

온톨로지 기반 지능형 금형 설계 시스템의 개발

이상현*, 강무진**, 엄광호***

Development of Ontology-based Intelligent Mold Design System

Sang Hun Lee*, Mujin Kang** and Kwang-Ho Eum***

ABSTRACT

This paper describes an ontology-based intelligent CAD system for injection mold design, which has been developed based on a commercial CAD system called Unigraphics and an ontological framework for representing the implicit design knowledge as well as the explicit based on the extended function-behavior-structure (FBS) engineering design model that includes the constraint. The system also provides various convenient solid modeling capabilities for mold design and the design process modeling capability that facilitates mold redesign process.

Key words : CAD, Design knowledge, Knowledge representation, Mold design, Ontology, Solid modeling

1. 서 론

1.1 연구 배경

최근 3차원 제품 설계가 전 산업 분야에 널리 확산됨에 따라 금형 설계에서도 3차원 CAD 시스템을 도입하여 적용하는 사례가 보편화되었다. 또한, 효율적인 금형 설계를 위하여 범용 CAD 시스템과 함께 금형설계 전용 CAD 시스템들이 널리 사용되게 되었다^[1]. 그러나 금형 설계는 많은 경험적인 전문 지식을 바탕으로 이루어지기 때문에 단지 3차원에서의 전환만으로 설계 효율화를 달성할 수 있는 것은 아니며, 이를 위해서는 유용한 설계 지식을 모아 지식베이스를 구축하고 CAD 작업 환경에서 이를 활용할 수 있도록 해주는 것이 필요하다^[2]. 그러나 기존의 전통적인 설계 전문가시스템은 CAD 시스템과 유기적으로 통합되지 못하고 단독으로 작동하는 경우가 많았기 때문에 지식 추론 결과를 설계에 반영하기 위해서는 CAD 시스템상에 별도의 수작업을 해야 하는 등 불편한 점이 많았다. 또한, 설계자의 지식은 간단히 규

칙(rule) 형태로 나타낼 수 있는 것과 복합적인 형태로 정형화하기 어려운 것이 있는데, 전자의 경우는 규칙 기반 전문가 시스템을 통하여 비교적 쉽게 구현될 수 있으나, 후자의 경우는 지식의 표현과 추론이 용이하지 않기 때문에 이를 실용화하기에 어려운 점이 있었다.

본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 3차원 CAD 모델링 시스템과 온톨로지 기반의 지식관리 시스템이 긴밀히 통합된 지식기반 3차원 금형설계 시스템을 개발하였다. 3차원 CAD 시스템은 금형 각 부품을 쉽게 모델링하는 기능을 갖추도록 하였으며, 지식관리 시스템은 정형화시키기 어려운 설계 지식을 온톨로지 기술을 이용하여 표현하고 저장소에 담아 그로부터 설계에 유용한 정보를 추출할 수 있도록 하였다.

1.2 관련 연구

사출 금형 설계 전용 CAD 시스템에 관한 최초의 연구는 이상현 등^[7]에 의하여 수행되었으며 솔리드 모델링 커널인 Romulus를 바탕으로 MoldMod라는 금형설계 시스템을 개발하였다. 이 연구에서는 이미 상하형 자동 분리(parting), 표준부품 라이브러리의 구축 및 활용, 설계자의 경험식의 프로그램내 구현 등을 실현하였으며, 이후 개발된 각종 금형설계 전용 시스템은 여기에서 제안된 3차원 금형설계 시스템의 구조 및

*교신저자, 종신회원, 국민대학교 자동차공학과

**종신회원, 성균관대학교 기계공학부

***학생회원, 성균관대학교 기계공학부 대학원

- 논문투고일: 2010. 12. 25

- 논문수정일: 2011. 01. 14

- 심사완료일: 2011. 01. 14

프로세스를 대부분 그대로 따르고 있다. 그러나 당시에는 현업에서의 제품 설계가 대부분 2차원으로 이루어졌기 때문에 이와 같은 3차원 금형설계 시스템은 실무에 사용되지 않았다. 1990년대에 이르러 특징형상 기반 파라메트릭 모델링 기법이 3차원 CAD시스템에 도입되면서 실무에 3차원 CAD시스템이 급속히 확산되었으며, 3차원 제품설계가 이루어짐에 따라 금형설계도 3차원으로 전환하게 되었다. 이에 발맞추어 국내외 많은 CAD 업체들이 활발하게 금형설계 전용 CAD 시스템의 개발에 착수하였으며, 그 결과 MoldWizard^[11]와 MoldWare^[2], K-MOLD^[3], T-Mold^[4] 등과 같은 다수의 상용시스템이 출현하게 되었다. 한편, 싱가포르 대학의 Lee 등^[8]은 Unigraphics를 기반으로 한 사출 금형 설계 시스템인 IMOLD를 개발하였으며, 후에 이를 바탕으로 SolidWorks를 기반으로 한 IMOLDWorks^[9]를 개발하였다. 이들은 IMOLD를 개발하면서 최적 파팅 방향의 결정, 파팅 라인과 파팅 곡면의 자동 결정, 이젝팅(ejecting) 시스템의 최적 설계에 대한 연구 결과를 발표하였다. 또한, Kong 등^[10]은 윈도우 시스템 기반의 사출 금형 설계 시스템에 관한 연구를 수행하였다.

인공지능 기법을 이용한 지능형 금형설계 시스템에 대하여 살펴보면 다음과 같다. 허용정^[11]은 사출 제품의 부형상을 합리적으로 추론 설계할 수 있는 지식형 CAD 시스템을 제안하였는데, 이를 위하여 성형공정 및 구조 해석 등의 CAE 프로그램들과 전문가의 경험 및 지식에 대한 지식베이스 관리 시스템, 그리고 부형상의 도형정보의 생성을 위한 특징형상 모델러를 통

합하는 작업을 수행하였다. Shan 등^[5]은 금형 설계자가 제품에 대한 금형 설계 시 가이드 라인을 제공받을 수 있도록 자동화된 지능형 설계 시스템인 IKB-MOULD를 개발하였다. Lou 등^[6]은 각 단계의 설계 작업에서 생성되는 지식은 그 접근 방법이나 표현 방법 그리고 지식의 양식이 다르다는 점에 착안하여 각 설계 단계에서의 지식 특성에 따라 다른 표현 방법을 이용하는 것을 제안했다. 금형 설계 지능화 시스템에서 금형 설계 지식을 형태에 따라 설계 지식을 표현하기 위해 Frame-rule, 신경망, 사례기반, 수학적 계산의 네 종류의 표현방법을 사용하고, 데이터베이스에서는 금형 베이스의 모델들의 다양한 사례가 저장되도록 하였다. 한편, 강무진 등^[12]은 지능형 설계를 위한 설계 저장소 기술을 개발하였으며, 김용세 등^[13]은 온톨로지 기반 설계 패러다임에 대한 고찰을 수행하였다. 최근 Park 등^[14]은 명시적인 설계 지식과 암묵적인 설계 지식을 함께 표현할 수 있는 온톨로지 모델을 바탕으로 한 프레임워크를 개발하고, 이를 설계 저장소와 결합시키는 방법에 관한 연구를 수행하였다. 이를 위하여 기존의 FBS 모델에 constraint를 추가시킨 확장형 모델을 제안하였다.

2. 시스템 설계

본 연구의 목표는 설계에 관한 전문적인 노하우나 경험지식을 축적 저장함으로써 새로운 대상에 대한 설계를 신속히 수행하고, 또한 설계 변경에 대해서도 신속한 대응이 가능한 지능형 3차원 금형설계 시스템

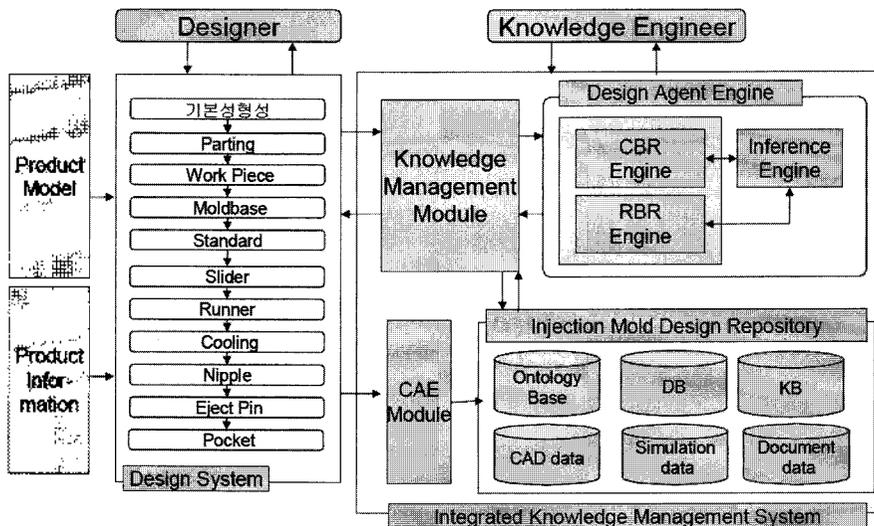


Fig. 1. Overall system architecture.

을 개발하는데 있다. 이러한 목표를 달성하기 위하여 지식베이스의 구축 및 추론이 가능하며 그 결과가 바로 3차원 금형설계에 적용될 수 있는 통합된 형태의 3차원 금형설계 시스템을 개발하였으며, 기존 시스템들과는 달리 3차원 금형설계 시스템의 조립체 구조를 체계적이고 알기 쉽게 정의하고 제품에 국부적인 설계 변경이 있을 때 앞서 설계한 금형을 손쉽게 변경할 수 있는 새로운 재설계 기법을 개발하였다.

본 연구에서 개발된 지능형 금형설계 시스템의 전체 구조가 Fig. 1에 나타나 있다. 시스템은 크게 3차원 금형설계용 CAD 시스템과 온톨로지 기반의 통합 지식관리 시스템으로 구성된다. 금형설계 CAD 시스템은 금형 설계를 담당하는 부분으로 이는 다시 크게 코어/캐비티 설계 부분과 볼드베이스 설계 부분으로 나누며, 그밖에 설계 프로세스 전반에 대해 필요한 정보를 저장하고 제품에 변화가 일어났을 때 각 모듈의 기능을 이용하여 금형 모델을 재구성하는 역할을 수행한다. 한편, 지식관리 시스템은 지식 베이스의 관리 및 질의 응답을 처리하는 기능을 담당한다. 지식베이스는 금형 부품의 파트(part) 온톨로지, 금형 설계 프로세스에 관한 태스크(task) 온톨로지, 금형 설계 의사결정을 위한 룰 베이스(rule base), 그리고 표준부품, 재료 물성치, 성형 조건 등의 라이브러리를 포함한다. 추론 모듈은 설계 프로세스에서의 질의에 따라 저장된 설계 규칙을 추론하여 설계 변수 결정 등 의사결정을 지원한다.

3. 설계 지식 관리 시스템

온톨로지는 지식의 개념을 클래스와 인스턴스, 그리고 이들 간의 관계를 논리적으로 표현하여 명세화하는 것으로 적용대상에 대한 실제적인 관점을 반영할 수 있는 장점을 가지고 있다^[15]. 설계지식을 온톨로지로 구축하면 설계지식의 구조에 대한 명세가 정립되기 때문에 분산되어 있는 설계 지식들을 통합할 수 있는 체계를 가질 수 있으며, 정량화하기 어려운 설계 지식을 표현하는 데 적절한 방법이 될 수 있다. 또한 설계 지식을 활용하기 위해 키워드 검색에 의존하던 방식을 탈피하여 온톨로지서 제공하는 추론 메커니즘을 이용하여 요구되는 지식을 지능적으로 제공할 수 있는 환경을 구축할 수 있다^[16].

본 시스템에서는 금형 설계 지식을 온톨로지 에디터를 통해 온톨로지 모델링하고 저장하며, 저장된 금형 설계 지식 온톨로지는 요청 시 추론을 실행하고 그 결과를 워리블 통해 사용자에게 제공할도록

하고 있다.

3.1 온톨로지 구축 프로세스

금형설계 지식을 효과적으로 온톨로지로 구축하고 관리하기 위하여 온톨로지 구축 프로세스를 명세화, 개념화, 형식화, 구현의 4단계로 정의하였다^{[17][8]}.

첫째, 명세화 단계는 프로젝트의 요구 사항을 정의하고 이를 바탕으로 개발하고자 하는 온톨로지의 목적, 범위, 대상영역, 구현기술 등을 정의하여 명세서를 작성한다.

둘째, 개념화 단계에서는 먼저 명세서에 정의된 목적, 영역, 범위 등에 따라 대상 지식을 수집하며, 수집된 지식을 바탕으로 용어사전, 개념사전, 속성사전을 작성한다. 용어사전은 개념, 속성, 인스턴스 상관없이 모든 용어를 분석하여 작성하며, 개념사전과 속성사전은 지식의 개념과 속성들에 대한 서술 논리(description logic)를 기반으로 작성한다.

셋째, 형식화 단계에서는 사전 형태로 구성된 설계 지식 온톨로지를 컴퓨터에서 사용가능한 형태로 표현하기 위해 서술 논리를 기반으로 하는 OWL-DL(Description Logic)^[19]와 SWRL(Semantic Web Rule Language)^[20]로 코딩한다. 복잡한 설계 지식의 경우 복수 속성과 인과 관계의 표현이 필수적인데 OWL-DL은 이에 한계가 있기 때문에 SWRL을 이용하여 확장된 지식을 표현하기 위한 Rule을 작성한다. SWRL을 이용한 Rule은 Protégé의 SWRL TAB을 이용하여 구축한다.

넷째, 구현 단계에서는 추론 엔진을 이용한 추론 메커니즘과 지식 획득을 위한 쿼리 메커니즘이 구현된다. 본 시스템에서는 Racer pro를 이용하여 OWL-DL + SWRL로 형식화된 온톨로지를 추론한다.

3.2 온톨로지 모델

Gerol^[21]는 소비자의 목적에 맞는 요구 기능을 구체화하고 이 기능을 제공할 수 있는 인공물을 묘사하는 것으로 설계를 정의하고, 설계 과정을 설명하기 위하여 기능(function), 구조(structure), 기대 거동(expected behavior), 실제 거동(actual behavior), 설계 묘사(design description)로 구성되는 FBS모형을 제안하였다.

본 지능형 금형설계 시스템에서 사용된 금형부품 설계지식 온톨로지 모델은 Fig. 2에 나타난 것과 같이 설계 요소 사이의 관계를 표현하기 위한 제약조건(constraint)을 기존의 FBS 모델에 추가한 확장 모델을 사용하였다^{[14][22]}. 이 모델에 대한 상세한 내용은 [14]

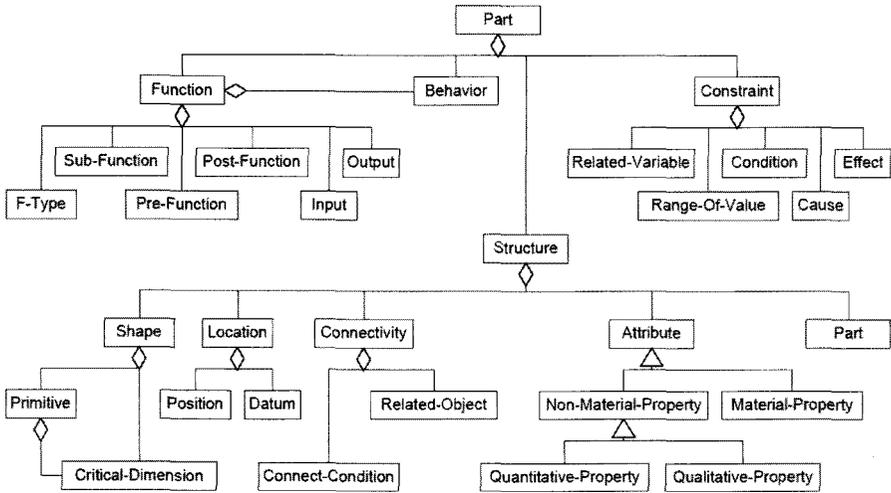


Fig. 2. Mold part ontology model^[14].

를 참고하기 바란다.

3.3 설계 지식의 추론

금형 설계 지식을 저장하고 그로부터 필요한 지식을 추론을 통해 획득하기 위한 지식 관리 시스템의 구조는 Fig. 3에 나타난 것과 같이 추론 모듈(Inference Module), 지식베이스(Knowledge Base), 지식관리 모듈(Knowledge Management Module)의 세 부분으로 구성되어 있다. 온톨로지 기반 지식베이스에는 사출 금형 설계 지식이 OWL-DL + SWRL로 모델링하여 저장되어 있다. Part-Ontology를 기반으로 사출 금형 설계 지식을 분석하여 OWL-DL을 이용하여 표현하고, SWRL을 이용하여 사출 금형 설계의 각 단계에서 요구되는 지식을 규칙으로 작성하여 Inference Preparation에 저장시킨다.

사용자가 설계 조건에 따라 지식을 요청하면 아래 세 단계의 추론과정을 거쳐 해당 지식을 제공한다. 첫째 단계는 추론 준비 단계로서 추론을 위한 조건을 사

용자 인터페이스를 통해서 입력받는다. 둘째 단계는 추론 시행 단계로서 앞 단계에서 입력된 설계 조건들을 분석하여 조건에 적절한 해당 추론 규칙을 선택한 후 이를 추론 엔진에 적재하고 점화시킨다. 셋째 단계는 결과 처리 단계로서 추론 엔진으로부터 추론의 결과를 받아서 사용자에게 적절한 형태로 제공한다.

4. 금형설계 전용 CAD 시스템

Unigraphics를 이용한 사출금형 설계 전용 CAD 시스템에 대한 설계자의 요구사항을 파악한 결과 효과적인 설계를 위해서는 금형의 조립체(assembly) 구조가 체계적이고 알기 쉬워야 하며, 설계자가 유연성과 융통성을 가지고 설계를 할 수 있어야 하며, 제품이 수정될 때 금형의 재설계가 용이하게 수행될 수 있어야 한다는 것을 알 수 있었다. 이러한 각각의 요구 사항에 대응하기 위하여 금형설계 전용 CAD 시스템의 개발 목표를 다음과 같이 설정하였다.

- 조립체 구조: 금형의 상측과 하측의 독립적인 설계가 가능하고 설계자의 직관과 일치하는 새로운 조립체 구조를 설계한다.
- 기반 CAD시스템과의 통합 환경: 각각의 설계 작업 별로 모듈화하여 각 작업의 실행 순서에 관계 없이 설계가 가능하도록 하는 시스템 구조를 갖도록 한다. 특히, 파팅 작업에서의 유연성이 확보될 수 있도록 완전 자동화를 지양하고 파팅 곡면 생성에 설계자가 일반 기능을 사용할 수 있도록 한다.
- 재설계 용이: Unigraphics 시스템에서는 파라미터

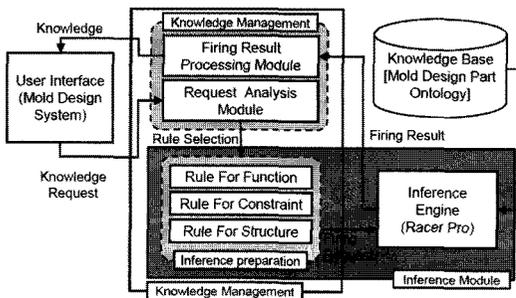


Fig. 3. Inference process.

가 유지되는 상태에서는 원본의 형상 변화가 결과물에 반영된다. 제품의 파라메트릭한 형상 변화에 대하여, 금형의 대응하는 형상부에 Unigraphics 시스템 차원에서 자동으로 변경이 이루어 질 수 있도록, 설계 전 과정에서 파라미터를 유지한다. 또한 설계 과정 모델링의 구현을 통해 제품의 설계 변경에 효율적으로 대응하도록 한다.

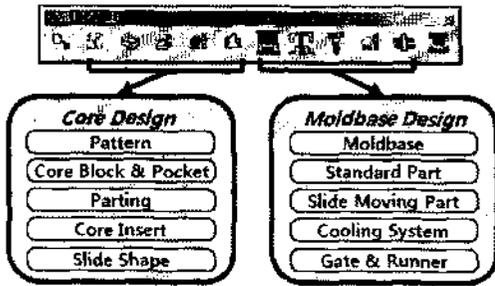


Fig. 4. The CAD system dedicated for mold design.

Fig. 4는 이러한 복표본 바탕으로 구성된 시스템의 전체 구조를 나타내고 있다 시스템은 크게 코어 설계(Core Design) 모듈들, 볼드베이스 설계(Moldbase Design) 모듈들, 그리고 기타 모듈들로 구성되어 있다. 재설계 편이 기능은 전체 모듈 내에서 이루어지는 작업 전반에 관여하여 필요한 정보를 저장하고 제품에 변화가 일어났을 때 각 모듈의 기능을 이용하여 금형 모델을 재구성할 수 있도록 한다.

4.1 조립체 구조

본 시스템의 전체 조립체 구조는 Fig. 5에서 보는 바와 같이 미리 만들어진 기본 조립체를 불러와서 해당 파트 밑으로 새로운 파트를 생성하여 부품들이 삽입되는 형태이다. 설계자들의 동시 설계를 고려하여 기본 조립체 구조를 크게 상측 부분과 하측 부분으로 분리하였다. 상측 부분은 캐비티부를 포함한 상측에 삽입되는 표준 부품들이며, 하측 부분은 코어(core)부와 하측 삽입 표준 부품들로 구성되어 있다.

기본 조립체에는 볼드베이스 형상과 관련된 정보들이 담겨 있다. 본 시스템에서는 제품 모델을 입력하고 기본 조립체를 초기화하는 기능을 제공한다. 시스템 초기화에서는 제품을 불러오는 폴더 경로와 저장할 경로를 지정하게 된다. 그리고 파트 이름을 정의하는 부분이 있는데 본 시스템에서는 금형 설계 과정 중 생성된 파트 파일을 효과적으로 관리하기 위해서 정해진 규칙에 따라 파일의 이름을 생성하도록 설계되었다.

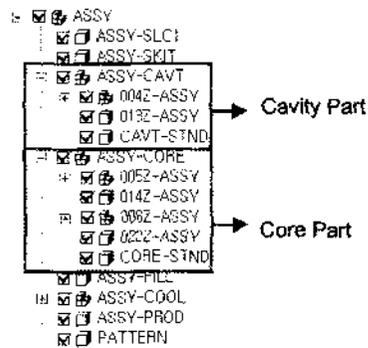


Fig. 5. Mold assembly structure.

4.2 재설계 지원

금형설계 과정에 있어 중간 또는 작업이 끝난 후에도 제품이나 부품에 대한 형상, 위치, 치수 정보의 변경이 빈번하게 발생한다. 이러한 변경에 즉각적인 대응을 위해 설계 프로세스 모델링(design process modeling) 기법을 개발하였다. 여기서 설계 프로세스 모델링이란 이미 설계가 완료됐거나 진행 중인 설계에 대해서 어떠한 형상의 변화가 발생했을 때, 변경된 형상에 대하여 각 부품간의 치수와 위치관계, 기하학적 요소 관계들을 유지할 수 있도록 하는 기법을 말한다. 이를 구현하기 위해서는 기본적으로 각 설계 과정에서 사용된 데이터를 적절히 저장하고 이용하는 것이 필요하다.

금형 설계 과정에서 수정될 수 있는 부분은 제품 형상의 치수에 관련된 변화와 제품 형상 자체가 치환되는 변화로 분류할 수 있다.

첫 번째 제품 형상 치수 변경에 관련된 변화는 CAD 시스템 내에서 어떠한 특정 형상(feature)을 생성했을 경우 관계되는 parameter가 수식(expression)의 형태로 존재하는 특정 형상 관련 정보를 변경했을 경우이다. Unigraphics에서는 파라메트릭 모델링(parametric modeling)이라 불리는 기능이 제공되는데, 두 가지 이상의 물체(A, B)에 대해 어떤 작업(operation)을 수행한 후에 한 물체(A) 형상을 변경하게 되면 나머지 물체(B)의 형상에도 같이 영향을 미치게끔 모델러가 자동으로 대응하여 준다. 이와 같이 금형 설계 전과정에서 서로 관련된 parameter를 유지하면서 모델링을 하게 되면 분할을 다시 해야 되는 번거로운 작업은 피할 수가 있다.

두 번째 제품형상자체의 치환으로 인한 변경은 금형 의뢰자가 수정된 제품 모델을 다시 제공하면서 금형 설계의 수정을 요청한 경우에 해당되며 실제 현상에서는 적잖게 발생하고 있다. 제품 형상 자체의 변화

로 인해 parameter가 깨지게 되면 처음부터 다시 금형 설계를 해야 되는 불가피한 경우가 발생한다. 이를 위하여 본 논문의 설계 프로세스 모델링 기법이 개발되었다. 먼저, 금형 설계의 각 기능별 설계 과정에서 제품 형상에 관련된 치수, 기하학적 요소(geometry)에 대한 정보들이 저장된다. 제품 형상의 변화가 발생했을 때 각각의 저장된 정보에 대하여 변경된 제품과 비교해서 변경이 없는 부분은 자동으로 재인식하고 변경이 있는 부분은 사용자로부터 입력 받아 새롭게 모델링을 한다.

Table 1. Part information storage

Information	Storage
Part Type	Part Attribute
Type, Dimension, Location	Expression
Edge, Curve, Sheet Body, Solid Body	Object Name

각 모델링 모듈 가운데 주요한 몇 가지 모듈에 대한 재설계 과정을 간략히 설명하면 다음과 같다.

- Parting 모듈: 파팅 과정에서 저장된 데이터는 파팅 라인과 파팅 곡면의 이름들이다. 설계 변경이 일어났을 경우 본 모듈의 삭제 기능을 이용하여 기존에 생성했던 코어와 캐비티 블록, 파팅 곡면, 파팅 라인 등을 이름으로 검색하여 삭제한다. 설계 변경과 관련된 형상의 파팅 곡면은 삭제하지 않고 다시 이용할 수 있다. 변경된 부분에 대한 파팅 곡면을 새롭게 생성하면 저장된 파팅 곡면과 새로운 파팅 곡면 상의 모서리와 새로운 제품의 모서리와 일치하는 것을 새로운 파팅 라인으로 인식시킨다. 재인식된 파팅 라인과 파팅 곡면을 이용하여 상/하 곡면을 새롭게 생성하고 코어블록을 트림하여 코어와 캐비티를 생성한다.

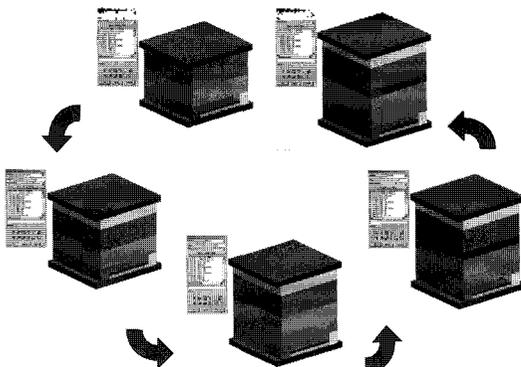


Fig. 6. Moldbase redesign.

- Moldbase 모듈: 몰드베이스에 대한 설계 변경은 각 플레이트들의 파트에 있는 수식으로 조정이 가능하다. 타입의 변경에 따라 suppress와 mating 조건을 수정하여 재설계를 한다. Fig. 6은 타입 변경에 따른 몰드베이스의 다양한 변화를 보여주고 있다.
- Standard Part 모듈: 표준 부품 생성 시 표준 부품과 몰드베이스 간의 연관 관계 때문에 Fig. 7에 나타난 것과 같이 플레이트 크기가 변경되면 표준 부품의 크기도 따라서 변하게 되며, auto positioning과 같이 부품의 위치에도 연관 관계가 주어진 것은 플레이트 크기가 변해도 연관 관계는 계속 유지하게 된다.

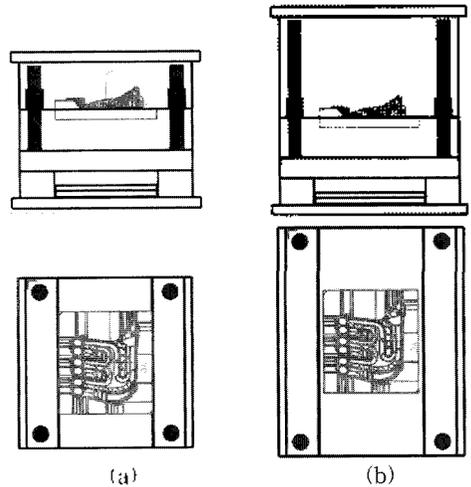


Fig. 7. Redesign of standard parts: (a) initial parts, (b) modified parts.

- Slide Moving Part 모듈: 슬라이드 구동부의 재설계는 슬라이드 코어의 위치 및 치수 변경에 따른 기타 부품들과의 연관성과 관련이 있다. 슬라이드 형상에 대한 슬라이드 코어의 위치 변경은

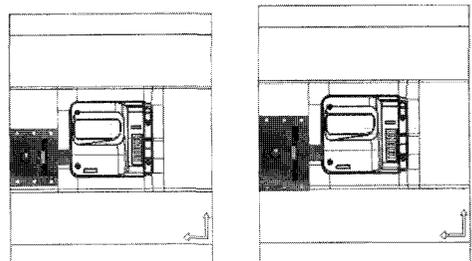


Fig. 8. Redesign of a slide assembly.

변경된 슬라이드 형상의 면을 선택하여 재위치(reposition)를 할 수 있으며 기타 부품들은 슬라이드 부품들 간의 설계 규칙에 의하여 자동으로 변경이 된다. 변경되는 원리는 각 파트들 간의 수식을 갱신하는 방식이다. Fig. 8에 그 설계 예가 잘 나타나 있다.

- Cooling 모듈: 제품 형상과 관련되는 탱크 냉각에 대한 재설계는 변경되는 파트를 검색하고 변경된 제품의 하측 곡면에 대해서 ray test를 수행한다. 다음 ray와 곡면의 교차점을 계산하여 높이를 알아내고 높이 관련 수식을 새로운 높이로 갱신한다. 그 예가 Fig. 9에 나타나 있다.

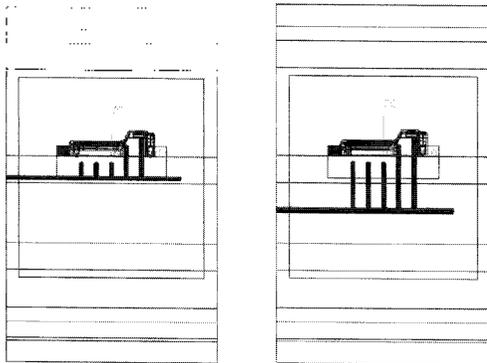


Fig. 9. Redesign of a cooling channel.

5. 금형설계전용 CAD와 지식관리 시스템의 통합

온톨로지 기반 지식관리 시스템과 금형설계 전용 CAD 시스템이 통합됨으로써 앞서 Fig. 1에 나타난 것과 같은 지능형 금형설계 시스템이 완성될 수 있다. 본 연구에서는 프로토타입으로서 대면적 미세형상 부품인 도광판(loght guide plate: LGP)에 대한 금형설계를 지원하는 지능형 금형설계 시스템을 개발하여 그 효용성을 검증하도록 하였다. 도광판은 LCD 모니터의 크기와 같이 면적이 넓은 반면 표면에 수백 nm에서 수십 μm 의 미세형상 구조를 갖는 대표적인 대면적 미세형상 제품으로 이러한 제품 특성에 따라 특별한 금형설계 지식이 요구된다.

본 지능형 금형설계 시스템은 전문가의 판단을 필요로 하는 사항에 대해서 설계자의 요구에 따라 지식관리 시스템이 추론 결과를 제시하고 금형설계 전문 CAD 시스템이 이를 바탕으로 구체적인 설계 결과를 생성하도록 하는 방식으로 설계가 진행될 수 있도록

하였다. 구체적으로는 설계자가 GUI를 통해 시스템에 지식 검색을 요구하면 지식 관리 시스템의 추론 함수를 호출하고 그 결과를 받아서 설계자에게 다이얼로그 박스로 메시지를 출력시켜 설계에 관한 전문가의 판단 결과를 보여준 후, 필요시 이후 지능형 설계 시스템의 설계 모듈의 GUI에 추론 결과 정보를 추가값으로 보여주고, 설계자의 판단에 따라 그 값을 그대로 쓰거나 수정하여 모델이 생성 또는 수정될 수 있도록 하였다.

도광판 금형 설계 과정에서 온톨로지 기반 설계 지식 관리시스템은 Table 2에 나타난 것과 같이 금형설계 프로세스 전반에 걸쳐 설계 지식을 설계자에 제공할 수 있도록 구축되어 있다. 이 가운데 게이트 설계하는 부분과 볼드베이스 설계하는 부분에 대해서 소개하도록 하겠다.

Table 2. Knowledge inference in mold design process

No	Design Step	Inference Results
1	Core/Cavity Design	- Cavity number - Core/cavity plate dimensions
2	Gate Type	- Gate type for selecting LGP moldbase type
3	Moldbase Basic Type	- LGP moldbase type (2 or 3 plate)
4	Support Plate, Core/Cavity Type	- Core/cavity type of LGM mold.
5	Gate Design	- Gate dimensions - Gate number and locations
6	Runner	- Runner type for LGP mold
7	Sprue	- Sprue shape and dimensions
8	Cooling System	- Cooling channel type - Cooling channel length, flow rate, coolant.
9	Ejecting System	- Ejecting condition and pin positions
10	Standard Part	- Part dimensions

5.1 게이트 설계

본 지능형 금형설계 시스템에서는 UG/Open으로 구현된 금형설계 전용 CAD 시스템과의 통합을 위해 지식관리 시스템과의 인터페이스를 C 함수 형태로 구현하였다. 실제 C/C++로 구현된 게이트 설계 모듈의 내부에서 온톨로지 기반 지식관리 시스템의 함수를 호출하는 부분의 예가 Fig. 10에 나타나 있다. 또한 이 추론 함수의 입력값과 출력값이 Table 3에 나타나 있다. 입력값으로는 제품의 기능적 요구 사항과 수지의

타입이 들어가며, 출력값으로는 게이트의 타입과 적절한 도광판의 크기가 반환된다.

```
RacerProClientSocket appClient; //RacerProClientSocket Class
생성
:
appClient.FIND_GATE_TYPE (*입력값*/FUNC_REQ,
/*입력값*/RESIN, /*출력값*/gate_type,
/*출력값*/cav_size);
;
```

Fig. 10. Calling the inference function for selecting gate type.

Table 3. Specification of the inference function for selecting gate type

Process	FIND_GATE_TYPE	
Description	Find gate type and LGP size from the given resin type and function requirement to prevent molding defects.	
Input Parameter	Function Requirement	- Prevent Flow Mark - Prevent Gate Mark - Auto Cutting Gate
	Resin Type	- PMMA(Acrylic) - Polycarbonate
Output Parameter	Gate Type	- Direct, Side, Overlap, Fan, Film, Ring, Disk, Tab, Pin Point, Tunnel
	Cavity Size	- 17 inch, 20 inch, 30 inch, 40 inch

Fig. 11은 온톨로지 기반 지식관리 시스템이 설계자로부터 게이트 타입을 결정하기 위해 필요한 입력값

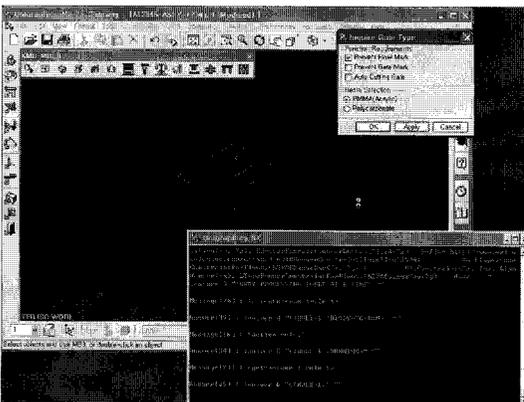


Fig. 11. Knowledge inference by the ontology-based knowledge management system.

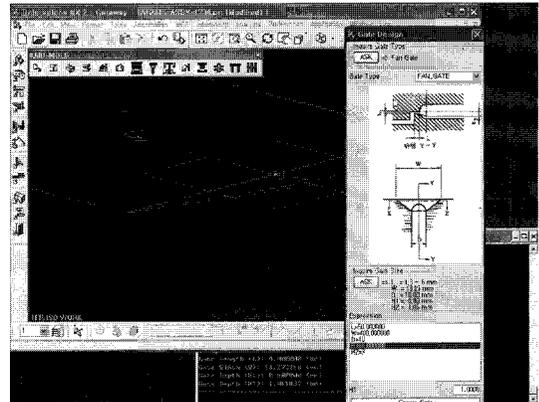


Fig. 12. Geometric modeling of a gate based on the knowledge inference result.

을 전달받아 적절한 게이트의 타입을 찾고 있는 모습을 보여주고 있다. 여기서 사용자 인터페이스는 Table 3에 나타난 입력값을 선택할 수 있도록 구성되어 있다. Fig. 12는 지식관리시스템이 제안한 게이트 타입을 수용하고, 게이트의 크기를 시스템이 가진 경험식으로 계산한 후, 최종적으로 UG/Open 모델링 함수를 호출하여 게이트의 솔리드 모델을 생성시킨 모습을 보여주고 있다.

5.2 몰드베이스 설계

몰드베이스 설계를 위한 사용자 인터페이스는 Fig. 13에 나타난 것과 같이 크게 세 부분으로 되어 있다. 첫 번째 열은 온톨로지 기반 지식 관리시스템을 이용한 설계 지식의 검색을 위한 것이며, 두 번째 열은 캐비티 판과 시포트 판의 사이즈를 계산해 주는 기능이며, 세 번째 열은 몰드베이스의 3차원 형상 모델을 직접 생성하거나 수정하는 부분이다. 통상 첫 번째 열부터 시작하여 두 번째와 세 번째 열의 기능을 수행하는 방식으로 설계를 수행한다.

Fig. 14는 첫 번째 열의 추천 기능 가운데 세 번째인 몰드베이스의 타입을 추천받는 기능을 수행했을 때의 장면을 보여주고 있다. 몰드베이스의 타입을 선정하기 위한 지식관리시스템의 함수는 Table 4에 나타난 것과 같은 입력값으로 캐비티의 개수와 게이트 타입이 들어가며 출력값으로는 몰드베이스의 타입이 반환된다. Fig. 15는 이와 같은 설계 과정을 거쳐 최종적으로 생성된 몰드베이스의 솔리드 모델 상에 설계를 계속 진행하여 최종적으로 도광판에 대한 금형 모델을 완성시킨 모습을 보여주고 있다.

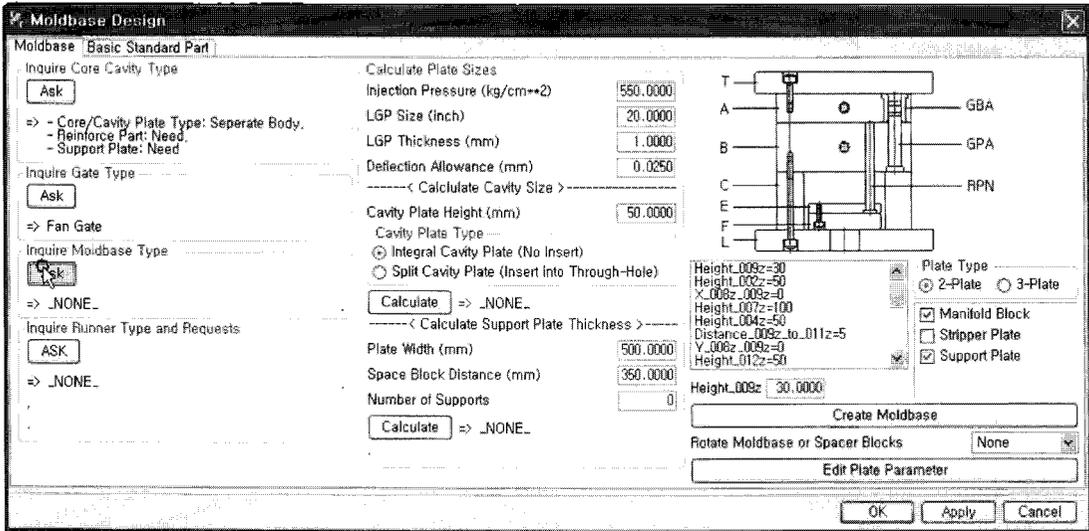


Fig. 13. Graphic user interface for the moldbase design module.

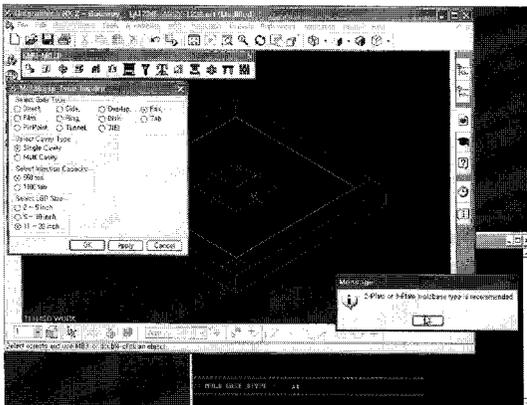


Fig. 14. Inferecing moldbase type.

Table 4. Specification of the inference function for selecting moldbase type

Process	FIND_MOLDBASE_TYPE	
Description	Find moldbase type from the given cavity number and gate type.	
Input Parameter	Number of Cavities	- Single cavity - Multiple cavity
	Gate Type	- Direct, Side, Overlap, Fan, Film, Ring, Disk, Tab, Pin Point, Tunnel
Output Parameter	Moldbase Type	- 2-Plate Mold - 3-Plate Mold

6. 결 론

본 연구에서는 3차원 CAD 시스템과 온톨로지 기반의 지식관리 시스템이 긴밀히 통합된 지능형 3차원 금형설계 시스템을 개발하고 대면적 미세형상 제품에 대한 금형설계에 이를 적용하여 보았다. 온톨로지 기술은 이용함으로써 정형화시키기 어려운 설계 지식들을 적절히 표현하고 저장소에 담아 이로부터 설계에 유용한 정보를 추출하는 작업을 수행할 수 있었으며, 금형설계 전용 3차원 CAD 시스템과 긴밀히 통합함으로써 추론 결과를 바로 금형 형상 모델링에 활용할 수 있었다. 또한, 금형설계 전용 3차원 CAD 시스템에서는 험업 설계가 용이한 금형 조립체 구조를 구현하고, 재실계를 위해 필요한 정보를 저장하고 활용함으

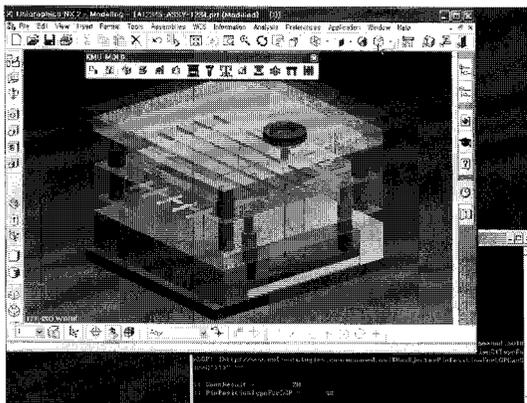


Fig. 15. Solid models for the completed mold.

로써 금형 설계의 효율을 높이도록 하였다.

향후 연구과제로서는 금형설계 지식 베이스의 확장, 금형설계 전용 모델링 기능의 강화 등이 있으며, 나아가 기존에 설계된 금형설계 결과를 활용하여 설계 효율성을 높일 수 있는 방법을 찾는 것 또한 필요하다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부 핵심연구개발사업 “대면적 미세형상의 초정밀/자능화 시스템 가공 원천 기술 개발” 과제, 서울시 산학연 협력사업 특허기술상품화 기술개발 지원사업(과제번호: PA090758) 및 2009년도 국민대학교 교내연구비를 지원받아 수행된 연구이며 지원 기관에 감사드립니다.

참고문헌

1. EDS, Mold Wizard, <http://www.eds.com>
2. FUJITSU, UG/Moldware, <http://kr.fujitsu.com>
3. 한국캐드캠솔루션, K-MOLD, <http://www.kcs21.co.kr>
4. 스페이스 솔루션, T-MOLD, <http://www.tomold.co.kr>
5. Shan, W. M., Yan, L., Xiang W. and Cheok B. T., “A 3D CAD Knowledge-based Assisted Injection Mould Design System,” *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 22, No. 5/6, pp. 387-395, 2003.
6. Lou, Z., Jiang, H. and Ruan, X., “Development of an Integrated Knowledge-based System for Mold-base Design,” *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 150, No. 1-2, pp. 194-199, 2004.
7. 이상현, 이건우, 고천진, “플라스틱 사출 금형 설계를 위한 CAD시스템의 개발,” *대한기계학회 논문집*, 제12권, 제6호, pp. 1227-1237, 1988.
8. Lee, K. S., Fuh, J. Y. H., Zang, Y. F., Li, Z. and Nee, A. Y. C., “IMOLD: An Intelligent Plastic Injection Mold Design and Assembly System,” *IES journal*, Vol. 36, No. 4, pp. 7-12, 1996.
9. IMOLDWorks, <http://www.eng.nus.edu.sg/imold>
10. Kong, L., Fuh, J. Y. H., Lee, K. S., Liu, X. L., Ling, L. S., Zhang, Y. F. and Nee, A. Y. C., “A Windows-native 3D Plastic Injection Mold Design System,” *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 139, pp. 81-89, 2003.
11. 허용정, “사출제품 및 금형의 통합적 설계지원을 위한 지식형 CAD 시스템,” *한국정밀공학회지*, 제12권, 제10호, pp. 32-39, 1995.
12. 강부진, 김정기, 안진철, 엄광호, “지능형 설계를 위한 설계 저장소 기술,” *한국정밀공학회지*, 제22권, 제1호, pp. 26-31, 2005.
13. 김용세, 강부진, 양정진, “온톨로지 기반 설계 패러다임에 관한 고찰,” *한국정밀공학회지*, 제22권, 제1호, pp. 7-13, 2005.
14. Park, C. H., Kang, M. and Ahn, J. C., “A Knowledge Representation Framework in Design Repository,” *Solid State Phenomena*, Vol. 120, pp. 235-240, 2007.
15. Gruber, T., “A Translation Approach to Portable Ontology Specifications,” *Knowledge Acquisition Journal*, Vol. 5, No. 2, pp. 199-220, 1993.
16. 엄광호, 강부진, “온톨로지를 이용한 대면적 미세형상 사출 금형 설계 지식 추론 기구,” *한국정밀공학회 2007년도 춘계학술대회 논문집*, pp. 783-784, 2007.
17. 엄광호, 강부진, “지능형 사출 금형 설계 시스템에서의 지식 관리,” *대한기계학회 2006년도 추계학술대회 강연 및 논문 초록집*, pp. 22-27, 2006.
18. 산업자원부, “대면적 미세형상의 초정밀/자능화 가공 원천기술 개발,” 1단계 보고서, 산업자원부, 2007.
19. <http://www.w3.org/TR/owl-features/>
20. <http://www.w3.org/Submission/SWRL/>
21. Gero, J. S., “Design Prototype: A Knowledge Representation Schema for Design,” *AI Magazine*, Vol. 11, No. 4, pp. 26-36, 1990.
22. 안진철, 강부진, “설계 지식 표현을 위한 객체 온톨로지에 관한 연구,” *한국정밀공학회 2005년도 추계학술대회 논문요약집*, pp. 804-809, 2005.



이 상 현

1986년 서울대학교 기계설계학과 학사
 1988년 서울대학교 기계설계학과 석사
 1993년 서울대학교 기계설계학과 박사
 1993년~1995년 산도리코 기술연구소 책임연구원
 1996년 대우 교통기술연구원 선임연구원
 1996년~현재 국민대학교 교수
 관심분야: CAD/CAM, Human-centered Design, Human-Vehicle Interaction, 3D Geometric Modeling, Die and Mold CAD, Automotive Design



강 무 진

1981년~1986년 독일 Berlin의 Fraunhofer-IPK(Fraunhofer-Institut fuer Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik: 생산시스템 및 실체공학연구소) 연구원
 1987년~1995년 한국과학기술연구원(KIST) 기전연구부(연구원, 선임연구원, 책임연구원)
 1990년~1992년 CIM국제연구개발사업 단장
 1994년 영국 University of Warwick, ATC(Advanced Technology Centre) Visiting Fellow
 1995년~현재 성균관대학교 기계공학부 교수
 2003년 미국 MIT 기계공학과 객원 교수
 2008년~현재 한국공학교육진흥원 부원장 겸 인증사업단장
 관심분야: Production Control, 공정관리, FMS, 생산 Simulation, 설계 지식 관리



엄 광 호

2004년 기계공학 학사(성균관대학교 기계공학과)
 2006년 메카트로닉스공학 석사(성균관대학교 메카트로닉스 공학협동과정)
 2006년~현재 메카트로닉스공학 협동과정 박사과정
 관심분야: 설계 지식 관리, Ontology, Intelligent System, 생산시스템