

생산성 향상을 위한 대안들의 비교 평가 시뮬레이션 사례연구

A Simulation Study for Comparison and Evaluation of Alternative Plans for the Productivity Improvement

김원경*

Won Kyung Kim

Abstract

For the productivity improvement, it is necessary to analyze problem of the system and evaluate alternative plans. But, it is hard to experiment and evaluate alternative plans in real existing system. Therefore, it is necessary to synthetically analyze and evaluate alternative plans using simulation and statistical analysis method. In this case study, as a simulation language, Promodel is used to compare and evaluate four alternatives which are considered to improve the productivity of an object system. The object system is constituted of a pretreatment line and a painting line. The purpose of this study is to analyze whether the decrease of the down time in pretreatment line can be effective to the productivity improve comparing with exiting system and other alternatives. The other purpose is to choose an alternative that has the best productivity improvement. The results of the simulation show that the possibility of improvement in productivity by decreasing the down time of pretreatment line. Two-Stage Bonferroni Procedure is used to choose the best alternative.

* 경남대학교 벤처창업학부 산업공학전공

1. 서론

국내 중소기업의 경우 예측하지 못한 상태에서 주문을 받고 일정에 쫓기다보면 과거의 경험에 의하여 공정조건을 정해버리거나 단기간의 체계적이지 못한 간이실험을 통해서 공정조건을 대략 설정한 다음 바로 양산에 들어가 수시로 공정개선을 하는 경우가 흔하다. 하지만 생산성향상을 위해서는 시스템의 문제점이나 상황의 변화에 따른 시스템의 대응을 분석하고, 시스템의 분석에서 밝혀진 문제점을 해결하기 위한 대안의 평가 등이 요구된다. 그러나, 현실시스템을 수학적으로 분석하기에는 매우 복잡하므로, 실제로 시스템을 구축하지 않고 모델을 만들어 시물레이션 기법을 통한 분석과 통계적 분석기법을 이용한 종합적인 대안의 평가가 필요하게 된다. 컴퓨터 시물레이션이란 분석의 대상이 되는 현실시스템을 컴퓨터를 이용하여 모델링하고, 시간의 경과에 따른 시스템의 상태변화를 실제 상황과 유사하게 수행해냄으로써, 대상시스템의 예상되는 결과를 사전에 간접적으로 예측하여 유사한 결론을 유추하는 기법이고, 현실문제를 이해하고 여러 가지 대안의 결과를 예측하는 기법으로 제조공정의 설계 및 분석에 많이 사용되는 방법중의 하나이며, 대상시스템의 물리적 환경과 더불어 생산계획에 대한 기존전략의 효율성을 평가하고, 아울러 적용결과 예측을 통한 새로운 개선전략의 타당성을 평가함에 있어서, 신뢰성 있는 근거와 기준을 마련하는 수단으로 이용될 수 있다[1]. 이러한 수단으로써 시물레이션을 이용한 논문으로는, Arena를 이용하여 전체적인 컨테이너 터미널의 생산성을 극대화하기 위한 선석 할당방식, 선측 크레인 할당방식 그리고 컨테이너 크레인 수에 따른 컨테이너 터미널의 성능을 평가한 장성용[8]의 연구와 대기위치가 동적으로 변화하는 상황하의 AGV시스템에서의 여러 가지 대기위치 결정문제를 시물레이션을 이용하여 각 요소의 변화에 따른 시스템의 성능을 비교분석한 김재연, 김갑환[9]의 연구, 생산계획지원 컴퓨터시스템의 도입 이전에 공정개선을 위한 생산계획의 효율성

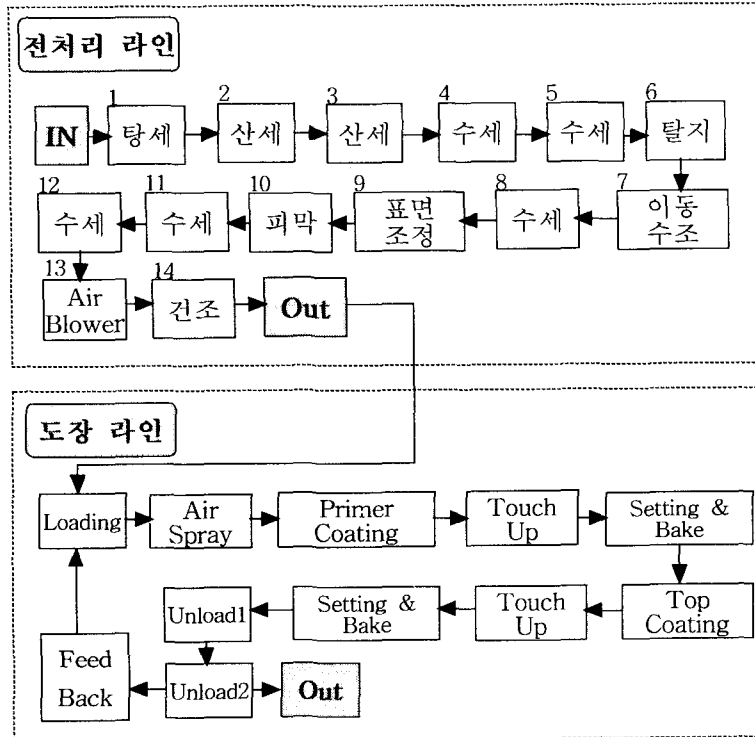
을 평가한 고종영, 조대호[10]의 연구, 전자라인지 조립라인을 시물레이션 모델링하여 공정을 분석하고, 체류시간을 구하여 재공품 재고의 감축과 생산계획에 대한 여러 가지 대안의 비교를 통한 기존생산 시스템의 개선에 대한 조규갑[11] 등의 연구, 멀티미디어 서버시스템을 시물레이션하여 각 시스템 자원에 대한 이용률 등을 수집하고 분석해서, 고객요구에 대한 비용 효율적인 서비스수준과 작업부하의 변동을 수용할 수 있는 서버용량을 평가한 박기진, 김성수[12]의 연구가 있다. 본 논문에서는 전처리라인과 도장라인으로 구성된 C회사의 자전거의 생산성향상을 위해 고려중인 대안들의 비교, 평가를 위해 컴퓨터 시물레이션 언어인 ProModel Software를 이용하여, 대상시스템을 모델링하고 각 대안에 대한 시물레이션을 실행하고 결과를 분석하여, 고려중인 대안들이 기존상황의 시스템에 비해 생산량 증가에 효과가 있는지 평가하여, 가장 생산률이 높은 대안을 선택하는 것이 목적이다.

2. 대상시스템의 구성과 연구과제

자전거를 생산하는 C사의 전처리라인과 도장라인을 대상시스템으로 하며, 대상시스템 공정의 구성은 <그림 1>과 같다.

전처리라인은 작업물에 묻은 이물질이나 기름때를 제거하고, 작업물의 방청성과 Paint 부착력 향상을 위하여 피막을 입히는 작업을 하게 된다. <그림 1>에서 탕세와 이동수조, 수세공정은 작업물에 묻은 이물질을 세척하는 공정이며, 산세공정은 황산을 이용하여 외관불순물과 녹을 제거하며 도장 밀착력 및 내식성을 증대시키는 공정이다. 탈지공정은 알카리성 탈지액을 이용하여 기름때를 제거하는 공정이고, 표면조정과 피막공정은 작업물 외관에 피막을 입혀 도장밀착성 및 내식성을 극대화하기 위한 공정이다.

Basket이 준비되면 일정한 시간동안 Basket에 작업물이 실려지고, 지게차에 의해, 전처리 투입부까지 이동하게 되며, 전처리라인 내에서는 Basket을 이동시키는 2대의 Lifter에 의해 각 공



<그림 1> 대상시스템의 공정

정 사이를 이동하게 된다. Lifter 2대 중 한 대의 Lifter는 투입부에서 이동수조 앞까지를, 나머지는 이동수조를 거치고 나온 Basket을 출력부까지의 이동을 맡는다. 각각의 공정은 탱크로 이루어져 있으며, 이동수조는 바닥에 Conveyor가 설치된 탱크로 되어 있다. 전처리라인 각 공정에 대한 작업시간과 장비능력(Capacity)은 <표 1>과 같다.

Basket에 실려지는 작업물에는 Frame(24, 18, 16inch : 이후 Frame_24, Frame_18, Frame_16으로 표현함), Fender, Fork가 있고, 하나의 Basket에 한 종류의 작업물이 실려지게 되며, 작업물당 Basket에 실려지는 개수는 Frame_16 : 100개, Frame_18 : 80개, Frame_24 : 50개, Fender : 200개, Fork : 200개 씩 실려진다. Basket에 작업물이 실려지는 작업시간은 10분이며, 작업물의 투입은 Basket이 준비되는 즉시 시작되며 작업물 투입비율은 Frame_16은 3%, Frame_18은 16%,

Frame_24는 58%, Fork는 11%, Fender는 12%의 비율로 투입된다. 전처리라인의 돌발 고장은 지수분포 평균 198시간 간격으로 발생하며, 지수분포 평균 4시간의 수리시간이 필요하다.

도장라인에서 작업물은 Conveyor에 의해 이동되게 된다. <그림 1>에서 Loading은 전처리라인을 거친 작업물을 도장라인 Conveyor의 Hanger에 거는 공정이고, Air Spray는 도장공정 전에 작업물에 묻은 먼지나 이물질 제거하는 공정이며, Primer Coating은 하도 도장공정이며 Top Coating은 상도 도장공정이다. Touch Up은 하도와 상도도장을 마친 작업물 전체표면의 도장을 고르게 하여 주는 공정이다. Setting & Bake공정은 원적외선을 이용하여 건조시키는 공정이며, Unload1과 Unload2는 도장을 마친 작업물의 포장과 도장불량을 검사하는 공정이다. Feed Back공정은 도장불량을 다시 Loading공정으로 이동시키는 구간이다.

<표 1> 전처리라인 각 공정 작업시간

공정	작업시간	Cap
탕세	56초	1
산세	14분 (Fender의 경우 1/2 감소)	2
산세	12분 (Fender의 경우 1/2 감소)	2
수세	50초	1
수세	2분	1
탈지	15분	2
이동수조	3분	1
수세	30초	1
표면조정	1분40초	1
피막	4분30초 (Fender의 경우 3.15분)	1
수세	2분36초	1
수세	4분	1
Air Blower	7분	1
건조	15분41초	2

전처리라인을 거친 Basket은 지게차로 도장라인 투입 부분인 Loading 앞 대기장소로 이동되고, Loading에서 Basket에 실려 있는 작업물을 내려, Conveyor의 Hanger에 걸게 된다. 도장라인 Conveyor의 각 구간별 길이와 Pitch당 최대 Capacity는 <표 2>와 같고, 작업물은 Frame_16, Frame_18, Frame_24의 경우는 75Pitch에 1개의 작업물을 걸고, Fender, Fork의 경우는 37Pitch에 2개의 작업물을 걸게된다. Conveyor의 이동속도는 2.25m/min이며, Conveyor의 정지원인과 발생 간격, 정지시간은 <표 3>과 같다. Conveyor의 정지원인은 돌발고장원인에 의한 것과 Primer Coating과 Top Coating의 과정을 거치기 전에, 이전 작업물과 다른 작업물을 도장하게 되면, 정전디스크의 상하이동거리를 조정해주고, 작업물에 대한 Paint Color를 바꿔주어야 하기 때문이다. 도장과정을 마치게 되면 Unload 과정을 거치게 되는데, 이 과정에서 도장라인에서 발생하게 되는 불량품을 고려하게 된다. 도장라인의 불량

률은 1.7%이고, 도장불량품은 Conveyor에 걸려진 체로 Feed-Back 구간을 거쳐 Loading으로 이동되어, 재 작업을 수행하게 된다. Unload에서 도장을 마친 작업물들은 Conveyor에서 내려져, Frame, Fender, Fork별로 한 대차 당 Frame은 50개, Fender는 200개, Fork는 200개의 개수로 실려지게 된다.

<표 2> 도장라인 구간별 Conveyor 구성

구간	37.5 Pitch	75 Pitch	길이 (m)
Loading	22	11	8.25
Air Spray	6	3	2.25
Primer Coating	20	10	7.5
Touch Up	8	4	3
Setting & Bake	182	91	68.25
Top Coating	20	10	7.5
Touch Up	16	8	6
Setting & Bake	196	98	73.5
Unload1	36	18	13.5
Unload2	24	12	9
Feed-Back	182	91	68.25
합계	712	356	267

<표 3> 도장라인 Conveyor 정지원인과 정지시간

원인	발생간격(MTBF)	정지시간(MTTR)
하도, 상도 수정	작업물 변경 때마다	균등분포(20, 40)초
Color Change	작업물 변경 때마다	균등분포(4, 6)분
돌발 정지	지수분포 평균 99시간	균등분포(30, 90)분

<표 4>의 대안[1], 대안[2], 대안[3]은 전처리라인과 도장라인사이의 병목현상(Battle-Neck)을 해결하기 위해 고려되는 대안들이다. 대안[1], 대안[2]는 도장라인에서 사용되는 Hanger에 걸 수 있는 작업물의 개수를 증가시키고, Conveyor의 속도를 조절할 경우에 대한 불량 발생률을 고려한 것이고, 대안[3]은 기존상황에서 Conveyor 속도만을 증가 시켰을 경우에 대한 불량 발생률을

고려한 것이다. 대안[4]는 전처리라인의 돌발고장에 대한 현 수리시간(평균 4시간)을 3시간으로 단축하는 대안이다.

연구 과제는 첫째로, 대안[4]가 기존상황과 대안[1], 대안[2], 대안[3]의 생산능력향상에 효과가

있는지를 분석하는 것이고, 둘째로 고려 중인 대안[1], 대안[2], 대안[3]과 기존상황을 비교, 평가하여, 가장 높은 생산능력을 가지는 대안의 선택을 목적으로 한다.

3. 실험방법 결정

대상시스템은 하루의 작업시작상태가 전 날의 종료상태이기 때문에 정상상태(Steady State)시뮬레이션을 수행해야 한다. 정상상태시뮬레이션을 수행하기 위해서는 Warmup Time, 반복횟수, 실행길이(Run Length)를 결정해야 한다. 시뮬레이션 실험목적이 기존상황과 각 대안에 대한 생산능력의 비교, 평가이므로, 공통난수(Common Random Number)기법을 이용하여 시뮬레이션실험을 진행하여 그 결과를 분석하였다.

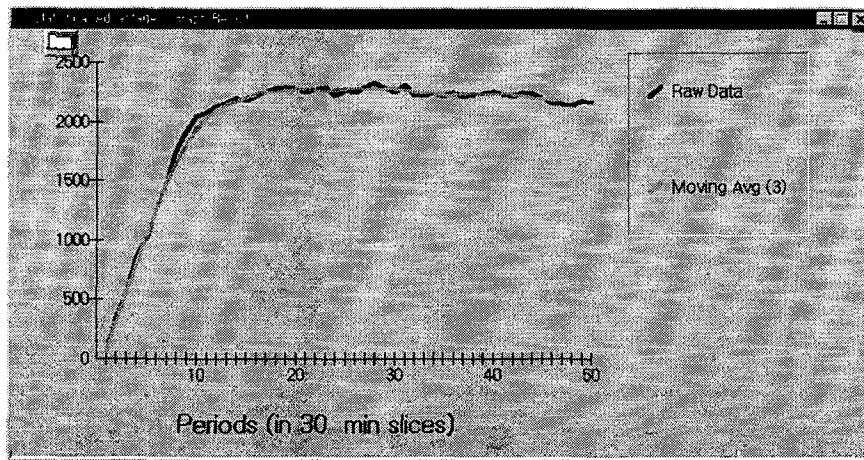
Warmup Time 결정

ProModel의 SimRunner Package를 이용하여 Warmup Time을 결정하였다. SimRunner는 이동평균을 이용하여 시각적으로 제거시점을 결정하는 Welch방법에 의해서 Warmup Time을 결정한다[2, 3].

시스템내의 재공품(WIP) 개수를 이용한 Sim-Runner의 결과인 이동평균 그래프의 <그림 2>를 보면 17번째 구간에서부터 증가의 변화에서

<표 4> 기존상황과 대안

기존상황	<ul style="list-style-type: none"> •도장라인 Conveyor 속도 2.25m/min •불량률 1.7% •Pitch당 Hanger에 걸 수 있는 개수 Frame : 75Pitch 당 1개, Fender/Fork : 37.5Pitch당 2개
대안[1]	<ul style="list-style-type: none"> •도장라인 Conveyor 속도 1.8m/min •예상 불량률 10% •Pitch당 Hanger에 걸 수 있는 개수 Frame : 75Pitch 당 2개, Fender/Fork : 37.5Pitch당 4개
대안[2]	<ul style="list-style-type: none"> •도장라인 Conveyor 속도 1.5m/min •예상 불량률 5% •Pitch당 Hanger에 걸 수 있는 개수 Frame : 75Pitch 당 2개, Fender/Fork : 37.5Pitch당 4개
대안[3]	<ul style="list-style-type: none"> •도장라인 Conveyor 속도 3.21m/min •예상 불량률 3% •Pitch당 Hanger에 걸 수 있는 개수 Frame : 75Pitch 당 1개, Fender/Fork : 37.5Pitch당 2개
대안[4]	전처리 돌발고장에 대한 수리시간 평균 4시간을 3시간으로 단축



<그림 2> Warmup Time 결정

더 이상의 증가의 변화가 없는 상태로 되어 간다. 한 구간이 30분을 나타내므로 $17 \times 30 = 510$ 분이다. 따라서 8.5시간을 Warmup Time으로 결정하였다.

실행길이(Run Length) 결정

독립적인 반복을 수행하여 출력 데이터를 분석할 경우에는, 모든 사건의 발생을 포함하는 시간을 실행 길이로 추천하고 있다[4]. 대상 시스템의 돌발 고장의 경우를 보면 전처리라인이 지수분포 평균 198시간마다, 사건이 발생하고, 도장라인의 경우는 지수분포 평균 99시간마다 발생한다. 월 22일 하루 9시간의 작업을 수행한다고 할 경우에 실행길이를 2개월의 시간(396시간)으로 하여, 모든 사건의 발생을 포함하는 실행길이로 시물레이션을 수행하여 분석하였고, 그 실행 예는 <그림 3>과 같다.

반복횟수 결정

먼저 초기 표본 수를 $R_0 = 5$ 로 하여 실험한 결과인 <표 5>의 자료를 이용하여 정확도가 $\pm 10\%$ 에 있을 확률을 0.95로 하여 반복횟수를 결정한다[5].

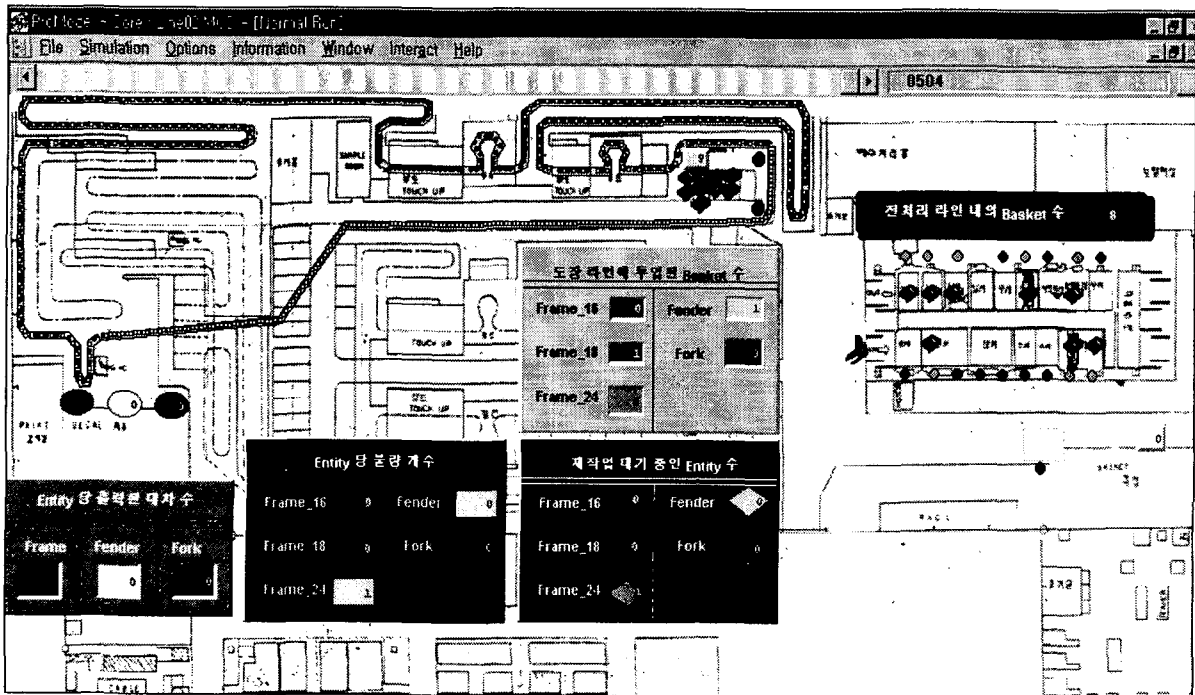
$S_0 = 16.08$ 를 구하고, 다음 식으로 R 을 구한다.

$$R \geq z_{0.025}^2 \cdot S_0^2 / \epsilon^2 = 9.93$$

따라서, 10회 이상의 반복실험이 필요한 것을 알 수 있다.

$R = \{10, 11, \dots\}$ 중에서

$R \geq \left(\frac{t_{\alpha/2, R-1} \cdot S_0}{\epsilon} \right)^2$ 을 만족시키는 R 은 표 6에 의해서 구한다.



<그림 3> 실행 예

<표 5> 초기 5회 반복

반복횟수	대차 생산량
1	1043
2	1080
3	1058
4	1056
5	1039

<표 6> R의 결정

R	10	11	12	13
$t_{0.025, R-1}$	2.26	2.23	2.2	2.18
$\left(\frac{t_{0.025, R-1} \times S_0}{\epsilon}\right)^2$	13.2	12.86	12.51	12.29

<표 6>에서 R은 $R = 13 \geq 12.29$ 이므로, 정확도 ± 10 을 만족시키는 최소의 반복횟수는 13회이다.

총 13회의 시뮬레이션을 수행한 <표 7>의 결과를 이용하여 총 대차생산량의 95% 신뢰구간의 h.l.(half-length)구해 보면,

$t_{0.025, 12} \cdot s.e.(\hat{\theta}) = 2.18 \times 4.54 = 9.89$ 가 되며, 이 값은 정확도 ± 10 보다 작은 값이다(여기서, $s.e.(\hat{\theta}) = S/\sqrt{R} = 16.358/\sqrt{13} = 4.54$ 이다).

최적 대안 선택

고려되는 K개의 시스템에서 가장 높은 수행도를 가지는 시스템을 선택하는 방법으로 Two-Stage Bonferroni Procedure가 있다. 이 방법은 정확도 ϵ 을 고려한 추가 반복횟수를 결정하여, 최적의 시스템을 선택하는 방법이며, 그 절차는 다음과 같다[5, 6].

1. 정확도 ϵ , 유의수준 $1 - \alpha$, first-stage 반복수 $R_0 \geq 10$ 인 R_0 를 결정한다.
2. 시스템 i에 대한 R_0 반복에서, $Y_{1i}, Y_{2i}, \dots, Y_{R_0i}$ 의 자료를 구한다.
여기서 $i = 1, 2, \dots, K$ (K는 비교하는 시스템의 수)이고 Y_{ji} 는 대안 i의 j번째 반복치를 나타낸다.

3. $i = 1, 2, \dots, K$ 에서 first-stage 표본평균 $\bar{Y}_{.i}$ 와 모든, $i \neq j$ 의 차이에 대한 표본분산을 구한다.

$$S_{ij}^2 = \frac{1}{R_0 - 1} \sum_{r=1}^{R_0} [Y_{ri} - Y_{rj} - (\bar{Y}_{.i} - \bar{Y}_{.j})]^2$$

4. Second-stage에 필요한 반복수를 구한다.

$$R = \max \left\{ R_0, \max_{all\ i \neq j} \left[\frac{t^2 S_{ij}^2}{\epsilon^2} \right] \right\},$$

여기서 $t = t_{\alpha/(K-1), R_0-1}$.

5. 시스템 i에 대한 $R - R_0$ 의 추가 반복을 수행하여, $i = 1, 2, \dots, K$ 에서 $Y_{R_0+1,i}, Y_{R_0+2,i}, \dots, Y_{R,i}$ 의 출력 자료를 얻는다.
6. 각 시스템의 표본평균을 계산한다.
$$\bar{Y}_i = \frac{1}{R} \sum_{r=1}^R Y_{ri}, i = 1, 2, \dots, K$$
7. 가장 큰 \bar{Y}_i 를 갖는 시스템을 최적으로 선택한다.

4. 시뮬레이션 결과 분석

실험결과를 이용하여 기존상황과 각 대안들에 대안[4]를 적용한 효과를 먼저 분석한다. 기존상황을 13회 반복한 후의 요약결과는 <표 7>과 같다. <표 7>의 결과에서 도장라인에서 대기중인 평균 Basket 수가 12대이다. 이것은 도장라인이 전처리라인에 비해 작업속도가 느려 발생하는 것이며, 또 생산능력에 영향을 미치고 있다. 기존상황에서 전처리라인 돌발 고장의 수리시간을 단축하는 대안[4]의 출력결과는 <표 8>과 같다. 비슷한 방식으로, 대안[1]과 대안[1]에 전처리라인의 돌발고장 수리시간을 단축시키는 대안[4]를 적용하는 방법, 대안[2]와 대안[2]에 대안[4]를 적용하는 방법, 마지막으로 대안[3]과 대안[3]에 대안[4]

를 적용하는 4가지 방법을 비교 검토하여 본다.

<표 7> 기존상황 시물레이션 결과 요약

		평균	표준 편차	Low 95% CI	High 95% CI
도장라인에서 대기 중인 Basket수		12.193	0.305	12.009	12.378
생산 대차 수	Frame	850.692	16.575	840.676	860.708
	Fender	106.231	10.199	100.067	112.395
	Fork	110.462	6.45	106.564	114.36
	Total	1067.38	16.358	1057.499	1077.27
전처리라인 작업시간		102.603	3.836	100.2841	104.921
도장라인 작업시간		114.602	1.043	113.971	115.233

<표 8> 기존상황에 대안[4]를 적용한 시물레이션 결과 요약

		평균	표준 편차	Low 95% CI	High 95% CI
도장라인에서 대기 중인 Basket수		12.33	0.211	12.203	12.458
생산 대차 수	Frame	853.231	16.442	843.294	863.168
	Fender	102.231	8.388	97.161	107.3
	Fork	113.692	8.38	108.628	118.757
	Total	1069.15	8.754	1063.86	1074.44
전처리라인 작업시간		101.729	2.838	100.014	103.445
도장라인 작업시간		114.782	0.92	114.226	115.338

기존상황(<표 7>)의 결과와 비교해 보면 <표 8>의 대안[4]는 전처리라인의 돌발 고장 수리시간을 1시간 단축시킨 경우이므로, 전처리라인 작업시간이 기존상황에 비해, (102.603 - 101.729 = 0.874) 단축되었고, 전체 생산대차수도 증가했다. 하지만, 시물레이션의 결과는 확률변수이고 공통난수 기법을 이용했으므로, 생산능력에 대한 비교를 Paired-t 검정을 수행하기로 한다. 마찬가지로 대안[1]과 대안[1]에 대안[4]를 적용한 결과, 대안[2]와 대안[2]에 대안[4]를 적용한 결과, 그리고 대안[3]과 대안[3]에 대안[4]를 적용하여 비교한 결과가 표 9에 정리되어 있다. 예를 들어 기

존상황과 기존상황에 대안[4]를 적용한 경우, 유의수준 $\alpha=0.05$ 에서 검정을 수행하면

$$H_0: \mu_1 - \mu_2 = \delta = 0 \text{ (차이가 없다)}$$

$$H_1: \delta > 0 \text{ (차이가 있다: 대안[4]의 생산능력이 크다)}$$

여기서 μ_1 은 대안[4]를 적용한 생산능력이고, μ_2 는 기존상황의 생산능력이다.

$$\bar{D} = \frac{1}{n} \sum_i D_i = 1.769,$$

$$S_D = \sqrt{\frac{\sum_i (D_i - \bar{D})^2}{n-1}} = 13.621$$

t 검정통계량을 구하면,

$$T = \frac{\bar{D}}{S_D/\sqrt{n}} = \frac{1.769}{13.621/\sqrt{13}} = 0.468$$

이고, 한계값은

$$t(n-1, \alpha) = t(12, 0.05) = 1.78 \text{ 이다.}$$

$T < t(12, 0.05)$ 이므로 H_0 를 기각할 수 없다. 따라서, 유의 수준 $\alpha=0.05$ 에서 대안[4]의 수리시간을 평균 3시간으로 단축했을 경우는 기존상황의 생산능력과 비교해 볼 때에 효과가 없음을 알 수 있다.

따라서, 기존상황과 대안[1], 대안[2], 대안[3]에 대안[4]를 적용하여 그 효과를 분석해 본 결과, 대안[2]와 대안[3]에 대안[4]를 적용할 경우 생산능력에 효과가 있음을 확인하였다. 따라서, 최적 대안의 선택에서는 대안[2]에 대안[4]를 고려한 결과와 대안[3]에 대안[4]를 고려한 결과(이하 대안[2]_[4], 대안[3]_[4]로 표현함)를 이용하여 분석한다.

최적 대안의 선택

Two-Stage Bonferroni Procedure을 이용하여 최적 대안을 결정한다. 절차에 따라, 초기 반복횟수 $R_0=13$ 회의 결과를 이용하여, <표 10>에서 구한 $i \neq j$ 에서 $D_{nij} = Y_{ni} - Y_{nj}$ 차이의 표본분산과 정확도 $\epsilon = 18$ 을 고려하여 반복횟수를 구하면 다음과 같다.

<표 9> Paired-t 검정

반복 횟수	기존 상황에 대안[4] 적용	기존 상황	D (차이)	대안[1]에 대안[4] 적용	대안[1]	D (차이)	대안[2]에 대안[4] 적용	대안[2]	D (차이)	대안[3]에 대안[4] 적용	대안[3]	D (차이)
1	1060	1043	17	1364	1340	24	1274	1240	34	1357	1304	53
2	1074	1080	-6	1352	1337	15	1285	1263	22	1358	1385	-27
3	1069	1058	11	1357	1369	-12	1257	1252	5	1376	1337	39
4	1062	1056	6	1370	1361	9	1270	1276	-6	1401	1372	29
5	1058	1039	19	1374	1344	30	1279	1257	22	1400	1358	42
6	1079	1091	-12	1363	1380	-17	1254	1246	9	1362	1378	-16
7	1077	1075	2	1369	1359	10	1270	1206	64	1399	1342	57
8	1072	1063	9	1390	1359	31	1279	1268	11	1382	1317	65
9	1052	1084	-32	1389	1303	86	1271	1297	-26	1419	1419	0
10	1079	1083	-4	1415	1392	23	1297	1289	8	1428	1379	49
11	1078	1081	-3	1344	1393	-49	1311	1313	-2	1428	1393	35
12	1070	1065	5	1365	1379	-14	1285	1277	8	1340	1385	-45
13	1069	1058	11	1336	1321	15	1257	1254	3	1360	1368	-8
\bar{D}			1.769			11.165			11.692			21.0
S_D			13.621			31.975			21.453			35.796
T			0.468			1.31			1.965			2.115
H_0			채택			채택			기각			기각

<표 10> 13회 반복에서의 관찰된 차이

θ_0 : 기존상황, θ_1 : 대안[1],

θ_2 : 대안[2]_[4], θ_3 : 대안[3]_[4]

반복 횟수 r	총 생산 대차 수				관찰된 차이					
	θ_0	θ_1	θ_2	θ_3	$\theta_0-\theta_1$	$\theta_0-\theta_2$	$\theta_0-\theta_3$	$\theta_1-\theta_2$	$\theta_1-\theta_3$	$\theta_2-\theta_3$
	Y_{r0}	Y_{r1}	Y_{r2}	Y_{r3}	D_{r01}	D_{r02}	D_{r03}	D_{r12}	D_{r13}	D_{r23}
1	1043	1340	1274	1357	-297	-231	-314	66	-17	-83
2	1080	1337	1285	1358	-257	-205	-278	52	-21	-73
3	1058	1369	1257	1376	-311	-199	-318	112	-7	-119
4	1056	1361	1270	1401	-305	-214	-345	91	-40	-131
5	1039	1344	1279	1400	-305	-240	-361	65	-56	-121
6	1091	1380	1254	1362	-289	-163	-271	126	18	-108
7	1075	1359	1270	1399	-284	-195	-324	89	-40	-129
8	1063	1359	1279	1382	-296	-216	-319	80	-23	-103
9	1084	1303	1271	1419	-219	-187	-335	32	-116	-148
10	1083	1392	1297	1428	-309	-214	-345	95	-36	-131
11	1081	1393	1311	1428	-312	-230	-347	82	-35	-117
12	1065	1379	1285	1340	-314	-220	-275	94	39	-55
13	1058	1321	1257	1360	-263	-199	-302	64	-39	-103
표준편차 S_{Dij}					27.81	20.64	29.44	25.04	36.84	26.07

$$R = \max \left\{ R_0, \max_{all\ i \neq j} \left[\frac{t_{\alpha/k-1, R_0-1}^2 \times S_{ij}^2}{\epsilon^2} \right] \right\}$$

$$= \max \left\{ 13, \frac{2.4^2 \times 36.84^2}{18^2} \right\} = \max \{ 13, 24.1 \}$$

$$= 25, \text{ 여기서 } t_{0.05/3, 12} = t_{0.0167, 12} = 2.4$$

따라서, 25-13=12회의 추가적인 반복이 필요하다.

<표 11>에서 12회의 추가적인 반복에서 구한 자료를 이용하여, Two-Stage Bonferroni

Procedure에 의해, 가장 큰 표본 평균을 갖는 시스템은 1387.84을 갖는 대안[4]를 적용한 대안[3]이다.

25회의 반복으로 구한 자료를 이용하여, 기존 상황과 각 대안들 사이에 유의한 차이가 있는지 Bonferroni 방법으로 유의수준 $\alpha = 0.05$ 에서 신뢰구간을 구해 보면 다음과 같다[5, 7]

총 신뢰구간의 수는 $C = \binom{4}{2} = 6$, 전반적

<표 11> 25회 반복에서의 관찰된 차이

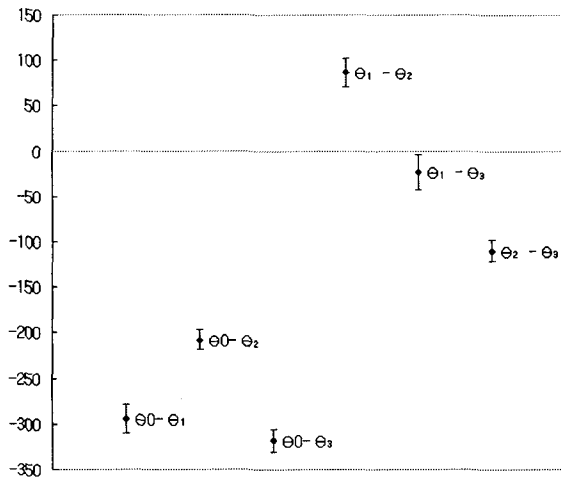
θ_0 : 기존상황, θ_1 : 대안[1],

θ_2 : 대안[2]_[4], θ_3 : 대안[3]_[4]

r	총 생산 대차 수				관찰된 차이					
	θ_0	θ_1	θ_2	θ_3	$\theta_0-\theta_1$	$\theta_0-\theta_2$	$\theta_0-\theta_3$	$\theta_1-\theta_2$	$\theta_1-\theta_3$	$\theta_2-\theta_3$
	Y_{r0}	Y_{r1}	Y_{r2}	Y_{r3}	D_{r01}	D_{r02}	D_{r03}	D_{r12}	D_{r13}	D_{r23}
1	1043	1340	1274	1357	-297	-231	-314	66	-17	-83
2	1080	1337	1285	1358	-257	-205	-278	52	-21	-73
3	1058	1369	1257	1376	-311	-199	-318	112	-7	-119
4	1056	1361	1270	1401	-305	-214	-345	91	-40	-131
5	1039	1344	1279	1400	-305	-240	-361	65	-56	-121
6	1091	1380	1254	1362	-289	-163	-271	126	18	-108
7	1075	1359	1270	1399	-284	-195	-324	89	-40	-129
8	1063	1359	1279	1382	-296	-216	-319	80	-23	-103
9	1084	1303	1271	1419	-219	-187	-335	32	-116	-148
10	1083	1392	1297	1428	-309	-214	-345	95	-36	-131
11	1081	1393	1311	1428	-312	-230	-347	82	-35	-117
12	1065	1379	1285	1340	-314	-220	-275	94	39	-55
13	1058	1321	1257	1360	-263	-199	-302	64	-39	-103
14	1094	1415	1276	1394	-321	-182	-300	139	21	-118
15	1040	1376	1266	1351	-336	-226	-311	110	25	-85
16	1065	1345	1275	1399	-280	-210	-334	70	-54	-124
17	1060	1382	1271	1397	-322	-211	-337	111	-15	-126
18	1081	1417	1306	1399	-336	-225	-318	111	18	-93
19	1069	1346	1291	1389	-277	-222	-320	55	-43	-98
20	1078	1405	1295	1417	-327	-217	-339	110	-12	-122
21	1071	1354	1273	1389	-283	-202	-318	81	-35	-116
22	1074	1360	1297	1391	-286	-223	-317	63	-31	-94
23	1069	1351	1278	1382	-282	-209	-313	73	-31	-104
24	1073	1383	1250	1378	-310	-177	-305	133	5	-128
25	1089	1342	1281	1400	-253	-192	-311	61	-58	-119
평균	1069.56	1364.52	1277.92	1387.84	-294.9	-208.3	-318.2	86.6	-23.3	-109.9
표준편차 S_{Dij}					27.71	18.45	22.43	27.29	33.19	21.03
표준과오 S_{Dij}/\sqrt{R}					5.542	3.692	4.487	5.459	6.64	4.206

오류확률 $\alpha_E = 0.05$ 에서 $C=6$ 개의 신뢰구간이 만들어지므로, $\alpha_i = 0.05/6 = 0.0083$ ($i=1, 2, 3, 4, 5, 6$)이고, $\theta_1-\theta_2$ 의 신뢰구간은 $[\bar{D} \cdot 12 - t_{\alpha_i/2, R-1} \cdot s.e.(\bar{D} \cdot 12), \bar{D} \cdot 12 + t_{\alpha_i/2, R-1} \cdot s.e.(\bar{D} \cdot 12)]$ 에 의해 구해지며, $t_{\alpha_i/2, R-1} = t_{0.0042, 24} = 2.87$ 이다. 따라서, 각 신뢰구간을 구하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} -310.9 &\leq \theta_0 - \theta_1 \leq -279.1 \\ -219 &\leq \theta_0 - \theta_2 \leq -197.8 \\ -331.2 &\leq \theta_0 - \theta_3 \leq -305.4 \\ 70.9 &\leq \theta_1 - \theta_2 \leq 102.3 \\ -42.4 &\leq \theta_1 - \theta_3 \leq -4.3 \\ -122 &\leq \theta_2 - \theta_3 \leq -97.8 \end{aligned}$$



<그림 4> 각 대안들 서로의 차이에 대한 신뢰구간

<그림 4>에서 $\theta_0-\theta_1, \theta_0-\theta_2, \theta_0-\theta_3, \theta_1-\theta_3, \theta_2-\theta_3$ 구간은 0을 포함하지 않고 음의 값을 가지므로, 대안[1], 대안[2]_[4], 대안[3]_[4]의 생산능력이 기존상황보다 크고, 대안[3]_[4]가 대안[1]과 대안[2]_[4]보다 생산능력이 크다. $\theta_1-\theta_2$ 은 0을 포함하지 않고 양의 값을 가지므로, 대안[1]이 대안[2]_[4]보다 생산능력이 크다. 따라서, 생산능력에서 볼 때,

대안[3]_[4] > 대안[1] > 대안[2]_[4] > 기존상황 이라고 표현 할 수 있다.

연구의 목적은 가장 큰 생산능력을 가지는 최적의 대안 하나를 선택하는 것이므로, Two-Stage Bonferroni Procedure의 결과에 의해 대안[4]를 적용한 대안[3]을 가장 큰 생산능력을 가지는 대안으로 선택하였다.

5. 결론

생산성향상을 위해서는 시스템의 문제점을 분석하고, 분석에서 밝혀진 문제점을 해결하기 위한 대안들의 평가가 요구된다. 그러나, 실제시스템을 대상으로 이러한 대안을 실험하고 평가하는 것은 어려운 일이다. 따라서, 실제시스템의 모형을 만들어 시뮬레이션기법을 통한 분석과 통계적 분석기법을 이용한 종합적인 대안의 평가가 필요하다. 본 연구는 미국의 PROMODEL사가 생산시스템의 전용 시뮬레이터로 개발한 ProModel Software를 사용하여, 전처리라인과 도장라인으로 구성된 시스템의 생산성향상을 위해 고려중인 4가지 대안의 생산능력을 비교, 평가하는데 목적을 두고 시뮬레이션을 실행하였다.

고려중인 4가지 대안에서 전처리라인의 돌발고장 수리시간을 단축하는 대안[4]가 기존상황의 시스템과 대안[1], 대안[2], 대안[3]의 생산성향상에 유의한 효과가 있는지를 분석해 보았고, 기존상황과, 대안[1], 대안[2], 대안[3]중에서 가장 높은 생산능력을 가지는 대안을 추천하였다. 실험결과, 대안[4]는 대안[2]와 대안[3]에 적용했을 경우 생산성향상에 대한 개선효과가 있음을 알 수 있었다. 기존상황과 대안[1], 대안[2]_[4]와 대안[3]_[4]의 출력결과를 Two-Stage Bonferroni Procedure로 비교, 평가해본 결과 대안[3]_[4]를 가장 높은 생산능력을 가지는 대안으로 선택하였다.

본 사례연구의 대상시스템의 시뮬레이션 모형을 확인(Validation)하기 위해서는 많은 현장의 자료가 필요하나, 실제 현장에서는 시뮬레이션이라는 과학적 기법에 대한 경험이 없어 확인에 필

요한 자료를 구할 수 없었기 때문에 확인과정이 부족했다. 따라서, 실제 대안의 적용을 위해서는 필요 자료를 수집하여 확인과정을 보완할 필요가 있다.

참고문헌

- [1] Charles Harrell, Robert E. Bateman, Thomas J. Gogg, Jack R. A. Mott, "System Improvement Using Simulation", Fourth Edition, Promodel Corporation, Orem, Utah, 1996.
- [2] Welch, P. D., The Statistical Analysis of Simulation Results, in Computer Performance Modeling Handbook, S. S. Lavenberg, Academic Press, New York, pp. 268-328, 1983.
- [3] SimRunner2 User's Guide, Promodel Corporation, Orem, Utah, USA, 1997.
- [4] Charles Harrell, Kerim Tumay, "Simulation Made Easy : A Manager's Guide", Engineering & Management Press, 1995, pp. 115-134.
- [5] Jerry Banks, John S. Carson, II, Barry L. Nelson, "Discrete-Event System Simulation", Second Edition, Prentice Hall, 1996.
- [6] Matejcik, F. J., And B. L. Nelson, "Simultaneous Ranking, Selection and Multiple Comparisons for Simulation", 1993 winter Simulation Conference Proceedings, Los Angeles, California.
- [7] Charles Harrell, Biman K. Ghosh, Royce Bowden, "Simulation Using ProModel", McGraw-Hill, 2000.
- [8] 장성용, "시물레이션 기법을 이용한 컨테이너 터미널의 자원할당전략에 관한 연구", 한국시물레이션학회 논문지, 제8권 제4호, 1999.
- [9] 김재연, 김갑환, "무인운반차 시스템에서의 유휴차량대기위치 결정방법에 대한 시물레이션 연구", 대한산업공학회지, 제25권 제4호, 1999.
- [10] 고종영, 조대호, "제조공정 개선을 위한 생산계획 평가 시물레이션", 한국시물레이션학회 논문지, 제8권 제2호, 1999.
- [11] 조규갑, 문일경, 윤원영, 김영규, "전자레인지 조립라인의 생산물류 분석 시물레이션", IE Interfaces, 제12권 제1호, 1999.
- [12] 박기진, 김성수, "시물레이션 기법을 이용한 주문형 멀티미디어 서버의 성능평가", 한국시물레이션학회 논문지, 제7권 제2호, 1998.

● 저자소개 ●



김원경

1977년 서울대학교 산업공학과 학사

1979년 서울대학교 대학원 산업공학과 석사

1989년 미국 Ohio 주립대학교에서 M.S.

1993년 미국 University of Houston에서 Ph.D.

현재 경남대학교 벤처창업학부 교수

관심분야: 시물레이션, 신뢰도 공학, 응용통계