

생산평준화에 관한 연구(Ⅱ) A study on the Smoothed Production(Ⅱ)

김 학 철 *
Kim, Hak-Cheol
송 수 정 **
Song, Soo-Jeong
김 태 호 ***
Kim, Tea-Ho
나 승 훈 ***
La, Seung-Houn
강 경 식 ****
Kang, Kyung-Sik

Abstract

Applying JIT(Just-In-Time) production system to strength competitiveness power and renovate management has problems. This study is proposed to solve one of the problems, that mother company has different production system with subcontractor, in order to connect production system of mother company with subcontractor. In the view of the Pull System, production system of mother company, it is possible that the more smoothed production planning is established by developing the algorithm the smoothed production planning preserving the LOT production system and comparing the existing research. Also, in the view of subcontractor taking Push System, the possibility of keeping delivery and improving productivity is proved using simulation technique by changing Job shop to GT Cell production system because demand is fluctuating.

1. 서론

JIT란 모든 제조공정에서 “필요한 제품을, 필요한 시기에, 필요한 수량만큼 생산”함으로써 과잉생산, 과잉재고 등과 같은 낭비를 제거하여 원가절감을 통해 이익을 실현하는 새로운 생산 방식을 의미한다. JIT 생산방식의 특징은 선행공정에서 후속공정으로 부품을 공급하는 일반적인 ‘PUSH SYSTEM’과는 다르게 후속공정에서 선행공정으로 필요한 부품을 인수해 가는 ‘PULL SYSTEM’으로 생산을 운영한다는 점이며, 이를 위해서는 소로트 크기의 평준화생산이 전제조건이다. 그러나 JIT를 도입하고 있는 국내 기업들의 생산 평준화 수준은 낮은 상태이므로 한 제품을 생산하는데 있어서도 매일의 생산량의 변동폭이 크다는 것이다. 그러므로 PULL

* 현대정보기술주식회사

** 명지대학교 산업공학과 박사과정

*** 명지전문대학 공업경영학과

**** 명지대학교 산업공학과

방식으로 운영되는 모기업뿐만 아니라 그와 관련된 협력업체들은 항상 상당한 양의 재고를 유지해야 한다. 그래서 생산평준화에 관한 연구(Ⅰ)에서는 모기업에 초점을 두고 현실적인 로트 크기에 맞는 평준화생산계획 수립 방법을 개발하였다.⁷⁾ 그러나 JIT를 적용하는데 있어서 나타나는 또 하나의 문제점은 바로 모기업과 협력업체간의 생산시스템의 차이에서 기인되고 있다. 즉, 모기업은 Pull System인 JIT 생산방식을 적용하고 있으나 협력업체에서는 여전히 기존의 Push System을 유지하고 있다는 점이다. 그러므로 협력업체의 측면에서는 모기업이 완벽한 평준화된 생산계획을 수립하였다 하더라도 수요의 변동에 대응하기 위한 계획의 수정은 불가능하다. 또한 JIT를 도입하는 과정에 있어서는 생산량의 변동폭이 JIT에서 요구하는 수준보다 높을 수 있다. 그러므로 협력업체에서는 기존의 JobShop 시스템으로는 이러한 변동폭에 대응할 수 없으며 항상 납기 지연을 발생시키거나 잦은 잔업사태를 초래한다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 생산시스템 자체를 개선할 필요가 요구되며, 그 중의 한가지 사고방법인 Group Technology를 적용하여 생산 시스템을 GT Cell화 하는 것이다. GT의 장점은 다품종소량생산에 있어서 대량생산과 같은 생산성을 유지할 수 있다는 점이다. 본 연구에서는 GT에 대한 해법들 중에서 Cluster 분석 방법중의 하나인 Matrix Formulation 방법을 적용하여 그룹화된 Cell을 구성하고, 이러한 GT Cell로의 전환이 가져오는 효율성을 증명하기 위하여 Simulation 기법을 적용하였다. 즉, Simulation을 통하여 생산량의 변동폭이 변함에 따라 기존의 시스템과 GT Cell 시스템중 어느 시스템의 적응성이 높은지를 평균체류시간(MFT : Mean Flow Time), 재공재고(WIP), 기계효율(MU : Machine Utilization), 작업준비교체 횟수 등의 평가기준(Performance Measure)을 토대로 비교 분석한다. 본 연구에서 이용한 Simulation Software는 이산생산 시스템의 분석과 설계에 범용적으로 사용되는 SIMAN V를 활용한다.³⁾⁶⁾¹¹⁾

2. 이론적 고찰

2.1 Group Technology의 개념

생산현장에서 Group Technology의 효과적인 적용을 위해 부품군(Part Family)과 기계군(Machine Cell)을 형성하는 것은 중요하다. 부품군은 어떤 특정한 유사성 즉, 각 부품을 대상으로 가공순서, 기하학적 형태, 크기, 소요공구, 재질 등이 유사한 부품들을 모아놓은 집합이고, 기계군이란 것은 부품군을 가공하기 위해 임의의 장소에 함께 배치되는 기계들의 집합이라 할 수 있다. 상호 관련성이 있는 부품들을 부품군으로 그룹화하는 문제는 GT에서 핵심적인 요소이며, 부품군의 형성에 있어서 최적의 작업순서와 기계부하에 대한 일정계획을 위해서 로트크기, 생산주기, 가공시간, 연간 생산계획 등의 생산 데이터를 고려하는 것이 중요하다.¹²⁾ 생산에서 합리화와 최적화는 생산성 향상과 생산비 절감에 그 목적이 있다. 경제성장과 더불어 사회가 풍요해짐으로써 다양한 종류의 제품수요가 증대됨과 동시에 제품의 수명 주기가 짧아져 가는 경향으로 인해서, 제품의 생산형태가 대량생산에서 다품종 소량생산으로 옮겨가고 있다. 따라서 생산성의 향상과 원가 절감을 실현시키고 위해서는 가공뿐만 아니라 설계의 단계를 포함한 관리기법이 요구되어 왔으며 이러한 기법의 체계가 그룹테크놀로지(Group Technology : GT)이다. GT는 소련의 S.P.Mitrofanvo에 의해 만들어진 용어이며 동구, 서구, 일본, 미국 등 여러 나라에서 부품군 생산(Part Family Production), Part Family Manufacturing, Family Planning, Family Grouping이라 불리어지고 있다. GT는 가공하는 부품 중에서 형상, 크기, 재질, 가공공정등 유사한 가공물들을 체계적으로 그룹화하여 생산성향상과 원가절감을 실현시키기 위한 관리기법을 의미한다. 또한 V.B.Solaja는 '많은 문제들이 유사성을 갖고 있으며 이러한 유사성을 모은 집합에서 단일 해를 얻을 수 있고 그렇게 함으로서 시간과 노력을 절감 할 수 있다는 것에 대한 실현이다' 라고 정의하였으며 T.J.Grayson은 협의의 뜻으로 '부품들을 그룹

별로 분류하고 각 그룹에 동일한 기술을 사용하여 부품을 생산하는 방법이다' 라고 하였다. GT는 제품설계, 공정계획, 생산일정계획, 설비배치 계획 등의 분야에 적용되어 왔으며, 이 기법을 생산업체에 응용함으로써 비효율적인 설계과정의 합리화와 신속한 설계자료의 추출을 기대할 수 있다. 뿐만 아니라 자재의 흐름체계를 단순화하여 생산관리의 용역, 자재운반의 단순화 및 운반비용의 절감, 생산기간의 단축, 재공품의 절감 등을 가능하게 한다. 결과적으로, 작업자당 생산량 증가, 재고수준의 저하, 납기지연사례의 감소 및 판매량 증가 등의 경제적 이익을 가져오게 한다. 결국 GT는 다품종 소량생산에서 발생하는 비경제성을 해소하기 위하여 유사성을 근거로 그룹화함으로써 이를 동일시하고 이를 이용하려는 원리 및 수법의 체계가 GT의 개념이라 하겠다.

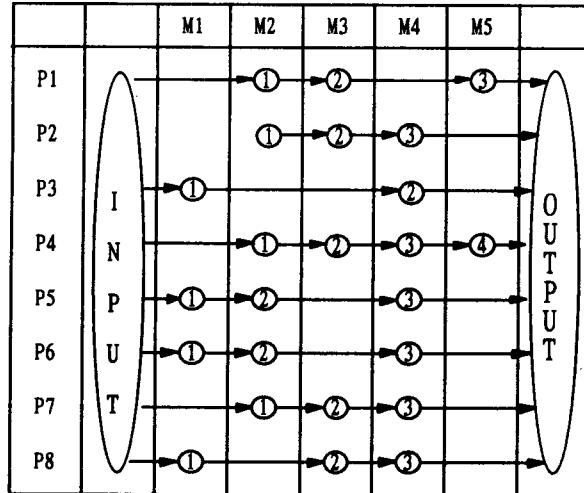
2.2 연구동향

GT 문제를 해결하기 위한 방법은 크게 분류(Classification) 방법과 Cluster 분석 방법이 있으며 이에 관련된 연구들을 살펴보면 다음과 같다. McAuley(1972)는 두 기계 사이의 유사성계수(Similarity Coefficient)에 기초를 두고 Single Linkage Cluster Analysis(SLCA)를 개발하였으나, SLCA의 단점은 bottleneck machine의 인식이 불가능하다는 점이다. SLCA의 단점을 개선하기 위하여 Seifoddini와 Wolfe(1986)는 Average Linkage Clustering(ALC) 알고리즘을 개발하였다. De Witte(1980)는 그룹화할 기계들을 중요도에 따라 3가지로 분류하고 이 각각의 분류된 기계들에 대하여 상이한 Similarity Measure를 적용하는 알고리즘을 개발하였다. King(1980)은 기계-부품 행렬식의 각 행과 열에 대하여 Sorting을 함으로서 Clustering을 하는 Rank Order Clustering(ROC) 기법을 소개하였다.⁵⁾ ROC 해법의 단점은 부품과 기계의 수가 많은 경우에는 입력행렬상의 각 행과 열을 정렬하는데 있어 과도한 계산이 요구된다는 점이다. Chan과 Milner(1982)는 또 다른 Sorting에 기초를 두고 새로운 알고리즘인 Direct Cluster Algorithm(DCA)을 발표하였다. McCormick, Schweizer와 White(1972)는 Bond-Energy Algorithm(BEA)을 개발하였는데 BEA는 행과 열에 대하여 Measure of Effectiveness(ME)를 적용하여 clustering을 한다. Askin과 Subramanian(1987)은 기계 가공시의 고정비 및 변동비, 작업 준비비, 재공재고비 등과 같은 제조 비용을 고려한 알고리즘인 Cost-based Method를 개발하였다. Kusiak과 Chow(1987)는 기계-부품의 행렬식에서 완벽한 그룹화가 가능한지를 인식할 수 있는 Clustering Algorithm(CI)을 개발하였다. CI 알고리즘은 Bhat와 Haupt (1976)에 의해 개발된 알고리즘과 비교해서 계산절차가 단순하고 계산시간이 크게 단축된다는 장점을 갖고 있다. 최근에는 전문가시스템(Expert System)을 이용하여 부품 및 기계들을 그룹화하는 해법이 Kusiak, Chow(1987)에 의해 제안되었는데 이 해법의 장점은 적은 계산량으로 상호 독립적인 그룹을 형성하지만 예외 요소가 존재할 경우 기대 이상의 비대한 단위그룹을 형성하는 단점이 있다.⁸⁾

3. 수치예제

3.1 모델의 설정

- 1) 기계는 상이한 작업을 수행하는 5종류의 기계(M1, M2, M3, M4, M5)로 구분되며 각 기계종류는 동일작업을 수행하는 동종의 기계들을 각각 1, 3, 2, 3, 1대씩 가지고 있다.
- 2) 생산하고자 하는 총 부품의 종류는 8가지(P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8)로 분류된다.
- 3) 각 부품의 가공조건은 다음과 같다.



[그림 3-1] 각 부품의 가공경로

- 4) 각 기계의 가공시간은 M1 기계는 1.5(분), M2-M5 기계는 4(분)이다.
- 5) 가공되는 부품의 변경에 따른 각 기계의 작업준비교체시간(Set-up Time)은 동일하게 2(분)이다.
- 6) 각 부품의 하루 평균생산량은 다음과 같다.

부품(P)	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
평균생산량	50	45	20	25	40	30	30	10

3.2 GT 셀(cell) 구성

Matrix Formulation의 한 방법인 DOC(Rank-Order Clustering) Algorithm을 이용하여 기계-부품간의 Grouping을 해결한다.

최초 입력행렬표는 다음의 [그림 3-2]와 같이 나타낼 수 있다.

		부 품 (j)							
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
기 계 (i)	M1(1)	0	0	1	0	1	1	0	1
	M2(3)	1	1	0	1	1	1	1	0
	M3(2)	1	1	0	1	0	0	1	1
	M4(3)	1	1	1	1	1	1	1	1
	M5(1)	0	0	0	1	0	0	0	0

- i : 기계의 종류 (i = 1, 2, 3, 4)
- j : 부품의 종류 (j = 1, 2, 3, 4, 5)
- "1" : 부품 j 의 가공시 기계 i 의 사용
- "0" : 부품 j 의 가공시 기계 i 의 미사용

() : 각 기계의 대수

[그림 3-2] 기계-부품의 초기 입력행렬표

Algorithm을 적용하여 기계-부품간의 Grouping을 한 결과는 [그림 3-3]과 같다.

		부 품 (j)							
		P4	P1	P2	P7	P8	P5	P6	P3
기 계 (i)	M2(1)	1	1	0	0	0	0	0	0
	M3(1)	1	1	0	0	0	0	0	0
	M4(1)	1	1	0	0	0	0	0	0
	M5(1)	1	0	0	0	0	0	0	0
	M3(1)	0	0	1	1	1	0	0	0
	M4(1)	0	0	1	1	1	0	0	0
	M2(1)	0	0	1	1	0	0	0	0
	M1(1)	0	0	0	0	1	1	1	1
	M4(1)	0	0	0	0	0	1	1	1
	M2(1)	0	0	0	0	0	1	1	0

[그림 3-3] Grouping 결과

위의 [그림 3-3]에서 각 기계 및 부품들은 세개의 기계군(MCs : Machine Cells)과 부품군(PFs : Part Families) 및 Cell간을 이동하는 하나의 부품으로 가시화된다.

즉, Machine Cells 는

$$MC-1 = \{ M2(1), M3(1), M4(1), M5(1) \},$$

$$MC-2 = \{ M2(1), M3(1), M4(1) \},$$

$$MC-3 = \{ M1(1), M2(1), M4(1) \}$$

Part Families 는

$$PF-1 = \{ P1, P4 \},$$

$$PF-2 = \{ P2, P7 \},$$

$$PF-3 = \{ P3, P5, P6 \}$$

Cell간을 이동하는 부품은 { P8 } 이 된다.

3.3 Simulation 개요

시뮬레이션 언어들 중의 하나인 SIMAN V를 이용하여 JOB SHOP생산과 GT CELL생산 중 어느 방식의 생산시스템이 수요(주문)의 변동폭이 변해감(증가함)에 따라 효율적인가를 비교 분석한다.

3.3.1 전제조건

- 1) 기계는 고장이 없다
- 2) buffer의 용량은 무한하다.
- 3) 제품의 운반은 개별적으로 한다.
- 4) 가공순서는 이미 알고 있다.
- 5) 부품 가공의 우선순위규칙은 FIFO(First In First Out) Rule을 이용한다.

3.3.2 평가기준과 제어변수

1) 평가기준(Performance Measure)

- (1) 부품(제품) 1개당 평균채류시간 (MFT : Mean FlowTime)
- (2) 시스템내의 평균 재공재고 (WIP : Work-In-Process)
- (3) 기계의 평균 가동률 (MU : Machine Utilization)
- (4) 작업준비교체 횟수

MFT 및 작업준비교체 횟수는 생산시스템의 전반적인 성능 판단 및 생산의 lead time 을 평가하는 기준이 되며, WIP는 부품 가공에 따른 애로공정을 확인하고 buffer의 용량을 파악 또는 결정하는데 도움이 된다. 또한 MU는 설비의 효율성을 판단하는 자료로 이용된다.

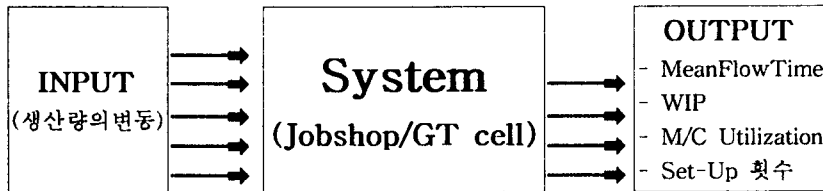
2) 제어변수

두 생산 시스템의 비교 평가를 위한 제어 변수로는 각 부품의 생산에 있어서 생산량의 변동폭을 이용한다. 생산량의 변동은 바로 생산의 평준화와 같은 의미로 해석할 수 있다. 본 연구에서는 부품의 생산량이 정규분포를 따른다는 가정하에, 부품의 생산량 변동에 대한 다양한 실험데이터를 얻기 위하여 생산량의 변동을 측정하는 기준으로 변동계수(CV : Coefficient Variance)를 이용하여 위의 평가기준에 관해 두 생산형태를 비교, 분석한다.

$$CV(\text{변동계수}) = \frac{\text{표준편차}}{\text{평균생산량}}$$

즉, 각 부품의 평균생산량은 고정시키고, 각 부품의 평균생산량의 편차를 10%씩 증가시키는 방법을 이용함으로써 CV가 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5 으로 크게 변화도록 하였다.

[그림 3-4]는 시뮬레이션 체계에 대한 개요를 나타낸 것이다.

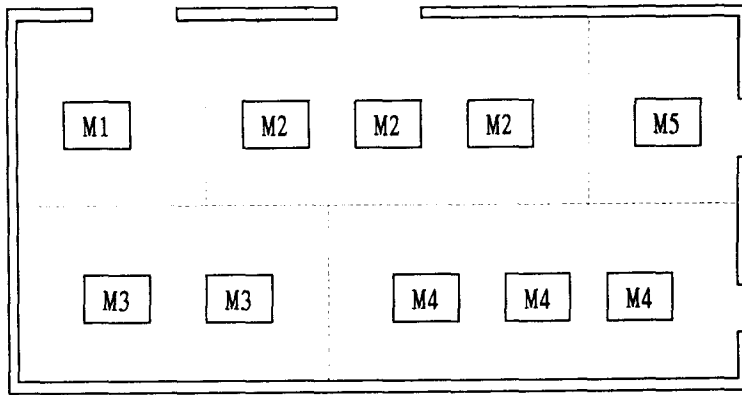


[그림 3-4] 시뮬레이션의 개요

3.4 시뮬레이션 모델의 구성

3.4.1 JobShop 생산모델

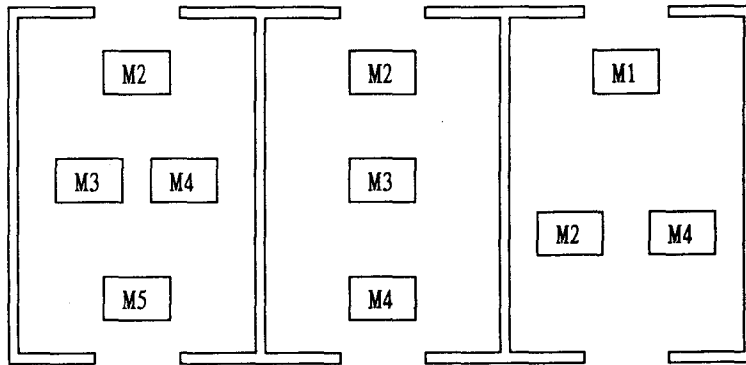
다음의 기계배치 형태는 [그림 3-1]의 각 부품의 가공경로를 기초로 하여 부품의 흐름이 유효적으로 될 수 있도록 각 기계들을 배치한 것이다. 즉, 작업장간을 이동하는 부품의 종류 및 수량에 기초를 두고 상호간의 운반거리를 가능한 한 최소화하도록 작업장을 [그림3-5]와 같이 배치하였다.



[그림 3-5] Jobshop 생산 형태

3.4.2 GT cell 생산모델

GT clustering 기법을 적용하여 구성한 Machine Cell과 유사 가공 부품군 정보를 이용하여 총 3개의 셀(Cell)로 나누었으며 각 셀(Cell)내의 기계배치는 부품의 가공순서에 기초를 두고 행하였다. [그림 3-6]은 GT cell 생산배치를 나타낸 것이다.



[그림 3-6] GT Cell 생산 형태

3.4.3 Model Frame

여러 종류의 기계로 구성되는 두 생산시스템은 비종료시스템(Non-Terminating System)으로서 STATION Submodel을 이용하여 시뮬레이션 모델을 기술하였다. JobShop 생산에서는 동일한 기계를 하나의 작업장에 배치함으로써 총 5개의 STATION을 구성하며 GT Cell 생산에서는 동일한 기계가 서로 다른 셀내에서 작업을 수행함으로써 총 STATION의 수는 기계의 총수와 동일한 10개로 하였다. 생산의 대상이 되는 부품의 생성은 각 부품들이 동일한 CV값을 갖는 정규분포에 의하여 매일의 생산계획량을 확률적으로 발생하도록 하였다. 또한 생산지시는 하루단위로 이루어진다고 가정하여 도착시간간격은 1일 작업시간을 고려하여 480분으로 하였다.

3.4.4 Experimental Frame

시뮬레이션의 실행은 총 43000분을 실행하며 시스템의 안정상태에 도달한 시간을 고려하여 3000분은 Warming-Up Time으로 간주하였다. 생성된 각 엔티티(Entity)의 속성(Attribute)들을 나타내기 위해 JobShop에서는 3가지의 속성을, GT cell에서는 4가지의 속성을 갖도록 하였다.

[표 3-1] 속성치(Attribute)의 정의

생산시스템 구분	속성(Attribute)	정 의
JobShop/GT cell 공 통	JOBTYP	생성되는 각 부품의 구분
	TIMEIN	생성된 엔터티가 시스템에 들어온 시각
	M_TIME	각 부품이 STATION간을 이동하는 시간
GT cell	OPTIME	각 기계에서의 가공시간

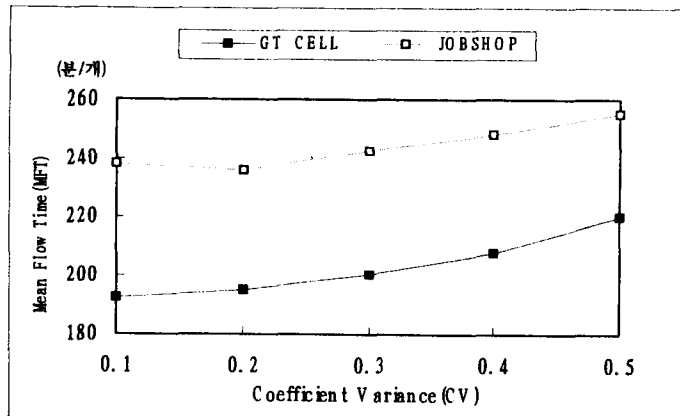
3.5 시뮬레이션 결과 분석

시뮬레이션을 통하여 나타난 결과를 정리하면 [표 3-2]와 같다.

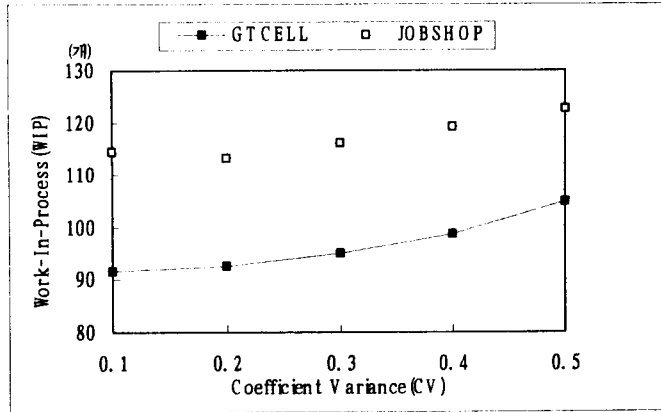
[표 3-2] 시뮬레이션 결과

평가기준	생산형태	CV=0.1	CV=0.2	CV=0.3	CV=0.4	CV=0.5
MFT (분/개)	GT CELL	192.4	195.1	200.3	207.8	219.8
	JOBSHOP	237.9	235.7	242.3	248.3	255.0
WIP (개)	GT CELL	91.5	92.6	95.1	98.8	104.9
	JOBSHOP	114.5	113.2	116.1	119.2	122.6
M/C Util. (%)	GT CELL	58.6	58.5	58.3	58.2	58.1
	JOBSHOP	61.5	61.4	61.5	61.5	61.3
No.SetUp (회/일)	GT CELL	44.8	45.8	45.2	44.0	44.1
	JOBSHOP	117.1	114.3	122.0	122.9	119.7

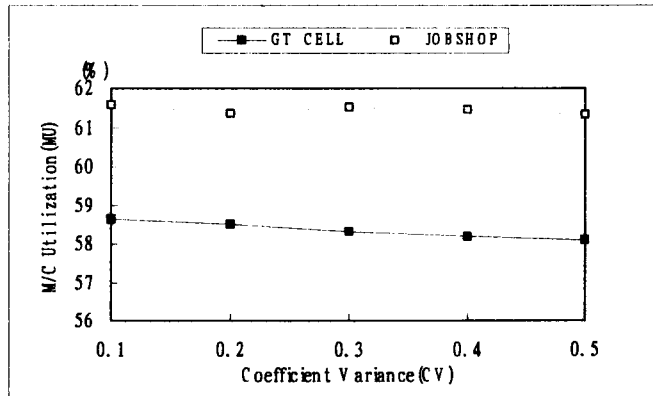
다음은 위의 결과를 각 평가기준별로 나누어 도식화한 것이다.



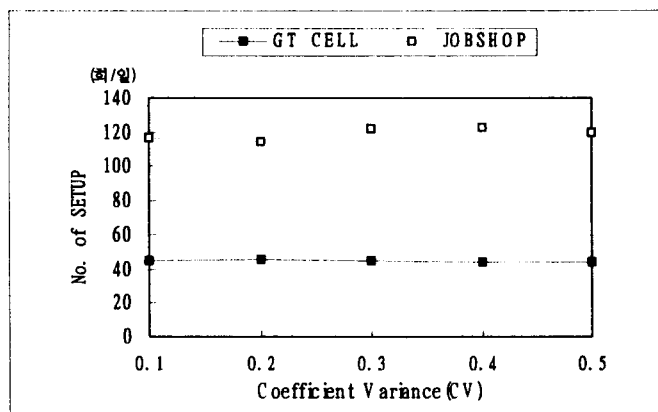
[그림 3-7] 생산량의 변동과 생산리드타임과의 관계



[그림 3-8] 생산량의 변동과 재공재고와의 관계



[그림 3-9] 생산량의 변동과 기계효율과의 관계



[그림 3-10] 생산량의 변동과 Set-up 횟수와의 관계

시뮬레이션을 통하여 두 시스템을 평가한 결과 Machine Utilization을 제외한 모든 평가기준에 대하여 전반적으로 GT Cell 생산이 JobShop 생산보다 우수하게 나타남을 알 수 있다. 그 결과를 정리하면 다음과 같다.

- 1) 생산되는 부품의 개당 Mean Flow Time과 시스템내의 평균 재공재고(WIP)는 CV가 커짐에 따라 두 생산시스템 모두 전반적으로 증가하고 있음을 알 수 있다. 즉, 생산량의 변동폭이 커짐에 따라 부품의 생산리드타임 및 WIP는 영향을 받는다고 할 수 있다. 그러나 이러한 영향에도 불구하고 GT Cell 생산이 JobShop 생산보다 전체적으로 우수한 결과를 나타내고 있다.
- 2) 기계의 효율적인 측면에서는 JobShop 생산이 GT Cell 생산보다 CV의 변동에 상관없이 우수하게 나타나고 있다. 이것은 JobShop 생산이 GT Cell 생산보다 시스템내에 보유하고 있는 평균재고가 상대적으로 많으므로 기인되고 있다. 즉, 재공재고와 기계효율과의 관계는 상호 비례적임을 확인할 수 있다.
- 3) 부품의 교체에 따른 기계의 작업준비교체 횟수는 두 생산시스템 모두 CV값에 거의 영향을 받지않는 것으로 나타나고 있으며, Setup 횟수는 GT Cell생산이 JobShop생산에 비하여 1/3정도로 작아지는 결과를 볼 수 있다. 이것은 JobShop과 GT Cell의 생산배치형태에서 기인된다고 할 수 있다. 또한 작업준비교체 횟수는 두 시스템에 상당한 영향을 미치는 요소로서 부품의 재공재고 및 생산의 리드타임에 영향을 주는 결과를 가져온다고 할 수 있다.

4 결론 및 제언

본 연구에서는 국내 기업들의 경쟁력 향상 및 경영혁신의 수단으로 도입하고 있는 JIT생산 방식을 적용하면서 표출되는 문제점을 해결하는 방법을 제시하였다. 본 논문에서는 협력업체의 입장에서 수요의 변동은 안정적인 수만은 없으므로 변화하는 생산량의 변동에 적극적으로 대처하는 수단으로서 기존의 JobShop 생산방식을 GT Cell로 전환함으로써 생산성의 향상 및 시기 적절한 납기 준수가 가능하도록 하였으며 이를 Simulation기법을 이용하여 증명하였다. 본 연구의 특징은 기존의 JIT에 관한 연구들과는 다르게 서로 상이한 시스템을 유지하면서 생산 활동을 하고 있는 Pull System의 모기업적 측면과 Push System의 협력업체 측면을 모두 고려함으로써 상호 유기적인 통합을 유도하였다는 점과 국내의 JIT 도입에 있어서의 현실적인 문제 해결에 중점을 두었다는 점이다. 차후 연구과제로는 본 논문에서 제안한 평균화생산계획 수립 방법의 전제조건인 각 제품간의 로트크기를 같다고 한 가정을 해결 할 수 있는 새로운 생산계획 수립방법의 개발이 요구되며, GT Cell을 구축하는데 있어서도 흔히 발생할 수 있는 기계 할당으로 인한 셀간의 부하가 평균화되지 않는다는 점과 각 셀내의 공정간에서도 부하의 불균형이 발생할 수 있다는 점을 고려하여 현장을 개선시키는 것이 요구된다 하겠다.

참 고 문 헌

- [1] Chao-Hsien, Chu. & Wei-Ling, Shin., "Simulation studies in JIT production", Int. J. Production Research, Vol. 30, No. 11, pp. 2573-2586, 1992.
- [2] Cheng, T. C. E. & Podolsky, S., Just-in-Time Manufacturing, Chapman & Hall, 1993.
- [3] Dennins Pegden & Robert E. Shannon & Randall P. Sadowski, Introduction to Simulation Using SIMAN, McGRAW-HILL, 1991.
- [4] De Witte, J., "The Use of Similarity Coefficients in Production Flow Analysis", Int. J. Production Research, Vol. 18, No. 4, pp. 503-514, 1980.

- [5] King, J. R., "Machine-component group formation in production flow analysis", Int. J. Production Research, Vol. 18, No. 2, pp. 213-232, 1980
- [6] Systems Modeling Corporation, SIMAN V Reference Guide, Systems Modeling Corporation, 1993.
- [7] 김학철외 2명, "생산평준화에 관한 연구(I)", 한국공업경영학회, 제18권 36집, pp219-232, 1995.
- [8] 노인규외 1명, "유연생산시스템(FMS)에서의 기계-부품그룹 형성기법", 대한산업공학회지, 제17권 1호, pp. 75-82, 1991.
- [9] 송상재외 1명, "셀생산의 효율적인 운용을 위한 시뮬레이션 연구", 대한산업공학회지, 제19권 2호, pp. 23-34, 1993.
- [10] 송한식의 1명 역, 신도요타시스템, 기아경제연구소, 1994.
- [11] 장성용, 컴퓨터 시뮬레이션, 서울산업대학교, 1993.
- [12] 전용덕, "다작업이 가능한 기계하의 GT에 관한 연구", 한국공업경영학회지, 제16권 27집, pp. 83-89, 1993.