

# 지식 기반 사출 금형 설계시스템 구조

강무진\*(성균관대 기계공학부), 엄광호(성균관대 대학원), 김태수(KIST)

## On the Structure of a Knowledge-Based Mold Design System

M. Kang\*(School of Mechanical Eng., SKKU), K. H. Eum(Graduate School, SKKU), T. S. Kim (KIST)

### ABSTRACT

Mold design is a knowledge-intensive decision making process where product designer, injection molding engineer as well as mold designer affect each other. Representation and management of design knowledge is a prerequisite for an intelligent design system, which aims to guide and support designer to carry out design activity in more efficient way by avoiding or minimizing unnecessary trial and errors. This paper discusses the issues in knowledge-based mold design, and describes the structure of a knowledge-based mold design system for parts with micro features under development.

**Key Words** : Injection mold design(사출 금형 설계), Knowledge-based design(지식 기반 설계), Knowledge management(지식 관리), Ontology(온톨로지), Design repository(설계 저장소)

### 1. 서론

플라스틱은 현대의 제품에서 광범위하게 사용되고 있으며, 최근 시장의 수요와 영역이 점점 늘어나고 있는 추세이고 플라스틱 제품을 만들기 위한 가장 보편적인 방법이 사출 금형이다. 기업이 경쟁력을 높이기 위해서는 시장변화에 대한 빠른 대응이 필요하나, 사출 금형 설계가 광범위하고 높은 수준의 기술을 요구 하는 데에 반하여 실무에서는 금형 설계자와 사출 기술자의 경험에 의존하고 있어 시행착오가 불가피하여 신속한 설계가 어려운 실정이다. 이는, 설계과정이 기존에 가공된 다양한 설계 지식을 필요로 함에도 불구하고, 현재의 설계 시스템이 단편적인 정보만을 제공할 뿐 정보의 체계적인 활용을 통해 축적된 노하우와 지식을 제공하지는 못하고 있기 때문이다. 한편, 근래에 많은 주목을 받고 있는 지식기반 설계시스템은 설계에 필요한 설계자료, 설계지식, 설계경험, 설계과정 등이 그대로 컴퓨터 시스템 내부에 축적되어 있어 설계변경이나 반복 작업뿐 아니라 설계 담당자의 교체에 따른 많은 문제들을 해결할 수 있다. 또한 고려해야 할 모든 항목들이 설계 과정에 그대로 반영되어 시스템화되어 있기 때문에 초보 엔지니어라도 경험이 많은 설계자의 노하우를 수용할 수 있는 틀

을 제공하여 지속적으로 설계 지식을 획득, 축적함으로써 고유설계 능력을 보유할 수 있게 된다.

본 논문은 설계지식의 관리 방법과 대면적 미세형상 제품의 금형 설계를 위한 시스템을 소개하는 것으로, 지식 기반 설계 시스템의 구조와 각각의 모듈에 대한 설명 및 사례연구가 포함된다

### 2. 금형 설계 시스템 요구 조건

#### 2.1 사출 금형 설계 개요

사출 금형 설계는 금형 자체의 설계 뿐 아니라 제품 설계, 성형조건까지 고려해야 하는 복잡한 과정으로, 각 설계자들과 기술자들의 지식과 노하우가 공유되어 이용됨으로써 최종 금형 설계와 제품 설계, 그리고 사출성형성 검증 등이 동시에 진행되어야 한다. 즉, 사출 금형 설계는 제품의 모양에 따라 금형 설계를 진행하는 단순한 과정이 아니라 다양한 설계지식을 활용하는 복합적인 설계행위인 것이다.

Fig.1 은 금형 설계 과정에, 제품설계자와 금형 설계자, 그리고 성형기술자가 어떻게 관여하는지를 보여 준다. 금형 설계에서는 일차적으로 제품 형상에 따라 게이트의 위치를 검토하여 금형의 기본 구조를 결정하고, 사출성과 웰드라인, 싱크마크 등

불량 발생 가능성을 예측한다.

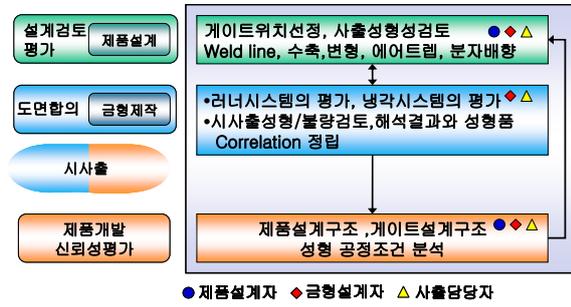


Fig. 1 Complexity in mold design

사출성과 응고 수축의 보정에 관한 검토가 되면, 형상부의 코아/캐비티와 몰드베이스를 설계하고 그에 따른 스프루, 러너, 게이트 등 유동 및 냉각 시스템을 설계하고 평가한다. 이때, 이들 설계 변수와 시사출에 의한 제품 성능 및 불량과의 상관관계를 충분히 검증해야 한다. 시행착오를 줄이기 위하여 CAE 시뮬레이션을 효과적으로 사용할 수 있다. 제품 설계에서 결정된 제품 형상은 금형 설계의 기본이 되지만, 금형구조와 사출성 검토 결과에 따라 제품의 주형상과 부형상이 조정될 필요가 있다.

### 2.2 대면적 미세 형상 고려 사항

대면적 미세형상을 사출금형으로 생산하기 위해서는 기존의 사출 금형 설계 인자들을 기반으로 대면적 특성이 제품과 금형설계에 미치는 영향에 대한 충분한 고찰이 필요하다. 대면적 미세 형상의 특성은 제품설계와 금형설계 그리고 사출 조건 등 다양한 부분에 영향을 미친다. 대면적 미세 형상 제품은 서브 마이크론 크기의 미세 패턴이 대면적에 걸쳐 분포되므로, 설계시에 형상 패턴의 대면적 배치 분포 특성이 성능에 미치는 영향을 미리 고려해야 한다. 또한, 금형을 이용하여 대면적 미세 형상 제품을 생산하는 경우, 대면적 미세형상 정밀 사출 성형물의 취출 기구나 잔류 응력, 수축 특성, 변형량 예측 및 보정 등에 관한 사항이 금형 설계시에 고려되어야 한다. 대면적 미세형상 제품의 예로서, 도광판(Light Guide Plate: LGP)은 고휘도 보장, 휘도의 균일도 유지, 휨 변형 방지 등의 요구조건을 만족해야 하고, 이를 위하여 재료 이외에 미세 패턴의 형상, 크기 및 분포, 열변형 보정, 사출성형법 선정 등의 요인들이 설계시 고려된다 (Fig.2). 높은 생산성을 위해서는 일반적으로 멀티 캐비티의 금형이 좋으나, 금형의 크기와 요구되는 사출기 용량, 그리고 금형제작 및 유지 보수 비용들을 종합적으로 고려하는 적절한 평가가 이루어져야 한다. 대면적 미세 형상 금형의 경우에는 단일 캐비티 금형이 현실적인 대안이라 할 수 있다.

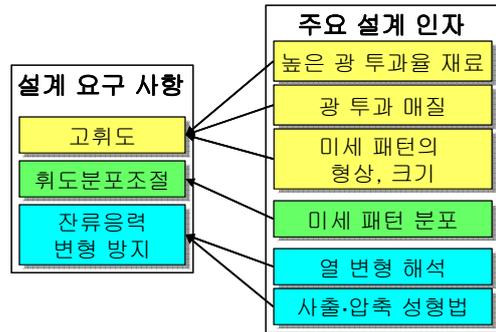


Fig. 2 Design requirements and design factors for LGP

수지의 충전을 위한 게이트의 위치는 대면적이라는 특성을 고려할 때 캐비티의 가장자리에 위치해야 한다. 이를 위하여는 3 단 금형 구조를 선택해야 하는데, 3 단 금형에서는 수지의 이동 경로가 길고 캐비티의 면적이 넓기 때문에 많은 열손실이 생기고 이것은 수지의 유동에 영향을 미치게 때문에 성형 불량이 생길 위험이 존재한다. 이러한 점을 극복하기 위해 금형 자체의 온도를 높여 수지의 유동을 원활히 하는 방안을 고려할 수 있으나, 이 경우 금형 체결력 저감이나 열변형 등의 문제가 생길 수 있다. 또한, 수지의 유동을 돕기 위해 압력을 높일 수도 있으나 금형이 반복적인 작업을 수행하기 때문에 장시간 고압작업으로 인한 기계적 변형 등의 문제가 동반된다. 따라서, 고압과 고온 작업 환경에서의 금형 구조와 강도 등에 대한 복합적인 고려가 필요하다. 그리고, 미세형상의 임계 치수를 고려하면 금형과 응고 수지의 변형에 의한 크기 변화가 치명적일 수 있다. 그러므로, 수지의 재료와 사출조건, 금형 구조 등과 치수 변형 간의 상관관계를 데이터베이스화 하여 변형 보정 대책으로 활용할 수 있어야 한다.

### 3. 금형설계 시스템의 일반적인 문제점

최근 효율적인 설계 업무와 담당자들간의 효율적인 의사 결정을 위해 3D CAD 시스템을 도입하는 경우가 많지만 범용 CAD 시스템으로 금형 설계를 하는 것은 설계와 그 수정에 시간이 많이 걸리며 기존의 설계안을 이용하는 데에도 쉽지 않은 점이 많다. 금형 설계 전용 CAD 시스템에서는 제품의 설계 형상을 입력으로 하여, 저장되어 있는 표준 몰드 베이스와 표준 부품 라이브러리로부터 적절한 몰드 베이스와 금형 부품들을 선택함으로써 신속하게 금형 설계를 완성하고자 한다. 하지만, 금형 부품과 몰드베이스를 선정하고 코아/캐비티를 설계하는 과정에 필요한 의사결정은 전적으로 설계자의 몫이며, 설계의 순서와 흐름에 대한 지원도 시스템으로부터 받지 못하므로 설계자의 경험에 의존해야

한다. 이러한 상용 프로그램의 단점을 극복하기 위해 지식 기반 금형 설계에 대한 연구가 시도되고 있다. 대부분의 연구에서 추구하는 금형 설계 전문가 시스템은 금형 설계 지식을 룰(rule)의 형태로 표현하고 저장한다. 하지만 금형 설계 지식 중 룰 형태로 표현할 수 있는 것은 극히 제한적이라는 문제가 있다. 또한 기존 설계를 참조하거나, 혹은 전혀 새로운 설계시 이러한 결과물들에 대한 새로운 지식을 저장하는 시스템이 구축되어 있지 않아, 설계 의도 등 정형화하기 어려운 다양한 종류의 지식을 저장하고 관리할 수 없다. 또한, 설계자에게 설계의 과정을 가이드해 줄 수 있는 설계 프로세스 지식을 구축하여 설계 시스템 구현에 연계하는 것도 다양한 설계 패러다임 환경에서는 대단히 필요한 일이다. 즉, hard-coded 된 설계 프로세스나 설계자의 경험과 취향에 맡기는 설계 흐름이 아니라, 문제 영역에 맞게 구성된 설계 프로세스를 유연하게 관리하는 것만으로 적용된 설계 프로세스를 지원할 수 있다면 설계 생산성을 획기적으로 향상시킬 수 있는 것이다.

#### 4. 사출 금형 설계 지식

##### 4.1 설계 프로세스

설계 프로세스는 설계의 시작부터 완성에 이르는 과정에서 필요한 설계 활동들과 그 순서적 관계, 그리고 각 활동의 입력 정보와 제한 조건이나 자원, 결과 등을 포함한다. 즉, 설계 프로세스는 설계가 효율적으로 수행될 수 있도록 설계의 전과정을 관리하는 기본 틀을 제공하는 것이다. Fig.3 은 제품 설계에 이어 사출성을 사전 평가하고 코아/캐비티, 몰드베이스를 설계한 후, 스푸로/게이트/런너의 피드 시스템과 냉각, 벤팅 및 취출 기구를 설계하는 사출금형 설계의 일반적인 프로세스를 보여 준다. 설계 프로세스 모델의 이용은 설계 실행에 앞서 각 설계 업무 사이의 관계를 설계자에게 제시하여 설계 활동을 가이드함으로써 시행착오를 방지하고 설계 업무가 효율적으로 진행될 수 있게 한다. 설계 프로세스를 표현하기 위해 프로세스의 전체구조를 직관적이고 시작적으로 표현하는 도식적 방법을 많이 이용 했으나, 이 방법들은 기계가 이해할 수 있는 포맷을 갖추지 못하고 있기 때문에 시스템 구현을 위해서는 프로세스를 프로그래밍 언어로 코딩하는 작업이 필요하다. 이러한 설계 프로세스를 정형화하여 컴퓨터에 저장 가능한 형태로 구현하는 것이 필요한 데, 사람과 컴퓨터가 모두 이해할 수 있는 표현 방식을 갖는 온톨로지는 여기에 적합한 방법을 제공한다. 온톨로지 기반 설계 프로세스 모델은 프로세스를 체계적으로 서술하고 기계가 해석할

수 있는 추론을 가능하게 하여, 추론을 통해 제시된 설계 프로세스를 시스템에 적용하기 위한 작업의 필요성을 감소시킨다.

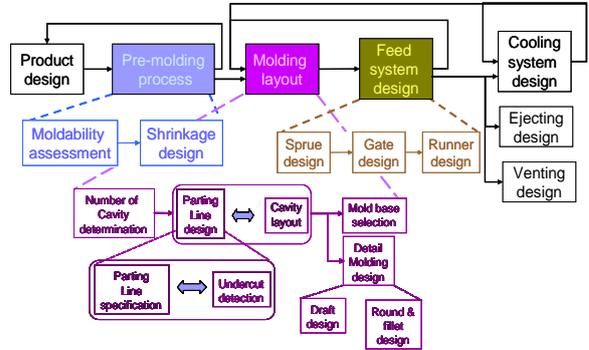


Fig. 3 A typical mold design process

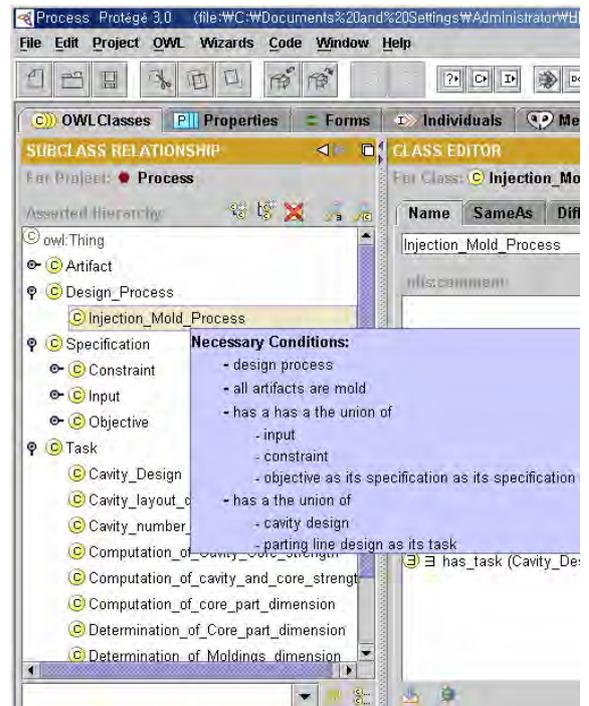


Fig. 4 Design process ontology expressed with Protégé

Fig.4 는 Protégé 를 이용한 사출 금형 설계 프로세스 온톨로지의 단편을 보여 준다. 최상위 클래스 owl:Thing 은 모든 개체를 담고 있는 집합으로, 설계 프로세스(Design process), 태스크(Task), 설계 명세(Specification), 인공물(Artifact) 등 모든 엔터티가 그 하위 클래스로 정의된다. 각 클래스는 계층 구조의 하위 클래스를 가질 수 있으며, 클래스 요소들 간의 관계는 has\_task, has\_object, introduce, has\_specification, is\_related\_to 등의 객체형 속성(ObjectProperty)으로 기술된다.

#### 4.2 설계 Knowhow

설계자는 기본적으로 금형의 기본적인 구조의 각 세부 구조의 역할을 파악하고 있어야 한다. 이것은 금형 설계시 제품의 형상 정보를 바탕으로 적절한 금형의 구조를 결정하는 데에 중요하며, 성형 불량 등 문제 발생시 대처하기 위해서도 필수적인 지식이다. 금형 설계시 가장 어려운 부분은 제품의 성형성을 보장하는 것이다. 사출 금형으로 생산된 제품은 플라스틱이라는 특성을 고려하여 제품 본연의 기능에 대한 요구 조건을 만족하는 동시에, 물리적, 기계적 조건을 만족해야 하는 데, 대부분이 성형 불량을 유발하는 문제점을 극복해야 하는 것이다. 생산하고자 하는 제품의 목적에 따라 고려해야 할 성형 불량 유형이 다를 수 있지만, 기본적으로는 수지의 캐비티 충전, 재료의 응고, 유동, 변형 등의 원인에서 발생하는 웰드라인 싱크마크, 워피지 등의 성형 불량을 예방하기 위한 설계 지식이 필요하다. 이러한 성형 불량에 대한 지식은 금형 설계뿐만 아니라 제품 설계, 사출 조건 세 영역에서 다를 수 있는 방법이 다양하게 존재한다. 이러한 설계 노하우는 이론적으로 정립되어 있는 기본 원리 이외에, 실제 현장에서 성형 불량 문제를 해결하기 위해 시행오차를 겪으며 축적된 비정형화된 내용을 포함한다.

#### 4.3 지식 표현 방법

설계에서는 여러 가지 이질적인 지식을 종합적으로 활용하며, 설계 지식은 암시적인 특징을 지닌다. 따라서 설계 지식의 공유, 재사용, 그리고 효율적인 검색이 가능하도록 지식을 체계화하고 설계자의 암묵적인 지식을 정형화하기 위해 지식의 형태별로 적절한 표현방법을 적용하여 설계 시스템의 지식 베이스를 구축할 필요가 있다. 설계 시스템에서는 지식을 라이브러리와, 룰베이스, 온톨로지 등으로 구분하여 관리할 수 있다. 라이브러리에는 금형 설계에서 재사용되는 정형화된 기본적인 지식들이 저장된다. 즉, 설계시 설계자가 시스템에서 기본적으로 취할 수 있는 정보들을 담고 있다. 금형 라이브러리에는 국내외 몰드 베이스 및 표준 부품을 비롯해서 재료 라이브러리에는 플라스틱에 대한 물성치와 코어/캐비티를 포함한 금형 재료의 물성치를 담고 있다. 기존 모델 라이브러리는 기존 제품 설계에 대한 2D 금형 설계뿐 아니라 3D 설계에 대한 정보를 가지고 있다. 룰베이스는 직관적이고 경험적인 지식을 전제(Premise)와 행동(Action)의 IF-THEN 쌍 형태로 표현한다. 이것은 자연 언어에 가깝게 표현되므로 설계자가 이해하기 쉽고 사용이 용이한 장점이 있어 오랫동안 사용되어 왔다. 룰베이스에서와 같이 규칙 형태로 표현될 수 없는 더

많은 설계 지식들은 온톨로지를 이용하여 관리하면 좋다. 온톨로지는 보다 포괄적인 지식을 표현하고 이질적인 지식들 간의 공유, 검색 및 재사용을 가능하게 한다. 또한, 표준화된 표현법을 통해 인간과 기계가 동시에 이해 할 수 있는 형태로 지식을 표현하고, 일관성 있는 표준화된 용어체계를 제공하여 지식을 표현함으로써 효과적으로 지식을 사용할 수 있게 해 준다.

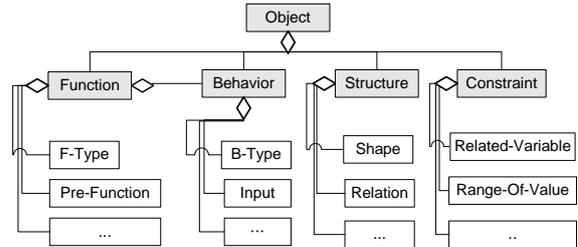


Fig. 5 Object Ontology for Design

Fig. 5 는 개별 객체의 설계 지식을 표현 하기 위한 온톨로지 구조의 한 예로서, 임의의 인공물이 있을 때 그것이 설계된 의도와 배경이 무엇이고 그 하부 구조는 어떻게 되어 있는 지를 보요 준다. 즉, 어떤 물체가 설계될 때에 의도된 기능과 거동, 형상과 구성 요소, 그리고 적용되는 구속 조건 등이 표현되어 있다.

#### 5. 지식 기반 사출 금형 설계 시스템 구조

신속하고 효과적인 사출 제품 개발을 지원하기 위하여 설계, 해석 및 평가 기능을 통합적으로 지원하는 지식 기반의 금형 설계 시스템을 개발한다. Fig.6 은 지식 기반 금형 설계 시스템에서의 설계 과정을 보여 준다. 먼저, 새로운 설계를 시작할 것인지 기존의 설계를 불러 수정하거나 중단된 작업을 계속할 것인지를 선택하고, 3 차원 제품 모델 정보를 입력받아 요구조건 등 설계에 필요한 기본 정보와 함께 성형품 설계를 한다. 이어서, 코어/캐비티, 파팅라인, 취출기구, 몰드베이스, 러너와 게이트, 냉각 채널 등 금형 부품을 지식베이스와 표준 DB 를 이용하여 설계한다. 필요에 따라서 CAE 해석과 연계하여 설계의 검증을 시도하며, 최종적으로 만족스러운 설계임이 확인되면 설계에 사용된 부품에 대한 Data Sheet 를 생성한다. 지식 기반 사출 금형 설계 시스템의 개발 목표는 설계자가 전문적인 설계 지식 없이도 축적된 설계 지식을 반영하여 전체적인 금형 설계를 수행할 수 있도록 하는 것으로, 금형 설계 시스템은 금형 설계 숙련자들의 설계 지식과 설계규칙을 포함하고 있어야 한다. 따라서, 업체에서 실제로 사용되는 설계규칙 및 설계 지식을 수집하여 표준화하고, 시스템에서는 이 지

식을 표준부품에 적용하여 표준부품 DB 에서 선택된 부품을 지식에 의해 결정된 배치 위치와 크기에 일치하게 변화시킨다. Fig.7 은 이와 같은 지식 기반 금형 설계 시스템의 구조를 보여 준다.

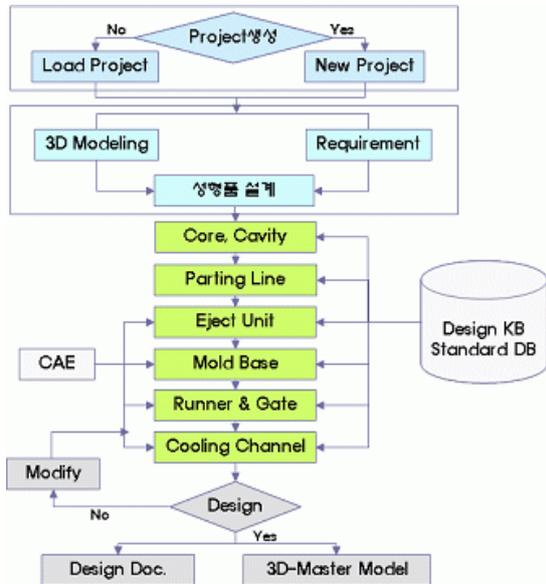


Fig. 6 Knowledge-based mold design flow

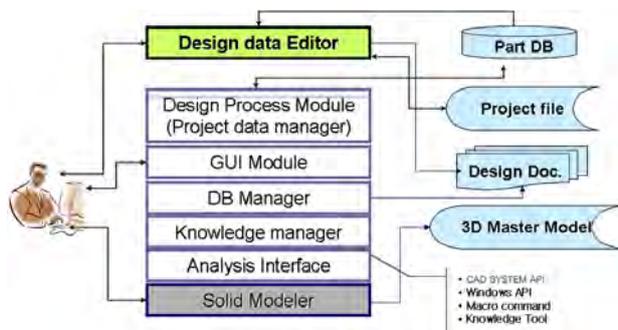


Fig. 7 Object Ontology for Design

Design Process Module 은 금형 설계 시스템의 Main Module 로 사출금형 설계를 위한 표준 설계공정 로직을 가지고 있으며 나머지 module 을 확장하여 설계 작업이 표준 설계공정에 따라 자동 및 반자동으로 진행 될 수 있도록 인도한다. 또한 각 설계 단계에서 필요한 설계지식, 표준 데이터를 이용하여 최적 설계 변수를 결정한다. GUI Module 은 Windows API 와 CAD SYSTEM API 을 이용하여 구현된 user interface 부분이다. 구축된 DB 및 설계지식 들을 사용하여 실제 설계를 진행할 수 있도록 각각의 설계 과정을 window 로 display 해주고, 이 window 를 통하여 사용자의 결정 사항을 입력 받고 시스템의 처리 결과를 나타낸다. DB Manager 는 Design Process Module 과 Part DB 를 연결하는 역할

을 한다. Design Process Module 의 요청에 의하여 Part DB 의 적절한 DATA 를 검색 하여 제공 한다. 각 공정에서의 성형 해석 및 구조해석 간섭 체크를 위한 Simulation System 과 Data Transfer 를 담당한다. Design Data Editor 는 Part DB 의 표준 부품 Data 를 Update 하는 기능을 가지고 있다. 또 설계결과를 후공정과 연계할 때에 Data 를 적절히 수정, 변환하여 Design Document 를 작성한다. Part DB 는 국내 금형 업계에서 사용하는 몰드베이스와 표준 부품 데이터를 저장하고 있다. DB 는 금형의 구조를 정리하고, 금형 부품들을 표준화한 부품의 형상을 3 차원 모델링한 형상 정보와 표준 치수 및 필요한 설계 인자 정보 등 비형상 정보(non-geometric data)로 구성되며, 실제로 설계시에 설계 표준 및 설계 지식에 의한 Parametric design 개념으로 설계가 진행될 수 있도록 지원한다. Project File 은 작업한 모든 설계 Data 를 저장한다. Project file 은 개발 Code 명을 주기로 하여 저장된다. Design Document 의 기능은 설계와 생산의 의사소통을 지원하는 것이다. 즉 설계 후공정 작업자가 기존의 도면을 매개로 하여 파악하던 설계정보를 후공정에서 필요한 형태의 Document 로 작성해 줌으로써 2-D 도면을 대체할 수 있게 한다.

## 후 기

본 연구는 산업자원부 핵심연구개발사업 “미세형상 설계 지능화 기술 개발” 과제 수행의 일환으로 이루어진 것으로, 지원 기관에 감사 드립니다.

## 참고문헌

1. W. M. Chan, L. Yan, W. Xiang, B.T. Cheok., “ A 3D CAD knowledge-based assisted injection mould design system”, Int. J. Advanced Manufacturing Technology (2003) 22:387-395
2. Z.Lou, H. Jiang, X.Ruan, “ Development of an integrated knowledge-based system for mold-base design”, Journal of Materials Processing Technology, 150(2004) 194-199
3. C. K. Mok, K. S. Chin and John K. L. Ho, “An Intractive Knowledge-Based CAD System For mould Design in Injection Moulding Processes” Int. J. Advanced Manufacturing Technology (2001) 17: 27-38
4. F. Kimura (1), H. Ariyoshi, H. Ishikawa, Y. Naruko, H. Yamato, “Capturing Expert Knowledge for Supporting Design and Manufacturing of Injection Molds” Annals of CIRP, vol.53, no.1, pp.147-150, 2004.
5. 강무진, 김정기, 안진철, 엄광호, “ 지능형 설계를 위한 설계 저장소 기술”, 한국정밀공학회지, 제 22 권 1 호(2005), pp26-31