

병목공정선정 및 최적화에 관한 연구

이중원, 이주영, 윤인섭*
 서울대학교 응용화학부
 (esyoon@pslab.snu.ac.kr*)

The Study for the Criteria of Bottle-neck and Optimization

Joongwon Lee, Jooyoung Lee, Insup Yoon*
 School of Chemical Engineering, Seoul National University
 (esyoon@pslab.snu.ac.kr*)

서론

단기간에 제품의 크기와 질, 그리고 생산량 및 종류에 이르기까지 많은 변화가 일어나고 있다. 최근에는 공정에서 유동적인 생산시스템(Flexible Manufacturing Systems)을 이용하여 급변하는 시장과 기술 하에서 효율적이고 효과적인 운영을 하고 있다. 정유공장과 같은 대규모 화학공장에서는 제품의 종류가 다변화 되는 정도가 전자제품에 비해 느리기 때문에 최적 운영에 좀 더 많은 주의를 기울이고 있다. 하지만 전자부품을 만드는 대다수의 공장에서는 많은 제약조건으로 인해 최적화되어야 할 부분이 아직도 많이 존재하고 있다. 공장의 운영에 있어 우리는 그 운영정도를 가시적으로 평가하기 위해 살펴보는 것이 생산량과 리드타임 그리고 수율이다. 이 중에서 기술적인 부분이라고 할 수 있는 수율을 제외하고 리드타임과 생산량은 공장에서 가동할 수 있는 기계가 충분할 때 그러한 도구를 최대한으로 활용할 수 있는 방안이 모색될 때 극대화 시킬 수 있을 것이다.

본 연구는 다음과 같이 구성되어 있다. 다음 부분에서는 연구대상이 되는 공정에 대한 개략적인 설명이 있을 것이다. 그리고 부하가 걸리는 병목공정(bottle neck) 선정의 중요성과 선정방법에 대해 알아보겠다. 그리고 수학적 접근을 통해 작업지체시간(waiting time)을 구해 효율적인 작업절차를 정하는 모델을 만들고 이 모델에 여러 가지 제약조건을 고려하여 진보된 모델을 구하고자 한다.

본론

1. A부품회사 S공정

전체적인 공정 중에 S공정은 크게 8개의 작은 공정으로 3가지 제품군을 생산하고 있다. 각각의 작은 공정은 1~8로 정의하고 제품군은 P1, P2, P3로 정의하기로 한다. 각 공정에서 작업시간과 특이사항 그리고 제품 종류별 작업조건은 다음의 [표 1]에 나타나 있다.

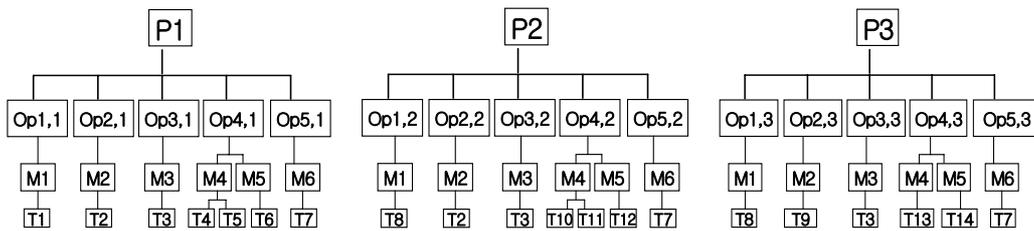
[표1] 제품 종류별 작업조건

Process	Working Time(hr/lot)	동일 작업조건	Setting Time
1	0.5	P2, P3	1
2	0.5	P1, P2	1
3	2.5	P1, P2, P3	0
4	1.5	무	0.5
5	0.5	P1, P2, P3	0
6	0.5	P1, P2, P3	0
7	2	P1, P2, P3	0
8	1	무	0.5

공정별 특이사항으로는 a 공정 진행 후 제품 대기 시간이 2시간이 넘어가면 제품의 변화로 인하여 불량제품이 된다. 따라서 b 공정진행시에는 a 공정을 완료한 후 2시간 이내에 작업이 진행 되어야 한다. 작업조건의 경우에는 [표 1]에 명시한 바와 같이 1, 2, 4, 8의 경우에 서로 다르게 작업이 이루어진다.

2. 병목공정(bottle neck)의 선정

각각 제품별이 P1, P2, P3로 구분이 되어 있고 각 제품을 만들기 위해 거쳐야 하는 공정은 op1~op5로 나와 있다. 각각의 공정에서 사용되는 tool을 T1~T14로 나열하였다. $Op_{i,j}$ 는 j 제품을 만들기 위해 i 공정에서 진행되는 공정을 의미한다. M_i 는 $Op_{i,j}$ 를 수행하는 기구를 의미한다. 각각의 제품군이 모두 같은 기계에서 생산되고 있다. 이러한 기계에서 사용되는 tool 이 T_i 로 설정되어 있다.



[그림 1] 공정 개략도.

병목현상이란 말의 어원을 살펴보면 병은 일반적으로 목 부분이 좁아 물이나 액체를 따를 때 갑자기 쏟아지는 것을 방지하게 되어있다. 이처럼 도로의 너비가 넓은 곳에서 갑자기 좁은 곳으로 차량이 몰려들면 좁아진 도로 너비로 인해 교통 혼잡이 빚어지는 등 차량 정체 현상이 빚어지는 등 차량 정체현상이 일어나는데, 이를 병의 목에 비유해 병목현상이라 일컫는다. 본 공정에서 병목 공정이라 함은 이와 유사한 의미로 전체 공정 중 부하가 많이 걸려 전체 공정의 수율 저하를 초래하게 되는 공정을 의미한다.

이러한 병목공정에 대한 선정은 Life over Size(L/S)방법으로 간단하게 표현할 수 있다. 여기서 Life란 작업시간을 의미하고 Size란 작업 시간동안 작업을 완료할 수 있는 장비 및 인력의 집합을 말한다. L/S의 값에 F(사용빈도)항을 곱한 후 이 값이 클수록 그 공정은 병목공정임을 알 수 있다.

$$\text{병목공정} = \max \sum_{i=1}^8 \left(\frac{\text{life}_i}{\text{size}_i} * \text{frequency}_i \right)$$

본 공정에 대한 이러한 결과는 표에 잘 나타나 있다. 표에 나타난 계산방식의 경우에 Op1에서 P2와 P3의 작업조건이 같다는 것의 의미는 작업준비시간이 없다는 것을 의미한다. 따라서 Op1의 경우 두 가지로 나누어 생각할 수 있다. Op2의 경우도 Op1의 경우와 동일하게 적용되었다. 결과를 보면 Op4의 경우에 전체 공정의 속도를 늦추게 되면 병목공정이 된다. Op4의 size가 2로 늘어나게 된다면 다시 Op4와 Op7이 병목공정이 된다. 병목공정이라고 해서 바로 그 병목을 해결하기 위해 size를 늘리는 것은 의미가 없다. size를 늘렸을 때 얻을 수 있는 이득과 비용을 고려하여 과연 어느 것이 최적인지 알아볼 필요가 있다. 제품의 외주에 대한 고려도 필요한 것이다.

[표2] 병목공정선정을 위한 계산

공정	Life	size	frequency	result
Op1(P2, P3)	2.0	2	1	1.0
Op1(P1)	1.5	1	1	1.5

Op2(P1,P2)	2.0	2	1	1.0
Op2(P3)	1.5	1	1	1.5
Op3	2.5	1	3	7.5
Op4	2.0	1	3	6.0
Op5	0.5	1	3	1.5
Op6	0.5	1	3	1.5
Op7	2	1	3	6.0
Op8	1.5	1	3	4.5

3. 최적화

A사의 예에서처럼 작업 순서가 정해져 있는 경우가 아니고 제품의 조립과 같은 작업 순서가 정해지지 않은 경우라면 선형계획법에 의해 효율적으로 문제를 해결할 수 있을 것이다. 선형계획법은 목적함수와 제약조건을 나타내는 식들(등식 혹은 부등식)이 모두 선형형태로 주어지는 특별한 종류의 최적화 문제를 해결하는데 사용된다. 선형계획법을 이용하려고 하면 실제 문제를 어떤 일정한 단계를 거쳐 수학적 표현법으로 바꾸는 수식화 작업을 해야만 한다. 선형계획법의 수식화에 필요한 기본적인 단계는 우선 문제를 표현하는데 필요한 변수들을 정의하고 문제에서 주어진 제약조건들을 전 단계에서 정의한 변수들을 사용해 선형식 형태로 표현한 후 목적함수를 선형식으로 정의한 후 최대화시킬 것인지 혹은 최소화시킬 것인지 여부를 정하여 문제를 해결하면 된다. 선형계획법은 문제해결이 간단한 선형상태라는 점 이외에도 선형계획법문제를 전문적으로 풀어낼 수 있는 상용소프트웨어가 많이 발달되어 있어 아주 큰 규모의 문제라도 이들을 이용하면 쉽게 풀어낼 수 있는 편리함이 있다. 본 연구에서는 'What' best!'라는 엑셀 기반의 상용 프로그램을 사용하여 계산하였다.

본 연구에서의 목적함수는 제품생산을 통해 최대의 이익을 내는 것이다. 각 제품군별로 발생하는 이익의 양이 다르고 생산에 필요한 비용 또한 다르다. 이러한 상황에서 각 제품을 어떤 방식으로 생산하는 것이 최대의 이익을 주는 지에 대해 알아보고 병목공정에 앞에서 언급한 작업 시간동안 작업을 완료할 수 있는 장비 및 인력의 집합을 한 단위 증가시킴으로써 최대의 이익이 어떻게 변하는 가에 대해 알아보도록 하겠다. 각 조건은 표에 잘 나타나 있다.

[표3] 각 제품 현황

	수율 (Y)	판매가 (SC)	생산원가 (PC)	최대 팔릴수 있는 양(MA/lot)	최소생산량 (MI/lot)
P1	98.4%	\$5	\$3.8	7	4
P2	67%	\$11	\$8	2	1
P3	88.7%	\$7	\$5.5	4	3

생산능력을 갖춘 경우일 때 목적함수 Z는 다음과 같이 표현 될 수 있다.

$$\text{Maximize } z = \sum_{i=1}^3 P_i Y_i (SC_i - PC_i) - P_i (1 - Y_i) PC_i$$

$$\text{Subject to } \begin{aligned} 4 &\leq P_1 \leq 7 \\ 1 &\leq P_2 \leq 2 \\ 3 &\leq P_3 \leq 4 \end{aligned}$$

이때의 결과는 간단한 단체법을 이용하여 계산했을 때 P1=7, P2=1, P3=4인 경우에

Z=\$1205.52가 됨을 알 수 있다. 이러한 기본적인 공정에 제한 변수를 두어 계산해 보도록 하겠다. 앞에서 언급한 작업시간을 제약 조건으로 하여 계산을 하여 보면 목적함수 Z=\$851.64가 된다. 이러한 상황에서 병목공정 Op3를 2.5의 값에서 반으로 줄여 1.25로 계산하면 Z=\$1205.52로 처음의 경우와 같이 Z의 최대값을 계산할 수 있다. 이러한 이해를 가지고 제품 가격의 변화나 수요의 변화 작업시간의 변화 등을 고려한다면 쉽게 최적값을 찾을 수 있을 것이다.

SC	5	11	7			
PC	3.8	8	5.5			
	P1	P2	P3	P1	P2	P3
lot	5	1	3	600	120	360
<=	<=	<=	<=			
	7	2	4			
>=	=>=	=>=	>=			
Min	4	1	3	851.64		
yield	0.984	0.67	0.887			
	p1	p2	p3			
op1	1.5	1	1	11.5	<=	24
op2	1.5	1	1	11.5	<=	24
op3	2.5	2.5	2.5	22.5	<=	24
op4	2	2	2	18	<=	24
op5	0.5	0.5	0.5	4.5	<=	24
op6	0.5	0.5	0.5	4.5	<=	24
op7	2	2	2	18	<=	24
op8	1.5	1.5	1.5	13.5	<=	24

SC	5	11	7			
PC	3.8	8	5.5			
	P1	P2	P3	P1	P2	P3
lot	7	1	4	840	120	480
=<=	<=	<=	=<=			
	7	2	4			
>=	=>=	=>=	>=			
Min	4	1	3	1205.52		
yield	0.984	0.67	0.887			
	p1	p2	p3			
op1	1.5	1	1	15.5	<=	24
op2	1.5	1	1	15.5	<=	24
op3	1.25	1.25	1.25	15	<=	24
op4	2	2	2	24	<=	24
op5	0.5	0.5	0.5	6	<=	24
op6	0.5	0.5	0.5	6	<=	24
op7	2	2	2	24	<=	24
op8	1.5	1.5	1.5	18	<=	24

[그림 2] "What's best!"를 이용한 시뮬레이션 결과.

결론

본 연구에서는 현재 널리 사용되고 있는 선형 계획법을 이용하여 작업의 최적화에 대한 결론을 얻을 수 있었다. 또한 작업시간, 사용빈도, 작업시간동안 작업을 완료할 수 있는 장비 및 인력의 집합의 향으로 병목공정을 알아볼 수 있었다. 제품의 종류가 다변화되고 있고 수요 또한 유동적인 상황에서 효율적이고 효과적인 운영은 필수적이다.

참고문헌

1. Choong Soo Lee, Sung Shick, Jung Sang Choi, "Operation sequence and tool selection in flexible manufacturing systems under dynamic tool allocation", Computer & Industrial Engineering 45, 61-73(2003).
2. Andrea D'Angelo, Massimo Gastaldi and Nathan levialdi, "Dynamic analysis of the performance of flexible manufacturing system:a real case application", Computer Integrated Manufacturing systems Vol.9, No.2, 101-110(1996).