

쾌속조형공정 선정을 위한 지원 시스템

변홍석*(광주과학기술원 대학원 기전공학과), 이관행(광주과학기술원 기전공학과)

A Decision Support System for the Selection of a Rapid Prototyping Process

Hong-Seok Byun and Kwan H. Lee(Dept. of Mechatronics, K-JIST)

ABSTRACT

This paper presents a methodology to be able to select an appropriate RP system that suits the end use of a part. Evaluation factors used in process selection include major attributes such as accuracy, roughness, strength, elongation, part cost and build time that greatly affect the performance of RP systems. Crisp values such as accuracy and surface roughness are obtained with a new test part developed. The test part is designed with conjoint analysis to reflect users' preference. The part cost and build time that have approximate ranges due to cost and many variable parameters are presented by linguistic values that can be described with triangular fuzzy numbers. Based on the evaluation values obtained, an appropriate RP process for a specific part application is selected by using the modified TOPSIS(Technique of Order Preference by Similarity to Ideal Solution) method. It uses crisp data as well as linguistic variables, and each weight on the alternatives is assigned by using pair-wise comparison matrix. The ranking order helps the decision making of the selection of RP systems.

Key Words : Test part(테스트 파트), Rapid prototyping process selection(쾌속조형 공정 선정), Multiple attribute decision making(다요소 의사결정), Modified TOPSIS method(수정된 톱시스 방법)

1. 서론

쾌속조형 공정은 솔리드 모델러나 CAD 서피스(surface)에서 모델링된 모델을 묘사하는 STL 파일로부터 시작한다. RP 모델은 캐스팅 또는 몰딩을 위한 패턴(pattern) 제작, form/fit, 기능성 테스트, 디자인 검증, 가시화 및 상호의견 교환을 위해 사용될 수 있다[1]. 최근에 이런 RP 공정의 고속 성장과 확산으로 인해, 사용자가 원하는 요구를 만족시키는 적절한 쾌속조형 공정 선정하는 것이 중요한 부분이 되었다. 그러나, 실제적으로 쾌속조형을 소유한 사용자나 공정 경험을 가진 사용자일지라도 적합한 쾌속조형공정을 선정하는 것이 매우 어렵다. 왜냐하면, 공정 선정 문제는 많은 요소에 의존할 뿐만 아니라, 각 시스템은 그들만의 강점, 장점, 유효성 및 제한성을 가지고 있기 때문이다. 이것은 현실적으로 공정 선정 문제는 이러한 복합적인 요소로서 이루어져 있기 때문에 종래 방법으로는 적절한 쾌속조형 시스템을 선정하는 데 매우 어려움이 있다.

따라서, 사용자가 원하는 요구를 만족시킬 수 있는 최적 공정을 선정할 수 있는 툴이 디자이너나 시제품 제작자한테는 매우 중요하다[2]. 그렇지만, 컴퓨터를 기반으로 하는 쾌속조형 시스템 선정 프로그램을 개발하는 연구가 아직까지 미흡한 실정이다.

본 연구에서는 요소(criterion)가 선호도를 포함하는 불확실성(imprecise) 값과 크리스프(crisp) 값 모두를 포함하더라도 적절한 쾌속조형 시스템을 선정할 수 있는 방법론을 다룬다. 이를 위해, 쾌속조형 시스템 선정을 위한 효율적인 방법으로 다요소 의사결정기법(MADM)중의 하나이고, 대안들에 대해서 순위를 매길 수 있는 TOPSIS 방법을 채택한다. 또한, 쾌속조형 시스템의 성능 평가를 할 수 있는 테스트 파트를 컨조인트 분석(conjoint analysis)을 사용하여 고안하였다.

2. 다요소 의사결정

2.1 퍼지 다요소 의사결정

다요소 의사결정기법은 의사결정자가 유한의 대안에서 가장 좋은 대안을 선택할 수 있도록 도움을 준다. 그런데, 이 종래의 기법은, 주어진 요소에 대해서 대안들이 불확실하거나 주어진 요소 자체가 주관적인 특징을 가지고 있으면, 해석하기가 매우 힘들다. 따라서, 이런 어려움을 해결하기 위해서 본 연구는 퍼지 집합 이론을 사용하여 쉽게 대안을 선택할 수 있도록 하였다.

2.1.1 퍼지 집합 이론의 응용

‘퍼지’ 단어는 Zadeh 에 의해 처음으로 소개되었다. 퍼지이론은 수학적인 언어의 유용성에 한계를 해결할 수 있는 좋은 해를 제공한다[3].

\mathbf{R} 를 만족하는 퍼지숫자를 볼록(convex)하고 정규(normal)인 전체 집합 \mathbf{X} 의 퍼지 부분집합이라고 하면, 퍼지 집합은 멤버쉽 함수에 의해 표현된다. Fig.1 은 삼각퍼지숫자(triangular fuzzy number, TFN)를 나타낸다[5].

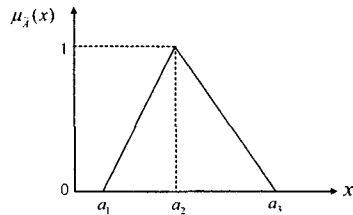


Fig.1 Triangular fuzzy number(TFN)

본 연구에서는 주어진 요소에 대해 대안들이 애매하고 주관적인 정보로 포함하고 있다면, 언어적 값을 가진 언어적 변수가 주관적인 요소의 등급(ratings)을 위해 사용된다. 이들 언어적 값은 위에 언급한 삼각 멤버쉽 함수를 가진 퍼지숫자로서 표현될 수 있다. 언어적 변수는 Table 1 에서 보여주고 있다

Table 1 Linguistic variables for the ratings of qualitative criteria

Terms of linguistic variable	Fuzzy number
Very-very low(VVL)	$A_1 = (0, 0, 1/8)$
Very low(VL)	$A_2 = (0, 1/8, 2/8)$
Low(L)	$A_3 = (1/8, 2/8, 3/8)$
Slightly low(SL)	$A_4 = (2/8, 3/8, 4/8)$
Medium(M)	$A_5 = (3/8, 4/8, 5/8)$
Slightly high(SH)	$A_6 = (4/8, 5/8, 6/8)$
High(H)	$A_7 = (5/8, 6/8, 7/8)$
Very high(VH)	$A_8 = (6/8, 7/8, 1)$
Very-very high(VVH)	$A_9 = (7/8, 1, 1)$

2.2 수정된 TOPSIS 방법

TOPSIS 방법은 최종적으로 선택된 대안이 이상해로부터 가장 짧은 거리에 있고 부이상해로부터는 가장 먼 거리에 있어야 한다는 개념을 고려한다. TOPSIS 방법의 절차는 여러 문헌에서 찾아볼 수 있다[4,5]. 그런데, 기존 방법은 획득한 수치값에만 의존하여 계산되므로 퍼지수(fuzzy number)를 포함하는 경우에는 접근방법이 수정되어야 한다. 즉, 기수(cardinal number)를 포함하면서 퍼지환경으로 확장된다면, 의사결정행렬은 아래의 식으로 표현될 수 있다.

$$D = \begin{bmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1(k-1)} & \tilde{x}_{1k} & \cdots & \tilde{x}_{1n} \\ x_{21} & \cdots & x_{2(k-2)} & \tilde{x}_{2k} & \cdots & \tilde{x}_{2n} \\ \vdots & \cdots & \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ x_{m1} & \cdots & x_{m(k-1)} & \tilde{x}_{mk} & \cdots & \tilde{x}_{mn} \end{bmatrix} \quad (3)$$

계산의 편의성을 위해, $x_{i1}, \dots, x_{i(k-1)}$ ($i = 1, \dots, m$) 는 기수이고 $\tilde{x}_{ik}, \dots, \tilde{x}_{in}$ ($i = 1, \dots, m$) 는 퍼지수라고 가정하자. 언어적 변수, \tilde{x}_{ij} 은 삼각퍼지수 (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij}) 이다. 그러면, 기존 방법은 아래와 같이 일곱 단계로 수정될 수 있다.

단계 1: 정규화된 의사결정행렬을 구한다. 벡터 정규화가 r_{ij} 와 \tilde{r}_{ij} 을 계산하기 위해서 사용한다.

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}}, \quad i = 1, \dots, m; \quad j = 1, \dots, k-1 \quad (4)$$

$$\tilde{r}_{ij} = \left(\frac{a_{ij}}{e_j}, \frac{b_{ij}}{e_j}, \frac{c_{ij}}{e_j} \right), \quad i = 1, \dots, m; \quad j = k, \dots, n \quad (5)$$

여기서, $e_j = \sqrt{\sum_{i=1}^m c_{ij}^2}$ 이다.

단계 2: 가중치가 부여된 정규화된 의사결정행렬을 구한다 $\mathbf{V} = [v_{ij}, \tilde{v}_{ij}]_{m \times n}$:

$$v_{ij} = w_j r_{ij}, \quad i = 1, \dots, m; \quad j = 1, \dots, k-1 \quad (6)$$

$$\tilde{v}_{ij} = w_j \tilde{r}_{ij}, \quad i = 1, \dots, m; \quad j = k, \dots, n \quad (7)$$

w_j 는 j 번째 요소의 가중치고 $\sum_{j=1}^n w_j$ 은 1 이다.

단계 3: 퍼지수를 디퍼지화한다. 각 퍼지수는 중심법(centroid method)에 의해서 디퍼지화(defuzzify) 된다. 삼각퍼지수 $\tilde{v} = (v_a, v_b, v_c)$ 에 대해, 디퍼지화된 중심값은 다음식에서 얻을 수 있다.

$$\bar{v} = \frac{\int v\mu(v)dv}{\int \mu(v)dv} = \frac{1}{3}(v_a + v_b + v_c) \quad (8)$$

단계 4: 이상해와 부이상해를 결정한다. A^* 와 A^- 은 아래의 식으로 정의한다.

$$A^* = (v_1^*, v_2^*, \dots, v_{k-1}^*, \tilde{v}_k^*, \tilde{v}_{k+1}^*, \dots, \tilde{v}_n^*) \quad (9)$$

$$A^- = (v_1^-, v_2^-, \dots, v_{k-1}^-, \tilde{v}_k^-, \tilde{v}_{k+1}^-, \dots, \tilde{v}_n^-) \quad (10)$$

여기서, v_j^* ($j=1, 2, \dots, k-1$)은 $(\max_i v_{ij} | j \in J)$ 이거나

$(\min_i v_{ij} | j \in J')$, $i=1, 2, \dots, m$ 이고, v_j^- ($j=1, 2, \dots,$

$k-1$)은 $(\min_i v_{ij} | j \in J)$ 이거나 $(\max_i v_{ij} | j \in J')$, $i=1, 2, \dots, m$ 이다.

\tilde{v}_j^* ($j=k, k+1, \dots, n$)은 중심법(centroid method)에 의해 디퍼지화(defuzzification)된 모든 대안들의 중심값(centroid value)사이에서 가장 큰 값을 나타내는 퍼지수를 의미한다. \tilde{v}_j^- ($j=k, k+1, \dots, n$)은 이들 값 중에서 가장 작은 값을 나타내는 퍼지수를 의미한다. 여기서,

$J = \{j=1, 2, \dots, n | j \text{ 는 이익과 관련된 요소}\}$

$J' = \{j=1, 2, \dots, n | j \text{ 는 비용과 관련된 요소}\}$ 이다.

단계 5: 구간척도(separation measure)를 계산한다. n -차원 유클리디언 거리는 대안들 사이의 척도를 계산한다.

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^{k-1} (v_{ij} - v_j^*)^2 + \sum_{j=k}^n (\tilde{v}_{ij} - \tilde{v}_j^*)^2}, \quad i=1, 2, \dots, m \quad (11)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^{k-1} (v_{ij} - v_j^-)^2 + \sum_{j=k}^n (\tilde{v}_{ij} - \tilde{v}_j^-)^2}, \quad i=1, 2, \dots, m \quad (12)$$

단계 6: 이상해로부터의 상대적 근접도(relative closeness)를 계산한다. 대안 A_i 의 이상적 해 A^* 에 대한 근접도 C_i^* 는 다음과 같다.

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^+ + S_i^-}, \quad i=1, 2, \dots, m \quad (13)$$

대안 A_i 가 A^* 에 가까워지면 C_i^* 는 1에 접근하고 대안 A_i 가 A^- 에 가까워지면 C_i^* 는 0에 접근하게 된다.

단계 7: 선호순위를 결정한다. C_i^* 의 크기에 따라 선호순서를 정하는데, C_i^* 가 큰 대안이 더 좋은 대안이다.

2.3 가중치 결정

주요 요소에 대한 각 가중치는 요소의 상대적 중요도에 따라서 주어진다. 요소의 상대적 중요도의 평가는 다기준 의사결정(MCDM)에 널리 사용되

는 계층화기법(analytic hierarchy process)의 일대비교 행렬(pair-wise comparison matrix)의 판단행렬(judgment matrix)에 의해서 유도된다. 행렬 A 의 요소 a_{ij} 라고 하면 각 행은 다음식에 의해 결정된다 [6].

$$w_i = (\prod_{j=1}^n a_{ij})^{1/n}, \quad i=1, 2, \dots, n. \quad (15)$$

3. 테스트 파트 설계

3.1 컨조인트 분석

컨조인트 분석은 어떤 제품이 갖고 있는 속성 하나하나에 고객이 부여하는 효용(utility)을 추정함으로써, 그 고객이 어떠한 제품을 선택할지를 예측하기 위한 기법이다[7]. 해석에 포함될 수준과 속성은 Table 2에 보여주고 있다. 3개의 속성에 3개의 수준이 있으므로 factorial design에 의해서 27장의 카드가 생성된다. 그러나, 이들 모든 카드를 응답자가 그들의 선호도에 따라서 카드를 배열하는 것이 매우 어렵고 혼란스럽다. 이런 문제점을 피하기 위해서 fractional factorial design을 사용하여 카드의 숫자를 13장으로 줄였다. Bretton-Clark's Designer을 사용하여 main profile 카드를 9장으로 하고 hold-out profile 카드가 4장으로 디자인하였다.

Table 2. Levels and attributes of the test part for conjoint analysis

Level	Attribute		
	Part size(mm)	Feature type	Feature size(mm)
1	100x100x20	Freeform	Less than 20
2	200x200x40	Primitive	20~40
3	300x300x60	Both	Larger than 40

설문지를 사용하여 획득한 데이터의 해석결과를 토대로 설계된 테스트 파트가 Fig.2에 보여진다.

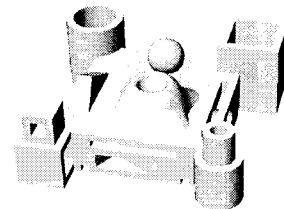


Fig.2 Test part

4. 선정 예

6개의 주요 폐쇄조형시스템을 비교하는 예가 수정된 TOPSIS 기법을 활용하여 수행되었다. 여섯

개의 주요 요소 즉, 정밀도(A), 표면거칠기(S), 인장강도(T), 연신률(E), 파트 가격(C), 제작시간(B)이 폐속조형시스템 선정을 위한 평가기준으로서 이용된다. 파트 가격과 제작 시간은 정확한 수치값을 계산하기 힘들고 성가신 많은 노력이 요구된다. 따라서, 이들 두 요소에 대한 값은 언어적 변수로 바꾸어 계산된다. Table 3은 주요 요소에 대한 모든 폐속조형시스템의 언어적 변수 및 수치값을 포함하는 등급을 보여주고 있다.

Table 3. The ratings of major RP systems

	A	S	T	E	C	B
SLA3500	120	6.5	65	5	VH	M
SLS2500	150	12.5	40	8.5	VH	M
FDM8000	125	21	30	10	H	VH
LOM1015	185	20	25	10	SH	SL
Quadra	95	3.5	30	6	VH	SL
Z402	600	15.5	5	1	VVL	VL

수정된 TOPSIS 방법을 적용하기 위해서, Table 3의 의사결정 행렬을 식(4)와 식(5)에 의해서 정규화된 다음, 이 퍼지수를 포함하는 정규화된 의사결정 행렬은 각 요소에 일치하는 가중치를 곱하여 가중치가 부여된 의사결정행렬로 변환된다. 그러면, 이상해와 부이상해로부터의 구간 측정이 계산되고, 최종적으로, 각 시스템들의 상대적 근접도를 얻는다. Table 4은 상대적 근접도와 그 값에 따른 순위를 보여주고 있다.

Table 4. The rank of RP systems according to closeness coefficient

	w_A		w_B	
	C_i^*	rank	C_i^*	rank
SLA3500	0.4516	4	0.8353	2
SLS2500	0.4250	5	0.7060	3
FDM8000	0.3009	6	0.5799	4
LOM1015	0.5686	2	0.5552	5
Quadra	0.5039	3	0.8427	1
Z402	0.6640	1	0.1721	6

Table 4로부터 부여한 가중치에 따른 각 폐속조형시스템의 순위를 확인할 수 있다. 파트가격과 제작시간에 더 많은 중요도를 둔 가중치 $w_A=(0.1113, 101113, 0.0634, 0.0634, 0.3253, 0.3253)$ 를 부여하였을 때 Z402 이 가장 높은 값을 나타냈으며 다음으로 LOM1015, Quadra 순으로 나타났다. 따라서, 부여된 가중치에 대하여 가장 좋은 대안은 Z402 가 될 것이다. 마찬가지로, 정밀도와 표면거칠기에 상대적 중요도를 많이 둔 가중치 $w_B=(0.319, 0.319, 0.129, 0.129, 0.052, 0.052)$ 를 적용했을 때 Quadra 가 가장 높은 값을 보였고, 두번째는 SLA3500, SLS2500 순으로 나타났다. 이로부터 가중치에 따라서 시스템의

순위가 바뀌는 것을 알 수 있다.

5. 결론

본 연구는 다중의 요소가 크리스프 데이터 및 불확실성 모두를 포함할 때 파트의 응용목적에 적합한 가장 좋은 폐속조형시스템을 선정하는 방법론을 제시하였다. 또한, 컨조인터 분석을 사용하여 테스트 파트가 설계되었다. 정확한 데이터 획득이 어려운 파트 가격과 제작시간의 경우는 멤버쉽 함수로 표현된 퍼지수로서 처리되는 언어적 변수를 사용하였다. 이들 양적인 데이터와 질적 데이터를 포함하는 요소의 해석을 위해서 수정된 TOPSIS 방법을 제안하였다. 이 방법은 기수와 퍼지수를 쉽게 다룰 수 있고 계산이 단순하여 대안들 사이의 순위를 쉽게 매길 수 있다. 이들 순위는 폐속조형 시스템에 경험이 없는 사람이나 경험이 있다고 할지라도 요소가 많아 적합한 시스템을 결정하기 힘든 경우에 효과적인 의사결정정보를 제공할 수 있을 것이다.

후 기

본 연구는 국가중점개발사업의 일환으로 수행된 것이며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

1. R.E. Williams, S.N. Komaragiri, V.L. Melton and R.R. Bishu, Investigation of the effect of various build methods on the performance of rapid prototyping(Stereolithography), Journal of Material Processing Technology, Vol.61, No.1, pp.173-178, 1996.
2. M.K. Tiwari and Ranjan Banerjee, A decision support system for the selection of a casting process using analytic hierarchy process, Production planning & control, Vol. 12, No. 7, pp.689-694, 2001.
3. Zadeh, L.A., Fuzzy sets, Information and Control 8, pp.338-353, 1965
4. S.J. Chen and C.L. Hwang, Fuzzy Multiple Attribute Decision Making-Methods and Application, Springer-Verlag, New York (1992).
5. 김성희, 의사결정론 - 분석 및 응용, 영지문화사, 1997.
6. Saaty, T.L., Multicriteria Decision Making: The Analytic Hierarchy Process, RWS PWS Publications, Pittsburgh, 1990.
7. 유필화, 현대의 마케팅과학, 법문사, 1997.