

제조공정의 특징에 따른 우선순위 규칙 기반의 스케줄링 방법 Priority rule-based scheduling method according to the production characteristics

*#나홍범, 박진우

*#H. B. Na (ks215@snu.ac.kr), J.W. Park
서울대학교 산업공학과

Key words : Priority rule-based scheduling, Production characteristics, Rule combination

1. 서론

기업의 다양한 의사결정 문제를 해결하기 위하여 APS (Advanced Planning and Scheduling) 시스템을 활용할 수 있다. APS 시스템에서 다루는 문제 중에서 스케줄링 문제는 가장 어려운 문제에 속하며 이를 해결하기 위하여 많은 연구가 이루어졌다. 스케줄링 문제는 크게 다음과 같은 두 가지 이유로 인하여 어려움이 발생한다: 첫째, 생산공정의 다양한 상황을 포함하는 스케줄링 모델을 설계하는 것이 어렵다. 둘째, 공정의 복잡도 및 방대한 입력 데이터로 인하여 스케줄링 문제를 수리계획법과 같은 최적화 기법을 통하여 해를 구하기 어렵다.

본 연구에서는 다양한 생산공정에 대한 분석을 바탕으로 각 공정의 특징에 맞는 우선순위 기반의 스케줄링 방법을 제시한다. 생산되는 제품의 특징에 따라 공정의 형태와 규모가 다양하므로 공정의 형태와 규모에 따른 스케줄링 요구사항을 분석해야 한다. 이를 위하여 서로 다른 형태의 대규모 공정을 가지는 산업들을 생산전략, 생산공정, 품종 및 생산량이라는 세 가지 기준에 따라 분류하고 각 경우에 요구되는 스케줄링 조건을 도출한다. 각 공정에 대한 스케줄링 요구사항이 정의된 이후에는 해당 공정에 알맞은 스케줄링 방법을 제시한다.

스케줄링 방법은 수리계획법에 기반한 최적화 기법과 다양한 지역탐색 알고리즘들을 활용할 수 있는데 실제 상황에서는 우선순위에 기반한 단순 작업순서 결정 방법을 많이 활용한다. 우선순위 기반의 스케줄링의 경우 규칙을 적용하는 방법은 매우 간단하지만 이에 맞도록 공정의 형태를 표현하는 데 어려움이 있으며 작업의 순서가 최적임을 보장하기 어렵다는 단점이 있다. 이와 같은 단점을 극복하기 위하여 스케줄링의 목적함수를 효과적으로 정의하고 여러 개의 작업 우선순위 결정 방법을 조합하는 방안을 제시한다.

2. 제조공정의 분류

제조 공정은 수 많은 종류의 작업을 포함하고 있으며 제품에 따라 공정의 길이 또한 다양하기 때문에 전반적인 제조공정의 특징을 일괄적으로 정의하는 데에는 어려움이 있다. 따라서 제조공정의 특징을 체계적으로 분석하기 위하여 다음과 같은 세 가지 기준을 제시한다 [1]:

- 생산전략: 완제품 생산 과정에서 수주와의 관계 및 재고 항목 수준에 따른 분류
- 생산공정: 제품 생산의 연속성 및 공정의 물리적 구성에 따른 분류
- 품종과 생산량: 하나의 공정에서 생산되는 제품의 종류 및 기간별 생산량에 따른 분류

이와 같은 세 가지 기준에 대하여 다양한 산업의 특징을 파악하고 각각의 경우에 대하여 서로 다른 스케줄링의 목적 및 해결 방안을 제시할 수 있다. Fig. 1은 현재 세계적인 경쟁력을 갖추고 있는 국내의 산업들을 위의 기준에 대하여 배치한 결과이다. 본 연구에서는 Fig. 1을 산업별 템플릿으로 정의하고 있으며 템플릿 내에 위치하는 산업들의 세부적인 공정을 분석함으로써 다양한 상황에 대한 스케줄링 방법을 제시할 수 있다.



Fig. 1 Classification of industries

공정의 특징 중에서 가장 많은 영향을 미치는 것은 생산공정의 형태이며 많은 경우의 연구들이 각각의 생산공정에 대하여 제한적인 목적함수를 최적화하는 방안이 초점을 맞춘다. 많은 경우 생산공정의 형태는 다양한 공정이 혼재된 형태로 나타나므로 정형화된 모델에 대한 스케줄링 방법은 한계를 가진다. 따라서 공정의 복잡도를 충분히 반영하면서 빠른 시간 안에 해를 구하는 스케줄링 방법이 요구된다.

3. 우선순위 규칙 기반의 스케줄링

개별생산과 같은 복잡한 생산시스템의 최적 스케줄을 분석적 방법(analytical method)을 통하여 생성하는 것은 매우 어려우며 각 기계 단위의 대기열에서 작업의 순서를 결정하는 휴리스틱이 가장 적합한 대안이 될 수 있다 [2, 3]. 우선순위 규칙 기반의 스케줄링 방법은 작업배분(dispatching rules) 방법으로도 알려져 있으며 가장 단순한 휴리스틱 방법 중 하나이다.

우선순위 규칙에 기반한 스케줄링 방법은 단일 목적함수에 대하여 하나의 기계에 대한 스케줄을 생성하는 데에 특히 좋은 성능을 보인다. 예를 들면, SPT (shortest Process Time) 규칙은 평균완료시간 및 평균 지연시간 등과 같이 작업의 평균 소요시간과 관련된 목적함수에 대하여 좋은 해를 제시할 수 있고 [4], CR (Critical Ratio) 규칙의 경우 적시 공급과 관련된 성능을 높일 수 있도록 한다 [5]. 반면, 이러한 규칙들은 제한된 목적함수에 대해서만 좋은 성능을 보일 뿐만 아니라 때로는 서로 다른 목적함수에 대하여 모순된 성능을 보이기도 한다.

이와 같이 우선순위 규칙을 적용함에 있어서 발생하는 스케줄링 결과의 편향성을 극복하기 위해서 기존의 우선순위 규칙을 수정하거나 조합하는 방식을 활용할 수 있다. MDD (Modified Due Date) 규칙 [6]과 COVERT (delay Cost OVER remaining Time) 규칙 [7] 등과 같은 경우에는 기존의 우선순위 규칙에 다양한 척도를 반영하여 변형함으로써 보다 나은 결과를 낼 수 있도록 한다. 본 연구에서는

Table 1 Scheduling method generation

1. 스케줄링 문제 정의
1.1. 산업 템플릿을 통한 제조공정 특징 분석
1.2. 세부공정의 모델 생성
1.3. 스케줄링 목적함수 도출
1.4. 스케줄링 목적함수 수정 및 조합
2. 스케줄링 방안 도출
2.1. 목적함수별 우선순위 규칙 평가
2.2. 후보 우선순위 규칙 선정
2.3. 후보 우선순위 규칙 수정 및 조합
2.4. 가중치 변경 및 반복 실험

다양한 우선순위 규칙들을 조합함으로써 단일 목적함수뿐만 아니라 복수의 목적함수에 대하여 좋은 결과를 낼 수 있는 스케줄링 방법을 제시한다.

4. 공정특징에 따른 스케줄링 방법 결정

본 절에서는 공정의 특징에 따라 스케줄링 문제를 정의하고 해당 문제에 알맞은 스케줄링 방법을 생성하는 방안 에 대하여 제안한다. Table 1 은 스케줄링 방법을 생성하는 전반적인 순서를 나타낸다.

제조공정의 특징을 분석하여 스케줄링 문제의 형태와 목적함수를 정의하고 이를 통하여 도출된 목적함수를 현실적 여건에 맞도록 수정하거나 다양한 형태의 목적함수를 고려하여 다중 목적함수를 생성하는 방안이 요구된다. 다중 목적함수를 생성하는 경우, 복수의 목적함수에 대한 결과를 나열적으로 모두 제시하는 방안과 각 목적함수를 하나의 완성된 식으로 조합하는 방안이 있다. 목적함수를 나열적으로 제시하는 경우 구해진 결과를 바탕으로 관리자가 추가적인 의사결정을 수행하여야 하는 반면 여러 목적함수를 하나의 목적함수로 조합하는 경우에는 도출된 결과를 바탕으로 바로 의사결정이 가능하지만 각 목적함수 간의 반영 비율을 결정하여야 하는 문제가 발생한다.

다중 목적함수가 설정된 이후에는 해당 목적함수에 대하여 좋은 해를 나타낼 수 있는 우선순위 규칙을 판단하여 후보 규칙을 선정한다. 이는 기존 연구로부터 분석된 각 우선순위 규칙의 성능에 따라 선택이 가능하다. 후보 우선 순위 규칙이 선택된 이후에는 이들을 조합하여 해당 목적함수에 대한 스케줄링 해를 개선하는 방안을 모색한다. 우선 순위 규칙을 조합하는 방법은 크게 가중치 방식과 계층적 방식으로 나누어 생각할 수 있다.

1) 가중치 방식: 복수의 우선순위 규칙들의 가중합을 통하여 하나의 우선순위 규칙을 생성한다. 기존의 우선순위 규칙 중에서 좋은 성능을 보이는 SPT (Shortest Processing Time), MWKR (Most Work Remaining), SLACK (least slack) 규칙에 대하여 가중치 방식을 통한 규칙의 조합에 대한 예는 다음과 같다.

$$SPT = P_{ij}, \text{ where, } P_{ij} = \text{processing time of job } j \text{ on machine } i$$

$$MWKR = \sum_{q=k}^{m_j} P_{qj}, \text{ where}$$

m_j = total operations of job j and k = current operation

$$SLACK = d_j - t - \sum_{q=k}^{m_j} P_{qj}, \text{ where}$$

d_j = due date of job j , t = current time

$$\text{Combined Priority} = \frac{W_1 P_{ij} + W_2 (d_j - t - \sum_{q=k}^{m_j} P_{qj})}{W_3 \sum_{q=k}^{m_j} P_{qj}}$$

2) 계층적 방식: 스케줄을 결정함에 있어서 작업 완료시간, 납기일, 공정의 수 등과 같은 특정한 값에 따라 다른 규칙을 적용하거나 하나의 규칙을 통하여 우선순위를 결정하는 과정에서 동물을 이루는 값에 대하여 다른 방식의 규

칙을 적용하여 전체 우선순위 규칙을 생성한다. EDD (Earliest Due Date) + SPT, SPT + Waiting time on queue 등과 같은 방법을 사용할 수 있다.

가중치 방식과 계층적 방식은 문제에 따라 다르게 적용될 수 있다. 계층적 방식은 상대적으로 공정의 규모가 작거나 복잡도가 낮은 경우 단일 우선순위 규칙에 따라 작업을 배치하면서 중간에 발생하는 동물 해결에 대한 2 차적 규칙을 적용할 수 있다. 반면, 가중치 방식은 공정의 복잡도가 높고 고려할 목적함수가 많은 경우 이를 포괄하는 방식으로 우선순위 규칙을 조합할 수 있다. 이 경우 동일한 규칙들을 조합하는 경우라도 선형 또는 비선형의 조합방식과 가중치의 값에 따라 스케줄 결과가 크게 달라질 수 있다. 가중치를 결정하는 방법은 문제의 상황에 따라 크게 달라질 수 있으므로 반복적인 실험을 통하여 해당 공정 및 문제 상황에 대한 최선의 가중치를 찾는 과정이 필요하다. 반복 실험은 각 항목별 가중치의 변화에 대한 해의 성능 변화에 따라 민감도를 분석하여 수행될 수 있다.

5. 결론

본 연구에서는 다양한 종류의 생산공정을 생산전략, 생산공정, 품종과 생산량이라는 세 가지 기준에 따라 분류하고 이를 통하여 각 공정의 특징에 따른 스케줄링 방법이 요구됨을 논의하였다. 공정의 복잡도와 입력 자료의 양이 증가할수록 분석적 방법보다는 우선순위 규칙에 기반한 단순한 스케줄링이 요구된다. 우선순위 규칙에 기반한 스케줄링의 경우 다양한 목적함수와 복잡한 공정의 제약조건을 고려함으로써 해의 성능을 개선하기 위하여 하나의 규칙이 아닌 복수의 규칙을 조합하여 사용할 것을 제시하였다. 현재 여러 공정에 대하여 다양한 규칙을 조합하여 적용함으로써 보다 나은 해를 찾기 위한 실험을 진행하고 있으며 공정 특징뿐만 아니라 입력 데이터의 형태에 따른 스케줄링 방법에 대한 연구를 모색하고 있다.

후기

본 연구는 지식경제부에서 추진하는 차세대 신기술 개발 사업 중의 하나인 ‘글로벌 정보공유 및 지식기반의 차세대 생산시스템 개발’ 과제의 지원을 받아 수행되었습니다.

참고문헌

1. 나홍범, 서진우, 박찬권, 박진우, “산업별 특징에 따른 스케줄링 소프트웨어 개발에 관한 연구”, 한국정밀공학회 2008년도 춘계학술대회 논문집, 917-918, 2008.
2. O’grady P. J. and Harrison C., “A general search sequencing rules for job shop sequencing”, International journal of production research, 29, 961-973, 1985.
3. Chang Y. L., Sueyoshi T., and Sullivan R. S., “Ranking dispatching rules by data envelopment analysis in a job shop environment”, IIE Transactions, 28, 631-642, 1996.
4. Haupt R., “A survey of priority rule-based scheduling”, OR spectrum, 11, 3-16, 1989.
5. Lee Y. F., Jiang Z. B., and Liu H. R., “Multiple-objective scheduling and real-time dispatching for the semiconductor manufacturing system”, Computers & Operations Research, 36, 866-884, 2009.
6. Baker K. R. and Bertrand J. W. M., “A dynamic priority rule for scheduling against due-dates”, Journal of Operations Management, 3, 37-42, 1982.
7. Carol D. C., “Heuristic sequencing of single and multiple component jobs”, Ph.D. thesis MIT, Cambridge/Mass, 1965.