

## 쾌속조형 공정 및 장비 선정을 위한 의사결정지원 알고리즘 개발

최병욱, 정일용, 이일량\*, 김태범(한국생산기술연구원), 김영탁(한양대학교 기계공학과)

### Development of Decision-Support Algorithms to Select RP Process and Machine

B. W. Choi, I. Y. Chung, I. L. Yi\*, T. B. Kim(KITECH), Y. T. Keum (Hanyang Univ.)

#### ABSTRACT

It is usually difficult for a single user to have all the essential knowledge on various Rapid Prototyping processes and techniques. It is therefore necessary to capture knowledge and experience of users of expert level into a decision-support system which provides a quicker and more interactive way to select proper RP process and/or machine, rather than reading reports on benchmarking studies and comparing tables and graphs. In this paper two algorithms are presented, which may be used in such a decision-support system, together with its applications. The one is an extended PRES(Project Evaluation and Selection) algorithm which applies weighting factors of each attribute. The other is a LCE(Linear Confidence Equation) algorithm which is proposed to apply user's input requirements as well as weighting factors.

**Key Words** : 쾌속조형(Rapid Prototyping), 의사결정지원(Decision-Support), PRES(Project Evaluation and Selection) Algorithm, LCE(Linear Confidence Equation) Algorithm

#### 1. 서론

RP 장비는 1980년대 말에 상용화되어 3차원 CAD 기술과 하드웨어 기술의 발전과 함께 SLA, SLS, FDM, LOM, 3DP 등의 여러 RP 공정 기술로 발전하며 제품개발 기술을 한 단계 향상시켰다.

RP 기술은 설계검증을 위한 Shape verification part, 기능성 시험을 위한 Functional part, 쾌속금형 제작을 위한 Tooling part(Master model), 소량의 실제 부품으로 사용하기 위한 Product part 등에 사용되고 있으며 산업기계 및 가전제품, 자동차 부품 제작, 의료, 보석, 신발 및 피혁, 예술 분야 등에 다양하게 응용되고 있다. 최근에는 microRP의 기술개발로 MEMS, micro 3D fabrication 분야에 대한 연구도 활발히 진행되고 있다. 이처럼 RP 기술을 이용하는 응용분야가 광범위해지고 RP 공정기술도 다양해짐에 따라 사용하고자 하는 특정 분야 및 사용자의 요구수준에 맞는 RP 공정의 선정에 어려움이 발생하게 되었다. 따라서 각 RP 공정의 장단점 및 특성을 비교하여 적절한 RP 시스템 및 공정을 선정하기 위한 의사결정 지원 시스템 개발이 필요하게 되었다.

었다.

1993년에 Hornberger는 컴퓨터를 기반으로 한 교육용 성격의 프로그램으로 일반적인 RP 공정에 대한 정보를 제공했다. 또한 Muller는 Access 프로그램을 이용하여 조형물의 형상 선정이나 그 형상을 제작하는데 적절한 공정의 RP를 선정하는 데이터베이스 프로그램을 개발하였다. 1996년 Arizona 대학의 Phillipson은 사용자와의 인터뷰 내용을 데이터베이스화 하여 5개 장비에 대한 정보를 제공하고 사용자의 요구수준에 맞는 RP 장비를 선정해주는 'RP Advisor' 프로그램을 개발하였다.<sup>(1)</sup> 국내에서는 광주과학기술원에서 AHP 기법과 TOPSIS 기법을 적용하여 RP 공정 선정을 위한 프로그램을 개발하였다.

본 논문에서는 RP 공정 및 장비 선정을 위해서 의사결정 지원 시스템에 사용될 두 가지의 알고리즘을 개발한다. 첫 번째는 PRES(Project Evaluation and Selection) 알고리즘<sup>(2)</sup>을 RP 공정 및 장비 선정을 위한 의사결정 지원 시스템에 적용하였으며, 두 번째는 사용자 요구사항을 만족시키기 위한 confidence 값을 선형적으로 적용시킨 LCE(Linear

Confidence Equation) 알고리즘을 소개하고 적용 예를 통하여 알고리즘 수행결과를 비교한다.

## 2. 의사결정지원 알고리즘 개발

RP 공정 및 장비 선정을 위해서 두 가지의 알고리즘을 제시한다. 먼저, RP 조형의 형상정밀도, 비용, 시간 등의 속성(attribute)에 대한 가중치가 부여되었을 경우, 이에 적합한 대안(alternative), 즉 RP 공정을 결정하기 위하여 기존의 PRES 알고리즘을 확장하였으며, 또한 속성뿐 아니라 사용자의 요구사항에 가장 적합한 RP 장비를 선정하기 위하여 속성과 요구사항에 가중치를 적용하는 LCE(Linear Confidence Equation) 알고리즘을 개발하였다.

### 2.1 An extended PRES Algorithm

사용자에 의해 결정된 각 속성의 가중치와 정규화된 valuation matrix 를 이용하여 하나의 대안을 다른 대안과 비교하여 우월한 정도를 모든 대안에 대해서 표현하는 행렬식을 구한다. 그러면 이 행렬식의 각 행 요소의 합은 그 대안이 다른 대안들에 대해 갖는 우월한 크기를 나타내고 각 열의 요소의 합은 다른 대안에 대한 그 대안의 열등을 나타낸다. 이 두 값의 비를 이용하여 값이 큰 순서로 대안을 선정한다. Fig. 1 은 확장된 PRES 알고리즘의 순서도를 나타낸 것이다.

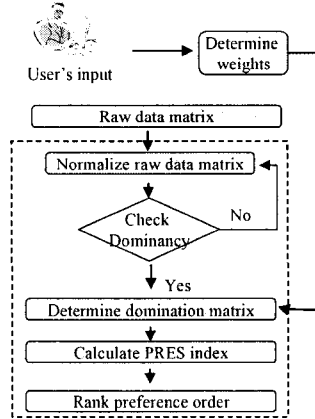


Fig. 1 Flow-Chart of an Extended PRES Algorithm

STEP 1 Normalize Raw Data Matrix, Valuation Matrix,

$$G(g_j(x))$$

서로 값이 다른 속성들을 비교하기 위해 raw data 를 정규화 한다.

$$g_j(i) = \frac{d_{ij}}{\sqrt{\sum_{j=1}^n d_{ij}^2}} \quad (1)$$

여기서  $d_{ij}$  는 raw data 의 한 요소를 말한다. Table 1 은 valuation matrix 의 한 형식을 나타낸 것이다.

| Criterion | $C_1$    | $C_2$    | ... | $C_N$    |
|-----------|----------|----------|-----|----------|
| Alt 1     | $g_1(1)$ | $g_2(1)$ | ... | $g_N(1)$ |
| ...       | ...      | ...      | ... | ...      |
| Alt x     | $g_1(x)$ | $g_2(x)$ | ... | $g_N(2)$ |
| ...       | ...      | ...      | ... | ...      |
| Alt M     | $g_1(M)$ | $g_2(M)$ | ... | $g_N(M)$ |

STEP 2 Determine Domination Matrix,  $T(t_{ij})$

하나의 대안  $i$  를 다른 대안  $j$  와 비교하여 우월한 정도를 나타내기 위한 행렬 표현이다. 두 대안의 속성 별 차이의 절대값에 가중치를 곱하여 합한 값으로써 다음과 같이 표현된다.

$$t_{ij} = \sum_{k=1}^n w_k |g_k(i) - g_k(j)| \quad (2)$$

$$i, j = 1, 2, 3, \dots, m$$

$$t_{ij} = 0 \quad \text{for } i = j$$

여기서  $w_k$  는  $k$  번째 속성의 가중치를 나타내며, 이  $k$  번째 속성이 이득 요소라면  $t_{ij}$  는  $g_k(i) > g_k(j)$  인 경우만 고려하고 비용 요소라면  $t_{ij}$  는  $g_k(i) < g_k(j)$  인 경우만 고려하여 절대값을 적용한다.

STEP 3 Calculate PRES Index,  $I_i$

$$I_i = \frac{\text{Row values addition}}{\text{Column values addition}} = \frac{\sum_{j=1}^m t_{ij}}{\sum_{i=1}^m t_{ij}} \quad (3)$$

분자 항은 대안  $i$  가 다른 대안들에 대해서 얼마나 우월한지를 나타내는 값이고 분모 항은 반대 개념을 갖는다. 따라서  $I_i$  값이 1 에 근접할수록 대안  $i$  의 우월 정도가 지배당하는 정도와 비슷해짐을 의미하고 1 보다 크다면 명확하게 우월함을 나타낸다. 분모 항의 column values addition 값이 0 일 경우 인덱스 값은 무한대를 취하는데 이는 어떤 대안에도 지배당하지 않음을 나타내는 것이고 최적의 대안이 된다.

STEP 4 Rank Preference Order

위에서 구한 PRES Index 값이 큰 순서대로 사용자가 입력한 가중치에 맞는 대안을 선택한다.

### 2.2 A Linear Confidence Equation Algorithm

사용자에 의해 결정된 각 속성의 가중치와 함께 사용자가 원하는 요구사항(속성 값)에 얼마나 일치

하는지를 수치화한 관계식을 적용하였다. 대안 별로 구해진 수치를 모두 더해 가장 큰 값을 가지는 장비를 선정한다. 이 때 어떤 장비도 값(Confidence Value)이 1을 넘을 수 없다. Fig. 2는 LCE 알고리즘의 순서도를 나타낸 것으로 사용자에게 주어진 세부 속성과 정규화된 raw data를 비교하여 각 대안 별로 confidence value를 산정하고 최종 대안을 선정하는 데이터 처리 과정을 보여준다.

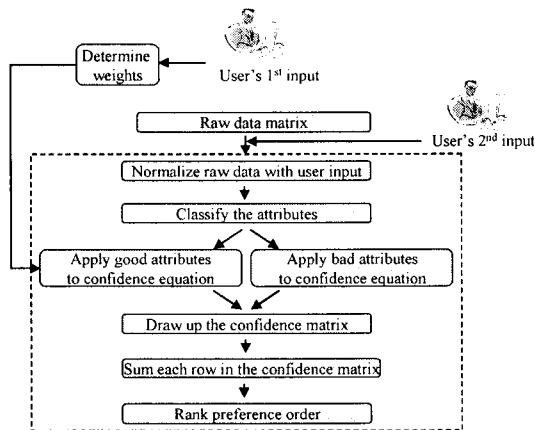


Fig. 2 Flow-Chart of a LCE Algorithm

**STEP 1 Get User's Input Vector,  $A(a_j)$**

사용자의 속성별 상대적 중요도뿐만 아니라 세부 값을 입력 받는다.

**STEP 2 Normalize Raw Data Matrix & User Input Vector,  $D^*(d_{ij}^*)$**

서로 값이 다른 속성을 비교하기 위해 첫 번째 과정에서 입력 받은 벡터 값을 raw data의 마지막 행으로 하여 정규화 한다.

$$d_{ij}^* = \frac{d_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^5 d_{ij}^2 + a_j^2}} \quad (4)$$

**STEP 3 Apply Confidence Equation to the Normalized Data Matrix**

우선 사용자의 입력과 대안의 일치 정도를 나타내는 Confidence value(CV)를 구하기 위해 CV equation을 결정한다. 이를 위해 Fig. 3과 같은 가중치,  $w_j$ 를 기준으로 분류되는 세 가지의 선형 그래프를 고려한다. 이 그래프는 속성값에 대한 CV의 관계식을 표현한 것으로 case 1은 연신율과 같이 좋고 나쁜 속성을 뚜렷하게 구분하기 어려울 때 적용할 수 있지만 대부분의 경우 좋은 특성과 나쁜 특성간의 차이가 없으므로 합리적인 식이 될 수 없고

case 3의 경우는 세부 속성 값을 사용자로부터 받아들이는 의미가 사라져 가중치 값만을 이용하여 계산하는 것과 결과가 같아지게 된다.

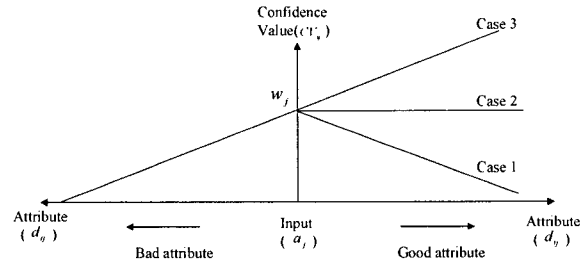


Fig. 3 Linear graphs to generate confidence values

본 논문에서 사용한 Case 2의 경우는 사용자의 입력과 같거나 좋은 속성을 가진 대안에 같은 값(가중치)을 부여하는 경우로서 식으로 나타내면 다음과 같다.

Good attribute area

$$CV_{ij} = w_j \quad (5)$$

Bad attribute area

$$CV_{ij} = \begin{cases} \frac{w_j}{a_j^*} d_{ij}^* & , \text{if } d_{ij}^* < a_j^* \\ \frac{w_j}{(1-a_j^*)} (1-d_{ij}^*) & , \text{if } d_{ij}^* > a_j^* \end{cases} \quad (6)$$

**STEP 4 Sum Confidence Values**

$$CV_i = \sum_{j=1}^n CV_{ij} \quad (7)$$

**STEP 5 Rank Preference Order**

위에서 구한  $CV_i$  값이 큰 순서대로 사용자가 입력한 요구 사항에 맞는 대안이 된다.

**3. 알고리즘의 비교 및 적용 예**

두 알고리즘을 실행하여 비교, 검토하기 위해 Table 2와 같이 각각 5개의 대상 공정(대안)과 속성을 포함하는 raw data를 임의로 만들었다. 알고리즘은 MATLAB을 이용하여 프로그래밍하였다. 여기서 raw data는 모든 대안이 각 속성 별로 장, 단점을 골고루 갖도록 10~50 사이의 값으로 제한하였다.

Table 3은 가중치와 위 Table 2의 raw data에 대한 PRES 및 LCE 알고리즘 수행 결과를 함께 나타낸 것이다. 여기서 PRES 알고리즘은 각 속성에 대

한 가중치를 입력 받고, LCE 알고리즘은 속성별 가

Table 2 Raw data to compare both algorithms

|           | A  | B  | S  | T  | C  |
|-----------|----|----|----|----|----|
| Process 1 | 10 | 40 | 30 | 40 | 50 |
| Process 2 | 50 | 50 | 40 | 30 | 40 |
| Process 3 | 40 | 10 | 50 | 20 | 30 |
| Process 4 | 30 | 20 | 10 | 10 | 20 |
| Process 5 | 20 | 30 | 20 | 50 | 10 |

※ A: accuracy, B: build size, S: tensile strength, T: time, C: cost

중치와 표의 하단에 있는 Type A 또는 B 와 같은 사용자의 요구사항을 입력 받아서 수행된다.

Table 3 Application Results

| 가중치  | 사용자입력  | Extended PRES                          | LCE                                    |
|--|--------|--|--|
| A : 0.40<br>B : 0.15<br>S : 0.15<br>T : 0.15<br>C : 0.15 | A Type | ①Process 1<br>②Process 5<br>③Process 4 | ①Process 1<br>②Process 5<br>③Process 4 |
|  | B Type |  | ①Process 5<br>②Process 1<br>③Process 4 |
| A : 0.15<br>B : 0.15<br>S : 0.15<br>T : 0.40<br>C : 0.15 | A Type | ①Process 4<br>②Process 3<br>③Process 2 | ①Process 4<br>②Process 3<br>③Process 2 |
|  | B Type |  | ①Process 4<br>②Process 3<br>③Process 2 |
| A : 0.12<br>B : 0.32<br>S : 0.12<br>T : 0.32<br>C : 0.12 | A Type | ①Process 2<br>②Process 4<br>③Process 1 | ①Process 2<br>②Process 4<br>③Process 1 |
|  | B Type |  | ①Process 2<br>②Process 1<br>③Process 4 |
| A : 0.20<br>B : 0.20<br>S : 0.20<br>T : 0.20<br>C : 0.20 | A Type | ①Process 1<br>①Process 2<br>①Process 3 | ①Process 2<br>②Process 1<br>③Process 3 |
|  | B Type | ①Process 4<br>①Process 5               | ①Process 5<br>②Process 1<br>③Process 2 |

※ A Type : A(5), B(60), S(60), T(5), C(5)  
B Type : A(25), B(25), S(25), T(25), C(25)

표에서 PRES 알고리즘의 경우, 각 속성별 가중치에 대한 대안이 우월한 정도를 비교하여 Process의 순서를 나열하였다. 알고리즘 수행 결과 속성별 가중치에 대한 공정 선정은 합리적으로 선정되고 있다는 것을 알 수 있다. LCE 알고리즘의 경우, A Type의 입력은 사용자의 요구사항이 속성별로 최상위 수준일 경우를 가정한 것으로 이때는 PRES 알고리즘과 같은 결과를 보인다. 이는 모든 대안이 사용자의 요구사항보다 낮을 경우 LCE 알고리즘은

결과적으로 PRES 알고리즘과 같이 가중치만을 고려하기 때문이다. 즉 그 속성에 대한 가중치 값 아래에서 모든 대안에 대해 confidence 값을 산정하는 것이다. 가중치를 균일하게 입력한 경우 PRES 알고리즘은 모든 대안에 대해 동일한 순위를 부여하는데, 이는 모든 속성에 대해서 각 대안들이 균등하도록 임의로 raw data를 만들었기 때문이다. 이 결과는 PRES 알고리즘이 예측대로 실행되었음을 확인해주는 적용 예라고 볼 수 있다.

#### 4. 결론

RP 공정 및 장비선정을 위한 두 가지의 의사결정지원 알고리즘 - Extended PRES 알고리즘과 LCE 알고리즘 - 을 개발하고 이를 이용하여 속성별 가중치 및 사용자 요구사항조건 입력에 대한 알고리즘 수행결과를 비교, 고찰하였다. 두 개의 알고리즘이 여러 입력조건에 대해서 비교적 합리적인 결과를 산출하는 것을 확인하였다. 그러므로 두 알고리즘을 임의의 raw data가 아닌 RP 공정 및 장비 선정에 실제자료를 이용한 의사결정지원시스템에 적용시킬 수 있을 것으로 판단된다. 향후 벤치마크 데이터를 적용하여 RP 공정 및 장비 선정을 위한 의사결정지원시스템을 구축할 예정이다.

#### 후 기

본 논문은 산업자원부에서 시행한 국제 IMS 프로그램 연구개발사업의 기술개발 결과의 일부입니다.

#### 참고문헌

1. Phillipson DK, "Rapid prototyping machine selection program, M.Sc.thesis", Arizona State University,
2. 1996Pablo Aragonés, Eliseo Gomez-Senent and Juan P. Pastor, "Ordering The Alternatives of a Strategic Plan for Valencia(Spain)," Journal of Multi-Criteria Decision Analysis Vol. 10, pp. 153 - 171, 2001.
3. Marvin Schaefer, "A Mathematical Theory of Global Program Optimization," Prentice Hall, 1973.
4. D. T. Pham, R. S. Gault, "A Comparison of Rapid Prototyping Technologies," International Journal of Machine Tools & Manufacture, Vol. 38, pp. 1257 - 1287, 1998.
5. 정일용, 이일량, 최병욱, "폐속조형장비 선정을 위한 전문가 시스템 개발," 한국정밀공학회 춘계학술대회논문집, pp. 632-635, 2002