

다속성 의사결정법과 퍼지정량화 이론을 이용한 공정계획 선택에 관한 연구

A Study on Process-Plan Selection via Multiple Attribute Decision-Making Approach and Fuzzy Quantification Theory

임 춘 우, 이 노 성
(Choon-Woo Leem and Noh-Sung Lee)

Abstract : This paper describes a new process-plan selection method using a modified Fuzzy Quantification Theory(FQT). The problem of process-plan selection can be characterized by multiple attributes and used subjective, uncertain information. Fuzzy Quantification Theory is used for handling such information because it is a useful tool when human judgment or evaluation is quantified via linguistic variables, and the proposed method is concerned with the selection of a process plan by derivation of the values of categories for each attribute. In this paper, a modified Fuzzy Quantification Theory(FQT) is described and the procedure of this approach is explained and examples illustrated.

Keywords : fuzzy quantification theory, process-plan selection, multiple attributes

I. 서론

생산공정의 주요목적은 생산비용과 시간을 최소화하고 제품의 품질을 최대화하는 것이며, 공정계획은 주어진 생산 환경 내에서 모든 요소들과 변수들을 최적화하도록 이루어진다. 공정계획은 부분품 또는 완제품을 생산하도록 설계 데이터를 작업 지시로 전환하는 작업으로서, 어떠한 공정계획을 선택하는가에 따라서 제품의 품질과 생산 효율, 비용에 영향을 미치게 된다. 전통적으로 공정계획은 주로 사람의 경험에 의해서 결정, 실행되어 왔기 때문에, 이러한 과정은 노동 집약적이며 비일관적이며 때로는 부적절한 방법으로 진행되어 왔다. 최근에는 산업 자동화의 발달에 따라 CAD와 CAM의 통합에 관심이 집중되고 있고, 많은 CAPP 시스템이 개발되었을지라도 공정계획은 아직도 대부분 수동적으로 이루어지고 있다[1][2]. 공정계획에서는 작업, 경로, 기계, 설비, 작업 흐름등의 생산 변수들을 명시하고 있다. 가공할 단위 부품에 대해서 많은 공정계획들이 만들어지며, 공정계획들을 선택하는 문제는 이러한 생산 변수들과 연관되어 있기 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 퍼지정량화 이론(FQT)이 소개되었으며, 본 논문에서는 FQT를 이용한 공정계획 선택 방법을 제안한다. 제안된 접근 방법은 먼저 각 속성에 대한 동일 범주의 값을 구하고, 이에 따라서 최상의 공정계획을 선택하는 것이다.

II. 퍼지 정량화 이론(FQT)

정량화 이론은 정성적인 데이터를 통계적인 분석을 통하여 정량적으로 표현하는 방법이다. Hayashi등이 이러한 정량화 이론은 발표한 이래로 공학과 의학, 사회과학과 같은 분야에 널리 사용되어 왔다[3][4][5]. Hayashi의 정량화 이

론은 잘 알려져 있으며 주로 정성적으로 얻어진 정보에 적용되었다.

정량화 이론을 확장한 퍼지 정량화 이론(FQT)은 퍼지 논리 개념으로 정성적인 시험을 분석하는데 사용되는 방법이다[5][6]. 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 대치된다면, 정성적인 판단을 비교하는 것은 더 용이할 것이다.

FQT에는 다음의 4가지 방법이 있다. 이들은 FQT-I, FQT-II, FQT-III 그리고 FQT-IV으로 각각 불리어지고 있다. 첫째로, 정성적 회귀 분석인 FQT-1는 퍼지 집합에서 정성적인 변수들과 목적값 변수들 사이의 관계를 발견하는데 사용되는 방법이다. 둘째로, 정성적 차이 분석 방법인 FQT-II는 분석 대상들의 정성적 속성에 관한 정보를 기반으로 정성적인 변수들을 예측하는 방법이다. 이 방법은 정성적 변수들로 퍼지 집합을 구별하고, 이에 대한 각 속성의 영향을 분석하는데 이용된다. 셋째로, FQT-III는 패턴을 분류할 때 이용되는 방법이다. 마지막으로, 다차원 스케일링 방법인 FQT-IV는 개별 집합과 소속된 퍼지 집합과의 관계를 결정하는데 이용된다.

본 논문에서는 공정계획 선택 문제에 대하여 Watada 등에 의해 제안된 FQT-II를 이용하며, 여기서 분석대상들과 정성적 속성값사이의 관계를 적절하게 나타내고 있다[6]. FQT의 수학적 배경과 FQT-II의 내용은 다음과 같다.

2.1 퍼지 정량화 이론(FQT)의 특성

표준 확률 영역을 (Ω, θ, P) 라고 하자. 여기서 Ω 는 표본 영역, θ 는 Ω 의 부집합의 σ -field, P 는 확률 측정치이다. E 를 일반 집합이라고 하면 $E \in \theta$, 그리고 X_E 는 속성 함수라고 하면, 집합 E 가 일어날 확률은 (2.1)과 같다.

$$P(E) = \int X_E(\omega) dP, \quad (2.1)$$

여기서 $X_E(\omega) = \begin{cases} 1 & \text{if } \omega \in E \\ 0 & \text{if } \omega \notin E \end{cases}$ 이다.

F를 또다른 집합이라 하고, 그 멤버십 함수를 μ_F 라고 하자. 집합 F가 발생할 확률을 (2.2)와 같이 정의되므로 F는 퍼지 집합이 된다.

$$P(F) = \int X_F(\omega) dP; \mu_F(\omega) : \Omega \rightarrow [0, 1] \quad (2.2)$$

퍼지 집합에 대한 멤버십 함수는 확률과 다르다. 즉, 확률은 사건의 발생 빈도 또는 비율을 기본으로 한 불확실성 정도의 측정치입에 대하여 퍼지 멤버십 함수는 사건이 내포하고 있는 모호함의 정도와 연관되어 있다[7]. 위의 정의로부터 주어진 표본(x1, ..., xn)의 퍼지 집합 크기, 퍼지 평균값, 퍼지 분산을 다음과 같이 정의할 수 있다.

정의 1 : 퍼지 집합의 크기

표본 (x1, ..., xn)가 주어지며, 퍼지 그룹 Ai, i=1, ..., K의 멤버십 함수를 $\mu_{A_i}(x_\omega)$ 으로 정의하자. 그때 주어진 표본 (x1, ..., xn)에 대한 퍼지 집합의 크기는 다음과 같이 표현된다.

$$N(A) = \sum_{\omega=1}^n \mu_A(x_\omega) \quad (2.3)$$

(2.3)으로부터, 퍼지 집합의 크기는 다음과 같이 계산될 수 있다.

$$N = \sum_{i=1}^K N(A_i) \quad (2.4)$$

표본 평균과 표본 분산은 표본에 대한 퍼지 집합의 크기를 사용하여 정의될 수 있다.

정의 2 : 퍼지 평균과 분산

변수 x에 대한 퍼지 평균과 퍼지 분산은 다음과 같이 표현된다.

$$m_A = \frac{1}{N(A)} \sum_{\omega=1}^n x_\omega \mu_A(x_\omega), \quad \text{그리고} \quad (2.5)$$

$$\sigma^2_A = \frac{1}{N(A)} \sum_{\omega=1}^n (x_\omega - m_A)^2 \mu_A(x_\omega) \quad (2.6)$$

Theorem : 표본 (x1, ..., xn)가 주어지며, 퍼지 그룹의 멤버십 함수 Ai, i=1, ..., K를 $\mu_{A_i}(x_\omega)$ 라 하자. 그러면 퍼지 그룹 Ai를 이용한 총평균 m과 평균 m_{A_i} 는 다음과 같이 정의된다.

$$m = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^K \sum_{\omega=1}^n x_\omega \mu_{A_i}(x_\omega) \quad \text{그리고} \quad (2.7)$$

$$m_{A_i} = \frac{1}{N(A_i)} \sum_{\omega=1}^n x_\omega \mu_{A_i}(x_\omega). \quad (2.8)$$

총 분산을 SS_T , 퍼지 그룹 B사이의 분산을 SS_B , 그리고 퍼지 그룹 E내의 분산을 SS_E 라 할 때, 이들 각각은 (2.9), (2.10), (2.11)과 같이 나타낼 수 있다. 이때 퍼지 그룹 B는 표본의 퍼지 집합을 나타낸다.

$$SS_T = \sum_{\omega=1}^n \sum_{i=1}^K (x_\omega - m)^2 \mu_{A_i}(x_\omega), \quad (2.9)$$

$$SS_B = \sum_{\omega=1}^n \sum_{i=1}^K (m_{A_i} - m)^2 \mu_{A_i}(x_\omega), \quad \text{그리고} \quad (2.10)$$

$$SS_E = \sum_{\omega=1}^n \sum_{i=1}^K (x_\omega - m_{A_i})^2 \mu_{A_i}(x_\omega) \quad (2.11)$$

위 정의로부터 다음과 같은 관계가 생긴다[6].

$$SS_T = SS_B + SS_E \quad (2.12)$$

$$\text{증명 : } SS_T = \sum_{\omega=1}^n \sum_{i=1}^K (x_\omega - m)^2 \mu_{A_i}(x_\omega) \quad (2.13)$$

$$= \sum_{\omega=1}^n \sum_{i=1}^K (m_{A_i} - m)^2 \mu_{A_i}(x_\omega) + \sum_{\omega=1}^n \sum_{i=1}^K (x_\omega - m_{A_i})^2 \mu_{A_i}(x_\omega) \quad (2.14)$$

$$= SS_B + SS_E \quad (2.15)$$

이 이론으로부터 퍼지 집합이 총분산과 퍼지 그룹사이의

분산, 퍼지 그룹내의 분산으로 나누어 질 수 있으며, 정량화 이론의 개념이 퍼지 집합에도 확장, 적용될 수 있음을 알 수 있다. ■

2.2 퍼지 정량화 이론-II

Watada등에 의해 제안된 FQT-II의 목적은 [0,1]의 멤버십 값을 갖는 정성적 변수들에 의해 퍼지 그룹들 사이의 관계를 구하는 것이다. FQT-II에 의해 다루어지는 데이터의 형태는 표 1과 같다. 퍼지 그룹 B는 표본의 퍼지 집합을 나타내고 퍼지 그룹 A는 정성적 범주에 대응하는 정도를 나타내는 정보이다.

표 1. FQT-II에 대한 데이터.

Table 1. Data for the FQT-II.

NO	퍼지 외부 표준	범주
	B1, ..., BM	A1, ..., AK
1	$\mu_{B_1}(1), \dots, \mu_{B_M}(1)$	$\mu_1(1), \dots, \mu_K(1)$
⋮	⋮	⋮
ω	$\mu_{B_1}(\omega), \dots, \mu_{B_M}(\omega)$	$\mu_1(\omega), \dots, \mu_K(\omega)$
⋮	⋮	⋮
n	$\mu_{B_1}(n), \dots, \mu_{B_M}(n)$	$\mu_1(n), \dots, \mu_K(n)$

퍼지 그룹 A와 B사이의 관계를 분석하기 위하여, $y(\omega)$ 를 ω 의 목적함수라고 하고, α_i 를 범주 A_i 의 가중치라고 하자. 그러면 두 그룹의 선형 방정식은 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$y(\omega) = \sum_{i=1}^K \alpha_i \mu_i(\omega) \quad \text{for } \omega = 1, \dots, n. \quad (2.16)$$

다시 말해서, FQT-II의 목적은 실수축 선상에서 퍼지 그룹 B의 최적 분리를 나타내는 가중치 α_i 를 결정하는 것이다. FQT-II의 원리는 총 분산에 관련된 그룹간의 분산인 퍼지 분산비를 최대화 하는 것이다. 즉,

$$\max \left\{ \eta^2 = \frac{SS_B}{SS_T} \right\} \quad (2.17)$$

여기서 η^2 : 퍼지 분산비,

SS_T : 총분산의 2차형

SS_B : 그룹 B 간의 분산

퍼지 분산비 η^2 를 최대화하는 (2.16)에 대한 가중치 α_i 결정하기 위하여 범주 A_i 의 멤버십값에 대한 퍼지 그룹 B내의 퍼지 평균 $\bar{\mu}_i^r$ 과 총 퍼지 평균 $\bar{\mu}_i$ 는 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$\bar{\mu}_i^r = \frac{1}{N(B_r)} \sum_{\omega=1}^n \mu_i(\omega) \mu_{B_r}(\omega) \quad \text{for } i=1, \dots, K \text{ and } r=1, \dots, M \quad (2.18)$$

$$\bar{\mu}_i = \frac{1}{N} \sum_{r=1}^M \bar{\mu}_i^r N(B_r) \quad \text{for } i=1, \dots, K \quad (2.19)$$

(2.16)에서의 가중치 α_i 를 구하기 위한 방법은 다음과 같다
단계 1 : 주어진 부품에 대하여 공정계획자료로부터 표 1의 데이터를 수집한다.

단계 2 : $\mu_i(\omega)$, $\bar{\mu}_i^r$, $\bar{\mu}_i$ 에 대한 (Mn, K)행렬 A , \bar{A}_G 와 \bar{A} 를 계산한다.

여기서

$$A = \begin{bmatrix} \mu_1(1), \dots, \mu_K(1) \\ \vdots \\ \mu_1(n), \dots, \mu_K(n) \end{bmatrix}, \quad \bar{A}_G = \begin{bmatrix} \bar{\mu}_1^1, \dots, \bar{\mu}_K^1 \\ \vdots \\ \bar{\mu}_1^M, \dots, \bar{\mu}_K^M \end{bmatrix}, \quad \text{and } \bar{A} = \begin{bmatrix} \bar{\mu}_1, \dots, \bar{\mu}_K \\ \vdots \\ \bar{\mu}_1, \dots, \bar{\mu}_K \end{bmatrix}$$

여기서, η^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 C 를 이용한 2차 식으로 표현된다. 여기서 C^T 는 C 의 전치 행렬이다. 행렬 T 와 B 는 각각 행렬 P, Q 라 하자. 그러면, 수정된 $FQT-II$ 의 해는 다음과 같이 구해진다.

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

범주 벡터 C 로부터 상대적 가중치 벡터 w 의 성분은 다음으로부터 얻어진다.

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

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

3.2 공정계획 선택 과정

본 절에서는 수정된 $FQT-II$ 를 이용하여 공정계획을 선택하는 과정이 제시된다. 주어진 부품에 대한 많은 공정계획이 부품의 구조, 생산 작업, 설비, 인간의 판단을 기반으로 하여 만들어 진다고 가정하자. 선택된 공정계획들로부터 속성값들이 정량적으로 평가될 수 있다. 예를 들면, 공정계획 1에서 생산 비용과 작업 시간이 \$35와 20초로 각각 평가된다. 마찬가지로 공정 2에서 생산비용과 작업 시간이 \$40과 18초로 각각 평가된다. 공정계획을 선택하는 과정은 다음과 같다.

단계 1 : 속성을 정의한다. 즉, 분석될 속성들을 정의한다. 예를 들면, 생산 비용과 작업 시간의 최소값이 목적이라면, 속성은 비용과 시간이 된다.

단계 2 : 각 속성에 대한 언어적 변수를 사용하여 범주를 정의한다. 즉, 속성의 정도는 언어적 변수를 사용하여 범주들로 분류할 수 있다. 예를 들면, 비용이 3개의 범주로 분류될 수 있을 때, 언어적 변수들은 "비싼", "합리적인", "값싼"이 사용될 수 있다.

단계 3 : 참여하는 공정계획자로부터 표 2의 데이터를 수집한다.

단계 4 : (3.8)과 (3.9)을 이용하여 상대적 가중치 벡터 w 를 구하고 각 공정계획자를 위한 목적 함수를 계산한다.

단계 5 : 참여하는 공정계획자들 중에 (3.6)에 최대 목적 함수를 가지는 공정계획을 선택한다.

IV. FQT-II의 적용 및 고찰

본 절에서는 다속성 의사결정 문제를 해결하기 위해 제시된 $FQT-II$ 의 적용 과정을 예제들을 통하여 예시한다. 첫 번째 예제에서는 가장 중요한 속성에 따라 범주를 정의하는 방법에 관한 것이며, 두 번째 예제에서는 다속성 의사결정 문제를 풀기위한 $FQT-II$ 의 적용 과정을 보이기 위하여 3 가지 속성이 고려되는 경우에 관한 것이다.

예제 1 : 먼저 그림 4.1의 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. 첫 번째 공정계획에서는 특성 지향법을 사용하여 작업 순서가 결정되었다. 표면 V1에서 V5까지는 milling 머신에 의해

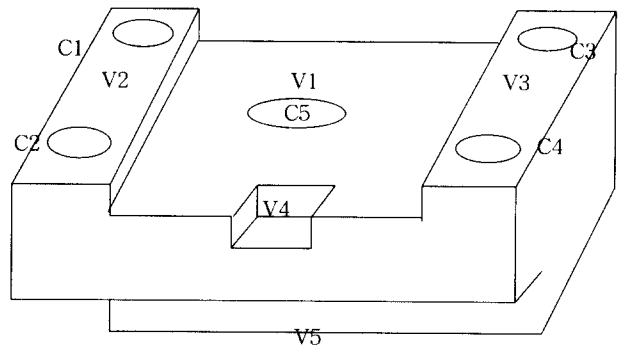


그림 4.1 예제1의 대상 부품.

Fig. 4.1 Sample part for example 1.

작업되며 combination 드릴이 모든 hole에 사용되었다. 두 번째 공정계획에서는 clustering 방법에 의해 작업 순서가 결정되었다. 표면 V1, V2, V3, 그리고 V4는 같은 접근 방향을 가지기 때문에 같은 군으로 묶여지고, V5는 다른 군으로 분류된다. 또한 hole에 대해서, 중앙 드릴이 C1, C2, C3, 및 C4에 사용되고, deep-hole 드릴이 C5에 사용된다. 위의 두 가지 다른 접근 방법에 대한 작업 순서는 표 3과 같이 나타낼 수가 있다.

표 3. 공정계획의 비교표.

Table 3. 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 4와 같이 추정되어진다.

표 4. 예제 1에 대한 공정계획들의 추정치.

Table 4. Estimated values for process plans for pxample 1.

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

단계 1 : 생산 비용과 작업 시간을 최소화하는 것이 목적으로 하기 때문에 속성들은 비용과 시간으로 정의된다.

$$(A1, A2) = (\text{비용}, \text{시간})$$

단계 2 : 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"이 사용되었다. 비용과 시간의 속성들은 다음과 같다.

$$(C1,C2,C3,C4,C5) = (\text{매우 비싼}, \text{비싼}, \text{합리적인}, \text{값싼}, \text{매우 값싼})$$

$$(C6,C7,C8) = (\text{높은}, \text{합리적인}, \text{낮은})$$

단계 3 : 5명의 공정계획 담당자가 비용과 시간에 따른 두 가지 가능한 공정계획을 평가했다. 평가된 내용은 표 4에 표시되어 있다. 예를 들면, 공정계획 1과 2에 대한 네 번째 공정계획자의 선호도는 각각 0.7과 0.3이었다. 이것은 공정계획자가 공정계획 2보다 공정계획 1을 40% 이상 더 선택할 것임을 의미한다. 공정계획 1에 대하여, 계획자는 비용

의 가중치로써 "합리적인"은 0.6, "값싼"은 0.3, "비싼"은 0.1로 추정하였다. 시간 속성의 경우에, 계획자는 "높은"은 0.3, "합리적인"은 0.7의 가중치를 부여하였다.

표 5. 예제 1에 대한 평가 데이터.
Table 5. Evaluated data for example 1.

공정 계획자	대안		비용(\$)					시간(sec)		
	계획1	계획2	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 : 표 6에서 상대적인 가중치 벡터 w 는 (3.8)과 (3.9)에서 얻어진다. 주 범주는 비용 속성에서는 "값싼"이며 시간 속성에서는 "낮은"이다.

표 6. 예제1에 대한 범주들의 상대적인 가중치.
Table 6. Relative weights of categories for example 1.

속성	범주	상대적인 가중치
비용	매우 비싼	-0.102
	비싼	0.696
	합리적인	-1.250
	값싼	2.522
	매우 값싼	0.526
시간	높은	-0.185
	합리적인	0.000
	낮은	1.185

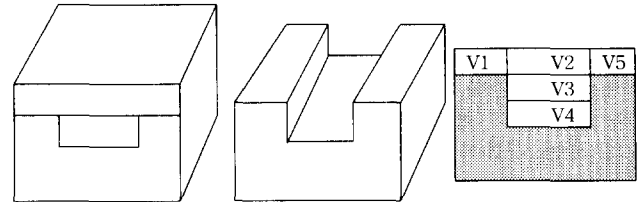
단계 5 : 표 7에서 다섯 명의 공정계획자의 목적 값들이 상대적인 가중치 벡터 w 를 사용하여 (3.6)로 부터 구해진다. 공정계획자 4의 최대 목적값은 1.765이다. 그러므로 공정계획 1이 주어진 부품에 대해 선택된다.

표 7. 다섯명의 공정계획자의 목적값.
Table 7. Objective values of five process planners.

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

예제 2 : 그림 4.2의 부품을 고려하자. 완성된 부품을 얻

기위해 일부분의 용적이 제거되어야 하며, 이러한 용적들은 여러 가지 방법으로 기계가공이 가능하도록 구획될 수 있다.



a) 원 부품 b) 완성된 부품 c) 부품의 구획

그림 4.2 예제 2의 대상 부품.
Fig. 4.2 Sample part for example 2.

단계 1 : 예제 2의 목적은 가공시간과 비용을 최소화하고 부품의 품질을 최대화 하는 것이다. 따라서 분석될 속성들은 비용과 시간, 품질로 정의한다.

단계 2 : 3개의 공정계획들이 표 8에 표시된다. 공정계획 2와 3의 주된 차이는 기계가공시 할당되는 용적들의 순서이다.

표 8. 예제 2에 대한 3가지 실행가능한 공정계획.
Table 8. Three feasible process plans for example 2.

공정계획	순서
1	{V1,V2,V5} {V3,V4}
2	{V2,V3} {V4} {V1,V5}
3	{V1,V5} {V2,V3} {V4}

단계 3 : 사용되는 기계와 작업순서에 따라서 속성값들이 추정된다. 표 9는 3개의 실행가능한 계획에 대한 속성값의 추정치이다. 표 9를 보면, 공정계획 3은 속성값들이 다른 두 개의 공정계획에 비해 열세이므로 제거한다.

표 9. 예제 2에 대한 공정계획들의 추정치.
Table 9. Estimated values for process plans for example 2.

속성	공정계획 1	공정계획 2	공정계획 3
비용	\$15	\$17	\$20
시간	40초	35초	50초
품질	0.0005 μ	0.0001 μ	0.001 μ

단계 4 : 예제 2의 목적은 각 속성값에서 가장 영향력있는 요소를 찾는 것이다. 속성값들의 등급은 세가지 범주로 분류된다. 가격 속성값은 "비싼", "합리적인", "값싼"으로 나누어진다. 시간과 품질의 속성값들은 "높은", "합리적인", "낮은"으로 분류된다.

단계 5 : 위의 두 개의 실행가능한 공정계획들은 4명의 공정계획자들에 의해 평가된다. 표 10은 퍼지 멤버쉽 함수를 사용하여 공정계획을 선택하고자 하는 방법 및 이유를 나타낸다. 예를들면, 공정계획자 3은 1.0의 확신을 가지고 공정계획 2를 선호한다.

표 10. 예제 2에 대한 평가 데이터.
Table 10. Evaluated data for example 2.

공정 계획자	대안		비용(\$)			시간(sec)			품질(μ)		
	계획1	계획2	E	R	C	H	R	L	H	R	L
1	0.9	0.1	0.8	0.2	0.0	0.0	0.3	0.7	0.2	0.6	0.4
2	0.7	0.3	0.6	0.4	0.0	0.0	0.2	0.8	0.2	0.8	0.2
3	0.0	1.0	0.0	0.3	0.7	0.6	0.4	0.0	0.7	0.3	0.0
4	0.5	0.5	0.0	0.5	0.5	0.4	0.6	0.0	0.1	0.9	0.0

E: 비싼, R: 합리적인, C: 값싼, H: 높은, L: 낮은

단계 6 : 표 11에서 범주들에 대한 상대적인 가중치 벡터는 (3.8)과 (3.9)에서 얻어진다. 주 범주들은 가격 속성에서는 "합리적인"이며, 시간과 품질 속성에서는 "낮은"이다. 표 12는 4명의 공정계획자에 대한 목적값이다.

표 11. 예제 2에서 범주들의 상대적인 가중치.
Table 11. Relative weights of categories for example 2.

속성	범주	상대적인 가중치
가격	비싼	0.424
	합리적인	-0.002
	값싼	0.578
시간	높은	1.357
	합리적인	-0.549
	낮은	-0.906
품질	높은	1.359
	합리적인	-0.036
	낮은	-0.323

표 12. 네명의 공정계획자의 목적값.
Table 12. Objective values of four process planners.

공정계획자	목적값
1	0.518
2	0.565
3	1.694
4	1.765

단계 7a : (평가자의 목적이 없는 경우)

표 12로 부터 최대 목적값은 공정계획자 3의 1.751이다. 그러므로, 표 10에 나타난 것처럼 공정계획자 3이 선호한 공정계획 2가 선택된다.

단계 7b : (평가자의 목적이 있는 경우)

평가자의 목적은 표 13에 주어진 범주 가중치들을 가진 공정계획을 선택하는 것이다. 이때 목적값 -0.007은 (3.6)으로부터 얻어진다. 다섯명의 공정계획자중에 -0.007과 가장 가까운 목적값을 가지는 공정계획자는 -0.069를 가진 1이다. 그러므로 공정계획자 1이 선호한 공정계획 1이 선택된다.

표 13. 범주들의 상대적인 가중치.
Table 13. Relative weights of categories.

속성	범주	상대적인 가중치
가격	비싼	0
	합리적인	0
	값싼	1
시간	높은	0
	합리적인	1
	낮은	0
품질	높은	0
	합리적인	1
	낮은	0

V. 결론

공정계획은 설계 데이터로부터 생성되며, 사용되는 기계, 작업 흐름, 지그/고정물 뿐만 아니라 다른 생산 변수들을 포함한다. 본 논문에서는 적합한 공정계획의 선택시 경제적인 측면을 고려한 공정계획 선택 알고리즘을 제안하였다. 공정계획의 수립시 공정계획자의 지식과 경험은 대부분 주관적이며, 같은 공정계획자 조차도 이의 반복시 다른 조건과 자원들을 고려하기 때문에 많은 다른 공정계획들이 만들어진다. 공정계획 선택 문제는 복잡한 문제이며, 다속성 의사결정(MADM) 문제로써 정의된다. 생산 변수들의 선택시 사용되는 정보는 주관적이며 불확실하고 때때로 부정확하다. 이러한 정보를 다루기 위해 수정된 퍼지 정량화 이론(FQT)이 속성 가중치들을 처리하도록 제안되었으며, 공정계획 의사결정(MADM) 방법에 의한 공정계획 선택 과정이 공정계획 선택 문제에 적용하였다.

본 논문은 하나의 부품이 주어졌을 때 생성된 공정계획들을 비교하여 하나의 공정계획을 선택하는 공정계획 선택 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 선택하기 위한 연구가 진행되고 있다.

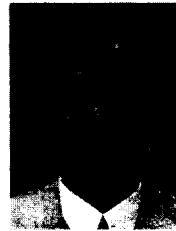
참고문헌

- [1] E. Teicholz and J. Orr, *Computer Integrated Manufacturing Handbook*, McGraw-Hill, New York, 1987.
- [2] T. C. Chang, *Expert Process Planning for Manufacturing*, Addison-Wesley, New York, 1990.
- [3] C. Hayashi, "On the quantification of qualitative data from the matnematico-statistical point of view," *Annals of the Institute of Statistics and Mathematics*, no. 2, pp. 35-47, 1950.
- [4] Y. Tanaka, "An application of methods of quantification to analyze the effects of quantitative factors," *Recent developments in Statistical Inference and Data Analysis*, North-Holland, pp. 287-299, 1980.
- [5] T. Terano, K. Asai and M. Sugeno, *Fuzzy Systems theory and Its Applications*, Academic Press, San Diego, 1992.

- [6] J. Watada, H. Tanaka and K. Asai, "Analysis of purchasing factors by using fuzzy quantification theory type II," *The Japanese Journal of Behaviormetrics*, vol. 11, pp. 66-73, 1984.
- [7] A. B. Badiru, *Expert Systems Applications in Engineering and Manufacturing*, Prentice-Hall, New Jersey, 1992.
- [8] N. Singh and B. K. Mohanty, "A fuzzy approach to multi-objective routing problem with applications to process planning in manufacturing," *International Journal of Production Research*, vol. 29, pp. 1161-1170, 1991.
- [9] F. Choobineh and M. Shivani, "A multiattribute model for process plans selection using fuzzy logic," *Robotics and Manufacturing*, vol. 1, pp. 627-630, 1992.
- [10] J. T. Black, "Cellular manufacturing systems reduce setup time, make small lot production economical," *Industrial Engineering*, pp. 36-48, November, 1983.
- [11] J. L. Burbidge, "Production flow analysis for planning group technology," *Journal of Operations Management*, vol. 10, pp. 5-27, 1991.
- [12] F. Choobineh, "A framework for the design of cellular manufacturing systems," *International Journal of Production Research*, vol. 26, pp. 1161-1172, 1988.

임 준 우

1962년생. 1985년 2월 아주대 산업공학과(공학사). 1987년 2월 아주대 산업공학과(공학석사). 1995년 2월 휴스턴 주립대 산업공학과(공학박사). 1995년 ~ 현재, LG생산기술원 책임연구원. 관심분야는 Cellular manufacturing.



이 노 성

1963년 7월 16일생. 1985년 2월 연세대 전기공학과(공학사). 1987년 2월 연세대 전기공학과(공학석사). 1993년 8월 연세대 전기공학과(공학박사). 1993년 ~ 1995년 LG생산기술원 선임연구원. 1996년 ~ 현재 특허청 심사관. 관심분야는

생산시스템 설계, FMC.