

불확실한 환경하에서의 JIT 간판 시스템 최적설계에 관한 연구

(A Study on the Optimal Design of JIT Kanban System under Uncertain Environment)

김 용 범*, 김 우 열**

Abstract

In this paper, it is identified that the optimal level of each performance measures (service and inventory level) is not sensitive to an uncertain environment under JIT Kanban system designed by Moeeni. Moreover, it is proposed that the optimal design method considering multiple performance characteristics is the optimal level decision method according to the relative importance differences of each performance when there exist multiple performance characteristics. The result from the simulation analysis shows that the number of Kanban for stage 3 (final process) and stage 2 is increased at the service level. It is found that the expected loss is minimal when the cycle time decreases and the container size increases. However, the stage 1 is not affected by the number and cycle time of Kanban. It is thus important to consider carefully the cycle time and the container size of the Kanban to satisfy the demand in right time. In case of inventory level, the working inventory level decreases when the container size is decreased and the working inventory level also decreases slightly when the cycle time of the Kanban is increased in stage 1 and 2.

* 충주산업대학교 경영학과

** 동신대학교 산업공학과

1. 서 론

대부분의 국내 제조 회사들은 외국기업들과의 치열한 경쟁에 직면해 있어 전통적인 제조 개념과 기술로는 세계 시장에서 적절하게 대처하지 못하고 있는 실정이다. 이러한 문제를 해결하기 위한 JIT(Just-In-Time)의 도입은 세계 시장의 수요를 적절히 대처할 수 있는 한 방법이다. 필요한 시점에서 필요한 제품을 필요한 양만큼 생산하는 JIT 생산방식은 제품간 교체(switch over)비용을 무시할 수 있는 혼합모형 생산시스템을 관리하기 위해서 사용될 수 있다. 이러한 기법의 목표는 재고과다나 재고부족을 발생시키지 않고 다양한 제품에 대한 고객의 수요를 만족시킬 수 있으므로 생산성과 품질을 종합적으로 관리해 갈 수 있다.

JIT 생산방식에서는 자재를 인수(pull)하는데 이용되는 정보 혹은 신호 시스템을 일반적으로 간판(kanban)이라 한다. JIT를 도입한 회사에서 간판시스템의 적용은 과잉생산과 과잉재고의 낭비를 제거하기 위해 재고수준과 생산시간을 일정하게 해줌으로써 비용절감의 효과를 기대할 수 있다. 그러나 JIT시스템을 운용하는 회사들은 불확실한 제조환경으로 인하여 적절한 수요에 대처하지 못하였다. 이러한 간판 pull 시스템에서 불확실한 제조환경으로 인하여 불리한 영향은 Huang, Rees, Taylor[2], Lee, Seah[5], Philipoom, Rees, Taylor, Huang[7], Tang[8], Krajewski, King, Ritzman, Wong[4]에 의하여 연구되었다. 이와 같은 간판시스템은 안정된 제조환경에서는 효과적으로 운용되지만, 불확실한 제조환경 하에서는 적용에 많은 어려움이 따른다. 제조환경을 안정시키고 불확실성을 제거하는 것은

비용적 측면과 시간적 측면에서 거의 불가능하기 때문에 불확실한 제조환경에서는 간판시스템의 설계시 강건(robust)하게 수행되도록 설계하는 것이 더욱 효과적이라고 볼 수 있다. 여기서 강건이라는 것은 제품의 평가 특성이 제조와 운영환경의 변화에 둔감한 것을 의미한다.

다구찌는 강건한 제품 설계의 개발이 제조 변동의 원인을 제거하는 것보다 비용이 적게 든다는 것을 제시하였다[3]. 이것은 품질의 개선과 제조 비용의 감소를 동시에 가능하게 하는 것이다. 다구찌는 강건설계 방법의 중요한 구성요소로 크게 두가지 인자(파라미터와 잡음인자)를 제안하였다. 파라미터는 제품 설계자에 의하여 제어될 수 있는 변수이고, 잡음인자는 쉽게 제어할 수 없거나 제어하는데 고가의 비용이 드는 변수이다. 이에 Moeeni은 강건설계의 개념을 JIT 간판시스템에 도입하여 간판시스템에서 성능특성치(service level, inventory level)가 제조환경의 잡음(기계고장, 불량률, 변화하기 쉬운 가공 시간, 수요크기)에 둔감한 파라미터(간판의 갯수, 컨테이너 크기, 간판사이클타임)를 설계하는 방법을 제안하였다[1]. 그러나 그의 연구에서는 각각의 성능특성치에 있어서 유의한 영향을 주는 파라미터의 확인, 유의한 파라미터의 최적수준 및 다수 특성치를 고려한 최적수준을 제시하지 못하였다.

이에 본 연구에서는 Moeeni가 설계한 조건하에서 각각의 성능특성치가 잡음에 둔감한 파라미터의 최적수준을 확인하고 또한 성능특성치가 다수일 때 다 특성치를 고려한 최적 설계방법과 각 특성치의 상대적인 중요도 차이에 따른 최적수준 결정방법을 제시하여 제품의 품질개선과 제조비용의 감소를 가능케 하고자 한다.

2. 간판 시스템 설계

본 연구에서는 연속적인 3개의 공정을 가진 제조 공장과 단일 정기인수간판시스템을 가정하였다. 또한 간판시스템의 생산흐름을 단순하고 분명하게 하기 위하여 오직 하나의 생산 품목만을 고려하였다. <그림 1>은 제조 모델의 생산흐름을 도시한 것으로, 투입 원자재 혹은 공급자로부터 조달된 부품은 3개 공정의 제조 셀로 투입되고, 간판의 운영은 3개 제조공정(stage)과 이어져 있으며 조립된 제품은 최종공정(stage 3)의 셀을 통과하게 된다.

2.1 성능특성치의 선택 및 목표치의 결정

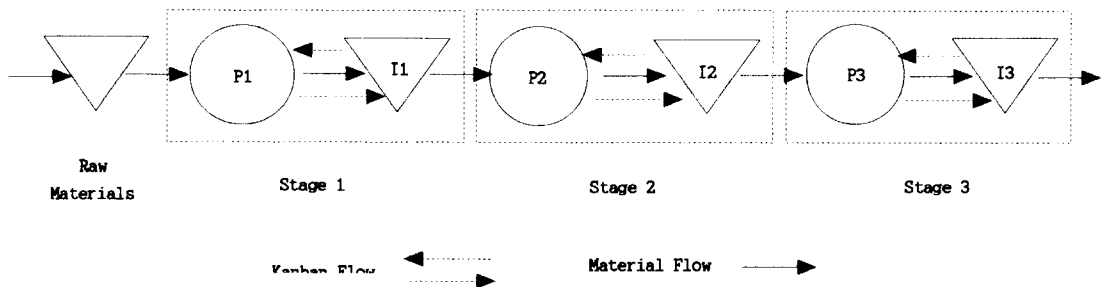
JIT간판시스템에서 성능특성은 최종제품의 재고수준, 작업장 사이의 재고수준, 납기일 준수, 작업장의 이용률, 작업자 이용률, 불량률, 생산 품질등 여러 가지가 있지만 모든 성능 특성을 동시에 고려하는 것은 비용과 시간적 측면에서 거의 불가능하다. 그 중에서도 재고수준과 고객 서비스가 바람직한 성능 특성으로 알려져 있으므로, 간판 시스템의 평가를 측정하기 위하여 다음과 같이 재고수준과 고객서비스를 이용한다. 첫째, 서비스 수준은 1일 평균 부족

한 재고량에 의해 측정한다. 두번째, 재고수준은 단위공정당 공정사이의 1일 평균 재공재고에 의해 측정한다.

또한 이상적인 재고시스템은 과잉생산재고 없이 정시에 수요를 만족시켜야 하기 때문에 서비스수준을 위한 목표치 및 재고수준의 목표치를 0으로 둔다. 두개의 성능 특성치중에서 주된 성능특성은 이상적인 JIT 시스템이 정시에 수요를 만족해야 하는 것이기 때문에 1일 평균 backorder 수에 의하여 측정되는 서비스 수준으로 둔다. 두번째 평가특성은 단위작업장의 1일 평균 재공재고에 따라 측정되는 재고수준이다. 재고수준을 두번째 평가척도로 고려하는 이유는 서비스수준과 같은 다른 평가척도의 고려없이 재고수준만을 최소화시키는 것은 합리적이지 못하기 때문이다.

2.2 손실함수 규정

최종 고객의 만족도를 결정하기 위해서는 성능특성치에 대한 목표치를 정해야 한다. 성능특성치와 목표치와의 관계는 3가지 형태, 즉, 망대특성치, 망소특성치, 망목특성치중에 하나로 표현한다. 따라서 이상적인 JIT 생산시스템은 재고의 초과생산없이 정시에 수요를 만족시켜야 되므로 service level과



<그림 1> 간판시스템의 생산흐름

inventory level의 목표치가 0인 망소특성치로 표현한다. 또한 손실함수는 다구찌의 SN비를 포함하여 몇몇의 함수(망대, 망소, 망목에 대한 각각의 손실함수)가 이용된다[3]. 여기서 다구찌의 SN비는 신호에 대한 잡음의 비를 말한다. 이러한 손실함수들은 목표치 m 으로 부터 편차가 적을 수록 적은 손실을 초래하고, 편차가 클 수록 큰 손실을 초래하게 된다. 그러므로 파라미터 설계에서 손실은 잡음으로 인한 대부분의 변동의 전달을 방지함으로써 줄일 수 있게 된다. 특정한 목표치가 주어진 경우의 기대손실은 식 (1)과 같다[3].

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

여기서 k 는 손실을 화폐단위로 환산해 주는 상수, y 는 성능특성치, m 은 목표치이고, y 값에 따라 $L(y)$ 값을 구한다.

2.3 인자의 확인 및 시뮬레이션 결과

본 연구에서는 강건설계를 위해 간판시스템에 영향을 미치는 파라미터와 잡음인자를 확인 할 필요가 있다. 환경적 잡음인자를 Moenni가 제시한 바와 같이 3개 stage를 갖는 제조시스템을 위한 6개의 범주안에 34개의 다른 환경적 잡음인자를 선택하였다 [1]. 3개 stage를 갖는 제조시스템에 대한 6개의 범주는 <표 1>과 같다.

단일 간판시스템의 파라미터는 7개의 제어 가능한

<표 1> 잡음인자의 변동범위

인 자	범 위	인 자	범 위
수요의 크기 분 포 1일 수요 평균 1일 수요 분산	정규분포 70-80 unit 4-190	고장간격 시간 stage 1 분포 stage 2 분포 stage 3 분포	정규분포 / 지수분포 정규분포 / 지수분포 정규분포 / 지수분포
공급자 특성 분 포 리드타임 평균 리드타임 분산	정규분포 6000-18000 1764000-2250000	stage 1 평균 stage 2 평균 stage 3 평균	38400-76800 38400-76800 38400-76800
준비시간 stage 1 stage 2 stage 3	3 - 30 분 3 - 30 분 3 - 30 분	stage 1 분산 stage 2 분산 stage 3 분산	14745600-60840000 14745600-60840000 14745600-60840000
가공시간 stage 1 분포 stage 2 분포 stage 3 분포 stage 1 평균 stage 2 평균 stage 3 평균 stage 1 분산 stage 2 분산 stage 3 분산	정규분포 / 지수분포 정규분포 / 지수분포 정규분포 / 지수분포 2 - 4 분 2 - 4 분 2 - 4 분 0.04 - 0.16 0.04 - 0.16 0.04 - 0.16	수리 시간 stage 1 분포 stage 2 분포 stage 3 분포 stage 1 평균 stage 2 평균 stage 3 평균 stage 1 분산 stage 2 분산 stage 3 분산	정규분포 / 지수분포 정규분포 / 지수분포 정규분포 / 지수분포 420-540 420-540 420-540 3600-11024 3600-11024 3600-11024

<표 2> 파라미터의 탐색 범위

번호	인자	정의	수준
1	A	stage 1에서의 간판의 수	15, 19
2	B	stage 2에서의 간판의 수	15, 19
3	C	stage 3에서의 간판의 수	15, 19
4	D	stage 1에서의 간판 사이클 타임	0, 480분
5	E	stage 2에서의 간판 사이클 타임	0, 480분
6	F	stage 3에서의 간판 사이클 타임	0, 480분
7	G	컨테이너 크기	10, 20개

파라미터로 구성한다. 즉 컨테이너 크기에 대한 하나의 파라미터와 3개의 stage에 대한 각각의 간판 수(혹은 컨테이너의 수), 간판사이클 타임(생산주문이 되어 간판이 분리되는 시간의 길이)으로 구성하며 <표 2>와 같다. 각각의 범위는 잠음공간 안에서 탐색되는 것으로, 가공시간과 준비시간에 의거하여 합리적인 모델구성을 위해 컨테이너의 최소 크기를 10으로 선정하였다. 실제 제조현장에서는 컨테이너 크기가 기술이나 경제적인 고려뿐만 아니라 제조요구사항에 의하여 결정되지만 여기에는 가장 보편적으로 널리 이용되는 최소 크기의 2배(20)로 정한다. 최대 간판사이클타임으로 하루를 초과한 간판리드타임은 비합리적이기 때문에 480분으로 정한다. 이와 같은 상황에서 생산지시를 내리는 분리된 간판은 익일 초에 다시 순환된다. 그것은 간판분리 즉시 생산주문이 되는 것을 뜻하는 것으로 정량발주형 재고시스템과 일치하기 위해 최소 간판사이클타임을 0으로 정한다. 컨테이너 크기와 간판사이클 타임이 정해진 후에 Moeeni와 Chang이 개발한 최소 간판 수

계산하는 방법을 이용하면 stage 1(최종 공정)에 대한 간판 수는 15가 된다[6]. 또한 잠재적인 값의 범위를 포함하기 위해 간판 수에 대한 high setting은 low setting의 대략 30%이상으로 정한다.

Moeeni에 의하여 제안된 방법을 SIGMA (Simulation Graphical Modeling and Analysis) [1]를 활용하여 시뮬레이션을 실시한 결과는 <표 3>에 제시하였다. 본 연구의 시뮬레이션에서는 7개 파라미터의 2수준 일부실험법을 활용하였으며 각각의 반복을 위하여 64회를 수행(run)한 결과가 <표 3>에 제시되었다. <표 3>에는 실험설계의 평균, 분산, 손실함수, SN비 및 성능특성치에서의 상대순위를 제시하였다. 예를 들어, <표 3>의 설계1(15, 15, 15, 0, 0, 0, 20)은 3개의 stage를 위한 간판 수 15, 간판사이클타임 0, 컨테이너 크기 20을 뜻하는 것이다. 또한 시뮬레이션의 수행과정에서 Shruben과 Cgliano에 의한 주파수 영역분석에 의하여 잠음인자는 high value와 low value사이에서 유일한 주파수인 cosine 곡선으로 변하게 된다[1].

<표 3> 실험설계 및 시뮬레이션 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	102	-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	-42.97	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	480	0	0	10	3.35	518.02	529.24	-27.24	46	80.4	387.95	6852	-38.36	10
10	19	15	15	480	0	0	20	0.09	12.06	12.07	-10.82	14	270.1	242.21	73196	-48.64	41
11	15	19	15	480	0	0	20	0.11	22.12	22.13	-13.45	24	270.1	247.21	73201	-48.65	42
12	19	19	15	480	0	0	10	1.67	367.57	371.37	-25.70	41	111.1	297.36	12641	-41.02	21
13	15	15	19	480	0	0	20	0.06	14.38	14.39	-11.58	19	269.8	279.72	73072	-48.64	40
14	19	19	19	480	0	0	10	1.38	249.25	251.15	-23.99	35	111.2	297.09	12663	-41.03	22
15	15	19	19	480	0	0	10	1.69	280.18	283.04	-24.52	37	106.3	448.74	11748	-40.70	17
16	19	19	19	480	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	480	0	10	9.01	1835.78	1916.96	-32.83	57	83.2	303.39	7226	-38.59	13
18	19	15	15	0	480	0	20	0.20	45.12	45.16	-16.56	31	275.4	291.38	76137	-48.82	47
19	15	19	15	0	480	0	20	0.15	23.98	24.00	-13.80	25	275.4	290.77	76136	-48.82	46
20	19	19	15	0	480	0	10	2.22	399.40	403.33	-26.07	43	113.5	268.44	13151	-41.19	24
21	15	15	19	0	480	0	20	0.04	7.07	7.07	-28.49	8	275.5	277.92	76178	-48.82	48
22	19	15	19	0	480	0	10	3.89	594.35	609.48	-27.85	47	110.0	344.54	12445	-40.95	20
23	15	19	19	0	480	0	10	1.68	313.52	316.34	-25.00	39	112.8	312.55	13036	-41.15	23
24	19	19	19	0	480	0	20	0.02	2.32	2.32	-3.65	3	328.8	281.74	108391	-50.35	66
25	15	15	15	480	480	0	20	0.09	13.11	13.11	-11.18	16	220.0	259.42	48659	-46.87	36
26	19	15	15	480	480	0	10	11.17	2411.16	2535.93	-34.04	61	66.5	317.31	4874	-36.88	5
27	15	19	15	480	480	0	10	6.74	1493.20	1538.63	-32.87	56	66.7	372.46	4822	-36.83	4
28	19	19	15	480	480	0	20	0.09	13.57	13.58	-11.33	18	273.4	265.99	75014	-48.75	44
29	15	15	19	480	480	0	10	15.90	3293.76	3546.57	-35.50	63	59.9	512.87	4101	-36.13	2
30	19	15	19	480	480	0	20	0.04	6.93	6.93	-8.41	7	273.4	270.38	75018	-48.75	45
31	15	19	19	480	480	0	20	0.06	10.86	10.86	-10.36	11	273.1	288.67	74872	-48.74	43
32	19	19	19	480	480	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	480	10	4.62	894.96	916.30	-29.62	52	98.0	250.81	9855	-39.94	16
34	19	15	15	0	0	480	20	0.09	11.05	11.06	-10.44	13	285.4	282.27	81735	-49.12	57
35	15	19	15	0	0	480	20	0.09	12.23	12.24	-10.88	15	285.6	269.89	81837	-49.13	58
36	19	19	15	0	0	480	10	4.04	663.59	679.91	-28.32	49	124.9	256.06	15856	-42.00	27
37	15	15	19	0	0	480	20	0.03	3.53	3.53	-5.48	4	285.3	287.65	81684	-49.12	56
38	19	15	19	0	0	480	10	1.82	292.77	296.08	-24.71	38	124.3	285.90	15736	-41.97	25
39	15	19	19	0	0	480	10	1.62	253.03	255.65	-24.08	36	124.4	288.77	15764	-41.98	26
40	19	19	19	0	0	480	20	0.08	13.22	13.23	-11.22	17	338.7	299.38	115017	-50.61	64
41	15	15	15	480	0	480	20	0.14	19.49	19.51	-12.90	23	230.9	254.36	53569	-47.29	37
42	19	15	15	480	0	480	10	5.04	812.33	837.73	-29.23	51	83.1	260.77	7166	-38.55	12
43	15	19	15	480	0	480	10	6.37	1199.99	1240.57	-30.94	55	78.7	402.40	6596	-38.19	8
44	19	19	15	480	0	480	20	0.27	82.25	82.32	-19.16	32	284.1	259.08	80972	-49.08	50
45	15	15	19	480	0	480	10	5.06	1013.08	1038.68	-30.16	54	578.2	411.12	6526	-38.15	7
46	19	15	19	480	0	480	20	0.15	34.06	34.08	-15.33	29	284.1	277.56	80590	-49.08	51
47	15	19	19	480	0	480	20	0.08	14.56	14.57	-11.63	20	284.3	247.32	81074	-49.09	53
48	19	19	19	480	0	480	10	2.08	348.03	352.36	-25.47	40	108.9	329.08	12188	-40.86	18
49	15	15	15	0	480	480	20	0.16	26.71	26.74	-14.27	26	231.1	249.42	53657	-47.30	38
50	19	15	15	0	480	480	10	13.76	2188.25	2374.59	-33.76	60	82.3	218.68	6992	-38.45	11
51	15	19	15	0	480	480	10	5.32	805.91	834.21	-29.21	50	84.2	220.47	7310	-38.64	14
52	19	19	15	0	480	480	20	0.20	31.51	31.55	-14.99	28	284.3	257.64	81084	-49.09	54
53	15	15	19	0	480	480	10	10.06	2009.77	2110.97	-33.24	59	80.3	297.94	6746	-38.29	9
54	19	15	19	0	480	480	20	0.08	18.86	18.87	-12.76	22	284.4	251.38	81135	-49.09	55
55	15	19	19	0	480	480	20	0.04	4.13	4.13	-6.16	6	284.3	255.90	81082	-49.09	53
56	19	19	19	0	480	480	10	3.05	629.18	638.48	-28.05	48	110.0	273.95	12374	-40.93	19
57	15	15	15	480	480	480	10	31.61	5715.93	6715.12	-38.27	64	36.5	225.80	1558	-31.93	3
58	19	15	15	480	480	480	20	0.20	42.66	42.70	-16.30	30	228.6	233.05	52491	-47.20	34
59	15	19	15	480	480	480	20	0.16	28.82	28.85	-14.60	27	228.9	219.81	52615	-47.21	36
60	19	19	15	480	480	480	10	6.01	896.67	932.79	-29.70	53	68.4	234.93	4913	-36.91	7
61	15	15	19	480	480	480	20	0.05	10.10	10.10	-10.04	10	228.8	219.92	52569	-47.21	35
62	19	15	19	480	480	480	10	11.99	2401.00	2544.76	-34.06	62	64.2	302.46	4424	-36.46	4
63	15	19	19	480	480	480	10	8.92	1947.12	2026.69	-33.07	58	63.1	375.22	4357	-36.40	3
64	19	19	19	480	480	480	20	0.11	17.91	17.92	-12.53	21	281.7	261.52	79616	-49.01	49

3. 결과분석

성능특성치인 service level과 inventory level은 초과재고를 없게 하거나 수요의 적시성을 만족시키는 것이므로 모두 망소특성치이다. 망소특성치인 경우 SN비는 식(2)와 같다[9].

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

$$= -10 \log [s^2 + \bar{y}^2]$$

여기서 y_i 는 각 성능특성치, s^2 은 성능특성치의 분산, \bar{y} 는 특성치들의 평균을 말한다. 한편 <표 3>의 결과를 바탕으로 각각의 실험에서 얻어진 성능특성치들의 평균과 분산을 이용하면 SN비의 값들이 구해진다. 첫번째 성능특성치인 service level의 SN비를 이용하여 각 인자들과 21개의 2인자 교호작용을 분산분석한 결과가 <표 4>에 제시되었다.

<표 4> 성능특성치 service level에 대한 분산분석표

요인	제곱합	자유도	불편 분산	F 값
A	36.38	1	36.38	3.62
B	75.58	1	75.58	7.53**
C	184.89	1	184.89	8.41**
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	481.7**
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				

분산분석 결과, C(stage 3에서의 간판수), E(stage 2에서의 간판사이클타임), F(stage 3에서의 간판사이클타임), G(컨테이너 크기), A×F(stage 1에서의 간판수와 stage 3에서의 간판사이클타임의 교호작용), B×E(stage 2에서의 간판수와 간판사이클타임의 교호작용)가 $F_{0.05}=7.08$ 에서 유의함이 제시되었다. 여기서 B인자는 E인자와의 교호작용에 의하여 더 좋은 F_0 값을 갖는 E인자가 선택되었다.

service level에서의 유의한 인자들과 교호작용 효과를 고려한 최적수준은 <표 5>와 같다. <표 5>에서 성능특성치인 service level에서의 최적수준은 SN비가 큰 값으로, A_2F_1 (stage 1에서의 최대간판수, stage 3에서의 최소 간판사이클타임), B_1E_1 (stage 2에서의 최소 간판수, 최소 간판사이클타임), C_2 (stage 3에서의 최대 간판수), D_1 (stage 1에서

<표 5> service level에서의 유의한 인자들의 최적수준

인 자	service level	
	S N 비	최적수준
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_2	-19.80	

의 최소 간판사이클타임, G_2 (컨테이너 크기가 20인 경우)이다. 또한 성능특성치인 service level에서의 목표치는 backorder의 수를 0이 되게 하는 망소 특성치이기 때문에 SN비 값이 큰 설계배치방법은 기대손실을 최소화시키는 설계배치 방법임을 알 수 있다. <표 5>에서 A_1, B_1, C_1 은 각 stage 1, 2, 3에서의 최소 간판의 수 이고, A_2, B_2, C_2 는 최대 간판의 수, D_1, E_1, F_1 은 각 stage 1, 2, 3에서의 최소 간판 사이클 타임, D_2, E_2, F_2 는 최대 간판 사이클 타임, G_1 은 컨테이너 크기 10, G_2 는 컨테이너 크기 20을 뜻한다. 최적수준조합을 분석한 결과 stage 1과 3에서 간판수가 최대, stage 2에서의 간판수가 최소, stage 1, 2, 3에서 간판 사이클타임이 최소일 때이며, 컨테이너 크기(batch size)가 클 때 service level에서의 backorder의 수가 최소가 됨을 알 수 있다. <표 5>에서 service level에 유의한 영향을 미치는 인자의 최적수준 조합에서 SN비를 추정해보면 다음과 같다[10]. 여기서 E_1 인자는 B_1 인자와의 교호작용에 의해 계산된 것이고, \bar{T} 는 <표 3>에서 $A_2F_1, B_1E_1, C_2D_1E_1G_2$ 인자들의 SN비의 총합에 대한 평균값을 말한다.

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

이때 기대손실 L은 식(3)과 같다[9].

$$L = k(10^{\frac{-SN}{10}}) = k(10^{\frac{2.64}{10}}) = k(1.804) \quad (3)$$

성능특성치중에 두번째로 고려되는 inventory수준에 대한 분산분석을 실시하면 <표 6>과 같은 결과를 얻게 된다. 여기서 21개의 2인자 교호작용은 유의하지 않으므로 오차 항에 풀링시켰다.

<표 6> 성능특성치 inventory level에 대한 분산분석표

요인	SS	ϕ	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	46.9**
e	794	56	14.18	
T	1633.49			

<표 7> inventory level에서의 유의한 인자들의 최적수준

인 자	inventory level	
	S N 비	최적수준
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 $\alpha=0.05$ 에서 유의한 결과가 제시되었으나, D(stage 1에서의 간판 사이클타임), E(stage 2에서의 간판 사이클타임) 인자들의 F_0 값도 3이상이므로 무시하기 어렵다. inventory level에서 유의한 인자들의 최적 수준은 <표 7>과 같다. <표 7>의 inventory level에서 최적수준은 D_2 (stage 1에서의 최대 간판 사이클타임), E_2 (stage 2에서의 최대 간판 사이클타임), G_1 (컨테이너 크기가 10인 경우)인 경우이다. 성능 특성치인 inventory level에서 목표치는 재공재고가 0이 되는 망소특성치이기 때문에 SN비 값이 큰 설계배치 방법이 기대 손실을 최소화시키는 설계배치 방법임을 알 수가 있다. 최적수준 조합은 stage 1과 2에서의 간판 사이클타임이 최대가 되고 컨테이너 크기가 최소일 때, 재공재고의 갯수가 최소가 될 때이다. 따라서 service level과 마찬가지로 inventory level도 컨테이너의 크기가 간판수의 결정에 가장 크게 영향을 미치는 인자임을 알 수 있다. <표 7>에서 inventory level에 유의한 영향을 미치는 인자의 최적수준 조합에서 SN비를 추정해 보면 다음과 같이 계산된다[10].

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

여기서 기대 손실 L은 식(4)와 같다[9].

$$\begin{aligned}L &= k\left(10^{\frac{-SN}{10}}\right) \\ &= k\left(10^{\frac{39.12}{10}}\right) \\ &= k(8165.82)\end{aligned}\quad (4)$$

그러나 본 연구에서는 성능특성치를 service level과 inventory level인 다수특성치를 고려하였다. 다수특성치의 경우 특성치마다 설계변수의 최적조건이 다르게 나타나는 상충현상이 발생되므로 단일 특성치일때는 나타나지 않던 문제점이 발생하게 된다. 따라서 특성치나 설계변수의 수가 증가하면 할수록 이러한 상충현상의 발생 가능성은 더욱 커지게 된다.

본 연구의 특성치들은 망소특성치이므로 기대손실 함수는 식(5)와 같다[1].

$$L(y_1, y_2) = k_1 y_1^2 + 2k_2 y_1 y_2 + k_3 y_2^2 \quad (5)$$

여기서 k_1, k_2, k_3 는 손실을 화폐 단위로 환산해 주는 상수이고, y_1 은 inventory 수준에서의 성능 특성치, y_2 는 service 수준에서의 성능특성치이다. 식(5)에서 특성치간의 상관관계가 없다고 가정하면, 식(6)과 같이 변형된다.

$$L(y_1, y_1) = k_1 y_1^2 + k_3 y_2^2 \quad (6)$$

식(6)에서 손실함수에 의해 구해지는 손실값은 특정한 시점에서의 손실값만을 대변한 것이므로 제품의 평균적인 손실인 기대손실을 고려하는 것이 유용하다. 이때의 기대 손실을 L이라 할 때 식(6)의 기대손실은 식(7)과 같다[9].

$$\begin{aligned}L &= E[L(y_1, y_2)] \\ &= k_1 E(y_1^2) + k_3 E(y_2^2) \\ &= k_1 [VAR(y_1) + E^2(y_1)] \\ &\quad + k_3 [VAR(y_2) + E^2(y_2)] \\ &= k_1 [\sigma_1^2 + \mu_1^2] + k_3 [\sigma_2^2 + \mu_2^2]\end{aligned}\quad (7)$$

<표 8> 상충인자 조합에서의 각 특성치별 SN비 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

여기서 σ_1^2, σ_2^2 와 μ_1, μ_2 는 각각 망소특성치로 y_1, y_2 의 분산과 평균이다. 직교배열을 이용한 실험 배치에서 n개의 반복 관측치를 얻었을 때 망소특성치의 기대손실을 다구찌가 제안한 SN비를 이용하여 나타내면 식(8)과같다[9].

$$\hat{L} = k_1[s_1^2 + \overline{y_1^2}] + k_3[s_2^2 + \overline{y_2^2}] \quad (8)$$

$$= k_1[10^{-\frac{SN_1}{10}}] + k_3[10^{-\frac{SN_2}{10}}]$$

여기서 $s_1^2, \overline{y_1^2}$ 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 정해야만 한다.

본 연구의 성능 특성치인 service level에 대한 최적수준은 $A_2B_1C_2D_1E_1F_1G_2$ 이고, inventory level에 대한 최적수준은 $D_2E_2G_1$ 이다. 이때의 상충인자는 D (stage 1에서 간판 사이클타임), E (stage 2에서 간판 사이클타임), G (컨테이너 크기)

이다. 따라서 상충인자가 아닌 인자를 각각 $A_2B_1C_2F_1$ 으로 고정후 상충인자인 D, E, G 의 수준과 유의한 인자를 조합한 두개의 특성치에 대한 SN비를 추정된 결과를 <표 8>에 제시하였다. 여기서 G_1 인자가 선택된 이유는 상충인자로 인하여 선택된 것이다.

<표 8>에서 SN_1, SN_2 열의 각 추정치들은 성능특성치인 service level과 inventory level에서 상충인자와 유의한 인자들간의 수준조합 조건에 대한 추정치로서 다음과 같이 계산된다.

$$\begin{aligned} \widehat{x_{III}} &= \overline{A_2} + \overline{B_1} + \overline{C_2} + \overline{D_1} + \overline{E_1} + \overline{F_1} + \overline{G_1} - 6\overline{T} \\ &= (-19.42) + (-19.07) + (-19.04) + (-19.25) \\ &\quad + (-18.25) + (-18.99) + (-28.83) - 6(-20.13) \\ &= -22.07 \end{aligned}$$

나머지 추정치들도 이와같은 방법으로 구한다. 위 식을 이용하여 <표 8>의 모든 수준조합에서 다수특성치를 고려한 기대손실을 비교하면 이들 인자간의 절충된 최적수준을 결정할 수 있다. 이때 k_1 과 k_3 값을 결정할 수 있다면 다수특성치를 고려한 기대손실을 구할 수 있다. 여기서 상수 $k_1,$

k_3 은 특성치의 손실을 동일한 화폐 단위로 환산해 주는 역할을 한다. 만약 사용자가 특성치의 중요도를 함께 고려하여 상수를 k_1, k_3 라 정의하면, 상수 k_1, k_3 은 특성치의 단위를 동일한 화폐단위로 일원화하는 역할과 특성치의 가중치를 부여하는 역할을 겸하게 된다.

본 연구에서는 k_1 를 1일 backorder cost, k_3 를 1일 평균재고유지비용이라 정하고, 각각의 비용을 200,000(원)과 150(원)이라 가정하였다. service level은 고객에 직접 영향을 미치기 때문에 주요한 평가특성의 수준이고, inventory level은 생산 cost에 따라 간접적으로 영향을 받기 때문에 service level에 상대적 중요도를 2배로 하여 변수를 설계하였다. 가중치를 포함하여 손실을 화폐단위로 환산해주는 최종 상수의 값은 service level의 경우 단위당 200,000×2(원) 즉, 400,000(원)이 되고 inventory level의 경우 단위당 150 ×1=150(원)이 된다. <표 8>과 같이 상충인자인 D, E, G의 각 수준과 유의한

인자 조합에서 기대 가중손실 값을 비교하여 이들 인자의 절충된 최적수준을 정한 결과를 <표 9>에 제시하였다. 본 연구에서 정의한 대상문제의 기대 가중손실은 다음과 같이 계산된다.

$$\begin{aligned} \widehat{L}_{111} &= k_1 \left[10^{\frac{-SN_1}{10}} \right] + k_3 \left[10^{\frac{-SN_2}{10}} \right] \\ &= 200,000 \times 2 \left[10^{\frac{22.07}{10}} \right] + 150 \left[10^{\frac{44.86}{10}} \right] \\ &= 69,018,770.56 \end{aligned}$$

만일 1일 backorder cost와 1일 평균재고 유지비용이 다르게 규정되고 가중치가 설계자에 따라 변화하더라도 위와 같은 방법을 이용하면 다수특성치를 고려한 최적수준을 구할 수 있게 된다.

4. 결 론

본 연구에서는 Moeeni가 설계한 JIT 간판시스템하에서 각각의 성능특성치(service level, inventory level)가 불확실한 환경에 둔감한 최적수준임을 확인

<표 9> 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	

하였고 또한 성능특성치가 다수일 때, 다수특성치를 고려한 최적 설계방법과 각 특성치의 상대적인 중요도 차이에 따른 최적수준 결정방법임을 제시하였다.

<표 5>의 시뮬레이션분석결과에 따르면 첫 번째 성능특성치인 service level과 관련하여 최종공정인 stage 3과 전 공정인 stage 2의 간판수가 증가되었고 간판사이클타임이 감소될 때 또한 컨테이너 크기가 증가될 때 기대손실이 최소가 됨을 알 수 있었다. 그러나 최초공정인 stage 1의 간판수와 간판사이클 타임은 별다른 영향을 받지 않음을 알 수 있다. 따라서 정확하게 수요를 만족시키기 위해서는 최종공정과 전 공정의 간판수와 간판사이클타임 및 컨테이너 크기를 신중히 고려해야만 한다. 두번째 성능특성치인 inventory level의 경우, <표 7>의 분석결과에 의해 컨테이너 크기가 감소할수록 재공재고가 감소하고, stage 1과 stage 2의 간판사이클타임이 증가 할 때 재공재고가 미세하게 감소 됨을 알 수 있다. 본 연구에서 고려한 성능특성치가 다수특성치이기 때문에 단일 특성치일때에는 나타나지 않던 문제, 즉 특성치마다 설계변수의 최적조건이 다르게 나타나는 상충현상이 발생되므로 상충인자를 고려한 다수특성치의 최적수준을 결정하는 방법을 제시하였다. 본 연구를 바탕으로 추후에는 공정의 크기를 확대한 다단계 공정과 품종이 다양한 다품종으로 연구를 확장할 필요가 있다.

참 고 문 헌

- [1] F. Moeni, S. M. Sanchez and A.J. Vakharia. "A Robust design methodology for Kanban System Design", International Journal of Production Research, Vol.35, No.10, pp.2821-2838, 1997.
- [2] 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," Decision Sciences, Vol.14, No.3, pp.326-344, 1983.
- [3] Kacker, N. R. "Off-Line Quality Control, Parameter Design and the Taguchi Method," Journal of Quality Technology, Vol.17, No.4, pp.176-188, 1985.
- [4] 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, pp.39-57, 1987.
- [5] 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.21, No.1, pp.19-35, 1987.
- [6] Moeni, F. and Y. L. Chang "An Approximate Solution to Deterministic Kanban Systems," Decision Sciences, Vol.21, No. 3, pp.596-607, 1990.
- [7] 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, pp. 457-472, 1987.

- [8] Tang, C. S. "The Impact of Uncertainty on A Production Line," Management science, Vol.12, pp.1518-1531, 1990.
- [9] 동승훈, "성능특성이 다수인 경우의 파라미터의 설계에 관한 연구", 석사학위논문, KAIST, 1990.
- [10] 박성현, 응용실험계획법, 영지문화사, 1990.