

시뮬레이션에 의한 차체 도장 검사 라인의 자원 할당
-The Resource Planning of Painting Lines in Korean Motor
Company Using Simulation Techniques-

박 병 태*
Park, Byungtea
박 재 현**
Park, Jaehyun
서 지 한***
Seo, Jihan

ABSTRACT

This study is resource planning of painting lines in Korean motor company using simulation techniques. The painting lines have bottle neck problems that is considered production capacity, number of lines and so on. The alternative solutions is decided by the result of simulation techniques. This paper is focused on resource planning using simulation techniques.

I. 서 론

자동차의 생산 공정은 패널에서 자동차의 차체 라인을 따내어 용접 작업을 거쳐 차체를 만들어내는 차체 shop과 제작된 차체(white body)에 색깔을 입히는 도장 shop, 그리고 엔진과 조향장치 등의 내장 부품을 조립하는 의장 shop의 세 단계로 크게 구분된다.

본 논문에서는 전체 생산라인 중에서 도장 shop의 검사 라인을 시뮬레이션 대상 모델로 선정하였다. 이는 도장공장의 품질정보 시스템 구축 프로젝트를 수행하면서 입수한 각종

* 고려대학교 대학원 산업공학과

** 서일대학 공업경영과

*** 명지전문대학 공업경영과

관련 자료들이 있었으며 추가로 필요한 정보는 현업에 종사하는 실무자를 통하여 비교적 쉽게 입수가 가능하였기 때문이다. 또한 도장품질 부서 입장에서는 본 시뮬레이션의 결과가 생산 부서에서 내려오는 검사인원의 배치 지시에 대한 객관적인 근거자료 도출과정을 가능할 수 있는 자료로서 현업에서 유용한 자료로 사용될 수 있으리라 사료된다.

검사공정을 살펴보면 다음과 같다. 도장을 마친 자동차(A, B, C 이상 총 3종)가 검사라인 안으로 들어온다. 이들은 2개의 라인으로 분배되는데 라인의 선택은 검사를 기다리고 있는 차의 수가 적은 것으로 한다. 라인이 결정된 차는 1차 검사자에 의해 불량 항목이 결정된 후 2번째 검사자에 의해 2차 검사를 받는다. 2차 검사를 마친 2개의 각 라인에서 검사된 차량은 하나의 버퍼에 쌓인 후 이 중 간단히 수정될 수 있는 결점을 가진 차량은 체크된 결점을 수정 공정 1에서 제거한다. 결점이 제거된 차량 및 그 밖의 모든 차량은 최종 검사자를 거쳐 불량의 정도에 따라 OK 사인을 받아서 출고되거나 간단히 수정될 수 없는 결점을 가진 차량은 수정 공정 2로 분기한다. 수정 공정 2에서 수정을 마친 차량은 다시 모델의 처음으로 들어간다.

여기서 검사항목은 크게 3그룹으로 분류되는데 각 그룹은 발생 빈도별로 구분될 수 있다. 즉, 그룹 1에 속하는 불량은 먼지, 유분, 굽힘, 오물, 칠 부족으로, 이는 발생 빈도가 가장 높은 결점으로 구성되며 그룹 2는 칠 날림, 칠 오물, 핀홀, 얼룩 등의 결점으로 구성되고 마지막 그룹 3은 성능뿐만이 아닌 외관의 상태가 품질수준 평가에 있어 중요한 역할을 하는 고가의 차종에서만 고려되는 항목으로 구성된다. 그러므로 비교적 고가이고 외관이 가장 중요한 품질중의 하나인 A 모델의 경우는 그룹 1, 2, 3의 검사항목이 모두 적용되어야 하며 B 모델의 경우는 그룹 1, 2의 검사항목이, C 모델의 경우는 그룹 1의 검사항목만이 적용된다. 다음 장에 초안으로 제시되었던 검사 공정 LAY-OUT과 세부 검사항목의 예를 보였다.

II. 대상 공정의 모델링

A. 가정 및 시스템 범위

- 실제 라인에서는 3개 이상의 차종이 투입될 수도 있으나 특수한 경우가 아니면 보통 3종의 차량이 투입된다고 가정하였다. 그리고 이 3종의 차량별 생산 계획 대수를 변화시키는 것으로 모델링하였다. 불량 항목의 실제 개수는 32종이상이나 실제 주로 발생되는 12종의 불량 발생만을 고려하였다.

- 본 시스템의 입력은 어떤 특정 분포를 이루며 들어오는 것이 아니다. 물론 주문량에 따라서 달라지겠지만 일단 생산량이 정해지면 일정한 속도로 컨베이어를 타고 들어온다. 이러한 이유로 투입 및 검사, 수정공정간의 이동 속도 또한 일정하다.

표 1. 도장 검사항목

차종별 검사항목 분류				
그룹	검사항목	A	B	C
1	먼지	o	o	o
	유분	o	o	o
	칠 날림	o	o	o
	긁힘	o	o	o
	오물	o	o	o
2	칠부족	o	o	x
	칠 날림	o	o	x
	칠 오물	o	o	x
	편홀	o	o	x
	얼룩	o	o	x
3	오렌지 필	o	x	x
	칠 오름	o	x	x

표 2. 모델 구성 단위 설명

	내용
Queue1	1번 검사라인의 Queue
Queue2	2번 검사라인의 Queue
Queue3	1차 수정을 위한 Queue
Inspector 1_1	1번 검사라인의 1번 검사자
Inspector 1_2	1번 검사라인의 2번 검사자
Inspector 2_1	2번 검사라인의 1번 검사자
Inspector 2_2	2번 검사라인의 2번 검사자
Inspector 3	최종 검사자(분기 발생)
수정 1	1차 수정 라인
수정 2	2차 수정 라인

B. 시뮬레이션 모델

그림 1은 도장상태 검사 라인은 보여준다. 본 시스템의 모델링 및 결과의 분석을 위하여 상용 소프트웨어 Arena를 이용하였다.

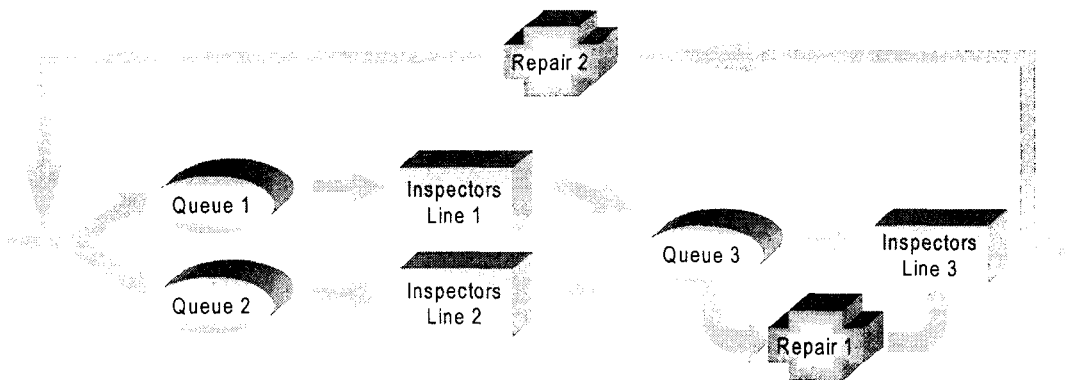


그림 1. 도장상태 검사 라인

1. 데이터 수집

본 모델을 수립하는데 필요한 데이터는 기존에 입수하였던 자료로 충분하였으나 실제로 모델을 실행하는데 필요한 세부 데이터들은 현재 현업에 종사하고 있는 도장 품질관리부서의 실무자와 협의 하에 입수한 자료를 이용하였다. 다음 표 3에 이를 보았다.

2. 시스템 파라미터 결정

a. Warm-up과 Run time 결정

본 시스템은 M 자동차가 망하지 않는 한 계속 수행되는 Non-terminating 형태이다. 그러므로

표 3. 검사 라인 관련 데이터

차 종	입력비율	Resources				
A	10%	검사 라인 1	검사 라인 2	검사 라인 3	수정 1	수정 2
B	35%	2	2	2	2	2
C	55%	인원		1.5	1.63	2
		작업 그룹 1	4.0			
		작업 그룹 2	4.3			
		작업 그룹 3	4.5			

제안된 시스템을 타당성 있게 평가하기 위해서는 다음의 두 절차가 선행되어야 한다. 먼저 초기편향(initial biased)된 관측 값들을 적절히 제거하여야 한다. 이 절차를 수행하는 방법으로 가장 일반화된 것이 절단점(truncation point)을 선택하여 시뮬레이션의 과도기 단계 동안에 기록된 관측치 들을 버리는 것인데 이의 가장 간단한 방법은 시뮬레이션의 응답 도표(response chart)를 이용하여 시각적으로 결정하는 것이다. 그러나 이 방법에는 두 가지의 서로 상충된 목적이 내포되어 있다. 즉 데이터를 많이 잘라버릴수록 평균의 추정치 에 대한 편향(bias)은 적어지는 반면에, 가변성(variance)은 더욱 많아진다. 따라서 추정을 위해 위의 두 가지 조건에 대한 적절한 절충 하에서 절 단점을 선택해야 한다. 이 절차는 이동평균(moving average) 기법을 사용하여 결정할 수 있다. 그 다음에는 데이터 내의 상관관계(correlation)에 근거하여 적절한 최소 Batch 크기를 구하는 것이다. 만약 Batch 크기가 충분히 크다면, j의 마지막 관측 값들이 j+1의 처음에 있는 관측 값들과 상관관계가 있더라도, 이 두 개의 인접한 Batch의 평균들은 독립일 것이라고 여긴다. 시뮬레이션 데이터 세트에 대한 Batch화를 수행하기 위한 Filter 기능을 사용하였다. 또한 이 옵션은 실행 초기의 과도기적 데이터를 잘라 버리는 데도 이용된다. Filter를 통해 여과된 데이터 세트에 포함되어 있는 Batch 평균들은 근사적으로 독립이며, 정규분포를 따른다고 가정하고, 시스템 분석에서 마지막으로 다루게 될 평균에 대한 유용한 신뢰구간을 제공한다. 위의 두 절차는 시험 수행을 통해서 이루어지게 된다. Non-terminating 시스템의 특성상 종료사건이 존재하지 않으므로, 임의의 시간을 정해서 시험적으로 수행해 봄으로써 적절한 절 단점과 Batch 크기를 구한다.

b. 이동평균

그림 2와 3은 각각 K가 100, 150 일 때의 이동평균 결과를 보이고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 대략 주기적으로 튀는 경향이 있다. 첫 번째 정점에서 데이터를 절단한다.

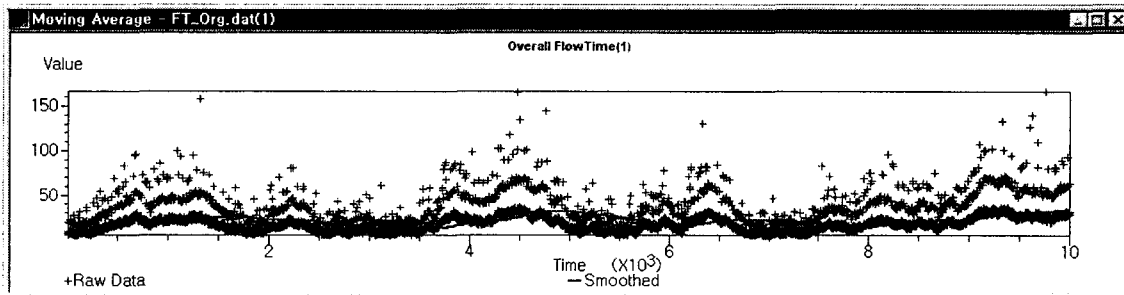


그림 2 K=100인 경우의 이동평균

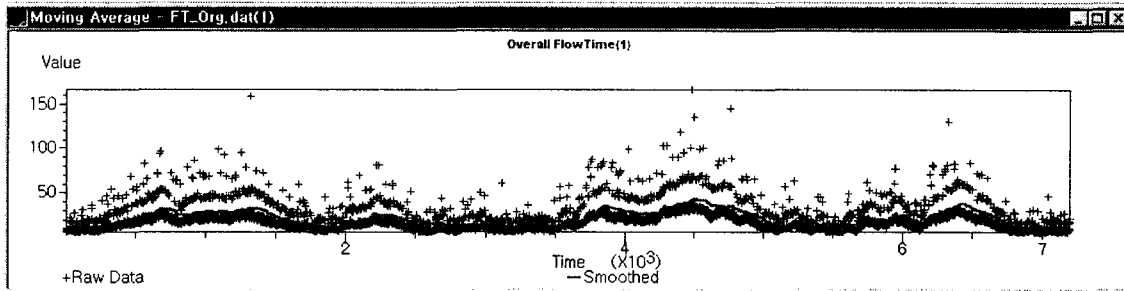


그림 3. K=150인 경우의 이동평균

c. Batch 크기 결정

시험수행으로부터 계산되어진 Correlogram을 그려보면 그림 4, 5와 같다.

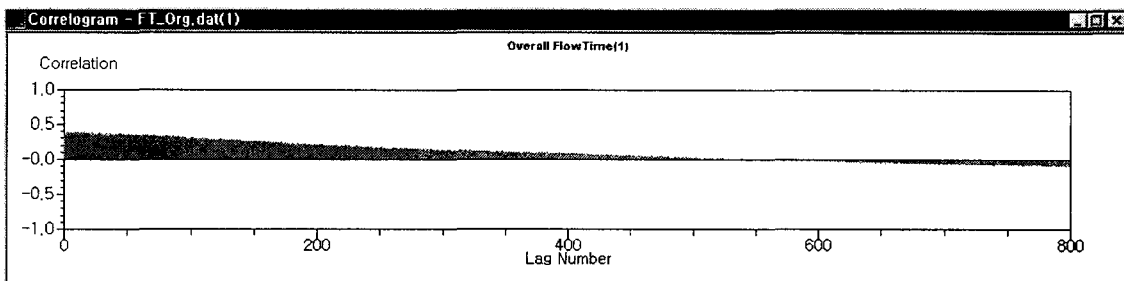


그림 4. 초기 correlogram

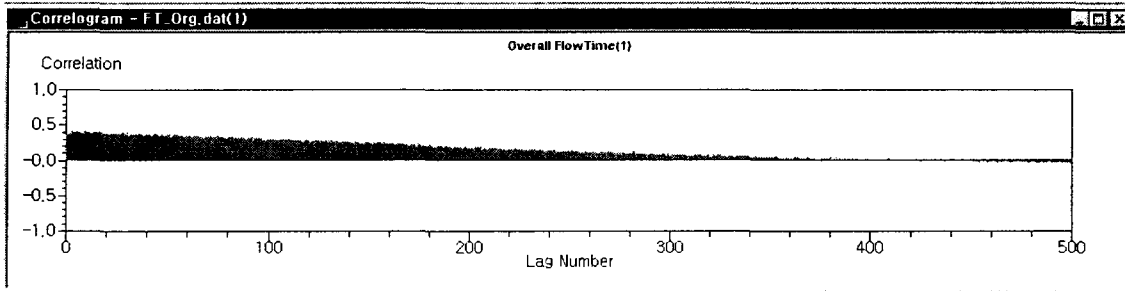


그림 5. 최종 Correlogram

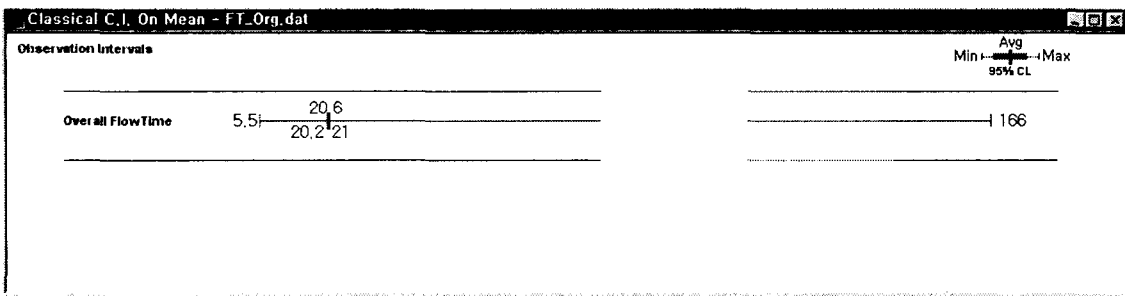


그림 6. 95% 신뢰도를 갖는 Confidence Interval

최대 lag를 550으로 잡았다. 따라서 합리적인 최소 Batch 크기는 lag의 10배정도인 5,500개의 관측 값(batch당)을 가진다. 그리고 Batch의 수가 10개정도 생성되어야 함으로 총 수행시간은 1 Batch가 5,500이므로 10 batch로 잡으면 55,000개이고 이의 소요 시간을 계산하면 71,970분의 수행시간이 필요하다.

III. 대안 설계

검사 라인 설계 검증 결과를 토대로 보다 효율적인 자원 활용을 위하여 대안을 제시하고자 한다. 언급된 시뮬레이션 모델에서 Inspect 라인 1과 2에 검사자 수를 한 명씩 추가한 결과를 보인다. 그림 7, 8, 9, 10은 대안의 이동평균 및 Correlogram을 보여 준다.

Non-terminating 분석방법을 적용하여 Warm-up 시간은 200분으로 계산되었다. lag는 90 이고 1 Batch를 900으로 잡았다. 따라서 90,000개가 나오는 시간을 계산하면 11,737분이 필요하다. 검사자를 한 명씩 추가한 결과 Queue의 길이가 1 미만으로 줄었으며 Over mean flow time은 그림 12에서 보는 바와 같이 1/2 이상 줄었다.

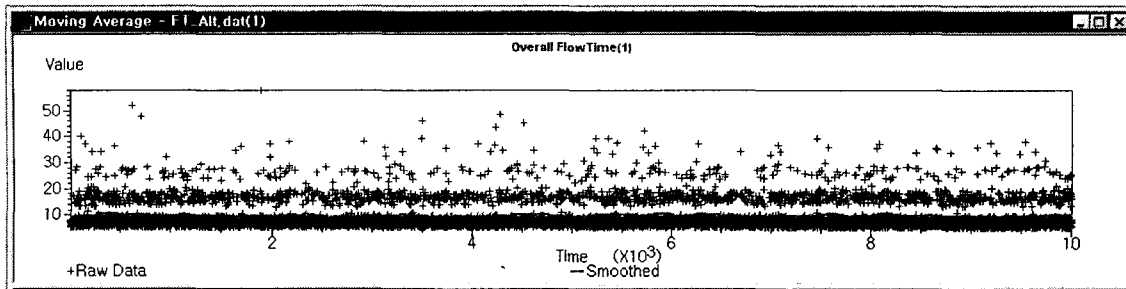


그림 7. K=100 이동평균

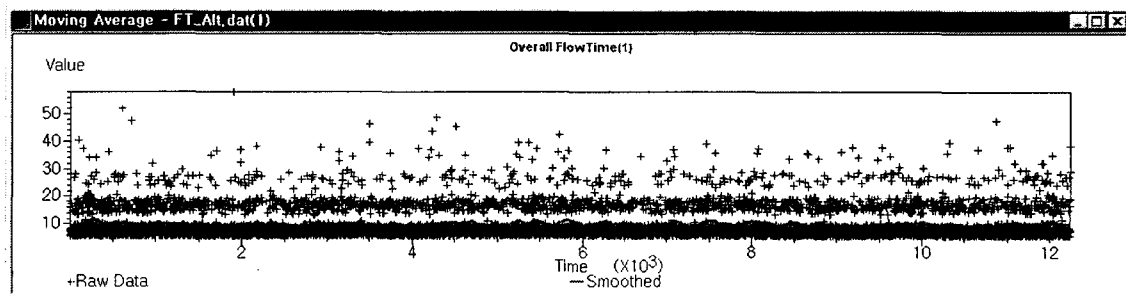


그림 8. K=150 이동평균

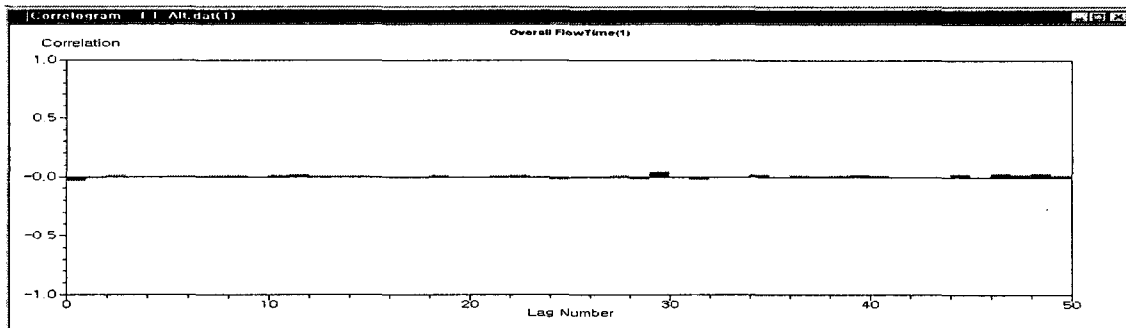


그림 9. 초기 correlogram

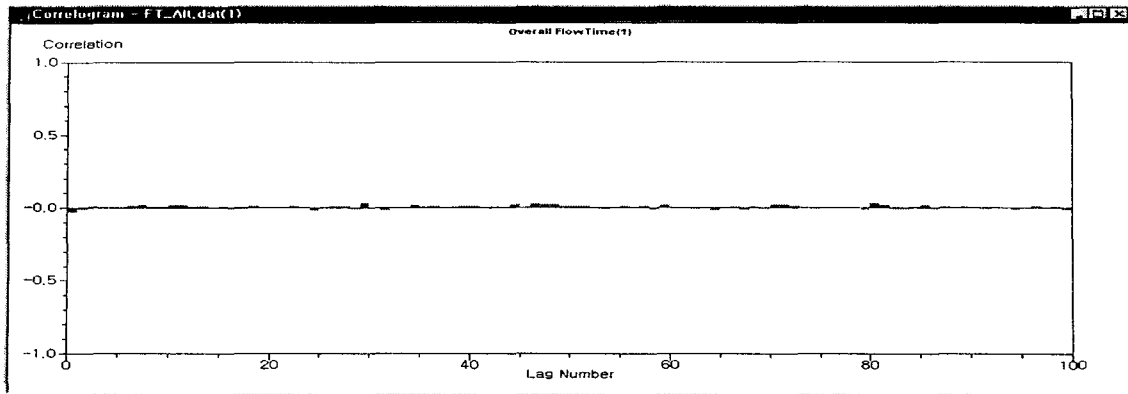


그림 10. 최종 Correlogram

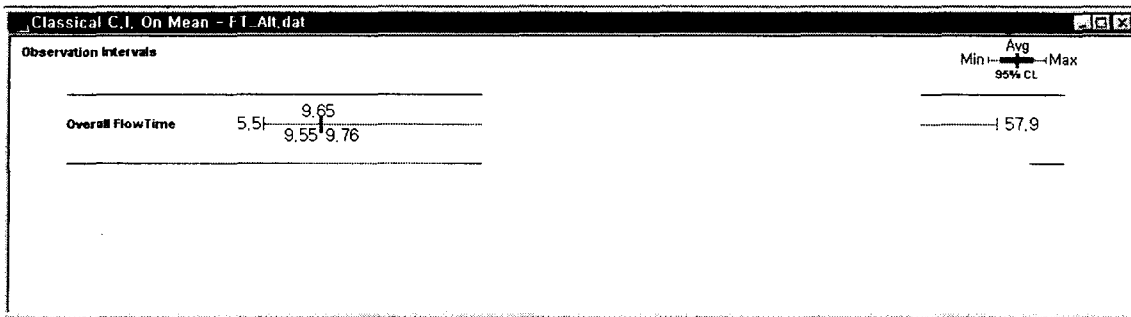


그림 11. 95% 신뢰도를 갖는 Confidence Interval

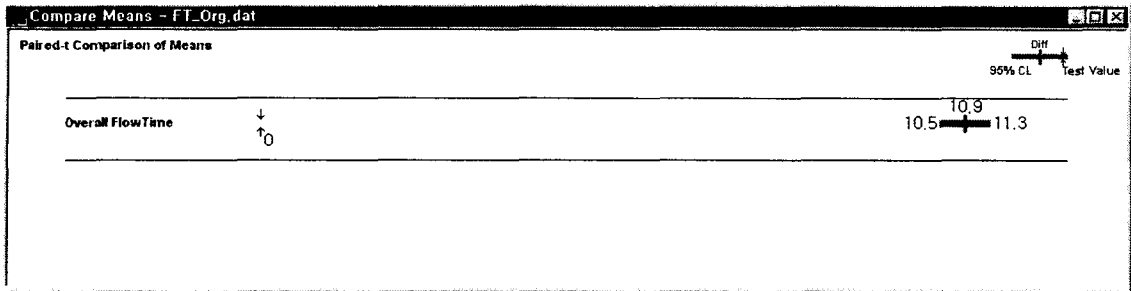


그림 12. 두 안의 Over mean flow time 비교 (95% 신뢰도)

IV. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 우선 자동차 회사의 도장공장 검사라인 설계 시, 기존 공장의 경우를 근거로 제안되었던 초기 안에 대하여 시뮬레이션에 의해 검증하였고, 이를 바탕으로 보다 효율적인 자원 활용을 위한 대안 - 차종별 생산 주문량의 변동에 따른 검사 로드 변화에 능동적으로 대처할 수 있는 적절한 검사인력 결정 - 을 시뮬레이션을 통

하여 제안하였다. 프로그램 실행결과 초기안에서 라인의 검사자수는 Queue 길이가 1이상인 되므로 부적절하여, 대안으로서 inspect 라인 1과 2의 검사자수를 라인당 한 명씩 증가시킨 결과 Queue 길이가 1미만으로 감소하고 Mean flow time이 1/2로 줄었다.

향후 연구로는 본 연구에서는 3개의 차종을 생산하는 것으로 가정 하였으나 그 이상의 차종을 생산하고 있고, 또한 불량 항목도 12개로 제한하였으므로 이를 고려한 보다 현실적인 모델링이 이루어져야 할 것이다.

참고문헌

1. 조 규갑, 김 갑환, "생산시스템 시뮬레이션", p383
2. Frost, V. "Block-oriented network simulator", *2nd IEEE Workshop on CAMAD of Comm. Links and Networks*. IEEE Computer, pp. 87-94, Aug., 1985
3. Kurose, J.F. and H.T. Mouftah, "Computer-Aided Modelling, Analysis, and Design of Communication Networks", *IEEE Jour. on Selected Areas in Communications*, Vol. 6, No. 1, pp.130-145, 1988
4. Melammed, B. and Morris, R.J.T. "Visual simulation: The performance analysis workstation",
5. Stanwood, K.L., Waller, L.N. and Marr, G.C. "System iconic modelling facility", in *Proc. 1986 Winter Simulation Conf.*, pp. 531-536, 1986