

불확실한 환경에서의 JIT시스템  
강건설계에 관한 연구  
- A Study on Robust Design of JIT  
System in Uncertain Environment

조 용 욱\*

Cho, Yong-Wook

박 명 규\*\*

Park Myong-Gyu

### Abstract

In this paper, under JIT kanban system designed by Moeeni, each performance measures (service level, inventory level) identify the robust optimal level at a uncertain environment, and when there are multiple performance characteristics, it propose the optimal design-method and the optimal level decision-method, which consider multiple performance characteristics.

### 1. 서론

대부분의 국내 제조 회사들은 외국과의 경쟁에 직면해 있고 전통적인 제조 개념과 기술은 세계시장환경의 수요에 미치지 못하고 있다. Just-In-Time은 전통적인 제조개념과 기술보다 월등히 뛰어남을 알 수 있다. JIT 생산방식에서 자재를 인수(pull)하는데 이용되는 정보 혹은 신호 시스템은 일반적으로 간판이라 말할 수 있다. 간판시스템은 과잉 생산과 과잉 재고의 낭비를 방지하기 위해 JIT를 도입한 회사에서의 재고수준과 생산시간을 일정하게 해준다. 하지만 JIT시스템을 운용하는 회사들은 불확실한

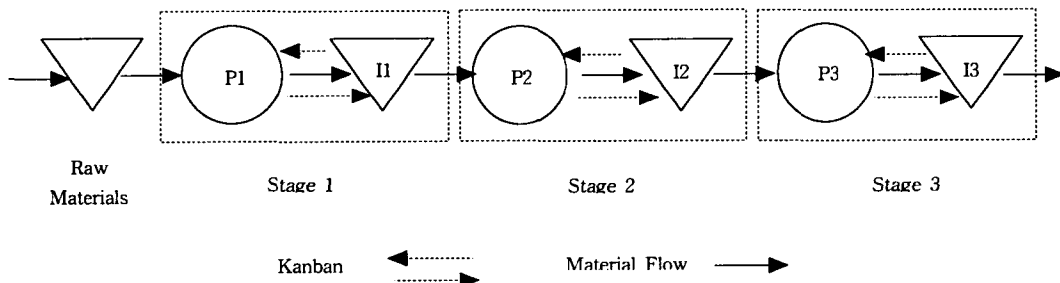
\* 명지대학교 산업기술연구소 전임 연구원

\*\* 명지대학교 산업공학과

제조환경으로 인해 큰 성공을 거두지 못하였다. 특히 간판 pull 시스템의 수행에 있어 불확실한 환경에 따른 불리한 영향은 Huang, Rees, Taylor[3], Lee, Seah[6], Philipoom, Rees, Taylor, Huang[8], Tang[9], Krajewski, King, Ritzman, Wong[5]에 의해 연구되었다. 간판시스템은 안정된 제조환경에서 효과적으로 운용되지만 불확실한 환경 하에서는 적합하지 않다. 제조환경을 안정시키고 불확실성을 제거하는 것은 많은 비용과 오랜 시간이 걸리거나 불가능한 것이기 때문에 간판시스템을 불확실한 제조환경에서 강건하게 수행하게 설계하는 것이 더 낫다고 볼 수 있다. 강건(robust)이라는 말은 제품의 평가 특성이 제조와 운영환경의 변화에 둔감한 것을 의미한다. 다구찌는 강건한 제품 설계의 개발이 제조 변동의 원인을 제거 하는 것보다 비용이 적게 든다는 것을 발견하였다.[4] 이것은 제품 품질의 개선과 제조 비용의 감소를 동시에 가능하게 할 수 있다. 다구찌의 강건설계 방법의 중요한 구성요소로 크게 두 가지 인자, 즉 파라미터와 잡음인자로 구분할 수 있다. 파라미터는 제품의 설계자에 의해 제어될 수 있는 변수들이다. 잡음인자는 쉽게 제어 할 수 없거나 제어하는데 고가의 비용이 드는 변수이다. 이에 Moeeni은 강건설계의 개념을 JIT간판 시스템에 도입하여 간판시스템에서 성능특성치(service level, inventory level)가 제조환경의 잡음(기계고장, 불량률, 변화하기 쉬운 가공시간, 수요크기)에 둔감한 파라미터(간판의 개수, 콘테이너크기, 간판사이클타임)을 설계하는 방법을 제안하였다[2]. 하지만 그의 논문에서는 각각의 성능특성치에 있어서 유의한 영향을 주는 파라미터의 확인 및 유의한 파라미터의 최적수준을 제시하지 못하였고 또한 성능특성치가 다수일 때 다특성치를 고려한 최적수준을 제시하지 못하였다. 이에 본 논문에서는 Moeeni가 설계한 조건하에서의 각각의 성능특성치가 잡음에 둔감한 파라미터의 최적수준을 확인하고 또한 성능 특성치가 다수일 때 다특성치를 고려한 최적설계방법과 각 특성치의 상대적인 중요도 차이에 따른 최적수준 결정방법을 제시하고자한다.

## 2. 간판시스템 설계

연속적인 3개의 공정을 가진 제조 공장과 단일 간판 정기 인수 간판 시스템을 가정하였다.



[그림2-1] 간판시스템의 생산흐름

단순하고 분명하게 하기 위해 오직 하나의 생산 품목이 고려되어 진다. [그림2-1]은 제조 모델의 생산흐름을 보여 준다. 투입 원자재 혹은 공급자로부터 조달된 부품은 3

개의 공정의 제조 셀에 들어간다. 간판의 운영은 3개의 제조 공정(stage)과 이어져 있고 조립된 제품은 최종공정(stage 3)의 셀을 나가게 된다.

### 2-1. 성능특성치의 선택 및 목표치의 결정

JIT간판시스템에서 성능 특성은 최종제품의 재고 수준, 작업장 사이의 재고 수준, 납기일 준수, 작업장의 이용률, 작업자 이용률, 불량률, 생산 품질 등등 여러 가지가 있지만 모든 성능 특성을 동시에 고려하는 것은 불가능하다. 그 중에서도 재고 수준과 고객 서비스가 가장 바람직한 성능 특성으로 알려져 있다. 그래서 간판 시스템의 평가를 측정하기 위해 재고 수준과 고객 서비스를 이용한다. 첫째로는 서비스 수준은 1일 평균 재고 부족에 의해 측정한다. 두 번째로는 재고 수준은 단위 공정당 공정 사이의 1일 평균 재고 재고에 의해 측정한다. 이상적인 재고 시스템은 생산과잉 재고 없이 정시에 수요를 만족 시켜야 하기 때문에 서비스 수준을 위한 목표치 및 재고수준의 목표치는 0이다. 두 개의 성능특성치중에서 주된 성능 특성은 1일 평균 back order 수에 의해 측정되는 서비스 수준이다. 그 이유는 이상적인 JIT 시스템은 적시에 수요를 만족해야 하기 때문이다. 두 번째 평가 특성은 단위 작업장당 1일 평균 재고재고에 의해 측정되어지는 재고 수준이다. 재고 수준을 두 번째 평가 척도로 고려하는 이유는 서비스 수준과 같은 다른 평가 척도의 고려 없이 재고 수준만을 최소화시키는 것은 합리적이지 못하기 때문이다.

### 2-2. 손실함수 규정

최종고객의 만족도를 결정하기 위해서 성능특성치에 대한 목표치를 규정해야한다. 성능특성치와 목표치와의 관계는 3가지 형태, 즉 망대특성치, 망소특성치, 망목특성치중에 하나로 표현된다. 하지만 이상적인 JIT생산시스템은 재고의 초과생산 없이 정시에 수요를 만족시켜야하기 때문에 service level과 inventory level의 목표치가 0인 망소특성치로 표현된다. 다구찌의 SN비를 포함하여 몇몇의 손실함수가 이용된다. 목표치 m 으로부터 작은 편차는 작은 손실을 초래하고 반면에 목표치 m으로 부터 큰 편차는 극도로 큰 손실을 초래한다. 그러므로 파라미터 설계에서 손실은 잡음에 의해 원인이 되는 변동의 대부분의 전달을 방지함으로써 줄일 수 있고 그렇지 못하면 손실은 커진다. 특정한 목표치가 주어진 경우의 기대손실은 다음과 같이 쓰여질 수 있다.[4]

$$L = E[L(y)] = E[K(y-m)^2] = k[\sigma^2 + (\mu - m)^2] \tag{1}$$

단, E는 기대값을 나타내며  $\sigma^2$ 은 y의 분산이고  $\mu$ 는 y의 평균이다. 또한 k는 손실을 화폐단위로 환산해주는 상수로서 주어진 y값에서 L(y)값을 알 수 있다면 구할 수 있다.

### 2-3. 인자의 확인 및 시뮬레이션 결과

이 단계에서는 간판 시스템에 영향을 미치는 파라미터와 잡음인자를 확인할 필요가 있다. 환경적 잡음인자를 Moeeni에서와 같이 3개 stage를 가진 제조 시스템을 위한 6

개의 범주 안에 34개의 다른 환경적 잡음 인자를 선택하였다[2]. 6개의 범주는 [표 2-1]과 같다.

[표 2-1] 잡음인자의 변동범위

인 자	범 위	인 자	범 위
수요의 크기		고장간격 시간	
분포	정규분포	stage 1 분포	정규분포/지수분포
1일 수요 평균	70-80 unit	stage 2 분포	정규분포/지수분포
1일 수요 분산	4-190	stage 3 분포	정규분포/지수분포
공급자 특성		stage 1 평균	38400-76800
분포	정규분포	stage 2 평균	38400-76800
리드타임 평균	6000-18000	stage 3 평균	38400-76800
리드타임 분산	176400-2250000	stage 1 분산	14745600-60840000
준비 시간		stage 2 분산	14745600-60840000
stage1	3-30 분	stage 3 분산	14745600-60840000
stage2	3-30 분	수리 시간	
stage 3	3-30 분	stage 1 분포	정규분포/지수분포
가공시간		stage 2 분포	정규분포/지수분포
stage 1 분포	정규분포/지수분포	stage 3 분포	정규분포/지수분포
stage 2 분포	정규분포/지수분포	stage 1 평균	420-540
stage 3 분포	정규분포/지수분포	stage 2 평균	420-540
stage 1 평균	2-4 분	stage 3 평균	420-540
stage 2 평균	2-4 분	stage 1 분산	3600-11024
stage 3 평균	2-4 분	stage 2 분산	3600-11024
stage 1 분산	0.04-0.16	stage 3 분산	3600-11024
stage 2 분산	0.04-0.16		
stage 3 분산	0.04-0.16		

단일 간판 시스템의 파라미터는 7개의 제어 가능한 설계 파라미터로 구성된다. 즉 컨테이너 크기를 위한 하나의 파라미터와 3개의 stage에 대한 각각의 간판의 수(혹은 컨테이너의 수), 간판 사이클 타임(생산 주문이 되어 간판이 분리되는 시간의 길이)으로 구성된다[표 2-2]. 각각의 범위는 잡음공간안에서 탐색되어진다. 가공 시간과 준비 시간에 의거하여 모델을 위한 합리적인 최소 컨테이너크기로 10을 선택한다. 최대 컨테이너 크기는 실제 제조 현장에서 기술적이고 경제적인 고려 뿐만 아니라 제조의 요구 사항에 의거해서 정해지지만 여기서는 최소크기의 2배(20)로 정한다. 최대 간판 사이클타임은 480분으로 정한다. 왜냐하면 하루 보다 더 긴 간판 리드 타임은 비합리적으로 보이기 때문이다. 이 상황에서 생산 지시를 내리는 분리된 간판은 다음날 초에 다시 순환되어진다. 최소 간판 사이클 타임은 0으로 정한다. 그것은 간판의 분리가 즉시 생산 주문이 되는 것을 뜻하는 것으로 정량 발주형 재고 시스템과 일치한다. 컨테이너 크기와 간판의 사이클 타임이 정해진 후에 Moeni와 Chang에 의해 개발된 최소 간판의 수를 계산하는 방법을 이용하여 stage 1(최종 공정)을 위한 간판의 수는 15로 정한다[7]. 또한 잠재적인 값의 범위를 포함하기 위해 간판의 수의 high setting은 low setting의 대략 30%이상 정한다. Moeni에 의해 제안된 방법을 SIGMA(Simulation Graphical Modeling and Analysis)[2]를 이용하여 시뮬레이션 결과는 [표 2-3]과 같다. 7개의 파라미터의 2수준 일부 실시법을 이용하여 각각의 반복을

[표 2-2] 파라미터의 탐색범위

번호	인자	정의	범위
1	A	stage1에서의 간판의수	15-19
2	B	stage2에서의 간판의수	15-19
3	C	stage3에서의 간판의수	15-19
4	D	stage1에서의 간판 사이클타임	0-480분
5	E	stage2에서의 간판 사이클타임	0-480분
6	F	stage3에서의 간판 사이클타임	0-480분
7	G	컨테이너 크기	10-20개

위해 64회의 수행(run)을 하였다. 예를 들어 설계 1(15 15 15 0 0 0 20)은 3개의 stage를 위한 간판의 수15, 간판 사이클 타임 0, 컨테이너 크기 20을 뜻한다. 또한 Shruben과 Cgiano에 의한 주파수 영역분석을 통해 각각 잡음인자는 모든 시물레이션이 수행되는 동안에 high value와 low value사이에서 유일한 주파수의 cosin곡선으로 변한다.[2] [표 2-3]은 각 설계배치에서의 평균과, 분산, 손실함수, SN비를 나타내었고 각 성능특성치에서의 상대순위도 제시하였다.

[표 2-3] 실험설계와 시물레이션 결과

설계	파라미터 값							Service level(m = 0)					Inventory level (m = 0)				
	A	B	C	D	E	F	G	평균	분산	기대손실	SN비	순위	평균	분산	기대손실	SN비	순위
1	15	15	15	0	0	0	20	0.07	10.92	10.92	-10.38	12	268.3	241.12	72226	-48.59	39
2	19	15	15	0	0	0	10	2.03	380.97	385.09	-25.86	42	125.8	273.24	16099	-42.07	30
3	15	19	15	0	0	0	10	1.97	473.44	477.32	-26.79	45	125.7	280.64	16081	-42.06	29
4	19	19	15	0	0	0	20	0.07	9.28	9.28	-9.68	9	321.6	240.20	103667	-50.16	61
5	15	15	19	0	0	0	10	1.33	227.86	229.63	-23.61	34	125.6	298.81	16049	-42.05	28
6	19	15	19	0	0	0	20	0.01	0.83	0.83	0.81	1	321.6	239.05	103666	-50.16	60
7	15	19	19	0	0	0	20	0.03	3.63	3.63	-5.60	5	321.5	248.91	103611	-50.15	59
8	19	19	19	0	0	0	10	1.06	222.06	223.18	-23.49	33	152.3	298.97	23494	-43.71	31
9	15	15	15	48C	0	0	10	3.35	518.02	529.24	-27.24	46	80.4	387.95	6852	-38.36	10
10	19	15	15	48C	0	0	20	0.09	12.06	12.07	-10.82	14	270.1	242.21	73196	-48.64	41
11	15	19	15	48C	0	0	20	0.11	22.12	22.13	-13.45	24	270.1	247.21	73201	-48.65	42
12	19	19	15	48C	0	0	10	1.67	367.57	371.37	-25.70	41	111.1	297.36	12641	-41.02	21
13	15	15	19	48C	0	0	20	0.08	14.38	14.39	-11.58	19	269.8	279.72	73072	-48.64	40
14	19	15	19	48C	0	0	10	1.38	249.25	251.15	-23.99	35	111.2	297.09	12663	-41.03	22
15	15	19	19	48C	0	0	10	1.69	280.18	283.04	-24.52	37	106.3	448.74	11748	-40.70	17
16	19	19	19	48C	0	0	20	0.02	1.78	1.78	-2.50	2	323.6	237.11	104954	-50.21	62
17	15	15	15	0	48C	0	10	9.01	1835.78	1916.96	-32.83	57	83.2	303.39	7226	-38.59	13
18	19	15	15	0	48C	0	20	0.20	45.12	45.16	-16.55	31	275.4	291.38	76137	-48.82	47
19	15	19	15	0	48C	0	20	0.15	23.98	24.00	-13.80	25	275.4	290.77	76136	-48.82	46
20	19	19	15	0	48C	0	10	2.22	399.40	403.33	-26.07	43	113.5	268.44	13151	-41.19	24
21	15	15	19	0	48C	0	20	0.04	7.07	7.07	-28.49	8	275.5	277.92	76178	-48.82	48
22	19	15	19	0	48C	0	10	3.89	594.35	609.48	-27.85	47	110.0	344.54	12445	-40.95	20
23	15	19	19	0	48C	0	10	1.68	313.52	316.34	-25.00	39	112.8	312.55	13036	-41.15	23
24	19	19	19	0	48C	0	20	0.02	2.32	2.32	-3.65	3	328.8	281.74	108391	-50.35	66
25	15	15	15	48C	48C	0	20	0.09	13.11	13.11	-11.18	16	220.0	259.42	48659	-46.87	36
26	19	15	15	48C	48C	0	10	11.17	2411.16	2535.93	-34.04	61	65.5	317.31	4874	-36.88	5
27	15	19	15	48C	48C	0	10	6.74	1493.20	1538.63	-32.87	56	66.7	372.46	4822	-36.83	4
28	19	19	15	48C	48C	0	20	0.09	13.57	13.58	-11.33	18	273.4	265.99	75014	-48.75	44
29	15	15	19	48C	48C	0	10	15.90	3293.76	3546.57	-35.50	63	59.9	512.87	4101	-36.13	2
30	19	15	19	48C	48C	0	20	0.04	6.93	6.93	-8.41	7	273.4	270.38	75018	-48.75	45
31	15	19	19	48C	48C	0	20	0.06	10.86	10.86	-10.36	11	273.1	288.67	74872	-48.74	43

파라미터 값								Service level(m = 0)					Inventory level (m = 0)				
설계	A	B	C	D	E	F	G	평균	분산	기대손실	SN비	순위	평균	분산	기대손실	SN비	순위
32	19	19	19	48C	48C	0	10	1.97	426.93	430.81	-26.34	44	97.2	313.73	9762	-39.90	15
33	15	15	15	0	0	48C	10	4.62	894.96	916.30	-29.62	52	98.0	250.81	9855	-39.94	16
34	19	15	15	0	0	48C	20	0.09	11.05	11.06	-10.44	13	285.4	282.27	81735	-49.12	57
35	15	19	15	0	0	48C	20	0.09	12.23	12.24	-10.88	15	285.6	269.89	81837	-49.13	58
36	19	19	15	0	0	48C	10	4.04	663.59	679.91	-28.32	49	124.9	256.06	15856	-42.00	27
37	15	15	19	0	0	48C	20	0.03	3.53	3.53	-5.48	4	285.3	287.65	81684	-49.12	56
38	19	15	19	0	0	48C	10	1.82	292.77	296.08	-24.71	38	124.3	285.90	15736	-41.97	25
39	15	19	19	0	0	48C	10	1.62	253.03	255.65	-24.08	36	124.4	288.77	15764	-41.98	26
40	19	19	19	0	0	48C	20	0.08	13.22	13.23	-11.22	17	338.7	299.38	115017	-50.61	64
41	15	15	15	48C	0	48C	20	0.14	19.49	19.51	-12.90	23	230.9	254.36	53569	-47.29	37
42	19	15	15	48C	0	48C	10	5.04	812.33	837.73	-29.23	51	83.1	260.77	7166	-38.55	12
43	15	19	15	48C	0	48C	10	6.37	1199.99	1240.57	-30.94	55	78.7	402.40	6596	-38.19	8
44	19	19	15	48C	0	48C	20	0.27	82.25	82.32	-19.16	32	284.1	259.08	80972	-49.08	50
45	15	15	19	48C	0	48C	10	5.06	1013.08	1038.68	-30.16	54	578.2	411.12	6526	-38.15	7
46	19	15	19	48C	0	48C	20	0.15	34.06	34.08	-15.33	29	284.1	277.56	80990	-49.08	51
47	15	19	19	48C	0	48C	20	0.08	14.56	14.57	-11.63	20	284.3	247.32	81074	-49.09	53
48	19	19	19	48C	0	48C	10	2.08	348.03	352.36	-25.47	40	108.9	329.08	12188	-40.86	18
49	15	15	15	0	48C	48C	20	0.16	26.71	26.74	-14.27	26	231.1	249.42	53657	-47.30	38
50	19	15	15	0	48C	48C	10	13.76	2188.25	2374.59	-33.76	60	82.3	218.68	6992	-38.45	11
51	15	19	15	0	48C	48C	10	5.32	805.91	834.21	-29.21	50	84.2	220.47	7310	-38.64	14
52	19	19	15	0	48C	48C	20	0.20	31.51	31.55	-14.99	28	284.3	257.64	81084	-49.09	54
53	15	15	19	0	48C	48C	10	10.06	2009.77	2110.97	-33.24	59	80.3	297.94	6746	-38.29	9
54	19	15	19	0	48C	48C	20	0.08	18.86	18.87	-12.76	22	284.4	251.38	81135	-49.09	55
55	15	19	19	0	48C	48C	20	0.04	4.13	4.13	-6.16	6	284.3	255.90	81082	-49.09	53
56	19	19	19	0	48C	48C	10	3.05	629.18	638.48	-28.05	48	110.0	273.95	12374	-40.93	19
57	15	15	15	48C	48C	48C	10	31.61	5715.93	6715.12	-38.27	64	36.5	225.80	1558	-31.93	1
58	19	15	15	48C	48C	48C	20	0.20	42.66	42.70	-16.30	30	228.6	233.05	52491	-47.20	34
59	15	19	15	48C	48C	48C	20	0.16	28.82	28.85	-14.60	27	228.9	219.81	52615	-47.21	36
60	19	19	15	48C	48C	48C	10	6.01	896.67	932.79	-29.70	53	68.4	234.93	4913	-36.91	7
61	15	15	19	48C	48C	48C	20	0.05	10.10	10.10	-10.04	10	228.8	219.92	52569	-47.21	35
62	19	15	19	48C	48C	48C	10	11.99	2401.00	2544.76	-34.06	62	64.2	302.46	4424	-36.46	4
63	15	19	19	48C	48C	48C	10	8.92	1947.12	2026.69	-33.07	58	63.1	375.22	4357	-36.40	3
64	19	19	19	48C	48C	48C	20	0.11	17.91	17.92	-12.53	21	281.7	261.52	79616	-49.01	49

### 3. 결과 분석

성능특성치인 service level과 inventory level은 둘다 망소특성치이다. 망소특성치인 경우 다구찌는 다음의 SN비를 제안하고 있다[4].

$$SN = -10 \log \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right] = -10 \log [s^2 + \bar{y}^2] \quad (2)$$

그러므로 [표 2-3]과 같이 각각의 실험에서 얻어진 성능특성치들의 평균과 분산을 이용하여 SN비의 값들을 계산하였다. 첫 번째 성능특성치인 service level인 경우의 SN비를 이용하여 각 인자들과 21개의 2인자교호작용을 분산분석을 한 결과는 표[3-1]과 같다. 단 유의한 교호작용만을 표[3-1]에 제시하였다. 분산분석 결과, B(stage 2에서의 간판의 수), C(stage 3에서의 간판의 수), E(stage 2에서의 간판 사이클 타임), F(stage 3에서의 간판사이클 타임), G(컨테이너 크기), A×F(stage 1에서의 간판의 수와 stage 3에서의 간판 사이클타임의 교호작용), B×E(stage 2에서의 간판의 수와 간판 사이클타임의 교호작용)가  $\alpha = 0.01$ 에서 유의하고, D(stage 1에서의 간판사이클 타임)는  $\alpha = 0.05$ 에서 유의함을 알 수 있다. service level에서의 유의한 인자들과 교호

작용 효과를 고려한 최적수준은 [표 3-2]와 같다.

[표3-1] 성능특성치 service level에 대한 분산 분석표

요인	SS	$\phi$	V	$F_0$
A	36.38	1	36.38	3.62
B	75.58	1	75.58	7.53**
C	184.89	1	184.89	18.41**
D	49.32	1	49.32	4.91*
E	226.16	1	226.16	22.52**
F	81.74	1	81.74	8.14**
G	4846.42	1	4846.42	482.71**
A×F	83.75	1	83.75	8.34**
B×E	73.77	1	73.77	7.34**
e	542.29	54	10.04	
T				

[표 3-2] service level에서의 유의한 인자들의 최적수준

인자	service level	
	SN비	최적 수준
$C_1$	-22.44	
$C_2$	-19.04	○
$D_1$	-19.25	○
$D_2$	-21.00	
$G_1$	-28.83	
$G_2$	-11.43	○
$A_1F_1$	-20.76	
$A_1F_2$	-20.91	
$A_2F_1$	-17.22	○
$A_2F_2$	-21.62	
$B_1E_1$	-18.16	○
$B_1E_2$	-24.22	
$B_2E_1$	-18.34	
$B_2E_1$	-19.80	

[표 3-2]에서 보면 성능특성치 service level에서의 최적수준은  $A_2F_1$ (stage 1에서의 최대간판의 수, stage 3에서의 최소 간판 사이클타임)  $B_1E_1$ (stage 2에서의 최소 간판의 수, 최소 간판 사이클타임),  $C_2$ (stage 3에서의 최대 간판의 수),  $D_1$ (stage 1에서의 최소 간판 사이클타임),  $G_2$ (컨테이너 크기가 20인 경우)이다. 성능특성치인 service level에서의 목표치는 backorder의 수를 0이 되게 하는 망소특성치이기 때문에 SN비 값이 큰 설계배치 방법은 기대 손실을 최소화시키는 설계배치 방법임을 알 수 있다. 최적수

준 조합을 분석해보면 stage 1과 3에서 간판의 수가 최대이고 stage 2에서의 간판의 수가 최소일 때, stage 1,2,3에서 간판 사이클 타임이 최소일 때 또한 컨테이너 크기 (batch size)가 클 때 service level에서의 backorder의 수가 최소가 됨을 알 수 있다. service level에 유의한 영향을 미치는 인자의 최적수준 조합에서 SN비를 추정해보면 다음과 같다.

$$\hat{\mu}(A_2B_1C_2D_1E_1F_1G_2) = \overline{A_2F_1} + \overline{B_1E_1} + \overline{C_2} + \overline{D_1} + \overline{E_1} + \overline{G_2} - 5\overline{T} = -2.64$$

이때 기대 손실 L을 구하면 아래와 같다.

$$L = k(10^{\frac{-SN}{10}}) = k(10^{\frac{2.64}{10}}) = k(1.804)$$

성능특성치 중에 두 번째로 고려되는 inventory level에 대한 분산분석을 실시하면 다음의 [표 3-3]과 같은 결과를 얻는다. 단 21개의 2인자교호작용은 유의하지 않아 오차 항에 풀링시켰다.

[표 3-3] 성능특성치 inventory level에 대한 분산 분석표

요인	SS	$\phi$	V	$F_0$
A	21.26	1	21.26	1.50
B	20.37	1	20.37	1.44
C	16.45	1	16.45	1.16
D	55.63	1	55.63	3.93
E	48.32	1	48.32	3.41
F	14.41	1	14.41	1.02
G	663.03	1	663.03	46.89**
e	794	56	14.18	
T	1633.49			

[표 3-4] inventory level에서의 유의한 인자들의 최적수준

인자	inventory level	
	SN비	최적 수준
$D_1$	-45.07	
$D_2$	-43.21	○
$E_1$	-45.01	
$E_2$	-43.27	○
$G_1$	-40.92	○
$G_2$	-47.36	

분산분석 결과 G(컨테이너 크기)인자 만이  $\alpha = 0.01$ 에서 유의하나 D(stage 1에서의 간판 사이클 타임), E(stage 2에서의 간판 사이클타임)의  $F_0$ 값도 3이상으로  $\alpha = 0.1$ 에서 유의하므로 무시하기 어렵다. inventory level에서의 유의한 인자들의 최적수준은 [표 3-4]와 같다. [표 3-4]를 보면 inventory level에서의 최적수준은  $D_2$ (stage 1에서의 최대 간판 사이클타임),  $E_2$ (stage 2에서의 최대 간판 사이클 타임),  $G_1$ (컨테이너 크기



가 10인 경우)이다. 성능특성치인 inventory level에서의 목표치는 WIP이 0이 되는 망소특성치이기 때문에 SN비 값이 큰 설계 배치 방법이 기대 손실을 최소화시키는 설계 배치 방법임을 알 수 있다. 최적수준 조합을 분석해보면 stage1과 2에서의 간판 사이클 타임이 최대이고 컨테이너 크기가 최소일 때 WIP의 개수가 최소가 됨을 알 수 있다. service level에서와 마찬가지로 inventory level에서도 컨테이너의 크기가 가장 크게 영향을 미치는 인자임을 알 수 있다. inventory level에 유의한 영향을 미치는 인자의 최적수준 조합에서의 SN비를 추정해 보면 다음과 같다.

$$\hat{\mu}(D_2E_2G_1) = \overline{D_2} + \overline{E_2} + \overline{G_1} - 2\overline{T} = -39.12$$

이때 기대 손실 L을 구하면 아래와 같다.

$$L = k(10^{-\frac{-SN}{10}}) = k(10^{\frac{39.12}{10}}) = k(8165.82)$$

그러나 본 논문에서 고려한 성능특성치는 service level와 inventory level인 다 특성치이다. 다 특성치의 경우 단일 특성치일때는 나타나지 않던 문제가 발생하게 되는데 이는 다 특성치의 경우 특성치마다 설계변수의 최적조건이 다르게 나타나는 상충현상이 발생하게 된다. 특성치나 설계변수의 수가 증가하면 증가할수록 이러한 현상이 발생할 가능성은 더욱 커진다. 본 논문에서의 특성치들은 망소특성치이므로 이때의 기대 손실함수는 다음과 같다.[1]

$$L(y_1, y_1) = k_1y_1^2 + 2k_2y_1y_2 + k_3y_2^2 \tag{3}$$

그러나 특성치들의 상관관계가 없다고 가정하면 다음과 같이 바꿔 쓸 수 있다.

$$L(y_1, y_1) = k_1y_1^2 + k_3y_2^2 \tag{4}$$

이때  $k_1$ 과  $k_3$ 은 손실을 화폐 단위로 환산해주는 상수이다.

식(4)의 손실함수에 의해 구해지는 손실 값은 특정한 시점에서의 손실 값만을 대변해 주므로 제품의 평균적인 손실인 기대손실을 고려하는 것이 유용하다. 이때의 기대 손실을 L이라 할 때 식(4)의 기대 손실을 구하면 다음과같은 식으로 나타낼수 있다.

$$L = k_1[\sigma_1^2 + \mu_1^2] + k_3[\sigma_2^2 + \mu_2^2] \tag{5}$$

단  $\sigma_1^2, \sigma_2^2$ 와  $\mu_1, \mu_2$ 은 각각 망소특성치  $y_1, y_2$ 의 분산과 평균이다. 직교배열을 이용하여 각 실험점에서 각각 n개의 반복 관측치를 얻었을 때 각각의 망소특성치들의 기대 손실을 다구찌가 제안한 SN비를 이용하여 추정한 식으로 바꾸어 나타내면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \hat{L} &= k_1[s_1^2 + \overline{y_1^2}] + k_3[s_2^2 + \overline{y_2^2}] \\ &= k_1[10^{-\frac{SN_1}{10}}] + k_3[10^{-\frac{SN_2}{10}}] \end{aligned} \tag{6}$$

단  $s_1^2, \overline{y_1^2}$ 은 망소특성치  $y_1$ 의 분산과 평균의 추정치이고  $s_2^2, \overline{y_2^2}$ 은 망소특성치  $y_2$ 의 분산과 평균의 추정치이다. 또한  $SN_1$ 과  $SN_2$ 는 각각의 망소특성치들의 SN비이다. 그러나 각 특성치별 최적수준 조합을 비교하여 상충인자가 발생되면 상충인자를 고려한 절충된 최적수준을 정해야 한다. 본 논문에서의 성능 특성치 service level에 대한

최적수준은  $A_2B_1C_2D_1E_1F_1G_2$ 이고 또 다른 성능특성치 inventory level에 대한 최적수준은  $D_2E_2G_1$ 이다. 이때의 상충인자는  $D$ (stage 1에서의 간판 사이클타임),  $E$ (stage 2에서의 간판 사이클 타임),  $G$ (컨테이너 크기)이다. 상충인자가 아닌 인자를 각각  $A_2B_2C_2F_1$ 으로 고정한 후 상충인자인  $E$ 와  $G$ 의 각 수준과 유의한 인자 조합에 대하여 두 특성치 SN비를 추정하면 [표 3-5]와 같다.

[표 3-5] 상충인자 조합에서의 각 특성치별 SN 비 추정치

NO	D	E	G	$SN_1$	$SN_2$
1	1	1	1	-22.07	-44.86
2	1	1	2	-4.67	-51.30
3	1	2	1	-25.83	-43.12
4	1	2	2	-8.42	-49.56
5	2	1	1	-23.82	-43.00
6	2	1	2	-6.42	-49.44
7	2	2	1	-27.58	-41.26
8	2	2	2	-10.18	-47.70

위의 표에서  $SN_1, SN_2$ 열의 각 추정치들은 성능 특성치 service level와 inventory level에서 상충인자와 유의한 인자의 수준조합조건에서의 추정치로서 다음과 같이 구한다.

$$\begin{aligned}\widehat{x}_{111} &= \overline{A_2} + \overline{B_2} + \overline{C_2} + \overline{D_1} + \overline{E_1} + \overline{F_1} + \overline{G_1} - 6\overline{T} \\ &= (-19.42) + (-19.07) + (-19.04) + (-19.25) + (-18.25) + (-18.99) + (-28.83) \\ &\quad - 6(-20.13) = -22.07\end{aligned}$$

나머지 추정치들도 위와 같은 방법으로 구한다. 식(4)를 이용하여 [표 3-5]의 모든 수준조합에서 다특성치를 고려한 기대 손실을 비교하여 이들 인자의 절충된 최적수준을 정할 수 있다. 이때  $k_1$ 과  $k_3$ 값을 규정할 수 있다면 다특성치를 고려한 기대손실을 구할 수 있다. 상수  $k_1, k_3$ 은 특성치의 손실을 동일한 화폐 단위로 환산해주는 역할을 한다. 만약 사용자가 특성치들 간의 중요도를 함께 고려하여 이들 상수의 값을 정했다 하고 이를  $k_1, k_3$ 라 정의하면 상수  $k_1, k_3$ 은 특성치들간의 단위를 동일한 화폐단위로 일원화하는 역할과 특성치들에 가중치를 부여하는 역할을 겸하게 된다. 본 논문에서는  $k_1$ 를 1일 backorder cost라 정하고  $k_3$ 를 1일 평균재고 유지비용이라 규정한다. 또한 각각의 비용을 200,000(원)과 150(원)이라 가정한다. service level은 고객에 직접 영향을 미치기 때문에 주된 평가특성이고 inventory level은 고객이 생산 cost를 통해서 간접적으로 영향을 받기 때문에 service level에 상대적 중요도를 2배로 하여 변수 설계하고자 한다. 가중치를 포함하여 손실을 화폐단위로 환산해주는 최종 상수의 값은 service level의 경우 단위당  $200,000 \times 2$ (원) 즉, 400,000(원)이 되고 inventory level의 경우 단위당  $150 \times 1 = 150$ (원)이 된다. [표 3-5]와 같이 상충인자인  $D, E, G$ 의 각 수준과 유의한 인자 조합에서 기대 가중손실 값을 비교하여 이들 인자의 절충된 최적수준을 정하면 [표 3-6]과 같다.

[표 3-6] 상충인자의 절충 최적 수준

상충인자의 수준			기대 가중손실	절충된 최적수준
D	E	G		
1	1	1	69,018,770.56	D : 2수준 E : 2수준 G : 2수준
1	1	2	21,406,800.54	
1	2	1	156,206,640.6	
1	2	2	16,334,839.38	
2	1	1	99,389,110.62	
2	2	2	14,939,460.54	
2	1	1	231,123,305.7	
2	2	2	13,001,924.55	

식(4)를 이용하여 본 논문에서 다룬 예의 기대 가중손실은 다음과 같이 구한다.

$$\begin{aligned} \widehat{L}_{III} &= k_1[10^{\frac{-SM_1}{10}}] + k_3[10^{\frac{-SN_2}{10}}] \\ &= 200,000 \times 2[10^{\frac{22.07}{10}}] + 150[10^{\frac{44.86}{10}}] \\ &= 69,018,770.56 \end{aligned}$$

나머지 추정치도 위와 같이 구한다. 만일 1일 backorder cost와 1일 평균재고 유지 비용이 다르게 규정되고 가중치가 설계자에 따라 바뀔지라도 위와 같은 방법을 통해 다특성치를 고려한 최적수준을 얻을 수 있다.

#### 4. 결론

본 논문에서는 Moeeni가 설계한 JIT간판시스템하에서 각각의 성능특성치(service level, inventory level)가 불확실한 환경에 둔감한 최적수준을 확인하였고 또한 성능특성치가 다수일 때, 다 특성치를 고려한 최적 설계방법과 각 특성치의 상대적인 중요도 차이에 따른 최적수준 결정방법을 제시하였다. 시뮬레이션 분석결과에 따르면 첫 번째 성능특성치인 service level과 관련하여 최종공정인 stage 3과 전 공정인 stage 2의 간판의 수가 증가되고 간판의 사이클타임이 감소될 때, 또한 컨테이너 크기가 증가될 때 기대손실이 최소화됨을 알 수 있다. 하지만 최초공정인 stage 1의 간판의 수와 간판의 사이클 타임은 별다른 영향을 받지 않음을 알 수 있다. 그러므로 정시에 수요를 만족시키기 위해서는 최종공정과 그 전공정의 간판의 수와 간판 사이클타임 및 컨테이너 크기를 신중히 고려해야한다. 두 번째 성능특성치인 inventory level의 경우에는 컨테이너 크기가 감소할수록 재공재고가 감소하고 또한 stage 1과 stage 2에서의 간판 사이클타임이 증가할 때 재공재고가 약간 감소함을 알 수 있다. 본 논문에서 고려한 성능특성치가 다 특성치이기 때문에 단일 특성치일때에는 나타나지 않던 문제, 즉 특성치마다 설계변수의 최적조건이 다르게 나타나는 상충현상이 발생하였다. 그러므로 상충인자를 고려한 다 특성치의 최적수준을 결정하는 방법을 제시하였다. 앞으로 공정크기를 확대한 다단계 공정과 품종이 다양한 다품종으로 확장시켜 연구할 필요가 있다.

## 참 고 문 헌

- [1] 동승훈, "성능특성이 다수인 경우의 파라미터의 설계에 관한 연구" 석사학위논문, KAIST, 1990.
- [2] F. Moeeni, S.M. Sanchez and A.J. Vakharia. "A Robust design methodology for Kanban System Design" International Journal of Production Research, Vol. 35, No. 10, 2821-2838, 1997.
- [3] Huang, P.Y., L.R. Rees and B.W. Taylor III "A Simulated Analysis of the Japanese Just-In-Time Technique(with Kanban) for a Multiline, Multistage Production System," [4] Decision Sciences, Vol.14, No. 3, 326-344, 1983.
- [4] Kacker, N.R. "Off-Line Quality Control, Parameter Design and the Taguchi Method," Journal of Quality Technology, Vol. 17, No. 4, 176-188, 1985.
- [5] Krajewski. L.J., B.E. King, L.P. Ritzman and D.S. Wong. "Kanban, MRP, and Shaping the Manufacturing Environment," Management Science, Vol. 33, No. 1, 39-57, 1987.
- [6] Lee, L.C. and K.H. Seah "JIT and Effects of Varying Process and Set-Up Time." International Journal of Production and Operations Management, Vol. No. 1, 19-35, 1987.
- [7] Moeeni, F. and Y.L. Chang "An Approximate Solution to Deterministic Kanban Systems," Decision Sciences, Vol. 21, No. 3, 596-607, 1990.
- [8] Philipoom, P.R., L.P.Rees, B.W. Taylor and P.Y. Huang "An Investigation of the Factors Influencing the Number of Kanbans Required in the Implementation of the Technique with Kanbans," International Journal of Production Research, Vol. 25, No. 3, 457-472, 1987.
- [9] Tang, C.S. "The Impact of Uncertainty on A Production Line," Management science, Vol. 12, 1518-1531, 1990.

## 저자소개

- 조용욱 : 명지대학교 산업공학과 학·석사 졸업하고, 2000년 8월 동 대학원 박사 학위 취득예정임. 명지대학교 산업기술연구소 전임연구원으로 재직중이며 주요 관심분야는 실험계획법, 품질공학, TQM, 생산관리등이다.
- 박명규 : 한양대학교 산업공학과 졸업. 미국 일리노이 공대에서 산업공학 석사, 건국대학교 대학원 산업공학과에서 박사학위를 취득하였으며 현재 명지대학교 산업공학과 교수로 재직중이다. 주요관심분야는 TQM, QE, METHODS ENG, 재고물류관리, 확률모형, FORECASTING, 시스템분석등이다.