

가공 공정 분할 및 순서 결정 구현 방법 A Method for Grouping and Sequencing of Machining Processes

*김재관, #박면웅, 정용진

*J. K. Kim, #M. W. Park(myon@kist.re.kr), Y. J. Chong
한국과학기술연구원 지능인터랙션센터

Key words : Process planning, Set-up, Sequencing

1. 서론

절삭가공에서의 공정계획(process planning)은 가공이 필요한 형상에 공정을 할당하고, 이 공정을 수행하기 위한 설비(기계, 치구, 공구 등)와 가공조건을 결정하며, 공정 간 가공 순서를 생성하는 것과 같은 일련의 의사결정 과정으로 이루어진다. 이러한 자원 할당과 순서 결정 활동은 제조의 유연성과 효율성 및 최종 제품의 품질에 대한 요구를 만족시키면서 수행되어야 한다.

본 논문에서는 중견 또는 중소기업을 대상으로 실효성 있는 공정계획 시스템을 구현하는 연구¹의 일부로서, 할당된 기계와 치구를 고려하여 가공 공정들을 그룹별로 분할하고 적절한 가공 순서를 결정하는 방법을 제시한다.

2. 공정계획 의사결정 과정

본 연구에서는 pocket, hole, slot, step과 같이 미리 정의된 특징형상을 이용하여 공정계획을 위한 의사결정을 수행한다. 먼저 제품 모델로부터 특징형상 정보(기하 정보, 공차 정보)를 추출하고, 이를 기반으로 각 특징형상에 적합한 하나 이상의 가공 공정들을 할당한다. 이 때, 할당된 공정들은 서로 가공선행관계를 갖기도 하는데, 특징형상으로부터 유래된 선행관계(위상, 공차, 데이터, 가공지식 참조)와 하나의 특징형상을 가공하기 위한 공정들 간의 선행관계로 구분된다. 다음으로 각 공정에 적합한 기계가 기계사양과 부하를 고려하여 선정된다. 치구 선정은 별도로 수행되지 않으며, 동일한 공구접근방향을 갖는 특징형상들은 동일한 치구를 사용하는 것으로 간주한다. 이 후, 각 공정들은 가공선행관계를 유지하면서 가공시간(비용)을 최소화하기 위하여 기계와 공구접근방향을 변화를 최소화하는 방식으로 그룹(셋업(set-up)이라 불림)화

되고, 각 그룹 간의 순서가 결정된다. 셋업이 결정되면, 각 셋업별로 모든 공정에 공구가 할당되고 가공조건이 결정되며, 공구교환을 고려하여 공정 간 순서가 재설정되는데, 이 부분은 본 논문에서 다루지 않는다.

3. 공정 분할 및 순서 결정

본 논문에서는 특징형상 기반의 공정계획 시스템인 FAPPS²에서 개발한 가공선행관계를 유지하면서 공구교환을 최소화하는 알고리즘을 보완하여 공정 분할 및 순서 결정 문제에 확장 적용하였다.

입력의 제품을 구성하는 특징형상들에 가공 공정들이 할당되었을 경우, 이들 간의 선행관계들을 Table 1과 같이 가공선행관계 행렬(PRM)로 표현한다. 행에 표시된 공정 i가 열에 표시된 공정 j보다 먼저 가공되어야 하면 $PRM(i, j) = 1$ 이 된다. 여기에서 선행관계가 불필요하게 중복된 경우($op1 \rightarrow op2$, $op1 \rightarrow op3$, $op3 \rightarrow op2$ 에서 $op1 \rightarrow op2$)를 제거하고, 선행관계가 없는 경우($op4$ 와 $op5$ 의 관계 등)를 반영하여 다음과 같이 임시 가공 순서를 결정한다. (1) $sum(j) = \sum_i PRM(i, j)$ 를 계산한다. (2) $sum(j) = 0$ 인 공정을 우선하는 행과 열에 고정시키고, $PRM(i, j)$ 에서 그 공정을 제거한다. (3) 모든 공정에 대하여 순서가 정해질 때까지 (1)에서 (2)를 반복한다. Table 1에서 $op1$ 의 $sum(j) = 0$ 이다. $sum(j) = 0$ 은 j 열에 있는 공정보다 선행하는 공정이 없다는 의미이다, 따라서 $op1$ 을 Table 2의 임시 가공 순서의 첫 번째 행과 열에 고정시킨 후, $op1$ 을 제외한 다른 공정들을 대상으로 다시 $sum(j)$ 를 계산한다. 여기에서는 $op3$, $op5$, $op6$ 의 $sum(j)$ 가 0으로 계산되었고, 이 순서로 Table 2에 고정시켰다. Table 1의 모든 공정에 대하여 $sum(j)$ 가 0이 될 때까지 이러한 방식을 반복하여 Table 2를 구성한다.

위의 op3, op5, op6와 같이 어떤 반복 단계에서 $sum(j)=0$ 인 공정이 여러 개 있을 때, 이들을 임의의 순서로 Table 2에 고정시킬 수 있으며, 각각 왼쪽 또는 오른쪽으로 약간의 이동이 가능하다. 어떤 공정이 현재 위치에서 왼쪽과 오른쪽으로 이동할 수 있는 허용범위를 LM과 RM으로 표현한다. LM은 임의의 열에 표시된 공정 j가 왼쪽으로 이동하여 공정 순서가 빨라짐을 의미한다. LM을 결정하고자 하는 공정(열)의 마지막 행으로부터 첫 번째 행의 위치로 이동하면서 최초로 '1'이 나오는 행 i를 발견한다면 LM은 i+1이고, 그렇지 않으면 1이다. RM은 공정 j가 오른쪽으로 이동하여 공정 순서가 늦어짐을 의미한다. RM을 결정하고자 하는 공정(행)의 첫 번째 열에서 마지막 열까지 이동하면서 첫 번째 '1'이 나오는 열 j를 발견하면 RM은 j-1이고, 그렇지 않으면 n(공정의 총 개수)이다.

할당된 설비(기계와 공구접근방향)가 동일한 공정들이 일차로 그룹화되고, 이 그룹들은 가공선행 관계를 고려하여 다시 분할될 수 있다. Table 3은 4개의 설비를 8개의 공정에 할당한 설비행렬을 보여주고 있는데, 이 행렬의 요소 R(i, j)의 값은 설비 i가 공정 j에 할당되었을 경우에 '1'을 갖는다. Table 3에서 op1, op4, op5, op6에는 R2가 할당되어 있는데, op5와 op6의 LM은 2이므로 이들은 각각 Table 2의 두 번째와 세 번째 열로 이동할 수 있다. 따라서 op1과 op5, op6은 설비의 변경 없이 가공될 수 있다. 하지만 op4는 LM이 6이므로 이들과 함께 가공될 수 없다. 이러한 방식으로 모든 공정은 재정렬되어 Table 4와 같이 그룹화된 공정 순서를 결정할 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 일반적으로 NP-hard로 알려져 있는 가공 공정 분할과 순서 결정 문제에 가공선행 관계를 만족하면서 설비의 변경을 최소화하는 경험적 알고리즘을 적용하는 방법을 제시하였다.

후기

본 연구는 지식경제부 국가플랫폼기술개발사업 c-MES 플랫폼 기술개발 과제에 일환으로 수행되었다.

참고문헌

1. 김재관, 박면용, “적응형 공정지원 플랫폼,” 한국정밀공학회 2009 추계학술대회 논문집, 731-732, 2009.
2. 노형민, “공정계획 및 품질관리 기술개발에 관한 연구,” 2차년도 연차보고서(BSM 0753 -6225-2), 한국과학기술연구원, 1998.

Table 1 PRM(i, j) and calculation of sum(j)

	op1	op2	op3	op4	op5	op6	op7	op8
op1		1	1	1	1	1		
op2				1				
op3		1		1				
op4							1	1
op5								
op6								
op7								1
op8								
1 st sum(j)	0	2	1	3	1	1	1	2
2 nd sum(j)		1	0	2	0	0	1	2
3 rd sum(j)		0		1			1	2
4 th sum(j)				0			1	2
5 th sum(j)							0	1
6 th sum(j)								0

Table 2 Temporary process sequence

	op1	op3	op5	op6	op2	op4	op7	op8	LM/RM
op1		1	1	1	1	1			1/1
op3					1	1			2/4
op5									2/8
op6									2/8
op2						1			3/5
op4							1	1	6/6
op7								1	7/8
op8									8/8

Table 3 Resource matrix

	op1	op3	op5	op6	op2	op4	op7	op8
R1							1	1
R2	1		1	1		1		
R3					1			
R4		1						

Table 4 Final process sequence

	op1	op5	op6	op3	op2	op4	op7	op8
R1							1	1
R2	1	1	1			1		
R3					1			
R4				1				