

유연 생산 시스템의 시뮬레이션을 위한 JR-Net 모델링

최병규* · 한관희**

Job Resource relation- Net Modeling for the Simulation of FMS

Byoung Kyu Choi · Kwan Hee Han

(Abstract)

As the level of manufacturing system automation increases, the issues of modeling and simulation of AMS(Automated Manufacturing System) are becoming more important.

Proposed in this paper is the JR-Net(Job Resource relation-Net) modeling framework which naturally mimics the process of designing an AMS by FA(Factory Automation) engineers. Its main purpose is to provide a modeling tool which facilitate modeling work of AMS for FA engineers unfamiliar with simulation modeling. The proposed modeling scheme is based on the extensive observation that typical AMSs are built from the set of 'standard' components(or catalog items).

As an application of the proposed model, two real examples of FMS('G7'FMS model plant, RPI FMS) are modeled by JR-Net, and in case of FMS model plant, a simulation program development procedure using JR-Net modeling results is explained. Finally, simulation result of FMS model plant is analyzed.

1. 서론

유연 생산 시스템(FMS)은 그것이 가지고 있는 '유연성'으로 인해 제조시스템을 둘러싼 외부 환경의 변화에 기민하게 대응할 수 있는 시스템으로 평가받고 있는데, FMS와 같이 컴퓨터에 의해 제어되는 자동화 제조시스템(AMS: Automated Manufacturing System)은 종래의 제조시스템보다 구성 요소 사이의 동적인 상호작용이 많고 복잡하기 때문에 새로운 FMS의 설계나 기존 시스템의 운영시, 이러한 복잡성에 대처하

기 위한 도구로서 모델링 및 시뮬레이션의 사용이 증대되고 있다.

FMS 모델링에 관한 연구로는 ACD[1], Event Graph [2], IDEF 방법론[3], Petri-Net 등을 이용한 연구들을 들 수 있고, 이 중에서 특히 Petri Net는 FMS에서 발생하는 분산된 제어 구조, 동시성, 동기화, 공유 자원 사이에서 발생하는 conflict등을 표현하는데 적합하기 때문에 FMS의 모델링[4,5,6] 및 dead lock[7,8,9], 스케줄링[7,10], conflict resolution[11]등과 같은 콘트롤 문제를 해결하는데 많이 사용되고 있다. 그러나,

* 한국과학기술원 산업공학과

** 자동화 및 설계공학과

Petri Net는 일반적인 FA 엔지니어가 사용하여 용이하게 모델을 얻기 힘들고, 시스템의 크기가 커지면 네트워크의 구조의 복잡성이 증가하여 가독성이 떨어지게 된다.

본 논문에서는 AMS 모델링 도구의 주 사용자인 FA 엔지니어의 업무과정을 자연스럽게 맵핑하여 모델을 생성하는 JR-Net(Job Resource relation- Net) 모델링이라는 일반적인 절차를 제시하고자한다. 기존의 연구들은 Petri Net, DEVS formalism 등과 같은 이론적 방법론을 AMS에 적용하려는데 초점을 두고 있는데 반하여, JR-Net 모델링은 모델링 도구의 주 사용자인 FA 엔지니어의 업무 과정을 분석, 체계화하여 자연스럽게 모델로 맵핑하려는 시도를 출발점으로 하고 있다.

즉, JR-Net 모델링은 모델링이나 시뮬레이션에 익숙하지 않은 FA 엔지니어를 위해서, FA 엔지니어의 업무 과정을 따라가면서 제조시스템의 주요 구성 요소인 job과 resource사이의 관계를 정의함으로써 쉽게 AMS를 모델링하고, 이 결과가 관련자 사이의 의사소통 도구 및 시뮬레이션의 참조(reference) 모델로 사용될 수 있도록 한다. 여기서, job은 시스템내를 흘러다니는 작업물, 파레트, 공구 등과 같은 entity를 의미하고 resource는 제조시스템을 구성하는 실제적으로 존재하는 표준화된 설비를 말한다.

본 논문의 구성은 2장에서 JR-Net 모델의 구성과 모델링 절차에 대해 설명하고 이를 2가지의 실제 FMS에 적용하여 모델링하고, 3장에서 JR-Net 모델링 결과를 이용하여 AutoMod 시뮬레이션 시스템[12]으로 '차세대 가공시스템'을 시뮬레이션하는 과정 및 결과를 보이고 마지막으로 4장에서 결론을 기술한다.





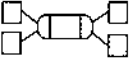
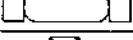


2. JR-Net 모델링

자동화 제조시스템은 표준화된 설비들의 조합으로 구성되고 있으며, 최근에는 FMC나 FMS도 modular/pre-engineered 설계 개념으로 발전하여 표준화 되고 있는 추세이다.[13,14] 일례로 machining-center-based cell 설치 비용의 95% 이상을 표준화된 catalog item이 점하고 있다.[15] 또, 시스템의 운영에 있어서는 계층적인

구조를 갖는 컴퓨터들에 의해 제어되며 컴퓨터 네트워크에 의해 연결되어 분산환경에서 운영되는 추세이다.[16]

JR-Net 모델링은 이러한 자동화 제조시스템의 구성 추세에 근거하여 표준화된 설비들을 building block으로 하여 레이아웃상에 배치하고, 이들 사이의 job 흐름을 정의하고, job 흐름의 제어를 위한 콘트롤 정보의 흐름을 나타냄으로써 자동화 제조시스템을 표현한다. 자동화 제조시스템내의 표준화된 설비들의 종류와 이에 대응되는 JR-Net 심볼은 <그림 1>과 같다.

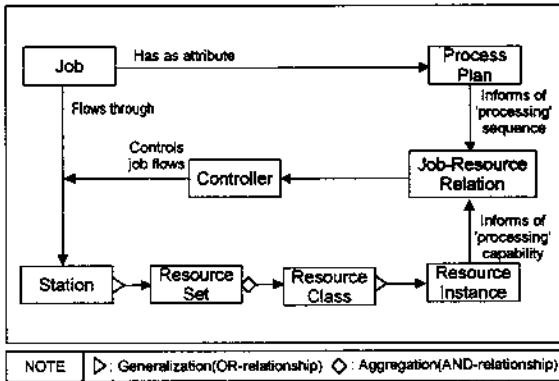
여기서, 모델링의 근간이 되는 JR-Net을 정의하면, "job과 resource사이의 상관 관계를 나타내는 job 흐름을 resource를 노드로 하는 그래프 형태로 표현하고, 그 위에 job의 동적인 행태를 제어하기 위한 정보의 흐름을 나타낸 것"이다.

| AMS Resource type | Standard Resources | JR-Net Resource Symbol |
|-------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Machine |  | * Machining Center * Turning Center * Washing Machine * Inspection Machine * C.M.M |
| Robot |  | * Worker * Robot(Manipulator) * (Un)Stacker * (De)Palletizer |
| APC |  | * APC(Rotary Shuttle) * Carousel |
| Table |  | * Table * Stacker * Pallet Stand |
| Vehicle |  | * AGV * RGV * Stacker Crane * Bridge Crane * Truck/Cart * Trolley Conveyor * Overhead Monorail * Power & Free Conveyor * Lifter/Elevator |
| Conveyor |  | * Chain Conveyor * Belt Conveyor * Roller Conveyor |
| Diverter |  | * Diverter * Pusher * Dropper |
| Storage |  | * Storage Rack * Common Buffer |

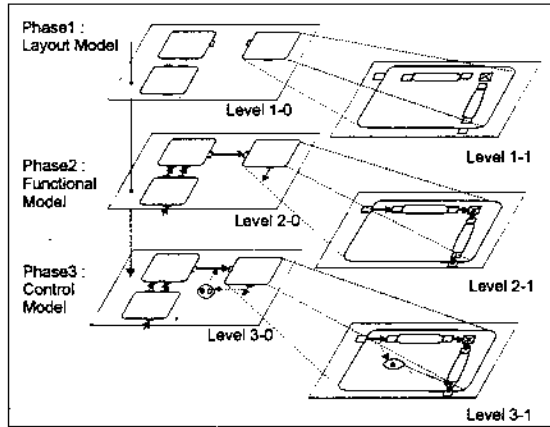
(그림 1) List of standardized AMS resources

JR-Net 모델링에서의 자동화 제조시스템내 각 구성 요소간 상관관계는 <그림 2>와 같다.

JR-Net 모델링은 JR-Net이라는 도형화 도구를 가지고 job과 resource사이의 관계를 표현함으로써 AMS를 모델링하는데, 이 때 모델링 과정은 <그림 3>에서와 같이 FA 엔지니어의 업무 절차에 맞추어 레이아웃 모델, functional 모델, control 모델의 3 단계로 구성되어 진행되며, 각 단계에서는 top-down hierarchy를 가지고 모델의 계층이 상세화된다.



〈그림 2〉 relationships among AMS objects



〈그림 3〉 JR-Net modeling procedure

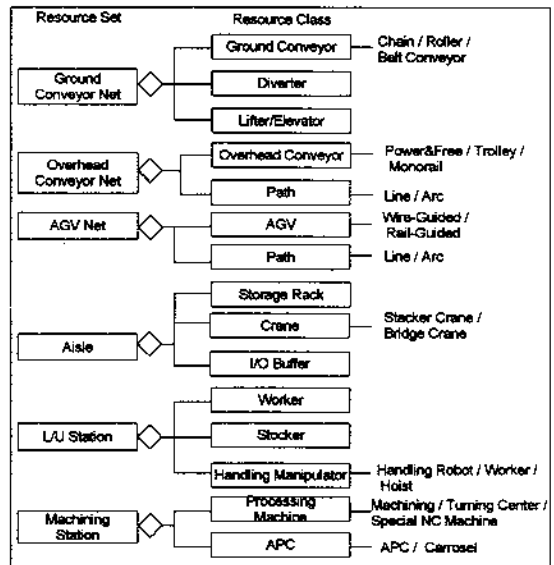
2.1 레이아웃 모델

제조시스템 내에 존재하는 resource와 job의 사양과 레이아웃을 정의하는 것으로 functional 모델과 control 모델의 기초가 된다. 구체적으로는 〈그림 2〉에 정의된 제반 ‘AMS 구성요소’들에 관해 체계적으로 분류하고 정의하는 단계이다.

특정한 제조시스템의 기능 요구 조건을 만족시키기 위해 제조시스템을 수행 기능 단위의 부분 집합으로 분해한 각각을 ‘스테이션(station)’이라 하며 자동화 제조시스템은 이러한 스테이션의 조합으로 구성된다. 스테이션은 AS/RS, FMS등과 같이 구별되는 제조시스템 단위로 정의되는데 1) 스테이션간에는 상호 수행 기

능사이의 중복이 없어야 하며, 2) 특정한 제조시스템을 위해 정의된 스테이션을 합하면 하나의 완전한 시스템으로서 작동하여야 한다는 구성 조건을 만족하여야 한다.

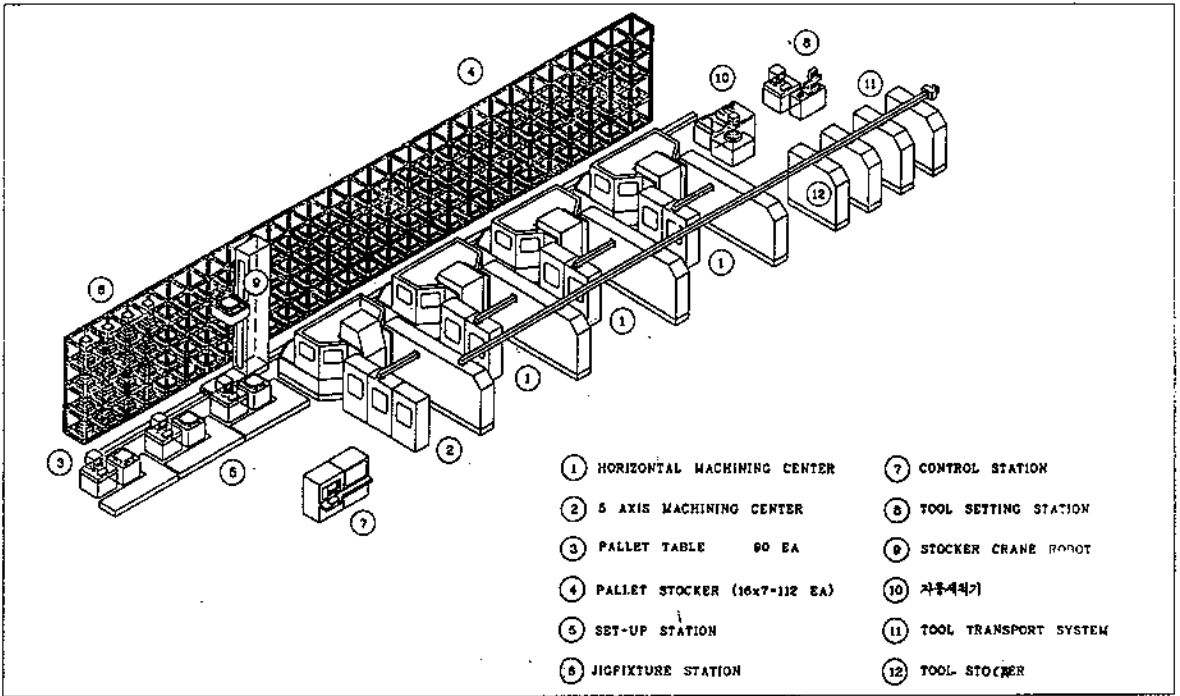
각 스테이션은 표준화된 resource의 조합으로 구성되는데, 이들 resource들은 set - class - instance의 계층 구조를 가지고 구체화된다. 〈그림 4〉에 자동화 제조시스템내에 존재하는 resource set과 resource class사이의 관계를 보인다.



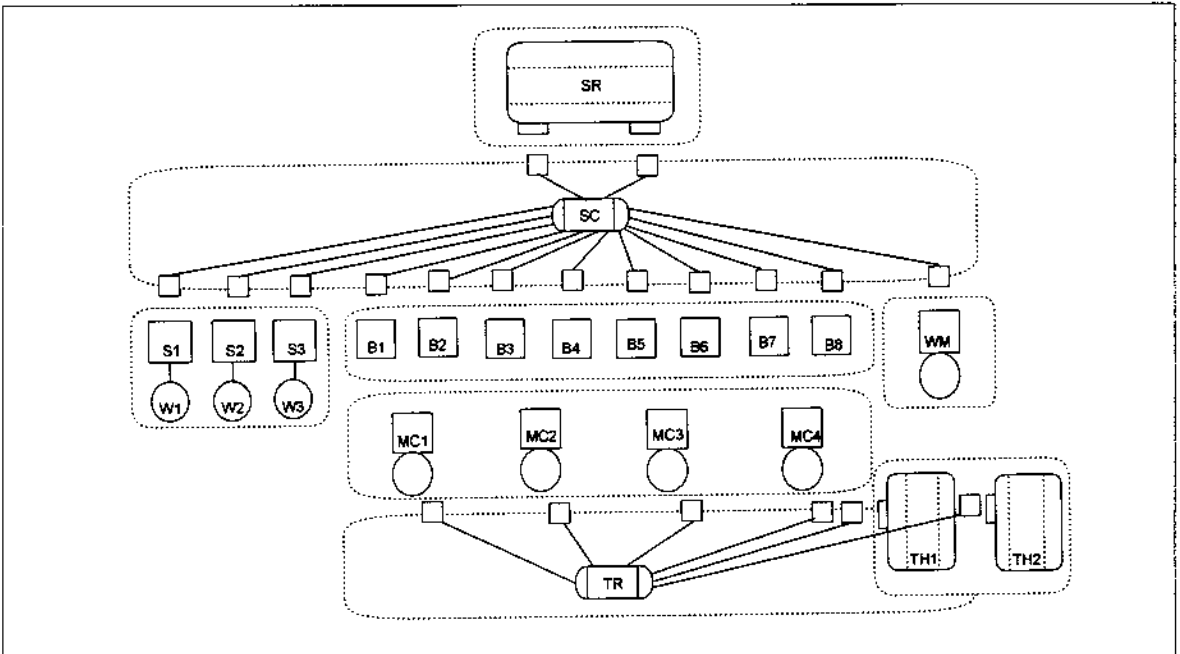
〈그림 4〉 Relationships between resource-set and resource-class

사용자는 ① 대상 시스템을 구성하는 스테이션을 정의하고, ② 스테이션에 해당하는 resource set이나 class를 정의하고, ③ resource class내의 구체적인 instance의 사양을 ‘resource 사양 표’를 이용하여 기술함으로써 레이아웃 모델을 작성하게된다.

〈그림 6〉에 〈그림 5〉에 나타난 ‘차세대 가공시스템’을 대상으로한 레이아웃 모델을 보인다. ‘차세대 가공시스템’은 3개의 로딩/언로딩 테이블을 가진 세팅(setting) 스테이션, 1대의 5축 머시닝센터, 3대의 수평형 머시닝센터, rack type의 pallet stocker, 1대의 세척 스테이션, 파레트 이송을 담당하는 stacker crane 1대, 2개의 tool stocker 및 공구 이송을 담당하는 하나



〈그림 5〉 FMS model plant layout



〈그림 6〉 resource layout model of FMS model plant

의 공구 이송 로봇으로 이루어져 있다.

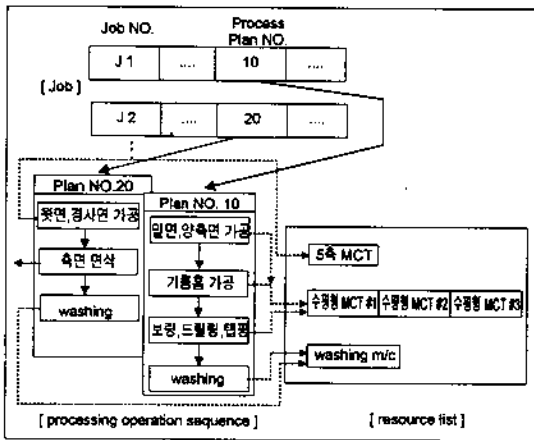
그리고 resource 각각의 사양을 위한 'resource 사양 표'는 JR-Net 표준 resource단위로 각각 정의되어 있는데, <표 1>은 'storage' resource의 사양표를 예로 나

타낸다.

job 정의에서는 주로 job의 공정계획을 정의하게되는데, 이는 <그림 7>와 같이 표현된다.

<표 1> resource specification table('storage')

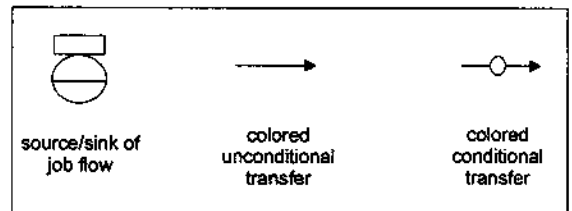
| group | specification | value | remark | |
|---------------------|-----------------|-------------------|------------------------|---------|
| common | unit | cm, sec | | |
| | dimension | number of aisle | 1 | |
| | | number of bay | 28 | |
| | | number of tier | 4 | |
| | | rack opening size | (125, 125, 125) | (W,D,H) |
| | | aisle width | - | |
| | | inter aisle width | - | |
| location | (-100,0,80) | (x,y,z) | | |
| operation (storage) | port name | pt-rk | | |
| | capacity | 112 | | |
| | type | 1 | 1 = single 2 = twin | |
| control rule | zone assignment | random | | |



<그림 7> job process plan

2. 2 Functional 모델

자동화 제조시스템의 표준화된 설비들을 대표하는 resource 심볼들<그림 1>을 이용하여 레이아웃이 끝난 resource들은 functional 모델에서 resource사이의 job 흐름을 정의함으로써 job과 연관 관계를 갖게된다. job 흐름의 표현은 <그림 8>의 job 흐름 심볼을 이용하여 스테이션이나 resource의 I/O 포트(Resource 심볼이나



<그림 8> job flow symbol(basic)

Station 심볼에 나타나 있는 사각형)를 상호 연결함으로써 이루어지는데, job 흐름은 하나의 resource내에서의 흐름(intra-resource flow)와 resource들 간의 흐름(inter-resource flow)로 분류하여 각각을 'transport'와 'transfer'로 구분한다. JR-Net에서는 'transport'는 해당 resource의 속성이나 'method'로서 레이아웃 모델에서 정의되므로, functional 모델이나 control 모델에서는 'transfer'를 정의하고 제어하는데 초점을 맞춘다.

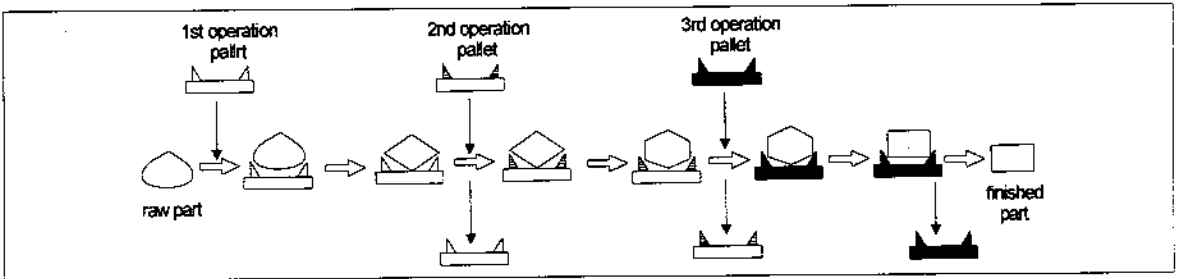
이 때, transfer flow는 조건부 흐름과 무조건 흐름으로 나뉘며 대표적인 job 유형별로 색깔을 구분하여 사용한다. '차세대 가공시스템'에서의 공정은 크게 세팅, 5축 머시닝센터 가공, 수평형 머시닝센터 가공, 세척으로 구분할 수 있고, 시스템내를 흐르는 job 흐름은 1) 작업을 대기하는 part(raw part)의 흐름, 2) 하

〈표 2〉 route according to part group

| 순서 | 생산 route | | | | | | | 소속품목 |
|-----|----------|-------|----|------|----|------|----|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | |
| 그룹1 | 세팅 | Saxis | 세팅 | Hmct | 세척 | - | - | 15 |
| 그룹2 | 세팅 | Hmct | 세팅 | Hmct | 세척 | - | - | 2 |
| 그룹3 | 세팅 | Hmct | 세팅 | Hmct | 세팅 | Hmct | 세척 | 3 |

나의 작업을 끝낸 part(processed part)의 흐름, 3) 공파레트 흐름, 4) 공구 흐름으로 대별할 수 있다. 〈표

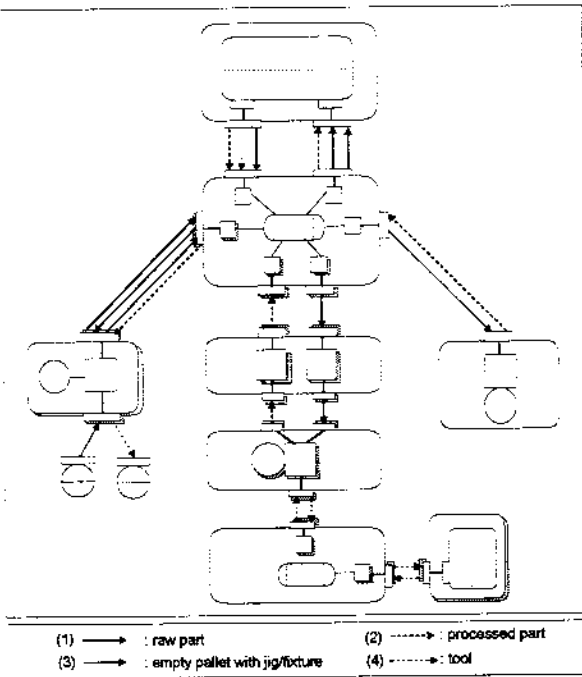
2〉에 품목 그룹별 route 분류가 나타나 있고, 〈그림 9〉에 공정 진도에 따른 파레트의 사용을 보인다. 각 품목 생산에 필요한 jig/fixture는 품목/공정별로 전용으로 사용되며 각 품목별로 3 - 6 set씩 보유하고 있다. 〈그림 10〉에 '차세대 가공시스템'을 대상으로 한 functional 모델을 보인다. 〈그림 10〉에서의 shading 심볼은 복수개의 동일한 resources를 나타내며 resource 심볼 외부의 rounded box는 스테이션을 나타낸다.



〈그림 9〉 usage of pallet

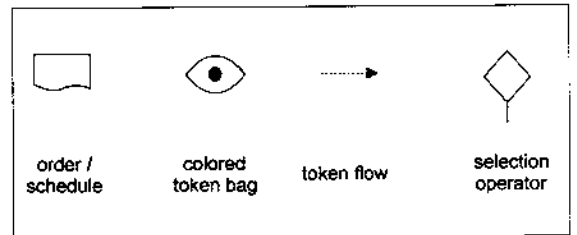
2.3 Control 모델

control 모델은 job의 동적인 행태를 제어하기 위해, functional 모델 작성시에 구축된 'static 모델' 위에 〈그림 11〉의 심볼을 사용하여 컨트롤 정보의 흐름을 나타내게 된다.



(1) → : raw part (2) → : processed part
 (3) → : empty pallet with jig/fixture (4) → : tool

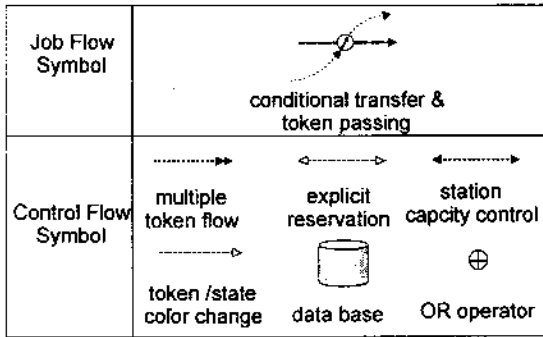
〈그림 10〉 functional JR-Net of FMS model plant



〈그림 11〉 control flow symbol(basic)

오더/스케줄 심볼은 시스템 외부에서 발생하는 생산 스케줄이나 입/출고 오더등을 표현한다. 토큰 백(bag)은 job 흐름의 제어에 필요한 토큰의 상태를 표현하는데, 토큰의 종류로는 capacity 토큰, kanban 토큰, pull 토큰, order 토큰등이 있고 각 토큰은 색깔에

따라 세분화될 수 있다. 토큰 흐름은 토큰 백과 transfer 사이의 토큰 입/출을 표현하는데, 인접한 resource사이에서의 transfer시 발생하는 capacity 토큰의 입/출은 default로 처리하고 net 상에는 나타내지 않는다. 선택 오퍼레이터(operator)는 conflict 상황이 발생했을 때 이의 해결을 위한 규칙을 표현하는데, 선택 규칙의 예로는 FIFO, RANdom, CYClic, MINimum number of Available Capacity, MAXimum number of Available Capacity, MINimum number of Job Completed를 들 수 있다. 그리고, 모델링의 편이성과 모델링 파워의 향상을 위해 필요시 <그림 12>의 확장된 심볼을 사용하게 된다.



<그림 12> extended JR-Net symbol

FMS 모델링에서 중요한 부분은 공정계획('차세대 가공시스템'에서의 공정계획은 [17]을 참조하기 바람.)에 따른 다양한 route의 표현과 공정 변화에 따른 파레트 교체 및 공구 교환 흐름의 표현이라 할 수 있다.

<그림 13>에 공구 흐름이 생략된 '차세대 가공 시스템'의 control JR-Net 모델을 나타낸다.

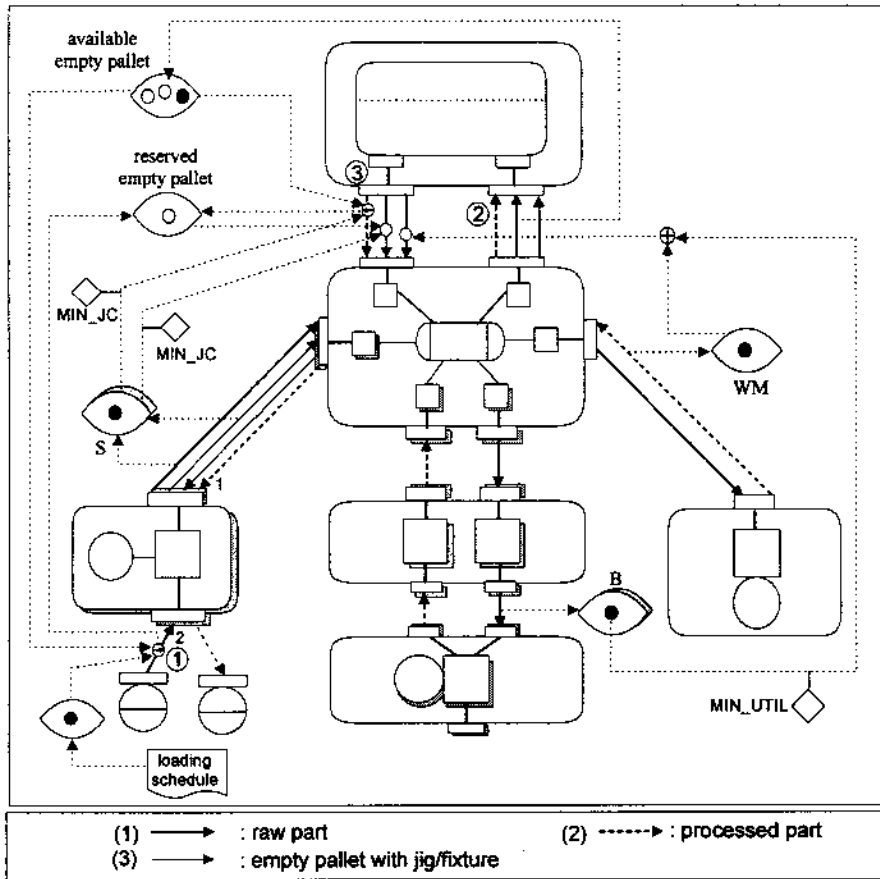
<그림 10>의 functional 모델에서 나타난 바와 같이 job 흐름을 job 유형에 따라 분리하여 표현하였으며 몇 가지 transfer 조건을 예로 설명하면, ①번 transfer는 파레트 stocker에 세팅을 대기하는 작업물이 없을 때 가능한데(우선순위가 2임), transfer 조건은 세팅 스케줄에 의해 생성된 part 토큰이 있고, 가용 공파레트 토큰 백에 해당 raw part를 위한 토큰이 있을 경우에만 한하여 transfer가 가능해진다. 이 때, raw part가 세팅

스테이션으로 transfer되면서 part 토큰을 공파레트 예약 토큰백으로 passing하여 세팅에 필요한 공파레트를 나오게 한다. 여기서 가용 공파레트 토큰백은 파레트 stocker에 저장되어 있는 part/공정별 공파레트의 갯수를 나타내는 것으로 공파레트 저장 행위인 ②번에서 증가하고 ①,③번에서 감소하게 된다. raw part는 다음 가공을 위해 (리)세팅을 해야하는데, 파레트 stocker에서 세팅 스테이션으로의 transfer인 ③번을 보면 다음 가공을 위한 공파레트가 가용하고, 세팅 테이블이 가용하면 transfer가 이루어 진다. 이 때, 복수개의 세팅 테이블이 가용하면 작업 완료수가 가장 적은 세팅 테이블을 선택하여 transfer한다. transfer를 시작하면서 공파레트 토큰을 공파레트 예약 토큰백에 passing하여 다음 공정을 위한 세팅에 필요한 공파레트가 파레트 stocker에서 나오도록 한다. 나머지 transfer도 이와 유사한 과정을 거친다.

'차세대 가공시스템'의 공구 흐름은 머시닝센터에 부착된 tool magazine과 별도의 tool stoker 사이에서 발생하는데, 범용공구는 tool magazine에 저장되어 있다. 가 공구의 수명이 다하면 tool stoker의 신규 공구와 교환되며, 전용 공구는 항상 tool stoker에 저장되어 있다가 머시닝 센터에서 part 교체시 해당 part에 필요한 공구들이 tool magazine으로 이동되고 사용된 전용 공구들은 tool stoker로 이동되어 저장된다. <그림 14>에 공구 교환 흐름의 control JR-Net이 나타나 있다.

tool stoker에서의 공구 출고 과정은 우선 ①번 transfer에서 작업물이 머시닝센터로 진입시에 공정계획을 조회하여 필요 공구를 선정하고, 해당 머시닝센터의 공구 재고 정보를 조회하여 가공에 필요한 공구가 tool magazine에 있는지의 여부와 수명이 다한 공구의 유무를 확인하여, 출고할 공구에 해당하는 토큰을 생성한다. tool stoker에서의 출고인 ②번 transfer에서는 retrieval tool token bag에 토큰이 존재하고 해당 tool magazine의 capacity가 가용하면 transfer가 이루어지게 된다.

<그림 15>는 가공과 조립이 함께 이루어지는 RPI FMS[18]의 control 모델을 표현한 것인데, RPI FMS는 ① 하나의 CNC 밀링머신과 하나의 CNC 선반 및

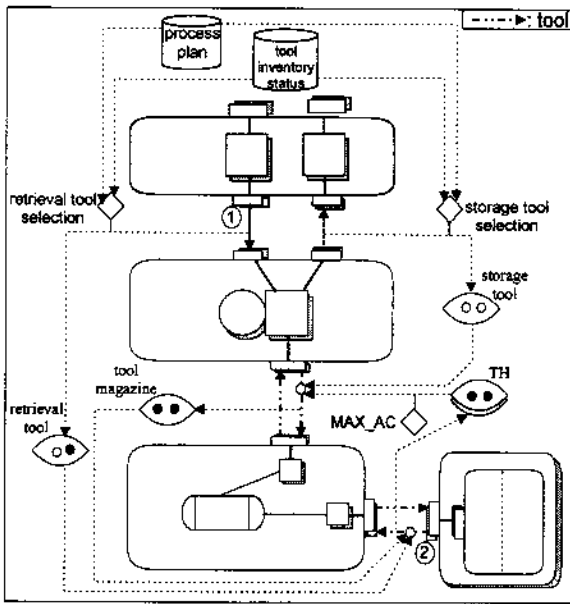


〈그림 13〉 control JR-Net of FMS model plant without tool flow

기계로의 로딩/언로딩을 위한 Microbot로 구성된 가공 스테이션과, ② 원재료 및 중간 가공품을 저장하기 위한 AS/RS와, ③ 조립 테이블과 Scorbot, 원재료 저장소 및 완제품 저장소로 구성된 조립 스테이션과, ④ 공파레트를 공급하는 파레트 저장소 및 ⑤ part 이송을 담당하는 하나의 Gantry robot와 4개의 컨베이어로 이루어진 자동 작업물 이송 스테이션으로 구성되어 있다.

RPI FMS에서는 'peg'와 'block'의 가공이 하나씩 순차적으로 이루어지고, 조립을 위해서는 block이 먼저 조립 스테이션에 도착하여 peg가 뒤따라 오도록 하여야 한다. JR-Net에서는 이러한 관계를 pull 토큰을 이용하여 모델링한다. 즉, block이 가공을 위해 기계로 들어 갈 때는 raw peg pull 토큰을 생성하여 공파레트

를 나오도록 하며 토큰 passing에 의해 순차적으로 raw peg를 나오도록 하고 있으며(peg의 경우는 raw block pull 토큰을 생성), 가공후 조립을 위해서 C4로 진입할 때 machined peg pull 토큰을 생성하여 가공된 peg가 뒤따라 올 수 있게 한다. 초기에는 raw part pull 토큰 백에 하나의 raw block pull 토큰이 marking되고, machined part pull 토큰 백에는 하나의 machined block pull 토큰이 marking된다. 여기서 transfer나 토큰 흐름에 부기된 숫자는 분기시의 우선순위를 나타낸다. 그리고, JR-Net에서의 '로봇'은 〈그림 15〉의 Microbot나 Scorbot와 같이 서비스를 제공하는 transfer나 resource에 연결되는데, Scorbot의 일부와 gantry robot의 서비스 제공선 연결은 diagram의 복잡성을 피하기 위해 생략하였다.



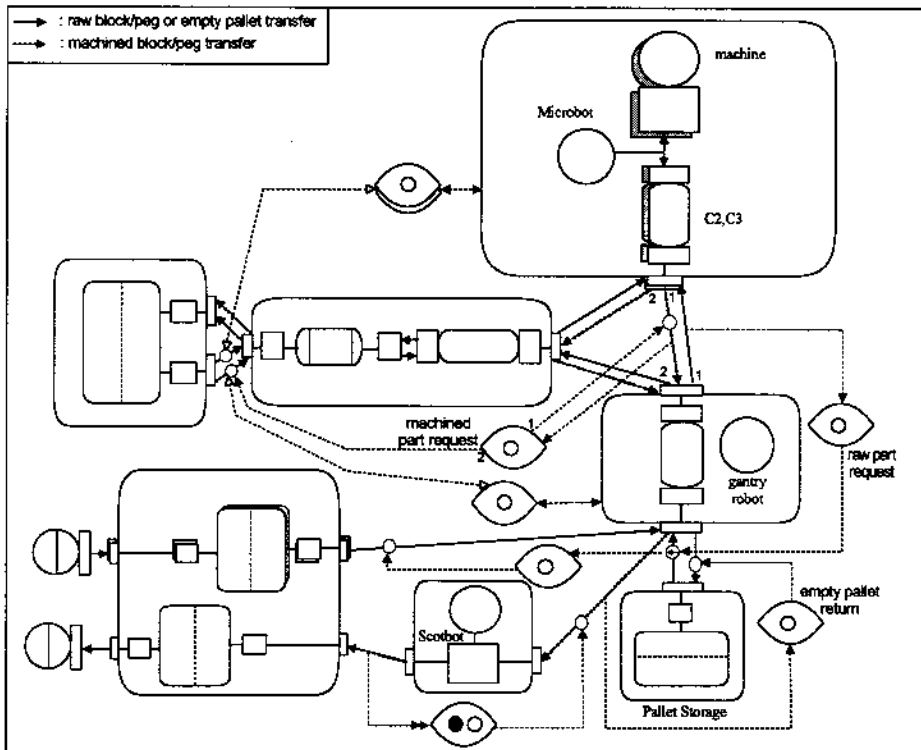
〈그림 14〉 Control JR-Net Model of tool flow

3. AutoMod로의 구현 및 결과 분석

3.1 JR-Net 모델의 AutoMod로의 변환

AutoMod의 특징으로는 물류시스템의 표현력이 강력하며, 시스템 제어를 위한 if then else, while do, wait for, do until과 같은 다양한 명령어를 제공하며 true 3-D graphics 기능을 보유하고 있다는 점을 들고 있다[19]. AutoMod의 구체적인 내용은 [12],[20]을 참고하기 바란다.

JR-Net을 AutoMod로 변환함에 있어서, JR-Net 표현 방법과 AutoMod 구조가 일치하지는 않기 때문에 각 구성요소 간에 호환성이 존재하지는 않으나 아래와 같은 가이드라인을 사용함으로써 AutoMod 프로그램을 보다 쉽고 빠르게 작성할 수 있다.



〈그림 15〉 Control model of RPI FMS

3. 1. 1 레이아웃 모델

AutoMod에서는 물류 시스템을 중심으로 사용자가 GUI를 이용하여 레이아웃 및 resource와 job의 사양을 정의하는데, 이 때 JR-Net의 '스테이션'은 <표 3>에서 정리된 바와 같은 대응 관계를 갖는다. 그리고, resource 사양 정의시의 JR-Net resource 심볼과 AutoMod 요소와의 관계는 <표 4>와 같이 정리할 수 있는데, AutoMod에서의 각 설비의 사양 정의는 JR-Net에서의 resource 사양표와 유사하므로 그대로 사용 가능하다.

<표 3> station mapping

| Resource Set of JR-Net Model | AutoMod Movement System |
|------------------------------|-------------------------------------------------|
| ground conveyor net | conveyor system |
| overhead conveyor net | power & free conveyor, bridge crane, AGV system |
| AGV net | AGV system |
| Aisle | AS/RS system |

<표 4> relationship between JR-Net and AutoMod element

| JR-Net 심볼 | Automod Element |
|-----------|----------------------------|
| Machine | resource, queue |
| Robot | resource |
| APC | queue |
| Table | queue |
| Vehicle | AGV System |
| Conveyor | Conveyor System |
| Diverter | Conveyor System의 Transfers |
| Storage | AS/RS, queue |

3. 1. 2 functional 모델

AutoMod에서는 processing 및 job flow가 이루어지는 과정을 묘사하는 'process system'들에 의해 job의 흐름이 제어되는데, JR-Net의 functional 모델은 이 'process'들의 이름과 'process'간의 상호 연결을 정의하는 것에 대응된다. 그러므로 JR-Net에서의 각 transfer들에 대해 이 들 각각을 AutoMod의 process로 대응시키고 transfer 전후의 연결 port를 AutoMod process의

i/o connection에 대응시킴으로써 자동적인 변환을 이룰 수 있다.

3. 1. 3 control 모델

AutoMod의 'process'내의 콘트롤 로직을 정의하는 부분은 대상 시스템별로 달라지기 때문에 functional 모델과 같은 자동 규칙을 사전에 준비하기 어렵다. 그러나 정형화가 가능한 콘트롤 흐름은 'template'를 만들어 변수 이름만 바꾸어 대상 시스템에 적용할 수 있다. 이와 같은 예로는 transfer 조건 체크, 예약을 포함한 capacity 토큰 관리, selction operator등을 들 수 있는데 이와 같은 콘트롤 유형은 AutoMod의 'function'이나 'subroutine'으로 template를 사전에 만들어 필요시 가져다 사용할 수 있다.

예를 들면 selection operator중 'CYC(cyclic)'같은 경우는 다음과 같은 subroutine을 사전에 만들어 놓을 수 있다.

```
SPROC Dest_ic3
```

```
begin
```

```
set JAdest to nextof(1,2,3,4,5,6) /* Job Attribute (JAdest) = job's destination */
```

```
end
```

그리고 capacity 가용도에 의한 transfer 조건 체크는 아래와 같이 function화 할 수 있다.

```
begin Cchk_rk function
```

```
/* Crk = # of rk's occupied capacity token, A_no = aisle NO. */
```

```
if ( Crk(A_no) current value) < Crk(A_no) capacity ) then
```

```
return "GO"
```

```
else
```

```
return "NOGO"
```

```
end
```

3. 2 시뮬레이션 결과 분석

수행된 시뮬레이션의 목적은 '차세대 가공시스템'이 3주간의 목표 생산량(432개)을 달성할 수 있는냐는 것과 각 설비의 가동율은 얼마나 되며 시스템 성능에

영향을 주는 설비는 무엇인가를 찾아내는데 있다. 대상 시스템의 사양은 [21]을 기초로 하였으며 시스템의 운영 방법과 전체 사항 및 상세 결과는 [17]를 참고하기 바란다. 시뮬레이션 결과는 <표 5>에 나타나 있다. (세팅 작업자의 작업 시간은 평일 8시간, 토요일 4시간, 일요일 휴무이다.)

생산량 증가를 유발한다. (세팅을 적시에 수행함으로써 MCT 가동을 향상.) 그리고, 물류운반기기의 가동율은 10%이내로서 물류운반기기가 전체 성능에 영향을 주지는 않는다.

여기서 각 품목의 공정당 보유 파레트 수도 전체 생산량에 영향을 주리라고 생각되어 추후 분석이 요망

<표 5> simulation results

| 항 목 | 정 규 | 토/일 작업자 8시간 근무 |
|----------------------------|------------|-------------------|
| 생산량(개) | 398(92.6%) | 417(97.0%) |
| 가동율 | 작업자 | 32.3 % |
| | 5축 MCT | 88.1% |
| | 수평형MCT | 73.6% |
| | washing | 2.4% |
| 기계당 생산대수 | 5축 MCT | 220 |
| | 수평형MCT | 88 |
| 작업물당 평균작업시간 | 작업자 | 7.4분 |
| | 5축 MCT | 106.5분 |
| | 수평형MCT | 237.5분 |
| stacker crane utilization | 7.4% | 7.6% |
| transfer robot utilization | 8.8% | 8.8% |
| stacker crane cycle time | 53.0초 | 53.3초 |
| transfer robot cycle time | 28.3초 | 27.7초 |

<표 5>에서 보면 시뮬레이션에 의한 3주간 생산량은 398개로서 목표생산량의 93%를 생산한다. 이는 평균 가동율 예상치가 85%인데, 5축 머시닝센터(MCT)는 88%로서 예상치에 도달하고 있으나, 수평형 MCT는 74%로서 예상가동율에 못미치고 있기 때문이다. 이에 대한 원인은 공정배분시 5축 MCT의 cycle time이 수평형 MCT에 비해 크게 책정되어 5축 MCT에 과부하가 발생하여 수평형 MCT에 필요량을 공급해 주지 못하기 때문이다.

기계당 평균 가공갯수를 살펴보면 5축 MCT는 220개, 수평형MCT는 88개로서 그 비율이 2.5:1인데 이것이 3:1에 가까워져야 MCT간 cycle time균형에 의한 생산량 증가를 가져올 수 있다.

작업자가 토요일/일요일에도 8시간 근무했을 때의 영향을 살펴보면, 생산량이 19대 증가하여 약 5%의

된다.

4. 결 론

이상에서, JR-Net 모델링의 특성을 요약하면,

1) 레이아웃 모델, functional 모델, control 모델이 분리되어 단계적으로 진행됨으로써, FA 엔지니어의 업무절차에 따른 모델링을 가능케 한다.

2) 표준화된 설비들을 체계화한 분류 체계가 존재하기 때문에, 표준화된 설비의 조합으로 이루어지는 자동화 제조 시스템은 모두 표현할 수 있고, 분류체계에 없는 설비가 필요할 경우 추가하여 사용할 수 있다.

3) 제조시스템의 physical component와 JR-Net object 사이의 자연스러운 맵핑 관계가 존재함으로 모

텔의 구축 및 검증이 용이하고, layout-like diagram 이므로 관련자간의 의사소통을 용이하게 한다.

4) 콘트롤 정보가 명확하게 표현되므로 시뮬레이션 프로그램으로의 변환이 용이하다.

이와 같은 특성을 가지고 JR-Net 모델링은 FA 엔지니어가 자동화 제조시스템을 쉽고 빠르게 prototyping 할 수 있는 틀을 제공한다.

본 논문에서는 FMS에서의 JR-Net 적용을 다루었는데, 현재 진행 중인 연구로는 자동차 조립 라인이나 타이어 제조 라인등과 같이 물류 운반이 추가되는 flow line에 대해서 JR-Net을 적용하여 모델링하는 연구와, FA 엔지니어가 JR-Net을 쉽게 컴퓨터상에서 대화식으로 생성할 수 있는 JR-Net Modeler 개발 연구가 있다.

[참고문헌]

- [1] Carrie, A., *Simulation of Manufacturing Systems*, John Wiley & Sons, 1988.
- [2] Sargent, R. G., "Event Graph Modeling for Simulation with an Application to Flexible Manufacturing Systems", *Management Science*, Vol. 34, No. 10, 1231-1251, 1988.
- [3] Banerjee, S. K. and Al-Maliki, I., "A Structured Approach to FMS Modeling", *Int. J. Computer Integrated Manufacturing*, Vol. 1, No. 2, 77-88, 1988.
- [4] Teng, S.-H. and Black, J. T., "Cellular manufacturing Systems Modeling: The Petri Net Approach", *Journal of Manufacturing Systems*, Vol. 9, No. 1, 45-54, 1990.
- [5] Cossins, R. and Ferreira, P., "Celeritas: A Colored Petri Net Approach to Simulation and Control of Flexible Manufacturing Systems", *Int. J. Prod. Res.*, Vol. 30, No. 8, 1925-1956, 1992.
- [6] Yim, D. S. and Barta, T. A., "A Petri Net Based Simulation Tool for the Design and Analysis of Flexible Manufacturing Systems", *Journal of Manufacturing Systems*, Vol. 13, No. 4, 251-261, 1994.
- [7] Liu, C.-M. and Wu, F.-C., "Using Petri Nets to Solve FMS Problems", *Int. J. Computer Integrated Manufacturing*, Vol. 6, No. 3, 175-185, 1993.
- [8] Banaszak, Z. A. and Krogh, B. H., "Deadlock Avoidance in Flexible Manufacturing Systems with Concurrently Competing Process Flows", *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, Vol. 6, No. 6, 724-734, Dec. 1990.
- [9] Viswanadham, N., Narahari, Y. and Johnson, T. L., "Deadlock Prevention and Deadlock Avoidance in Flexible Manufacturing Systems Using Petri Net Models", *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, Vol. 6, No. 6, 713-723, Dec. 1990.
- [10] Lee, D. Y. and DiCesare, F., "Scheduling Flexible Manufacturing Systems Using Petri Nets and Heuristic Search", *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, Vol. 10, No. 2, 123-132, April 1994.
- [11] Son, S. K., Choi, B. K., Park, T. U. and Lee-Kwang, H., "Resolution of Multiple Conflicts in the Petri-Net Model of FAS", *Int. J. Computer Integrated Manufacturing*, Vol. 4, No. 4, 53-262, 1991.
- [12] AutoSimulations Inc., *AutoMod User's Manual*, 1993.
- [13] Makino milling machine Co., Ltd., *FMS Guide*, 1992.
- [14] Yamazaki Mazak Co., *Intelligent Mazatrol FMS*, 1991.
- [15] Mason, F., "Off-the-shelf Machining Cells", *Manufacturing Engineering*, 37-42, Oct. 1994.
- [16] Pimentel, J. R., *Communication Networks for Manufacturing*, Prentice-Hall Inc., 1990.
- [17] 이 충화 외, 시스템 설계기술 개발에 관한 연구, 대우정보시스템(주), 제8부, 1-57, 1994.
- [18] Zhou, M. and DiCesare F., *Petri net synthesis for discrete event control of manufacturing systems*, Kluwer Academic Publishers, 139-159, 1993.

- [19] Banks, J., "Software for Simulation", *Proceedings of the 1993 winter simulation onference*, 24-33, 1993.
- [20] Norman, V. B., "AutoMod", *Proceedings of the 1992 winter simulation conference*, 28-334, 1992.
- [21] 김두근, 이시다, 박정호, "FMS 모델 플랜트의 설치 규격", 제2회 G7 첨단생산시스템 workshop proceedings, 310-313, 1994.



한관희(韓寬熙)
 1982년 아주대학교 산업공학과 졸업 (학사)
 1984년 한국과학기술원 산업공학과 졸업(석사)
 1992~ 현재 한국과학기술원 자동화 및 설계공학과(박사과정)
 1984~ 현재 대우정보시스템(주) 차장
 관심분야: 자동화 제조시스템 모델링 및 시뮬레이션, Shop Floor Monitoring & Control, CIM 구축 기술등.



최병규(崔炳圭)
 1973년 서울대 산업공학과 졸업(학사)
 1975년 한국과학기술원 산업공학과 졸업(석사)
 1982년 미 Purdue대 산업공학과 졸업(박사)
 1988년 미 Purdue대 산업공학과 객원 교수
 1983~ 현재 한국과학기술원 산업공학과 교수 및 KAIST CIM 연구센터장
 관심분야: Surface Modeling, CAD/CAM, CAPP, 자동화 제조시스템 모델링 및 시뮬레이션 등.