산업기술연구(강원대학교 산업기술연구소 논문집), 제31권 A호, 2011.
Journal of Industrial Technology, Kangwon Natl. Univ., Korea, No. 31 A, 2011.

시뮬레이션을 이용한 공정운영 효율화

Effective Manufacturing Operation based on Simulation

전 태 보* 진 민 지**
Jeon, Tae Bo Jin, Min-Ji

Abstract

Simulation plays an important role for system analysis. In this study, a manufacturing system has been analyzed through computer simulation. We first briefly explain the considered system with prevailing problems. We then build a simulation model using ARENA simulation language. Based on two selected performance measures, material transporter load and hourly throughput, explicit system analyses have been performed. We addressed four parameters - variation of the processing time, number of raw material transporters, quality failure rate, and machine failures - as the input parameters affecting the output measures selected. We adopted Taguchi's orthogonal array in statistical experimental design and drew meaningful results from the analysis. The results given in the study may provide a good guidance for practical applications.

키워드 : *ARENA, 칸반, 실험계획, Taguchi*
Keywords : *ARENA, Kanban, Expaeriemtal Design, Taguchi*

1. 서론

제품생산 공정의 효율적인 운영을 위한 체제 구축은 시스템 운영상 다양한 변화특성으로 인하여 정량적인 모형 수립이 불가능하며 체계적인 분석 역시 매우 어렵다. 이러한 목적에서 시뮬레이션은 경험적인 해법을 지향하는 좋은 도구이다. 본 연구에서는 특정 기업의 생산 공정을 대상으로 현재 문제가 되고 있는 부분에 대하여 컴퓨터 시뮬레이션을 통한 분석을 수행하여 효율적인 결론을 도출하고자 한다. 특별히, ARENA[1]를 이용하여 모형을 수립하고 문제 해결을 하고자 한다.

연구수행을 위하여 다음 절에는 대상 시스템에 대한 전반적인 내용과 문제점을 고찰하며, 제 3절에는 ARENA를 이용한 시뮬레이션 모형을 수립한다. 제 4절에서는 결과 분석을 위한 시나리오 설정과 결과에 대한 실험계획법을 이용한 분석을 수행한다. 제 5절에서는 전체적인 결론을 맺는다.

* 강원대학교 산업공학과 교수, 공학박사, 교신저자
** 강원대학교 산업공학과

2. 대상시스템 개요 및 문제점

본 연구에서 대상으로 하는 시스템은 자동차 부품을 생산하는 공장으로 다양한 차종에 대한 제품들을 주문에 의해 생산한다. 고려 대상 공장의 주요 부분은 개략적으로 그림 1과 같은 생산라인들로 구성되며, 라인별로 일정 수의 작업자들이 조립작업을 수행한다. 설정된 생산계획에 의거 lot 단위로 원자재가 라인에 투입되고 라인 내에서는 작업들의 밸런싱으로 거의 흐름라인 형태로 진행된다. 작업을 마친 lot 단위의 제품들은 제품 창고에 입고된다.

원자재 창고로부터 라인에의 자재 투입은 모든 제품에 대해 100개씩의 lot 단위로 이루어지며 간접 작업자들인 자재 운반자들이 담당한다. 현재의

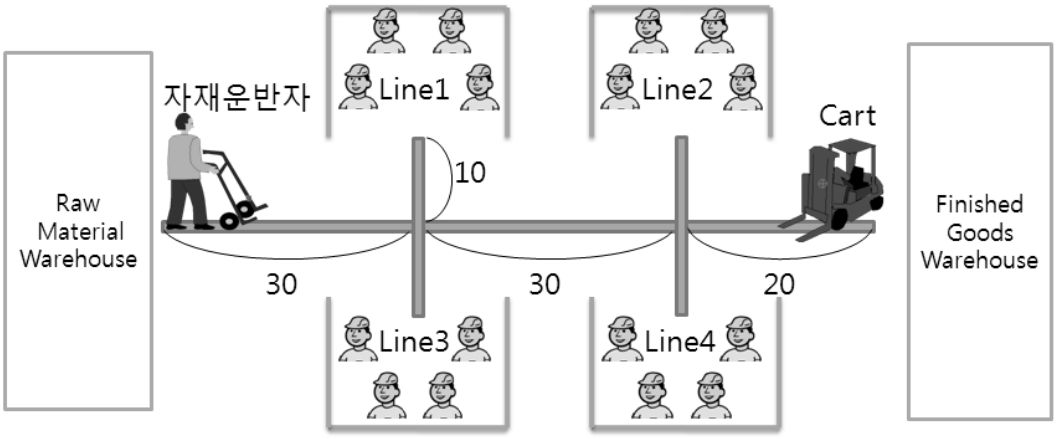


그림 1 개략적인 공정도

문제점은 이들 자재 운반자들이 생산/일정 계획에 의거 매번 원자재를 창고로부터 불출 받아 운반해 주어야하나 자신들의 편의를 위해 하루의 일정을 중심으로 여러 lot들의 원자재를 한꺼번에 가져다가 생산 라인 근처에 쌓아놓고 자신들의 travel time을 줄이고자 한다. 이는 부분적으로 효율성이 좋다는 측면이 있으나 너무 많은 원자재(재공) 재고가 공정라인에 쌓이는 문제가 있다. 때로는 공정 스케쥴의 변화 시 작업 예정인 부품이 제때에 준비되지 못하는 경우가 발생하기도 한다. 더욱이 일부 자재의 분실로 lot내 수량 부족이 발생해 라인에서의 작업 수행이 불가능하여 창고로부터 추가적인 수량을 수령해야 하는 경우도 종종 발생한다. 이러한 문제점을 극복하고자 회사에서는 매 lot의 작업지시서를 중심으로 원자재를 불출하는 체제를 칸반(kanban) 형태로 운영하고자 한다. 자재 운반자들의 반발이 매우 심하기는 하나 회사의 방심은 확고하다. 현재 자재 운반자들에 대한 부하는 측정이 쉽지 않다. 본 연구에서는 새로운 체제로 운영할 경우의 자재 운반자들에 대한 부하를 중심으로 칸반 시스템에 대한 가능성 평가를 수행하고자 한다.

또 다른 문제는 라인내 공정변수들의 존재이다. 본 대상 공장의 라인내 작업들은 흐름라인을 지향하여 평준화되었으며, 작업간에는 재고가 없이 운영되도록 설계되었다. 그러나, 현실적으로 작업간에는 다소간의 편차가 발생한다. 각 작업자들이 담당하는 기계 역시 고장이나 조정의 필요로 멈추는 경우가 종종 발생한다. 마지막으로, 작업 중에는 설비, 작업자, 또는 기타의 요인으로 불량이 발생하며 이 경우 폐기는 없되 수행한 작업을 해체한 뒤 재작업하는 문제가 발생한다. 이상의 문제들은 작업자들의 blocking이나 해당 라인 전체를 멈추게 하는 요인들로 전체의 생산성에 매우 큰 영향을 미친다는 판단이다. 공정 운영상의 여려 변화들이 라인의 최종 결과치에 미치는 영향을 분석하고자 한다. 즉, 여러 공정의 변화를 고려하여 단위 시간당 생산량을 최대로 하는 공정운영 방안을 검토하고자 한다.

3. 시뮬레이션 모형

본 연구의 첫 번째 목적은 칸반 체제의 경우 자재 운반자들의 부하 검토이며, 두 번째 목적은 공정변수들의 생산량에의 영향 분석이다.

3.1 모형 수립을 위한 가정

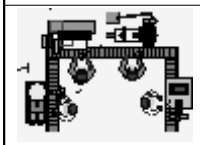
먼저, 시뮬레이션 언어인 ARENA로 구현하기 위한 가정들은 다음과 같이 요약된다.

- 공정운영은 휴식 및 식사 등의 고려 없이 하루 8시간 작업을 가정한다.
- 자재 운반자는 매회 1 lot씩만 운반하며 완제품 역시 lot 단위로 운반된다. 단, 완제품 lot의 제품창고 운반은 본 연구 영역에 포함되지 않으며 편의상 넉넉한 대수의 cart를 가정한다.
- 라인 내 흐름작업을 위하여 첫 번째 작업자를 제외하고 각 작업자 앞의 대기 가능 부품은 없다.
- 작업 중 불량 발생시 해당 작업자는 자신의 조립작업을 분해한 후 재작업한다. 즉, 재작업으로 인한 시간은 지연되며 폐기품은 없다.

3.2 시뮬레이션 모형 수립

시뮬레이션 모형 수립을 위하여 먼저 사용할 그림들은 표 1과 같이 요약된다.

표 1 시뮬레이션에 도시된 그림

그림	내 용
	각 라인으로 운반되는 부품 lot
	각 라인에서의 완제품
	라인의 구조 및 작업자 배치
	칸반과 함께 이동하는 자재 운반자
	완제품을 창고로 운반하는 Cart

다음으로, 시뮬레이션 모형 수립과 관련한 내용들은 다음과 같다. 생산계획에 의거 자재 운반자는 생산지시서 역할을 수행하는 (생산) 칸반을 수령하여 운반차와 함께 원자재 창고로 가서 한 lot의 자재를 수령한다. 자재 불출 및 운반에는 다소의 시간이 소요되며, 자재 수령 후 해당 라인으로 향하고 라인에 도착하여 칸반과 운반차를 놓는다. 라인에서 생산을 완료한 후 칸반은 회수되며 완료된 제품은 제품창고에 입고된다. 이렇듯 본 연구에서는 단일 칸반 체제로 운영함을 원칙 칸반과 관련한 보다 세부적인 운영방법은 문헌을 참고할 수 있다[2][3].

운반된 자재들의 라인내 가공/조립 작업은 어느 정도 평준화되어 있으며 작업시간은 일정 사이클 타임으로 정의된다. 다만, 라인내 작업들사이에는 다소간의 편차가 존재한다. 특별히, 각 작업시간은 정규분포를 따르되 공통의 평균치와 편차를 갖는다. 편균치는 라인별로 서로 다르다. 라인내 작업자들 간의 작업시간 편차를 가정하기 위하여 변동계수(CV: coefficient of variation)를 통한 공정시간 편차를 가정한다.

라인 내 작업자들의 작업 중 불량이 발생할 수 있으며 이 경우 폐기는 없되 자신이 수행한 조립을 해체하고 재 작업하는 관계로 작업시간의 지연이 발생한다. 재작업 시간은 본래의 시간에 일정 상수 배를 가정한다. 때로 각 작업자의 담당 설비가 고장이 발생할 수 있으며 이 경우 일정시간의 수리시간이 소요된다. 이들에 대하여는 지수분포를 가정하며 up-time과 down-time은 고장간격 및 수리시간의 평균치이다. 작업이 완료된 lot 단위의 제품들은 cart에 의해 제품 창고로 운반된다. 본 연구에서 완제품 이동 및 저장 부분은 분석 대상에 포함하지 않으며 따라서 적절히 가정된 cart의 수와 운반 속도를 가정한다.

이들을 중심으로 ARENA를 이용한 시뮬레이션 모형을 수립하였으며 그림 2는 임의 시점에서의 시스템 동작에 대한 animation을 도시한다. 이 그림에서 좌측 상부는 칸반 수량의 변화를 보이며 우측에는 각 라인별 총 생산량이 도시되었다.

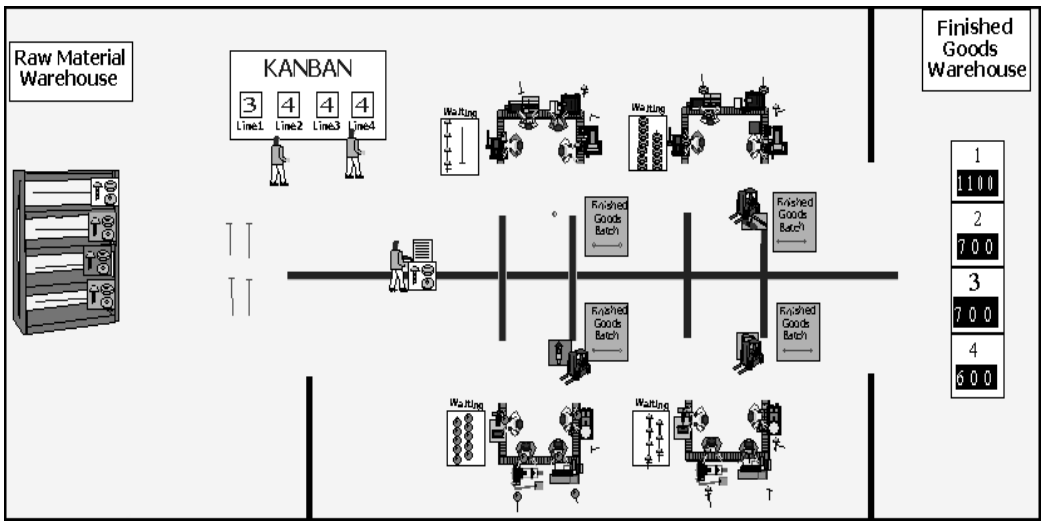


그림 2 시뮬레이션 수행

4. 시스템 수행도 분석

본 절에서는 앞의 시뮬레이션 모형을 통해 도출된 자료를 바탕으로 실험계획법을 활용하여 분석하고자 한다.

4.1 수행평가, 입력변수 및 실험설계

본 연구에서 얻고자 하는 결과는 칸반 시스템 적용을 위한 적정한 자재 운반자 수 검토와 최대 생산량을 갖는 조건의 확인이다. 이들 수행 평가기준들 중 자재 운반자의 부하는 이용률(utilization)을 통하여 분석하며, 생산량 경우는 단위 시간당 생산량을 활용한다. 참고로, 단위당 생산량은 이의 최대화 측면에서 망대특성(LTB: larger-the-better characteristics)에 해당된다.

이를 분석하기 위한 주요 변수들은 총 4개로 정해졌으며 이들은 표 2와 같다. 표에서 보듯이 각 인자(변수)별 3개의 수준들을 고려하였다. 본 연구에서는 인자들 간의 교/호작용을 무시한다는 가정하에 $L_9(3^4)$ 직교배열(orthogonal array)[4]을 이용하기로 한다.

표 2 인자들 및 고려영역

기호	인자	수준1	수준2	수준3
CV	작업시간편차 (변동계수)	0.1	0.2	0.3
PF	불량률(%)	2	4	6
NT	자재 운반자 수	1	2	3
FT	평균고장시간 평균수리시간 (분)	100 20	100 10	200 10

4.2 실험결과 및 분석

시뮬레이션 수행은 초기 warm-up기간을 1일로 두고 이후 10일씩 4회 반복하여 총 40일로 정하였다. 이에 대해서는 정량적인 검토가 필요하나 그간의 경험에 의하면 이 정도의 시간 및 반복이 문제의 최종 해에 충분히 수렴하는 결과를 제공한다는 판단이다.

4.2.1 자재 운반자 분석

표 3은 총 9회의 조합에 대한 시뮬레이션 수행 결과로부터 얻어진 자재 운반자의 이용률(%) 결과이다. 이 표의 첫 다섯 열은 $L_9(3^4)$ 직교배열 상의 인자배열과 수준들을 나타내며, 다음의 네 열은 실험조합별 관측된 결과치들이며, 최종적으로 관측치들의 평균치를 구하였다. 표 4, 표 5, 그리고 그림 3은 앞의 결과를 바탕으로 계산된 ANOVA (analysis of variance) 결과와 인자 수준별 평균을 표와 그래프로 도시한 것이다.

각 인자들을 중심으로 분석한 내용은 다음과 같다.

- 자재 운반자의 수(NT)가 자재 운반자의 이용률에 매우 큰 영향을 미침을 알 수 있다. 1명일 때 가장 큰 이용률을 나타내고 자재 운반자 수가 증가할수록 큰 차이로 이용률이 감소함을 알 수 있다. 이 표의 결과를 중심으로 고려할 때 2 또는 3명이 적정하다는 판단이다.
- 설비 고장 및 수리시간(FT)은 자재 운반자의 이용률에 다소 큰 영향을 미친다는 결과이다. 직관적으로 설비 고장이 적을수록 라인 작업자들이 바쁘며 따라서 자재 운반자들도 바쁘다는 결론이다.

표 3 자재 운반자의 이용률(%) 결과

조합	CV	PF	NT	FT	1	2	3	4	평균
1	1	1	1	1	71.67	71.92	72.81	69.53	71.48
2	1	2	2	2	41.63	42.75	41.00	42.16	41.89
3	1	3	3	3	30.20	29.56	29.75	29.66	29.79
4	2	1	2	3	48.99	50.05	47.94	48.32	48.83
5	2	2	3	1	21.43	21.92	21.71	21.59	21.66
6	2	3	1	2	75.59	76.36	74.89	75.62	75.62
7	3	1	3	2	26.75	27.18	26.89	26.79	26.90
8	3	2	1	3	86.83	85.75	85.62	87.36	86.39
9	3	3	2	1	27.64	29.69	30.13	29.28	29.19

- 작업시간 편차(CV)는 자재 운반자들의 이용률에 아주 미미한 영향을 미친다. 표 5 및 그림 3에서 보듯이 수준별 이용률에의 차이는 거의 없음을 알 수 있다.
- 불량률(PF) 역시 CV 경우 보다는 높은 영향을 미치나 전반적으로 미미한 영향을 나타낸다.

전체적으로, 현재 4명으로 운영되는 자재 운반자의 수는 2 또는 3명 정도로도 충분히 운영할 수 있으며, 설비 고장이 적을수록 자재 운반자들을 효과적으로 활용할 수 있다는 결론이다.

표 4 ANOVA 결과 - 자재 운반자 이용률(%)

Source	SS	df	MS
CV	2.47	2	1.24
PF	44.68	2	22.34
NT	4299.33	2	2149.66
FT	303.68	2	151.84
Total	4650.16	8	

표 5 인자수준별 자재 운반자 평균 이용률(%)

Level	CV	PF	NT	FT
1	47.72	49.07	77.83	40.78
2	48.70	49.98	39.97	48.13
3	47.49	44.86	26.12	55.00

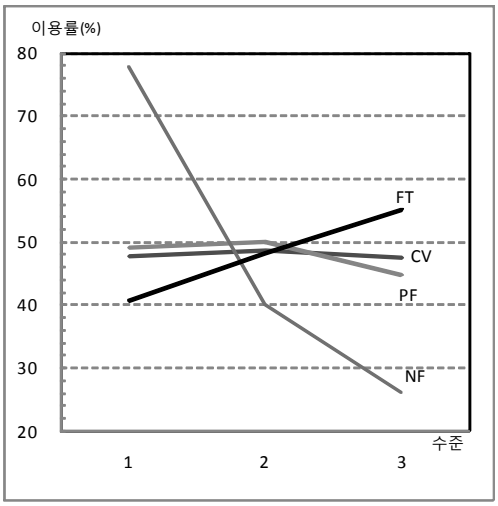


그림 3 자재 운반자 이용률의 평균반응

4.2.2 생산량 분석

표 6은 같은 방법으로 $L_9(3^4)$을 통하여 얻은 단위 시간당 생산량 결과를 도시한다. 라인별 생산량이 다르기 때문에 편의상 전체 라인들로부터의 총 생산량을 기준으로 구하였다. 이 표의 마지막 열은 앞의 평균과 달리 다음 식으로 정의되는 S/N (signal-to-noise)을 통하여 구하였다.

$$S/N = -10\log\left[\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{4}\frac{1}{y_i^2}\right]$$

단, y_i - 실험결과치 (i=1,2,3,4)

표 6 시간당 생산량 결과

조합	CV	PF	NT	FT	1	2	3	4	S/N
1	1	1	1	1	79.0625	80.6250	80.9375	80.3125	38.09
2	1	2	2	2	94.3750	95.0000	91.5625	94.3750	39.44
3	1	3	3	3	100.9375	99.3750	99.6875	99.3750	39.99
4	2	1	2	3	106.8750	113.1250	106.2500	107.1875	40.69
5	2	2	3	1	69.3750	75.3125	70.9375	72.8125	37.15
6	2	3	1	2	85.3125	85.3125	83.4375	80.6250	38.44
7	3	1	3	2	91.5625	90.0000	90.3125	90.0000	39.13
8	3	2	1	3	95.9375	95.3125	95.6250	97.1875	39.65
9	3	3	2	1	60.9375	63.7500	66.8750	65.6250	36.15

앞에서 설명했듯이 생산량 경우는 망대특성에 해당된다. 표 7, 표 8, 그리고 그림 4 역시 생산량에 대한 ANOVA 결과와 인자 수준별 S/N 평균에 대한 도표와 그래프이다.

생산량에 대한 인자별 영향은 다음과 같이 요약된다.

- 설비 고장 및 수리시간(FT)이 생산량에 가장 큰 영향을 미침을 알 수 있다. 이는 직관적으로도 쉽게 이해되며 기계 고장발생이 적고 수리시간이 짧을수록 생산량은 증가한다.
- 불량률(PF)은 FT 경우보다 큰 영향을 미치지 못하였지만 제법 생산량에 영향을 미치는 요인으로 분석되었다.
- 작업시간 편차(CV) 역시 생산량에 다소간의 영향을 영향을 미친다는 결과이다. 표 8로부터 각 수준별 SN비의 차이도 약간 나타남을 알 수 있다.
- 자재 운반자의 수(NT)는 생산량에 미치는 영향이 미약함을 알 수 있다.

표 7 ANOVA 결과 - 시간당 생산량(S/N)

Source	SS	df	MS
CV	1.12	2	0.56
PF	1.84	2	0.92
NT	0.00	2	0.00
FT	13.62	2	6.81
Total	16.59	8	

표 8 인자수준별 생산량 평균반응 도표(S/N)

Level	CV	PF	NT	FT
1	39.17	39.30	38.73	37.13
2	38.76	38.75	38.76	39.01
3	38.31	38.19	38.75	40.11

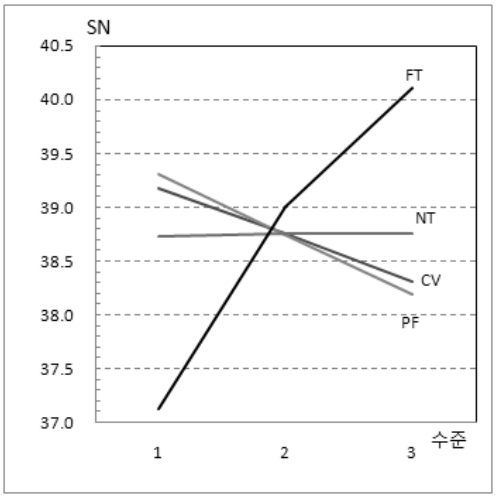


그림 4 인자수준별 생산량 S/N 평균반응

4.3 종합분석

우리의 마지막 고려는 최적 운영조건의 설정과 이 조건하에서 기대되는 자재 운반자 이용률과 생산량을 예측하는 것이다. 앞의 4.2.1절과 4.2.2절의 분석으로 통하여 모든 인자들이 선정한 수행평가들에 영향을 미치지는 않으나 어느 인자든 완전히 제거할 수는 없다는 결론이다. 특별히, 자재 운반자의 수는 1명의 경우도 가능하겠으나 부하가 너무 클 가능성이 있으므로 2명을 최적으로 적용한다. 이제 인자들의 최적 조건은 CV_1, PF_1, NT_2, FT_3으로 설정되었다. 최적조건에서 예상되는 자재 운반자의 이용률과 시간당 생산량은 다음과 같다.

자재 운반자 이용률 추정치

$$= \widehat{CV}_1 + \widehat{PF}_1 + \widehat{NT}_2 + \widehat{FT}_3 - 3\hat{\mu}$$
$$= 47.72 + 49.07 + 39.97 + 55.00 - 3(38.75)$$
$$= 75.51(\%)$$

생산량 추정치

$$= 91.30 + 93.02 + 88.83 + 101.41 - 3(87.65)$$
$$= 111.61(\text{개}/hr)$$

위의 추정치에 있어 자재 운반자 부하는 75.51%로 현실적으로 다소 높을 수도 있다. 특별히, 자재 운반자 수의 경우 3명을 최적으로 할 경우 61.66%가 얻어졌다. 현실적인 측면에서의 양자에 대한 검토를 통하여 적정한 수를 설정할 수 있을 것이다. 그리고, 생산량 추정치는 S/N보다는 실제 생산수량을 기준으로 산정된 수치로 충분히 수용가능 한 수치이다. 결론적으로, 최대한의 좋은 결과를 위하여 기계 고장방지를 위한 예방정비가 중요하다는

결론이다. 동시에 불량률의 감소와 라인 밸런싱에 대한 노력이 함께 추구될 경우 매우 효율적인 라인운영이 기대된다. 마지막으로, 자재 운반자의 경우 2명 또는 3명만으로도 충분히 원하는 칸반 체제로의 변환이 가능하고 현재의 관리 상태보다 체계적이고 효과적인 결과가 기대된다.

5. 결론

본 연구에서는 자동차 부품 생산업체의 생산라인 운영과 관련하여 현재 가지고 있는 문제점을 중심으로 가장 적절한 운영 조건을 도출하는 분석을 수행하였다. 이를 위하여 ARENA 프로그램과 실험계획법을 활용하였다. 주요 공정 변수들을 중심으로 분석을 수행하고 최적 조건을 도출하였다. 최종적으로, 최적조건에서 예상되는 평가기준들에 대한 결과를 예측하였다. 본 연구의 결과가 실제 공정 운영상의 문제점 파악과 효율적인 대안의 도출이라는 측면에서 좋은 기여가 기대된다.

참 고 문 헌

[1] 문일경, 조규갑, 조면식, 최원준, *ARENA를 이용한 시뮬레이션(4th Ed.)*, 교보문고, 2007.
[2] Schonberger, R. J., *Japanese Manufacturing Techniques*, The Free Press, 1982.
[3] 강성수, 고시근, 문기주, 지정환, 조증성, *Production: Planning, Control and Integration*, (주)사이텍미디어, 2001.
[4] Peace, G. S., *Taguchi method: a hands-on approach*, Addison-Wesley Publishing Company, Inc., 1993.