

## 수요 및 생산특성에 따른 생산통제 기법간의 효율성 분석에 대한 연구

### An Effectivity Analysis of Production Control Policies Based on Demand and Production Characteristics

이장한\* · 정한일\*\* · 박진우\*\*\*

Jang Han Lee\* · Han-il Jeong\*\* · Jinwoo Park\*\*\*

#### Abstract

In this paper, we examine the effect of production uncertainty to production control policies. First, we examine two famous production control policies, namely, MRP and JIT from the view point of shop floor control perspective, and analyze the differences between them due to demand fluctuations and activity time variations. Second, we conduct simulation studies on MRP and JIT to draw out the effects of demand fluctuations and activity time variations. Demand fluctuations are further classified into demand lumpiness and demand irregularity. And, activity time variations are further classified into stationary time variations and non-stationary time variations. Experimental results show that, in terms of demand fluctuations, MRP is affected by demand lumpiness, but JIT by demand irregularity. And we also see that both MRP and JIT are influenced by stationary time variation with respect to activity time variations.

**Keywords:** Uncertainty, Production control policy, JIT, MRP

\* 동양 SHL

\*\* 대전대학교 산업공학과

\*\*\* 서울대학교 산업공학과

## 1. 서론

MRP, JIT 등 기존의 생산통제 기법들은 각각 독특한 생성배경을 가지고 있으며, 고유의 논리를 바탕으로 생산활동을 통제하며 이에 따라 각 통제기법간에 독특한 작업현장통제(SFC : Shop Floor Control)가 수행되어 진다.

그러나 각각의 논리는 일정한 전제 조건들을 포함하고 있다. 예를 들어 MRP의 경우 주문인도기간(Lead Time)이 고정되어 있으며, 가공시간이 일정하다는 가정 하에서 스케줄링이 수행되고 있다. 한편 JIT는 작업장(Work Center)들이 일관흐름(Stream-line)화 되어있고, 수요형태가 일정하다는 전제 조건을 가지고 있다. 그러나 실제 생산현장에서는 이러한 전제 조건들을 만족시킬 수 없는 불확실성이 존재하게 된다.

따라서 본 연구에서는 실제 생산현장에서 발생하는 여러 종류의 불확실성이 각 생산통제 기법에 미치는 영향을, 특히 작업현장통제 측면에 초점을 맞추어, 분석함으로써 작업현장통제 전략으로서의 기존의 생산통제 기법들의 유용성을 알아보고, 여러 가지 생산환경에 대한 각 생산통제 기법의 적용 가능성에 대하여 분석하고자 한다. 각 기법별 특징을 살펴보면 다음과 같다.

### (1) MRP(Material Requirement Planning)

MRP는 "Time-phased priority planning and scheduling system"(Aggarwal[1])으로서 대일정계획(MPS : Master Production Schedule), 자재명세서(Bill of Material), 재고기록부(Inventory Record), 공정경로지(Routing Sheet) 등의

자료를 이용하여 역산(逆算) 스케줄링을 실시한다. 작업현장통제 측면에서 살펴보면, 각 작업장은 생산품을 '밀어내듯(Push)' 다음 단계로 보내기 때문에 Push System의 특성을 갖고 있다.

### (2) JIT(Just-In-Time)

JIT는 꼭 필요한 물자를, 꼭 필요한 양만큼, 꼭 필요한 장소에서, 꼭 필요한 시간에만 생산하고 유지한다는 목표 하에서, 생산활동에서 발생하는 모든 낭비를 체계적으로 제거해 나가고자 하는 경영철학이다(Golhar et. al [5]). 이러한 목표를 달성하기 위한 통제 수단으로 일종의 Index Card인 칸반(Kanban)이 사용되어지며, 작업현장통제 측면에서 Pull System으로 분류될 수 있다.

L은 시스템에 있는 평균 태스크의 수(Average WIP)를,  $\lambda$ 는 기계 수율(Average Throughput)을, W는 평균 시스템 체류시간(Average Flow Time)을 나타낸다고 할 때, Little의 법칙, 즉  $L = \lambda W$  또는  $W = L/\lambda$ 을 이용하여 MRP와 JIT 시스템의 차이를 살펴보면 "MRP의 경우는 Throughput( $\lambda$ )에, JIT는 WIP(L)에 초점을 맞추어 생산을 통제한다"고 볼 수 있다(Baudin[2]). 생산통제의 용이성 측면에서는 Throughput보다 칸반을 이용하여 공정제고(WIP)를 통제하는 것이 더 쉬우며, 이 경우 문제 발생시 발견 및 대처가 용이하다(Spearman[16]).

앞에서 살펴본 특성들을 포함해 여러 가지 측면에서 각 생산통제 기법들을 비교해 보면 표 1-1과 같다(Aggarwal[1], Golhar[5], Plenert [12], Rees[14]).

표 1-1. MRP와 JIT의 비교

	MRP	JIT
효과	단기 (innovative)	중기 (improvement)
변화내역	급격	점진
목표	기술과 사람	사람
작업자	전통적	다기능
종업원 참여	top-down	bottom-up
자료 요구량	대	소
생산관리	수요예측 및 역산 스케줄링	칸반
대일정계획 (MPS)	작업지시 기준 MPS	생산을 기준 MPS
Time bucket (cycle)	대개 1주일 단위	1/10 일
BOM	다 단계 BOM	단일 단계 BOM
용량계획	CRP module	사용 없음
정보의 정확도	아주 중요	불필요
스케줄 소요시간	slowest (계산량 많음)	fastest (계산량 적음)

Pull & Push System의 수행도 비교에 관련된 논문으로는 Sarker et al.[15], Ramsay et al. [13], Rees et al.[14], Plenert et al.[12], Aggarwal[1] 등이 있다. 이 중 Plenert 및 Aggarwal의 경우 각 시스템의 특징 및 전체 조건들을 분석하고, 이를 기초로 시스템간의 정성적 비교를 실시하였다. 이에 반해 Rees, Sarker, Grunwald, Ramsay 등은 시뮬레이션이나 추계적 모델을 이용하여 정량적 분석을 시도하였다.

그러나 이들 기존의 연구들은 상황 설정을 지나치게 단순화하였거나, 시스템 수행도(공정재고, 시스템 체류시간 등)에 영향을 미치는 요인을 적절하게 제시하지 못하였다는 문제점이 발견된다. 또한 기존의 연구들은 생산현장에서 발생 가능한 변동요인 중 가공시간의 변동만을 주로 다루었다. 그러나 이 경우 시간변동(Time Variation)의 추계적 측면은 현장에 존재하는 불확실성(Uncertainty)의 일부에 불과하다.

따라서 생산현장에서 발생 가능한 수요의 변동 등 여러 종류의 불확실성이 생산통제 기법에 미치는 영향을 다각적으로 분석하는 연구가 필요하다.

## 2. 연구현황 및 기존 연구의 한계

기존의 연구 중 MRP와 JIT의 비교와 관련된 논문들은 주로 재고통제(Inventory Control) 시스템의 측면에 초점을 두고 있다. Grunwald et al.[6]은 수요패턴과 제품구조의 복잡성에 따른 각 시스템의 우월영역을 제시하였다. 그러나 이러한 비교를 수행하기 위해 필요한 시스템의 수행도 측정지(Performance Indicator)를 명확히 제시하지 못하였으며, 시뮬레이션과 같은 방법에 의해 뒷받침되지 못하고 가설에 머무르고 말았다.

## 3. 실험 계획

생산현장에서 발생하는 불확실성은 크게 수요(Demand)에서 발생 가능한 변동과 생산시 소요되는 시간에서 발생 가능한 변동으로 나눌 수 있으며, 이를 위하여 다음과 같은 요인들을 선정하였다.

(1) 수요변동(DF : Demand Fluctuation)과 관련된 요인

① 수요의 돌출특성(DL : Demand Lumpiness)

이것은 주어진 대일정계획(MPS : Master Production Schedule)이 평균수요와 얼마나 차이가 나는가를 나타내는 것이다. 즉 MPS에 의한 각 Time Bucket별 수요의 산포(散布) 정도를 나타내는 요인으로, 수요의 돌출특성 DL은 다음과 같이 정의될 수 있다.

$$DL \equiv \frac{\sum_{i=1}^n |D_m - D_i|}{n D_m} \dots\dots\dots(1)$$

여기서 n은 Time Bucket의 수를,  $O_{ij}$ 는 i번째 Time Bucket에서 발생한 j번째 주문량을,  $D_i$ 는  $\sum_j O_{ij}$ 를,  $D_m$ 은 E(D)를 나타낸다.

② 수요의 불균일성(DI : Demand Irregularity)

이것은 수요의 변동이 얼마나 급격하게 나타나는가를 나타내는 지표이다. 즉 MPS에서, 한 Time Bucket의 수요가 직전 수요에 비해 얼마나 급격하게 변화하였는가를 나타내는 요인이다. 수요의 표준편차( $\sigma$ )를 이용하여 수요의 상위 기준선( $D_m^{sup} = D_m + \sigma$ ), 중간 기준선( $D_m$ ), 하위 기준선( $D_m^{sub} = D_m - \sigma$ )을 설정하고, 수요의 변동에 따라 수요폭선이 기준선을 교차하는 빈도 수를 수요의 단순 변동량에 대한 가중치로 줌으로써, 다음과 같이 수요의 불균일성 DI를 정량화 하였다.

$$DI \equiv \frac{\sum_{i=2}^n C_{i-1} \cdot i \cdot |D_i - D_{i-1}|}{\sum_{i=2}^n |D_i - D_{i-1}|} \dots\dots\dots(2)$$

여기서  $C_{i-1}$ 는 수요가  $D_{i-1}$ 에서  $D_i$ 로 변할 때, 수요폭선이 기준선과 교차하는 빈도수를 나

타낸다. 예를 들어  $D_2=24, D_3=10, D_m=20, \sigma=5$ 일 때  $C_{2,3}$ 의 값은 2가 된다.

(2) 생산시 소요되는 시간변동(TV : Time Variation)과 관련된 요인

① 안정적 시간변동(STV : Stationary Time Variation)

이것은 변동계수(Coefficient of Variation)를 이용하여 나타낼 수 있는 시간변동이다. 시간분포가 정규분포  $N(\mu, \sigma^2)$ 을 따른다고 가정할 때, 안정적 시간변동 STV는 다음과 같이 정의될 수 있다.

$$STV = \frac{\sigma}{\mu} \dots\dots\dots(3)$$

② 불안정적 시간변동(NSTV : Non-Stationary Time Variation)

이것은 생산시 발생하는 불규칙한 형태의 시간변동을 나타내는 것이며, 'Memoryless Property'에 의해 생산시간이 불규칙하게 지연되는(Interrupted & Lumpy Time Delay) 경우를 나타내는 요인으로, 불안정적 시간변동 NSTV는 다음과 같이 정의될 수 있다.

$$NSTV \equiv \frac{\text{지연된 시간의 총합}}{\text{시스템에서 소요된 총시간}} = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n R_{ij}}{T} \dots\dots\dots(4)$$

여기서 m은 불규칙한 시간지연이 발생 가능한 형태의 시간변동을,  $n_i$ 는 i번째 구성요소의 총 고장회수를,  $R_{ij}$ 는 i번째 구성요소의 j번째 고장에 따른 지연시간을, 그리고 T는 시스템에서의 총 소요시간을 나타낸다.

(3) 수행도 측정자(PI : Performance Indicator)

수행도 측정자는 Little의 법칙에 근거하여 공정재고(시스템에 있는 태스크의 수 : WIP), 시스템 체류시간(Flow Time), 산출량(Throughput)으로 선정하였다. WIP는 재고자산으로서의 측면과 생산불균형을 나타내는 지표로서의 측면을 고려하여 측정하였다.

본 실험은 2개의 독립된 실험계획으로 구성되어 있으며, 각 실험계획은 반복이 있는 2차원배치법으로 설정되었다. 표 3-1은 독립변수를 수요변동(DF)으로 설정하였을 때의 실험계획을 나타내고 있다. 독립변수, 즉 수요변동의 요인으로는 앞 절에서 설명한 바와 같이 수요의 들출특성(DL)과 불균일성(DI)이 설정되었으며, 각 요인의 수준은 이 표에 나타내어진 바와 같다. 같은 방법으로 독립변수를 시간변동(TV)으로 설정하였을 때의 실험계획을 표 3-2에 나타내었다.

표 3-1. DF에 의한 영향분석을 위한 실험계획

독립 변수	요 인	수준의 수	수 준	단 위
수요 변동 (DF)	DL	6	0, 2, 4, 6, 8, 10	%
	DI	7	0, 0.4, 0.7, 1.0, 1.3, 1.6, 1.9	식 (2) 참조

표 3-2. TV에 의한 영향분석을 위한 실험계획

독립 변수	요 인	수준의 수	수 준	단위
시간 변동 (TV)	STV	6	0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0	식 (3) 참조
	NSTV	7	0, 2, 4, 6, 8, 10, 12	%

이상 2가지의 독립적인 실험계획에 대한 종속변수로는 Flow Time, Throughput 그리고 WIP을 설정하였고, 실험결과는 각 실험계획 독립변수의 두 요인을 X축, Y축으로 하고 종속변수를 Z축으로 하여 그래프로 표현하였다.

4. 시뮬레이션 및 결과

시뮬레이션 언어로는 SIMAN이 사용되었으며, MRP와 JIT를 대상으로 시뮬레이션 연구를 수행하였다.

실험대상이 되는 생산품 종류 및 제품구조는 그림 4-1과 같다. BOM은 최종생산품(End Product), 반제품(Sub-assembly), 부품(Part)의 3단계로 구성되어 있으며, 최종생산품은 X, Y로 2종류이며, 반제품은 A와 B 2종류 그리고 부품은 C, D, E, F, G의 5종류로 각각 구성되어 있다고 가정하였다. 작업장 네트워크(Activity Network) 및 공정경로(Routing)는 그림 4-2와 같고, 작업장(Work Center, 이하 W/C)은 모두 10곳으로, 6개의 가공 작업장, 2개의 반제품 조립 작업장(SA로 표시) 그리고 2개의 최종완제품 조립 작업장(FA로 표시)으로 구성되어 있다. 그림 4-2에서 공정경로는 각 부품, 반제품, 최종완제품의 ID로 표시되었고, 괄호로 ID를 묶은 경로는 불안정적 시간변동(NSTV)이 발생 가능한 물자운송 경로를 나타내며, 대체 경로(Alternative Routing)는 고려되지 않았다. 예를 들어 부품 C는 W/C 1에서 가공을 받은 후 W/C 4에서 부품 D와 조립되어 반제품 A로 된다.

MPS에서의 Time Bucket은 2일로 설정되었으며( 1日 = 8 hr = 480 min ), 시뮬레이션

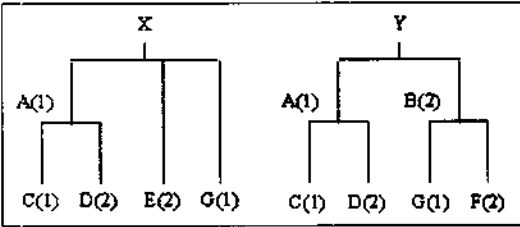


그림 4-1. 제품 구조

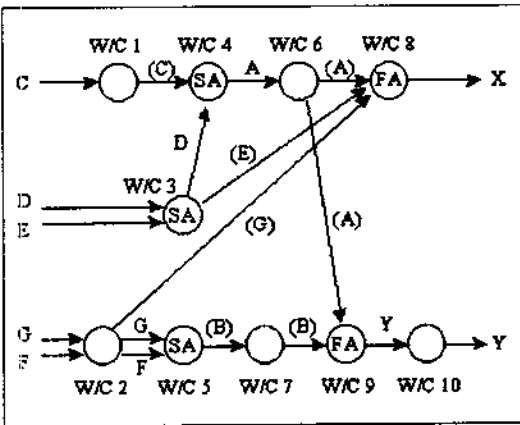


그림 4-2. 작업장 네트워크

실행시간은 20 Time bucket에 해당되는 40日 ( 480×40 = 19,200 min )로 설정되었다. MRP에서의 로트크기 결정규칙으로는 주문에 의해 로트의 크기가 결정되는 MRP lot-for-lot ( MRPL4L )이 사용되었다.

JIT에서의 표준용기(Container)의 크기가 로트의 크기로 되는데, 표준용기의 크기를 1로 설정하였다. 즉, 로트크기가 1인 경우로 가정하였다. 또한 칸반 수는 다음의 식을 이용하여 결정하였다(Phillipoom[11]). 단, LT는 주문 인도기간(Lead Time)을, α는 안전수준(Safety Stock)을 나타낸다.

$$\text{칸반 수} \geq \frac{(\text{수요}) \times \text{LT} \times (1 + \alpha)}{\text{표준 용기의 수}} \dots\dots\dots(5)$$

위 식에 의해 설정된 칸반 수 및 그 밖의 생산 특성치를 표 4-1, 표 4-2, 표 4-3 그리고 표 4-4에 각각 정리하였다.

공정재고(WIP)는 생산현장의 불균형을 나타내는 지표인 동시에 재고관리 측면에서는 비용의 성격도 띠고 있다. 따라서 본 연구에서는 공정재고(WIP)를 생산현장의 불균형을 나타내는 지표로서의 WIP와, 재고자산으로서의 가중치를 준 W<sup>2</sup>IP(Weighted WIP)으로 구분하였다. 여기서 WIP은 각 부품(또는 반제품, 최종완제품)의 공정재고 개수의 합으로 계산되며, W<sup>2</sup>IP은 가중치와 개수를 곱한 값의 합으로 계산된다.

예를 들어 공정재고의 개수가 A, B, C, D, E, F, G, X, Y의 공정재고 개수가 각각 1, 2,

표 4-1. 공정간 칸반 수

전공정	후공정	종 류	칸반 수
1	4	C	15
2	5	G	10
2	5	F	10
2	8	G	15
3	4	D	5
3	8	E	25
4	6	A	10
5	7	B	15
6	8	A	20
6	9	A	15
7	9	B	20
9	10	Y	5

표 4-2. 가공시간 및 준비시간

(단위 : 분)

W/C	가공(조립)품	평균가공(조립)시간	준비시간
1	C	20	-
2	G	6	5
	F	5	
3	D	5	10
	E	5.2	
4	A	10	-
5	B	8	-
6	A	15	-
7	B	20	-
8	X	10	-
9	Y	8	-
10	Y	10	-

표 4-3. 이동시간 및 Interruption

(단위 : 분)

운송설비 이동	평균 소요시간	Interruption 가능여부
W/C 1 → W/C 4	65	가능
W/C 2 → W/C 5	15	-
W/C 2 → W/C 8	100	가능
W/C 3 → W/C 4	20	-
W/C 3 → W/C 8	80	가능
W/C 4 → W/C 6	5	-
W/C 5 → W/C 7	150	가능
W/C 6 → W/C 8	140	가능
W/C 6 → W/C 9	180	가능
W/C 7 → W/C 9	130	가능
W/C 9 → W/C 10	25	-

표 4-4. 리드타임 (Time bucket의 단위)

제품	A	B	C	D	E	F	G	X	Y
리드타임	2	3	2	1	2	2	1		
가중치	4	5	2	1	2	2	1	9	14

4, 3, 4, 6, 5, 0, 2개 일 경우  $WIP = 27 = (1+2+4+3+4+6+5+0+2)$ ,  $WIP = 78 = (4 \times 1 + 5 \times 2 + 2 \times 4 + 1 \times 3 + 2 \times 4 + 2 \times 6 + 1 \times 5 + 9 \times 0 + 14 \times 2)$ 와 같이 계산된다.

표 4-4에서 부품 C, D, E, F, G의 가중치는 리드타임에 비례하게 주어졌으며, 반제품 A, B 및 최종생산품 X, Y의 가중치는 구성 부품 및 반제품의 개수×가중치의 합으로 결정된다.

(1) 수요변동에 의한 영향 분석

① MRP에 미치는 영향

표 4-5에 수요의 돌출특성(DL)과 수요의 불균일성(DI)의 수준변화에 따른 수행도 측정치(PI)의 변화를 정리하였다. 각 셀의 값은 5회 실험한 결과의 평균값이며, 각 수치 값의 의미는 표 하단에 설명되어 있다.

이 데이터를 기초로 분산분석(Analysis of Variance, 이하 ANOVA)을 실시한 결과를 표 4-6에 나타내었다. 표 4-6에서 'V'는 유의수준 5%하에서 해당 요인이 유의한 영향을 미치고 있음을 말한다.

표 4-6의 ANOVA 결과를 보면, 수요의 돌출특성에 의한 영향은 광범위한 데 반하여, 수요의 불균일성은 주로 WIP 수준에만 영향을 미침을 알 수 있다. 또한 수요의 돌출특성과 불균일성의 상호작용(Interaction)은 두 요인이 모두 유의한 영향을 미치는 경우에만

표 4-5. 수요변동(DF)이 MRP에 미치는 영향 : DF-MRP

DL(%) DI	0	2	4	6	8	10
0	1648 <sup>(1)</sup> 10461 <sup>(2)</sup> 645 <sup>(3)</sup> 515 <sup>(4)</sup> 341 <sup>(5)</sup> 571 <sup>(6)</sup>	-	-	-	-	-
0.4	-	1975 11788 562 476 261 456	2275 12142 577 490 338 500	2268 11715 570 482 343 541	1800 11429 528 393 182 308	1759 9720 526 360 158 242
0.7	-	3246 12450 648 486 761 1037	2717 11719 603 512 546 833	1866 11651 597 405 202 310	1871 10924 472 408 209 341	1707 10673 457 380 136 229
1.0	-	2316 12280 564 472 354 601	1961 11731 556 467 239 364	2463 12051 541 471 426 522	1708 10657 457 363 129 206	1939 11558 461 376 200 357
1.3	-	3489 12435 637 516 879 1233	3392 11892 637 493 821 1116	3053 12266 575 488 610 1571	1837 10861 512 384 184 292	1829 12016 482 368 166 262
1.6	-	1978 11926 573 455 243 408	2638 12184 603 495 494 783	2035 11455 590 444 267 409	1830 10847 469 403 174 286	1775 10795 500 341 144 216
1.9	-	2064 11632 575 479 275 434	2255 12453 662 461 369 533	2950 12776 551 505 585 888	1806 11171 506 385 179 299	1834 11291 449 350 158 247

(1) Flow Time of X(F<sub>x</sub>)                      (2)Flow Time of Y(F<sub>y</sub>)                      (3)Throughput of X(T<sub>x</sub>)  
 (4) Throughput of Y(T<sub>y</sub>)                      (5) W'IP    (6) W"IP

[표4-6] ANOVA 결과 : DF-MRP

요인 \ PI	F <sub>x</sub>	F <sub>y</sub>	T <sub>x</sub>	T <sub>y</sub>	W'IP	W"IP
DL	√	√	√	√	√	√
DI	√	-	-	-	√	√
DL*DI	√	-	-	-	√	√

존재하는 것으로 나타났다. 여기서 특이한 점

은 돌출특성을 제외하고는 수요변동이 Throughput에 미치는 영향이 상대적으로 작다는 점이다. 그 이유로는 MRP가 사전에 계획된 생산지시에 의해 특정한 양만큼의 재료를 시스템에 투입시켜 나가는 방식을 취하기 때문이라고 생각된다. 또한 수요변동은 WIP에 많은 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 이는 Push System의 특성에 기인한 것으로 해석된다.



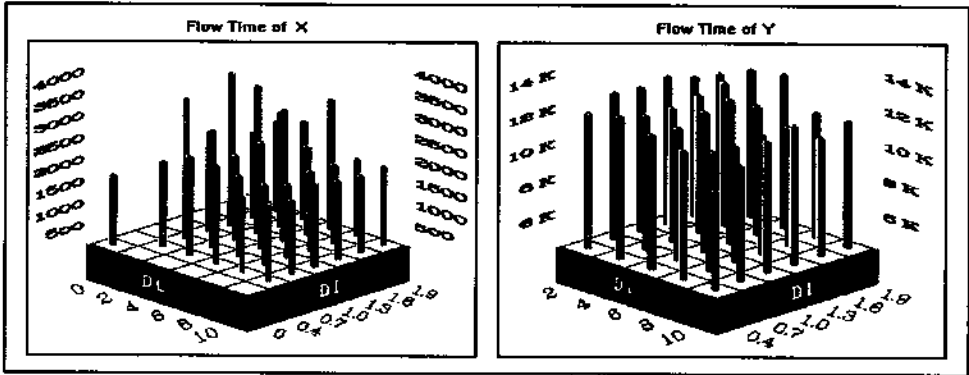


그림 4-3. 수요변동이 Flow Time 측면에서 MRP에 미치는 영향

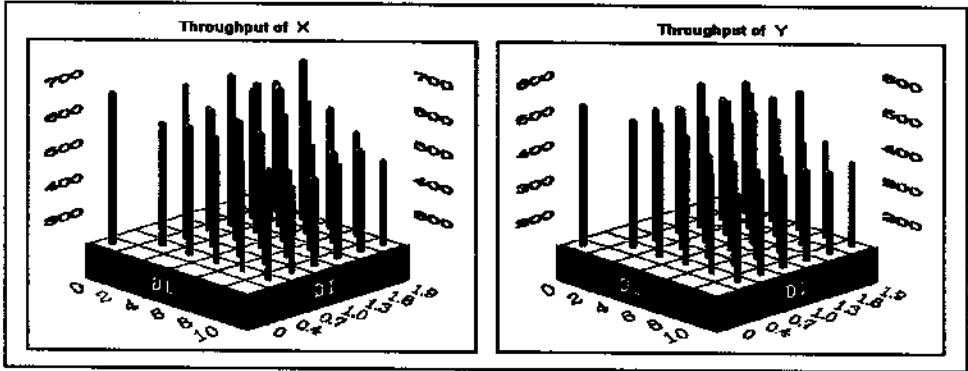


그림 4-4. 수요변동이 Throughput 측면에서 MRP에 미치는 영향

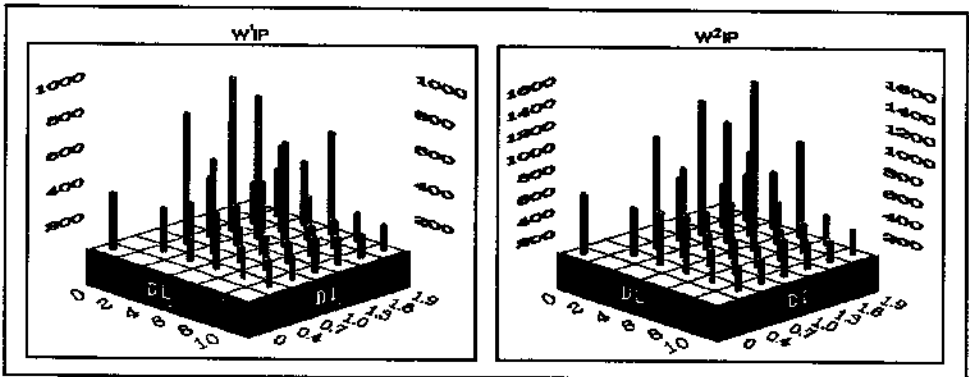


그림 4-5. 수요변동이 WIP 측면에서 MRP에 미치는 영향

수요변동이 MRP에 미치는 영향을 그림 4-3, 그림 4-4 그리고 그림 4-5에 나타내었다.

그림 4-3에서 Flow Time에 대한 영향은 주로 최종생산품 X에 집중되어 있음을 알 수 있다. 또한 돌출특성의 수준이 높아질수록(8% 이상의 경우) 변화의 폭이 작아지는 현상이 나타나고 있다. 이러한 현상은 그림 4.4의 Throughput에서도 나타나고 있다. 즉 돌출특성이 증가할수록 Throughput 감소율이 줄어드는 경향이 나타나고 있다. WIP의 경우, 그림 4-5에서 보듯이 돌출특성이 매우 클 때 WIP이 줄어드는 경향을 보이고 있는데, 그

이유는 돌출특성이 커질수록 Flow Time이 감소하며, Throughput의 감소율이 줄어드는 영향에 의한 결과로 생각된다.

전체적으로 불균일성에 의한 영향에 비해 돌출특성에 의한 영향이 더욱 뚜렷하게 나타나고 있음을 알 수 있으며, 이는 ANOVA 결과와 일치함을 알 수 있다.

② JIT에 미치는 영향

표 4-7과 표 4-8에 수요변동(DF)이 JIT에 미치는 영향에 대한 실험결과와 ANOVA 결

표 4-7. 수요변동(DF)이 JIT에 미치는 영향 : DF-JIT

DI \ DL(%)	0	2	4	6	8	10
0	1247 <sup>(1)</sup> 6454 <sup>(2)</sup> 580 <sup>(3)</sup> 415 <sup>(4)</sup> 94 <sup>(5)</sup> 295 <sup>(6)</sup>	-	-	-	-	-
0.4	-	1563 5170 505 380 110 383	1329 7721 478 425 101 290	1271 7395 398 364 109 302	1544 4820 474 277 109 361	1630 5852 496 235 104 391
0.7	-	1340 7764 468 398 104 299	1482 6747 483 302 105 328	1556 4725 559 186 109 410	1566 6920 393 281 106 346	1206 9052 399 376 93 260
1.0	-	1452 7528 463 339 99 295	1393 7067 459 327 105 330	1349 6844 466 242 106 342	1638 6356 459 245 102 368	1598 9118 401 354 94 292
1.3	-	1482 6270 498 305 106 334	1599 7003 438 351 106 299	1446 6523 458 300 105 349	1626 5369 496 215 103 367	1468 8128 394 281 96 313
1.6	-	1529 6081 532 251 104 371	1402 7000 454 328 102 364	1667 3306 569 144 111 425	1288 7261 372 333 99 291	1718 4915 504 172 122 404
1.9	-	1664 3241 570 155 111 421	1612 3813 591 139 113 443	1467 5893 439 283 106 335	1656 5638 562 221 105 384	1623 7348 433 275 97 331

표 4-8. ANOVA 결과 : DF-JIT

요인 \ PI	F <sub>x</sub>	F <sub>y</sub>	T <sub>x</sub>	T <sub>y</sub>	W <sub>1</sub> IP	W <sub>2</sub> IP
DL	-	-	-	-	-	-
DI	-	V	-	V	-	-
DL*DI	-	-	-	V	-	-

과를 나타내었으며, 실험 회수나 각 수치의 의미는 각각 표 4-5, 표 4-6과 같다.

ANOVA 결과에서 특이한 점은 돌출특성에

의한 영향이 모두 유의하지 않다는 결과가 나온 점이다. 이것은 MRP의 경우와 상반되는 결과이며, 오히려 불균일성에 의한 영향이 최종생산품 Y에서 집중적으로 관찰되었다(Flow Time과 Throughput 모두에 유의한 영향을 주고 있음). 최종생산품 X에 비하여 Y에 주로 영향을 미친 이유는, Y의 경우 Flow Time이 상대적으로 많이 소요되는 제품이기 때문에 수요변동에 의한 영향이 MRP 시스템보다 JIT 시스템에서 상대적으로 크게 나타나는 것으로 생각된다. 또한 WIP 측면에서는

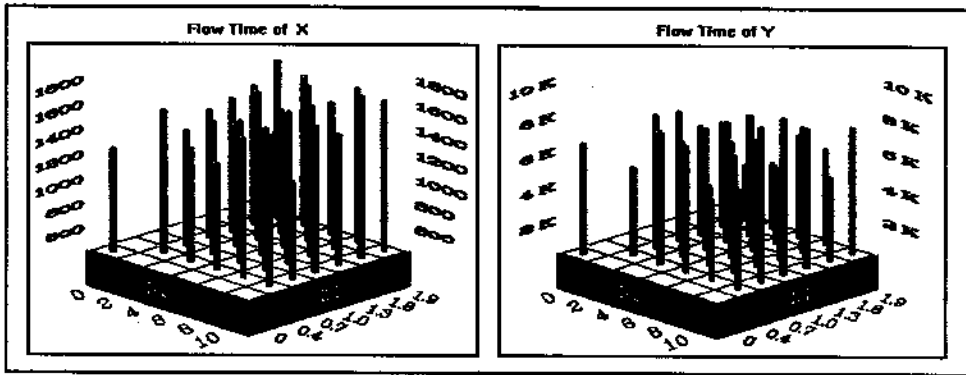


그림 4-6. 수요변동이 Flow Time 측면에서 JIT에 미치는 영향

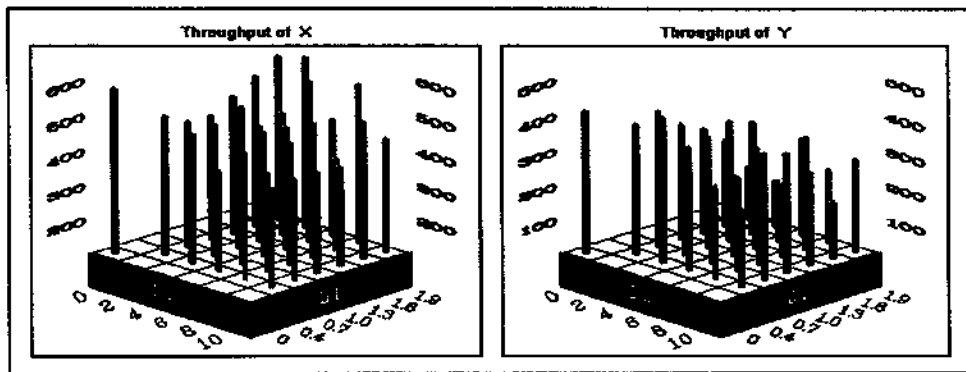


그림 4-7. 수요변동이 Throughput 측면에서 JIT에 미치는 영향

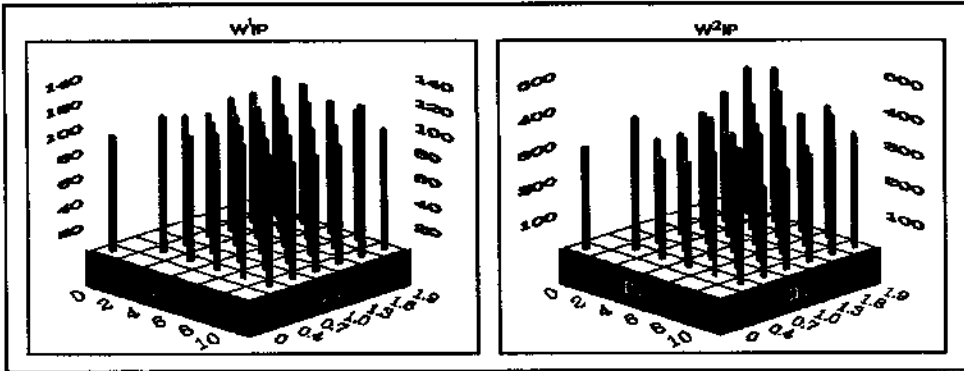


그림 4-8. 수요변동이 WIP 측면에서 JIT에 미치는 영향

표 4-9. 시간변동(TV)이 MRP에 미치는 영향 : TV-MRP

NSTV(%)	STV		0		0.2		0.4		0.6		0.8		1.0																							
	0	2110 <sup>(1)</sup>	12124 <sup>(2)</sup>	2011	12098	1954	12126	2503	12727	3109	12079	2599	12463	608 <sup>(3)</sup>	444 <sup>(4)</sup>	608	444	608	444	608	435	608	400	303 <sup>(5)</sup>	479 <sup>(6)</sup>	303	497	273	466	432	704	589	898	496	866	
2	2110	12126	2279	12222	2063	12200	2799	12833	2420	12195	3662	13919	608	444	608	444	608	444	608	400	537	400	303	479	303	479	299	486	503	766	436	795	866	1443		
4	2110	12126	2936	12288	2408	12345	2521	12472	2913	13502	2514	13098	608	444	608	444	608	444	601	435	579	416	303	479	299	510	354	523	402	606	582	993	494	792		
6	2111	12207	2111	12334	2475	12525	2093	12238	3163	13129	2799	13421	608	444	608	444	608	444	598	436	590	436	308	499	316	533	413	635	308	501	646	954	587	918		
8	2124	12124	2097	12253	2178	12479	2394	12535	2455	12659	3049	13319	608	444	608	444	608	444	608	440	587	422	506	411	306	480	307	512	349	576	395	619	406	661	649	1167
10	2140	12145	2073	12207	2093	12390	2500	13136	2968	13275	3368	13275	608	444	608	444	608	444	608	436	608	429	608	435	310	489	300	495	316	541	453	851	571	884	671	1006
12	2122	12174	2264	12605	1865	12607	1968	12594	2527	12321	3368	13730	608	444	608	444	608	444	588	377	501	355	307	492	366	624	274	559	274	559	507	1001	697	1089		

수요변동에 의한 영향이 관측되지 않았으며, 이는 Push System의 특성에 기인한 결과로 풀이된다.

수요변동이 JIT에 미치는 영향을 그림 4-6, 그림 4-7 그리고 그림 4-8에 나타내었다. 그림 4-6에서 최종생산품 X에 비해 최종생산품 Y의 Flow Time 변화의 폭이 상대적으로 큼을 알 수 있다. 또한 그림 4-7에서 최종생산품 Y의 Throughput이 수요변동에 민감하게 반응함을 알 수 있다. WIP의 경우에는 그림 4-8에서 알 수 있듯이 변화의 폭이 MRP에 비해 상대적으로 작게 나타났다. 여기서 특기할만한 것은 비록 유의성이 있는 정도는 아니지만 WIP에 비해 W<sup>2</sup>IP가 수요변동의 변화에 민감하다는 점이다. 이는 WIP이 후공정

에 집중되었다는 것을 간접적으로 시사하는 것이며, 전공정이 후공정에 의해 Blocking되는 경우가 많이 발생하게 된다는 점을 의미한다.

(2) 시간변동에 의한 영향 분석

① MRP에 미치는 영향

시간변동(DF)이 MRP에 미치는 영향에 대한 실험결과와 ANOVA 결과를 각각 표 4-9와 표 4-10에 나타내었으며, 실험 회수나 각 수치의 의미는 앞의 표 4-5, 표 4-6과 각각 같다. ANOVA 결과, 안정적 시간변동(STV)은 모든 수행도 측정자(PI)에 유의한 영향을 미치는 데 반하여, 불안정적 시간변동(NSTV)은 최종생산품 Y의 Throughput을 제외하고는 유의성이 없는 것으로 나타났다.

시간변동이 MRP에 미치는 영향을 그림 4-9, 그림 4-10 그리고 그림 4-11에 나타내었다. 그림 4-9에서 Flow Time에 대해, 안정적 시간변동은 뚜렷한 영향을 미치는데 반해, 불안정적 시간변동은 영향을 미치지 않는 것으로 보인다. 이는 그림 4-10에 나타난 대로 Throughput의 경우에도 Flow Time의 경우와

표 4-10. ANOVA 결과 : TV-MRP

요인 \ PI	F <sub>x</sub>	F <sub>y</sub>	T <sub>x</sub>	T <sub>y</sub>	W <sup>1</sup> IP	W <sup>2</sup> IP
STV	√	√	√	√	√	√
NSTV	-	-	-	√	-	-
STV*NSTV	-	√	-	√	-	-

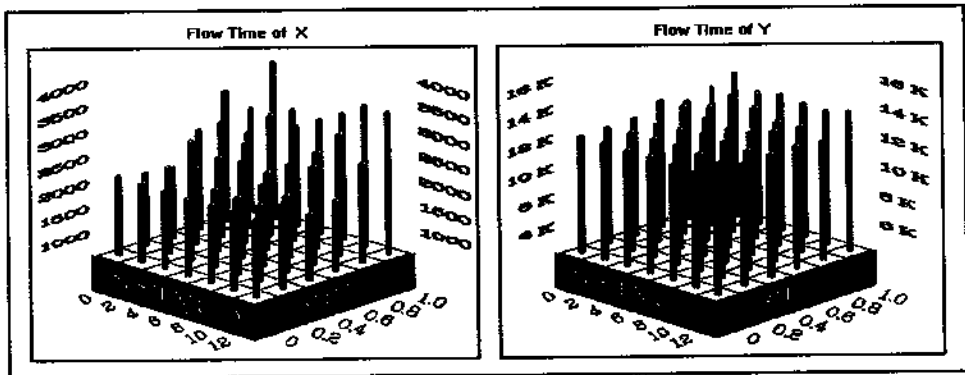


그림 4-9. 시간변동이 Flow Time 측면에서 MRP에 미치는 영향

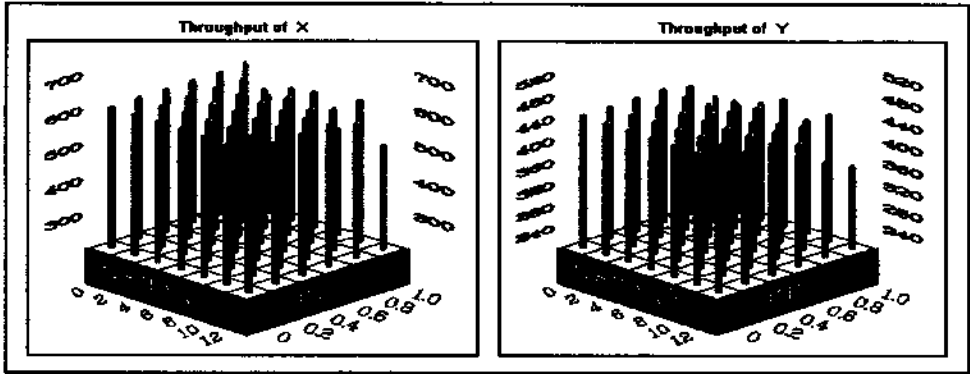


그림 4-10. 시간변동이 Throughput 측면에서 MRP에 미치는 영향

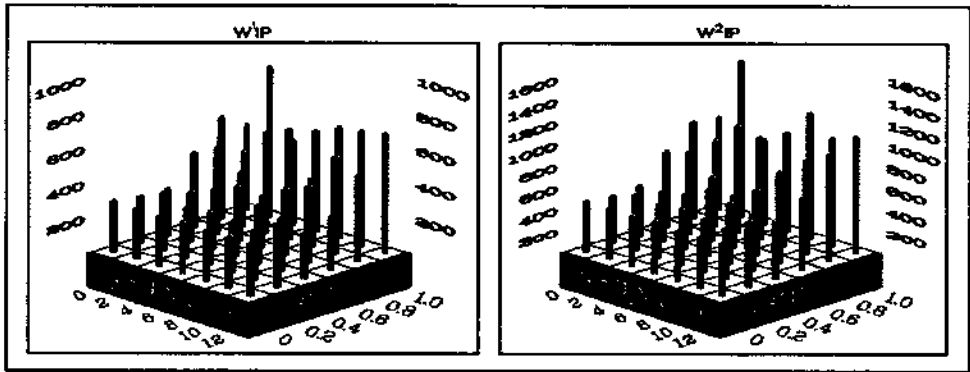


그림 4-11. 시간변동이 WIP 측면에서 MRP에 미치는 영향

유사한 현상이 나타나는 것으로 보이며, 이는 ANOVA 결과와 일치한다. Throughput의 경우, 안정적 시간변동의 일정 수준(특히 0.8 부근에서)을 넘어서부터 Throughput이 감소하는 경향이 나타나고 있는데, 이것은 시간변동에 의한 영향이 임계치를 기점으로 나타나는 경향이 있음을 시사(示唆)한다고 분석될 수 있다. WIP의 경우는, 그림 4-11에 나타난 바와 같이 다른 수행도 측정자에 비하여 상대적으로 변화의 폭이 큼을 발견할 수 있다.

② JIT에 미치는 영향

앞에서와 같은 방식으로, 시간변동(DF)이

JIT에 미치는 영향에 대한 실험결과와 ANOVA 결과를 표 4-11과 표 4-12에 각각 나타내었다.

표 4-12의 ANOVA 결과에서 볼 수 있듯이, JIT의 경우도 MRP와 유사하게 불안정적 시간변동(NSTV)에 비해 안정적 시간변동(STV)에 의한 영향이 광범위하게 나타나고 있음을 알 수 있다. 또한 시간변동의 영향이 최종생산품 중 Y에 비해 X에 뚜렷하게 나타나고 있는데, 이는 수요변동(DF)의 경우와 반대되는 현상이다. WIP의 경우에도, 수요변동(DF)의 경우와는 반대로 시간변동이 WIP에

표 4-11. 시간변동(TV)이 JIT에 미치는 영향 : TV-JIT

NSTV(%) \ STV	0		0.2		0.4		0.6		0.8		1.0	
	0	1669 <sup>(1)</sup> 601 <sup>(3)</sup> 111 <sup>(5)</sup>	2616 <sup>(2)</sup> 176 <sup>(4)</sup> 460 <sup>(6)</sup>	1600 599 109	4418 133 449	1569 595 109	4208 132 449	983 465 67	8091 203 378	1016 361 78	5724 195 217	882 131 107
2	1669 601 111	2616 276 463	1738 595 113	2982 257 472	1039 591 105	3105 193 430	950 460 66	8265 312 383	1179 504 82	7025 214 304	996 591 78	3639 108 306
4	1668 601 111	2616 276 460	1703 593 114	2887 285 474	1601 608 106	3127 294 436	1294 584 83	5536 192 321	823 349 78	7452 155 277	1016 545 62	7271 181 230
6	1648 599 111	3315 199 460	1636 590 111	3832 198 456	1542 584 110	6323 259 443	1060 341 195	8329 212 406	1156 307 104	3045 190 355	1056 594 126	2355 137 330
8	1671 601 111	2616 176 460	1676 602 111	2890 184 467	1584 590 110	4798 152 450	1447 596 100	2919 86 417	941 374 60	7347 253 265	1013 585 63	4186 129 329
10	2604 608 165	4662 153 703	2618 491 168	9100 385 574	1648 596 110	3049 91 453	1462 604 91	3503 106 372	1152 586 82	4406 140 315	1061 586 79	10229 94 308
12	1656 600 110	2880 185 455	1621 607 111	3481 105 456	1619 468 103	8680 203 343	1510 599 102	4035 124 413	1263 588 86	2278 135 349	1704 363 78	6018 166 259

표 4-12. ANOVA 결과 : TV-JIT

요인 \ PI	F <sub>x</sub>	F <sub>y</sub>	T <sub>x</sub>	T <sub>y</sub>	W <sup>1</sup> IP	W <sup>2</sup> IP
	STV	√	-	√	-	√
NSTV	√	-	-	-	√	-
STV*NSTV	√	-	-	-	√	-

유의한 영향을 주는 것으로 관측되었다.

그림 4-12, 그림 4-13 그리고 그림 4-14에 시간변동이 JIT에 미치는 영향을 그래프로 나

타내었다. 그림 4-12에서, Flow Time의 경우 최종생산품 X에 비해 최종생산품 Y의 변화양상이 불규칙함을 발견할 수 있다. 또한 그림 4-13에서 볼 수 있듯이, JIT에서 Throughput에 대한 시간변동의 영향이 MRP에서의 경우에 비해 불규칙한 특성을 가지는 것을 알 수 있으며, 그림 4-14에서 W<sup>1</sup>IP보다는 W<sup>2</sup>IP 측면의 변화가 더 뚜렷함을 알 수 있다. 특히 수요변동의 경우에는 요인들 수준의 증가가 W<sup>1</sup>IP에 유의한 영향을 주지는 않았지만, Blocking현상으로 W<sup>2</sup>IP이 증가한 데 반하여,

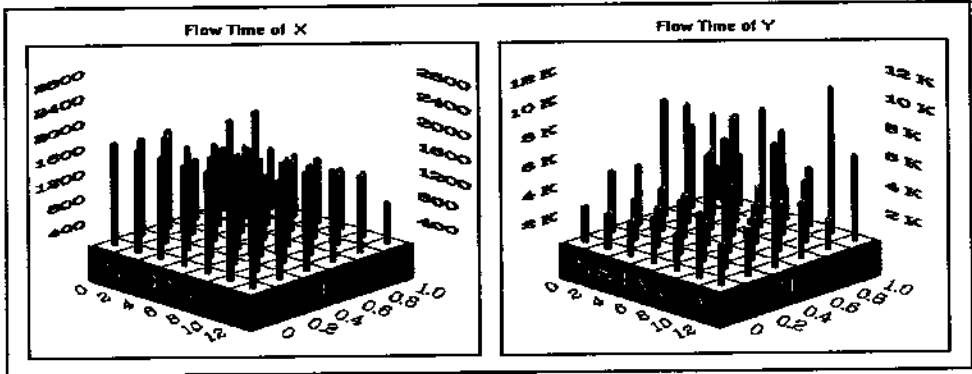


그림 4-12. 시간변동이 Flow Time 측면에서 JIP에 미치는 영향

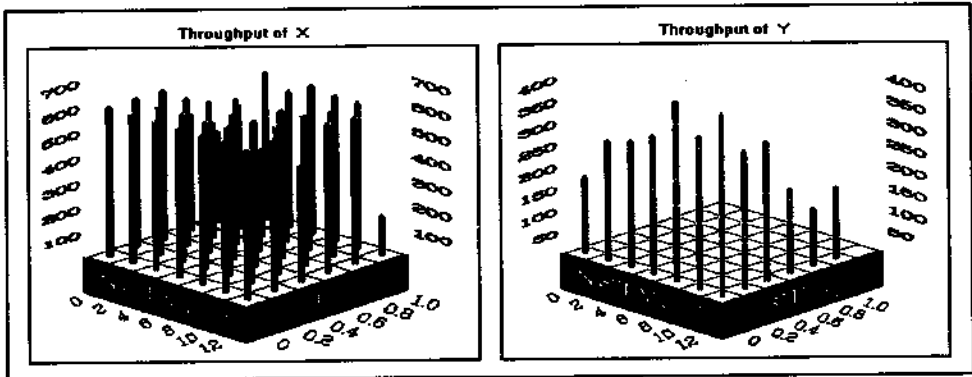


그림 4-13. 시간변동이 Throughput 측면에서 JIP에 미치는 영향

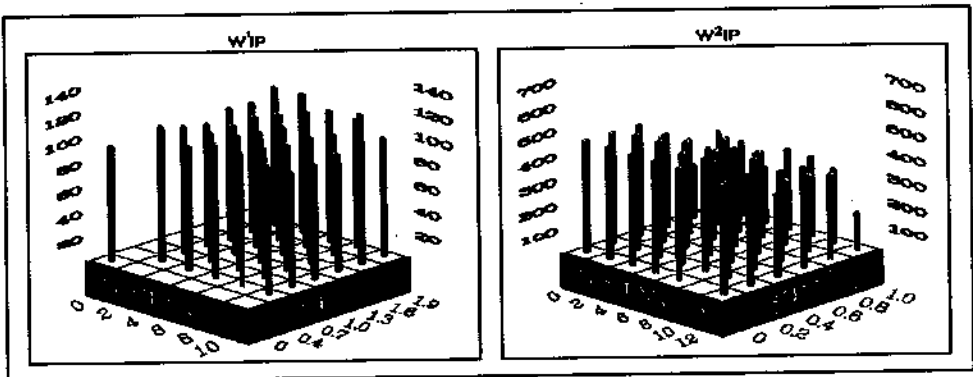


그림 4-14. 시간변동이 WIP 측면에서 JIP에 미치는 영향

시간변동의 경우에는 요인들의 수준이 증가 함에 따라 WIP이 감소하는 반대 현상이 나



타나고 있다. 이는 JIT 시스템의 경우, 시간 변동에 의한 영향이 앞부분의 공정에 WIP이 집중되는 경향으로 표출되고 있음을 보여주고 있다고 생각된다.

### 5. 결론 및 추후연구과제

본 연구에서는 앞에서 언급한 생산통제 기법들에 대해서 생산현장관리 측면에서의 유용성을 밝히기 위하여 생산현장에서 발생할 수 있는 여러 형태의 변동, 특히 수요변동(DF)과 시간변동(TV)을 요인으로 하여 시뮬레이션 실험을 수행하였고, 이를 통하여 다음과 같은 특성을 발견하였다.

- ▶ 수요변동(DF)의 영향은 주로 Flow Time이 긴 최종생산품에 더 크게 나타남.
- ▶ 돌출특성(DL)의 경우, MRP에는 광범위한 영향을 미치는 것으로 나타났으나, JIT에는 유의한 영향을 미치지 못함.
- ▶ 수요변동의 영향이 MRP는 Throughput에서, JIT는 WIP에서 상대적으로 작게 나타남(Push System과 Pull System의 특성의 차이 때문으로 분석됨).
- ▶ 시간변동(TV)에 의한 영향은 MRP와 JIT 모두 주로 안정적 시간변동(STV)에 의한 영향이 광범위하게 발견되어짐.
- ▶ 불안정적 시간변동(NSTV)은 수행도 측정자에 유의한 영향을 미치지 못함.
- ▶ MRP의 경우, 안정적 시간변동이 Throughput에 미치는 영향이 임계점의 형태로 발견되어짐.
- ▶ JIT의 경우, 수요변동에 의한 영향은 주로 Flow Time이 긴 최종생산품에, 반면 시간변동에 의한 영향은 Flow Time이 짧은 최

종생산품에 더 크게 나타남.

- ▶ JIT의 경우 W<sup>2</sup>IP(Weighted WIP) 측면의 변화가 수요변동에서는 요인수준의 증가에 따라 커지는 경향이 나타났으나, 시간변동에서는 감소하는 경향으로 나타남(WIP가 집중되는 공정의 위치가 서로 다름).

본 연구에서는 수요변동과 시간변동을 중심으로한 생산현장의 불확실성을 반영하였다. 하지만 이 밖에도 생산통제 기법들의 유용성에 영향을 줄 수 있는 요인들로는 제품구조의 복잡성(Complexity), 대안경로(Alternative Routing)의 존재여부, Order의 수 등이 있다. 추후에는 이들 요인들이 미치는 영향을 알아보고, 실제 생산현장에서의 여러 가지 생산통제 기법들의 유용성에 대한 조사가 필요하다고 생각된다.

### 참 고 문 헌

- [1] Aggarwal, S.C., "Special report : MRP, JIT, OPT, FMS?," Harvard Business Review, September-October, pp8-16, 1985
- [2] Baudin, M., Manufacturing systems analysis with application to production scheduling, Yourdon press , 1990
- [3] Flapper, S. D. P., Miltenberg, G. J. and Wijngaard, J., "Embedding JIT into MRP," International Journal of Production Research, Vol. 29, No. 2, pp329-341, 1991
- [4] Goldratt, E. M. and Fox, R. E., The Race, North River Press Inc., 1986
- [5] Golhar, D. Y. and Stamm, C. L., "The just-in-time philosophy : A literature review," International Journal of Production

- Research, Vol. 29, No.4, pp657-676, 1991
- [6] Grunwald, H., Strickwold, E. T. and Weeda, P. J., "A framework for quantitative comparison of production control concepts," International Journal of Production Research, Vol 27, No 2, pp281-292, 1989
- [7] Lambrecht, M. R. and Decaluwe, L., "JIT and constraint theory : The issue of bottleneck management," Production and Inventory Management, 1988
- [8] Law, A. M. and Kelton, W. D., Simulation Modeling and Analysis, McGraw-HillBook Company( second edition ), 1991
- [9] Lubben, R. T., Just-in-time Manufacturing - An Aggressive Manufacturing Strategy, R. R. Donnelley and Sons Company, 1988
- [10] Miltenburg, J. and Wijngaard, J., "Designing and Phasing in just-in-time production system," International Journal of Production Research, Vol. 29, No. 1, pp115-132, 1991
- [11] Philipoom, P. R., Rees, L. P., Taylor III, B. T. and Huang, P. Y., "An investigation of the factors influencing the number of kanbans required in the implementation of the JIT technique with kanbans," International Journal of Production Research, Vol. 25, No. 3, pp457-472, 1987
- [12] Plenert, G. and Best, T. D., "MRP, JIT AND OPT : What's Best?," Production and Inventory Management, 2nd Quarter, pp22-29, 1986
- [13] Ramsay, M. L., Brown, S. and Tabizadeh, T., "Push, pull and squeeze shop floor control with computer simulation," Industrial Engineering, Feb, pp39-45, 1990
- [14] Rees, L. P., Huang, P. Y. and Taylor III, B. W., "A comparative Analysis of an MRP lot-for-lot system and a Kanban system for a multistage production operation", International Journal of Production Research, Vol. 27, No. 8, pp1427-1443, 1989
- [15] Sarker, B. R. and Fitzsimmons, J. A., "The Performance of push and pull system : a simulation and comparative study," International Journal of Production Research, Vol. 27, No. 10, pp1715-1731, 1989
- [16] Spearman, M. L., Woodruff, D. L. and Hopp, W. J., "CONWIP : a pull alternative to kanban," International Journal of Production Research, Vol. 28, No. 5, pp879-894, 1990
- [17] Woodgate, H. S., "MRP III - Material Flow Control in JIT Manufacturing," SME International Conference and Exposition, 1989
- [18] Yoshikawa, H. and Burgidge, J. L. (Editors), New Technologies for Production Management Systems, Proceedings of the IFIP TC 5/WG 5.7 Working Conference, 1986