

# 엔진 블럭 가공라인의 물류분석

김상훈\*, 오필범\*\*, 송광섭\*\*\*, 이상복\*, 한형상\*

\*고등기술연구원 생산기술연구실, \*\*대우중공업 엔진소재사업본부,

\*\*\*아주대학교 시스템공학과

## Performance Analysis of the Block Production Line in an Engine Production Plant

Sang-Hun Kim\*, Pil-Bum Oh\*\*, Kwang-Seop Song\*\*\*, Sang-Bok Woo\*, Hyung Sang Hahn\*

\*Manufacturing Technology Lab., Institute for Advanced Engineering

\*\*Engine Business Development Dept., Daewoo Heavy Industries LTD

\*\*\*System Dept., Ajoo University

Tool shop of the D Heavy Industries Co.(DHI) fabricates engines for a bus, truck, small ship. In order to increase the production capacity of engines, DHI will be established the new tool shop that consists of a block line, head line, assembly line, test line and AS/RS in 1999. In order to assure the production capacity designed of the new tool shop for producing engines and improve the production process of it, it is needed to find a bottleneck process and an optimal way of allocating workloads among machines and workers to maximize the production. In a way to solve this, we model the engine fabrication process of the tool shop and analyze its performance by computer simulation. In this study, we at first identify the bottleneck processes of the engine fabrication process under the designed operation policy. Then, we derive some alternative operating policies applicable to the new tool shop of an engine, and analyze the optimal operation policy by comparing the performance of the tool shop following each alternative policy.

### 1. 서론

현재 D중공업은 버스, 트럭, 굴삭기, 지게차, 발전기 등에 장착하는 대형 디젤엔진을 생산할 공장을 건설중이다. 신규 엔진공장의 생산규모는 연간 3만대이며, Block라인, Head라인, 조립라인, 시운전라인, 자동창고라인으로 구성된다. 현재 신규 엔진공장은 설비, 공정 및 Layout 설계가 완료되었고, 기계장비 발주와 공장건설이 진행중이다. 본 연구는 공장 가동에 앞서 미리 설계공정의 효율과 문제를 진단하고, 이에 대한 적절한 해결방안을 제시함으로써 문제점의 사전 예

방과 생산성 극대화에 도움을 주는 데 목적이 있다.

이를 위하여 신규 공장의 전체 생산공정 중 엔진공장 생산성에 가장 큰 영향을 미치는 Block라인을 대상으로 설계된 공정 및 Layout에 대한 컴퓨터 시뮬레이션 모델을 개발하였다. 통계 소프트웨어 ExperFit을 이용하여 기존 엔진공장에서 수집된 기계고장과 불량률 데이터를 분석하여 신규 엔진공장의 기계 고장률과 불량률을 추정하였고, Visio모델링 방법을 이용하여 Block 가공라인의 공정을 정의하고 모델링 하였다. 그리고 컴퓨터 시뮬레이션 소프트웨어 AutoMod

를 이용하여 Block 가공라인에 대한 시뮬레이션 모델을 개발하였다.

이를 이용하여 설계된 공정의 효율성을 진단하고, 고장, 자주보전, 공구교환 등 실제 공장운영시 발생할 수 있는 다양한 비가동 요인들에 따른 문제와 그 영향을 분석하였으며, 끝으로 적용이 가능한 일부 대안들을 도출하고 이를 중심으로 적절한 해결방안을 제시하였다. 공정 생산능력과 작업자의 작업부하를 분석하여 Block라인의 애로공정과 문제점을 도출하였고, 이에 대하여 작업자 작업부하, 공구교환 주기, 공구교환 정책, 공정간 Buffer size 등을 변경하여 생산성을 향상시킬 수 있는 최적의 운영대안을 제시하였다.

## 2. 모델링

### 2-1. 모델링 가정조건

본 연구대상인 Block라인은 Block본체라인과 서브라인인 Bed Plate라인으로 구성되며, Block라인의 OP45에서 Bed Plate와 Block이 조립된다. Block본체라인은 12개 기계가공 공정과 2개 수작업 공정으로 구성되며, Bed plate라인은 7개 기계가공 공정으로 구성된다. Block라인의 기계설비는 총 44대이며, 대부분 전용기계와 Machining Center로 구성된다. Block라인은 공정별로 1-8개 기계설비로 구성되며, 공정은 공정내 모든 기계설비의 가공이 완료되어야만 Block이 이동할 수 있는 Transfer라인의 특징을 가지며, Block라인의 Cycle Time은 11.2분이다. Block라인의 작업자는 총 4명이며, 작업자의 작업은 고장처리, 순간비가동 처리, 공구교환, 수작업, 소재투입, 자주검사 등이 있다. 작업자 작업시간은 휴식시간 200분을 제외한 1240분/일이며, 기계설비 가동시간은 1440분/일이다. 본 연구에서는 Block라인 생산공정의 특성을 파악하여, [표1] Block라인 모델링 가정조건을 수립하였다.

[표1] Block라인 모델링 가정조건

항목	구분	모델링 가정조건
시스템	구성	· Block본체, Bed Plate라인으로 구성 · Block본체 라인 : 12개 기계가공공정, 2개 수작업 공정 · Bed plate 라인 : 7개 기계가공공정 · 공정당 1-8대 기계로 구성
	특징	· Transfer라인 : 공정을 구성하는 모든 기계가공작업이 완료된 후, 동시이동
물류이송	구성	· Conveyor, AGV(4대)
	이송속도	· 12m/분
기계	Cycle Time	· 11.2 분
	종류	· 전용기계, Machining Center
	수량	· 44대
	작업시간	· 1440분/일
작업자	우선순위	· 고장처리, 순간비가동처리, 공구교환, 수작업, 소재투입, 자주검사순으로 작업 처리
	작업자 수	· 4명
	작업시간	· 작업시간 1240분/일 · 비가동시간 : 200분/일(식사, 휴식시간)
고장	설비고장	· 작업자 고장확인(10분 소요)후, 설비보전반 작업자 고장수리
	순간 비가동	· 작업자 순간비가동처리(5분 소요)
공구교환	정책	· 공정내 모든 기계에서 발생한 공구교환 작업을 동시처리 · 공구교환 요청시, 작업자가 Busy상태이면 가공작업 계속 수행
소재투입	정책	· Block본체라인 : 5개 동시투입(15분/개) · Bed Plate라인 : 18개 동시투입(1분/개)
자주검사	검사수	· Block본체라인 : 7 jone · Bed Plate라인 : 6 jone
	정책	· Block 10개당 1개 검사 · 불량이면, 라인에서 제거

### 2-2. 데이터 추정과 분석

통계 소프트웨어 ExperFit을 이용하여 기존 엔진공장에서 수집된 기계고장과 불량률 데이터를 분석하여 신규 엔진공장의 기계고장률과 불량률을 추정하였다. 이를 이용하여 시뮬레이션 분석 이전에 공정별로 고장시간, 순간비가동시간, 가공시간, 공구교환시간 등을 산출하여 공정별 작업부하를 분석하였고, 작업자별로 고장처리시간, 순간비가동 처리시간, 공구교환시간, 수작업시간, 소재투입시간, 자주검사시간 등을 산출하여 작업자별 작업부하를 분석하였다. 이 분석결과를 시뮬

레이션 결과 검증과 실험대안 선정에 이용하였다.

### 2-3. 공정모델링

공구교환 정보, Transfer이동 정보, 가공 정보를 유기적으로 표현하기 위해서 Visio Tool을 이용하여 Block 가공라인의 공정을 정의하고 모델링 하였다. 그리고 컴퓨터 시물레이션 소프트웨어 AutoMod를 이용하여 Block라인에 대한 공정물류 시물레이션 모델을 개발하였다. [그림1]은 Visio Tool을 이용하여 Block라인 공정을 정의하고 모델링한 것이다.

## 3. 실험계획

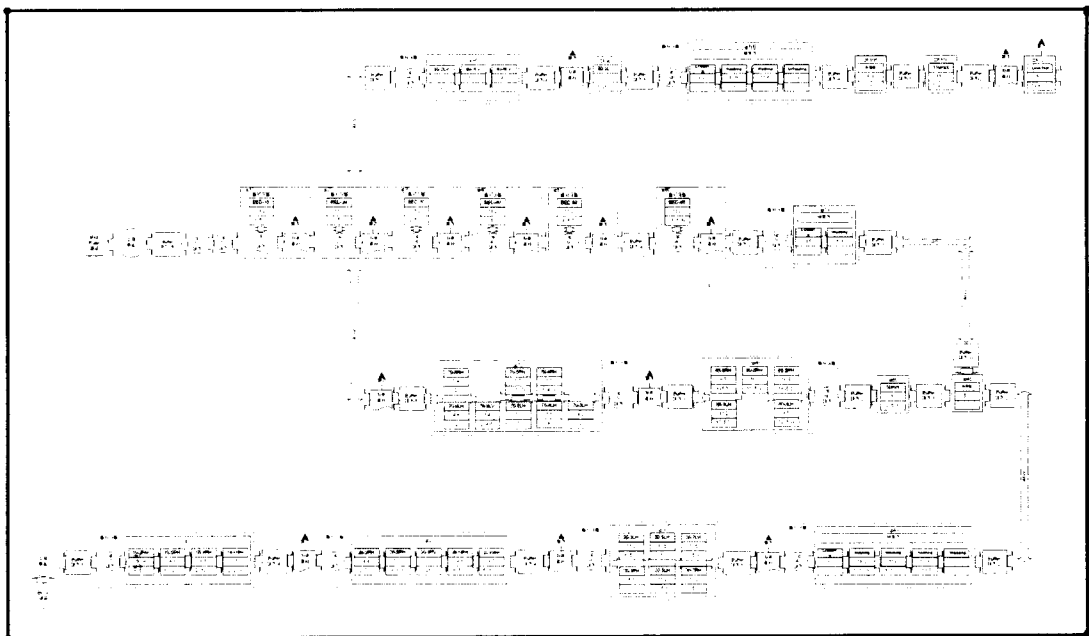
### 3-1. As-Is분석

본 연구에서는 먼저 기설계된 Block라인을 모델링하고 이에 대해 시물레이션을 수행함으로써 기설계된 Block라인의 생산능력, 작업자 부하, 애로공정 등을 분석하였다. 이

를 분석한 결과를 보면, Block라인 가동률은 59.9%(1440분/일 기준)였으며, 공구교환으로 인한 작업자 부하손실이 36.0%로서 전체 작업자 비가동요인중에서 가장 큰 비가동요인으로 판명되었다. 그리고 기계고장으로 인한 비가동요인이 전체 Block라인 비가동요인중에서 가장 Block라인 가동률에 나쁜 영향을 미치는 것으로 분석되었으며, OP60의 고장발생 비율이 36.5%로서 전체 Block라인 공정 중에서 가장 큰 고장발생 공정으로 판명되었다.

### 3-2. 실험계획

본 연구에서 Block라인을 분석하는 주목적은 기설계된 Block라인의 애로공정을 분석하고, 이를 해결하는 방안을 제시함으로써 Block라인의 생산능력을 향상시키는데 있다. [표2] 실험계획에서는 3-1 기설계된 Block라인의 As-Is분석결과를 토대로 하여 전체 Block라인의 생산능력을 향상시킬 수 있는 작업자 작업영역, 공구교환 정책, 공구교환주기, OP60분할 등의 실험요소에 대한 실험계



[그림1] Block라인 공정모델링

획을 수립하였다. 본 실험계획의 대안들은 각 공정간의 Buffer를 20개로 정하고 실험함으로써 Buffer Size로 인한 Block라인 가동률의 손실이 발생하지 않도록 하였다. 그리고 본 실험계획의 실험조건은 [표2]에서 수립한 각 대안별로 100일 동안에 대해 매번 3회 반복 실험하고, 1일단위로 실험결과를 산출하였다.

[표2] 실험계획

		실험 인자	
작업자 배치	A안	· 작업자 A : Bed plate, OP10 · 작업자 B : OP20,30,40 · 작업자 C : OP45,50,60,100,105,110,120 · 작업자 D : OP70,80,90	
	B안	· 작업자 A : Bed plate, OP10 · 작업자 B : OP20,70,80 · 작업자 C : OP45,50,90,100,105,110,120 · 작업자 D : OP30,40,60	
공구 교환 정책	A안	· 공구교환 주기가 되면, 작업자에게 공구교환 요청후 대기	
	B안	· 작업자가 Busy상태이면 공구교환주기가 되어도 계속 가공작업 수행	
공구 교환 주기	A안	· 공구교환주기 : 30 100 회 · 작업자별 평균 공구교환 작업부하율 : 27.7%	
	B안	· 공구교환주기 : 100 500 회 · 작업자별 평균 공구교환 작업부하율 : 14.8%	
에로 공정 분할	A안	· 공정60분할 : X	
	B안	· 공정60분할 : O	

#### 4. 결과분석

##### 4-1. 대안분석

[표3]은 실험계획에 대한 실험요소별 대안을 분석한 실험결과로서, 1440분/일을 기준으로 Block라인의 가동률을 산출한 것이다.

[표3] 실험결과

실험 Factor	Block라인 가동률(1440분 기준/일)								
	A안				B안				
OP60분할	A안				B안				
공구교환주기	A안				B안				
공구교환정책	A안				B안				
작업자	A안	1안	65.9 %	3안	68.1 %	5안	74.8 %	7안	75.8 %
	B안	2안	66.7 %	4안	68.6 %	6안	77.1 %	8안	77.3 %

[표3] 실험결과를 보면 대안8의 Block라인 가동률이 77.3%로서 시설계된 Block라인 가동률 59.9%보다 17.4%향상 되었다. 이를

각 실험요소별로 분석해보면, 작업자 배치는 A안보다 B안이 2.7%, 공구교환정책은 A안보다 B안이 2.1%향상되었다. 그리고 공구교환주기는 A안보다 B안이 7.6%, 공정60분할은 A안보다 B안이 0.6% 향상되었다.

[표3] 실험결과에서, 각 실험요소별 대안의 차이에 대해 t검정을 실시해 본 결과, 각 실험요소에 대한 실험결과 데이터가 99%신뢰구간에서 매우 유의한 것으로 나타났다.

##### 4-2. 작업자 부하

[표4] 작업자 부하율은 각 대안 중에서 가장 Block라인 가동률이 가장 높았던 대안8에 대하여 작업자 부하를 분석한 것으로, 대안8의 작업자 배치는 [표2]의 B안이다.

[표4] 작업자 부하율(1240분/일 기준)

작업자	고장	순간 비가동	공구 교환	수작업	소재 투입	자주 검사	계
A	0.5%	2.6%	26.6%		19.8%	29.2%	78.7%
B	0.5%	1.1%	18.3%			21.1%	40.9%
C	0.1%	0.4%	0.1%	78.3%		2.3%	81.2%
D	0.7%	0.8%	10.7%			14.9%	27.1%

[표4]를 보면, Bed plate와 OP10을 담당하는 작업자 A와 OP45,50,60,100,105,110,120,을 담당하는 작업자 C의 작업자 부하가 가장 높은 것으로 나타났다. 초기 As-Is분석이후에 작업자간의 부하가 균등한 작업자 배치안을 수립하였으나, 부하가 균등한 작업자 배치안이 대안8보다 Block라인의 가동률이 높지 않았다.

##### 4-3. Buffer Size결정

본 연구에서는 Block라인의 각 공정간 Buffer의 Range(Max - Min)를 계산함으로써, Buffer Size를 제안하였다. [표8] Buffer Size결정은 대안8에 대하여 각 공정간의 최적 Buffer Size를 결정한 것으로, 초기 Buffer Size보다 8개 증가한 55개 Buffer를 갖는다. 산출한 공정간 Buffer를 토대로 하여 대안8에 대해 다시 시물레이션을 수행한

결과, Block라인 가동률이 76.4%로 산출되었다. 본 연구에서 제안한 55개 Buffer를 갖는 대안이 공정간 Buffer를 20개로 정한 대안보다 Block라인 가동률은 0.9% 낮지만, Block라인의 생산능력을 충족하면서 경제성을 만족하는 현실적인 Buffer Size 대안으로 분석되었다.

[표5] Buffer Size결정

공정	최초 Buffer Size	개선 Buffer Size
OP10 - 20	4	9
OP20 - 30	4	7
OP30 - 40	5	4
OP40 - 45	4	8
OP45 - 50	1	3
OP50 - 60	2	5
OP60사이	0	1
OP60 - 70	3	3
OP70 - 80	8	3
OP80 - 90	4	1
OP90 - 100	5	4
OP100 - 105	4	3
OP105 - 110	1	3
OP110 - 120	2	1
계	47	55

### 5. 결론 및 추후 연구과제

본 연구에서는 신규 엔진공장의 블록 가공라인에 대해서 컴퓨터 시뮬레이션 모델을 이용하여 설계공정의 물류흐름 및 설비배치의 효율성을 분석하였다. 이를 통하여 설계공정의 생산능력 분석, 공정별 적정 Buffer Size결정, 애로공정 도출, 비가동요인 발생에 따른 공정변동의 추이를 분석하고, 최적 운영대안을 수립함으로써, 블록 가공라인의 생산성과 투자 효율성을 극대화하였다.

추후에는 엔진공장의 Head라인, 조립라인, 시운전라인, 물류창고에 대하여 컴퓨터 시뮬레이션 모델을 이용한 설계공정의 생산능력과 물류흐름을 분석함으로써, 애로공정을 도출하고 이를 개선하는 최적 운영대안을 제시하고자 한다. 또한 전체 엔진공장의 각 라인간의 라인 균등화 문제를 분석함으로써 라인간 Buffer Size를 결정하고자 한다.

### 6. Reference

- [1] Acree,E.S., and Smith,M.L., Simulation of a flexible manufacturing system-applications of computer operating system techniques, *The 18th Annual Simulation Symposium 1985(Tampa,FL : IEEE Computer Society Press)*, pp.205-216,1985.
- [2] Kiran,A.S., and Smith,M.L., Simulation studies in job scheduling-a survey, *Computers and Industrial Engineering*, VOL.8, NO.2, pp.87-93,1984a
- [3] Kiran,A.S., and Smith,M.L., Simulation studies in job scheduling-performance of priority rules, *Computers and Industrial Engineering*, VOL.8, NO.2, pp.95-105,1984b
- [4] Sabunchoglu,I., A study of scheduling rules of flexible manufacturing systems: a simulation approach, *International Journal of Production Research*, VOL. 36, NO.2, pp. 527-546, 1998.
- [5] Steudel,H.J. and Berg,L.E.,Evaluating the impact of flexible manufacturing cells via computer simulation, *Elsevier Science Publishers B.V.*, pp.121-130,1986.
- [6] Steudel,H.J.,Job-shop layout via computer simulation, *International Journal of Production Research*, VOL. 19, NO.1, pp 59-67, 1981.
- [7] AutoMod Users Manual Volume 1-4 , AutoSimulations Corporation, 1996.