

## 급지 기구 설계 전문가 시스템에서 구성 설계 방법론의 응용 ( Configuration Design Methods for a Design Expert System of Paper Feeding Mechanism )

구도연, 한준홍

한국과학기술원 서울분원 자동화 설계공학과

### 요 약

공학 설계 과정을 묘사하는 설계 방법 중의 한 가지인 구성 설계 방법론을 레이저 프린터의 급지 기구 설계에 적용하였다. 급지 기구 부품들은 반송될 종이에 진동을 일으키지 않고 평편하게 유지하도록 설계되어야 한다. 설계 방법과 경험들은 규칙으로 나타내고, 기능에 따라 프린터 급지 기구 내의 부품들은 객체로 표현하는 하이브리드 방식을 사용한다. 여러가지 설계 제한 조건들이 고려되므로 설계의 신뢰성이 개선될 수 있다.

### 1. 서 론

#### 1.1 개요

레이저 프린터, 복사기, 팩시밀리와 같이 종이를 다루는 기계들이 많아지고 있으며, 그 처리 과정에서 급지 기구가 프린트의 품질에 영향을 많이 주기 때문에 설계에 세심한 주의를 기울여야 한다. 특히 문자 및 화상을 처리하는 과정에서 적절적으로 영향을 주므로 높은 신뢰성이 요구된다. 또한 고속화, 고해상도화로 인한 복잡한 문제를 풀기 위하여 영역 지식, 분석 방법, 그리고 설계 규칙들의 조합이 필요하다. 설계 전체의 품질에 영향을 주는 개념 설계 단계에서, 주어진 문제를 해결하는 과정에 구성 설계 방법을 적용하여, 설계 목표를 분석하여 부품 레벨과 개별 지식 레벨까지 설계 목표를 나눈 객체 지향 방법을 적용한다.

#### 1.2 관련 연구

R1[1]은 DEC에서 VAX 컴퓨터 시스템을 설계하기 위하여 개발한 것인데, 최초의 대규모 상업용 전문가 시스템이고, 대규모 지식 베이스를 갖추고 있다. AIR-CYL [5,10]은 공기 실린더를 설계하기 위한 시스

템이다. 계층 구조의 상위 레벨은 공기 실린더 설계의 추상적인 과정을 나타내고, 하위 레벨은 서브-시스템의 설계 혹은 부품 설계와 같은 구체화된 설계 업무를 나타낸다. VT[4]는 미리 정의된 부품들과의 연결 관계를 이용하는 앤리베이터 설계 시스템이다. PRIDE[2]는 복사기의 급지 기구 설계를 위한 것이다. 설계 목표들이 작은 목표로 다시 나누어 진다. 설계 목표는 설계 방법에 의해서 얻어진 해들을 적합하다는 것을 확인하기 위한 제한 조건들을 만족하여야 한다. MI[11]은 소형 컴퓨터 설계 시스템으로서, 부품을 나타내기 위하여 계층 표현을 사용한다. 이러한 부품들은 맨 상층에서 추상적 부품들로 기능적으로 구성되어 있으며, 단말 부분에서는 물리적 요소로 구성되어 있다. SightPlan[13]은 건설 현장에서의 설치 레이아웃을 하기 위한 시스템으로서, 레이아웃될 공간과 객체를 정의하고 위치시킨다. 각 계획을 찾아가는데 깊이 우선 방법을 이용한다. COSSACK[3]은 소형 컴퓨터 시스템을 구성하기 위한 시스템이다. 사양들은 제한 조건들로 표현이 되고, 각 제한 조건들을 만족하기 위한 계획들이 만들어 진다. 김혁[16] 등은 플라이 휘일의 초기 설계 단계인 개념 설계에서 적당한 플라이 휘일의 형상과 칫수를 결정하는 지식 기반 전문가 시스템을 개발하였다. 정태형[18] 등은 전문가 시스템을 이용하여 차차 설계를 지원하는 통합 시스템을 개발하였다. 설계를 위한 여러 모듈들이 중앙 관리 모듈에 의하여 제어가 되도록 하였다.

본 연구에서는 최종 설계 목표를 달성하기 위하여 계층적으로 목표를 하위 목표로 나누어 최종적으로는 각 기능에 적합한 부품을 선택하고 사양을 결정하도록 한다. 이 과정에서 각 부품을 단위 객체로 보고 모델링을 위하여 Rumbaugh [12]의 OMT 방법론을 사용하고, 추론은 전문가 시스템 쉘을 이용하도록 한다.

#### 2. 급지 기구의 설계 과정

##### 2.1 급지 기구의 설계

프린터 급지 기구의 설계에 영향을 미치는 요소는 두 개의 그룹으로 나눌 수 있다; 종이 자체에 대한 특성에 따른 설계 요소와 종이 반송 기구 자체의 특성이다. 전자에 속하는 특성은 종이의 등급, 크기, 중량, 그리고 두께 등이다. 후자는 급지 기구의 신뢰성에 영향을 준다. 설계 시스템은 다음 사항을 결정해야 한다; 1) 레이아웃 각도와 종이 입출구의 위치 등과 같은 기하학적 성질들, 2) 피드롤러, 피업롤러, 아이들러, 카세트 등과 관련된 부품들의 사양, 3) 입구와 출구에서 종이의 속도, 4) 종이에 작용하는 힘, 5) 여러가지 크기의 종이를 이송하는데 소요되는 시간 등이다.

전자 사진 방식을 사용하는 레이저 프린터에 있어서, 프린트 과정의 기본 사이클은 대전 - 노광 - 전사 - 제전 - 청소이다 [6]. 안정된 해상도의 프린트 결과를 얻기 위해서는 종이가 전동이 없이 이송되어야 한다 [6,9]. 그림 1은 프린터의 주요 부품들을 보여준다. 1번의 카세트 스프링에 의해서 적재된 종이들은 2번 피업 롤에 의하여 눌려 진다. 종이가 한 장씩 인출이 되고 U-턴을 하면서 3번의 피드롤에 도달한다. 이때 발생하는 종이 빼풀어짐을 보정하면서 감광 드럼 쪽으로 반송이 된다. 6번은 레이저 범을 감광 드럼에 주사하는 레이저 유니트이고, 7번은 토너를 공급하는 현상기이다. 8번은 화상의 전사를 위한 롤러이며, 9번은 정착을 위한 열 압착 롤러이다.

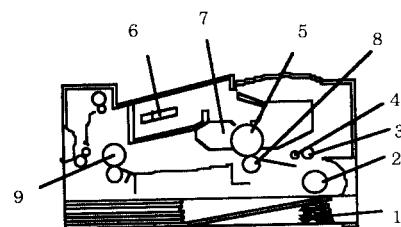


그림 1. 레이저 프린터의 개략도  
1. Cassette Spring 2. PickUpRoll 3. FeedRoll 4. Idler  
5. Photo Sensitive Drum 6. Laser Scanning Unit  
7. Development Unit 8. Transfer Unit 9. Heat Roller

그림 1. 레이저 프린터의 개략도

## 2.2 기구 설계에서의 설계 지식의 역할

설계는 제한된 시간 내에서 최적 해를 찾는 것이다. 부품들 간에 상호 종속 관계가 복잡해지면 설계는 어려워진다. 설계 해를 자동적으로 찾아 주는 일반적인 규칙은 없으며, 전통적으로 설계의 품질은 설계자의 경험에 달려 있다. 프린터의 초기 설계 단계에 있어서, 혹은 기존 설계의 분석을 위하여 영역 전문가는 중요한 역할을 한다. 따라서 경험에 의한 지식은 주요한 설계 도구이다.

## 2.3 설계 과정의 계층적 표현

급지 기구의 특성은 계층적 구조로 나타낼 수 있다. 상위 노드는 설계 목표를 나타내고 하위 노드는 실제 설계 부품을 나타낸다. 이러한 계층적 구조는 프레임 표현에 적합하다 [15]. 그림 2는 급지 기구 설계 과정의 계층적 구조를 보여준다. 부품의 사양은 각 부품에 대한 정보를 가지고 있는 객체의 속성 및 메소드를 이용한 지식 기반 추론과 필요에 따라 관련된 계산에 의하여 결정할 수 있으며, 얻고자 하는 해를 개선하기 위하여 이 과정이 반복되어야 한다.

그림 2의 상위 부분은 급지 기구 설계의 앞 단계(pre-stage)를 나타낸다. 여기서 프린터 전체의 기본 사양을 명시하는 변수들의 값이 결정된다. 하위 부분은 기본 사양으로부터 도출된 급지 기구의 설계 목표를 나타낸다. 설계 목표는 하위 목표들로 나누어진다. 급지 기구에 관련된 지식은 설계 케이스들과 설계 과정들에 따라서 구성된다.

## 3. 구성 설계 방법론의 적용

### 3.1 설계 문제의 분류

설계 문제들은 그 복잡성에 따라서 다음과 같이 분류할 수 있다 [14]. Class 1: 인공물의 일반적 구조가 알려지지 않는다. Class 2: 인공물의 일반적 구조는 알려지지만, 특정한 스키마(요소와 배치)는 알려지지 않는다. Class 3: 인공물의 요소와 배치가 알려져 있다. 이러한 설계 방법의 세 가지 일반적인 예들은 형태학적 설계, 구성 설계, 파라메트릭 설계이다. 일반적으로, Class 3는 상세 설계 단계의 반복적인 설계이다. 구성 설계의 주요 목표는 미리 정의된 부품들의 집합을 만드는 스키마를 설정하는 것이다. 설계 문제의 일반적 구조로부터 요소와 배치의 결정을 포함하는 즉, 해당 부품에 대한 속성 값들의 적절한 스키마를 결정하는 것이 가능하다. 이것은 Class 2 설계 문제에 해당된다. Class 1의 설계 문제는 그 복잡성과 불확실성이 현재 컴퓨터 시스템의 한계에서 벗어나므로 여기에서는 고려하지 않는다.

### 3.2 구성 설계 방법론

구성 설계 방법은 제품의 요구 사항과 제한 조건들을 만족시키기 위하여 부품들 간의 상호 관계를 결정하기 위한 것이다. 구성 설계는 초기 설계 단계에서 부품들의 집합으로부터 시작한다. 어떠한 부분적인 관계들은 처음부터 주어 진다. 미리 정의된 부품들의 라이브

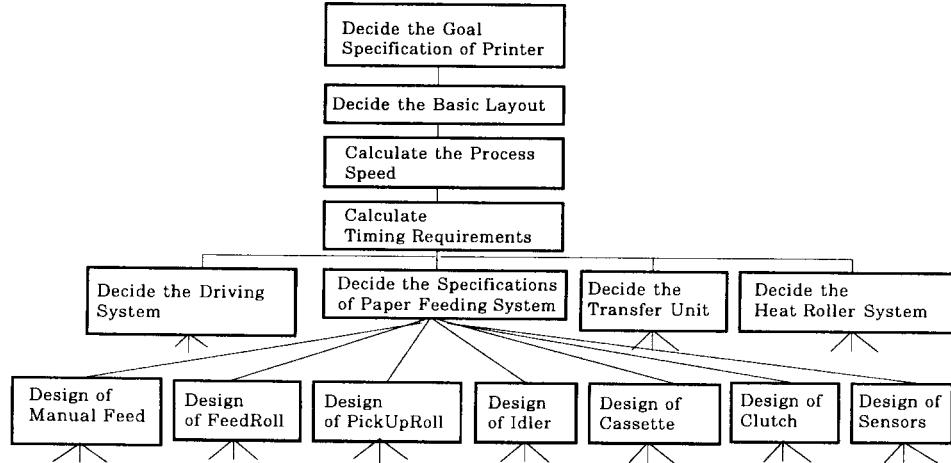


그림 2. 설계 과정의 계층적 분석

리리가 주어지면, 설계가 진행되면서 요구된 기능, 성능, 그리고 비용을 만족시킨다. 이 과정에서 사용되는 구성 지식은 부품에 관한 지식, 부품들 간의 연결 관계에 관한 지식, 부품들 간의 속성 값들과 제한 조건들이다.

구성 설계는 부품들의 속성에 값을 부여한다. 부품들은 연결 혹은 위상적 관계를 위한 내부 규칙들을 만족시켜야 한다. 구성 설계는 두 개의 클래스로 나뉘어질 수 있다. 첫 번째는 순수 구성이다 [14]. 이것은 설계 대상 인공물의 구성은 이미 알려졌다고 가정을 하고 설계 과정 동안에 변하지 않는다. 두 번째 클래스의 경우에 부품들은 설계가 진행됨에 따라서 변할 수 있다. 그것의 공간적 관계 혹은 어떤 주요 치수들이 결정되어야 한다. 구성은 구현하기 위해서는, 채크리스트, 결정트리 등과 같은 전형적인 알고리즘이 이용된다.

### 3.3 구성 설계 방법에 의한 급지 기구의 설계

가장 밑바탕이 되는 기본 사양은 "속성 = 값"의 쌍으로 나타낸다. 유니트는 전체 조립품에 있어서 특정한 부품들의 작은 집합을 의미한다. 유니트의 사양은 설계 목표를 강조하기 위하여 또한 "속성 = 값"의 형태로 나타낸다. 유니트의 사양은 마지막 설계 단계에서 결정되어 진다. 초기 설계 단계로 부터 속성 값들을 결정하기 위하여 사양들 간의 제한 조건과 같은 영역 지식이 참조된다.

그림 3은 카세트로 부터 종이를 분리하는 기구의 클래스 계층을 나타낸다 [12]. 여기서 각 노드는 기능을 나타낸다. 설계자의 요구에 따라서 지식 기반으로 부터

기능들이 선택된다. 기능들은 최상위 레벨로 부터 전개된다. 각 부품들이 해당 기능에 대응하는 최하위 레벨에서 선택되어 진다. 구성 설계는 상세 부품 사양을 포함한 부품들을 조합하여 완성된다.

### 4. 급지 기구 설계 전문가 시스템

그림 4는 구현된 전문가 시스템의 구성을 보여 준다. 부품 데이터와 같은 설계 정보는 사실이나 프레임의 형태로 지식 베이스에 저장되어 있고, 추론을 하기 위한 지식은 규칙의 형태로 저장되어 있다. 이러한 시스템에서, 1) 프린터의 기본 사양이 결정되고, 2) 이 기본 사양으로 부터 급지 기구의 사양이 결정되면, 3) 구성 부품과 그들의 관계를 결정하기 위하여 구성 설계 방법이 사용된다. 구성 지식은 개념적으로 AND/OR 네트워크와 유사하다. 노드는 부품 속성과 값들을 나타낸다. 노드들은 제한 조건에 따라서 연결이 되어 있다. OR 네트워크 내에서 제한 조건이 선택되면, 다른 노드들의 값들은 제외된다. AND 관계에 의하여 부품들과 그 속성들은 관련이 된다.

기존의 프린터 모델에 대한 사양들은 지식 기반에 저장되어 있어 유사한 설계에 참조할 수 있다. 부품 설계에 대한 경험적 지식은 사실, 객체, 규칙들로서 표현된다. 부품의 물리적 데이터와 생산 관련 데이터는 테이터 베이스에 저장된다.

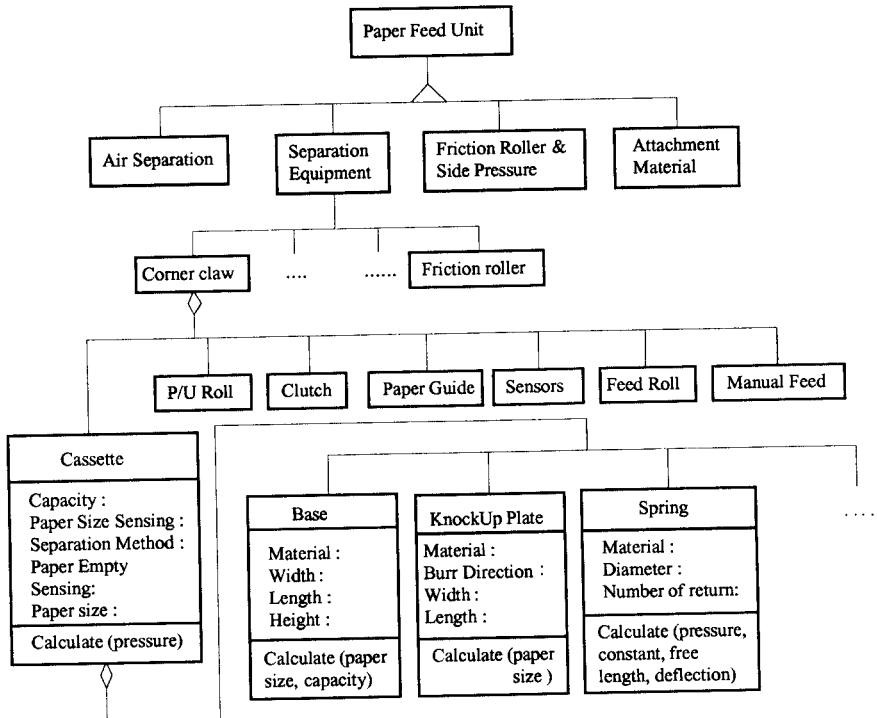


그림 3. 급지 기구부의 계층적 클래스 표현

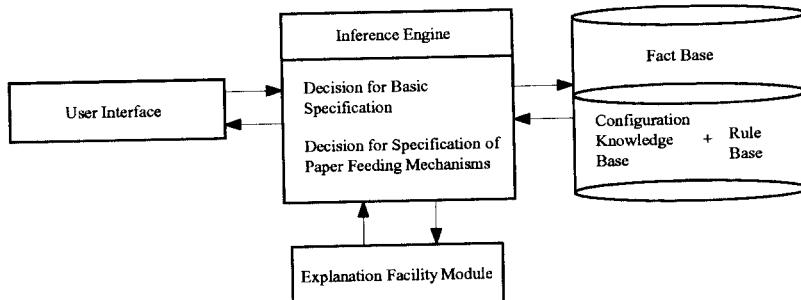


그림 4. 급지 기구 설계 전문가 시스템의 구조

#### 4.1 추론 방법

그림 5는 메인 모터를 결정하는 추론 과정 중에 모터의 소요 동력 계산을 나타낸다. 클래스들은 기본 프로세스들을 실행하기 위한 메소드를 가지고 있고 파라메트릭 설계를 위한 변수들을 가지고 있다. 사용자는 클래스의 인스턴스들을 결정한다. 그림 5의 추론 과정은; (1) 메소드를 활성화시키기 위한 메세지가 전달된다. (2) 상속된 메소드가 인지된다. (3) 그 인스턴스에 대하여 메소드가 작동된다. (4) 각각의 토오크를 계산하기

위한 메소드를 활성화하기 위한 메세지가 보내어 진다. 부분 토오크와 전체 토오크 간의 종속 관계는 (5)와 같이 표현된다. 계층 구조로 나타낸 설계 목표를 얻기 위하여, ART-IM 전문가 시스템 쉘을 사용하고 역 방향 추론 방식을 적용하였다 [7,8].

#### 4.2 급지 기구의 설계

해상도, 초기 프린트 시간, 워밍업 시간, 전력 소모

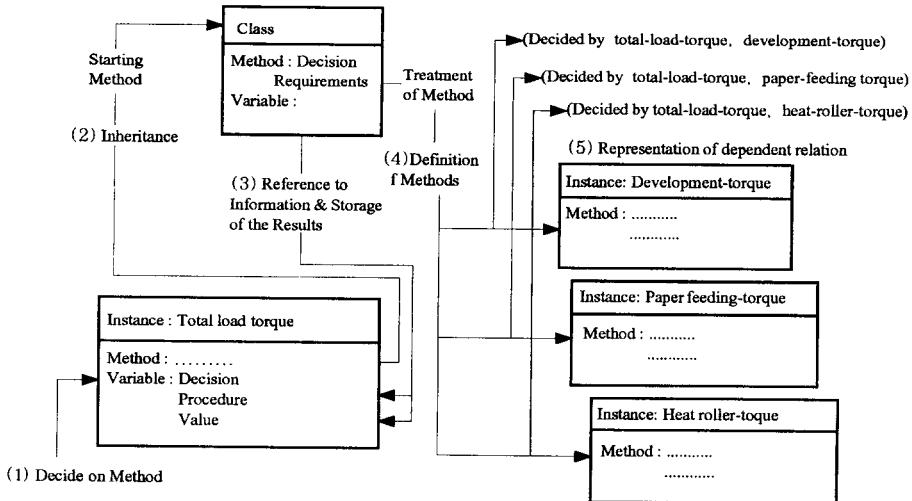


그림 5. 모터 선정을 위한 추론 과정

량, 크기, 중량, 소음, 그리고 라이프 사이클에 관련된 변수들은 지식 기반을 이용하여 결정할 수 있다. 어떤 변수들은 기본 사양 결정 과정에 앞서서 기존의 설계 케이스에 따라 먼저 참조된다. 금지 기구의 부품 설계 과정은 기본 사양으로부터 설계 목표가 생성된 후에 시작된다.

설계 요구 사항은 규칙으로 표현이 된다. 조건이 만족되면, 설계 규칙의 진행이 정지된다. 그렇지 않으면, 다른 규칙의 실행으로 넘어간다. 이러한 규칙의 표현들은 여러가지 설계 대안들로부터 하나의 설계 안을 선택하는 방법과, 설계를 생성하는 방법으로 분류된다. 시스템의 신뢰성을 개선하기 위하여, 여러가지 설계 결정에 대한 설명 기능이 있다. 그림 6은 이러한 과정을 보여준다. 초기 화면은 지난번 설계한 결과의 주요 사양이 나타나며, 다음 설계를 하는데 있어서 유사한 경우가 발생되면 이 사양 값들을 참조하도록 한다. 이 중에서 부분적으로 설계 변경이 필요할 경우는 해당 항목만을 선택하여 추론을 한다. 추론 과정에서 선택한 내용에 대하여 설명 기능을 추가하여 그 분야의 지식을 가지고 있는 설계자의 경우는 확인을 하면서 설계를 진행 시킴으로써 신뢰성이 향상되고 새로 개발된 지식을 입력할 때 기준이 되도록 한다.

[[ Design Expert System for Paper Feeding Mechanism ]]

< Basic specifications of the feeding mechanisms >

1. Feeding method: Cassette	11. Papers: Plain-paper, OHP film
2. Center of feeding: Side-loading	12. Driving torque: 0.7 Kg.f
3. Capacity of cassette: 250 sheets	13. Diameter of pickup-roll: 42 mm
4. Separation method: Claw	14. Length of pickup-roll: 16 mm
5. Driving method: Gear-train	15. Number of pickup-roll: 2
6. Clutch: Spring-clutch	16. Revol. of pickup-roll: 15 rpm
7. Hardness of pickup-roll: 26	17. Press. of pickup-roll: 400 g.f
8. Material of pickup-roll: MOSOREX	
9. Feeding speed: 40 mm/sec	
10. Cassette: A4, letter	

Select the number if you want to know the detailed specifications.

----- > Your choice ?

[[ Design Expert System for Paper Feeding Mechanism ]]

① Are there no problems if the noise level will be high because of high speed of the printer? [Yes/No] Y

\* Explanation \*

The noise level of this method will be higher than other's because of the difference to design the printer. The major reason is that this uses a vacuum pump for the separation of papers.

The separation can be achieved by making vibrations to papers or making variations to the degree of adhesion devices for papers.

The speed of separation can be increased by considering the stiffness of papers.

그림 6. 실제 구현의 예

## 5. 결론

구성 설계 방법론을 이용한 급지 기구 설계를 위한 전문가 시스템이 구축되었다. 이 시스템은 프린터의 전체적인 품질이 결정되는 초기 설계 단계에 대하여 중점을 두고 구현하였으며, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

(1) 급지 기구에 대한 설계 지식을 분석하는 과정에서, 설계 목표가 계층적인 구조로 표현이 될 수 있고 각 기능에 해당하는 급지 기구 부품의 사양을 결정하는 과정에서 AND/OR 트리와 같은 방법을 사용해야 하므로 구성 설계 방법론이 적합하다. 설계 목표는 다시 하위 목표로 나누어지고 부품들이 하위 목표를 달성하기 위하여 사양이 결정된다.

(2) 급지 기구 설계 과정을 OMT (객체 지향 모델링 기법)으로 표현하여 모듈화가 가능하도록 하였다. 규칙 기반을 보완하기 위하여 객체 지향 접근 방식을 같이 사용하는 하이브리드 방법을 사용한다. 설계의 신뢰성은 지식 베이스의 지원과 세한 조건들이 고려되므로 향상된다.

(3) 실제 설계 경험, 설계 핸드북, 부품 카탈로그로 부터 얻어진 데이터를 수집하고 상용 전문가 시스템 셸을 사용하여 지식 기반을 구축하였다. 설계 규칙을 만들기 위하여 설계 과정을 체계화하였다.

앞으로 급지 기구 설계의 초기 설계 단계를 자동화하는 방법을 현상기, 레이저 유니트, 정착기 등의 다른 유니트에도 확장할 수 있다. 전체 프린터 시스템을 전문가 시스템에 의하여 설계할 수 있다.

## 6. 참고 문헌

1. McDermott, J.; R1 - A Rule-based Configurer of Computer Systems, Artificial Intelligence 19 (1), 39-88, 1982.
2. Mittal, S., Dym, C. L.; PRIDE: An Expert System for the Design of Paper Handling Systems, IEEE Computer, Vol.19; July 1986.
3. Frayman, F., Mittal, S.; COSSACK : A Constraint-based Expert System for Configuration Tasks. Proceedings of The 2nd International Conference on Applications of AI to Engineering, Boston, MA., 1987.
4. Marcus, S., Stout, J., McDermott, J.; VT: An Expert Elevator Designer that uses Knowledge-based Backtracking, AI magazine 9 (1), 95-112; 1988.
5. Brown, D.C., Chandrasekaran, B.; Design Problem Solving : Knowledge Structures and Control Strategies. Morgan Kaufmann, 1989.
6. Kutsuwata, S., Nakamura, Y.I.; Optimum Design of Current Electrophotographic Process and Equipment. Publication of the Management Development Center, 1989 (In Japanese).
7. Akagi, S.S., Fujita, K.K.O.; The Fundamentals and Applications of Design Expert Systems, 1st. ed.. Corona Publishing Co., 1990 (In Japanese).
8. ART-IM Function Library Reference, ART-IM/MS-DOS 2.0 BETA. Inference Corporation, 1990.
9. Kaneko, K.; The Design of Paper Feeding Mechanism. Daily Engineering Newspaper Co., 1990 (In Japanese).
10. 김 혁, 윤용산; 플라이 휘일의 설계를 위한 지식 기반 전문가 시스템의 개발에 관한 연구, 대한기계학회 논문집 14(5), 1138-1146; 1990.
11. Coyne, R.O., Rosenman, M.A., Gero, J.S.; Knowledge Based Design Systems, Addison-Wesley, 450-451, 1990.
12. Balkany, A., Birmingham, W.P., et al.; A Knowledge-level Analysis of Several Design Tools, in Gero, J.S. (Ed.), Artificial Intelligence in Design '91, 921-940; 1991.
13. Rumbaugh, J., Balha, M., Premerlani, W., Eddy, F., Lorenzen, W.; Object-Oriented Modeling and Design. 1991.
14. Tommelein, I.D., Leit, R.E., Hayes-Roth, B., Confrey, T.; SightPlan Experiments: Alternate Strategies for Site Layout Design, ASCE Journal of Computing in Civil Engineering 5 (1), 42-63; 1991.
15. Huang, G. Q., Brandon, J. A.; Cooperating Expert Systems in Mechanical Design. John Wiley & Sons, 1993.
16. 구도연, 한준홍; 프린터의 급지 기구 설계 전문가 시스템, 한국전문가시스템학회 추계학술대회 논문집, 373-381; 1994.
17. Dym, C. L.; Engineering Design - A Synthesis of Views. Cambridge University Press, 1994.
18. 정태형, 김현; 치차 설계를 위한 통합 설계 시스템 개발에 관한 연구, 대한기계학회 논문집 19(10), 2537-2547; 1995.