

주기적 생산 스케줄링 전략의 성능

○ 송 식 천 유 준
충남대학교 전자공학과

Performance of Periodic Production Scheduling Policy

Seok-Cheon Song and Joon Lyou
Dept. of Electronics Engineering, Chungnam National University.

Abstract

This paper describes an application of the periodic scheduling policy to a class of flexible manufacturing systems. A heuristic algorithm is used to determine when each part should be loaded into the system. Simulation results based on a detailed model of metal-working manufacturing facility are presented.

1. 서 론

스케줄링은 어떤 작업물을 언제 시스템에 진입시켜 어떤 기계에서 가공할 것인가라는 문제에 적절한 해답을 제공하는 것으로, 여기에는 두가지 목적이 있다[1]. 하나는 생산품을 최소화 하는 것으로, 다시 말하면 작업물에 하루 생산 요구량을 생산 할 때까지 걸리는 시간(makespan)을 최소화 하는 것이다. 다른 하나는 버퍼(buffer)에 대기하고 있는 작업물 수(work-in-process inventory)를 최소화 하는 것이다.

대상이 되는 생산환경은 다음과 같이 정의 될 수 있다. 기능적으로 분리된 여러 기계군(machine bank)이 있고, 각 군은 동일 기능의 여러 기계들로 구성되어 있다. 여러 종류의 작업물이 생산되며, 각 작업물은 일정한 순서로 여러 기계군을 거쳐 생산된다. (물론 어떤 기계군은 건너 뛴 수도 있다.) 각 작업물은 각 군에서 하나의 기계에 의해서만 가공되며, 어떤 군내에서 한 작업물의 기계 가공시간은 일정하다. (기계의 set up 시간은 가공 시간에 비해 훨씬 작기 때문에 없다고 가정한다.) 기계 앞에는 버퍼가 있고, 버퍼에 대기하고 있는 작업물은 들어온

순서대로 처리된다. 작업물을 진입시키고 회수하는 장치와 있고, 어떤 기계에서 다른 기계로 작업물을 운송하는 자동 운반장치가 갖추어져 있다.

예를 들어 그림 1로 주어진 FMS(Flexible manufacturing system)[2]는 이와 같은 부류에 속한다. 이 시스템의 기능은 기계가공을 통하여 차량에 들어가는 중요 부품 4가지를 생산하는 것인데, 2가지 기계군으로 분류된다: 3대의 머시닝 센터(machining center)군, 1대의 전용 기계군. 팔릿(pallet)에 고정된 작업물은 시스템에 진입되어 3대의 머시닝 센터중 하나를 거친 뒤, 일부 작업물은 전용기계를 방문하고 회수된다(표 1 참조).

그동안 이러한 스케줄링 환경에 대해 큰 관심이 기울여지지 않은 것으로 보인다. 이의 특수한 경우로서 기계군에 기계가 오직 1대 있는 경우에 대해서는 여러가지 최적화 및 직관적인 알고리즘이 제시되었다[3]. 본 연구에서는 앞에 설정된 생산환경에 대해 주기적 스케줄링[4]을 적용해 보았다. 작업물을 언제 시스템에 진입시킬 것인가를 결정해 주는 직관적 알고리즘이 사용되었으며, 하나의 FMS 예를 대상으로 이의 성능에 관한 시뮬레이션 결과를 제시하였다.

2. 주기적 스케줄링의 개요

주기적 스케줄링의 기본 개념은 하루 생산예정 작업물 중 대표적 샘플(sample)에 대해 스케줄을 세우고, 모든 작업물이 생산될 때까지 이 스케줄을 일정한 구간마다 규칙적으로 반복하는 것이다. 여기서 대표적 샘플은 작업물별 일정한 비율로 추출된 최소 단위의 작업물 집합(MPS ; minimal part set)을 가르키며, 일정한 구간은

주기(P ; period)를 의미한다. 아울러 반복회수를 F(frequency)라 표기했을 때, makespan은 $F \times P$ 보다 약간 큰 시간으로 주어진다. (약간의 시간은, 과도 구간으로서, 처음 MPS가 기계가공에 들어가기 전까지 소요되는 시간이다.) 따라서 makespan의 최소화는 주기 P의 최소화로 귀결된다.

2.1 기계 배정(machine allocation)

주기적 스케줄링의 테두리내에서 기계배정은 MPS에 국한된 각 작업물에 대해 각 기계군에 속한 여러 기계들 중에서 어떤 기계를 작업대상 기계로 선택할 것인가라는 문제로 축소된다. 이 부분제(subproblem)의 중요한 목표는 한 기계군 내의 여러 기계들 사이에 MPS 작업부하(work load)를 균등하게 하는 것이다. 여기서 기계의 MPS 작업부하란 MPS내의 작업물 중 그 기계에 할당된 작업물을 모두 다 가공하는데 소요되는 총시간을 말한다.

본 연구에서는 다음의 기계배정 알고리즘을 사용한다. 이 알고리즘의 기본개념은, 각 기계군을 분리하여 생각하고, 각 기계군에 가공시간이 긴 것부터 먼저 (LPT ; longest processing time first)라는 직관적 원리를 적용하는 것이다. 이 방식은 먼저 첫번째 기계군에 관련된 작업물들을 가공시간이 감소하는 순으로 (내림차순으로) 분류한다. 그리로나서 각 기계에 하나의 작업물이 할당될 때까지 한번에 하나씩 배정된 순으로 배정한다. 기계에 작업물이 배정되면 기계의 축적된(cumulative) 작업부하가 그 작업물의 가공시간 만큼 증가할 것이다. 그 다음은 축적된 작업부하가 적은 기계에 남은 작업물 중 순서가 빠른 것부터 하나씩 배정해 나간다. 이제 배정될 작업물이 없으면 다음 기계군에 대해 이와같은 과정을 반복한다.

2.2 진입 순서(sequencing)

주기적 스케줄링 내에서 진입순서는 MPS에 국한된 여러 작업물을 어떤 순서로 시스템에 진입시킬 것인가에 관한 문제로 축소된다. 이 부분제의 주 목표는 작업물이 버퍼에 쌓이는(queueing) 정도를 최소화하는 것이다. 이러한 목표 설정은 다음의 직관적 관찰에 기인한다. 만약 어떤 진입 순서열(sequence)의 일부분이 같은 기계에서 긴 시간을 요하는 작업물로 구성되어 있다면, 그 기계의 버퍼에는 작업물이 쌓이게 될 것이다. 반면 어떤 진입 순서열이

모든 기계에 대해 축적된 작업부하를 비슷한 수준으로 유지시켜 줄 수 있는 (동적 균형화 ; dynamic balancing) 형태라면, queueing 현상을 피할 수 있을 것이다. 따라서 본 연구에서는 후자의 진입 순서열이 될 수 있도록 다음의 알고리즘을 사용한다.

구체적으로 n 을 MPS내의 작업물수, m 을 모든 기계군을 포함한 기계수, $t_{g,k}$ 를 기계 k 에서 작업물 g 의 가공시간이라 했을 때, 기계 k 의 MPS 작업부하 l_k 는 $l_k = \sum_{g \in S_g} t_{g,k}$ 로 주어진다. 또한 S_g 를 작업물 g 까지 거슬러 내려오는 (작업물 g 와 이에 선행하는 작업물로 구성된) 부분(partial) 순서열이라 하자. 그러면 작업물 g 가 시스템에 진입했을 때 기계 k 에 축적된 작업부하는 $\sum_{i \in S_g} t_{i,k}$ 로 주어진다.

동적 균형화는 각 기계마다 MPS 작업부하 범위내에서 일정한 비율의 작업부하가 축적되는 것을 목표로 한다. 그러나 이 비율이 모든 기계에 대해 같다는 것은 이상적인 경우에 불과하므로, 기계 k 에 축적된 작업부하의 실제값은 이상적인 값과 다르게 된다. 이차이를 다음과 같이 정의 했을 때 [4]

$$H_{g,k} = \sum_{i \in S_g} h_{i,k} \quad (1)$$

$$h_{i,k} = t_{i,k} - \frac{t_i l_k}{T} \quad (1.a)$$

$$T = \sum_{k=1}^m l_k \quad (1.b)$$

$H_{g,k}$ 는 작업물 g 의 진입시 기계 k 가 얼마만큼 과부하(overload) 되었는 가를 나타내는 지표로 쓰인다. 만약 $H_{g,k} > 0$ 이면 작업물 g 가 들어왔을 때 기계 k 에 너무 많은 작업량이 주어졌다는 뜻이고, $H_{g,k} < 0$ 이면 기계 k 에 너무 적은 일이 주어졌다는 것을 의미한다. 물론 $H_{g,k} = 0$ 이면 이상적으로 적정량의 일이 주어졌다는 것을 뜻한다.

진입순서의 결정은 결국 부분순서열 S_g 가 주어졌을 때 이 바로 뒤에 (마지막 작업물은 g 임) 어떤 작업물을 (p 로 지칭)을 덧붙일 것인가라는 근시적 문제로 볼 수 있다. 이를 위해 동적 균형화 방법에서는 다음의 목적함수를 사용한다.

$$\text{Minimize } \sum_{k=1}^m H_{p,k}^+ \quad (2)$$

여기서 $H_{p,k}^+ = \max \{ H_{p,k}, 0 \}$, $H_{p,k} = H_{g,k} + h_{p,k}$, 목적함수(2)는 H 가 양일때 h 가 음이 되도록 작업물 p를 선택하는 작용을 한다. 참고로 기계 k가 작업물 p에 배정되지 않았다면 h 는 큰 음수값을 가진다. 따라서 본 방법은 현재 과부하되어 있는 기계를 피하는 방향으로 부분 순서열에 작업물을 첨가하게 된다.

2.3 진입 시기(timing)

주기적 스케줄링의 테두리내에서 진입시기는 처음 MPS에 속한 각 작업물을 언제 진입시키고, 또한 얼마의 주기로 이 스케줄을 반복시켜 나갈 것인가에 대한 문제라 볼 수 있다. 이 부분제의 주 목표는 최소주기를 성취함으로써 makespan을 최소화하는 것이다. 최소주기는 적절한 시기 조정을 통하여 달성될 수 있으며, 최소주기는 makespan의 최소화를 가져오기 때문이다.

주기적 스케줄은 각 기계가 MPS내의 해당 작업물을 한 주기내에서 모두 처리하는 식으로 수립된다. 기계의 MPS 작업구간(workspan)을 MPS내에서 그 기계에 할당된 작업물 중 맨처음 작업물을 처리하기 시작하여 마지막 작업물의 가공을 마칠 때까지 걸리는 시간으로 정의하자. 그러면 주기는 단순히 최대 MPS 작업구간이 된다. MPS 작업구간이 MPS 작업부하(순수 가공시간) 이외에 기계가 작업을 하지않은(idle) 시간을 포함하고 있는 경우를 생각해 보자. idle 시간은 해당 작업물의 진입시기가 늦음으로 인하여 생긴 것으로 시기를 앞당겨 제거될 수 있기 때문에, 이때에 설정된 주기는 최소주기라 볼 수 없다.(최소주기는 최대 MPS 작업부하보다 작을 수 없기 때문에 최소주기는 최대 MPS 작업부하가 된다.) 반면에 작업물을 가능하면 빨리 진입시키는 경우를 생각해 보자. 이 경우는 최소주기를 보장하지만 대신 불필요한 queuing을 초래한다. 따라서 본 연구에서는, 진입시기의 조정에 있어, 최소주기를 유지하는 (주기를 최대 MPS 작업부하가 되도록) 범위내에서 시기를 가능하면 지연시키는(delay) 방법을 사용한다.

3.시뮬레이션 결과

사례연구의 대상이 되는 FMS[2] 는 그림 1에서 보는 바와 같이, 1개의 L/U(load/unload) 작업장(work station), 3개의 동일 기능을 갖는 머시닝 센터 작업장, 1개의

전용기계 작업장으로 구성되어 있다. L/U 작업장에는 작업물 이동, 고정·회체 작업을 하는 특정 MHS(material handling system)가 2대, 작업물 종류별 팔릿이 2개씩, 고정된 작업물이나 회수된 작업물이 대기하는 버퍼가 3개 있다 가정한다. 머시닝 센터에는 1개의 버퍼 및 작업물을 교환하는 APC(automatic pallet changer) 가 갖추어져 있고, 전용기계에는 버퍼와 APC가 없다고 가정한다. AGV(automatic guided vehicle) 는 양방향으로 이동가능하고 일단 1대만 있는 것으로 가정한다. 한편 이 시스템에서 가공되는 작업물의 종류는 4 가지로 그내용은 표 1과 같다.

2장에 주어진 알고리즘을 사례연구의 대상이 되는 FMS에 적용하여, 그 결과를 살펴보면 다음과 같다. 표 2는 작업물의 하루 생산예정량에 대한 MPS를 구한 것이고, 표 3은 MPS에 대한 기계배정 결과를 정리해 놓은 것이다. 그리고 표 4는 작업물 진입순서의 결정과정을 정리해 놓은 것이다. 그림 2는 한 주기에 대한 timing diagram을 개략적으로 그려 놓은 것으로 MPS내의 각 작업물은 진입순서에 따라 적절히 지연된 시각에 진입하고 있고, 주기는 최소주기인 MC1의 MPS 작업부하가 됨을 볼 수 있다.

자세한 주기적 스케줄을 하나의 부프로그램(subprogram)으로 작성하고, 이미 개발된 프로그램[5] 과 연결하여 시뮬레이션 해본 결과, makespan, 기계 효율등에 관한 자료를 다음과 같이 얻었다. 표 5는 makespan의 내용을 분류해 놓은 것이다. 초기 52분의 과도구간을 거쳐 한 MPS는 매 1시간 42분(주기) 간격으로 생산되며, 10번의 주기가 반복된 후에 하루생산 요구량이 모두 생산된다. 이때 소요된 총시간은 17시간 52분이며, MC1의 MPS 작업부하는 1시간 42분의 최대 MPS 작업부하로(표 3참조) 최소주기를 결정한다. 표 6은 각 기계의 효율 및 최대 버퍼사용량을 정리해 놓은 것이다. MC1의 사용률이 100%와 차이가 나는 이유는 과도구간에서 충분히 사용되지 못했기 때문이다. 버퍼는 아주 적은 수가 사용 되었다(MC 경우는 1개 사용, SM 경우는 사용 안함). 이는 실제로 버퍼용량에 따라 부과된 제약조건을 만족하고 있으며, 주기적 스케줄링의 사용 및 진입순서의 동적 균형화 직관으로부터 비롯된다.

한편으로 주기적 스케줄링 알고리즘 대신에, 버퍼용량의

허용범위내에서 버퍼가 비어 있을 때마다 작업물을 굴고부 진입시키는 ad hoc 방법이 사용 되었다. 표 7은 이 방법에 의한 스케줄링 결과를 정리해 놓은 것이다. 표 5,6과 표 7로 부터 ad hoc 스케줄이 주기적 스케줄에 비해 makespan을 2시간정도 길게하고, 기계사용률도 뒤 떨어지게 함을 알 수 있다. 이는 비조작적인 방법의 사용으로 인하여 기계에 노는 시간이 많이 발생했기 때문으로(특히 버퍼가 있는 SM으로 인하여 작업물의 흐름이 중단되는 경우가 많이 발생했기 때문으로) 분석된다.

3.1 기계 고장시 처리방안

기계고장에 대한 최소한의 대응으로서 고장난 기계에 배정된 작업물은 같은 기계군 내에서 동작하는 기계로 재배정 되어야 한다. 또한 감소된 생산용량을 반영하기 위하여 주기가 증가 되어야 한다. 새로운 주기를 계산 하기 위하여 고장이 있는 기계군 내의 사용 가능한 각 기계에 대해 MPS 작업 부하가 다시 계산 된다. MPS내의 작업물에 대한 진입순서는 동적균형화 방법에 의해 다시 결정되며, 진입시키는 주기가 최대 MPS 작업부하로 되는 범위내에서 더욱 지연 된다. 이제 고장난 기계가 수리되면 이 기계에도 작업물이 배정되고, 원래의 정상적 스케줄로 복귀한다.

사례 연구의 대상이 되는 FMS에서 MC3가 9시간 10분이 경과된 후부터 5시간 동안 고장나 있는 상황을 가상하자. 제시된 처리방안을 고장 구간에서 사용 하였을 때 그 결과를 살펴보면 표 8 과 같다. 정상적인 경우에 비해(표 5,6 참조) makespan이 2시간 30분 이상이 길어지고 MC3의 사용률이 70%정도에 그치고 있음을 볼 수 있다. 이는 생산량의 감소에 따라 주기가 증가하고, 주기 진행중에 고장이 발생하고 수리가 완료됨에 따라 일시적으로나마 작업물의 과도적 처리가 이루어졌기 때문으로 분석된다.

4. 결 론

사용된 주기적 스케줄링 알고리즘은 다음의 주요 3 단계로 구성된다.

단계 1: MPS 내의 각 작업물에 기계를 배정한다(LPT 직관).

단계 2: MPS 내의 작업물에 대한 진입순서를 결정한다.

(동적 균형화 직관)

단계 3: MPS에 속한 각 작업물의 진입시기를 계산한다.

이 알고리즘을 사용하면, 주기적 스케줄링이 복잡한 최적화 문제로 형성되는 여러 가지 부문제들을 상당히 간단하게 만들기 때문에, 스케줄 수립에 필요한 계산량이 많이 줄어드는 효과를 기대할 수 있다. 또한 수립된 주기적 스케줄을 사용하면, 기존의 ad hoc 스케줄을 사용할 때에 비해 makespan 및 기계 사용률을 개선하는 효과가 있음을 시뮬레이션을 통해 보았다.

그러나 처음 한번 이루어진 기계배정이 전 주기 동안 반복 되므로 각 기계군 내에서 여러 기계들 사이의 MPS 작업부하에 불균형이(표 3) 생긴다. 만약 매 주기 마다 기계배정을 다시 하여 이와같은 불균형을 없애는 방안이 연구 된다면, makespan 및 기계 효율이 더욱더 개선될 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

1. S. B. Gershwin et. al, "A control perspective on recent trends in manufacturing systems," IEEE Control Systems Mag., vol. 6, no. 2, pp. 3-14, 1986.
2. 기계 연구소, 기계공장 자동화용 Manufacturing Cell 개발에 관한 연구, 과기처 특정 연구 1차년도 중간 보고서, 1986.
3. E. A. Elsayed and T. O. Boucher, Analysis and Control of Production Systems, Prentice-Hall Inc, 1985.
4. E. J. Wittrock, "Scheduling algorithms for flexible flow lines", IBM J. Res. Develop., vol. 29, no. 4, pp. 401-412, 1985.
5. 백양식, 유준, "자동생산 시스템의 시뮬레이션 프로그램 개발," 한국 자동제어 학술회의 논문집, pp. 294-299, 1987.

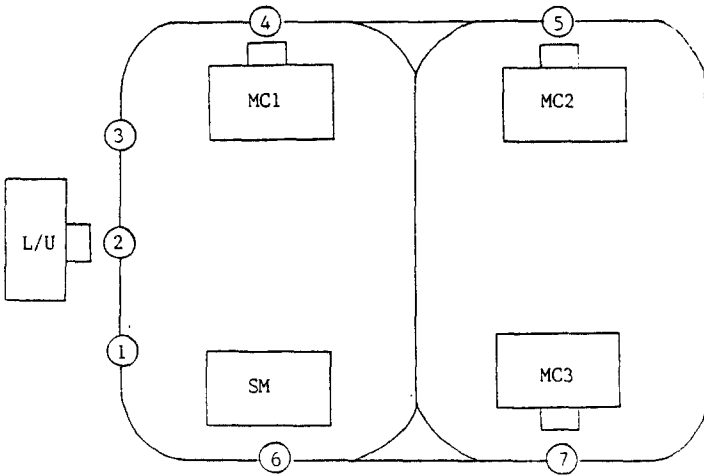


그림 1. 예로 사용된 FMS의 구성 형태
(MC: 머시닝 센터, SM: 전용기계)

표 1. 작업물 정보

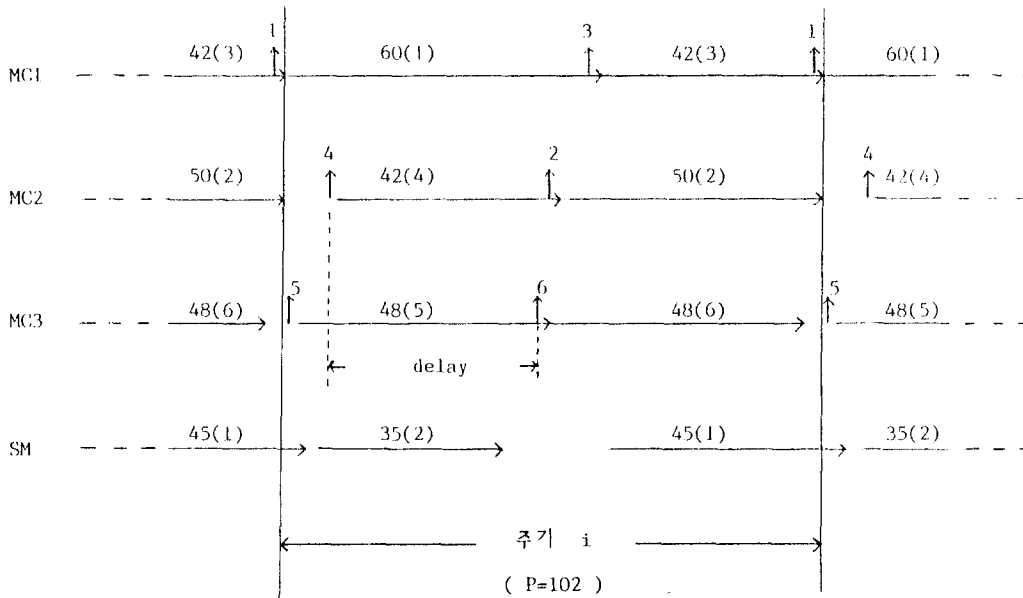
작업물 형태	작업시간 (분)				하루생산 요구량
	고정	MC가공	SM가공	해체	
A	12	60	45	12	10
B	10	50	35	10	10
C	11	42	0	11	20
D	11	48	0	11	20

표 2. MPS 추출 (F=10)

작업물 형태	MPS
A	1
B	1
C	2
D	2

* 고정 및 해체에는 L/U 작업장 내에는 특정 MPS에 의한 작업물 이동시간이 포함되어 있음.

* AGV 작업시간은 작업물을 실는(상차) 시간, 이동하는 시간, 내리는(하차) 시간으로 구분되는 데, 상차 및 하차 시간은 각각 1분이고 이동시간은 이동경로에 따라 다르기 때문에 이 표에 나타내지 않았음.



* \uparrow 는 작업물 g 의 진입을 표시

* \rightarrow 는 작업물 g가 t분 만큼 가공됨을 표시

그림 2. 개략적인 timing diagram

표 3. MPS의 기계배정

기계형태 (번호)	할당된 작업물 (번호)	MPS 작업 부하 (분)
MC1(1)	A(1), C(3)	102
MC2(2)	B(2), C(4)	92
MC3(3)	D(5), D(6)	96
SM (4)	A(1), B(2)	98

표 4. 진입순서 결정과정

단계	내용
1	최초 진입 작업물로 1을 선택
2	$g=1$ 로 하고, $p=2, 3, 4, 5, 6$ 에 대해 목적함수 (2)를 평가하여 작업물 5를 선택
3	$g=5$ 로 하고 $p=2, 3, 4, 6$ 에 대해 목적함수를 평가하여 작업물 4를 선택
4	$g=4$ 로 하고 $p=2, 3, 6$ 에 대해 목적함수를 평가하여 작업물 6을 선택
5	$g=6$ 으로 하고 $p=2, 3$ 에 대해 목적함수를 평가하여 작업물 2를 선택
6	남은 작업물 3을 선택

진입순서 : 1 → 5 → 4 → 6 → 2 → 3

표 5. 스케줄링 결과 : Makespan

Frequency	10 periods
Period	1시간 42분
Transient	52분
Makespan	17시간 52분

표 6. 스케줄링 결과 : 기계

기계형태	효율 (%)	Max. queue
MC1	95	1
MC2	86	1
MC3	90	1
SM	75	0

표 7. 스케줄링 결과 (ad hoc 방법)

Makespan		19시간 46분	
효율 (%)	MC1	88	
	MC2	88	
	MC3	83	
	SM	67	

표 8. 스케줄링 결과 (MC 고장시)

Makespan		20시간 32분	
효율 (%)	MC1	92	
	MC2	89	
	MC3	69	
	SM	65	