

3차원 조형장비 선정을 위한 복합 다요소 의사결정 구조 모델 개발에 관한 연구

변 홍 석[#]

A decision making framework model for the selection of a RP
using hybrid multiple attribute decision making techniques

Hong-Seok Byun[#]

ABSTRACT

The purpose of this study is to provide a decision support to select an appropriate rapid prototyping(RP) machine that suits the application of a part. Selection factors include concept model, form/fit/functional model, pattern model for molding, material property, build time and part cost that greatly affect the performance of RP machines. However, the selection of a RP is not an easy decision because they are uncertain and vague. For this reason, the aim of this research is to propose hybrid multiple attribute decision making approaches to effectively evaluate RP machines. In addition, because subjective considerations are relevant to selection decision, a fuzzy logic approach is adopted. The proposed selection procedure consists of several steps. First, we identify RP machines that the users consider. After constructing the evaluation criteria, we calculate the weights of the criteria by applying the fuzzy Analytic Hierarchy Process(AHP) method. Finally, we construct the fuzzy Technique of Order Preference by Similarity to Ideal Solution(TOPSIS) method to achieve the ranking order of all machines providing the decision information for the selection of RP machines.

Key Words : Rapid Prototyping Machine(3차원 조형장비), Fuzzy AHP(퍼지 계층화기법), Fuzzy TOPSIS(퍼지 톱시스), Hybrid Multiple Attribute Decision Making(복합 다요소 의사결정)

1. 서 론

오늘날 제조업자들은 짧은 제품 개발 기간에 수요자의 기호에 따라 다양한 제품 모델을 제공하기 위해서 막대한 노력을 아끼지 않고 있다.

시장의 성장은 개발기간의 단축뿐만 아니라 제품의 수명 사이클을 더 짧아지게 하고 있으며 초기 개념, 즉 아이디어부터 대량 생산 제품까지 빠르게 제품을 생산하도록 요구하고 있다.

그래서 시작품의 설계 및 개발의 동시공학적 추구가 가능하고, 소요 비용 및 개발 기간을 획기적으로 단축함으로써 제품의 다양성, 납기 등과 같은 시장의 요구를 만족시키고, 제품 적응력을 제고할 수 있는

[#] 교신저자 : 울산과학기술대학교 디지털기계학부
E-mail : hsbyun@mail.uc.ac.kr

새로운 쾌속시작품 제작 기술인 3차원 조형기술이 도입되었다^[1-3].

이 공정은 1987년 3D Systems사에서 처음으로 상용화 되어, 주로 자동차 산업, 가전제품 및 항공산업 등과 관련된 제조 산업에서 시작품 개발에 드는 비용 및 시간을 감소시키기 위해 사용되고 있다.

일반적으로, 이 공정은 솔리드 모델러나 곡면 모델러에서 모델링된 모델을 묘사하는 STL파일로부터 시작한다. 3차원 조형 모델은 캐스팅 또는 몰딩을 위한 패턴(pattern) 제작, 형상/끼워맞춤, 기능성 시험, 디자인 검증, 가시화 및 상호의견 교환을 위해 사용될 수 있다^[4]. 최근에 이런 3차원 조형장비의 확산으로 인해, 사용자가 요구를 만족시키는 적절한 3차원 조형장비를 선정하는 것이 중요한 부분이 되었다. 그러나 실제적으로 3차원 조형장비를 소유한 사용자나 경험을 가진 운용자라할지라도 적합한 3차원 조형장비를 선정하는 것이 매우 어렵다. 왜냐하면, 전 세계적으로 많은 3차원 조형장비가 개발되었고, 장비 선정 문제는 다양한 요인에 의존하기 때문이다. 게다가, 각 장비는 그들만의 강점, 장점, 유효성 및 제한성을 가지고 있기 때문이다. 이것은 종래의 통계적 기법만으로 쉽게 결정될 수 없는 복잡한 문제이다.

적절한 장비 선정을 위해서는 파트 품질, 재료 특성, 제작비용, 작업공간, 제작시간 등 사이에 상호작용을 충분히 이해해야 한다. 그러므로 사용자가 원하는 요구를 만족시킬 수 있는 최적 장비를 선정할 수 있는 툴이 디자이너나 시작품 제작자한테는 매우 중요할 것이다. 그러나 아직까지 이와 같이 3차원 조형 장비 선정을 위한 연구 개발은 미흡한 실정이다.

현실적으로 장비 선정 문제는 복합적인 요소로서 이루어져 있기 때문에 적절한 장비를 선정하는 데 매우 어려움이 있다. 설령, 수학적인 계산식으로 표현 되더라도 많은 공정변수들 때문에 정확한 데이터를 획득하기가 어려우므로 이런 불확실성이 포함된 요소에 대해서 오히려 퍼지 숫자를 이용하면 간단하게 해결될 수 있다.

본 연구에서는 요소가 선호도를 포함하는 불확실성 값과 크리스프(crisp) 값 모두를 포함하더라도 적절한 3차원 조형장비를 선정할 수 있는 방법론을 개발한다. 그리고 3차원 조형장비 선정을 위한 효율적인 방법으로 복합 다요소 의사결정기법을 제안한다.

따라서 3차원 조형장비 선정을 위한 의사 결정 지원 시스템으로는 효율적이고 단순한 기법이고, 대안들에 대해서 순위를 매길 수 있는 톱시스 방법이 채택된다. 이를 통해, 주어진 파트에 대해 3차원 조형장비 선정에 요구되는 기술적인 어려움이나 경제적인 비용 등이 감소될 수 있을 것이다.

2. 의사결정 구조

2.1 퍼지 이론

'퍼지' 단어는 Zadeh에 의해 처음으로 소개되었다^[5]. 퍼지이론은 애매한 개념적 현상이 정확하고 정밀하게 연구될 수 있도록 엄격한 수학적 구성을 제공한다. 이것은 퍼지관계, 기준, 현상이 존재하는 상황에 적합한 모델링 언어(modeling language)로서 고려될 수 있다. 따라서 퍼지이론 수학적인 언어의 유용성에 한계를 해결할 수 있는 좋은 해를 제공한다.

실수 R을 만족하는 퍼지 숫자를 볼록(convex)하고 정규인 전체 집합 X의 퍼지 부분집합이라고 하면, 퍼지 집합은 멤버쉽 함수에 의해 표현된다. 만약, 퍼지 집합이 Fig.1에 보여주는 삼각퍼지수(triangular fuzzy number)로 표현된다면, 그 멤버쉽 함수는 다음과 같이 정의된다^[6].

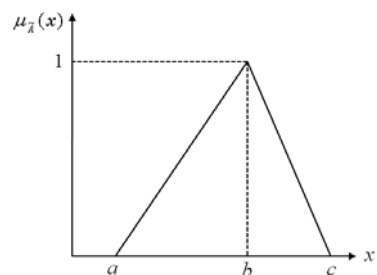


Fig.1 Triangular fuzzy number(TFN)

$$\forall x, a, b, c \in R: \quad (1)$$

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} 0, & x < a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x < b \\ \frac{c-x}{c-b}, & b \leq x < c \\ 0, & x > c \end{cases}$$

이 개념은 퍼지수에 대한 산술 연산을 위해 유용하다. 이 기호로 퍼지수에 대한 산술 연산식을 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$(a_1, b_1, c_1)(+)(a_2, b_2, c_2) = (a_1 + a_2, b_1 + b_2, c_1 + c_2) \quad (2)$$

$$(a_1, b_1, c_1)(-)(a_2, b_2, c_2) = (a_1 - a_2, b_1 - b_2, c_1 - c_2) \quad (3)$$

$$(a_1, b_1, c_1)(\times)(a_2, b_2, c_2) = (a_1 \times a_2, b_1 \times b_2, c_1 \times c_2) \quad (4)$$

$$(a_1, b_1, c_1)(\div)(a_2, b_2, c_2) = (a_1 \div a_2, b_1 \div b_2, c_1 \div a_2) \quad (5)$$

$$(a_1, b_1, c_1)^{-1} = (1/c_1, 1/b_1, 1/a_1) \quad (6)$$

$$k \times (a_1, b_1, c_1) = (ka_1, kb_1, kc_1) \quad (7)$$

Chen^[7]에 제기된 Vertex 방법을 사용하여, 퍼지수 (a_1, b_1, c_1) 와 (a_2, b_2, c_2) 사이의 거리는 아래와 같이 계산할 수 있다.

$$d(\tilde{A}_1, \tilde{A}_2) = \sqrt{\frac{1}{3}[(a_1 - a_2)^2 + (b_1 - b_2)^2 + (c_1 - c_2)^2]} \quad (8)$$

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)	$A_9 = (7/8, 1, 1)$

주어진 주요 요소에 대해 대안들이 애매모호하고 주관적인 정보를 포함하고 있고, 정확한 수를 획득할 수 없으므로, 실제 이것은 어렵고 비용이 많이 들므로 언어적 값을 가진 언어적 변수가 주관적인 요소의 평가를 위해 사용된다. 이들 언어적 값은 위에 언급한 삼각 멤버십 함수를 가진 퍼지수로서 표현될 수

있다.

2.2 평가 기준

3차원 조형장비 선정은 많은 요소에 의존하며 복합적으로 얽혀져 있다. 본 연구에 사용된 평가 기준(요소)은 두 가지 레벨로 나누어진다. 첫 번째 레벨에서는 사용자가 시작품의 사용목적과 성능변수 중에서 중요도를 평가한다. 시작품의 사용목적의 아래에는 개념 모델(C₁₁), 형상/끼워 맞춤 및 기능성 모델(C₁₂) 및 물딩을 위한 패턴 모델(C₁₃)을 포함하고, 성능변수 부분에서는 시작품의 정밀도(C₂₁), 표면 거칠기(C₂₂), 재료의 인장 강도(C₂₃), 제작시간(C₂₄), 제작비용(C₂₅)을 포함한다. 이들 요소는 3차원 조형장비가 시작품을 제작할 때 가장 중요한 요소들로서 사용자의 요구사항을 충분히 반영할 수 있으며 이것들만으로도 장비 선정에 충분한 정보를 제공할 수 있다. 장비 선정의 계층화 구조가 Fig.2에 보여주고 있다. 제안된 의사결정 방법이 이 문제를 해결하기 위해서 적용된다.

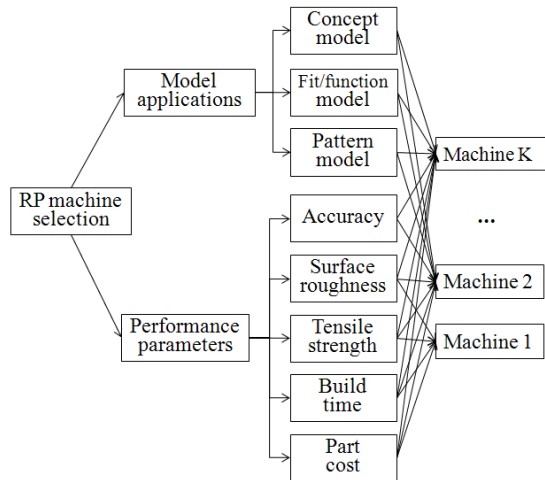


Fig. 2 The criteria for RP machine selection

요소들은 주관적이 정보를 포함하고 있으며 애매모호한 특성을 나타내고 있다. 비록 정밀도, 거칠기 및 강도는 측정을 통해 수치 값을 획득할 수 있지만, 정밀도의 경우는 공정변수와 각 방향에 따라 정밀도가 다르고, 거칠기 경우 경사각 및 방향에 따라 다르

며, 강도 또한 제작 방향 및 소재의 특성에 따라 달라진다. 이들 데이터를 얻기 위해서는 시작품 제작 후 번거로운 측정 및 시험 작업이 이루어진다. 그러나 이를 통해 정확한 데이터를 획득하기가 힘들고, 대략적인 범위만이 제시된다. 제작비용 및 제작 시간의 경우에는 실제로 용역업체 마다 인건비가 다르고 장비마다 많은 공정변수가 있어서 정확한 수치 값을 계산하는 것이 힘들고 게다가 성가신 많은 노력이 요구된다. 따라서 평가 기준의 요소에 대한 값은 삼각 퍼지수를 가진 언어적 변수로 획득한다. 이러한 변수는 대략적인 범위로부터 언어적 값으로 표현될 수 있다.

2.3 퍼지 계층화 기법

계층화기법(AHP)^[8]은 여러 분야에서 비구조적인 문제를 모델링하기 위해 광범위하게 사용되는 다기준 의사결정 해석 도구의 하나이다. 이 기법은 평가 기준이 완전하게 계층적 구조로 표현될 때 가능하다. 의사결정자로부터 획득한 데이터는 각 기준에 대하여 다른 기준들에 대한 우선순위 정도, 즉 상대적인 중요도를 나타내는 일대(pairwise) 비교이다. 종래의 계층화 기법에서 일대 비교는 비율 등급을 사용하여 주어진다. 그러나 이것은 단순하고 사용이 용이하다고 할지라도, 사용자의 판단 또는 인지 등의 불확실성을 고려하지 못한다. 실제 의사 결정과정에서는 사람의 경험이나 주관적인 판단으로부터 애매함과 불확실성을 다루기 위해서는, 퍼지 계층화기법이 적용되어야 한다.

본 연구에서는 계산의 단순성 및 유효성 때문에 퍼지 계층화기법에 대해 개선된 Chang^[9]의 범위(Extent) 해석 방법을 적용한다. 이 방법에서 범위는 삼각퍼지수를 사용하여 정량화된다. 각 대상의 범위 해석을 위해 퍼지 값을 기초로 하여 퍼지 종합 범위 값이 획득될 수 있으며, 다음과 같이 정의된다.

$X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ 은 대상 집합이고, $U = \{u_1, u_2, \dots, u_m\}$ 은 목표 집합이라고 하자. 그러면, 각 대상에 대한 m 범위 해석 값은 다음과 같이 획득된다.

$$M_{g_i}^1, M_{g_i}^2, \dots, M_{g_i}^m, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (9)$$

여기서, 모든 $M_{g_i}^j (j = 1, 2, \dots, m)$ 은 삼각퍼지수이다.

이 연구에 적용된 개선된 범위 해석 모델의 절차는 다음과 같이 주어진다.

절차 1: i-번째 대상에 관하여 퍼지 종합 범위의 값을 계산한다. 그 값은 아래와 같이 정의된다.

$$S_i = \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \left[\sum_{l=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_l}^j \right]^{-1} \quad (10)$$

$\sum_{j=1}^m M_{g_i}^j$ 을 획득하기 위해 퍼지 더하기 연산을 수행하고 그 값은 다음과 같다

$$\sum_{j=1}^m M_{g_i}^j = \left(\sum_{j=1}^m l_j, \sum_{j=1}^m m_j, \sum_{j=1}^m u_j \right) \quad (11)$$

그리고 $\left[\sum_{l=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_l}^j \right]^{-1}$ 을 획득하기 위해 $M_{g_l}^j (j = 1, 2, \dots, m)$ 의 값의 퍼지 더하기 연산을 수행하고, 벡터의 역을 계산함으로써 획득할 수 있다.

$$\left[\sum_{l=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_l}^j \right]^{-1} = \left(1 / \sum_{i=1}^n u_i, 1 / \sum_{i=1}^n m_i, 1 / \sum_{i=1}^n l_i \right) \quad (12)$$

절차 2: $M_2 \geq M_1$ 의 가능성 정도를 계산한다. 정의는 다음과 같다.

$$V(M_2 \geq M_1) = \sup_{y \geq x} [\min(\mu_{M_1}(x), \mu_{M_2}(y))] \quad (13)$$

$M_1 = (l_1, m_1, u_1)$ 와 $M_2 = (l_2, m_2, u_2)$ 이 퍼지수(블록)이면,

$$V(M_2 \geq M_1) = hgt(M_1 \cap M_2) = \mu_{M_2}(d) \quad (14)$$

$$= \begin{cases} 1 & m_2 \geq m_1 \\ 0 & l_1 \geq u_2 \\ \frac{(l_1 - u_2)}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)} & \text{otherwise} \end{cases}$$

여기서, d는 μ_{M_1} 와 μ_{M_2} 사이의 가장 높은 교점의 세로축이다.

절차 3: k 퍼지수 $M_i (i = 1, 2, \dots, k)$ 보다 더 크게 될 퍼지수에 대한 가능성 정도를 계산한다.

$$V(M \geq M_1, M_2, \dots, M_k) = \min_{i=1,2,\dots,k} V(M \geq M_i), \quad (15)$$

그리고,

$$d'(A_i) = \min V(S_i \geq S_k), k=1,2,\dots,n, k \neq i \text{ 라고}$$

하면, 가중치 벡터는 아래 수식으로 주어진다.

$$W = (d'(A_1), d'(A_2), \dots, d'(A_n))^T, \quad \text{여기서}$$

$A_i (i=1,2,\dots,n)$ 은 n 요소이다.

절차 4: 정규화된 가중치 벡터를 계산한다.

$$W = (d(A_1), d(A_2), \dots, d(A_n))^T \quad (16)$$

여기서, W 는 퍼지수가 아니라, 기수(cardinal number)이다.

2.4 퍼지 톱시스 방법

톱시스는 아주 잘 짜인 논리, 이상해와 부이상해를 동시에 고려할 수 있고, 쉽게 프로그램 가능한 계산 절차에 의해 널리 이용되고 있는 다기준 의사결정 기법이다. 톱시스의 기본 개념은 기하학적으로 보았을 때 여러 가지 대안으로부터 선택된 가장 좋은 최종 대안은 이상해로부터 가장 가깝고 부이상해로부터 가장 먼 거리에 있어야 한다는 것이다^[10-11]. 비록 톱시스는 많은 장점을 가지고 있을지라도, 크리스프(crisp) 수로 표현되는 계량적 요소를 요구한다. 그러나 많은 조건아래에서 크리스프 데이터로 현실적 상황을 설계하기에는 불충분하다. 더 현실적인 접근은 크리스프 값 대신에 언어적 평가를 사용하는 것이 낫다.

문제에서 기준의 등급 및 가중치는 언어적 변수에 의하여 평가된다. 이러한 톱시스 방법은 삼각 퍼지수를 가진 퍼지 환경으로 확장이 가능하다.

만약 여러 부품의 조합으로 이루어진 제품이나 주어진 제품을 제작할 때 적합한 3차원 조형장비를 선정시 기술적 어려움과 경제적 비용은 이 방법을 사용함으로써 감소시킬 수 있다.

퍼지 톱시스 방법의 주요 절차는 다음과 같다.

단계 1: 평가 기준에 관하여 대안들에 대한 적합한 삼각퍼지수, $\tilde{x}_{ij} = (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij})$ 로 묘사되는 언어적 변수를 선택한다.

단계 2: 퍼지 의사결정 행렬을 구성하고, 정규화 의사 결정 행렬, \tilde{R} 을 계산한다.

$$\tilde{R} = [\tilde{r}_{ij}]_{m \times n}$$

$$\tilde{r}_{ij} = \left(\frac{a_{ij}}{e_j^*}, \frac{b_{ij}}{e_j^*}, \frac{c_{ij}}{e_j^*} \right), \quad i=1, \dots, m; \quad j=k, \dots, n \quad (17)$$

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

단계 3: 가중치가 적용된 정규화 퍼지 의사결정 행렬을 구성한다.

각 평가 기준의 다양한 가중치를 고려하여 아래와 같이 가중치가 곱해진 퍼지 의사결정 행렬을 계산한다. 정규화된 퍼지수의 범위는 [0,1]사이에 속한다.

$$\tilde{V} = [\tilde{v}_{ij}]_{m \times n}$$

여기서, $\tilde{v}_{ij} = \tilde{r}_{ij}(\times)w_j$ 이다.

그리고, $W = \{w_j : j=1,2,\dots,n\}$ 는 식(16)에 정의된 정규화된 평가기준 가중치이다.

단계 4: 퍼지 이상해(A^*)와 퍼지 부이상해(A^-)를 계산한다.

가중치가 부여된 퍼지 의사결정으로부터 퍼지 이상해(Positive-ideal solution)와 퍼지 부이상해(Negative-ideal solution)은 아래와 같이 표현된다.

$$A^* = \left(\tilde{v}_1^*, \tilde{v}_2^*, \dots, \tilde{v}_n^* \right) = \left\{ \left(\max_i v_{ij} | j \in J_1 \right), \left(\min_i v_{ij} | j \in J_2 \right) | i=1,2,\dots,m \right\}$$

$$A^- = \left(\tilde{v}_1^-, \tilde{v}_2^-, \dots, \tilde{v}_n^- \right) = \left\{ \left(\min_i v_{ij} | j \in J_1 \right), \left(\max_i v_{ij} | j \in J_2 \right) | i=1,2,\dots,m \right\} \quad (18)$$

단계 5: 퍼지 이상해와 퍼지 부이상해로부터 각 대안들의 구간 척도를 계산한다.

A^* 와 A^- 로부터 각 대안들의 거리, d_i^* 와 d_i^- 는 식 (8)의 Vertex 방법에 의해 아래와 같이 계산된다.

$$d_i^* = \sum_{j=1}^n d(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^*), \quad i = 1, 2, \dots, m$$

$$d_i^- = \sum_{j=1}^n d(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^-), \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (19)$$

단계 6: 각 대안들에 대한 이상해의 근접계수 (Closeness coefficient)를 계산한다.

근접계수는 각 대안들의 순위를 결정하기 위해 아래와 같이 계산된다.

$$CC_i = \frac{d_i^-}{d_i^* + d_i^-}, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (20)$$

단계 7: 근접계수에 의하여, 모든 대안들의 순위를 결정한다.

CC_i 값에 따라서 우선순위를 매기고, 최고점수를 받은 대안을 선택한다.

제안된 퍼지 톱시스 방법을 3차원 조형장비 선정을 위해 적용한다.

3. 제안된 의사결정 구조의 적용

3.1 평가 기준의 가중치 계산

일반적으로, 요소의 가중치는 수치 값으로 주어진다. 그러나 많은 상황아래에서 인간의 판단은 종종 애매모호하므로 정확한 수치 값으로 선호도를 평가할 수 없다. 그러므로 수치 데이터가 실제 환경을 모델링할 때 사용되는 것은 부적합하다. 따라서 언어적 평가의 사용이 더 현실적이고 직관적이라고 할 수 있다. 본 연구에서는 주어진 요소의 가중치는 삼각퍼지 수로서 표현 가능한 언어적 변수를 사용하여 평가된다. 언어적 가중치 집합은 {ALI; VELI; ELI; SLI; EI; SMI; EMI; VEMI; AMI}으로 표현하였으며, Table 2는 각 기준의 중요도의 가중치를 위한 언어적 변수와 그에 상응하는 삼각 퍼지 변화 스케일을 보여준다. 예를 들어, 요소(Element) i 가 어떤 기준 아래에서 요소

j 와 비교하였을 때 ‘매우 더 중요한(EMI)’ 이면, 이것은 $a_{ij} = (3/2, 2, 5/2)$ 로 놓여진다.

Table 2 Triangular fuzzy conversion scale

Linguistic scale	Triangular fuzzy scale	Triangular fuzzy reciprocal scale
Equally importance(EI)	(1/2, 1, 3/2)	(2/3, 1, 2)
Slightly more important(SMI)	(1, 3/2, 2)	(1/2, 2/3, 1)
Extremely more important(EMI)	(3/2, 2, 5/2)	(2/5, 1/2, 2/3)
Very Extremely more important(VEMI)	(2, 5/2, 3)	(1/3, 2/5, 1/2)
Absolutely more important(AMI)	(5/2, 3, 7/2)	(2/7, 1/3, 2/5)

평가 기준의 상대적 중요도인 가중치는 사용자의 요구조건에 따라서 주어질 수 있다. 예로서, 주요 평가 기준의 상대적 중요도를 언어적 스케일로 나타내고, 이에 상응하는 퍼지수를 사용하여, 평가 기준의 퍼지 평가 행렬을 구성한다. 먼저, 레벨 2에서 시작품의 응용목적(C_1)과 성능변수(C_2)간의 평가 행렬을 구성한다. 그 다음 레벨 3에 대해서 평가 행렬을 구성한다. Table 3은 시작품의 응용목적과 성능변수사이의 퍼지 평가 행렬을 나타내고, Table 4는 시작품의 응용목적으로 분류된 개념 모델(C_{11}), 기능모델(C_{12}), 패턴모델(C_{13})사이의 평가행렬을 나타내며, Table 5는 성능변수로 분류된 5가지 항목에 대한 평가행렬을 보여준다.

평가행렬이 구성되면, 앞 절의 2.3 퍼지 계층화 기법을 적용하여 레벨 2와 레벨 3에 대한 평가 가중치 벡터를 각각 계산하고 서로 곱하여 최종적으로 가중치 $W_1=(0.07,0.38,0.24,0.02,0.03,0.11,0.06,0.09)^T$ 를 계산한다.

Table 3 The fuzzy evaluation matrix between model applications and technical data

	MA(C_1)	PP(C_2)
Model applications(MA)	(1,1,1)	(1,3/2,2)
Performance parameters(PP)	(1/2,2/3,1)	(1,1,1)

Table 4 The fuzzy evaluation matrix of model applications criteria

	C ₁₁	C ₁₂	C ₁₃
C ₁₁	(1,1,1)	(2/5,1/2,2/3)	(1/2,2/3,1)
C ₁₂	(3/2,2,5/2)	(1,1,1)	(1,3/2,2)
C ₁₃	(1,3/2,2)	(1/2,2/3,1)	(1,1,1)

Table 5 The fuzzy evaluation matrix of performance parameters criteria

	C ₂₁	C ₂₂	C ₂₃	C ₂₄	C ₂₅
C ₂₁	(1,1,1)	(1/2,1,3/2)	(2/5,1/2,2/3)	(1/2,2/3,1)	(1/2,2/3,1)
C ₂₂	(2/3,1,2)	(1,1,1)	(2/5,1/2,2/3)	(1/2,2/3,1)	(1/2,2/3,1)
C ₂₃	(3/2,2,5/2)	(3/2,2,5/2)	(1,1,1)	(3/2,2,5/2)	(3/2,2,5/2)
C ₂₄	(1,3/2,2)	(1,3/2,2)	(2/5,1/2,2/3)	(1,1,1)	(1/2,1,3/2)
C ₂₅	(1,3/2,2)	(1,3/2,2)	(2/5,1/2,2/3)	(2/3,1,2)	(1,1,1)

3.2 3차원 조형장비 선정

여덟 가지의 주요 요소를 고려하여, 주요 3차원 조형장비를 선정하는데 제안된 복합 다요소 의사 결정 기법을 사용하여 수행되었다. 장비들은 각 기준에 대해 언어적 변수로 등급이 주어진다. 장비들의 등급 데이터는 여러 문헌^[3,12-17]과 용역업체 및 제작업체^[18-22]등에서 제공하는 정보를 통해 획득했다. Table 6은 주요 장비의 언어적 변수를 나타내고 있다. 이렇게 할당된 언어적 등급 변수는 Table 1에 나타낸 일치하는 삼각퍼지수로 변환된다.

Table 6 Decision matrix using fuzzy linguistic variables

	C ₁₁	C ₁₂	C ₁₃	C ₂₁	C ₂₂	C ₂₃	C ₂₄	C ₂₅
SLA	L	SH	VH	H	VH	VH	M	H
SLS	L	VH	SH	SH	H	H	SH	H
FDM	SL	VH	M	SH	M	H	H	SH
LOM	SH	SH	SL	SL	SL	H	SL	M
3DP	VH	L	L	VL	M	VL	L	VL
PJ	L	SH	VH	VH	VH	H	SL	H

Table 6과 같이 언어적 변수로 초기 의사 결정 행렬이 구성되고 삼각 퍼지수로 변환되면, 이를 정규화하여 정규화된 퍼지 의사 결정 행렬을 계산한다. 이 행렬에 퍼지 계층화 기법을 통해 획득한 가중치를 곱하여 가중치가 할당된 정규화 퍼지 의사결정 행렬

을 획득한다.

Table 7은 각 평가기준에 일치하는 가중치를 곱한 가중치 정규화된 퍼지 의사 결정 행렬을 보여준다. 이 의사 결정 행렬로부터 이상해(A*)와 부이상해(A-)를 구한다.

이상해와 부이상해를 구하면, 각 장비 대안들의 구간을 계산한다. 구간의 척도계산은 Vertex 방법을 이용해 거리를 계산하고, 최종적으로 각 대안들은 이상해와 부이상해 사이의 상대적 근접도를 계산하며, 우선순위를 나열한다. 가장 높은 점수를 얻은 대안이 가장 바람직한 대안으로 선정한다.

Table 8은 상대적 근접도와 그 값에 따른 순위를 보여주고 있다. 여덟 요소에 대해 상대적 중요도를 부여한 가중치 W₁에서 우선순위는 FDM(Extrusion) > SLS(Powder sintering) > LOM(Sheet lamination) > SLA(Laser curing) > PJ(Poly-jet) > 3DP(Jet-binder)이며 FDM이 가장 높은 값을 나타냈으며 운용자의 요구사항 즉, 부여된 가중치에 대하여 3차원 조형장비의 가장 좋은 대안은 FDM이 될 것이다.

3차원 조형장비의 우선순위는 요소의 상대적 중요도의 가중치에 따라서 바뀌게 되며, 순위가 매겨진 대안들의 정보는 사용자가 요구조건에 맞는 최적의 장비를 선정할 수 있도록 의사결정 정보를 제공할 수 있을 것이다.

3.3 민감도 해석

요소들에 다양한 가중치 부여함에 따라 3차원 조형장비의 거동을 해석하기 위해서 민감도 해석이 수행되었다. 해석 결과는 Fig. 3에서 보여주고 있다. 해석은 각 요소의 가중치를 다른 요소의 가중치와 상호 교환하여 수행된다.

그러므로 여덟 개의 요소가 28개 조합으로 구성되고, 각 조합은 하나의 조건(condition)으로 해석된다. 각 조건에 대해, 이상해의 근접계수(CC_j)를 계산하여 장비의 우선순위를 결정한다. 계산된 수치 결과를 Fig.3에 도식화 하였는데, 각 요소의 조건대로 가중치를 바꾸면 대안들의 순위가 변동되는 것을 알 수 있다.

그래프를 보면, SLA는 W₁에서 첫 번째 요소 가중치와 네 번째 요소 가중치를 조건 4로 바꾸었을 때 0.529에서 0.571로 가장 높은 값을 가지며, 첫 번째 요소 가중치와 다섯 번째 가중치를 바꾸었을 때 0.197의 가장 낮은 값을 가진다.

Table 7 The weighted normalized fuzzy decision matrix($\times 10^2$)

	C ₁₁	C ₁₂	C ₁₃	C ₂₁	C ₂₂	C ₂₃	C ₂₄	C ₂₅
SLA	(0.6,1.1,1.7)	(9.8,12.2,14.6)	(2.6,3.1,3.5)	(0.9,1.0,1.2)	(1.2,1.4,1.6)	(4.3,5.0,5.7)	(1.4,1.9,2.4)	(3.2,3.9,4.5)
SLS	(0.6,1.1,1.7)	(14.6,17.1,19.5)	(1.8,2.2,2.6)	(0.7,0.9,1.0)	(1.0,1.2,1.4)	(2.8,3.6,4.3)	(1.9,2.4,2.8)	(3.2,3.9,4.5)
FDM	(1.1,1.7,2.2)	(14.6,17.1,19.5)	(1.3,1.8,2.2)	(0.7,0.9,1.0)	(0.6,0.8,1.0)	(2.8,3.6,4.3)	(2.4,2.8,3.3)	(2.6,3.2,3.9)
LOM	(2.2,2.8,3.3)	(9.8,12.2,14.6)	(0.9,1.3,1.8)	(0.3,0.5,0.7)	(0.4,0.6,0.8)	(2.8,3.6,4.3)	(0.9,1.4,1.9)	(1.9,2.6,3.2)
3DP	(3.3,3.9,4.4)	(2.4,4.9,7.3)	(0.4,0.9,1.3)	(0.0,0.2,0.3)	(0.6,0.8,1.0)	(0.0,0.7,1.4)	(0.5,0.9,1.4)	(0.0,0.6,1.3)
PJ	(0.6,1.1,1.7)	(9.8,12.2,14.6)	(2.6,3.1,3.5)	(1.0,1.2,1.4)	(1.2,1.4,1.6)	(3.6,4.3,5.0)	(0.9,1.4,1.9)	(3.2,3.9,4.5)

Table 8 The rank of RP systems according to closeness coefficient

Alternatives	d_i^*	d_i^-	CC_j^*
SLA	0.093	0.105	0.529
SLS	0.050	0.145	0.745
FDM	0.044	0.142	0.762
LOM	0.081	0.101	0.556
3DP	0.146	0.040	0.216
PJ	0.095	0.103	0.521

주는데, 이 경우는 우선순위에 거의 영향을 주지 못한다는 것을 알 수 있다.

추가적으로, 3DP의 경우에서 조건 2, 9 및 10을 만족한다면 최적의 장비로 선정될 것이고, SLS는 조건 3을 만족한다면 선정될 것이며, LOM은 조건 12를 만족한다면 선정될 것이다. 의사결정자는 우선순위에 따라서 의사결정과정에서 이들 가중치의 조합을 활용할 수 있을 것이다.

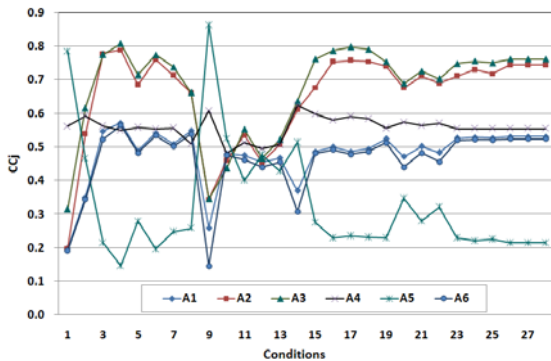


Fig. 3 Sensitivity analysis

그리고 FDM은 조건 4로 바꾸었을 때, 0.762에서 0.807로 변경하여 가장 높은 값을 가지며, 첫 번째 가중치와 두 번째 가중치를 교환하였을 때, 0.314의 최소값을 가진다. 또한, PJ는 두 번째 가중치와 세 번째 요소 가중치를 바꾸었을 때 0.521에서 0.539로 가장 높은 값을 가지며 두 번째 가중치와 네 번째 가중치를 교환하였을 때 최소값 0.145을 가진다는 것을 알 수 있다. 그리고 조건 15에서 조건28까지는 가중치 값이 작은 요소들끼리 가중치를 바꾸었을 때는 보여

4. 결 론

3차원 조형장비 선정 프로세스는 복합 다요소 의사결정 기법을 사용하여 사용자의 요구조건에 적합한 장비를 선정할 수 있는 효과적인 기술을 제공한다. 본 연구의 목적은 복합 다요소 의사결정 기법을 통해 다중 요소에 관하여 적합한 최상의 장비를 선정하는 것이다. 다중의 요소가 애매모호하거나 불확실한 경우에, 의사결정 과정은 매우 어려운 프로세스가 될 것이다. 이런 이유로, 불확실성을 묘사할 때 복잡한 의사 결정구조를 단순화시키는 퍼지집합 즉, 멤버십 함수로 표현된 퍼지수로서 다루어지는 언어적 변수가 사용되었다. 그리고 사용자의 주관에 의존하는 가중치를 좀 더 현실적이고 직관적인 언어적 스케일을 사용한 퍼지 계층화 기법을 적용하여 가중치를 매김으로서 의사결정이 이루어지도록 하였다.

제안하는 선정 절차는 (1)장비 선정을 위해 평가 기준을 확인하고, (2)퍼지 계층화 기법을 활용하여 요소의 가중치를 평가하고, (3)각 기준에 대해 퍼지수를 사용하여 성능 평가를 나타내고 퍼지 튜시스를 사용하여 장비의 순위를 매긴다.

제안된 절차를 통해 파트의 응용목적에 적합한 가장 좋은 3차원 조형장비를 선정할 수 있다.

제안된 복합 다요소 의사결정 기법은 퍼지수를 쉽게 다룰 수 있고 계산이 단순하여 대안들 사이의 순위를 쉽게 매길 수 있다. 그리고 평가 기준을 추가하여도 쉽게 수학적 모델이 조합될 수 있다. 이들 순위는 3차원 조형장비에 경험이 없는 사람이나 경험이 있다고 할지라도 요소가 많아 적합한 장비를 결정하기 힘든 경우에 효과적인 의사결정정보를 제공할 수 있을 것으로 기대된다. 또한, 이러한 기법은 장비선정 외에 재료 선정이나 제조 기술 선정 등과 같은 분야에도 적용될 수 있을 것이다.

참고문헌

1. Wohler, T. T., "Wohler's report 2005, rapid prototyping & tooling state of the industry," Wohler's Associates Inc., 2005.
2. Kulkarni, P., Marsan, A. and Dutta, D., "A review of process planning techniques in layered manufacturing," Rapid Prototyping Journal, Vol. 6, No. 1, pp. 18-35, 2000.
3. Ahn, D. G and Yang D. Y., "Principle of Rapid Prototyping and Its Trends," J. of KSPE, Vol. 22, No. 10, pp. 7-16, 2005.
4. Williams, R. E., Komaragiri, S. N., Melton, V. L. and Bishu, R. R., "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.
5. Zadeh, L. A., "Fuzzy sets," Information and Control, Vol. 8, pp. 338-353, 1965.
6. Zimmermann, H. J., "Fuzzy set theory and its application," Kluwer academic publishers, pp.6-8, 2001
7. Chen, C. T., "Extensions to the TOPSIS for group decision-making under fuzzy environment," Fuzzy Sets and Systems, Vol. 114, No. 1, pp. 1-9, 2000.
8. Saaty, T. L., "The Analytic Hierarchy Process," McGraw-Hill, New York, 1980.
9. Chang, D. Y., "Application of the Extent Analysis Method on Fuzzy AHP," European Journal of Operational Research, Vol 95, No. 3, pp. 649-655, 1996.
10. Hwang, C. L., and Yoon, K., Multiple Attribute Decision Making Methods and Applications, Springer-Verlag, New York, 1981.
11. 김성희, 의사결정론 분석 및 응용, 영지문화사, pp. 393-397, 1997.
12. Onuh, S. O., and Yusuf, Y. Y., "Rapid Prototyping Technology: Applications and Benefits for Rapid Product Development," Journal of Intelligent Manufacturing, Vol. 10, pp. 301-311, 1999.
13. Schmidt, L. D., "A Benchmarking Comparison of Commercial Techniques in Rapid Prototyping," Proceedings of the 5th International Conference on Rapid Prototyping, Dayton, OH, pp. 333-351, 1994.
14. Campbell, R. I., and Bernie, M. R. N., "Creating a Database of Rapid Prototyping System Capabilities," Journal of Materials Processing Technology, Vol. 61, pp. 163-167, 1996.
15. Byun, H. S., and Lee, K. H., "Design of a New Test Part for Benchmarking the Accuracy and Surface Finish of Rapid Prototyping Processes," LNCS, Vol. 2669, pp. 731-740, 2003.
16. Kim, G. D., "Characteristics of Roughness of Inclined Surface Fabricated by Various Rapid Prototyping Processes," Transactions of KSMTE, Vol. 16, No. 5, pp. 48-54, 2007.
17. Byun, H. S., "Evaluation, Process Selection and Optimal part Orientation for Rapid Prototyping," GIST, Ph.D Thesis, Korea, 2005.
18. www.3dsystems.com
19. www.zcorp.com
20. www.stratasys.com
21. www.2objet.com
22. www.kiracorp.co.jp