

스케줄링에서 변동 예측 기술의 활용 Applicability of Variability Forecasting Technology in Scheduling

*서진우¹, #박진우¹

*J. W. Seo¹, #J. W. Park(autofact@snu.ac.kr)¹

¹ 서울대학교 산업공학과

Key words : Rescheduling, Variability Forecasting, Disturbance

1. 서론

본 연구는 제조 현장의 재스케줄링 문제를 다룬다. 현장에서 여러 가지 변동 요인(기계 · 파레트 고장, 가공물의 지연도착, 추가가공 등)으로 인해 최초의 스케줄이 변경되는 것은 불가피하다. 그러나 임의의 변경은 스케줄이 최초 의도했던 목적에 악영향을 미칠 수 있으므로 적절한 절차에 의해 재스케줄링이 이루어져야 한다.

그런데 재스케줄링을 어느 시점에서 수행하느냐에 따라 그 결과가 달라진다. 스케줄을 작성하기 위해서는 자원 및 가공물의 가용시점 등의 정보가 필요한데 이러한 정보는 일반적으로 변동 상황 발생 후 일정 시간이 경과한 뒤에 알 수 있기 때문에 재스케줄링은 이들 정보를 예측하여 이루어지거나 정보가 명확해질 때까지 재스케줄링을 연기해야 한다. 그러나 전자는 예측이 빗나갔을 경우 손실이 발생하고 후자는 지연된 시간만큼 개선의 여지를 잃어버리게 된다.

한편 감지(sensing) 기술과 변동이력 관리의 진보는 변동 상황 해석과 변동 영향 예측의 신뢰도를 크게 향상시키고 있다(Park et al.(2010)). 작업장으로부터 실시간으로 전달되는 변동 정보를 활용함으로써 변동 상황 발생시점에서 새로운 스케줄로 대응하는 것이 가능하며, 객관적인 정보의 활용으로 잘못된 예측의 위험을 작업자의 주관적인 판단보다 크게 낮출 수 있다.

Fig. 1은 변동 예측 기술이 스케줄링에서 어떻게 활용되는지 보여준다. 각각의 기계 및 파레트, 운송장치에는 센서가 부착되어 있어 신호를 컨트롤러에 전달한다. 컨트롤러는 작업의 진행상황을 모니터링하는데 이상 신호가 감지되면 패턴 데이터베이스의 저장된 신호 패턴과 비교하여 변동 내용을 규명한다. 변동 내용이 규명되면 과거 이력을 조회하여 예측 정보를 생성하고 시스템의 현재상황정보와 함께 스케줄러에 전달한다. 스케줄러는 컨트롤러로부터 받은 정보에 따라 재스케줄링 시점을 결정하고 재스케줄링을 수행한다. 마지막으로 컨트롤러는 스케줄러로부터 재스케줄링 정보를 받아 변동 상황에 대응하게 된다.

스케줄러는 컨트롤러로부터 전달되는 상황 정보와 예측 정보를 처리하는 매커니즘을 가지고 있어야 한다. 하지만 기존 연구는 기계 고장으로 인한 변동만을 다루고 있으며 현장의 다양한 변동의 특징을 반영하는 재스케줄링 매커니즘을 제시하지 못하고 있다.

또한 재스케줄링 시점은 예측 기술의 수준 또는 예측 정보의 정확도에 따라 달라지는데 기존의 연구는 확정적, 비확정적 변동 상황 하에서 변동발생시점만을 재스케줄링 시점으로 고려하고 있다.(Azizoglu and Alagoz(2005)) 예측 기술에 따라 재스케줄링 시점이 어떻게 달라지는지 예측 기술 수준의 변화가 스케줄 성능에 미치는 영향은 무엇인지 살펴볼 필요가 있다. 본 연구에서는 후자를 중심으로 살펴보았다.

본 연구에서는 변동 정보를 스케줄링에서 어떻게 활용할 것인가를 살펴본다. 또 예측 기술 수준별로 시나리오를 설정하고 각각의 경우 재스케줄링 시점과 스케줄링 성능이 어떻게 달라지는지 살펴본다.

2. 예측정보를 활용한 재스케줄링 알고리즘

2.1. 스케줄링 문제정의

본 연구에서는 한 대의 기계로 이루어진 무인생산셀을 스케줄

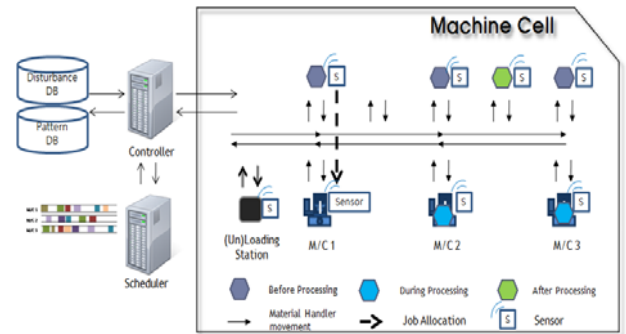


Fig. 1 Sensing and interchanging of information in workcell

링 대상으로 설정하였다. Fig 1에서 보듯이 무인생산시스템은 가공물을 반입/반출이 이루어지는 loading/unloading 스테이션과 가공을 담당하는 기계, 가공물의 이동 및 적재를 담당하는 운송 장치와 저장창고로 구성되어 있고, 가공물은 팔레트 위에 고정되어 있다. 스케줄에 따른 작업 진행을 주도하는 것은 운송 장치인데 운송에 걸리는 시간은 수십 초로 수십 분 내지 수 시간이 걸리는 가공시간과 비교할 때 무시할만한 수준이다. 가공물은 서로 다른 가공 시간과 납기를 가지며 스케줄링 목적함수는 지연된 작업비율의 최소화이다. 가공 상황에 따라 가공 중이던 가공물을 도중에 제거하고 후에 남은 가공시간만큼 가공하는 것이 가능하다고 가정한다.(preemptive-resume)

2.2. 변동의 종류와 영향

생산 과정에서의 변동은 자원의 변동과 가공물의 변동으로 나누어 살펴볼 수 있다. 자원의 변동에는 기계/운송장치/파레트 고장 등이 있고 가공물의 변동은 파손 및 불량, 새로운 가공물의 반입 또는 기존 가공물의 반출 등이 있다.

각각의 변동은 생산과정에서 다른 영향을 미친다. 예를 들어 기계 고장은 해당 기계에서의 가공을 중단시키지만 운송장치의 고장은 현재 기계에 할당된 작업 이후 전체 셀의 생산 중단을 초래한다. 반면 팔레트 고장은 해당 가공물의 가공만 불가능하게 할 뿐, 생산을 중단시키지 않는다. 가공물의 파손, 불량은 폐기나 추가가공으로 이어질 수 있으며 반입, 반출의 경우와 함께 생산을 중단시키지는 않지만 생산 스케줄에 영향을 미친다. 본 연구에서는 자원의 고장이 연관된 가공물에 파손, 불량을 가져올 수 있으며 이는 가공물의 추가가공 소요를 발생시킬 수 있다고 가정한다. Fig 2은 이상에서 설명한 내용을 토대로 변동이 스케줄에 미치는 영향을 보여준다. Fig 2에서 첫 번째는 최초 가공스케줄이고 다른 두개는 변동 상황이 발생한 뒤의 스케줄로 Case 1은 변동이 후에 자원의 복구시점까지 모든 가공물의 가공이 불가능한 기계/운송장치 고장 상황을 나타내며 Case 2는 변동 상황이후에 다른 가공물의 할당이 가능한 팔레트 고장 상황을 나타낸다.

2.3. 재스케줄링 알고리즘

$\Pi \sum U$, 문제는 확정적인 상황 하에서 More(1968)의 알고리즘이 최적임이 알려져 있다. 본 절에서는 More(1968)의 알고리즘을 활용하여 변동 상황 하에서 최적의 재스케줄을 생성하는 알고리즘을 제시한다.

Algorithm

Step 0. Moore(1968)에 의해 스케줄을 생성한다. 납기 지연이 발생하지 않은 모든 작업들에 대해 여유시간(납기-스케줄상에서

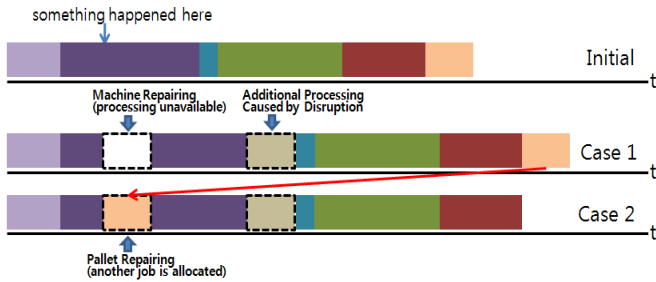


Fig. 2 Variability during job execution and its impact

의 완료시간) $S_j = d_j - C_j$ 를 구한다. 납기 지연이 발생한 작업들은 지연작업 목록에 포함시킨다.

Step 1. 스케줄에 따라 작업을 처리한다. 변동 발생시 Step 2로 간다.

Step 2. 변동 발생 시 변동으로 인한 지연 D 와, 연관된 가공물에 발생한 추가가공시간 R_i 를 합한 값이 가공 중이던 작업을 포함하여 이후의 작업들의 여유시간보다 크면 $(D + R_i) > S_j$ $i < j$ 해당 작업을 지연작업 목록에 포함시킨다. 만일 가공 중인 작업이라면 더 이상의 가공을 중지시킨다. 지연작업 목록에 포함되지 않는 남은 작업에 대해 Moore(1968)을 적용하여 재스케줄링을 수행한다. 지연작업 목록에 포함된 작업은 다른 작업이 모두 완료된 후 처리한다. $D + R_i \leq S_j$ $i < j$ 의 경우 C_j 및 S_j 를 업데이트하고 별도의 재스케줄링은 수행하지 않는다. Step 1로 간다.

이상의 알고리즘은 매 해당 재스케줄링 시점에서 최적의 스케줄을 생성한다. 그러나 Step 2에서 지연 및 추가가공시간에 대한 정보(D , R_i)가 언제 제공되느냐에 따라 재스케줄링 시점과 결과가 달라진다.

3. 예측기술 수준에 따른 재스케줄링 시나리오

변동에 따른 재스케줄링은 변동 예측 기술 수준에 따라 4가지 시나리오로 분류할 수 있다. Fig. 3은 각각의 시나리오와 재스케줄링 결과를 나타내고 있다.

3.1. Scenario 1 : 변동 예측 기술 무적용

Scenario 1은 변동 예측 기술이 적용되지 않고 가공 완료시에만 정보가 스케줄러에 전달되는 경우이다. 고장 발생 장비의 복구, 추가가공이 모두 완료된 뒤에 재스케줄링이 가능하므로 이후 작업들의 지연 가능성이 높아진다.

3.2. Scenario 2 : 늦은 추가가공 예측

Scenario 2는 변동예측기술이 제한적으로 적용되는 경우로서 고장 장비의 복구, 최초 예정된 가공이 끝난 후, 추가가공 시작 전에 변동으로 인한 추가가공 예측이 가능한 경우이다. Scenario 1과 비교할 때 이후의 작업들은 추가가공시간 만큼 진행 여유를 가진다.

3.3. Scenario 3 : 빠른 추가가공 예측

Scenario 3은 변동이 발생한 장비의 복구 직후 변동으로 인한 추가가공 소요 예측이 가능한 경우이다. 이 경우 최초 가공시간과 추가가공 시간만큼 스케줄을 앞당길 수 있으므로 이후 작업들의 지연을 상당부분 방지할 수 있다.

3.4. Scenario 4 : 실시간 변동 영향 예측

Scenario 4는 변동 예측 기술이 가장 발달한 형태로서 변동이 발생한 시점에 장비의 복구 시간 및 가공물의 추가가공 시간을 예측 가능한 경우이다. 이 경우 스케줄러는 장비의 복구 시간 동안 다른 작업이 처리되도록 하는 등(팔레트 고장의 경우) 변동으로 인한 영향을 최소화하는 재스케줄 작성이 가능하다.

4. 실험 연구

4.1. 실험설계

앞 절에서 예측 기술 수준에 따라 재스케줄링 시점이 달라지는 것을 보았다. 재스케줄링 시점에 따른 스케줄링 성과를 비교하기

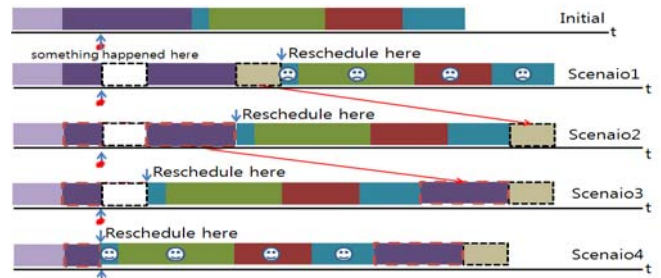


Fig. 3 Rescheduling Scenarios

위해 실험 연구를 수행하였다. 공정 상황을 각각의 시나리오별로 모델링 한 뒤 시뮬레이션을 통해 성과를 측정하였다. 시뮬레이션 도구로는 Arena™을 활용하였다.

4.2. 실험결과

Table1은 시나리오에 따른 재스케줄 성능을 보여준다. 100개의 작업에 대해 20번 반복을 수행한 결과에서 예측기술이 진보할수록 납기성능이 향상되는 것을 확인할 수 있다.

Table 1 Comparison of Percentage of Tardy Jobs(Avrg.)

Scenario	Scenario1	Scenario2	Scenario3	Scenario4
On-time Delivery(%)	20.15	25.4	44.2	53.8

5. 결론

본 연구에서는 재스케줄링 상황에서 변동예측기술을 활용하는 방법과 예측기술의 수준이 재스케줄링 시점과 스케줄 성능에 미치는 영향을 살펴보았다. 본 연구에서 제시한 알고리즘은 재스케줄링 시점에 대한 판단 근거를 제공한다는 점에서 차별적이며 변동예측기술의 활용을 가능하게 한다. 한편 변동예측기술은 재스케줄링 시점을 앞당김으로써 스케줄 성능을 향상시킨다. 또한 본 연구에서는 다양한 형태의 변동을 고려하였다.

앞으로 $\sum U_i$ 이외의 상황에 대해서 또 변동예측정보의 오류 가능성을 포함하는 알고리즘에 대한 연구가 필요하다.

후기

본 연구는 지식경제부에서 추진하는 산업원천기술개발사업의 하나로 수행되는 ‘자율적응 생산시스템 통합 운용기술’ 과제의 지원을 받아 수행되었습니다.

참고문헌

1. Moore, J., "An n Job, One Machine Sequencing Algorithm for Minimizing the Number of Late Jobs", Management Science, 15, 102-109, 1968.
2. Azizoglu, M., Alagoz, O., "Parallel-machine rescheduling with machine disruptions", IIE Transactions, 37, 1113-1118, 2005.
3. Park, H., Tran, N., Song, J. and Kim, D., "Cognitive Agent based Control of a Machining Shop", 43rd CIRP, 2010.