

## 쾌속조형장비 선정을 위한 전문가시스템 개발

정일용, 이일량\*, 최병욱 (한국생산기술연구원)

### Development of an Expert System for Rapid Prototyping Machine Selection

I. Y. Chung, I. L. Yi, B. W. Choi (Korea Institute of Industrial Technology)

#### ABSTRACT

There are more than five dozen different RP(rapid prototyping) systems in the world and they are fairly expensive. All those systems have different capabilities and requirements in that each of them gives different tolerance, application field and part strength, etc. This situation may cause a problem of selecting an appropriate RP system. This paper presents an expert system, utilizing an algorithm that is composed up of rules to derive recommendations and answers to queries of the RP users. The expert system incorporates RP machines commercially available and adopts multi-selection criteria, namely, machine price, accuracy, build size, adopted process, etc. In the expert system, forward reasoning method is adopted and external spreadsheet for sub-data of the RP systems is used. The rules and knowledge are obtained from interviews and discussions with RP vendors and users, appropriate research publications and other reference materials.

**Key Words** : Rapid prototyping(쾌속조형), Expert system(전문가시스템), Machine selection(장비선정), Knowledge base(지식기반), Rule base(규칙기반)

#### 1. 서론

쾌속조형 시장과 기술이 확산되면서 RP 장비의 종류 또한 늘어나 쾌속조형을 이용하는 분야가 광범위 해졌다. 하지만 그 반면에 기업체에서 요구하는 그들만의 특별한 기능에 맞는 적절한 RP 공정을 선택하고 또 그 공정을 채택한 여러 가지의 RP 장비 중 하나를 선정하는 작업은 그리 쉬운 일이 아니다. 현재 전세계에 RP 장비를 생산하고 있는 업체는 20 개가 넘고 총 장비 종류 또한 그 네 배에 가깝다<sup>(1)</sup>. RP 장비를 선정하는 데는 가격, 정밀도, 최대 조형크기, 사용 재료, 조형 시간, 표면 거칠기, 사후 응용성 등의 요소들을 고려하여야 한다. 현재 RP 장비 업체가 보유한 장비들은 각각 그들만의 장점과 한계, 응용 분야를 가지고 있다. 그러나 각 장비의 성능이나 특성을 비교할 수 있는 일반적인 벤치마킹 표준을 확립하는 것이 힘들기 때문에 RP 공정을 선정하는 일은 더욱 까다롭다. 게다가 새로운 공정과 기술을 가진 쾌속조형 장비는 시장에 꾸준히 소개되고 있다.

초기 RP 장비 선정을 위한 시도는 서로 다른 장

비들을 비교하는 연구를 토대로 해서 이루어 졌다. 이는 대부분 장비를 사용하고 있는 회사나 연구기관을 통해 시행되었다. 표준화 되지 못한 벤치마킹 테스트가 전세계 곳곳에서 독립적으로 이루어진 것이다. 조형이 끝난 벤치마킹용 모델은 많은 측정과 검사를 통해 정밀도와 오차, 표면 거칠기 등에 대한 데이터를 제공한다. 따라서 벤치마킹 연구는 각각의 장비의 취약점과 강점을 비교할 수 있게 한다. 그러나 조형물의 결과가 일정하지 않을 때 일정한 데이터를 얻기 위해 수 차례의 시도가 이루어지는 등 많은 시간과 비용을 필요로 한다.

본 연구와 유사한 시도를 했던 개발 사례들을 보면 1993 년에 Hornberger 는 컴퓨터를 기반으로 한 교육용 성격의 프로그램으로 일반적인 RP 공정에 대한 정보를 제공했다<sup>(2)</sup>. 또한 Muller 는 Access 프로그램을 이용하여 장비 선정 보다는 조형물의 형상 선정이나 그 형상을 제작하는데 적절한 공정의 RP 를 선정하는데 목적을 둔 일종의 데이터베이스 프로그램을 개발하였다<sup>(3)</sup>. 1996 년 Phillipson 은 미국 Santa Clara 대학의 RP 프로그램을 벤치마킹하여 만든 시스템으로 역시 MS Access 를 Database 로 사

용하였으며 자료 수집은 사용자와의 인터뷰를 통하여 이루어 졌고 미국 내 대표적인 5 개 회사를 고려하였다<sup>(4)</sup>. 국내에서는 광주과학기술원에서 장비 선정 을 위한 변수로 정밀도를 고려한 시스템으로 벤치 마킹을 통하여 자료 수집이 이루어 졌으며 국내에 서 주로 많이 사용되는 4 개 장비를 대상으로 벤치 마킹이 수행되었다<sup>(5)</sup>.

본 연구에서는 범용의 전문가시스템인 Exsys CORVID 를 활용<sup>(6)</sup>, 국내에서 사용중인 RP 장비를 위주로 37 개의 기종에 대한 자료를 수집하여 선정 변수를 결정하고 정방향 추론기법을 이용하여 폐쇄 조형장비 선정을 위한 전문가시스템을 개발한다.

## 2. 전문가시스템 개발

### 2.1 자료 수집

RP 장비를 선정하기 위해서 한국에서 많이 사 용하고 있는 장비들 위주로 총 4 개국 11 개 회사의 37 개 장비를 선정대상 모델로 하였다.

Table 1 은 장비와 제조회사, 제조회사가 소속된 나라 리스트이다. 사용자가 원하는 장비를 선정하 기 위해 시스템은 유기적으로 사용자와 질문과 답 이라는 형식을 통해 상호 작용을 한다. 여기서 질 문은 시스템 안에서 필요한 데이터를 얻기 위해 사 용자가 쉽게 이해 할 수 있는 문장을 말하는데 이 문장을 선정 변수로 구성되어 있다. 선정변수는 아 래와 같은 것들을 적용하였으며 괄호 안의 숫자는 세부 분류항목 수를 나타낸다.

- Application : 주요 응용 분야 (6)
- Accuracy : 장비 정밀도(5)
- Machine price : 장비 가격대(6)
- Build size : 조형 가능한 최대 크기(6)
- Material(before) : 조형에 사용되는 재질(4)
- Material(after) : 조형물이 갖는 물리적 강도(4)
- Layer thickness : 적층 가능한 최소 피치(5)
- Build speed : 조형 속도(4)
- Process : 장비가 채택한 공정(5)
- Support : 작업 편의성 결정(2)
- Environment : 장비 사용 환경(2)
- Country : 장비 제작 업체가 소속된 나라(4)

자료 수집을 위해 먼저 장비 공급(제작)업체를 통해 장비에 대한 기술 사양서를 구하여 선정 변수 별로 데이터 베이스화 한다. 이 데이터들은 다른 방법에 의해 얻어진 자료에 비해 더 큰 우선 순위를 갖게 된다. 또 일반 사용자들에게 실시한 설문 조사 결과와 벤치마킹 테스트 결과를 통해 먼저 얻 은 데이터의 정확성을 판단하고 수정한다.

Table 1 List of Selected RP Machines

Model Name	Country	Company
Viper si2	USA	3D Systems
SLA 3500	USA	3D Systems
SLA 5000	USA	3D Systems
SLA 7000	USA	3D Systems
ThermoJet	USA	3D Systems
Vanguard	USA	3D Systems
PatternMaster	USA	Solidscap
ModelMaker	USA	Solidscap
FDM Maxum	USA	Stratasys
FDM Titan	USA	Stratasys
FDM8000	USA	Stratasys
FDM3000	USA	Stratasys
FDM2000	USA	Stratasys
Prodigy plus	USA	Stratasys
Dimension	USA	Stratasys
Z810	USA	Z Corporation
Z406	USA	Z Corporation
Z400	USA	Z Corporation
E-DARTS	Japan	Autostrade
Solifrom 1000	Japan	CMET
Solifrom 600	Japan	CMET
SOUP II 600GS	Japan	CMET
Soliform-500C	Japan	CMET
Soliform-250B	Japan	CMET
SJ-200P	Japan	DENKEN
KSC-50N	Japan	Kira
PLT-A4	Japan	Kira
SCS-3000	Japan	Sony/D-MEC
SCS-8000	Japan	Sony/D-MEC
SCS-1000HD	Japan	Sony/D-MEC
SCS-300P	Japan	Sony/D-MEC
Quadra Tempo <sup>TM</sup>	Israel	Objet Geometries
Objet Quadra <sup>TM</sup>	Israel	Objet Geometries
EOSINT P 700	Germany	EOS GmbH
EOSINT S 700	Germany	EOS GmbH
EOSINT P380	Germany	EOS GmbH
EOSINT M 250 X	Germany	EOS GmbH

그리고 전문가의 조언이나 전문 서적, 논문을 통해서도 자료를 수집하였는데 시스템에 작용한 부분은 미비하고 객관적인 검증 받을 수 없지만 다른 시스템과의 차별성을 갖는데 중요한 데이터 부분이다.

이러한 방법에 의해 수집된 자료는 중복된 경우도 있고 서로 상충되는 경우도 있기 때문에 적절한 통계 기법과 데이터마이닝에 의해 분석되어 각 모델들에 주어지게 된다. 이 데이터는 사용자의 요구 사항과 비교되어 최종결과를 산출하기 위해 사용되어지므로 매우 정확한 값을 가져야 한다.

### 2.2 시스템의 기본 구조 및 채택 추론 기법

Fig. 1 은 총 6 개의 모듈로 이루어진 RP 장비 선정 전문가시스템의 구조를 나타낸 것으로 일반적

인 규칙 기반 전문가 시스템의 확장 개념이다. Working memory 에 저장된 어떤 특정 문제에 대한 정보를 추론 엔진(Inference engine)을 이용하여 지식 기반(Knowledge base)의 규칙들(Set of rules)과 매칭시켜가며 새로운 정보를 얻어내 최종적으로 문제에 대한 답을 구할 수 있도록 되어있다.

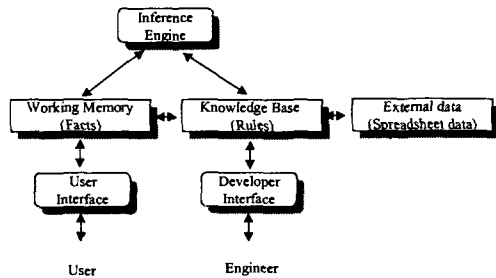


Fig. 1 Architecture of rule-based Expert system

이 시스템은 정방향 추론 기법을 사용하기 때문에 먼저 사용자의 입력 값(사실, fact)이 working memory 에 들어오면 추론 엔진은 그 사실이 적용되어 지는 규칙을 찾는다. 첫번째 규칙을 지식 기반에서 working memory 로 불러들여 입력된 사실(fact)과 조건이 맞는지 매치시켜 본 후 참이면 그 사실은 규칙의 조건에 의해 변경되어서 새로운 사실이나 지식이 되어 다른 규칙과 매치되기 위해 임시로 working memory 내에 저장된다. 반면에 첫번째 규칙과 매치 되지 않는다 해도 다른 규칙을 불러들여 계속해서 매치과정이 이루어 진다. 이런 과정이 계속 되풀이 되어 마지막 규칙과도 매치 되는지를 판단하게 된다.

### 2.3 작동 메커니즘 및 규칙 예

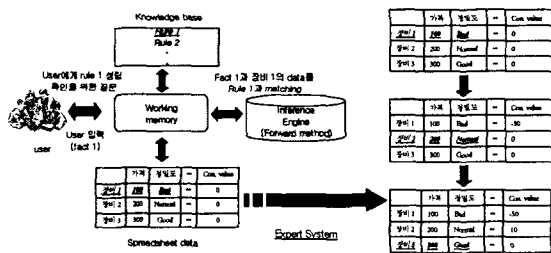


Fig. 2 Assignment of confidence value to each RP machine

전체 시스템이 문제 해결을 위해 작동되어 지는 원리는 [rating]값이라는 Confidence value 를 스프레

드 data 의 각 장비에 부여하고 하나의 규칙이 끝날 때마다 그 규칙과 매칭되는 정도에 따라 값을 다르게 매기는 것이다. 규칙이 계속 될수록 Confidence value 는 더해지고 최종적으로 시스템은 그 중 가장 큰 값을 선택한다. 여기서는 가장 큰 값을 갖는 세 개의 장비만을 추천이라는 형식으로 결과를 산출하게 된다. Fig. 2 는 Spreadsheet data(장비 1, 장비 2)가 사용자의 입력값, fact 와 rule 에 의해 matching 되어져서 Confidence value 가 부여되기까지 나타낸 그림이다.

이 과정을 순서대로 나열하면 다음과 같다.

1. 시스템 knowledge 의 전체 rule 검색 spreadsheet data reset
2. 첫 번째 rule 의 조건에 해당하는 변수 선택
3. 규칙을 fire 하기 위해 user 에게 조건부의 변수에 해당하는 사항 질문
4. user 의 첫 번째 요구사항(답변, fact)을 받음
5. fact 와 spreadsheet data 를 rule 과 matching
6. rule 에 필요한 변수가 있다면 값을 얻기 위해 user 에게 다시 질문 하여 fact 를 요구
7. rule 은 matching 하는 정도에 따라 음수값부터 양수까지 다양하게 각 장비에 confidence value 부여
8. 두 번째 rule 의 조건부에 해당하는 변수 선택
9. 위 첫 번째 과정과 동일하게 실행
10. 마지막 rule 까지 fire 되면 시스템은 각 장비로 confidence value 를 더함
11. 시스템은 가장 큰 값부터 세 가지의 장비를 user 에게 권장

Fig. 3 은 조형물의 응용 분야에 대한 규칙 내용의 일부분이다. 사용자가 주로 조형물을 어떤 용도로 사용할 지 선택했을 때 그 답변에 대해 각 항목 별 수치를 정해 주고 spreadsheet 데이터내의 장비들이 가지고 있는 응용분야 값들과 비교되어 confidence value(여기서는 rating 값)를 결정한다.

```

[application_rating]={Application1}
-> [rating]=[application_rate]*20
[application_rating]={Application2}
-> [rating]=[application_rate]*20
((application_rating)!=0) &
(application_rating)!={Application1}
-> [rating]=[application_rate]*(-20)
((application_rating)!=0) &
(application_rating)!={Application2}
-> [rating]=[application_rate]*(-20)
((application_rating)=0)&([application_rating]<{Application1})
&([application_rating]<{Application2})
-> [rating]=0
  
```

Fig. 3 A part of rules matching user's application requirement

## 2.4 사용자 인터페이스

RP 장비 선정을 위해서 전문가시스템과 사용자 간의 상호작용은 웹(Web)상에서 구현할 수 있도록 되어있다. 사용자는 웹 브라우저를 통해 다양한 질문에 답하고 원하는 결과를 볼 수 있도록 되어 있다. Fig. 4 는 Web 상에서 구현된 화면이다.

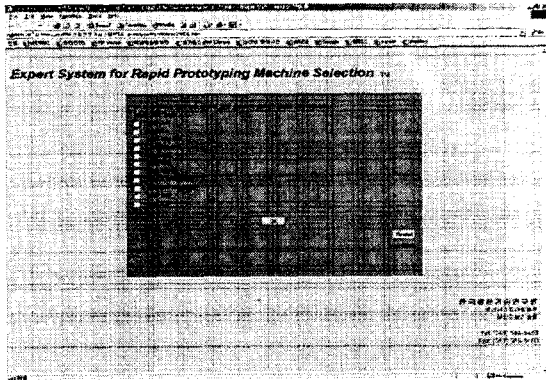


Fig. 4 User interface of the expert system

## 2.5 시스템 실행 예

Table 2 는 RP 장비를 선정하기 위한 선정변수에 해당하며 각 질문에 대한 사용자의 입력 내용의 예이다. 웹브라우저상의 질문사항에 하나씩 답변을 하면 최종적으로 전문가시스템의 수행결과가 웹상에 출력되는 형태로 되어 있다.

Fig. 5 는 그 답변에 대해 시스템이 출력한 결과이다. 규칙과 데이터들의 매칭 결과로 Confidence value 를 산정하여 하나가 아닌 여러가지의 결과를 출력할 수 있도록 하였다.

Table 2 Example of input data for a test

질문 내용	답 변 (입력값)
중요 요인	A1. 장비 가격, 정밀도, 응용 분야
응용 분야	A2. Shape verification model, Product parts
장비 가격	A3. 100,000 ~ 300,000 (US \$)
정밀도	A4. 3 등급
조형 크기	A5. 400 X 400 X 400 (mm)
사용재료형태	A6. 상관없음
최종재료강성	A7. 보통
적층 두께	A8. 0.1 mm 이하
조형 속도	A9. 상관없음
채택 공정	A10. 상관없음
지시대	A11. no
사용 환경	A12. 상관없음
제조 국가	A13. 상관없음

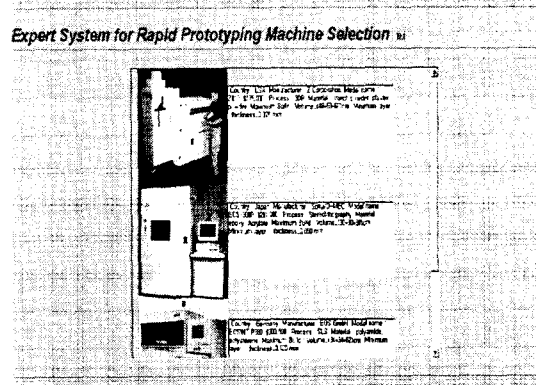


Fig. 5 Output of the expert system for a test

## 3. 결론

본 연구에서는 규칙기반(Rule-based)의 RP 장비 선정을 위한 전문가시스템을 개발하였다. 장비 가격, 응용 분야, 정밀도 등 선정변수를 적용하여 사용자와 질문과 답변을 통한 상호작용을 Web 상에서 구현 가능케 하였다. 향후에는, 개발된 시스템의 타당성을 정밀하게 검토하고 사용자에게 정확한 해답을 제시할 수 있는지를 알아 보기 위해서 자체적으로 시스템의 내부적인 측면을 철저하게 검토하는 작업과 아울러 일반 사용자 및 전문가들의 많은 실제 테스트를 수행할 예정이다.

## 후 기

본 논문은 산업자원부에서 시행한 국제 IMS 프로그램 연구개발 사업의 기술개발 결과의 일부입니다.

## 참고문헌

1. Terry T. Wohlers , "Wohlers Report 2002", Wohlers Associates, 2002
2. Hornberger, et al., "Rapid prototyping program", Santa Clara University, California, 1993
3. Muller H, et al., "Computer-based rapid prototyping system selection and support", University of Bremen, 1995
4. Phillipson DK, "Rapid prototyping machine selection program, M.Sc.thesis", Arizona State University, 1996
5. 신행재, 변홍석, 이관행, "쾌속조형 공정의 성능 평가 및 선정에 관한 연구", 한국정밀공학회 2001년도 추계학술대회논문집, pp37~40, 2001
6. A Guide to Using Exsys Corvid, 2002