

페트리네트를 이용한 유연생산시스템의 실시간 제어에 관한 연구

노상도*, 김기범**, 김종원*, 이교일*

* 서울대학교 기계설계학과, ** 서울대학교 제어측신기술연구소

A Study on the Real Time Control of Flexible Manufacturing System using Colored and Timed Petri Nets

Noh Sang Do*, Kim Gi Bom**, Kim Jong Won*, Lee Kyo Il*

* Dept. of Mech. Design and Prod. Eng., Seoul National University

** Eng. Research Center for Advanced Control and Instrumentation, Seoul National University

- ABSTRACT -

The real time control system for FMS(Flexible Manufacturing System) is implemented at this paper. To achieve this goal, the Colored and Timed Petri-Net model is constructed and used to simulate the real time operation of FMS. Using this Colored and Timed Petri-Net model, evaluating any kind of FMS plant is possible. On-line scheduler, intelligent dispatcher, real time monitor and the simulation model of shop floor are constructed using LAN communication, relational database system in this paper. Finally, this real time control system is applied to the FMS/CIM center at Seoul National University.

1. 서론

근래에 들어, 생산성이 뛰어난 흐름생산방식(Flow Shop)과 유연성이 뛰어난 개별생산방식(Job Shop)의 장점을 모두 취하고자 하는 생산 형태인 유연생산시스템(Flexible Manufacturing System, FMS)^[1]의 중요성이 크게 강조되고 있다.

유연생산시스템의 성능은 그 제어시스템에 좌우된다고 할 수 있으며, 복잡하고 전형적인 이산현상시스템(Discrete Event System)의 특징을 가지고 있는 유연생산시스템의 성능 향상을 위해서 제어시스템은 여러 가지 상황 변화에 대처할 수 있고, 신뢰성이 있으며 시스템의 상태 예측이 가능하도록 실시간 제어의 개념이 요구된다.^[2]

본 논문에서는 유연생산시스템의 실시간 운용을 모델링하기 위하여 이산현상시스템 모델링기법인 Colored and Timed 페트리네트를 이용하여 유연생산시스템의 모델을 구성하고 이를 바탕으로 전산기 시뮬레이션을 수행한다. 얻어진 결과를 바탕으로 실제로 운용되고 있는 유연생산시스템인 서울대 FMS/CIM센터의 실시간 제어 시스템을 모델링, 시뮬레이션, 제어시스템 구축의 과정을 통하여 구축하여 봄으로써 유연생산시스템 제어 시스템 구성의 체계적인 방안을 제안 하여보고 그 타당성을 제시해 보고자 한다.

2. Colored and Timed 페트리네트

페트리네트는 1962년 Carl A. Petri가 통신 시스템을 모델링하고 해석하기 위하여 개발한 시뮬레이션 모델을 이용한 기법으로서, 시각적으로 이해하기 쉽고, 이산현상 시스템의 구현까지 일관되게 적용할 수 있다는 장점이 있다.^[4] 페트리네트는 여타의 이산현상시스템 모델링 방법에 비하여 앞서 언급한 동시성, 비동기성, 상충 현상, 상호배제현상, 비확정성 등의 특성을 잘 모델링 할 수 있으며 이를 시각적으로 확인할 수 있어 모델링이 용이하다. 특히 유연생산시스템에 대해서는 시스템 정지(Deadlock) 등 바람직하지 않은 현상을 확인하기에 용이하며 구성된 모델로부터 제어 모듈을 개발하기에 매우 용이할 뿐만 아니라 그 성능을 평가하기가 용이하다.^[10]

초기의 페트리네트에 모델 해석과 검증을 위하여 시간(Time)의 개념이 첨가되었고^[5], 보다 많은 요소와 다양한 정보를 처리하기 위하여 색(Color)의 개념이 첨가되어^{[7][14]} Colored and Timed 페트리네트가 정의되었다.

Colored and Timed 페트리네트의 정의는 다음과 같다.^[12]

1) 페트리네트 Z는 다음 6개의 요소로 이루어져 있다.

$$Z : (P, T, I, O, C, t)$$

$$P = \{ p_1, p_2, p_3, \dots, p_m \} : \text{플레이스}$$

$$T = \{ T_1, T_2, T_3, \dots, T_m \} : \text{트랜지션}$$

$$P \cup T \neq \emptyset, P \cap T = \emptyset$$

$$I : (P \times T) : \text{입력함수(Input Function)}$$

$$O : (P \times T) : \text{출력함수(Output Function)}$$

$$C = \{ c_1, c_2, c_3, \dots, c_k \} : \text{색(Color)}$$

$$t = \{ t_1, t_2, t_3, \dots, t_m \} : \text{시간(Time)}$$

2) 입력 플레이스군과 출력 플레이스군은 다음과 같다.

$$IP(T_j) = \{ P_i \in P ; I(P_i, T_j) \neq 0 \} \quad \forall T_j \in T$$

; 트랜지션 T_j 의 입력 플레이스의 군(Set)

$$OP(T_j) = \{ P_i \in P ; O(P_i, T_j) \neq 0 \} \quad \forall T_j \in T$$

; $OP(T_j)$ 는 트랜지션 T_j 의 출력 플레이스의 군

3) 페트리네트 Z의 Marking을 M이라 할 때, M은 음이 아닌 정수의 집합이며 Marking M 에서 새로운

Marking M' 로 Firing 된다면 다음과 같은 식을 만족한다.

$$M'(P_i) = M(P_i) + O(P_i, T) - I(P_i, T)$$

$$; i = 1, 2, \dots, n$$

4) 페트리네트 Z의 시간함수 $t(T_j)$ 는 다음과 같이 표현된다.

$$t = \text{현재 시간}$$

$$t_0 = \{ \min t_i ; m(IP(T_j)) \neq 0 \text{ at } t_i \}$$

$$t(T_j) = pT_{ij} - (t - t_0)$$

5) 트랜지션 T_j 는 다음과 같은 조건을 만족하면 Enable하다.

$$m(P_i) \geq I(P_i, T_j) \quad \forall P_i \in IP(T_j)$$

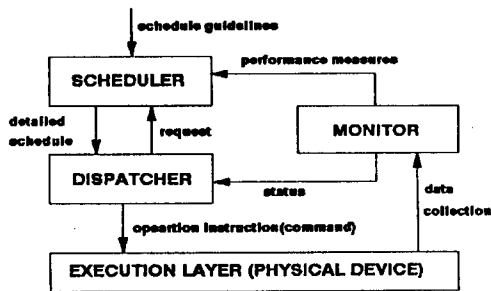
$$c(m(P_i)) = c(T_j)$$

$$\forall P_i \in IP(T_j) \text{ and } f(T_j) = 0$$

3. 유연생산시스템의 제어시스템

유연생산시스템의 제어 시스템은 전체 유연생산시스템의 성능을 좌우하는 중요한 부분으로 많은 연구가 진행되고 있다. Dilts는 생산자동화시스템의 운용제어구조를 중앙집중식 구조(Centralized Form), 계층식 구조(Hierarchical Form) 및 분산식 구조(Heterarchical Form) 등으로 분류, 정리하였으며,^[11] Duggan은 일정계획(Scheduling), 모니터(Monitor), 작업할당(Resource Allocation), 물류이동(Material Handling) 및 생산지시(Dispatching) 모듈 등으로 구성된 생산활동제어(Production Activity Control, PAC)의 개념을 제시하였다.^[6]

유연생산시스템 제어 시스템의 여러 모듈들은 사건 발생시 이를 요구되는 시간 안에 처리하여 줄 수 있고 신뢰성이 보장되며, 예측 가능하도록 실시간 제어의 개념이 요구된다.^[3] 요구되는 실시간 제어의 실현을 위하여 유연생산시스템의 제어 시스템은 일반적으로 일정계획모듈(Scheduler), 명령전달모듈(Dispatcher), 그리고 모니터모듈(Monitor)로 구성된다.^[3] 일정계획모듈은 생산요구를 충족시키기 위해서 부품투입 순서결정 알고리즘을 사용하여 자원을 분배하고, 작업우선순위 및 작업수행시간을 결정한다. 명령전달모듈은 일정계획모듈에서 각 셀의 일정계획을 받아서 이를 해당 셀에 전달하는 모듈로서 각 셀의 최종 작업 순서를 결정하는 실시간 일정계획과 자재이동제어의 역할을 한다. 모니터모듈은 명령전



<그림 1> FMS 제어시스템의 구성

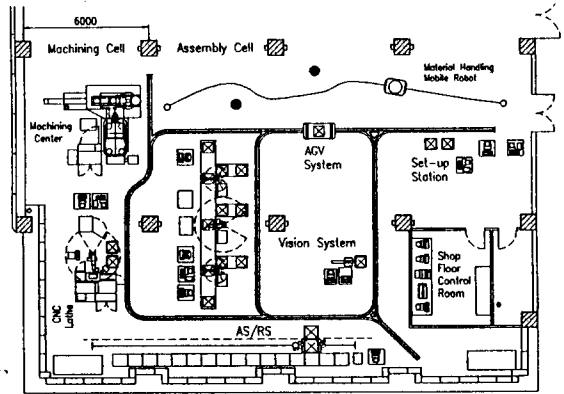
달모듈에 따라 운용되고 있는 공장의 상황을 감시하고, 오류발생시 이를 처리하는 역할과 각 설비의 가동률 등의 성능 평가를 수행한다.^{[3][6]} <그림 1>은 각 모듈의 역할과 관계를 그림으로 나타낸 것이다.

4. 서울대 FMS/CIM센터

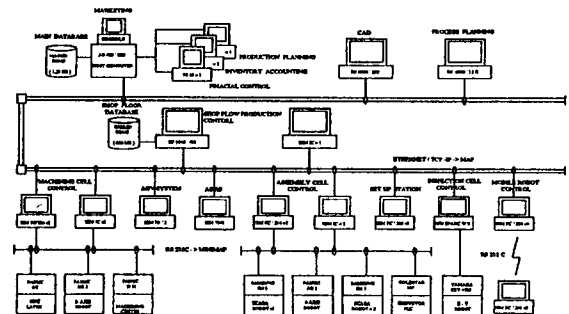
서울대 FMS/CIM센터의 구성과 컴퓨터 통신망 구성도는 아래의 <그림 2>, <그림 3>과 같다. 그림에 나타난 바와 같이 머시닝센터와 CNC선반, 6축로봇으로 이루어진 가공셀, 메인컨베이어와 3개의 부품투입용 컨베이어, 4축로봇 2대 그리고 6축 로봇으로 이루어진 조립셀, 무인반송차, 자동창고, 2축로봇과 2대의 카메라, 그리고 영상처리장치로 이루어진 검사셀, 부품선택과 설다운용의 세팅셀로 이루어져 있으며, 중앙제어 컴퓨터로 공장판장 프로그램과 전체 데이터베이스 시스템이 구동되는 HP W/S이, 각각의 셀 제어기로 6대의 PC가 Ethernet LAN통신을 이용하여 유기적으로 결합되어 있다.

5. 서울대 FMS/CIM센터의 모델링

전술한 Colored and Timed 페트리네트를 이용하여 서울대 FMS/CIM센터의 모델링을 수행하였다. 먼저 공장의 전 설비를 거치는 가상의 제품이 있다고 가정하고 이 경우 FMS/CIM센터를 페트리네트를 이용하여 모델링하였다. 이를 위하여 공장에서 발생할 수 있는 모든 사건



<그림 2> 서울대 FMS/CIM센터



<그림 3> 서울대 FMS/CIM센터의 컴퓨터통신망 구성

들과 각 설비의 상태를 규정, 플레이스와 트랜지션을 정의하였다. 공장의 상태변화와 발생 사건들을 표현해 주기 위하여 총 62개의 플레이스와 78개의 트랜지션이 정의되었다.

사건서술을 위한 용어 정의

(1) AGV

Inbound : 이동 With Pallet , Outbound : 이동 Without Pallet , Idle : 휴지상태

(2) 기타(SET-UP, SET-DOWN, MCT, CNCL, 검사, 조립)

WORKING : 작업진행 중 , FINI : 작업완료 , IDLE : 휴지상태

PLACE의 정의

P1~P42 ; AGV 상태

- P1: Inbound(검사→SET-DOWN), P2: Inbound(MCT→SET-DOWN)
- P3: Inbound(CNCL→SET-DOWN), P4: Inbound(SET-UP→검사)
- P5: Inbound(SET-DOWN→검사), P6: Inbound(조립OUT→검사)
- P7: Inbound(검사→MCT), P8: Inbound(검사→CNCL)
- P9: Inbound(검사→조립IN), P10: Outbound(검사→SET-DOWN)
- P11: Outbound(MCT→SET-DOWN), P12: Outbound(CNCL→SET-DOWN)
- P13: Outbound(조립IN→SET-DOWN), P14: Outbound(SET-DOWN→검사)
- P15: Outbound(MCT→검사), P16: Outbound(CNCL→검사)
- P17: Outbound(조립IN→검사), P18: Outbound(SET-DOWN→MCT)
- P19: Outbound(검사→MCT), P20: Outbound(CNCL→MCT)
- P21: Outbound(조립IN→MCT), P22: Outbound(SET-DOWN→CNCL)
- P23: Outbound(검사→CNCL), P24: Outbound(MCT→CNCL)
- P25: Outbound(조립IN→CNCL), P26: Outbound(SET-DOWN→SET-UP)
- P27: Outbound(검사→SET-UP), P28: Outbound(MCT→SET-UP)
- P29: Outbound(CNCL→SET-UP), P30: Outbound(조립IN→SET-UP)
- P31: Outbound(SET-DOWN→조립OUT), P32: Outbound(검사→조립OUT)
- P33: Outbound(MCT→조립OUT), P34: Outbound(CNCL→조립OUT)
- P35: Outbound(조립IN→조립OUT),
- P36: SET-DOWN(IDLE), P37: 검사(IDLE), P38: MCT(IDLE)
- P39: CNCL(IDLE), P40: 조립IN(IDLE), P41: SET-UP(IDLE)
- P42: 조립OUT(IDLE), P43: SET-DOWN(WORKING,색취)
- P44: SET-DOWN(WORKING,Set-Down), P45: SET-DOWN(FINI)
- P46: SET-DOWN(IDLE), P47: SET-UP(WORKING), P48: SET-UP(FINI)
- P49: SET-UP(IDLE), P50: 검사(WORKING), P51: 검사(FINI)
- P52: 검사(IDLE), P53: MCT(WORKING), P54: MCT(FINI)
- P55: MCT(IDLE), P56: CNCL(WORKING), P57: CNCL(FINI)
- P58: CNCL(IDLE), P59: ASSEMBLY(WORKING), P60: ASSEMBLY(FINI)
- P61: ASSEMBLY(IDLE), P62: Pallet, 소재 준비

TRANSITION의 정의

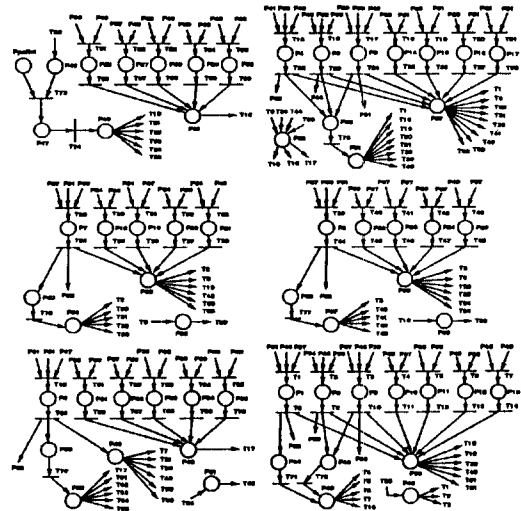
T1~T70 ; AGV 동작

- T1: Inbound(검사셀→SET-DOWN)사건, T2: Inbound(MCT→SET-DOWN)사건
- T3: Inbound(CNCL→SET-DOWN)사건, T4: Outbound(검사셀→SET-DOWN)사건
- T5: Outbound(MCT→SET-DOWN)사건, T6: Outbound(CNCL→SET-DOWN)사건
- T7: Outbound(조립IN→SET-DOWN)사건, T8: Inbound(검사셀→SET-DOWN)완료
- T9: Inbound(MCT→SET-DOWN)완료, T10: Inbound(CNCL→SET-DOWN)완료
- T11: Outbound(검사셀→SET-DOWN)완료, T12: Outbound(MCT→SET-DOWN)완료
- T13: Outbound(CNCL→SET-DOWN)완료, T14: Outbound(조립IN→SET-DOWN)완료
- T15: Inbound(SET-UP→검사셀)사건, T16: Inbound(SET-DOWN→검사셀)사건
- T17: Inbound(조립OUT→검사셀)사건, T18: Outbound(SET-DOWN→검사셀)사건
- T19: Outbound(MCT→검사셀)사건, T20: Outbound(CNCL→검사셀)사건
- T21: Outbound(조립IN→검사셀)사건, T22: Inbound(SET-UP→검사셀)완료
- T23: Inbound(SET-DOWN→검사셀)완료, T24: Inbound(조립OUT→검사셀)완료
- T25: Outbound(SET-DOWN→검사셀)완료, T26: Outbound(MCT→검사셀)완료
- T27: Outbound(CNCL→검사셀)완료, T28: Outbound(조립IN→검사셀)완료
- T29: Inbound(검사셀→MCT)사건, T30: Outbound(SET-DOWN→MCT)사건
- T31: Outbound(검사셀→MCT)사건, T32: Outbound(CNCL→MCT)사건
- T33: Outbound(조립IN→MCT)사건, T34: Inbound(검사셀→MCT)완료
- T35: Outbound(SET-DOWN→MCT)완료, T36: Outbound(검사셀→MCT)완료
- T37: Outbound(CNCL→MCT)완료, T38: Outbound(조립IN→MCT)완료
- T39: Inbound(검사셀→CNCL)사건, T40: Outbound(SET-DOWN→CNCL)사건
- T41: Outbound(검사셀→CNCL)사건, T42: Outbound(MCT→CNCL)사건
- T43: Outbound(조립IN→CNCL)사건, T44: Inbound(검사셀→CNCL)완료
- T45: Outbound(SET-DOWN→CNCL)완료, T46: Outbound(검사셀→CNCL)완료
- T47: Outbound(MCT→CNCL)완료, T48: Outbound(조립IN→CNCL)완료

T49: Inbound(검사셀→조립IN)사건, T50: Inbound(검사셀→조립IN)완료

- T51: Outbound(SET-DOWN→SET-UP)사건, T52: Outbound(검사셀→SET-UP)사건
- T53: Outbound(MCT→SET-UP)사건, T54: Outbound(CNCL→SET-UP)사건
- T55: Outbound(조립IN→SET-UP)사건, T56: Outbound(SET-DOWN→SET-UP)완료
- T57: Outbound(검사셀→SET-UP)완료, T58: Outbound(MCT→SET-UP)완료
- T59: Outbound(CNCL→SET-UP)완료, T60: Outbound(조립IN→SET-UP)완료
- T61: Outbound(SET-DOWN→조립OUT)사건, T62: Outbound(검사셀→조립OUT)사건
- T63: Outbound(MCT→조립OUT)사건, T64: Outbound(CNCL→조립OUT)사건
- T65: Outbound(조립IN→조립OUT)사건, T66: Outbound(SET-DOWN→조립OUT)완료
- T67: Outbound(검사셀→조립OUT)완료, T68: Outbound(MCT→조립OUT)완료
- T69: Outbound(CNCL→조립OUT)완료, T70: Outbound(조립IN→조립OUT)완료
- T71: SET-DOWN(Set-Down)완료, T72: SET-DOWN(색취공정)완료
- T73: SET-UP(Set-Up공정)사건, T74: SET-UP(Set-Up공정)완료, T75: 검사완료
- T76: MCT(MCT공정)완료, T77: CNCL에서 작업(CNCL공정)완료
- T78: 조립원에서 작업(조립공정)완료

정의된 플레이스와 트랜지션을 이용하여 전체 FMS/CIM센터의 페트리네트로 모델링하면 아래의 <그림 4>와 같다.



<그림 4> 서울대 FMS/CIM센터의 페트리네트모델

그런데, 실제로 서울대 FMS/CIM센터에서 생산하는 제품은 대중소 모터의 3종류 부품과 조립공정으로 총 12가지이다. 12가지의 각 부품에 대하여 시간에 따른 운영상태, 즉 설비의 운영상황과 가동률 등을 표현하고 해석하기 위하여 12가지의 색(Color)과 각 사건 사이의 시간을 첨가, Colored and Timed 페트리네트를 이용하여 모델링을 수행하였다. 이를 위하여 추가로 플레이스와 트랜지션을 정의하였으며 총 64개의 플레이스와 80개의 트랜지션이 정의되었다.

PLACE의 정의

P1~P42 ; 페트리네트 사용서와 동일

- P43: SET-DOWN(WORKING,색취1), P44: SET-DOWN(WORKING,색취2)
- P45: SET-DOWN(WORKING,Set-Down), P46: SET-DOWN(FINI)
- P47: SET-DOWN(IDLE), P48: SET-UP(WORKING), P49: SET-UP(FINI)
- P50: SET-UP IDLE, P51: 검사(WORKING.1), P52 : 검사(WORKING.2)
- P53: 검사(FINI), P54: 검사(IDLE), P55: MCT(WORKING), P56: MCT(FINI)
- P57: MCT(IDLE), P58: CNCL(WORKING), P59: CNCL(FINI)
- P60: CNCL(IDLE), P61: ASSEMBLY WORKING, P62: ASSEMBLY FINI
- P63: ASSEMBLY(IDLE), P64: Pallet, 소재 준비

TRANSITION의 정의

T1~T70 : 페트리네트 사용시와 동일

T71: SET-DOWN(Set-Down)완료, T72: SET-DOWN(MCT세척)완료

T73: SET-DOWN(CNCL세척)완료, T74: SET-UP(Set-Up)시작

T75: SET-UP(Set-Up)완료, T76: 검사(작업전 검사)완료

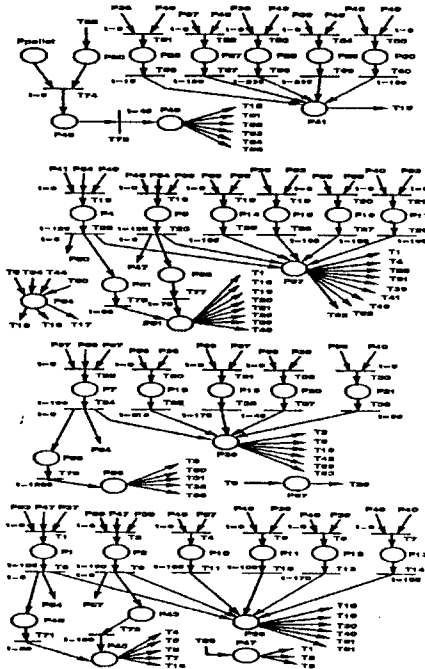
T77: 검사(작업후 검사)완료, T78 : MCT(MCT)완료,

T79: CNCL(CNCL)완료, T80 : 조립완료

아래의 <표 1>과 <그림 5>, 그리고 <표 2>와 <그림 6>은 12개의 부품 중 소형모터케이스와 중형모터조립공정에 대한 공정표(Routing Table)와 해당 Colored and Timed 페트리네트모델이다.

품번	EM1001000	품명		CASE S-MOTOR	
		이동		발렛	시간(분)
1	소재치구 SET-UP	FROM	TO	가공용	0:45
	이동	SET-UP	VISION	가공용	2:05
2	검사			가공용	1:00
	이동	VISION	MCT	가공용	3:10
3	MCT(O 1100)			가공용	5:00
	이동	MCT	SET-DOWN	가공용	3:10
4	세척,마무리			가공용	2:40
	이동	SET-DOWN	VISION	가공용	2:05
5	검사			가공용	1:10
	이동	VISION	SET-DOWN	가공용	2:05
6	소재치구 SET-DOWN			가공용	0:20

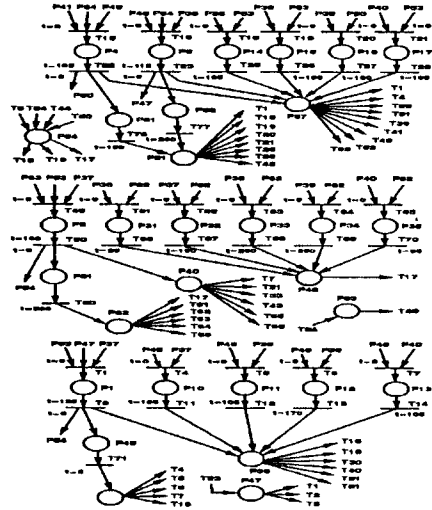
<표 1> 소형모터케이스의 공정표



<그림 5> Colored and Timed 페트리네트모델 (소형모터케이스)

품번	EM2000000	품명		MOTOR-M	
		이동		발렛	시간(분)
1	조립치구에 부품 SET-UP	FROM	TO	정박형	0:30
	이동	SET-UP	VISION	정박형	2:05
2	검사			정박형	2:30
	이동	VISION	ASSEMBLY	정박형	3:10
3	조립공정			정박형	9:40
	이동	ASSEMBLY	VISION	정박형	1:55
4	검사			정박형	3:20
	이동	VISION	SET-DOWN	정박형	2:05
5	SET-DOWN			정박형	0:05

<표 2> 중형모터조립공정의 공정표



<그림 6> Colored and Timed 페트리네트모델 (중형모터조립공정)

6. 서울대 FMS/CIM센터 운용시뮬레이션

구성된 모델이 시간에 따라 어떻게 운용되는가를 봄으로써 실제로 FMS/CIM센터를 운용하였을 때, 시스템의 거동에 대한 이해와 해석을 해보고자 한다. 이를 위하여 앞에서 구성된 FMS/CIM센터의 Colored and Timed 페트리네트 모델을 이용한 시뮬레이션을 수행하였다.

Colored and Timed 페트리네트로 구성된 모델을 이용한 전산기 시뮬레이션은 C언어를 이용하여 HP W/S (HP 720 CRX, HP-UX 8.05)에서 구현되었다. C언어를 이용하여 HP Workstation상에서 구현됨으로써 플랫폼이 중앙컴퓨터로 HP W/S(HP 433, HP-UX 8.00)을 사용하고 있는 FMS/CIM센터의 운용제어모듈 구성시 호환성을 갖게 되었다. 이는 Colored and Timed 페트리네트 모델을 이용한 전산기 시뮬레이션 수행이 운용제어 시스템 구성으로 바로 연결될 수 있음을 의미한다. 구성된 전산기 시뮬레이션의 입력은 각 생산부품에 따른 공정순서와 각 공정의 시간, 그리고 주문 받아서 생산하

여야 할 요구되는 생산량이며, 그 결과는 요구되는 주문량 생산시 소요되는 시간과 각 설비의 가동률이다. 작성된 시뮬레이션 프로그램은 설비사양과 공정표, 각 공정의 소요시간 등의 정보를 입력하면 어떠한 형태의 유연생산시스템에도 사용이 가능하도록 구성되었다.

예제

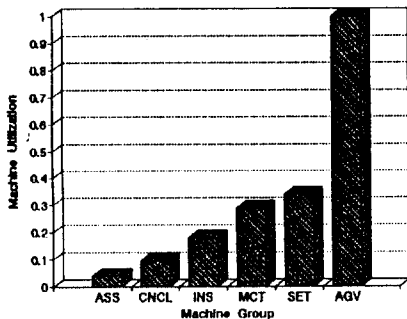
주문량이 아래의 <표 3>과 같이 주어질 경우 전산기 시뮬레이션의 최종결과는 아래의 <표 4>와 같다. <그림 7>은 <표 4>의 결과에서 MCT의 가동률을 1.0으로 놓았을 때 각 기계군의 상대적인 가동률을 그림으로 나타낸 것이다.

부 품 종 류	주문생산량
Small Motor Case	6
Medium Motor Case	13
Large Motor Case	12
Small Motor Shaft	7
Medium Motor Shaft	7
Large Motor Shaft	12
Small Motor End Cap	7
Medium Motor End Cap	9
Large Motor End Cap	3
Small Motor (Assembly)	3
Medium Motor (Assembly)	3
Large Motor (Assembly)	3

<표 3> 예제에 대한 주문량

공 정 군	가 동 률
조립공정군	0.0093
검사공정군	0.0402
CNCL(가공공정군)	0.0212
SET-UP and SET-DOWN	0.0758
무인반송차(AGV)	0.2240
MCT(가공공정군)	0.0643
총 가공시간	374890초

<표 4> 전산기 시뮬레이션의 최종결과



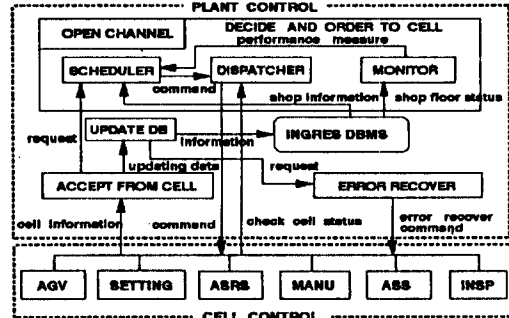
<그림 7> 설비의 상대적 이용률

전산기 시뮬레이션을 통하여 각 설비의 시간에 따른 운용상태를 실시간으로 알아볼 수 있었으며, 다양한 주문을 가정하고 이에 대하여 FMS/CIM센터의 전산기 시뮬레이션을 다수 수행한 결과 기계군의 사용률은 모든

종류의 부품을 상당수 생산했을 경우 무인반송차(AGV), SET-UP과 SET-DOWN, MCT(가공설), 검사설, CNC(가공설), 조립설의 순으로 나타남을 알았다.

7. 서울대 FMS/CIM센터 제어시스템

서울대 FMS 모델플랜트 운용소프트웨어의 구조는 <그림 8>과 같다. 운용소프트웨어는 계층식으로 구성되어 있으며 중앙 컴퓨터에서는 UNIX 환경하의 멀티프로세싱에 의하여 동시에 상위, 중간 계층의 10개의 프로세스로 운용되며 하위계층의 셀 제어소프트웨어는 각 셀 제어기에 장착, 운용된다.



<그림 8> 서울대 FMS/CIM센터 운용제어시스템

8. 결론

본 연구에서는 유연생산시스템의 실시간 운용제어 시스템을 구성하기 위하여, 먼저 이산현상시스템 모델링 기법인 페트리네트를 이용하여 대상 시스템인 서울대학교 FMS/CIM센터를 모델링 하였다. 그러나, 유연생산시스템은 시간의 개념이 요구되고 다양한 부품을 생산하는 시스템이다. 이러한 유연생산시스템의 실시간 운용을 모델링하기 위하여 Colored and Timed 페트리네트를 이용, 모델링을 수행하였다. 구성된 Colored and Timed 페트리네트 모델을 이용하여 공장의 설비와 생산부품, 그리고 각 생산부품별의 공정순서 등을 입력으로 하고 가동상황, 가공시간, 그리고 각 설비의 가동률 등을 실행 결과로 하는 시뮬레이션 모듈을 개발하였으며, 이를 이용하여 FMS/CIM센터의 운용 시뮬레이션을 수행, 결과를 얻었다. Colored and Timed 페트리네트 모델과 시뮬레이션 모듈은 일반적인 유연생산시스템에 대하여 사용이 가능하며, 그 특성상 공장의 운용제어모듈 구성시 별도의 프로그래밍 필요 없이 바로 적용할 수 있다. 이상의 결과를 바탕으로 FMS/CIM센터의 운용제어 시스템을 구축하였다. FMS/CIM센터의 제어시스템은 계층식으로 구성되어 있으며 LAN 통신망과 관계형 데이터베이스를 사용한다. 본 논문에서는 유연생산시스템의 운용제어 시스템에서 일정계획모듈, 명령전달모듈, 모니터모듈로 구성되는 상위의 공장운용제어 소프트웨어의 구성을 제안하고 이를 구현하였다. 구성된 Colored and Timed 페트리네트를 이용하여 제어시스템을 구성하고 이를 이용하여 FMS/CIM센터를 실시간으로 운용함으로써 유연생산시스템의 제어모듈 구성시 Colored and

Timed 페트리네트 사용의 타당성을 확인하고 이를 위한 체계적인 방법을 제시하였다.

참고문헌

- [1] Narahari Y. and N. Viswanadham, "A Petri Net Approach to The Modeling and Analysis of Flexible Manufacturing Systems", *Annals of Operation Research*, 3, pp449-472, 1985
- [2] 노상도, 김기범, 김종원, 이교일, "유연생산시스템의 제어 및 모니터링 시스템에 관한 연구", 92' 대한기계학회 추계학술대회 논문집, 1992
- [3] 노상도, 김기범, 김종원, 이교일, "유연생산시스템의 실시간 제어에 관한 연구", 93' 대한기계학회 춘계학술대회 논문집, 1993
- [4] Peterson, J.L., "Petri Net Theory and The Modeling of Systems", *Prentice. Inc.*, Englewood Cliffs, NJ
- [5] Meng Chu Zhou, Frank DiCesare and Daryl Rudoiph, "Control of a Flexible Manufacturing System using Petri Nets", *Proceedings of the 1990 International Federation of Automatic Control World Congress*, 1990
- [6] James Duggan, Jim Browne, "Production Activity Control: A Practical Approach to Scheduling," *The International Journal of Flexible Manufacturing Systems*, Vol. 4, 1991, pp. 79-103.
- [7] Alla H., P. Ladet, J. Martinez and M. Silva, "Modeling and Validation of Complex Systems by Colored Petri Nets : Application to a Flexible Manufacturing System", *In Advanced in Petri Nets*, G. Rozenberg, H. Genrich and G. Roucairel(ed.), Springer-Verlag, pp15-31, 1984
- [8] C. Ramchandani, "Analysis of Asynchronous Concurrent Systems Using Timed Petri Nets", *Ph.D. Dissertation, Department of Electrical Engineering, MIT*, Cambridge, Massachusetts, 1974
- [9] Valette, R., M. Courvoisier, D. Mayeux, "Control of Flexible Production Systems and Petri Nets", *Informatik Fachberichte 66*, Springer Verlag, pp 264-267, 1982
- [10] Martínez J., H.Alla and M. Silva, "Petri Nets for The Specifications of FMSs, In Modeling and Design of Flexible Manufacturing Systems", A. Kusiak(ed.), pp 389-406, *Elsevier Science Publishers*, Amsterdam, 1986
- [11] D.M.Dilts, N.P.Boyd, H.H.Whorms, "The Evolution of Control Architectures for Automated Manufacturing Systems," *Journal of Manufacturing System*, Vol. 10, No. 1, 1991, pp. 79-93.
- [12] 김기범, "페트리네트를 이용한 유연생산시스템 설계에 관한 연구", 공학박사학위논문, 서울대학교, 1993
- [13] Andrew Kusiak, "Modeling and Design of Flexible Manufacturing Systems", *Elsevier*, 1986
- [14] Alla H., P. Ladet, J. Martinez and M. Silva, "Modeling and Validation of Complex Systems by Colored Petri Nets : Application to a Flexible Manufacturing System", *In Advanced in Petri Nets*, G. Rozenberg, H. Genrich and G. Roucairel(ed.), Springer-Verlag, pp15-31, 1984