

# 조선소 판넬라인의 최적 생산계획 수립을 위한 생산 시뮬레이션 연구

박주용\* · 김세환\* · 최우현\*

\*한국해양대학교 해양시스템공학부

## A Study of Product Simulation for Establishing the Optimal Production Scheduling of the Panel Line in a Shipyard

Ju-Yong Park\*, Se-Hwan Kim\* and Woo-Hyun Choi\*

\*Advanced Welding and Joining Team, KITECH, Incheon 406-130, Korea

### Abstract

Panel line is an important process occupying the largest work amount in shipbuilding. In this research product simulation has been carried out to establish the optimal production scheduling. For this purpose a web-based panel line simulator was developed using an object modeling technology and C# language. The balance of work-load and increase in the productivity by the improvement of production facilities and process are the key factors for a good scheduling. In this study SPRT(Shortest Remaining Process Time) rule was applied for the work-load balancing and a good result achieved. To increase the productivity in the stiffener welding stage which is a bottleneck process, more welding heads and higher welding speed were tested using the developed simulator. The simulation results showed that either more welding head or higher welding speed decreased the total work time. Use of both, however, deteriorated the productivity because of the bottleneck in the following stage. This result points out that the improvement of production facilities and/or process should be evaluated with their influences on the leading and following processing stage.

\*Corresponding author : dispaul@hanmail.net

(Received July 11, 2006)

Key Words : Simulation, Work-load balancing, Production scheduling, Panel line, Productivity

### 1. 서 론

정보 기술의 발달에 맞춰 다른 제조업 분야와 마찬가지로 조선 분야에서도 조선산업을 기술 집약적인 미래 산업으로 발전시키기 위하여 많은 노력을 기울이고 있다. 디지털 선박생산(Digital shipbuilding)<sup>1)</sup> 기술은 실제 생산에 적용하는 단계에서 발생할 수 있는 설계 오류나 제작상의 문제점을 미리 파악하여 비용과 시간의 낭비를 최소화할 수 있고 새로운 제조방법 및 생산 설비의 변화를 가상생산 환경에서 미리 적용해 볼 수 있으므로 실제 제조 시스템 적용에 필연적으로 발생하

는 재계획 및 수정에 따른 비용과 시간을 절감할 수 있는 기술이다.

국내에서는 디지털 메뉴팩처링 기법을 활용한 가상 NC 시뮬레이터<sup>2)</sup>, 디지털 조선소 구축을 위한 모델링 및 시뮬레이션<sup>3,4)</sup> 등의 연구가 진행되는 등 최근 이 분야에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으나 조선소의 작업 중 가장 작업량이 많은 판넬라인에 대하여 시뮬레이션을 통한 구체적인 최적 생산계획을 다룬 연구는 아직 이루어지지 않고 있다.

조선소의 판넬라인은 판과 판, 그리고 판과 보강재들을 용접하여 선박의 선저 및 측면블록의 판넬을 생성하는 라인이다. 판넬라인은 조선소에 따라 대동소이하며

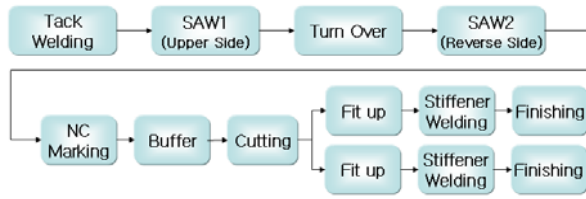


Fig. 1 Process layout of panel line

본 논문에서는 국내 A조선소의 구성인 Fig. 1과 같은 10개의 공정으로 구성된 것을 대상으로 하였으며 Fig. 1의 보강재 용접부분인 마지막 3공정은 작업량이 많아 2개의 line으로 운영되고 있다. 판넬라인을 운영하는 관리자는 각 세부공정에서 병목 공정이 생기지 않도록 블록 투입순서의 결정과 후행공정의 잔량을 고려한 물량 분배, 등 각 세부공정에서 부하평준화가 이루어질 수 있도록 작업계획을 세우는데 노력을 하고 있다.

본 논문에서는 디지털 생산 시뮬레이션 기술을 이용하여 작업계획 수립자가 자신이 계획한 작업계획을 가상환경에서 수행하여 각 공정의 정확한 작업부하를 산출하고 적절한 작업 평준화 기법의 적용과 생산설비 및 공정의 개선을 통해 최적의 생산계획을 수립할 수 있는 방법을 제안하였다.

## 2. 시뮬레이션 모델 구축

### 2.1 공정 분석 및 제약 요소 정의

판넬라인은 대부분 용접 관련 작업으로 이루어져 있으므로 우선 각 세부공정의 주요 공법과 용접변수 및 작업환경을 면밀히 분석하였다.

판넬라인의 작업과정을 시뮬레이션하기 위해서는 우선 각 생산라인의 제약요소가 시뮬레이션 모델에 반영되어야 한다. 본 연구에서는 공정분석 결과 시뮬레이션의 입력 데이터에 해당하는 부분과 현 작업장의 조건에 의해 생기는 부분에서 제약요소가 존재함을 알 수 있었으며 이를 Table 1과 같이 정리하였다.

Table 1 Constraints of panel line

Constraints of input data for simulation
Thickness of workpiece, required leg length, number of weld seam and stiffeners
Total pass number, welding speed
Difference in the size and dimension of blocks
Constraints in shop condition
Difference in the work space of each stage
Influence between the leading and the following stage
Difference in worker number and productivity

### 2.2 공정 세분화 및 소요시간 정식화

판넬라인은 Fig. 1에서와 같이 10개의 공정으로 나누어지며 각 공정은 보다 세분화된 공정으로 분류된다. 본 연구에서는 IDEF0(Intergration DEFINition) 방법론<sup>5)</sup>을 사용하여 계층적으로 표현되는 판넬라인의 각 세부공정의 기능을 그래픽으로 표현하였다. IDEF0는 생산시스템의 기능(Function) 또는 활동(Activity)이 어떤 상황에서 무엇이 일어나는지에 관한 서술 표기방법으로 생산 시스템 모델링에 널리 쓰이는 방법이다.

Fig. 2는 판넬라인의 첫 공정인 가접(Tack welding) 단계를 IDEF0방법론으로 모델링한 그림이다. 이 그림에서 박스는 기능 또는 활동을 나타내며 가접의 각 세부공정에 해당된다. 일반적으로 현장의 작업관리자는 조업도에 나와있는 각 블록내의 맞대기 용접선과 보강재 갯수만으로 용접길이를 결정하고 판넬라인 전체 블록에 대해 합산하여 용접길이를 구한 후 이 수치에 근거하여 경험적으로 작업시간을 결정하고 있다. 이렇게 결정된 값은 주판의 두께나 보강재 필릿 각장의 크기에 따라 패스수, 용접속도, 용접설비의 용량 등 작업시간에 큰 영향을 미치는 인자들을 고려하지 않음으로써 실제 작업시간과는 큰 차이가 발생하여 적절한 작업계획을 수립하는 데에 큰 장애가 되고 있다.

각 세부공정을 분석해 본 결과 입력데이터인 투입 물량 정보 요소는 출력데이터인 작업시간과 연관이 있으며 여기에 Table 1의 제약요소들이 결정적 인자임을 알 수 있었다. 본 연구에서는 현장 관리자의 도움을 받아 실제 작업현장에서 다수의 관찰을 통해서 이들의 관계를 조사하여 다음과 같은 간편한 산출식으로 표현하였다.

$$T = f(L, N, V)$$

여기에서 T는 각 세부공정의 작업시간, L은 용접길이, N은 용접 Seam 수, V는 용접장비 속도를 나타낸다.

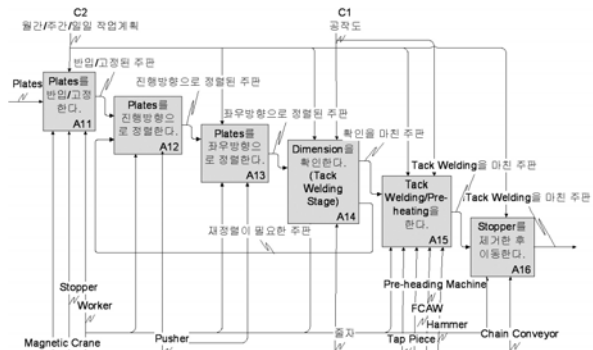


Fig. 2 IDEF0 modeling of tack welding stage

### 2.3 판넬라인 시뮬레이터 개발

생산계획에 대한 시뮬레이션은 일반적으로 QUEST와 같은 상용 소프트웨어로 수행되나 소프트웨어의 규모가 크고 고가인데다 조선 판넬라인의 작업계획에 사용하기에는 비효율적이어서 본 연구에서는 객체지향 모델링 언어인 UML과 범용 프로그래밍 언어인 C#을 이용하여 Fig. 4와 같은 독자적인 판넬라인 시뮬레이터를 개발하였다. 개발과정은 먼저 객체지향 분석기법<sup>6)</sup>을 사용하여 판넬라인 공정을 분석한 후 이를 바탕으로 PPR(Product, Process, Resource) 모델을 구축하였다. Fig. 3은 Resource 모델인 판넬라인의 각 설비에 대한 객체모델의 일부를 보여주고 있다 또한 판넬라인의 각 공정에서 요구되는 물량정보와 작업장의 조건에 따라 생기는 제약요소들을 고려하여 물량처리 상황 및

작업시간을 표시할 수 있는 Process 모델을 구축하였다. 시뮬레이션 구현 기법으로는 작업장 별로 독립적으로 구동되는 객체지향 이산 사건 시뮬레이션(Object-based discrete event simulation)<sup>7)</sup>을 이용하여 용접설비의 변경과 같은 각 작업장의 변화를 용이하게 반영이 될 수 있도록 하였다. 본 연구를 통해 개발된 Fig.4의 판넬라인 시뮬레이터는 웹기반의 프로그래밍이 용이한 C#언어로 개발되어 일반 PC에서도 빠른 속도로 운용되며 웹기반의 시스템이어서 인터넷을 통해 장소의 제약 없이 운용될 수 있도록 되어 있다.

판넬라인의 공정들은 각 공정마다 독립적인 시뮬레이션 로직을 가지며 이 로직에 따라 시뮬레이션 모델이 구동하게 되어 있다. 생산 관리자들은 웹상에서 시뮬레이터에 접속하여 투입 물량정보를 입력한 후 시뮬레이션을 수행하면 각 작업장별 가동률이나 작업시간과 같은 결과물을 얻을 수 있다.

개발된 시뮬레이터의 결과값을 검증하기 위해 23일간의 작업물량에 대해 매일 08~18시까지 9시간 작업을 기준으로 측정한 실제 작업시간과 시뮬레이터 모델의 작업시간을 비교해 본 결과  $\pm 5\%$ 이내에서 일치하여 본 시뮬레이터의 결과가 충분한 정확도를 갖고 있음을 알 수 있었다. Table 2는 23일간 작업시간의 평균을 나타낸 것이다.

개발 시뮬레이터에서는 용접장비의 헤드수를 늘리거나, 용접속도를 변경하는 등 생산설비의 증설이나 개선 공법을 변경할 수 있는 기능이 있다 따라서 현장에서 생산성의 향상을 위해 설비 증설이나 공법을 개선하고자 할 경우 본 시뮬레이터를 활용하여 해당 작업장은 물론 전체 판넬라인의 생산성에 미치는 효과를 사전에 검증할 수 있어 많은 도움이 될 것으로 생각된다

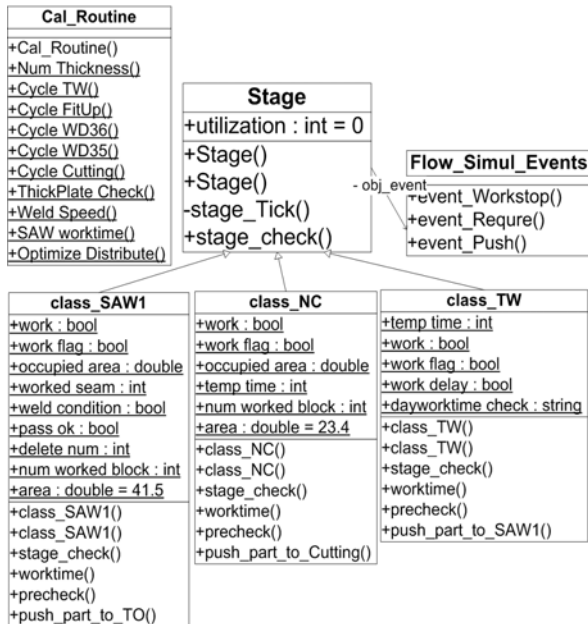


Fig. 3 An example of resource model for welding facilities in the panel line

### 3. 최적 생산계획 수립을 위한 부하 평준화 기법 적용과 설비 및 공법 개선

판넬라인에서는 용량에 따라 차이가 있으나 대형 조선소의 경우 보통 하루 평균 9~12개의 평블럭을 생산한다. 본 연구에서는 실제의 작업 물량을 대상으로 부경우 생산성에 미치는 효과에 대해 개발 시뮬레이터를 적용하여 조사하였다. 이 때 적용된 데이터는 정상적인 일주일간의 물량이었으며 시뮬레이션의 결과와 실제 현

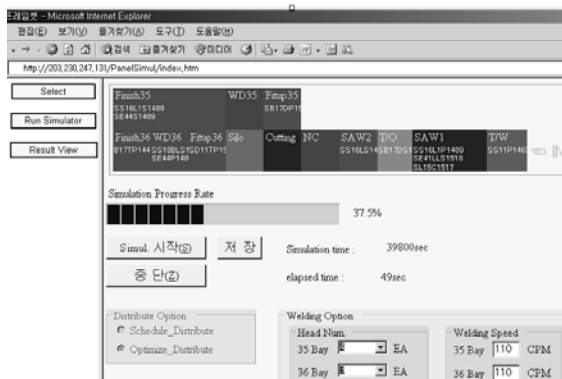


Fig. 4 Panel line simulator

Table 2 Comparison of estimated work time to actual work time

1. Actual time measured	9 hr
2. Estimated time by simulator	9.1 hr
Difference (2-1)	0.1 hr

장데이터를 비교하는 방법으로 생산성 효과를 조사했다

### 3.1 부하 평준화 기법

판넬라인의 마지막 3공정인 보강재 용접작업은 작업량이 타 공정보다 많아 A, B의 2개의 라인에서 수행된다. 즉, 절단이 완료된 부재들은 버퍼에서 대기하였다가 상황에 따라 A 또는 B 라인으로 분배된다. 이 때 물량이 두 라인으로 적절히 분배되지 못하면 양쪽 라인의 작업량에 불균형이 생겨 전체 생산성을 저하시키는 결과를 야기하게 된다. 하지만 현재까지는 작업자의 경험과 작업장의 상황에 따라 임기응변적으로 물량 배분이 이루어져 종종 한쪽 라인의 적체가 발생하는 경우가 생기고 있다. 본 연구에서는 Fig. 5의 흐름도에서 나타난 바와 같이 2개 라인의 부하 평준화를 위해 절단 공정을 기준으로 그 이후의 공정인 2개 라인의 Fit-up, Stiffener welding, Finishing 공정에 머물러있는 물량들의 작업시간을 파악하고, 현재 작업 중인 물량의 남아있는 작업시간과 대기물량의 전체 작업시간을 계산하여 작업시간이 적은 라인으로 배분하는 SRPT 룰<sup>8,9)</sup>을 사용하였다.

SRPT 룰을 적용하여 시뮬레이션을 수행한 결과를 Table 3에 나타내었으며 Table 3은 경험적인 방법보다는 SRPT rule을 적용할 때 두 라인에서 모두 작업시간이 단축될 뿐만 아니라 두 라인 사이의 평균작업시간의 차이도 14,152sec에서 10,221sec로 줄어들어

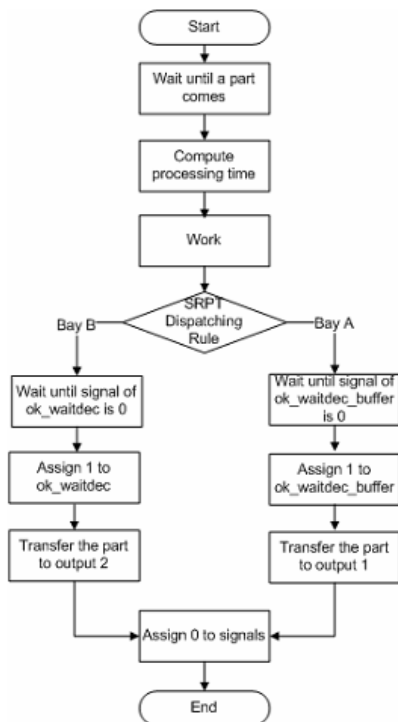
**Table 3** Result of work-load balancing using SPRT rule

(sec)					
Line	Method	Fit-up	Stiffener welding	Finishing	Average
A	Empirical	127895	209664	140475	159345
	SPRT rule	123440	201277	135757	153579
B	Empirical	112956	198395	123964	145192
	SPRT rule	111122	197346	121867	143358
Diff. (A-B)	Empirical	14939	11269	16511	14152
	SPRT rule	12318	3931	13890	10221

두 라인에 대한 물량 배분이 평준화됨을 보여주고 있다. Table 3의 결과값을 자세히 관찰해보면 두 라인의 3개의 각 세부공정에서 SPRT rule을 적용할 때 A 라인의 각 세부공정에서의 작업시간이 B 라인보다 많이 단축되거나 특히 Stiffener welding stage에서 작업시간이 긴 A라인에서 작업시간의 단축이 8,387sec로 크고 B 라인에서는 1,048sec로 상대적으로 적게 줄어들어 병목공정에서 양 라인에 대한 물량배분의 평준화 효과가 크게 작용했음을 알 수 있다. 이러한 부하 평준화는 판넬라인의 전체 작업시간에도 긍정적 영향을 미쳐 SPRT 룰을 적용하지 않은 경우의 일주일분 물량에 대한 작업시간은 263,250sec이었으나 SRPT Rule 적용 후에는 256,410sec로 6,840sec의 작업시간의 단축 효과를 가져왔다. 이 수치는 일주일 물량에 대한 것이므로 월 또는 분기별 물량을 대상으로 하면 생산성의 향상 효과가 상당히 큼을 알 수 있다

### 3.2 설비 및 공법 개선을 통한 생산성의 향상 효과

설비 및 공법 개선은 막대한 자금이 소요되며 생산라인의 중단으로 인한 손실이 엄청난 반면 이를 통한 생산성 향상은 실제적으로 적용하지 않는 한 확신하기 어렵다. 그러나 시뮬레이션은 가상환경에서 설비나 공법 개선에 따른 생산성 효과를 정확히 추정할 수 있게 하므로 설비 및 공법 개선의 시행을 결정하는 도구가 된다. 본 연구에서는 부하가 큰 공정인 보강재 필릿 용접장비를 증설한 경우와 용접속도를 증가시킨 경우에 대한 생산성의 변화를 조사하였다. 현재의 용접장비는 갠트리크레인에 5개의 헤드가 달려있고 각 헤드에는 양쪽으로 3개씩 총6개의 FACW 토치가 부착되어 있다. 2개의 토치는 텐덤토치이며 나머지 하나는 가접용 토치이다. 이 갠트리 크레인의 헤드수를 5개에서 7개로 늘렸을 때, 즉 토치수가 10개에서 14개로 늘렸을 때와 현재 110cpm의 200cpm으로 증가시켰을 때 동일한 물량에 대한 시뮬레이션의 결과를 조사하여 전체 작업시간이 얼마나 감소하는지를 조사하였다



**Fig. 5** Work-load balancing using SPRT rule

시뮬레이션은 SRPT 룰을 적용하며 현재의 조건과 헤드수를 5개에서 7개로 증설한 경우와 용접속도를 110cpm에서 200cpm으로 증가시킨 경우, 두가지 경우를 모두 적용한 경우로 나누어 수행하였고 그 결과를 Table 4에 나타내었다.

Table 4의 결과를 살펴보면 헤드수를 증가 시키는 것과 용접속도를 향상하는 방법 모두 현재의 조건과 비교하면 당연한 결과로 전체 작업시간이 단축됨을 알 수 있었다. 하지만 Case 3과 같이 용접 헤드수를 증가시키고 용접속도를 높이면 작업처리 속도가 더욱 높아져 전체 작업시간이 더욱 단축될 것으로 기대되지만 결과는 오히려 어느 한 쪽만 변경한 경우보다 오히려 작업시간이 더 걸림을 확인 할 수 있었다. 이는 단일 작업장에서의 작업처리 속도는 증가하는 반면에 후공정에서 이를 적절히 처리하지 못해 물량이 많이 적치됨으로써 결과적으로 작업시간이 더 지연되어 생기는 현상이다 즉 이 결과는 생산라인의 물류 흐름 특성상 특정 작업장의 생산성이 증가해도 선·후 공정에서 처리할 능력이 부족하면 오히려 전체 생산성을 떨어뜨릴 수도 있다는 것을 보여준다. 한편 헤드 수만 늘린 경우와 용접속도만 증가시킨 경우는 작업시간 단축 효과가 거의 유사하였다. 따라서 비용이나 시간을 고려했을 때 헤드 수를 늘리는 것보다는 용접속도를 현재 110cpm에서 200cpm로 증가시키는 것이 가장 효과가 크다는 것을 알 수 있다. 200cpm의 용접속도는 현재 사용되고 있는 직경 1.2mm의 용접와이어로는 무리가 있으나 와이어를 1.4mm 또는 1.6mm로 변경시킨다면 품질에 문제가 없이 적용할 수 있을 것으로 생각된다

4. 결론 및 활용방안

본 연구에서는 조선소의 판넬라인 공정을 대상으로 객체지향 기법으로 공정분석을 시행하고 모델링하여 웹 기반의 판넬라인 시뮬레이터를 개발하였다. 최적의 생산계획 수립이 가능하도록 부하 평준화 기법을 적용하여 생산성의 향상 효과를 입증하였고 또한 용접장비의 헤드 수를 증설한 경우와 용접속도를 증가시켰을 때, 둘 다 적용했을 때의 생산성 향상의 정도를 조사한

Table 4 Changes of total work time according to change of welding facility and condition

Case	Total work time
Current condition: 5Head, 110cpm	256,410sec (71.2hr)
Case 1: 7Head, 110cpm	253,620sec (70.4hr)
Case 2: 5Head, 200cpm	253,600sec (70.4hr)
Case 3: 7Head, 200cpm	254,610sec (70.7hr)

결과 용접장비의 증설이나 용접속도의 증가는 비슷한 생산성 향상 결과를 보여주었으나 둘 다 적용한 경우는 후공정의 수용능력 부족으로 오히려 생산성이 나빠지는 결과를 보여주었다.

또한 한 두 공정의 생산성 향상을 위한 조치가 때로는 전체 생산성 향상에 악영향을 미칠 수도 있으므로 시뮬레이션 기술을 활용하여 다각적인 측면에서 생산성 향상 효과를 검증한 후 시행하여야 함을 알 수 있었다.

생산성 향상을 위한 최적의 생산계획의 수립은 물량 배분의 평준화와 함께 생산설비 증설, 공법개선 등의 다양한 조치를 통해 이루어질 수 있으나 이는 시뮬레이션에 의해 반드시 사전 검증이 이루어져야 하며 생산설비 변경 및 공법 변경 시 경영진이나 의사 결정권자를 설득하고자 할 때에도 시뮬레이션 기술이 유효한 수단이 될 것으로 사료된다

후 기

본 연구는 “고부가가치 선박 개발용 디지털 통합건조 공법개발”의 일환으로 수행되었으며, 산업자원부·정보통신부의 연구비 지원에 감사드립니다

참 고 문 헌

1. Shin Jong Gye et. al. : Introduction of Digital Shipbuilding, The Society of Naval Architecture, **38-1**(2001), 54-62(in Korean)
2. Ho Rim Jung et. al. : Construction of a Verified Virtual NC Simulator for the Cutting Machines at Shipyard Using the Digital Manufacturing Technology, Journal of SNAK, **42-1**(2005), 64-72(in Korean)
3. Shin Jong Gye et. al. : A Framework of Plant Simulation for a Construction of a Digital Shipyard, The Society of Naval Architecture, 춘계 학술대회 논문집(2005), 436-448(in Korean)
4. Jong Hun Woo et. al. : Simulation Modeling Methodology and Simulation Framework for a Construction of a Digital Shipyard, Journal of SNAK, **42-4**(2005), 411-420(in Korean)
5. Gary J. Colquhoun, Ray W. Baines and Roger Crossley : A state of the art review of IDEF0, International Journal of Computer Integrated Manufacturing, **6-4**(1993), 252-264
6. Gary B. Shelly and Thomas J. Cashman and Harry J. Rosenblatt: Systems Analysis and Design, Thomson, 2005, 98, 584, 593-591
7. Kim Tak Gon : The Magazine of the IEEK, 1016-9288, 19th(1992), 105-114(in Korean)
8. 이상범 : 현대 생산·운영 관리, 명경사, 2005, 269-277(in Korean)
9. Wallace J. Hopp and Mark L. Spearman : Factory Physics : Foundations of Manufacturing Management, McGraw Hill College, 2000, 141-142, 492