

Job Shop 에서 평균처리시간 최소화를 위한 할당 규칙

전태준 · 박성호
전남대학교 산업공학과

Abstract

Mathematical programming method for finding optimal solution of job shop scheduling is inadequate to real situation because of too much computation time. In contrast, dispatching rule is helpful for reducing computation time but is not guaranteed to find optimal solution.

The purpose of this paper is to develop a new dispatching rule and procedure to minimize mean flow time whose result is near the optimal solution for job shop scheduling. First step is to select machine which have shortest finishing operation time among the schedulable operations. Second step is to select operation with regard to estimated remaining operation time.

The suggested rule is compared with nondelay and MWKR rule for three examples, and is confirmed to be most effective to minimize mean flow time.

1. 서론

Job Shop 형태를 따르는 생산방식에 있어서 Scheduling 의 목적은 공정의 유희시간을 최소화함으로써 그 가동률을 향상시키는 것이다. 이를 위해서 각 기계에서 작업되어지는 공정들이 유희시간없이 연속적으로 작업되게 기계를 효율적으로 이용하고 또한 각 부품 완성을 위하여 수행되는 공정들도 유희시간없이 연속적으로 작업되게 함으로써 전체적인 가동률을 최대화 시켜야 한다. 그렇게 함으로써 특히 평균처리시간의 최소화라는 목적을 달성할 수 있다.

Job Shop 스케줄링의 최적해를 찾기 위하여 수리적 모형을 사용하는 방법은 과대한 계산시간으로 인하여 실제 상황에는 부적합하고, 이에 반하여 Nondelay 나 MWKR 과 같은 할당 규칙을 사용하는 방법은 계산시간은 감소시킬 수 있지만 최적해를 보장하지 못한다.

따라서 본 연구에서는 다수의 기계와 다수의 작업으로 이루어져 있고 상황변화가 심

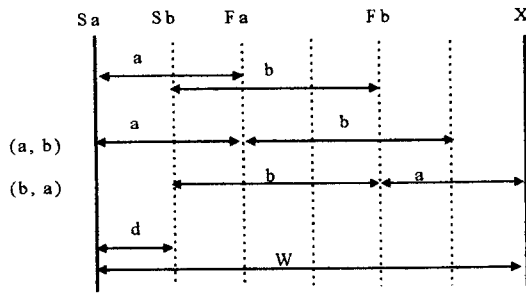
한 제조환경에 쉽고도 빠르게 적용할 수 있는 평균처리시간 최소화를 위한 새로운 할당 규칙과 절차를 개발하였다. 할당 규칙은 예상 잔여시간을 고려하여 개발 되었으며, 스케줄링 절차는 먼저, 고려되는 스케줄 대상 공정 중에서 각 기계별로 이른 완료시간을 갖는 우선공정을 찾아낸 뒤 이 중 가장 이른 완료시간을 갖는 이른공정을 선택한다. 다음 단계로는 이른공정 중에서 예상 잔여시간 증가량을 통하여 작업순서를 결정한 뒤 가장 타당한 공정을 선택한다.

2. 예상 잔여시간 증가량 규칙

예상 잔여시간을 설명하기 위하여 그림과 같이 두개의 공정, 공정 a와 공정 b를 고려하였다. 그림에서 사용한 기호의 의미는 다음과 같다.

- a: 공정 a의 가공시간
- b: 공정 b의 가공시간
- Sa: 공정 a의 시작시간 ($Sa \geq Sb$)
- Sb: 공정 b의 시작시간
- Fa: 공정 a의 완료시간
- Fb: 공정 b의 완료시간
- Ra: 공정 a의 잔여시간
- Rb: 공정 b의 잔여시간
- (a, b): 공정 a를 먼저 시작하고 공정 b를 나중에 시작하는 경우
- (b, a): 공정 b를 먼저 시작하고 공정 a를 나중에 시작하는 경우
- X: 순서 (a, b)와 순서 (b, a)의 최후 완료시간
- d: 공정 시작시간의 차이 ($Sb - Sa$)
- W: 전체 구간($a + b + d$)

이와 같은 내용을 그림으로 나타내어 보면 <그림 2-1>과 같다.



<그림 2-1> 예상 잔여시간의 계산

먼저, (a, b) 순서일 때 X 시점에서의 공정 a의 예상 잔여시간은 Ra에서 W만큼 뺀 값이 되고, 공정 b는 Rb에서 (W - a)만큼 뺀 값이 된다. 따라서 (a, b) 순서의 예상 잔여시간 R(a, b)는 다음과 같이 계산된다.

$$\begin{aligned} R(a, b) &= (Ra - W) + (Rb - W + a) \\ &= Ra + Rb - 2W + a \\ &= Ra + Rb - 2a - 2b - 2d + a \\ &= Ra + Rb - a - 2b - 2d \end{aligned}$$

다음으로 (b, a) 순서일 때 X 시점에서의 공정 a의 예상 잔여시간은 Ra에서 a만큼 뺀 값이 되고, 공정 b는 Rb에서 (b + a)만큼 뺀 값이 된다. 따라서 (b, a) 순서의 예상 잔여시간 R(b, a)는 다음과 같이 계산된다.

$$\begin{aligned} R(b, a) &= (Ra - a) + (Rb - b - a) \\ &= Ra + Rb - 2a - b \end{aligned}$$

여기서 예상 잔여시간 증가량(Estimated Remain Time Increase, ERTI)을 Ri라고 하면, 이는 R(a, b)에서 R(b, a)를 뺀 값이다.

$$\begin{aligned} Ri &= R(a, b) - R(b, a) \\ &= a - b - 2d \end{aligned}$$

ERTI가 음(-)의 값을 가지면 즉 예상 잔여시간이 감소되면, 공정 순서를 (a, b)로 하고, 양(+)의 값을 가지면 즉 예상 잔여시간이 증가되면 공정순서를 (b, a)로 한다. 이는 예상 잔여시간을 적게 하는 공정 순서가 바람직하기 때문이다. 예상 잔여시간 증가량이 0의 값, 즉 예상 잔여시간에 변화가 없는 경우는 가장 이른 시작시간을 갖는 공정을 먼저하는 Nondelay 규칙과 가장 많은 잔여 작업시간을 갖는 공정을 먼저하는 MWKR 규칙을 적용하여 순서를 결정한다. 이것을 정리하면 아래와 같다.

- ① $Ri < 0 = 2d > a - b$
→ 순서 (a, b)

- ② $Ri = 0 = 2d = a - b$
→ Nondelay와 MWKR 규칙적용
③ $Ri > 0 = 2d < a - b$
→ 순서 (b, a)

앞 절에서 설명한 ERTI 규칙은 동일 기계내의 두 공정의 작업순서를 결정하기 위한 것이다. Job Shop 스케줄링에서는 여러 기계가 있으므로 여러 기계에 작업 가능한 모든 공정을 고려해 주어야 한다. 스케줄 절차의 기본 전략은 Active 스케줄과 같이 가장 이른 완료시간을 갖는 공정을 기준으로 하는 것이며, 그 공정을 수행하는 기계에서 작업가능 공정이 여러개 있으면 ERTI 규칙을 적용하여 우선적으로 할당할 공정을 결정한다. 여기서 유의할 것은 만약 우선적으로 할당할 공정이 가장 이른 완료시간을 갖는 공정이 아니면, 이를 반영하여 가장 빠른 완료시간을 갖는 공정을 변경하는 것이다.

3. 스케줄 절차

3.1 스케줄 절차

구체적으로 스케줄을 수행하는 절차는 다음과 같이 크게 5 단계로 나누어 볼 수 있고, 전체 흐름을 정리하면 아래 <그림 3-1>과 같다.

<단계 1> 스케줄 기본 자료

스케줄을 수행하기 위하여 필요한 기본적인 자료, 즉 부품, 공정, 사용기계, 작업시간에 대한 정보를 가지고 스케줄 대상 공정들을 형성한다.

<단계 2> 우선공정 선택

스케줄 대상 공정들 중에서 각 기계별로 이른 완료시간을 갖는 우선공정을 하나씩 찾아낸다. 이 공정들이 할당을 위하여 우선적으로 고려된다는 의미에서 우선공정이라는 표현을 사용한다. 이때 한 기계내에 이른 완료시간을 갖는 공정이 여러개 있으면 모두를 우선공정에 포함시킨다.

<단계 3> 이른공정 선택

<단계 2.에서 선택된 우선공정들 중에서 가장 이른 완료시간을 갖는 공정을 찾아낸다. 만약 그러한 공정이 여러개 있으면 가장 이른 시작시간을 갖는 공정을 먼저하는 Nondelay

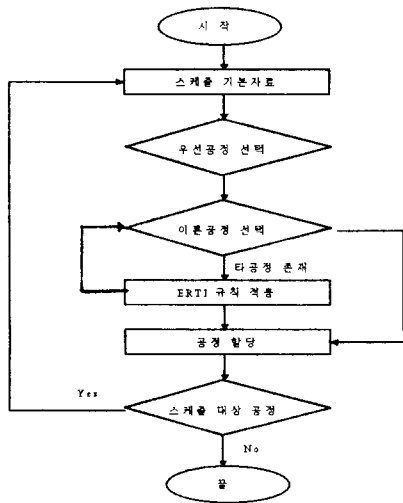
규칙과 가장 많은 잔여 작업시간을 갖는 공정을 먼저하는 MWKR 규칙을 차례로 적용하여 하나의 이른공정을 선택한다.

<단계 4> ERTI 규칙 적용

<단계 3>에서 선택된 이른공정을 수행하는 기계에서 이른공정의 완료시간보다 이른 시작시간을 갖는 스케줄 가능 공정이 없으면 <단계 5>로 가서 선택된 이른공정을 할당한다. 그러나 만약 이른 공정의 완료시간보다 이른 시작시간을 갖는 스케줄 가능 공정이 있으면 ERTI 규칙을 적용하여 공정순서를 결정 한 뒤 이른공정의 완료시간의 변경여부를 확인한다. ERTI 규칙을 적용하여 결정된 공정순서에 의해 이른공정의 완료시간이 변화가 없으면 <단계 5>로 가고, 그렇지 않으면 변경된 완료시간을 반영하여 <단계 2>로 되돌아 간다.

<단계 5> 공정할당

선택된 가장 이른 완료시간을 갖는 공정을 할당하고, 후속공정이 존재하면 그것을 새로운 스케줄 대상 공정에 추가하여 <단계 2>에서 <단계 5>를 반복하고, 그렇지 않으면 스케줄을 끝낸다.



<그림 3-1> 전체 스케줄 순서도

3.2 예제 적용

본 논문에서는 3 가지 형태의 문제를 고려하여 스케줄링을 수행하였는데, 여기서는 Baker. K 가 사용한 문제로 설명한다. 문제에

대한 가공시간 및 사용기계에 대한 기본적인 자료가 아래 <표 3-1>에 표현되어 있다. 예를 들어 부품 B의 첫공정은 2번 기계를 사용하여 1 시간 동안 가공된다.

<표 3-1> 부품별 가공시간 및 사용기계

부 품	공 정		
	가	나	다
A	4 (1)	3 (2)	2 (3)
B	1 (2)	4 (1)	4 (3)
C	3 (3)	2 (2)	3 (1)
D	3 (2)	3 (3)	1 (1)

<단계 1> 스케줄 기본 자료

스케줄 대상 공정은 {(A-가-4), (B-가-1), (C-가-3), (D-가-3)}이다. 부품 A가 1번, 부품 B와 D가 2번 그리고 부품 C가 3번 기계를 사용하며 모든 공정의 시작시간은 0이다.

<단계 2> 우선공정 선택

스케줄 대상 공정들 중에서 각 기계별로 이른 완료시간을 갖는 우선공정을 찾아보면, 1번 기계에서 (A-가-4), 2번 기계에서는 (B-가-1) 그리고 3번 기계에서는 (C-가-3) 공정이 된다.

<단계 3> 이른공정 선택

<단계 2.에서 선택된 우선공정들 중에서 가장 이른 완료시간을 갖는 공정은 (B-가-1)이 하나뿐이고 이것이 이른공정이 된다.

<단계 4> ERTI 규칙 적용

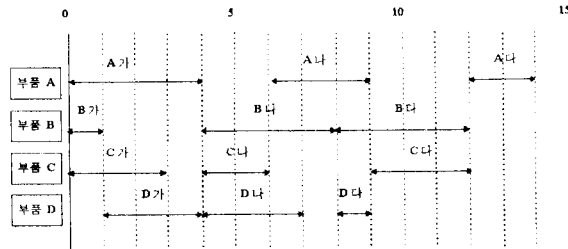
<단계 3>에서 선택된 이른공정 (B-가-1)을 수행하는 2번 기계에서 이른공정의 완료 시간 1보다 이른 시작시간, 즉 0을 갖는 스케줄 가능 공정 (D-가-3)가 있으므로 ERTI 규칙을 적용한다.

두 공정의 시작시간이 같기 때문에 임의로 공정 (B-가-1)을 a 공정이라고 하고, 공정 (D-가-3)을 b 공정이라고 하면, $R_i = a - b - d = 1 - 3 - 2(0) = -2 < 0$ 이 된다. R_i 값이 음(-)의 값을 갖기 때문에 공정순서는 (a, b), 즉 공정 (B-가-1)를 먼저하는 것이 바람직하다. ERTI 규칙을 적용하여 결정된 공정순서에 의해 이른공정 (B-가-1)의 완료시간이 변화가 없기 때문에 <단계 5>로 간다.

<단계 5> 공정할당

선택된 가장 이른 완료시간을 갖는 공정 (B-가-1)을 할당하고, 후속공정 (B-나-4)를 새로운 스케줄 대상 공정에 추가하여 <단계 2>에서 <단계 5>를 반복한다.

이와 같은 스케줄 절차에 따라 모든 공정에 대하여 스케줄을 수행했을 때의 최종 결과를 부품별로 정리하면 <그림 3-2>와 같다.



<그림 3-2> 부품별 스케줄 결과

4. 스케줄 결과비교

새로운 할당 규칙이 평균처리시간을 최소화 시키는데 타당한가를 비교해보기 위하여 3가지 문제를 가지고 3가지 규칙에 대하여 스케줄을 수행한 뒤 결과를 비교 분석하였다.

고려한 문제로는 3.2에서 예로 사용한 Baker의 문제와 Thomson의 6X6 문제 그리고 3개의 부품과 4개의 공정으로 구성된 새로운 예제를 만들어 사용하였다. 또한 고려한 스케줄 규칙으로는 단순한 Nondelay 규칙, MWKR(Most Work Remaining) 규칙, 그리고 본 논문에서 제시한 새로운 할당규칙을 가지고 스케줄을 수행하였다.

수행된 스케줄 결과에 대한 평균처리시간을 비교한 것이 <표 4-1>이다.

<표 4-1> 평균처리시간 결과 비교

	Nondelay	MWKR	ERTI
Baker	10.75	12.25	11.75
예제	28.00	27.60	23.00
Thomson	54.17	55.83	48.33

고려한 3가지 문제 모두에서 MWKR 규칙이 대체적으로 좋지 못한 결과를 보이고 있고, Nondelay 규칙은 MWKR 보다는 좋은 값을 얻을 수 있지만 새롭게 제시한 할당규칙보다

는 좋지 않은 결과를 얻는다.

본 연구에서 제시된 새로운 할당규칙은 3가지 문제 모두에서 우수한 결과를 보이고 있고, 특히 문제의 크기가 커질수록 더욱 더 우수한 결과값을 얻고 있음을 알 수 있다.

5. 결론

본 연구에서는 많은 스케줄 요소 및 노력을 통하여 얻을 수 있는 결과를 간단하고 단순한 몇가지 스케줄 요소를 고려하여 더 우수한 해를 얻는 새로운 할당 규칙을 제시하였다. 새로운 규칙은 먼저, 각 기계별로 이른 완료시간을 통하여 우선공정을 찾아낸 뒤, 우선공정 중에서 가장 이른 완료시간을 갖는 이른공정을 선택한다. 다음에 동일기계 내에서 이른공정의 완료시간보다 이른 시작시간을 갖는 스케줄 대상 공정이 있으면 ERTI 규칙을 적용하여 잔여 작업시간 증가량에 따른 공정간의 작업순서를 결정한 뒤 가장 타당한 공정을 선택한다.

새로운 할당 규칙은 3가지 예제에 대하여 다른 규칙과의 결과를 비교하였는데, 평균처리시간에 있어서 모두 우수한 해를 얻을 수 있었다. 특히 문제의 크기가 커짐에 따라 더욱 더 우수한 결과를 보이고 있다. 또한 새로운 할당 규칙은 무엇보다도 아주 짧은 계산시간을 요구하기 때문에 변화하는 제조 환경에서의 재일정 계획에서도 우수한 결과를 보일 것으로 예상된다.

참고문헌

1. 강금식, 생산 운영관리-개념, 모형 및 기법, 박영사, 1989.
2. 이철수, 배상윤, 이강주, “생산 가능 시간과 일괄 생산을 고려한 FMS 일정계획”, 전남대학교 공학편 논문집, 제 36 집, PP 99-106, 1991.
3. 이철수, 배상윤, 이강주, “실시간 제어가 가능한 일정계획 시스템 개발”, 경영과학지, 10(2), PP 61-77, 1993
4. Baker, K., “Introduction to Sequencing and Scheduling”, New York, John Wiley and Sons inc., 1974.
5. Conway, R., Maxwell, W. and Miller, L., “Theory of Scheduling”, Addison Wesley, 1967.