

# FMS 생산계획에서의 대기 네트워크 모델의 적용 가능성에 관한 연구

The Robustness of Queueing Network Models in FMS Production Plans

박진우\*, 우상복\*

Jin-Woo Park\* and Sang-Bok Woo\*

## Abstract

This study discusses the performance evaluation of queueing network methodologies as used for the planning of FMS production systems. The possibility of applications and utilities of queueing network models is investigated for FMS production plans.

Experimental results by queueing network models such as CAN-Q, MVAQ and results by detailed simulation models written in SIMAN are compared and some propositions are presented based on the results of the experiments.

## I. 서론

FMS(Flexible Manufacturing System)는 컴퓨터 제어하의, 자재운반 시스템(Material Handling System)으로 연결된 NC 기계의 집합으로 정의될 수 있다. FMS는 상호연관된 많은 요소들의 복합체이며, FMS의 운용에는 일반적으로 다음과 같은 계층적 문제가 관련되어 있다.

- 설계 문제(Design Problem)
- 생산계획 문제(Planning Problem)

· 스케줄링 문제(Scheduling Problem)

· 통제 문제(Control Problem)

FMS의 생산계획은 중간 단계에서 이루어지므로 생산계획 단계에서 내린 결정의 좋고 나쁨에 대한 최종적인 성능 평가를 위해서는 이 후 단계의 결정 --- 예를 들면, 스케줄링 단계에서의 선택규칙(Dispatching Rule)이나, 통제 단계에서의 부품 투입순서(Part Input Sequence)등의 결정을 필요로 한다. 즉, 생산계획 단계 이후에도 많은 의사결정을 내려야 됨으로 생산계획 단계에서 내린 결정만의 효

\* Dept of Industrial Engineering, Seoul National Univ. and Engr. Research Center for Adv. Control and Instrument. of (SNU) by KOSEF

과 분석은 쉽지가 않다. 따라서, 스케줄링과 통제 단계에서 내린 결정에 의한 효과를 배제시키고 단지 생산계획 단계에서 내린 결정만의 성능평가를 하기 위해서 대기 네트워크 모델(Queuing Network Model)이 주로 사용된다.

대기 네트워크 모델은 생산계획 단계에서 내린 결정을 입력으로 하고 그 이후의 효과는 총괄하여 안정상태(Steady State)에서의 평균값으로 나타내 주므로 생산계획 단계에서 내린 의사결정의 일반적 특성의 평가에 적합하다.

그러나 대기 네트워크 모델은 해를 구하기 위해 여러 가정을 필요로 하며, 이러한 가정들은 실제 시스템에서 항상 만족되지는 않기 때문에 대기 네트워크 모델을 FMS 생산계획에 그대로 적용하는 것은 많은 위험이 따른다. 따라서 기존의 대기 네트워크 모델이, 모델의 가정과는 다른 여러 시스템에 대해서 얼마나 로버스트(Robust)한지를 알아볼 필요가 있다.

본 연구에서는 여러 시스템에 대한 시뮬레이션과 대기 네트워크 모델과의 비교를 통해, 여러 요인들에 대한 대기 네트워크 모델의 로버스트성(Robustness)을 알아보고자 한다.

## II. 연구 현황

Solberg [1977]는 폐쇄형 대기 네트워크(Closed Queuing Network : CQN)로써 FMS를 모델화하여 CAN-Q를 만들었다. 이 모델에서는 공정경로와 가공시간으로부터 정상화 계수(Normalizing Constant :  $G(N)$ )를 구하고 이로 부터 생산율(Production Rate), 기계 가동률(Machine Utilization), 대기길이 분포(Queue Length Distribution)등을 얻어낸다. 이 모델은 선입선출(FIFO) 규칙, 지수분포 서비스시간, 무한 대기용량(Infinite Queue Capacity)등의 가정이 필요하며, 팻렛(Pallet)의 종류가 다른 경우를 고려하지 못하는 단점을 가지고 있다. Suri [1984]등은 Reiser [1980]등에 의해 제안된 평균치 분석(Mean Value Analysis)에 기초하여, Schweitzer와 Bard의 S-B 알고리즘을 수정한 MVAQ를 개발하였다. 이것은 CAN-Q와 거의 동일한 가정하에서, 반복 루틴에 의해 생산율, 가동률, 대기길이등의 평균값을 구해내는 발견적 해법의 모델로, 여러 종류의 부품과 팻렛을 고려할 수 있다는 장점을 갖고 있다. Wu [1987]는 CAN-Q와 MVAQ를 종합하여 FMS-Q를 개

발하였다. 즉, FMS-Q는 각 노드(Node)에서 입력/출력 흐름을 균형화시키는 CAN-Q의 개념에, MVAQ에서 쓰이는 S-B 알고리즘을 출력 대기시간(Output Queue Wait Time)의 계산에 사용하며, 기계배치(Layout)를 고려할 수 있게 모델화 하였다. Soler [1988]등은 CAN-Q에서 여러 종류의 팻렛을 고려할 수 있도록 MULTIQ를 개발하였다.

Solberg는 CAN-Q의 결과를 실제 결과와 비교하기 위해 Sundstrand Caterpillar System에 대해 시뮬레이션을 수행하였다. 이 결과 기계 가동률과 생산율에 있어서 3% 이내의 차이가 있음을 보였다. Suri [1983]는 대기 네트워크의 성능척도가 가정의 변화에 대해 민감하지 않음을, Operational Analysis를 통해 이론적으로 설명하였다. Co [1986]등은 재료 시간(Flow Time)을 성능척도로 사용하여 여러 사례에 대해 CAN-Q와 시뮬레이션 결과를 비교하였다. 이 결과 CAN-Q의 가정에는 보상효과(Compensatory Effect)가 존재하여 적절한 매개변수의 선택으로 실제 시스템과 CAN-Q의 결과가 일치할 수 있음을 보였다. Wemmerlov [1988]등은 현실적인 여러 요인을 고려하여 CAN-Q의 로버스트성을 조사하였다. 여기에서는 서비스시간 분포, 작업 투입 양상(Job Release Mode), 업무의 형태(Job Structure : Job Shop 또는 Flow Shop 여부), 병목기계 가동률(Bottleneck Utilization)등의 요인에 대해 여러 성능척도를 가지고 시뮬레이션 결과와 비교하였다.

그러나, 대기 네트워크 모델의 로버스트성을 알아보기 위한 지금까지의 연구들은 CAN-Q만을 대상으로 부분적으로 분석하였으며, 각 기계의 가동률을 성능척도로 고려하지는 않았다.

## III. 대기 네트워크 모델의 로버스트성

FMS의 대기 네트워크 모델인 CAN-Q와 MVAQ의 결과를 SIMAN에 의한 시뮬레이션의 결과와 비교해 봄으로써 대기 네트워크 모델의 로버스트성에 대해서 알아보 고자한다.

대기 네트워크 모델의 가정과 관련하여 다음과 같은 요인들이 시스템의 운영성능에 영향을 미칠 것으로 생각되어 이들을 실험의 독립변수로 간주하였다.

- 서비스시간 분포(Service Time Distribution)
- 선택규칙(Dipatching Rule)
- 공정중 재고 수준(WIP Level)

- 생산 부품의 수
- 생산 부품의 비율 (Part Mix)
- 작업흐름(Workflow)의 형태
- 버퍼의 크기

성능척도로는 생산율(Production Rate)과 각 기계의 가동률을 사용한다. 폐쇄형 대기 네트워크 모델은 시스템 내에 항상 일정한 수의 부품을 가정하며 시물레이션도 이 가정하에서 수행되므로 생산율과 체류시간(Flow Time)사이에는 항상 일정한 관계가 존재한다. 따라서 체류시간은 성능척도로 따로 고려하지 않는다.

시물레이션의 안정상태를 구별하기 위해, 대표적인 몇 개의 시스템에 대해 체류시간의 누적 평균치를 각 부품별로 Plotting 해 보았다. 이 결과 버퍼를 고려하지 않는 Caterpillar 시스템에서는 3600분, 버퍼를 고려하는 경우는 15000분, Flow Shop의 경우는 7200분후에 안정상태에 들어가는 것으로 결정되었다.

또한 대기 네트워크 모델의 가정하에서 수행된 시물레이션에서 10개의 표본에 대해 그 평균과 표준편차를 구해본 결과, 그 값은 각각 393.792와 6.787 이었으며, 99% 신뢰도로 표본평균의 2%를 오차의 한계로 잡았을 때 필요한 표본의 크기는 10개면 충분한 것으로 계산되었다. 따라서 시물레이션에 의한 결과는 30일 동안을 1개의 표본으로 하여 10개의 표본에 대해서 분석하였다. 안정상태에서 구해진 표본들의 분산은 매우 작으므로 평균의 비교를 통한 분석으로 유의한 결과를 얻게 된다.

Caterpillar FMS 형태의 시스템에서 대기 네트워크 모델의 가정하에서 시물레이션을 수행하여 비교한 결과가 <표 3-1>에 제시되어 있다. 표에서 괄호안의 숫자는 시물레이션에 대한 대기 네트워크 모델의 오차 백분율(Error Percentage)을 나타낸다. 또한 기계 가동률의 평균오차는 각 기계 가동률 오차의 평균을 나타내며, 오차의 범위는 각 기계 가동률 오차의 최소값과 최대값을 나타낸다. 오차가 양수/음수 이면 대기 네트워크 모델이 시스템의 생산 능력(Production Capacity)을 과대/과소 평가(Over/Under-estimation)함을 말해준다. 표에서 보면 CAN-Q와 MVAQ은 거의 모든 성능척도가 일치하고 있으며, 시물레

<표 3-1> 가정하에서의 비교결과

성능척도	시물레이션	CAN-Q	MVAQ
생산율	2.439	2.541 (4.18)	2.539 (4.10)
기계 가동률			
기계 1	0.477	0.491 (2.94)	0.491 (2.94)
기계 2	0.511	0.542 (6.07)	0.541 (5.87)
기계 3	0.508	0.535 (5.31)	0.534 (5.12)
기계 4	0.684	0.700 (2.34)	0.700 (2.34)
기계 5	0.518	0.542 (4.63)	0.541 (4.44)
기계 6	0.535	0.556 (3.93)	0.555 (3.74)
기계 7	0.538	0.555 (3.16)	0.554 (2.97)
기계 8	0.530	0.552 (4.15)	0.552 (4.15)
기계 9	0.666	0.692 (3.90)	0.691 (3.75)
기계 10	0.531	0.540 (1.69)	0.539 (1.51)
기계 11	0.278	0.282 (1.44)	0.282 (1.44)
기계 12	0.281	0.282 (0.36)	0.282 (0.36)
기계 13	0.274	0.282 (2.92)	0.282 (2.92)
기계 14	0.262	0.282 (7.63)	0.282 (7.63)
기계 15	0.269	0.282 (4.83)	0.283 (5.20)
기계 16	0.275	0.282 (2.55)	0.282 (2.55)
기계 17	0.147	0.155 (5.44)	0.155 (5.44)
평균 오차		3.72	3.67
오차의 범위		[0.36, 7.36]	[0.36, 7.63]

이션 결과와는 대략 8% 이내의 차이를 보이고 있다.

서비스시간 분포만의 효과를 알아보기 위해서 다른 모든 것은 대기 네트워크의 가정을 따르고, 서비스시간 분포만을 常數, 정규분포로 했을 때, 시물레이션과의 비교 결과가 <표 3-2>와 <표 3-3>에 정리되어 있다. 서비스시간에서 분산의 효과를 자세히 분석하기 위해 정규분포의 분산계수(Coefficient of Variation : Cv)를 4가지로 하였다<sup>1)</sup>. 지수분포를 제외한 대부분의 경우는 대기 네트워크 모델의 오차가 상당히 크게 나타나며, 분산이 클수록 그 오차는 감소하여 Cv가 1인 정규분포의 경우는 오차가 상당히 줄어들을 분 수 있다(지수분포의 Cv가 1인 것에 주목한다).

1) 서비스 시간 분포를 정규분포로 가정하면 유의 값이 나올 수도 있으나 SIMAN 자체에서 그 값이 서비스 시간으로 사용될 경우에는 0으로 처리된다. 본 실험은 분산 변화에 따른 대기 네트워크의 보바스트를 알기위한 것이므로 유의 값을 0으로 처리해도 목적에 잘 부합된다.

〈표 3-2〉 서비스시간 분포에 대한 비교결과 (CAN-Q)

실험내용	성능척도 생산율 오차	기 계 가 용 른	
		평균오차	오차의 범위
상 수	21.85	21.85	[23.58, 20.11]
중급분포, $C_v=0.05$	21.43	21.45	[22.41, 20.61]
중급분포, $C_v=0.20$	19.89	19.97	[21.01, 18.78]
중급분포, $C_v=0.50$	15.22	13.40	[11.95, 11.00]
중급분포, $C_v=1.0$	3.55	4.24	[5.00, 2.88]
지수분포	4.18	3.72	[0.36, 7.36]

1)  $C_v$  : Coefficient of Variance

〈표 3-4〉 선택규칙에 대한 비교결과 (CAN-Q)

실험내용	성능척도 생산율 오차	기 계 가 용 른	
		평균오차	오차의 범위
FCFS <sup>1)</sup>	4.18	3.72	[0.36, 7.36]
MOPR <sup>2)</sup>	5.98	6.17	[2.65, 8.59]
SPT <sup>3)</sup>	7.16	6.89	[11.01, 3.90]
SPT/TOT <sup>4)</sup>	6.13	6.47	[8.05, 5.21]

1) FCFS : First Come First Served

2) MOPR : Most Operations Remaining

3) SPT : Shortest Processing Time

4) SPT/TOT : Shortest Proc. Time / Total Proc. Time

〈표 3-3〉 서비스시간 분포에 대한 비교결과 (MVAQ)

실험내용	성능척도 생산율 오차	기 계 가 용 른	
		평균오차	오차의 범위
상 수	21.82	21.89	[23.61, 20.11]
중급분포, $C_v=0.05$	21.49	21.50	[22.41, 20.59]
중급분포, $C_v=0.20$	19.96	20.01	[21.01, 19.13]
중급분포, $C_v=0.50$	13.29	13.44	[11.95, 11.17]
중급분포, $C_v=1.0$	3.46	4.29	[5.07, 2.96]
지수분포	4.10	3.67	[0.36, 7.36]

〈표 3-5〉 선택규칙에 대한 비교결과 (MVAQ)

실험내용	성능척도 생산율 오차	기 계 가 용 른	
		평균오차	오차의 범위
FCFS	4.10	3.67	[0.36, 7.36]
MOPR	5.88	6.12	[2.65, 8.40]
SPT	7.23	6.91	[10.73, 4.08]
SPT/TOT	6.21	6.51	[8.05, 5.03]

선택규칙만의 효과를 분석하기 위해 다른 모든 것은 대기 네트워크의 가정을 따르고 선택규칙만을 선입선출(FCFS), MOPR(Most Operations Remaining), SPT(Shortest Processing Time), SPT/TOT (Shortest Processing Time : Total Processing Time)등으로 했을 때, 시뮬레이션과의 비교결과가 〈표 3-4〉와 〈표 3-5〉에 정리되어 있다.

이 결과 대기 네트워크 모델은 선택규칙의 변화에 대해서 오차는 비교적 크지 않으나, 선택규칙에 따라 약간의 경향을 보여주고 있다. 즉, 대기 네트워크 모델은 FCFS, MOPR등의 선택규칙에 대해서는 시스템의 생산능력을 약간 과대평가하며, SPT, SPT/TOT등의 선택규칙에 대해서는 시스템의 생산능력을 약간 과소평가하는 결과를 나타낸다.

대기 네트워크의 가정하에서 공정중 재고 수준을 다르게 했을 때, 시뮬레이션과 비교한 결과, 대기 네트워크 모델은 공정중 재고 수준에 관계없이 오차가 매우 작게 나타났다. 또한, 대기 네트워크의 가정하에서 생산 부품의

수와 생산 부품의 비율을 다르게 했을 때에도, 대체로 모든 오차가 작게 나타났다.

지금까지의 Job Shop 형태와는 다른 Flow Shop에서 서비스시간 분포와 공정중 재고를 다르게 했을 때의 비교결과가 〈표 3-6〉와 〈표 3-7〉에 있다. 이 결과에 의하면 Flow shop에서도 Job Shop과 마찬가지로, 공정중 재고에는 별 영향을 받지 않으며 서비스시간 분포에 따라 큰 영향을 받는다.

비허가 존재하여, 이동시간과 블록킹(Blocking)이 존재하는 경우에 대해서 알아본다. 작업흐름 형태, 서비스시간 분포, 비허 크기 등에 따라 비교한 결과가 〈표 3-8〉와 〈표 3-9〉에 나와있다. 이 결과에 의하면 비허 크기의 고려는 서비스시간이 지수분포인 모든 경우에는 생산율 오차를 증가시키고, 상수인 경우에는 생산율 오차를 감소시킨다. 실제로 FMS의 서비스시간은 상수에 가까우며, 이 경우 비허 크기 제한으로 인해 대기 네트워크 모델의 전체 생산율 오차는 줄어들게 됨을 알 수 있다.

〈표 3-6〉 작업흐름 형태의 변화에 대한 비교결과 (CAN-Q)

실험내용	성능척도	생산율 오차	기계 가동률	
			평균오차	오차의 범위
FE7 <sup>1)</sup>		1.19	0.67	2.94, 3.16
FE5 <sup>2)</sup>		2.17	2.25	0.29, 8.70
FCO7 <sup>3)</sup>		22.30	22.49	23.08, 22.15

- 1) FE7 : Flow Shop, Exponential Service Time, WIP Level 7
- 2) FE5 : Flow Shop, Exponential Service Time, WIP Level 5
- 3) FCO7 : Flow Shop, Constant Service Time, WIP Level 7

〈표 3-9〉 버퍼 크기를 고려하는 경우의 비교결과 (MVAQ)

실험내용	성능척도	생산율 오차	기계 가동률	
			평균오차	오차의 범위
JE $\infty$		9.72	9.97	5.41, 13.62
JE13		10.31	10.15	6.90, 13.18
FE $\infty$		10.49	9.01	3.33, 11.52
FE2		30.08	3.49	12.52, 30.81
FCO $\infty$		10.61	10.09	11.65, 6.06
FCO2		3.27	11.14	40.94, 3.35

〈표 3-7〉 작업흐름 형태의 변화에 대한 비교결과 (MVAQ)

실험내용	성능척도	생산율 오차	기계 가동률	
			평균오차	오차의 범위
FE7		1.99	4.37	0.53, 7.12
FE5		6.85	7.34	3.28, 17.39
FCO7		19.39	19.64	20.51, 19.21

〈표 3-8〉 버퍼 크기를 고려하는 경우의 비교결과 (CAN-Q)

실험내용	성능척도	생산율 오차	기계 가동률	
			평균오차	오차의 범위
JE $\infty$ <sup>1)</sup>		9.25	9.51	4.76, 13.19
JE13 <sup>2)</sup>		9.87	9.69	6.21, 12.76
FE $\infty$ <sup>3)</sup>		6.50	5.15	0.00, 7.60
FE2 <sup>4)</sup>		25.38	6.90	41.54, 26.22
FCO $\infty$ <sup>5)</sup>		-13.84	13.26	15.11, 9.09
FCO2 <sup>6)</sup>		-0.46	-14.27	42.49, 0.00

- 1) JE $\infty$  : Job Shop, Exponential Time, Infinite Buffer
- 2) JE13 : Job Shop, Exponential Time, Buffer Size 13
- 3) FE $\infty$  : Flow Shop, Exponential Time, Infinite Buffer
- 4) FE2 : Flow Shop, Exponential Time, Buffer Size 2
- 5) FCO $\infty$  : Flow Shop, Constant Time, Infinite Buffer
- 6) FCO2 : Flow Shop, Constant Time, Buffer Size 2

이제까지의 실험결과를 종합하여 다음과 같이 정리할 수 있다.

- 1) 서비스시간 분포와 버퍼의 크기는 대기 네트워크 모

델의 로버스트性에 가장 큰 영향을 주는 요인이다.  
 2) 서비스시간이 지수분포를 따를 때, 대기 네트워크 모델은 매우 정확하다. 그러나 실제로 FMS의 서비스시간은 상수에 가까우며 이 경우 대기 네트워크 모델은 시스템의 생산능력(Production Capacity)을 상당히 과소평가(Under-estimation)한다.

3) 버퍼의 크기 제한은 블록킹을 일으켜 생산율을 감소시키며 이 경우 대기 네트워크 모델은 시스템의 생산능력을 과대 평가(Over-estimation)한다. 따라서, FMS의 상수 서비스 시간과 제한된 버퍼 크기에 대해 대기 네트워크 모델은 보상효과(Compensatory Effect)를 보인다.

4) 대기 네트워크 모델은 공정중 재고수, 생산부품 수, 생산부품 비율, 작업흐름 형태 등에 대해 상당히 로버스트하며, 선택규칙의 종류에 따라 약간의 영향을 받는다.

5) 블록킹이 생기는 경우를 제외하고는 대기 네트워크 모델의 생산율 오차와 기계 가동률 오차간에는 밀접한 관계가 존재한다.

6) CAN-Q와 MVAQ의 결과는 매우 비슷하다.

#### IV. 결론 및 추후 연구방향

본 연구에서는 FMS 생산계획의 성능평가를 위해 대기 네트워크 모델을 사용하는 경우에 기존의 대기 네트워크 모델이 여러 시스템에 대해 얼마나 로버스트한지를 시뮬레이션과의 비교를 통해 실험적으로 알아보았다.

대기 네트워크 모델을 이용한 성능평가는 실제 시스템에서의 서비스시간 분포, 버퍼의 크기, 선택규칙등의 요

인에 대해 상당한 영향을 받으므로 대기 네트워크 모델을 실제 시스템에 그대로 사용하는 것은 매우 위험한 것으로 생각된다. 그럼에도 불구하고 대기 네트워크 모델은, 그 외의 여러 요인들에 대해서 매우 로비스트하다는 사실과 영향을 주는 요인간에 존재하는 보상효과로 인해 실제 시스템에서 그 오차가 비교적 작게 나타나므로, 실제 시스템과의 비교를 통해 많은 경우에 사용이 가능한 것으로 여겨진다.

본 연구에서 대상으로 한 폐쇄형 대기 네트워크 모델인 CAN-Q와 MVAQ 외에, 블록킹(Blocking)을 허용하는 대기 네트워크 모델, 개방형(Opened) 대기 네트워크 모델을 대상으로 하는 연구가 요구된다.

## 참고 문헌

- [1] Baskett, F., K. M. Chandy, R. R. Muntz, and F. G. Palacios, "Open, closed, and mixed networks of queues with different classes of customers," *J. of ACM*, Vol. 22, No.2, 1975.
- [2] Buzacott, J. A. and D. D. Yao, "Flexible manufacturing systems : A review of analytic models," *Magt. Sci.*, Vol.32, No.7, 1986.
- [3] Co, H. C. and R. A. Wysk, "The robustness of CAN-Q in modelling automated manufacturing systems," *Int. J. Prod. Res.*, Vol.24, No.6, 1986.
- [4] El-sayed, H. M., M. A. Younis, and M. S. Mahmoud, "Modelling and simulation of a flexible manufacturing system with variable production ratios," *Appl. Math. Modelling*, Vol.13, 1989.
- [5] Gordon, W. J. and G. J. Newell, "Closed queuing systems with exponential servers," *Opns. Res.*, Vol.15, No.2, 1967.
- [6] Jackson, J. R., "Networks of waiting lines," *Opns. Res.*, Vol.5, No.5, 1957.
- [7] Reiser, M. and S. S. Lavenberg, "Mean-value analysis of closed multichain queuing networks," *J. of ACM*, Vol.27, No.2, 1980.
- [8] Seidmann, A. and S. Shalev-Oren, "An analytical review of several computerized closed queuing network models of FMS," *Proc. of 2nd ORSA/TIMS conferences on FMS* edited by K. E. Stecke and R. Suri, 1986.
- [9] Shioyama, T. and H. Kise, "Optimization in production systems : A survey of queuing approaches," *J. of Opns. Res. Society of Japan*, Vol.32, No.1, 1989.
- [10] Solot, P. and J. M. Bastos, "MULTIQ : A queuing model for FMSs with several pallet types," *J. Opl. Res. Soc.*, Vol.39, No.9, 1988.
- [11] Stecke, K. E., "Production planning problems for flexible manufacturing systems," Unpublished Ph.D dissertation, University of Purdue, 1981.
- [12] Stecke, K. E. and J. J. Solberg, "The optimality of unbalancing both workloads and machine group sizes in closed queuing networks of multiserver queues," *Opns. Res.*, Vol.33, No.4, 1985.
- [13] Suri, R., "Robustness of queuing network formulas," *J. of ACM*, Vol.30, No.3, 1983.
- [14] Suri, R. and R. R. Hildebrandt, "Modelling flexible manufacturing systems using mean-value analysis," *J. Mfg. Sys.*, Vol.3, 1984.
- [15] Wemmerlov, U. and S.Y. Hyun, "An evaluation of the accuracy and robustness of the CAN-Q model by means of simulation," *Recent Develop. in Prod. Res.* edited by A. Mital., Elsevier Science Publishers, 1988.
- [16] Wu, C. Y. A., "A C-based interactive FMS decision support software for capacity planning, layout design, and shop floor control," Unpublished Ph.D dissertation, Case Western Reserve University, 1987.
- [17] Yao, D. D. W. and J. A. Buzacott, "Modelling the performance of flexible manufacturing systems," *Int. J. Prod. Res.*, Vol.23, No.5, 1985.

## ● 저자소개 ●



朴珍雨

1970~1974년 서울대학교 산업공학과 졸업(공학사)

1974~1976년 한국과학기술원 산업공학과 졸업(공학석사)

1976~1979년 한국중공업 생산관리부 근무.

1980~1985년 Univ. of California, Berkeley 산업공학과 졸업(공학박사)

1985~현재 서울대학교 산업공학과 교수.

관심분야: 제조정보시스템 및 시뮬레이션 등임.



禹相福

1985~1989년 서울대학교 산업공학과 졸업(공학사)

1989~1991년 서울대학교 산업공학과 석사과정 졸업(공학석사)

1993~현재 서울대학교 산업공학과 박사과정 재학중.

관심분야: 시뮬레이션 및 EMS Modelling & Control 등임.