의 貯藏空間을 最小化할 수 있고, 附帶費用을 最小化할 수 있다. PN으로 모델링된 AMS을 시뮬레이션 하였을 때, 作業完了時間은 다음과 같이 구할 수 있다.

規則 1. 加工完了時間  $t = \{ \min t \mid \text{token}(\text{end-place}) \geq \text{total} - \text{products}, \text{at } t \}$

加工完了時間을 最小化 하는데 에, 稼動率을 이용하여 병목 機械設備群을 檢索한다면, 각 機械設備群의 稼動率은 다음과 같이 구한다.

規則 2. 稼動率, at  $M_i = (\sum \text{operation-time}(M_i) / S_i)$

단,  $S_i$ 는 機械設備群  $M_i$ 의 機械數

만약 加工完了時間을 最小化하는데 에, 機械設備群의 버퍼 플레이스에서 待期하고 있는 部品の 總 待期時間을 利用하여 병목 機械設備群을 檢索한다면, 각 機械設備群의 部品待期 時間은 다음과 같다.

規則 3. 總部品待期 時間, at  $M_i = \sum \text{no-part}(M_i)$

단,  $\text{no-part}(M_i)$ 는 機械設備群  $M_i$ 의 버퍼에 있는 部品數

規則2, 3은 병목 機械設備群을 檢索하는 데에 現在의 加工시스템을 시뮬레이션 하여 稼動率과 待期時間을 고려하여 選定한 方法이다. 즉, 병목 機械設備群의 계수를 증가시켰을 경우에 가장 部品 加工完了時間을 最小化하는 병목 機械設備群을 選定할 수 있다면 가장 이상적이다. 따라서 機械設備群을 증가시켜 어떤 경우에 가장 部品 加工完了時間이 최소로 되는가를 확인하여 병목 機械設備群을 選定하는 것이다. 병목 機械設備群을 구하여, 병목 機械設備群의 機械數를 한 單位 增加시킨 후 시뮬레이션을 통하여 加工完了時間을 測定한다. 이와 같은 反復作業을 통하여 주어진 條件을 만족할 때까지 Fig. 6의 흐름도와 같이 過程을 遂行하여 最終機械 臺數를 얻는다.

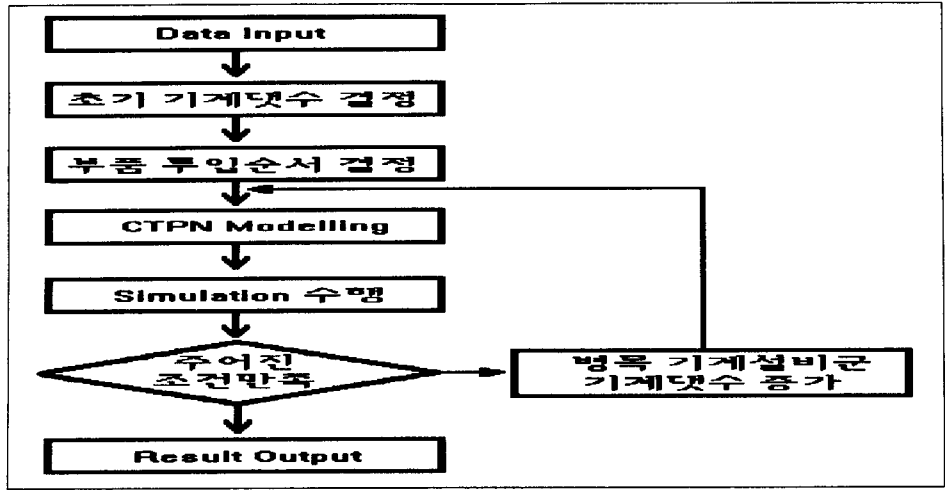


Fig. 6 AMS Simulation Algorithm

#### 4. 結 論

本 研究에서는 實際的인 自動化 生産시스템의 Modeling 過程을 그대로 描寫할 수 있는 User-oriented의 自動化된 生産시스템 Modeling Framework에 의한 統合 客體指向 Modeling paradigm을 根據로 提示되었다. 이는 새로운 시스템의 設計/設置나 既存시스템의 效率的인 운영을 위한 分析道具로 사용되는 Modeling 節次를 시스템을 構成하는 要素別로 分析하여 종합하는 Modular 接近方法을 사용하였다. 또한 버퍼에서 待期하고 있는 部品中에서 加工하는 順序를 決定하는 方法 및 目的函數를 最小化하기 위하여는 AMS내의 병목 機械設備群을 選定하여 병목현상을 해소하는 알고리즘을 提示하였다. 自動化 生産시스템을 設計하는 경우, 自動化 生産시스템을 構成하는 機械는 사용하는 알고리즘, 目的函數에 따라 빈번히 變化될 수 있다. 이 경우 構成하는 機械에 따라, 새로운 모델링을 遂行하고, 性能을 評價하여야 하는데, 本 研究에서는 自動化 生産시스템을 機械設備群으로 모듈화하여 構成하는 機械에 따라 모델링이 體系 的으로 이루어지도록 하였다. 實際的인 自動化 生産시스템의 Modeling 過程을 그대로 描寫할 수 있는 User-oriented된 自動化 生産시스템 Modeling Framework에 의한 統合 客體指向 Modeling paradigm을 根據로 提示되었다.

#### 參考文獻

- [1] 김만균, "자동차 생산을 위한 유연생산 시스템 구축에 관한 연구", 한양대, 석사논문, 1992.
- [2] 김만균, 함효준, "FMS 통제시스템을 위한 통합객체 지향 모델링에 관한 연구", 공업경영학회 춘계학술지, pp 112-124, 1997
- [3] 김고중 외2명, "Petri-net을 이용한 FMS 제어 및 모니터링", 한국산업공학회지, Vol.21 No. 1, pp 137-151, 1995.
- [4] 이강수, "A study on Petri nets and its simulation method", 서울대, 석사학위논문, 1982.
- [5] 이광식 외1명, "추계적 페트리네트를 이용한 대기시스템의 제어모형" 산업공학회지, 제8권 제2호, pp161-169, 1995.

- [6] 안재홍, 노인규, "퍼트리 네트를 이용한 FMS 스케줄링에 대한 발견적 해법", 한국경영학회지, 제21권 제2호, pp111-124, 1996.
- [7] Kim, Man-kyun & Hahm, Hyo-joon, "A study on optimal evaluation model for FMSs using Activity-Based Costing", Journal of the society of Korea Industrial and Systems Engineering, Vol. 19 No. 38, Jun. 30, pp. 147-148, 1996.
- [8] Kim, Man-kyun & Hahm, Hyo-joon, "A study on Control System of FMS Using Petri-nets", Journal of the society of Korea Industrial and Systems Engineering, Vol. 20 No. 42, May 30, pp. 9-19, 1997.
- [9] Jafari, M., "An architecture for a shop-floor controller using colored petri nets", International Journal of flexible manufacturing system, 4, pp159-181, 1992.
- [10] Peterson, J.L., "Petri Net Theory and Modeling of systems", Englewood cliffes NJ, Prentice-Hall, 1981.
- [11] Narahari, Y., & viswanadham, N., "A petri net approach to the modelling and analysis of flexible manufacturing systems", Annals of operations Research, 3, pp449-472, 1985.
- [12] Teng, S., H., and Black, J. I., "Petri nets for manufacturing cell control operations", Manufacturing Review, 5(2), pp127-136, 1992.
- [13] Teng, S. H., and Black, J. I., " Cellular manufacturing systems modelling: The petri net approach," Journal of manufacturing systems, 9(1), pp45-54, 1990.
- [14] Park, T. Y., "Modular approach to Petri net modeling of automated manufacturing system", Ph. D. dissertation, Dep't of Industrial Engineering, KAIST, 1992.
- [15] Jeng, M. D., "Modular synthesis of Petri net for modeling flexible manufacturing system", The International Journal of flexible manufacturing system, Vol.7, No.3, 1995.
- [16] Ozden, M., " A simulation study of multiple load carrying AGV in FMS", International Journal of Production Research, Vol.26, pp1353-1366, 1988.
- [17] boucher, T. O., Jafari, M. A., and Meredith, G.A., "Petri net Control of an Automated Manufacturing Cell", Computer Industrial Engineering Vol. 17(4), pp459-463, 1989.
- [18] Wu, F. C., "Study of Petri Net and its Application to FMS", Msc. Thesis, Indu. Eng. Dep't, National Tsing Hua University, Taiwan, 1991.
- [19] Narahari, Y. and Viswandham, N., "A Petri net approach to the modeling and analysis FMS", Annals of Operation Research, Vol 4(5), pp119-131, 1986.
- [20] Pooley, R. J., "Towards a standard for Hierarchical process oriented Discrete Simulation Diagram", Transactions of the society for computer simulation, 8(1), 1991.
- [21] Menon, S. R., and Ferreira, P. M., "A Colored Petri-net Based Architecture for Condition Control of Flexible Manufacturing System", Advance in Manufacturing System Engineering, PED-Vol. 31, ASEM, pp69-88, 1988.
- [22] Li Chih, Wang, "An Integrated object-oriented Petri-net Paradigm for manufacturing control systems", The International Journal of Computer Integrated Manufacturing, Vol. 9, No.1, pp73-87, 1996.
- [23] Kai-Ying, Chen and Shui-Shong, Lu, "A Petri-net and Entity-relationship diagram based object-oriented design method for manufacturing systems control", The International Journal of Computer Integrated Manufacturing, Vol.10, No.1-4, pp17-28, 1997

- [24] G. M., Lenart and S. Y., Nof, "Object-oriented Design of Information Integrated in Sheet Metal Manufacturing", *The International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, Vol.10, No.1-4, pp29-50, 1997.
- [25] Johns, A., and McLean, C., "A proposed hierarchical control model for automated manufacturing system", *Journal of manufacturing systems*, 5(1), pp15-25, 1986.
- [26] Valette, R., M. Courvoisier, D. mayeux, "Control of Flexible Production System and Petri Nets", *Informatik fachberichte 66. Springer-Verlag*, pp 264-267, 1982.
- [27] Valette, R., "Nets in Production Systems", *Advance in Petri Nets*, Vol. 255, Part I, in W. Brauer, W. Reising and G. Rozenberg(eds.), pringer-Verlag, pp 191-217, 1987.
- [28] Jeng, M. D., "Modular synthesis of Petri net for modeling flexible manufacturing system", *The International Journal of flexible manufacturing system*, Vol.7, No.3, 1995
- [29] Boucher, T. O., Jafari, M. A., and Meredith, G.A., "Petri net Control of an Automated Manufacturing Cell", *Computer Industrial Engineering* Vol. 17(4), pp459-463, 1989.
- [30] Narahari, Y. and Viswandham, N., "A Petri net approach to the modeling and analysis FMS", *Annals of Operation Research*, Vol 4(5), pp119-131, 1986.
- [31] Li Chih, Wang, "An Integrated object-oriented Petri-net Paradigm for manufacturing control systems", *The International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, Vol. 9, No.1, pp73-87, 1996.
- [32] Kai-Ying, Chen and Shui-Shong, Lu, "A Petri-net and Entity-relationship diagram based object-oriented design method for manufacturing systems control", *The International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, Vol.10, No.1-4, pp17-28, 1997