

## 유연생산셀에서의 공정 설계에 관한 연구

이 노 성  
특허청 심사관

### (A Study on Process Design in Flexible Manufacturing Cell)

LEE, NOHSUNG  
Korean Industrial Property Office, Patent examiner

#### 1. 서 론

셀 생산방식은 생산서 부품 및 작업공정의 유사성을 이용하여 생산효율을 증가하는데 사용된 철학이며 혁신이다. 공장을 조직화하기 위해, 생산시스템을 주어진 조건에 따라 생산셀들로 불러지는 부 시스템들로 분할한다. 생산셀은 부품군과 머신셀을 포함한다. 따라서, 셀 생산방식의 주요 특성은 복잡한 생산시스템을 공정계획 및 스케줄링에 의해 다루기 어렵지 않은 생산셀 단위로 분할하는 것이다. 셀 생산방식으로부터 구해진 주요 이점은 준비시간과 비용의 절감, 물류의 간소화, 생산공정의 표준화이다.

공정계획은 생산계획의 첫 번째 단계이며, "어떻게"라는 생산관점에 대한 것이다. 공정계획은 설계 도면으로부터 제품 또는 최종 부품을 생산하기 위한 기술적인 계획을 만들어 내는 기능이다. 따라서 공정계획의 주요 목적은 주어진 생산환경의 모든 요소들과 변수들을 최적화 하는 것이다. 공정계획은 관련된 시간적인 요소를 가지지 않는 활동으로 간주된다. 이것은 공정계획이 스케줄 시간 0인 시점에서 이루어지는 것이며 어떻게 이루어지는가 하는 것을 설명해 준다.[6]

공정계획에서는 작업, 경로, 기계, 설비, 작업 흐름등의 생산 변수들을 명시하고 있다. 가공할 단위 부품에 대해서 많은 공정계획들이 만들어지며, 공정계획들을 선택하는 문제는 이러한 생산 변수들과 연관되어있기 때문에 상당히 복잡한 문제로써 고려되고 있다. 즉, 공정계획은 생산 비용과 작업 시간을 최소화하는 동시에 품질을 최대화하는 다중의 생산 목적을 달성하도록 설계해야 하기 때문에 다속성 의사결정(MADA) 문제에 귀속된다.

생산 변수들이 선택될 때, 때때로 주관적이며 불확실하고 부정확한 정보를 사용할 수가 있다. 이러한 부정확한 정보를 다루기 위하여 속성들의 가중치를 결정하는 퍼지정량화이론(FQT)이 소개되었다. 정량화 이론은 정성적인 데이터를 통계적인 분석을 통하여 정량적으로 표현하는 방법이다. Hayashi 등이 이러한 정량화 이론은 발표한 이래로 공학과 의학, 사회과학과 같은 분야에 널리 사용되어 왔다.[3] Hayashi의 정량화 이론은 잘 알려져 있으며 주로 정성적으로 얻어진 정보에 적용되었다.

정량화 이론을 확장한 퍼지 정량화 이론(FQFT)은 퍼지 논리 개념으로 정성적인 시험을 분석하는데 사용되는 방법이다.[3,4] 그것은 퍼지 데이터와 퍼지 이벤트들을 다루는 과정을 설명하도록 개발되었다. 예를 들어 인간의 판단이나 평가가 "비싼", "매우 비싼", "합리적인"과 같은 정성적인 언어 변수로 표현될 때, 정량화이론에서는 0 또는 1의 값을 이용한다. 그러나 이러한 정성적인 표현들이 0과 1사이의 대수적 값으로 대체된다면,

정성적인 판단을 비교하는 것은 더 용이할 것이다.

본 논문에서는 공정계획 설계 문제에 대하여 Watada 등에 의해 제안된 FQT-II를 이용하며, 최상의 공정계획을 설계하기 위한 알고리즘을 제안한다.

#### 2. 공정계획 모듈

부품이나 제품의 설계가 완료되었을 때, 공정계획이 시작된다. 설계의 결과로 재료비, 설계도면과 함께 생산데이터가 얻어진다. 공정계획이 설계와 생산을 잇는 연결고리와 같기 때문에 설계데이터의 해석, 머신들의 선택, 공정순서의 선택과 같은 일련의 단계들이 공정계획의 역할에 포함된다.

공정계획 모듈은 여러 가지 작업을 수행한다. 이러한 작업들의 흐름이 그림 1에 나타난다. 이들의 역할이 서로 독립적이지 않음이 명확하다. 각 역할들을 계획하기 전에 많은 연관관계들을 고려하여야 한다.

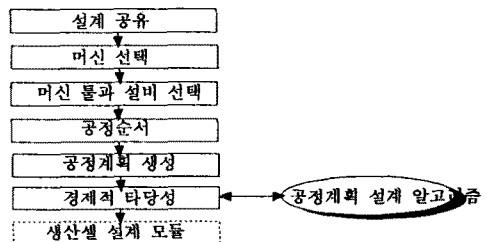


그림 1 공정계획 모듈

Fig. 1 Process Planning Module

#### 설계 접속

공정계획 모듈에서 첫 번째 단계는 CAD 데이터로부터 필요한 부품정보를 얻는 것이다. 설계도면을 부품정보로 변환하는 일을 설계 접속이라고 한다. 부품 정보는 부품의 모든 개념, 즉, 부피, 공차, 표면 마스크, 공정계획초기단계의 다른 기술적인 사양 등을 포함한다. 접속을 통해서 제조 및 생산 제어에 위한 모든 정보를 얻어야 한다.

설계 접속시에 모델 분할과 특성 인식이 이루어져야 한다. 모델 분할은 부품으로부터 특성을 분리하는 과정이다. 기하학적 본질을 파악함으로써 특성들이 확인될 때까지 반복된다. 특성은 구멍, 홈, 포켓, 스텝과 같은 특정한 기하학적인 구성 형태로 정의될 수 있다. 이는 기하학에 관련해서 부품의 정보를 담고 있다. 특성 인식은 특성의 의미를 분류하고 판정하는 것이다. 이것은 기하학적으로 추론하는 일반적인 이론이 없을 뿐만 아니라 특성의 정의가 정확하지 않기 때문에 어려운 문제이

다.

통합적인 패턴 인식 방법, 기하학적 분할 방법, 논리 방법, 그래프 기반 방법 등과 같은 설계 접촉에 관한 여러 가지 접근법들이 있다. 이들 중에서, 통합적인 패턴 인식방법이 추천된다.

### 머신 선택

부품의 제조에서 각 공정의 머신 선택은 제조된 부품의 질과 생산효율, 제조 단가와 밀접하게 관련되어 있기 때문에 공정계획상의 중요한 역할중의 하나이다. 특성 및 공정 정보의 수로부터, 적절한 머신 집합이 선택될 수 있다. 물들의 집합, 부가적인 기구들, 주어진 가격에 수행되는 공정들이 이러한 선택과 관련있다. 그 기본 구조는 다음과 같은 이유로 유용하게 이용된다.

- (1) 머신들은 고정된 특성을 가진다.
- (2) 머신에 대한 지식 베이스는 작업장에서 머신들의 수가 제한되기 때문에 그다지 크지 않다.

### 머신 물설비 선택

머신물과 설비(즉 지그와 고정물, 절단기, 측정기등)의 선택은 물뿐만이 아니라 물이 사용될 머신을 포함한다. 머신물 선택은 기계 작업의 정확성, 생산비, 공장당 단위 비용에 크게 영향을 미친다. 물 선택시에 고려해야 할 많은 요소들은 다음과 같다.

- (1) 물 형태와 물 접근 방향
- (2) 물 기하
- (3) 물 재료
- (4) 머신 공정과 머신링 데이터의 형태
- (5) 기계 가공되는 용적과 표면의 형태
- (6) 준비 및 머신링 시간 및 비용

### 공정순서

공정순서를 정하는 작업은 매우 복잡한 문제이다. 단일 기계에서 처리된 많은 공정들은 순서를 달리하여 처리될 수 있다. 효율을 최대화하도록 대체 순서들을 선택하는 것이 추천된다. Wang은 공정 순서를 정하는 4가지 큰 범주로써

- (1) 공정 조건
- (2) 기하 조건
- (3) 틀링 조건
- (4) 역학 조건에 기초한 분류를 하였다.[6]

공정의 수가 증가함에 따라 순서의 수도 크게 증가한다. 정확한 분석적 해를 찾는 것은 불가능하다. 그러므로 공정순서를 위한 경험적인 접근법을 활용하는 것이 가치 있다.

### 공정계획 생성

생산공정이 계획되면, 공정계획들이 생성되고 관리되어야 한다. 공정계획 모듈의 출력인 공정계획은 생산을 체계화하는 작업장 및 공정을 수행하는 개인의 지침으로 이용된다. 작업의 정보를 제공하고 공정을 제어하는 것은 필수적이다. 공정계획은 부분적인 기능의 결과, 즉, 공정순서 계획, 생산장비 계획, 공정 시간 계획 등등을 문서화한다. 공정계획시에 언제, 어디서, 어떤 수단으로, 어떤 순서로, 어떻게 무엇으로 제조되어야 하는가 하는 정보는 정확하게 정해져야 한다.

### 경제적 검증

주어진 부품과 제품들에 대해 많은 공정계획이 있다. 이러한 공정계획들은 주어진 생산환경에서 적합성 및 상대적인 가격에 의해 특정 지워질 수 있다. 최상의 공정계획은 생산비와 작업 시간을 최소화하고 품질을 최대화하는 것이다. 퍼지 정량화 이론을 이용한 공정계획 알고리즘은 다수의 속성값을 비교하여 많은 공정계획들 중에 하나의 공정계획을 선택하는 것이다.

### 3. 공정계획 설계 알고리즘

FQT에서, 각 속성에 대한 동일 범주의 가중치는 참여하는 공정계획자의 의사 결정과정을 분석하여 얻어진다. 그러나

FQT는 데이터에 여러 조건이 존재하기 때문에 공정계획 선택 문제를 위해서는 사용될 수 없다. 이러한 문제를 다루기 위해 본 논문에서는 수정된 FQT를 제시하고자 한다.

공정계획자  $\omega$ ,  $\omega=1, \dots, n$ 은 M가지의 다른 공정계획  $B_1, \dots, B_M$ 중에 하나를 선택한다고 가정하자. 속성  $A_i$ 는 인이적 변수들  $C_1, \dots, C_K$ 를 사용하여 K가지 범주로 분류된다. 수정된 FQT-II에 대한 데이터는 표 3.1과 같다.

표 3.1 수정된 FQT-II에 대한 데이터  
Table 3.1 Data for the Modified FQT-II

공정 계획자	대안	속성 $A_i$
	$B_1, \dots, B_M$	$C_1, \dots, C_K$
1	$\mu_{B_1}(1), \dots, \mu_{B_M}(1)$	$\mu_1(1), \dots, \mu_K(1)$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
$\omega$	$\mu_{B_1}(\omega), \dots, \mu_{B_M}(\omega)$	$\mu_1(\omega), \dots, \mu_K(\omega)$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
n	$\mu_{B_1}(n), \dots, \mu_{B_M}(n)$	$\mu_1(n), \dots, \mu_K(n)$

표 3.1은 두 가지 다른 퍼지 집합 즉, 퍼지 대안 집합과 퍼지 속성 집합을 가진다. 퍼지 대안 집합은 공정계획의 선호도를 표시하는 행렬이며,  $\mu_{B_j}$ 는 i번째 공정에 대한 선호 정도를 나타낸다. 퍼지 대안 집합에 부과된 조건은 다음과 같이 나타낸다.

$$a) 0 \leq \mu_{B_j}(\omega) \leq 1 \quad \text{for } j=1, \dots, M, \quad (3.1)$$

$$b) \sum_{j=1}^M \mu_{B_j}(\omega) = 1 \quad \text{for } \omega=1, \dots, n, \quad \text{and} \quad (3.2)$$

$$c) \sum_{j=1}^M \mu_{B_j}(\omega) > 1 \quad \text{for } j=1, \dots, M. \quad (3.3)$$

퍼지 속성 집합은  $\omega$ 번째 공정계획자가 가장 선호하는 공정 계획에 대해서 범주  $C_i$ 에 응답하는 정도인  $\mu_i$ 의 속성값 행렬이다. 퍼지 속성 집합에 대한 조건들은 다음과 같다.

$$a) 0 \leq \mu_i \leq 1 \quad \text{for } i=1, \dots, K, \quad (3.4)$$

$$b) \sum_{i=1}^K \mu_i(\omega) > 0 \quad \text{for } i=1, \dots, K. \quad (3.5)$$

FQT-II의 주목적은 속성  $A_i$ 에 대한 범주 벡터 C의 선형 방정식을 사용하여 실수축 상의 퍼지 대안 집합의 구조를 표현하는 것이다. 그러나 수정된 FQT-II에서 해를 구하기 위해서는 주어진 속성에 대한 각 범주의 상대적 중요성에 대하여 정보가 필요하다.  $y(\omega)$ 를  $\omega$ 번째 공정계획자의 목적 함수라고 하고 w 정식을 사용하여 실수축 상의 퍼지 대안 집합의 구조를 표현하는 것이다. 그러나 수정된 FQT-II에서 해를 구하기 위해서는 주어진 속성에 대한 각 범주의 상대적 중요성에 대하여 정보가 필요하다.  $y(\omega)$ 를  $\omega$ 번째 공정계획자의 목적 함수라고 하고 w를 속성에 대한 상대적 가중치 벡터라고 하자. 그러면, 선형 방정식은 다음과 같이 표현된다.

$$y(\omega) = \sum_{i=1}^K w_i \mu_i(\omega) \quad \text{for } \omega=1, \dots, n. \quad (3.6)$$

즉, 수정된 FQT-II는 실수 축 상의 퍼지 대안 집합을 최적으로 분리하는 상대적 가중치 벡터 w를 결정하는 것이다. 퍼지 집합의 분리도는 퍼지 분산비  $\eta^2$ 로써 정의된다. 즉

$$\eta^2 = \frac{SS_B}{SS_T} \quad (3.7)$$

여기서,  $\eta^2$  : 퍼지 집합의 분리도

$SS_B$  : 퍼지 대안 집합 사이의 분산

$SS_C$  : 퍼지 속성 집합 사이의 분산,

그리고  $SS_T = SS_B + SS_C$  이다

$SS_T$ 와  $SS_B$ 항은  $SS_T = CTC$ 와  $SS_B = C^tBC$ 와 같은 가중치 벡터 C를 이용한 2차식으로 표현된다. 여기서  $C^t$ 는 C의 전치 행렬이다. 행렬 T와 B는 각각 행렬 P, Q라 하자. 그러면, 수정된 FQT-II의 해는 다음과 같이 구해진다.

$$(B - \eta^2 T)C = 0 \quad \text{를 만족하는 } \eta^2 \text{의 최댓값} \quad (3.8)$$

범주 벡터 C로부터 상대적 가중치 벡터 w의 성분은 다음으로부터 얻어진다.

$$w_i = \frac{C_i}{\sum_{i=1}^K C_i} \quad \text{for } i=1, \dots, K. \quad (3.9)$$

상대적인 가중치 벡터 w로부터, 공정계획자에 대한 목적 함수는 식 (3.6)로부터 구해진다.

#### 4. 알고리즘의 적용 및 고찰

먼저 다음과 같은 부품을 생산한다고 가정하여 보자. milling 공정에서 face milling이 V2와 V3, peripheral milling이 V1, V4와 V5를 위해 사용된다. 드릴링 공정에서, C1, C2, C3와 C4는 blind-holes이며, C5는 through-hole이다. 부가적으로 grinding 공정이 C5를 위해 사용된다.

본 예제에서는 두 가지 가능한 공정계획들이 제시되었다. 첫번째 공정계획에서는 특성 지향법을 사용하여 작업 순서가 결정되었다. 두 번째 공정계획에서는 clustering 방법에 의해 작업 순서가 결정되었다.

표 4.1 공정계획의 비교표

Table 4.1 Two Feasible Process Plans

공정계획	순서
1	(V2,V3) (V1,V4,V5) (C1,C2,C3,C4,C5)
2	(V2,V3) (V1,V4) (C5) (C1,C2,C3,C4) (V5)

이 공정계획의 목적은 생산 비용과 작업 시간을 최소화하는 것이다. 작업 순서와 사용되는 기계에 따른 생산비용과 작업 시간은 표 4.2와 같이 추정되어 있다.

표 4.2 공정계획들의 추정치

Table 4.2 Estimated Values for Process Plans

속성	공정계획 1	공정계획 2
비용	\$35	\$32
시간	45초	55초

단계 1) 속성을 정의한다.

생산 비용과 작업 시간을 최소화하는 것이 목적으로 하기 때문에 속성들은 비용과 시간으로 정의된다.

(A1, A2) = (비용, 시간)

단계 2) 각 속성에 대한 언어적 변수를 사용하여 범주를 정의한다. 속성의 정도는 언어적 변수를 사용하여 범주들로 나누어진다. 비용 속성은 "매우 비싼", "비싼", "합리적인", "값싼", "매우 값싼" 다섯 가지 범주로 분류하였으며, 시간 속성의 경우에 세가지 범주 즉, "높은", "합리적인", "낮은", 가 사용되었다.

단계 3) 참여하는 공정계획자로부터 표 4.3의 데이터를 수집한다. 5명의 공정계획 담당자가 비용과 시간에 따른 두 가지 가능한 공정계획을 평가했다.

표 4.3 평가 데이터

Table 4.3 Evaluated Data

공정 계획자	대안		비용(\$)					시간(sec)				
	계획 1	계획 2	VE	E	R	C	VC	H	R	L		
1	0.5	0.5	0.0	0.2	0.7	0.1	0.0	0.2	0.8	0.0		
2	1.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.6	0.3	0.2	0.8	0.0		
3	0.0	1.0	0.1	0.1	0.8	0.0	0.0	0.0	0.8	0.2		
4	0.7	0.3	0.0	0.1	0.6	0.3	0.0	0.3	0.7	0.0		
5	0.2	0.8	0.0	0.8	0.1	0.1	0.0	0.0	0.7	0.3		

VE: 매우 비싼, E: 비싼, R: 합리적인, C: 값싼, VC: 매우 값싼, H: 높은, M: 중간, L: 낮은

단계 4) 식 (3.8)과 (3.9)을 이용하여 상대적 가중치 벡터 w를 구하고 각 공정계획자를 위한 목적 함수를 계산한다. 주 범주는 비용 속성에서는 "값싼"이며 시간 속성에서는 "낮은"이다.

단계 5) 참여하는 공정계획자들 중에 최대 목적 함수를 가지는 공정계획을 선택한다. 표 4.4에서 다섯 명의 공정계획자의 목적 값들이 상대적인 가중치 벡터 w를 사용하여 식(3.6)로부터 구해진다. 공정계획자 4의 최대 목적값은 1.765이다. 그러므로 공정계획 1이 주어진 부품에 대해 선택된다.

표 4.4 다섯명의 공정계획자의 목적값

Table 4.4 Objective Values of Five Process Planners

공정계획자	목적값
1	0.518
2	0.565
3	1.694
4	1.765
5	0.000

#### 5. 결 론

본 논문은 하나의 부품이 주어졌을 때 생성된 공정계획들을 비교하여 하나의 공정계획을 설계하는 공정계획 설계 알고리즘을 제시하였다. 그러나 작업 현장에는 많은 부품들이 생산되며, 이를 위한 가능한 접근 방법은 각 공정계획에 대한 색인을 구하고 이를 최대화 하는 것이다. 여러 부품의 동시 생산에 필요한 공정계획을 설계하기 위한 연구가 진행되고 있다.

#### [참고문헌]

- [1] Teicholz, E., and Orr, J., Computer Integrated Manufacturing Handbook, McGraw-Hill, New York, 1987.
- [2] Chang, T. C., Expert Process Planning for Manufacturing, Addison-Wesley, New York, 1990.
- [3] Terano, T., Asai, K., and Sugeno, M., Fuzzy Systems theory and Its Applications, Academic Press, San Diego, 1992.
- [4] Watada, J., Tanaka, H., and Asai, K., "Analysis of purchasing factors by using fuzzy quantification theory type II," The Japanese Journal of Behaviormetrics, Vol. 11, pp. 66-73, 1984.
- [5] Badiru, A. B., Expert Systems Applications in Engineering and Manufacturing, Prentice-Hall, New Jersey, 1992.
- [6] Afzulpurkar, S., Huq, F., and Kurpad, M., "An alternative framework for the design and implementation of cellular manufacturing", International Journal of Operations & Production Management, Vol. 9, pp.4-17, 1993.