

## 시뮬레이션을 이용한 단공정작업의 스케줄링에 관한 연구

### A Study on the Dispatching Rules of One- Process Job Using Computer Simulation

이 기 영<sup>\*1)</sup>

Lee, Kee Young

김 영 민<sup>\*\*</sup>

Kim, Young Min

#### Abstract

This paper deals with the selection of a proper dispatching rule for an one-process Job scheduling that follows a particular distribution of an order production. That is, it makes a distribution on an order per unit period and applies to simulation model that uses it. This study consists of two purposes either seeks adequately production scheduling using priority rule or seeks extension of the facilities that increase current production efficiency through computer simulation in scheduling.

#### 1. 서론

본 논문은 단일공정 제품의 주문과 JOB DATA가 어떠한 분포를 따른다고 가정할 때의 일정계획 문제를 다룬다. 따라서 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하여 경험분포에 맞는 JOB DATA를 발생시키고, 이 DATA에 다수의 우선순위 규칙(priority rule)을 적용하여 가장 우수한 일정계획을 제공하는 우선순위 규칙에 관하여 실험하였다. 즉, 다수의 우선순위 규칙에 따른 일정계획의 효율을 비교하였다. 또한 컴퓨터 시뮬레이션(computer simulation)을 활용하여 생산효율을 증대시키기 위한 설비의 확장을 이루는데 이 연구의 목적이 있다.

---

\* 인하대학교 산업공학과

확률적 시스템을 분석하는데 컴퓨터 시뮬레이션(computer simulation)은 매우 효과적이고, 뛰어난 기능을 제공한다. 이러한 장점 때문에 일정계획 문제에도 컴퓨터 시뮬레이션이 많이 이용되고 있다. 즉, 컴퓨터 시뮬레이션 기법(computer simulation-based technique)은 분석대상의 시스템을 수리적 및 논리적 모델로 구성하여 구성된 모의실험(simulation)하여 모델에 대한 전반적인 시스템에 관한 상태를 파악하는 기법이다. 이러한 시뮬레이션 기법(simulation technique)을 이용하여 생산업체의 일정계획 및 작업의 운영상태를 파악하고자 한다. 일반적으로 시뮬레이션 언어(simulation language)에는 FORTRAN, PASCAL, C와 같은 범용언어와 GPSS, SIMSCRIPT, GASP, SIMAN과 같은 전용언어가 있다. 또한 컴퓨터 그래픽 능력을 가진 시뮬레이션 전용언어가 개발되어 제조 시스템의 시뮬레이션에 널리 사용되고 있다. 그 대표적인 예로 CINEMA, SIMFACTORY 등이 있다.

본 연구에서는 SYSTEM MODELING CORPORATION의 SIMAN과 CINEMA를 사용하여 어떠한 분포를 따르는 주문생산하에서 만족할 만한 일정계획 수립을 위해 작업배분 규칙(dispatching rule)에 따라 모의실험(simulation)을 하고, 그 결과를 분석하고자 한다. 위 분석에는 다음과 같은 척도(criterion)가 사용된다.

- 1) 외주량의 결정 - 최소한으로 줄일 것
- 2) 기계의 이용률(utilization) - 최대한 이용할 것
- 3) 평균생산 시간(mean flowtime) - 적게 할 것

본 연구에서는 또한 전체 외주량을 줄이기 위한 작업배분 규칙들(dispatching rules)을 찾아서 일정계획한 후, 그 작업배분 규칙에 따라 기계 대수를 증가해 가면서 생산성을 증대시키는 확장 설비의 종류와 대수를 구한다. 일정계획을 수립한 후, CINEMA에서는 전체작업을 애니메이션(animation)으로 디자인하여 실제적인 작업의 수행을 보여주게 된다. 이 활동 시스템(animation system)은 작업의 시작과 끝을 자세히 보여준다.

## 2. 적용사례

### 2.1 기본 가정

본 논문에서 분석대상이 된 S사는 플라스틱 사출회사로 종업원이 500명이며 3교대로 24시간 작업을 한다. 이 회사는 27대의 사출기를 가지고 있으며, 약 80여가지의 생상품(job)을 생산하고 있다.

### 2.1.1 기계(사출기)에 관하여

(1) 기계의 종류는 아래의 <표 2-1>과 같다.

종 류	댓 수
SMALL	6
MIDDLE	6
LARGE	11
X-LARGE	4
총 계	27

<표 2-1> 기계의 종류

### 2.1.2 작업(job)에 관하여

(1) 작업(job)에 대한 분포는 아래의 <표 2-2>과 같다.

JOB TYPES	분 포	누 적 분 포
JOB I	23 %	23 %
JOB II	23 %	46 %
JOB III	39 %	85 %
JOB IV	15%	100 %

<표 2-2> 경험분포(empirical distribution)

(2) 작업(job)이 가질 수 있는 금형의 분포는 아래 <표 2-3>과 같다.

금 형 갯 수	1개	2개	3개	누계
금형의 분포	10 %	80 %	10 %	100 %

<표 2-3> 경험분포(empirical distribution)

(3) 각 작업(job)에 대한 가공시간은 다음 <표 2-4>과 같다.

PARAMETERS	MINIMUM	MODE	MAXIMUM
JOB I	0.9	1.1	1.2
JOB II	1.1	1.2	1.3
JOB III	1.2	1.5	1.7
JOB IV	1.9	2.2	2.5

<표 2-4> 삼각분포(triangular distribution)

(4) 각 작업(job)에 대한 수량은 다음 <표 3-5>과 같다.

PARAMETERS	MINIMUM	MAXIMUM
JOB	5000	15000

<표 2-5> 각 작업에 대한 수량

(5) 각 작업(job)의 납기일(due dates)은 <표 2-6>과 같다.

DUE DATES	10	15	20	25
분포	25 %	25 %	25 %	25 %

<표 2-6> 경험분포(empirical distribution)

### 2.1.3 긴급주문

긴급주문은 작업을 시작한 이후 10일 이후에만 발생하도록 제한되어 있고, 그 양은 미리 결정되어진다. 또한 그 횟수도 3회 이내로 제한한다. 그리고 그 값은 아래의 다음 <표2-7>과 같다.

값의 형태	1회	2회	3회
JOB의 양	10,000	5,000	15,000
JOB의 TYPE	XLARGE	LARGE	SMALL
가공시간	TR(2.1, 2.2, 2.3)	TR(1.9, 2, 2.1)	TR(1.0, 1.1, 1.2)
재료의 종류	3	1	2

<표 2-7> 긴급주문

### 2.1.4 기계고장

한 단위 주문을 생산할 때 총 27대의 기계가 사용된다. 평균 2일에 한 대가 고장이 난다. 그리고 고장이 난 기계를 수리하는 평균수리시간은 3시간이 소요가 된다.

### 2.1.5 재료의 형태

재료는 다음 <표2-8>과 같이 분포를 한다.

재료의 형태	TYPE I	TYPE II	TYPE III
분포	25 %	25 %	50 %

<표 2-8> 경험분포(empirical distribution)

어떤 기계가 한 작업(job)을 생산하고 다음 작업(job)을 생산하고자 할 때 다음 작업(job)의 재료와 지금 작업(job)의 재료가 달라졌을 경우 준비시간(setup time)은 약 100분 가량 걸린다.

## 2.2 컴퓨터 시뮬레이션 모델의 구성

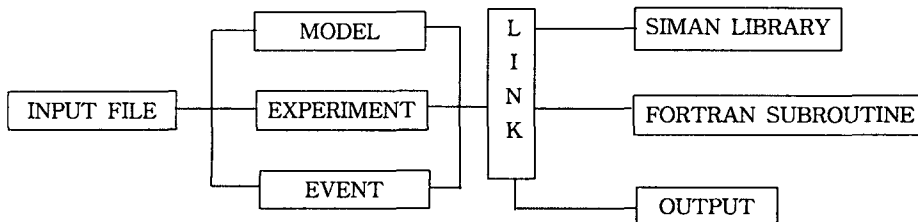
컴퓨터 시뮬레이션은 각 작업장의 기계를 가동시키기 전의 작업장에 대한 시스템의 상태를 파악하고, 여러 가지 기계 및 작업분배 규칙을 평가하기 위하여 하나의 모델로 설계하여 실험을 행하는 것이라 할 수 있다. 또한 시뮬레이션의 모델은 그 상태에 따라 이산형 모델 및

연속형 모델 및 혼합형 모델로 구분이 되어진다. 본 논문에서는 시간에 따라 이산적으로 시스템의 상태가 변하는 이산형 시뮬레이션 모델을 구축하고자 한다.

### 2.2.1 모델의 구성

(1) SIMAN 시스템의 구성

SIMAN 시스템의 구성은 다음 <그림2-1>과 같다.



<그림 2-1>SIMAN SYSTEM의 구성

## (2) SIMAN 시스템 모델의 변수

## 1. ATTRIBUTES

A(1) : MARK 1	A(7) : PRIORITY NUMBER
A(2) : JOB TYPE	A(8) : TOTAL PROCESSING TIME
A(3) : NUMBERS OF MOLD	A(9) : PROCESSING TIME
A(4) : DUE DATES	A(10) : VARIABLES
A(5) : MATERIALS TYPE	A(11) : VARIABLES
A(6) : ORDER LEASE	A(12) : VARIABLES
A(13) : VARIABLES	

## 2. GLOBAL VARIABLES

- X(1) : 재료의 형태  
 NQ(i) : i 대기(queue)에 기다리는 작업(job)에 부여한다.

## (3) 작업분배 규칙

## 1. SPT(shortest processing time)

가공시간이 가장 작은 job을 우선순위 규칙(priority rule)에 따라 높은 순위(priority)를 준다. 이 모델에서는 가중된 SPT(weighted SPT)를 사용한다. 가중치는 각 작업(job)의 수량이 된다.

$$\text{MIN}(\text{WEIGHTED SPT}), \text{WEIGHTED SPT} = \text{가공시간} * \text{수량}$$

## 2. EDD(earliest due date)

납기일(due date)이 적은 작업(job)에 대해 높은 우선 순위(priority)를 줌으로써 작업(job)을 가공시킨다.

## 3. RANDOM

임의로 작업(job)을 선택하여 가공하도록 배열한다.

## 4. SLACK TIME

여유시간(slack time)은 DUE DATA - COMPUTER TIME이다. 즉, 납기일(Due Date)에서 완성예정일을 빼준 SLACK TIME이 가장 적은 작업(job)에 대하여 우선순위(priority)를 줌으로써 작업을 한다.

**2.2.2 SIMAN 모델의 운영방법**

본 논문에서 실행되는 가정 및 방법은 다음과 같이 운영된다.

- 1) 1회의 런(RUN)은 25일을 기준으로 하여 각각 20회의 런(RUN)을 행하여 평균값

을 산출한다.

2) 대기하는 작업(job)에 긴급주문이 있는지를 확인하기 위하여 가중치 가공시간 (weighted processing time)이 5000분 이상이 되면 3번씩 나누어서 가공하도록 고안되었다.

3) 여유시간(slack time)이 음수값이 나올 경우, 즉 due date-complete time이 0보다 작을 경우는 납기일까지 생산하고 나머지는 다른 금형이 있을 경우 다른 기계에서 나머지 부분(due date-complete time)을 가공한다. 또한 금형이 없을 경우 나머지 부분(due date-complete time)은 외주로 결정한다.

4) 외주는 다음과 같이 각 TYPE별로 가중치를 준다

TYPE 1 - 0.1      TYPE 3 - 0.2  
TYPE 2 - 0.3      TYPE 1 - 0.4

그리고 이 가중치(weight)값에 가중 가공시간을 곱함으로써 전체 COST/분을 구한다.

5) 어떤 작업(job)의 형태가 한번 결정되면 각각의 TYPE에 의해 기계에서 가공되어진다.

6) 애니메이션 모델에서 작업이 기계에서 끝나면 컨베이어를 통하여 나간다. 컨베이어를 통하여 DISPOSE된다.

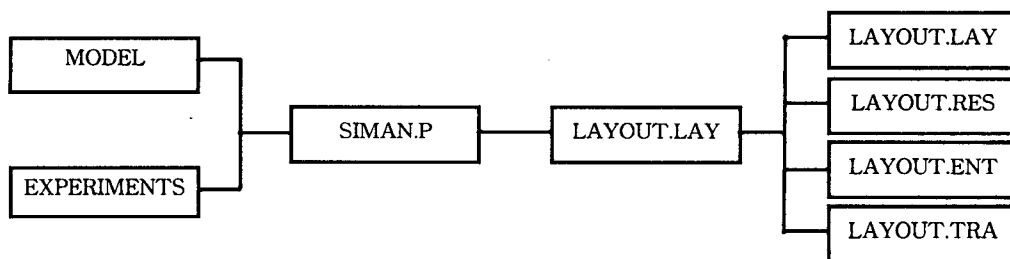
7) 애니메이션 모델에서 대기는 실제적으로 대기가 아니라 PAPERWORK상의 다음 작업을 의미한다. 그러므로 공간부족이 되어 BALKING이나 JOCKING은 발생하지 않는다.

8) 한 작업(job)은 금형의 최대 개수까지 기계를 가지고 가공할 수 있다.

### 2.2.3 CINEMA 모델의 구성 (framework)

본 논문에서는 CINEMA/EGA SYSTEM을 이용하여 시뮬레이션 모델링의 ART를 보여주고자 한다.

모델 구성은 다음의 그림<2-2>와 같다



<그림2-2>

## 2.3 시물레이션 결과분석

먼저 각 작업배분 규칙(dispatching rule)에 따른 결과를 비교하여 보고, 이 작업배분 규칙 중 가장 효율적인 작업배분 규칙에 따라 만족할 만한 일정계획을 찾는다. 그리고 이 일정계획에 따라 생산할 때 어떤 종류의 기계를 한 대 늘리는 것이 현재의 주문하에서 효율적인 설비의 증가인가를 찾고자 한다.

시스템에 대한 20회의 RUN을 실행시켜서 각각의 대한

- 1) 외주량
- 2) 평균 작업시간(mean flowtime)
- 3) 기계 가동율(utilization)을 구한다.

그리고 이 중에서 우선 척도(first criteria)를 외주량으로 정한다. 작업배분 규칙에 따른 결과로써 평균 작업시간(mean flowtime), 기계 가동율(utilization), 우선순위 규칙에 따른 종합적인 결과는 <표2-9>와 같다. 이 표에 의한 가장 효율적인 우선순위 규칙은 SLACK에 의한 분배규칙으로 작업을 했을 때 기계형태의 변화에 대한 생산결과는 <표2-10>과 같다. 이 중에서 가장 외주량을 많이 줄이는 MACHINE CELL은 TYPE II이다. 위 시물레이션 모델은 SIMAN의 추적기능(trace function)과 CINEMA에 의해서 검증되었다.

우선순위 CRETERIA		SPT	EDD	SLACK	RANDOM
UTILIZATION	M1	4.60	4.92	5.09	4.13
	M2	5.48	4.83	5.20	4.91
	M3	9.77	9.36	10.1	9.32
	M4	3.87	3.83	2.83	3.50
		0.8782	0.8583	0.8976*	0.8072
FLOWTIME	M1	9945	12530	12510	13590
	M2	13920	17190	17200	18920
	M3	13380	16270	15170	16920
	M4	14020	12600	13090	15280
외주량 (COST/분)		950,281	827,329	763,345**	1058,127

(\*는 최대값)

(\*\*는 최소값)

<표 2-9> TYPE별 외주량의 변화 결과



기계 모형	외주량
MACHINE CELL I (TYPE I)	740,319
MACHINE CELL II (TYPE II)	721,751**
MACHINE CELL III (TYPE III)	738,578
MACHINE CELL IV (TYPE IV)	749,096

(\*\*는 최소값임)

<표 2-10> SLACK에 의한 기계 유형(TYPE)별 외주량의 변화 결과

### 3. 결론

본 연구에서는 일정계획에 대한 시뮬레이션 문제를 다루어 보았다. 일반적인 주문생산하의 일정계획 문제를 다루는 데에는 다음의 두 가지 어려움이 있다. 첫째, 최적 일정계획(optimal scheduling)을 위해서는 너무 많은 시간이 걸린다는 것과 둘째, 작업장에 있는 대부분의 자원들(기계, 자재 등)에 대하여 고장이나 불량 등이 발생할 수 있다는 확신은 가지고 있으나 그것이 어떤 형태로 또는 언제 발생하는지에 대해서는 예측할 수 없다는 이유로 일정계획상의 불확실성을 내재하고 있다는 것이다. 한편 주어진 제조현장에서 필요한 것은 최적 일정계획이 아니라 회사에 만족할 만한 일정계획이고, 어떤 최적화 기법도 동적 주문생산하에서 최상으로 적용된다고 볼 수 없으므로 시뮬레이션에 의한 일정계획은 더욱 유용하다.

한편 본 연구에서 주문에 대한 분포에 따라 우선순위 법칙을 적용한 결과 여유시간이 적은 작업을 먼저 작업하는 것이 효과적임을 알 수 있었다. 또한 이 회사가 앞으로 설비를 확장하고자 할 때 TYPE II의 기계를 확장시키는 것이 더 효율적인 설비의 확장임을 알았다. 한편 수주대기에 있는 기계를 활용하여 다음 주문을 위한 재고를 위해 어느 제품을 얼마나 더 생산할 것인가를 결정하는 연구가 더 필요하다. 또한 주문의 단위를 한달에서 주단위로 줄여서 생산하는 계획도 더 고려할 필요가 있다.

### 참고 문헌

- [1] Alan, A., and Pritsker, B., "Introduction to Simulation and SLANII", SYSTEMS PUBLISHING Co., 1986
- [2] Baker, K.R., " Introduction to sequencing and scheduling", John wiley and sons.
- [3] Blackstone, J., and ET, AL., "A state-of-the-art Survey on Dispatching Rules for Manufacturing Jobshop Operation", NTIS Report NO PB\_280075, Spring field, 1977.
- [4] Conway, R.W., and Maxwell, W.L., and Miller, L.W., "Theory of scheduling", Management Sci., 1966.
- [5] Jackson, J.R., "Simulation research on job shop production", Naval Res. Logistics Quart 4, 1957.
- [6] Law, A.M., and W.B., "Simulation Modeling and Analysis, McGraw-Hill Book Co.,1982.
- [7] Park, S.H., "Scheduling Theory and Problems: Review and Categorization of Solution Procedures", Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers, Vol.2, No. 1, 1976.
- [8] Panit, B., "A multifactor Priority Rule for Jobshop Scheduling Using Computer Serch, IIE TRANSACTIONS, 1985.
- [9] Pegden, C.D., "Introduction to SIMAN", SYSTEMS MODELING Co., 1987.
- [10] Pegden, C.D., "CINAEMA.EGA", SYSTEMS MODELING Co., 1987.

♣ 김영민 : 현재 인하대학교 산업공학과 교수로 재직중이다. 미국 Bridgeport 대학교 전기공학과를 졸업(1970), 동 대학 산업공학과에서 공학석사(1972)를 취득하였다. 주요 관심분야는 금융공학, 경제성공학 등이다.

♣ 이기영 현재 인하대학교 대학원 재학중