

사출성형을 위한 게이트·런너 지적설계시스템에 관한 연구

이찬우*, 허용정**

Intelligent Design System for Gate and Runner in Injection Molding

Chan Woo Lee*, Yong Jeong Huh**

ABSTRACT

The design of gate and runner(delivery system) is one of the most important subject in injection molding. Delivery system is a channel to flow the polymer melt from the injection molding machine to the mold cavities. Also, delivery system affect quality and productivity of the part. The synthesis of delivery system of injection molding has been done empirically, since it requires profound knowledge about the moldability and causal effects on the properties of the part, which are not available to designers through the current CAD systems. GATEWAY is a knowledge module which contains knowledge to permit non-experts as well as mold design experts to generate the acceptable geometries of gate and runner for injection molded parts. A knowledge-based CAD system is constructed by adding the knowledge module, GATEWAY, to an existing geometric modeler. A knowledge-based CAD system is a new tool which enables the concurrent design and CIM with integrated and balanced design decisions at the initial design of injection molding.

Key Words : Delivery system(유동전달시스템), Knowledge-based CAD system(지식형 CAD 시스템), Intelligent design system(지적설계시스템), Gate and runner(게이트와 런너)

1. 서론

사출금형설계는 품질과 생산성, 경제성 등이 고려된 상태에서 빠른 시간 내에 원하는 제품을 생산해야 하기 때문에 주로 전문가의 축적된 지식과 경험에 의존하여 수행되어 왔으며, 만족할 만한 제품을 얻기까지 시행착오를 겪으며 진행되게 된다⁽¹⁾. 이처럼 설계가 경험적 지식에만 의존할 경우 새로운 제품형상이나, 신소재가 사용된 제품에 대한 대처가 신속하

지 못하여 설계시간의 지연을 초래하게 되고 궁극적으로 납기가 지연되는 문제가 발생하게 된다. 이러한 문제의 해결을 위해서 여러 가지 연구들이 수행되어 왔으며, 연구결과로 사출성형공정 해석을 위한 CAE 프로그램들이 성형성 및 기계적 성능 검토를 위한 목적으로 개발되어졌다^(2,3). 이러한 소프트웨어는 해석만을 목적으로 개발되었기 때문에 초기 설계 합성을 위해서는 설계자가 초기설계를 생성하거나 기존의 설계안을 이용해야 한다. 사출성형 금형분야의 연구현황을 보면, 이상현은 현장의

¹ 2001년 3월 30일 접수

* 한국기술교육대학교 대학원 기계공학과

** 한국기술교육대학교 메카트로닉스공학부

노하우와 기하학적 모델러를 이용하여 사출금형설계를 위한 CAD 시스템을 개발하였다⁽⁴⁾. 그러나 그 주된 목적은 사용자를 위한 설계 환경개발에 치중하고 있어 유동전달시스템의 설계는 사용자의 입력과 선택에 의해 수행되기 때문에 설계가 전적으로 전문가의 지식과 경험에 의존하여 진행된다. 허용정 등은 사출성형품의 부형상을 설계·합성하는 기하학적 모델링 기능과 해석을 위한 지식형 CAD 시스템을 개발하였다⁽¹⁾. 이 연구는 사출성형제품의 부형상인 리브와 보스 설계를 위한 지식형 CAD 시스템 구축에 대한 것이다.

본 논문에서는 사출성형 금형 설계에 있어 가장 중요시되는 주제중 하나인 유동전달시스템 설계에 주안점을 두고 유동전달시스템 설계를 위한 지적설계시스템 구축에 관해 연구하였다. 지적설계시스템 구성을 위한 설계 환경은 비주얼 베이직(visual basic)을 사용하여 구축되었고, 전문가의 설계 지식의 지식베이스화를 위해서는 NASA에서 개발된 CLIPS(C-Language Integrated Production System)를 사용하였다. 지적설계시스템 구축을 위해 전기·전자분야의 특정기업 생산제품들을 대상으로 선정하였고, 경력이 10년 이상인 사출금형설계전문가의 지식과 경험을 10여 개월에 걸친 인터뷰를 통해서 발췌·정리하여 지식베이스를 작성하였다. 또한 게이트와 런너의 지적설계를 위해 요구되는 문제를 해결하기 위하여 특징형상 개념을 도입하였고, 게이트 설계자의 경험과 지식을 논리화하기 위한 방법론을 제시하였다. CAD 시스템과의 연계를 통한 설계 합리화 및 자동화를 위해 기하학적 모델러인 SolidWorks를 이용하였다. 또한 솔리드 모델링 데이터를 CAE 프로그램에 제공하여 설계된 유동전달시스템의 성형해석을 통한 설계의 정량적 해석 및 평가가 가능하도록 하였다.

2. 시스템 개요

본 논문은 사출성형에서 유동전달시스템인 게이트와 런너의 설계를 합리적으로 수행하기 위한 지적설계시스템에 관하여 기술하였다.

지적설계시스템은 지식베이스모듈, 솔리드 모델러, CAE S/W의 3가지 그룹으로 나뉘어 있으며, 이들 각 그룹은 서로 연계되어 유동전달시스템의 설계에 이용된다.

지식베이스모듈에는 전문가의 지식과 경험이

생성규칙(production rules)의 형태로 전산정보화 되어 있어 게이트와 런너의 설계를 수행한다. 지식베이스에서 산출된 설계 파라미터들은 API를 통해 인터페이스된 솔리드 모델러로 전달되고, 솔리드 모델러인 SolidWorks는 이에 상응하는 3차원 기하학적 형상 정보를 화면을 통해 보여준다. 기하학적 형상 데이터는 파일변환을 거쳐 CAE 프로그램에 제공되고, CAE 프로그램은 설계결과에 대한 해석 및 평가를 수행한다. CAE 프로그램은 지적설계시스템 구축 환경인 비주얼 베이직의 응용프로그램 실행 기능을 이용하여 구동되어 진다. Fig. 1은 지적설계시스템의 개략적인 구성을 보여준다.

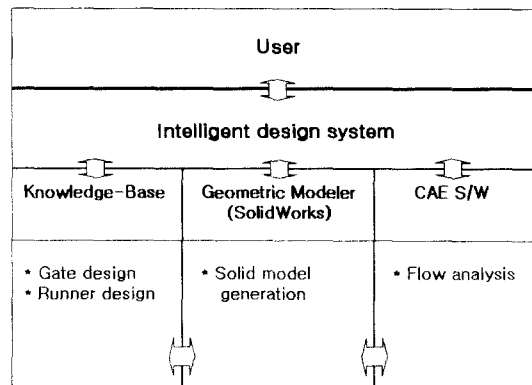


Fig. 1 A framework of intelligent design system for gate and runner.

3. 게이트 설계

3.1 현장에서의 게이트 설계

사출성형제품은 제품의 품질 요구사항, 생산성, 고분자 재료 특성 등을 고려하여 미성형(short shot), 웰드라인(weld line)과 같은 결함이 없고 제품의 사용 목적에 적합하도록 설계되어야 한다. 게이트는 이러한 제품의 최종 품질과 사용목적에 대한 적합성에 직접적인 영향을 주는 부분으로 사출금형설계에서 가장 중요한 부분 중의 하나이다⁽⁵⁾. 사출성형제품은 금형상에서 캐비티와 코아의 형태로 가공되게 되며, 게이트는 이 캐비티에 용융수지를 공급하는 주입구가 된다. 게이트 설계의 주된 사항은 게이트의 종류, 개수, 위치 및 치수를 결정하는 것이다. Fig. 2에 현장에서 주로 사용되는 게이트 종류를 도시하였다. 게이트 설계는 일반적으로 정해진

순서에 따라 진행이 되는데 Fig. 3은 생산 현장에서의 게이트 설계 진행과정을 나타내고 있다.

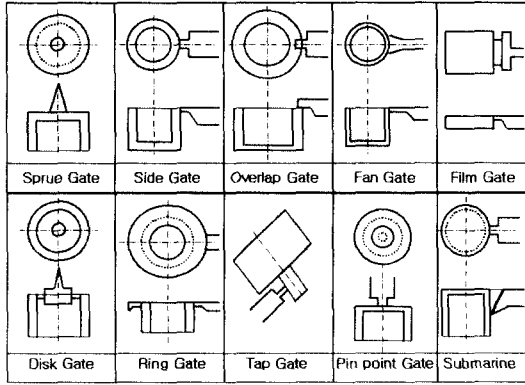


Fig. 2 Commonly used gate types.

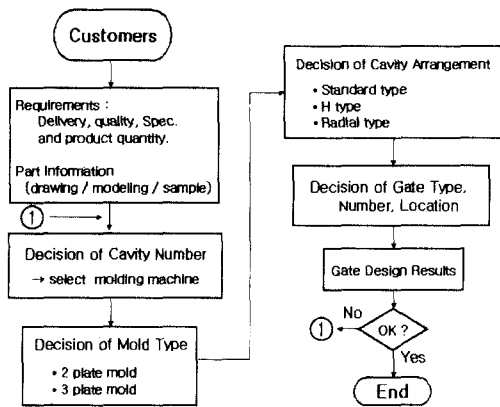


Fig. 3 Flow chart of gate design

Fig. 3을 통해서 현장에서의 사출금형설계 순서를 살펴보면 먼저 발주처로부터 제품에 대한 사양과 모델링 정보(도면이나, 파일 또는 샘플 등)를 넘겨받고 제품 및 금형 설계에 대한 검토·분석을 한 다음 금형 설계에 착수한다. 일반적으로 금형 설계는 사출성형제품의 품질, 주문수량, 납기, 요구사양을 바탕으로 하여 캐비티 수량과 금형의 형식을 결정한다. 다음으로 게이트의 종류와 캐비티 배치를 결정한다. 게이트 종류가 결정되면 제품의 형상과 용도, 품질 등을 고려하여 게이트의 개수와 위치를 결정하는 순서로 금형 설계가 진행된다⁶⁾.

3.1.1 게이트 종류

게이트 종류 결정은 성형제품의 재질, 월간생산량, 품질, 특성 등을 고려하여 수행된다. 현장에서 게이트 종류를 결정할 때 일반적으로 고려하는 주요 사항을 고찰하면 다음과 같다.

- 언더컷 유무
- 회전체 여부
- 평면도(휨공차) 중요 여부
- 사출 후 표면 후가공 유무
- 투명제품 여부
- 표면의 요철 유무
- 음각이나 상표부착 자리 유무
- 외장품 여부
- 3매 구성 금형 여부
- 1개 빼기 금형 여부

또한 게이트 종류를 결정할 때 게이트 종류에 따라 우선적으로 고려되는 사항이 있는데, 각 게이트 별로 분류해서 열거해 보면 다음과 같다.

1) 핀 포인트 게이트(pin point gate)

- 언더컷이 있는 경우
- 회전체(기어, 폴리 등)인 경우
- 사출 후 표면 후가공을 하는 경우
- 표면에 음각이나 상표부착 자리가 있는 경우
- 3매 구성 금형인 경우
- 1개 빼기 금형인 경우

2) 표준 게이트(side gate)

- 평면도(휨공차)가 중요한 경우
- 표면에 요철이 있는 경우
- 속이 보이는 투명제품인 경우
- 외장품인 경우

3) 서브마린 게이트(submarine gate)

- 파팅라인 아래에 측벽이 있는 경우
- 제품 내측에 게이트를 설치하는 경우
- 조립후 보이지 않는 측면 또는 측벽이 있는 경우

3.1.2 게이트 개수

게이트 개수는 많으면 많을수록 웰드라인의 발생우려가 크기 때문에 적게 하는 것이 좋지만, 박판 성형제품의 미성형 방지나 휨 변형 방지를 위해

부득이 그 사용개수를 늘려 사용하는데, 일반적으로 다음의 사항들이 고려된다.

- 회전체 여부
- 제품에 박육부 존재 유무
- 얇은 판형 제품 여부
- 정밀 성형제품 여부

회전체인 경우에는 동심이 중요시되기 때문에 동심 유지를 위해 3개의 핀 포인트 게이트를 사용하며, 제품 두께가 0.7 mm 이하인 박육부가 있는 경우는 미성형 방지를 위해 1개 이상, 얇은 판형 제품인 경우는 변형과 미성형 방지를 위해 2개 이상, 정밀 성형제품인 경우는 정밀도를 맞추기 위해 1개 이상의 게이트를 사용한다.

3.1.3 게이트 위치

사출금형설계를 할 때 가장 어려운 부분 중의 하나가 바로 게이트 위치를 결정하는 것으로, 게이트의 위치에 따라 변형(warpage), 웰드라인, 미성형 등과 같은 결함이 발생하게 된다. 따라서 위치를 결정할 때에는 수지의 특성, 제품의 형상, 외관, 품질 등을 충분히 고려해야 한다⁽⁷⁾. 일반적으로 제품의 살 두께가 가장 두꺼운 부분, 모든 캐비티에 수지가 동시에 충전되는 위치, 게이트 제거가 용이하고 눈에 잘 띄지 않는 위치에 설치하는 것을 원칙으로 하고, 제품의 특성을 고려하여 그 설치 위치를 조금씩 달리 적용하고 있다⁽⁸⁾. 게이트 위치는 게이트 종류에 따라 그 위치가 크게 달라지기 때문에 다음과 같이 게이트 종류별로 구분해 생각할 수 있다.

1) 핀 포인트 게이트

내장품에서는 게이트의 위치에 크게 구애를 받지 않기 때문에 기능에 영향을 주지 않는 부분 중에서 살 두께가 가장 두꺼운 부분에 설치를 하며, 외장품에서는 게이트 자국을 보이지 않게 하기 위해서 음각처리한 곳이나 상표부착자리에 설치한다.

2) 표준 게이트

표준 게이트는 파팅라인(parting line)에 게이트가 가공되기 때문에 파팅라인에 따라 그 위치가 크게 좌우되는데 사각 판형의 경우를 보면, 사각 판형은 유동방향에 따른 변형의 우려가 있기 때문에 이를 고려하여 파팅라인과 접하는 제품측면에 길이 방향으로 설치한다.

3) 서브마린 게이트

핀 포인트 게이트나 표준게이트를 사용하기 곤란한 경우에 주로 사용되며, 제품과 경사를 이루도록 가공되어 게이트가 설치되기 때문에 그 위치가 제품의 측면, 측벽 또는 내면으로 제한된다. 내면에 게이트를 설치하는 경우에는 이젝트 핀(eject pin)을 주로 이용한다.

4) 오버랩 게이트(overlap gate)

박스형 같이 끝이 꺾여 있는 제품에 표준게이트를 설치하면 게이트 자리의 제품 끝이 떨어져 나갈 위험이 있는 경우나 플로마크(flow mark)를 방지하기 위해 표준게이트 내용으로 사용되기 때문에 표준게이트의 위치 선정과 같은 방법으로 위치를 결정한다.

3.1.4 게이트 치수

게이트 종류에 따른 게이트의 치수계산은 주로 경험식이 사용되며, 제품 크기와 플라스틱 수지의 영향을 받는다. 게이트 종류에 대한 치수계산공식은 다음과 같다⁽⁵⁾.

1) 표준 게이트

$$h = n \times t \quad (1)$$

$$w = \frac{n \times \sqrt{A}}{30} \quad (2)$$

$$L = 1.5 \sim 2.5 (mm) \quad (3)$$

2) 핀 포인트 게이트

$$L = 0.8 \sim 1.2 (mm) \quad (4)$$

$$d = n \times c \times \sqrt[4]{A} \quad (5)$$

3) 오버랩 게이트

$$L_2 = h + \frac{w}{2} \quad (6)$$

여기서 h는 게이트 높이, n은 수지상수, t는 성형품 두께, w는 게이트 폭, A는 성형제품 외측의 표면적, L은 게이트랜드, c는 성형제품 살 두께 함수, d는 게이트 지름, L₂는 오버랩된 게이트 길이를 각각 나타낸다. 오버랩게이트의 나머지 부분 치수계산은 표준게이트의 경험식에 따르며, 서브마린 게이트의 치수계산은 핀 포인트 게이트의 경험식에 의한다.

3.2 지적설계 방식에 의한 게이트 설계

3.2.1 고분자 재료 선정

고분자 재료의 종류에 따라 점성, 기계적 강도 등의 물성이 달라지며 이러한 것들이 게이트 설계에 지대한 영향을 미치므로 각 고분자 재료의 물성 데이터베이스 구축이 필요하다. 플라스틱은 고분자 물질을 주원료로 하여 인공적으로 만들어진 고체로 경량성, 자유로운 조형성, 우수한 착색성, 기계적 강도, 내열성 등 많은 기계적 특성을 가지고 있어 기계부품이나 가전제품에 많이 사용된다⁽⁹⁾. 플라스틱은 메이커에 따른 차이도 존재하기 때문에 메이커에서 제공하는 물성치를 비교하여 제품에 적합한 플라스틱을 사용해야 한다. 플라스틱의 물리적 특성과 기계적 특성을 향상시키기 위하여 첨가제, 충전제, 보강제 등이 사용되는데 이중 보강제는 기계적 특성을 개선시키기 위한 것으로 보통 유리섬유가 사용되며, 수지의 흐름을 나쁘게 하기 때문에 게이트 치수도 거기에 맞추어 크게 설계한다. 또한 플라스틱은 종류에 따라 용도와 물성이 크게 달라지기 때문에 사전에 플라스틱에 대한 데이터베이스를 준비해 놓지 않으면 재질변경에 따른 게이트설계의 대처가 어렵고 신속하지 못하게 된다. 따라서 본 논문에서는 전기·전자분야에서 주로 사용되는 100가지의 고분자 재료에 대해 데이터베이스를 구축하였다.

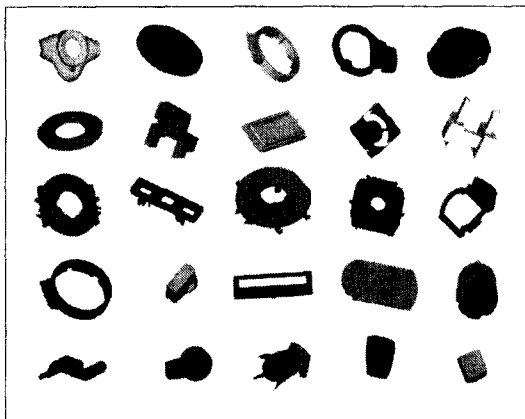


Fig. 4 Example of parts extracted from real products.

3.2.2 게이트 설계를 위한 특징형상

게이트 설계를 위해서는 제품의 형상정보가 요구되는데, 제품의 형상정보를 정의하기 위해 특징형상의 개념이 도입되었다. 이렇게 특징형상을 도입하게 되면 제품을 특징형상으로 분류할 수 있고 분류된 특징형상을 이용하여 게이트 설계를 합리적인 방법으로 수행할 수 있다. 특징형상으로 분류될 수 없는 복잡한 형상을 가진 제품은 설계자와의 대화적 작업에 의해 부분적인 수 작업으로 게이트 설계를 진행할 수 있다.

사출성형제품은 아주 작은 소형 부품에서부터 가전제품등 대형에 이르기까지 그 종류가 매우 다양하다. 또한 제품의 형상이나 외관의 중요성에 따라서 그 기능과 구조, 사용용도가 크게 달라진다. 본 논문에서는 전기·전자분야 특징기업을 대상으로, 2000년도 이후에 실제로 생산된 제품들 중에서 100여 개를 무작위로 추출하였다. Fig. 4는 이렇게 추출된 제품들의 예를 보여주고 있다. 하지만 Fig. 4에 보이는 것처럼 추출된 제품들은 각기 독특한 형상을 하고 있어, 형상을 정의하기 위한 제품의 분류작업이 필요하였으며, 제품분류를 위해 총칭형상(generic shape)과 특징형상 개념을 사용하였다⁽¹⁰⁾. 총칭형상으로는 사각형상(rectangular)과 원형형상(circular)으로 분류가 되었고, 게이트 설계를 위한 특징형상으로는 Fig. 7에 도시된 특징형상을 채택하였다.

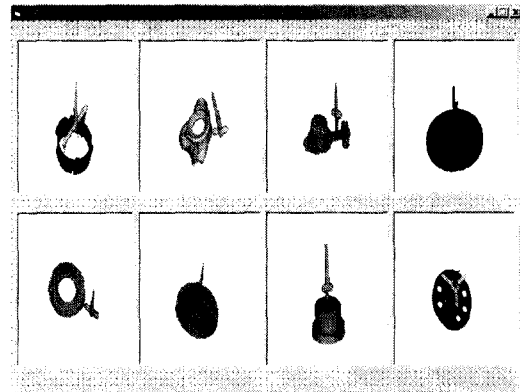


Fig. 5 Example of gate types used for production.

Fig. 5는 현장에서 제품 생산시 실제로 사용된 게이트 종류의 예이다. 특징형상 선정을 위한 분류

기준으로서 게이트 종류와 제품용도가 사용되었다. 분류기준으로 제품용도가 사용된 것은 같은 형상의 제품이라도 그 사용용도에 따라 게이트 종류가 달라지기 때문이다. 제품용도로는 완제품의 외부에 조립되어 기능보다는 외관이 중요시되는 외장품(exterior part)과 완제품의 내부에 조립되어 기능이나 골격유지에 사용되는 내장품(interior part)으로 분류하였다. 이러한 분류작업을 통해 게이트의 설계에 영향을 미치는 특징형상을 추출하였는데, Fig. 7은 이렇게 추출된 특징형상들을 도시하고 있다. 도시된 형상들은 게이트 설계에 영향을 주지 않는 부분을 제거하고, 특징형상으로 제품을 단순화하여 모델링한 다음 프로그램에 사용되었다. Fig. 6은 정의된 특징형상의 추출과정을 보여주고 있다.

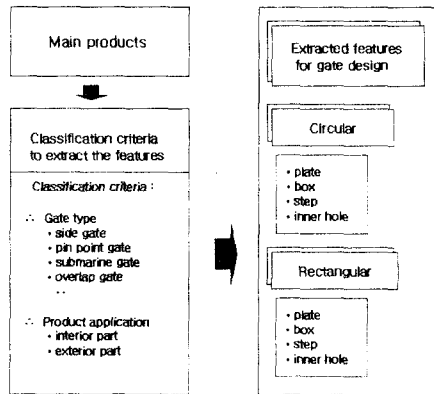


Fig. 6 Extraction procedure of the features in this study.

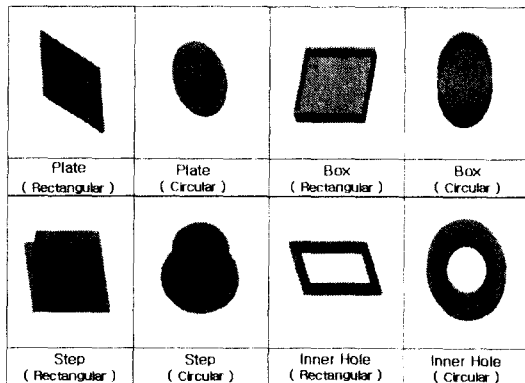


Fig. 7 Defined feature library for gate design.

3.2.3 특징형상 라이브러리

Fig. 7에 Fig. 6의 과정을 거쳐 선정된 특징형상들의 라이브러리를 도시하였으며, 각각의 경우는 판형 제품인 경우, 박스형인 경우, 단이 있는 경우, 내부에 구멍이 있는 경우 등이다. 이들은 원형일 때와 사각형일 때로 나뉘어져 있는데, 원형과 사각형은 수지의 유동배향과 웰드라인이 서로 다르게 나타나며, 선호되는 게이트의 종류도 서로 다르다. 각 특징들이 게이트 설계에 어떠한 영향을 미치는지 살펴보면 다음과 같다.

1) 판형 제품인 경우

가장 기본적인면서도 많이 사용되는 형상으로 내장품으로 사용되는 원판과 사각판을 예로 보면, 내장품이므로 외관은 그다지 중요하지 않으나 휨 변형과 미성형이 중요시되기 때문에 이를 고려하여, 원형 판인 경우는 핀 포인트 게이트를 사각형 판인 경우는 표준게이트를 우선하여 사용한다.

2) 박스형인 경우

컵이나 박스 또는 커버용으로 사용되는 제품에서 많이 나타나는 형상으로 끝이 꺾여 있다. 원형 컵의 경우는 컵 밑 부분의 중앙에 음각처리를 하여 핀 포인트 게이트를 사용하며, 사각 박스나 커버의 경우는 제품 표면에 게이트 자국을 남기지 않기 위해 표준 게이트를 사용한다.

3) 단이 있는 경우

단은 기능상의 특별한 목적을 위해 만드는데, 예를 들어 버튼 같은 단이진 제품이 있을 때 단의 윗면은 버튼의 기능을 위해 외부에 노출되게 된다. 이렇게 외부에 노출된 부분에는 상품의 가치를 높이기 위해 게이트를 설치하지 않는다. 따라서 표준 게이트나 단 밑의 보이지 않는 부분에 핀 포인트 게이트를 설치한다.

4) 내부에 구멍이 있는 경우

축과 조립하기 위해서 또는 컴퓨터의 CD ROM 커버처럼 CD를 넣고 빼기 위해서 구멍을 만드는 경우로, 구멍으로 인해 수지의 흐름이 영향을 받게 된다. 따라서 미성형이나 웰드라인이 생기지 않도록 위치를 고려하여 게이트 설계를 한다.

특징형상은 설명된 것처럼 독자적으로 사용되는 경우도 있지만 대부분 서로 조합되어 사용되기

때문에 특징형상으로 표현할 수 있는 경우의 수는 그만큼 증가한다. 어떠한 경우든 특징형상은 게이트의 설계에 많은 영향을 미친다.

3.2.4 게이트 설계를 위한 지식베이스 구축

지적설계시스템은 현장 게이트 설계 전문가의 지식과 경험이 규칙베이스로 작성되어 있고, 기하학적 모델러와 연계되어 게이트 설계를 합리적으로 수행한다. 이러한 지적설계시스템을 위한 지식베이스는 전문가의 게이트 설계 방법과 절차에 따라 작성하였으며, 작성된 설계 방법과 절차는 전문가들의 검증을 거쳐 수정·보완되었다. Fig. 8은 지적설계시스템을 이용한 입력조건과 출력결과를 보여주고 있다.

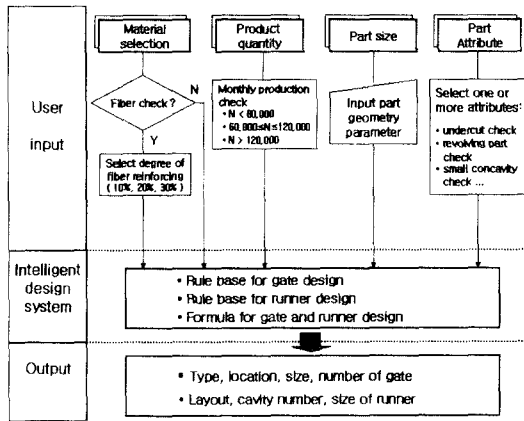


Fig. 8 Gate and runner design process using intelligent design system.

지식베이스를 이용한 게이트의 설계과정을 살펴보면, 사용자는 프로그램이 요구하는 순서에 따라 재질을 선택하고 월간생산량을 결정한 다음 제품형상 파라미터와 제품특징을 입력하게 된다. 재질 선택 항목에서는 재질과 보강제인 유리섬유의 함유 유무(함유시 함유량 선택)를 결정하게 되는데, 유리섬유의 함유 유무에 따라 게이트 설계치수가 달라진다. 월간생산량은 납기와 납품수량, 생산능력을 고려하여 산출하며, 월간생산량에 따라 캐비티 개수가 크게 좌우된다. 월간생산량은 일반적으로 제품의 1회 생산 사이클타임에 일일작업시간, 월 근무일수 등을 곱해서 산출한다⁽¹¹⁾. 월간생산량은 런너 시스템에서 별도로 설명하고 있으며, 게이트와 관련된 사항으로는 캐비티가 1개일 경우로 이

러한 경우에는 몰드베이스의 균형을 고려하여 핀포인트 게이트를 사용한다. 다음으로 입력하는 제품형상 파라미터는 게이트 치수 계산을 위한 기초 데이터로 사용된다. 다음으로 제품이 가지고 있는 특징을 선택하게 되는데, 나열된 제품특징들은 현장의 설계전문가가 게이트 설계를 할 때마다 고려하는 특징들을 모아 정리한 것이다. 이렇게 정리된 내용들은 생성규칙으로 지식베이스화 되었다. 이러한 모든 과정은 사용자에게 대화식으로 제공되며, 사용자의 선택이 완료되면 프로그램은 지식베이스를 이용해서 적절한 게이트 종류를 결정하게 되고, 게이트 종류가 결정되면 시스템 내에 입력되어 있는 계산공식을 이용해서 게이트치수를 계산한다. 치수계산공식은 사출금형설계 관련도서와 현장에서 실제로 사용하는 경험식을 참조하였다^(5,12). 다음으로 적절한 게이트의 개수와 위치를 산출하여 최종적인 설계결과를 사용자에게 제공한다. 이렇게 구한 설계결과는 3차원 기하학적 모델러를 통해서 3차원 기하학적 형상 데이터로 변환될 수 있다.

4. 런너 설계를 위한 지식베이스 구축

런너 시스템은 스프루와 런너를 총칭하는 용어로서 사출기의 노즐에서부터 게이트까지 용융수지를 안내하는 유동통로이며, 최종적으로는 제품과 분리되어 버려지는 부분이기 때문에 성형사이클을 지연시키지 않고, 금형에서 잘 빠지는 단면형상으로, 가능한 최소의 규격으로 설계되어야 한다. 스프루는 길이를 가능한 짧게 그리고 가장 늦게 응고되도록 하며, 경사각도는 2~4°, 노즐과 접하는 작은 쪽의 지름은 노즐 지름보다 0.5~1mm 정도 크게 하고, 가장 큰 쪽의 지름은 1차 런너 직경과 같거나 크게 한다. Fig. 9와 Fig. 10은 주로 사용되는 런너의 단면형상과 레이아웃을 보여주고 있다. 런너의 단면형상은 압력전달 측면에서 보면 최대 단면적이 좋고, 열전도적 측면에서 보면 바깥 둘레가 최소인 것이 좋기 때문에 원형 단면이 가장 좋다. 그러나 파팅라인이 복잡하여 양측에 런너를 가공하기 어려운 경우에는 사용이 곤란하므로, 사다리꼴 단면이나, 개량형인 U자형 단면을 사용하고 있다. 런너의 직경을 구하는 공식은 다음과 같다^(5,12).

$$D = \frac{\sqrt{W} \cdot \sqrt[4]{l}}{3.7} \quad (7)$$

$$D = d \cdot N^{1/3} \quad (8)$$

여기에서 D는 1차 런너의 지름, W는 성형품의 중량, ℓ은 런너의 길이, d는 2차 런너의 지름, N은 2차 런너의 개수를 각각 나타낸다.

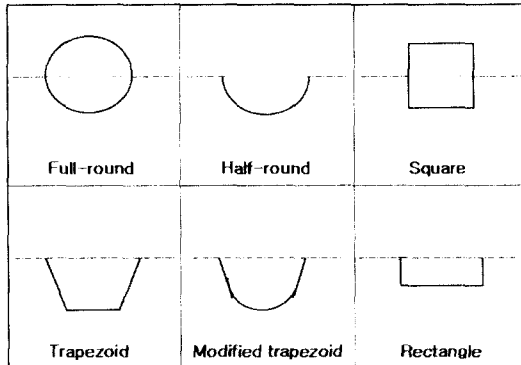


Fig. 9 Commonly used runner cross sections.

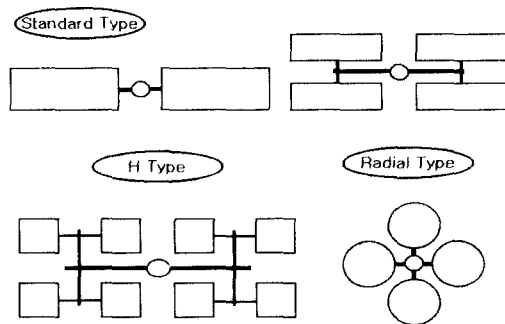


Fig. 10 Example of runner system layout.

런너 시스템의 지식베이스도 사출금형설계 전문가의 런너 시스템에 대한 지식과 경험을 규칙베이스 형태로 작성하였다. Fig. 8은 지식베이스를 이용한 런너 시스템의 설계과정을 보여주고 있다. 지식베이스는 런너의 레이아웃(layout)과 캐비티 배열을 결정하는 부분과 런너 직경을 계산하는 부분으로 되어있다. 런너 직경은 1차 런너와 2차 런너로 나뉘어 계산되며, 계산공식은 현장에서 사용하는 경험식과 해석 프로그램인 C-Mold에서 제공하는 공식을 참조하여 사용하였다⁽¹²⁾. 캐비티 개수는 사용자가 입력한 생산량을 가지고 결정하는데, 월 생산량이 6만개 미만이면 1캐비티, 6만개 이상 12만

개 이하이면 2캐비티, 12만개 이상이면 4캐비티로 설계를 한다. 월 생산량이 6만개 미만이라 할지라도 제품이 고정밀도인 경우를 제외하고는 생산성을 고려하여 2캐비티로 설계를 한다. 캐비티 개수는 본 논문에서 대상으로 하고 있는 전기·전자분야에서 일반적으로 생산되는 제품의 규격과 정밀도 등을 고려하여 캐비티의 개수를 최대 4개까지로 한정하여 사용하는 것에 따른 것이다. 캐비티 개수가 결정되면 배치를 하게 되는데 4캐비티 이내에서는 직선형배열이 많이 사용된다.

5. 게이트 및 런너 지적설계 시스템

5.1 시스템 구성과 규칙베이스

지적설계시스템은 게이트와 런너 설계에 대한 전문가의 지식과 경험을 전산정보화 하여 만든 지식베이스와 기하학적 모델링을 위한 솔리드 모델러, 해석을 위한 CAE S/W의 3가지 그룹으로 나뉘어 있으며, 각 그룹들은 서로 연계되어 유동전달시스템의 설계에 이용된다. 지적설계시스템에서의 설계과정은 Fig. 11에 도시된 것과 같으며, 각 그룹의 기능을 살펴보면, 지적설계시스템은 유동전달시스템 설계를 담당하고, 기하학적 모델러는 설계결과를 3차원 형상으로 보여주는 역할을 수행하며, CAE S/W는 성형해석을 수행하고 해석 결과를 보여준다.

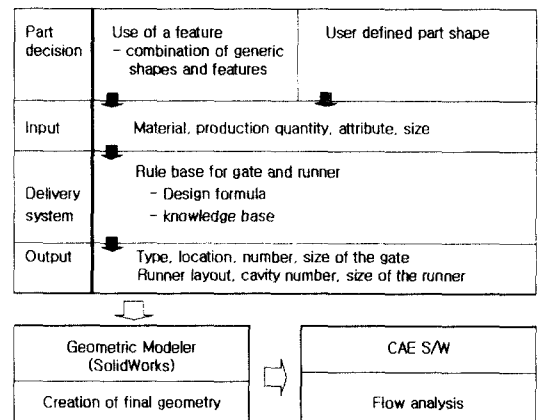


Fig. 11 Schematic framework of intelligent design system.

게이트 설계는 두 가지 경우로 구분이 되어 있

는데, 특징형상을 사용하여 설계를 하는 경우와 제품형상을 가지고 설계하는 경우이다. 특징형상을 이용하는 경우는 자동으로 설계가 진행되지만 제품형상을 이용하는 경우에는 지식베이스를 이용해 설계자와의 대화적 작업으로 설계가 진행되게 된다. 지적설계시스템은 사용자가 입력한 제품에 대한 정보와 사양을 이용하여 그 상황에서 가장 적절한 게이트와 런너의 설계값을 지식베이스에 의해 제시해 준다⁽¹³⁾. 지적설계시스템은 전기·전자분야 사출금형설계전문가의 축적된 지식과 경험이 생성규칙의 형태로 지식베이스화 되어 있다. 아래에 게이트 선정 규칙의 예를 도시하였다.

1) 표준 게이트

IF : Mold type is a 2 plate mold
and part is an exterior part
and part is a transparent body.
THEN : Gate type is a side gate.

2) 핀 포인트 게이트

IF : Mold type is a 3 plate mold
and part is an exterior part
and part have a small concavity.
THEN : Gate type is a pin point gate.

3) 서브마린 게이트

IF : Mold type is a 2 plate mold
and part is an exterior part
and part have a side wall under parting line.
THEN : Gate type is a submarine gate.

5.2 기하학적 모델러와의 인터페이스

지적설계시스템을 이용해 설계된 결과와 제품의 3차원 기하학적 형상정보를 얻기 위해 상용 기하학적 모델러인 SolidWorks와의 인터페이스를 구축하였다. SolidWorks와의 연계는 SolidWorks에서 지원하는 API(Application Programming Interface) 함수를 이용해 구축되었다. API는 컴퍼넌트의 통합을 가능하게 하는 객체기반 서비스의 통합된 환경인 OLE 프로그래밍으로 SolidWorks와의 연계를 가능하게 하며 수백 개의 함수를 포함하고 있다⁽¹⁴⁾. 이러한 인터페이스 기능을 이용하여 지적설계시스템에서 설계된 설계 파라미터들이 SolidWorks로 자동 연계되어 상용하는 3차원 기하학적 형상 데이터로

변환될 수 있다. 이렇게 SolidWorks에서 생성된 모델링 정보는 IGES 또는 STL 파일로의 변환을 거쳐, CAE S/W에 제공되어 사출성형해석과 최적설계를 위해 이용된다.

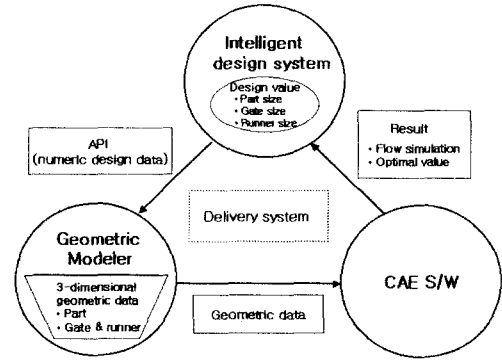


Fig. 12 Interface to CAD and CAE S/W for delivery system design.

Fig. 12는 기하학적 모델러와의 인터페이스에 대해 보여주고 있다. 이처럼 기하학적 모델러와의 인터페이스를 통해 유동전달시스템의 합리적인 설계가 가능해졌다. CAE S/W의 구동은 비주얼 베이직의 응용프로그램 호출 기능에 의해 이루어진다.

6. 지적설계시스템에 의한 사례연구

본 연구에서 구축된 지적설계시스템의 검증을 위해서 다음과 같이 사례연구를 수행하였다.

6.1 사례연구 1

지적설계시스템의 설계 결과를 검증하기 위해 캐비티 형상을 원형과 사각형으로 하여 시험 금형을 제작하였다.

- 제품형상 : 원형과 사각형의 판 제품
- 플라스틱 : ABS
(제일모직 STAREX HF-06601)
- 금형재질 : SM55C
- 제품규격 : 원형 - Ø80, 2T (두께)
사각형 - 114 x 50, 2T (두께)
- 공정조건 : 금형온도 - 60 °C
수지온도 - 230 °C
최대사출압력 - 100 MPa

상기의 제품에 대해 게이트 및 런너를 지적설계 시스템을 사용하여 설계를 하고, 설계결과를 CAE 해석 프로그램에 의해 평가하였다. Fig.13은 사출압력에 대한 해석 결과를 보여주고 있다. 이러한 평가 과정을 거쳐 금형이 제작되고 시사출이 시행되었다. Fig. 14와 Fig. 15는 제작된 금형과 시사출 제품을 각각 보여주고 있다. 시험 금형은 반원형 단면형상의 런너와 표준게이트, 캐비티에 동시에 수지가 충전될 수 있는 배치구조로 프로그램에서 얻은 설계결과에 따라 제작되었다. 최종적인 검증은 시사출을 통해서 얻은 제품의 성형성과 결합유무를 가지고 실시하였으며, 이러한 사례연구를 통해서 설계결과가 만족스럽다는 것을 확인할 수 있었다.

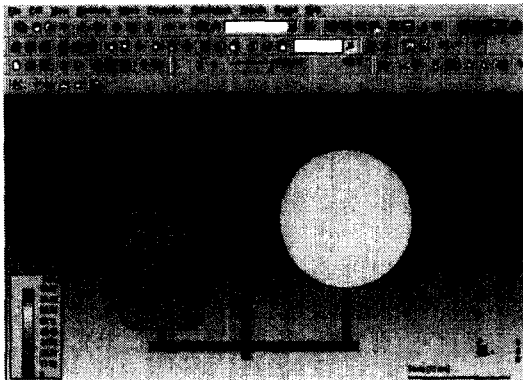


Fig. 13 Simulation result of injection pressure for a test parts.



Fig. 14 Picture of injection mold for design result demonstration.

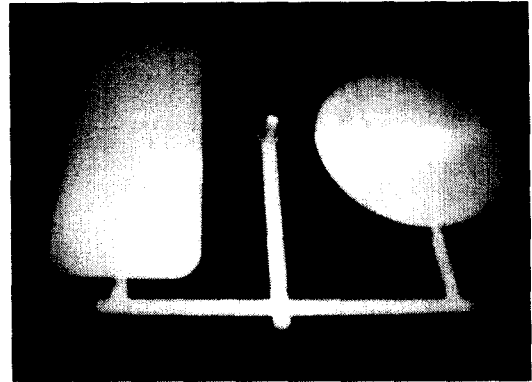


Fig. 15 Picture of delivery system used in parts.

6.2 사례연구 2

설계시스템의 보다 일반적인 검증을 위해 현장에서 실제로 생산된 제품을 대상으로 사례연구를 수행하였다. 사례연구에 사용된 제품은 컴퓨터의 CD ROM 커버로 ABS 재질에 두께 2.5T, 외부치수 148x43(mm)인 외장형 제품이다. 설계진행과정을 보면 Fig. 15에 도시된 것과 같이 먼저 설계자가 생산하고자 하는 제품에 대한 제품형상과 용도를 선택하고, 제품에 대한 사양 및 정보를 지적설계시스템이 요구하는 순서대로 입력한다. 입력 내용은 설계할 제품의 재질, 월간생산량, 규격, 제품특성 등이다.

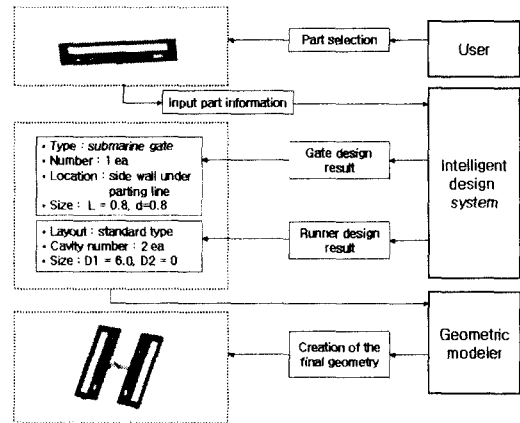


Fig. 16 Design process of delivery system using intelligent design system.

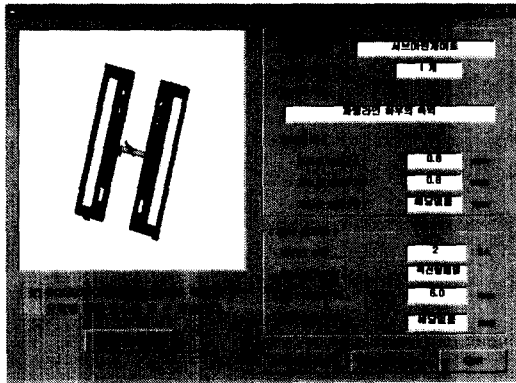


Fig. 17 Design results of delivery system.

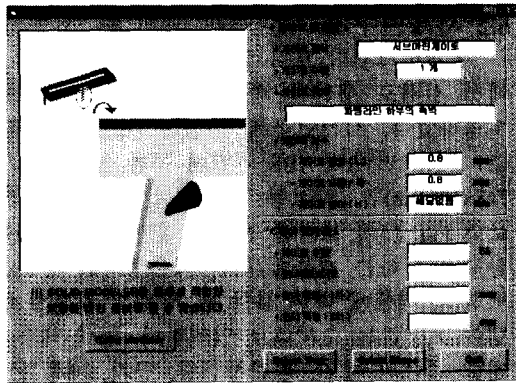


Fig. 18 Detail gate design for case study.

설계자가 입력한 제품정보를 가지고 지적설계 시스템은 최종적으로 게이트와 런너의 설계결과를 출력하게 된다. Fig. 17은 지적설계시스템을 통해서 얻은 최종 설계결과를 도시하고 있으며, Fig. 18은 게이트에 대한 상세를 보여주고 있다. 출력된 설계 결과 데이터는 인터페이스 프로그램에 의해 SolidWorks상의 3차원 기하학적 형상정보로 변환된다. 3차원 기하학적 형상정보는 CAE S/W에서 성형 해석을 위해 사용될 수 있다. 상기의 설계결과에 대해 CAE 해석을 수행한 결과, 설계결과가 만족스럽다는 것을 확인할 수 있었다.

지적설계시스템에 의한 최종 설계결과를 현장 전문가들에 의해 검증한 결과 대략 90% 정도 전문가들의 결과와 일치함을 확인하였다.

7. 결론

유동전달시스템의 설계를 합리적으로 하기 위해 전문가의 지식과 경험을 지식베이스화한 지적설계 모듈과 기하학적 형상 생성을 위한 CAD 프로그램의 결합을 통해 합리적 설계시스템을 구축하였다. 지적설계시스템에 필요한 제품의 형상정보를 제공하기 위해 게이트 종류와 제품용도를 이용하여 특징형상을 추출하였다. 이렇게 추출된 특징형상으로 제품을 분류하여, 특징형상으로 분류된 제품은 기하학적 모델러와의 연계를 통해 자동으로 설계가 진행되도록 하고, 특징형상으로 분류가 어려운 제품은 지식베이스를 이용해 설계자와의 대화적 작업에 의해 부분적으로 수 작업에 의해 진행되도록 하였다. 본 연구의 지적설계시스템에 대한 검증을 위해 사례연구를 시행하였으며, CAE 해석과 현장 전문가의 검증을 통해서 설계결과가 만족스럽다는 것을 입증했다. 고분자재료에 대한 데이터베이스는 현재 100여 가지이나 메이커에서 공급하는 기술자료와 물성을 참조하여 지속적으로 확장해 나갈 계획이다.

본 프로그램은 유동전달시스템의 설계를 보다 쉽고, 빠르게 자동으로 할 수 있도록 하고, 솔리드 모델러로 생성된 기하학적 형상 데이터를 CAE S/W에서 불러들여 제품의 성형해석과 평가를 수행할 수 있다. 또한 이 프로그램은 설계 현장에서 유동전달시스템 설계 전용 프로그램이나 현장 및 교육기관에서 사출금형설계자 교육용으로 이용될 수 있다.

참고문헌

1. 허용정, 김상국, "사출성형제품의 부형상 설계를 위한 지식형 CAD 시스템에 관한 연구," 대한기계학회논문집 제15권 제6호, pp. 1933-1947, 1991.
2. Wang, V.W. et al, "Dynamic Simulation and Graphics for the Injection Molding of Three-dimensional Thin Parts," J. of Polymer Engineering, Vol. 7, No. 1, pp. 21-45, 1986.
3. Chiang, H.H, "Simulation and Verification of filling and Post-Filling Stages of the Injection-Molding Process, ph.D Dissertation, Cornell University, 1989.

4. 이상현, "플라스틱 사출금형설계를 위한 CAD시스템의 개발," 서울대학교 석사학위논문, 1988.
5. 조용식, "사출성형금형설계기술," 기전연구소, 1997.
6. Rosato,D.V. and Rosato,D.V."Injection Molding Handbook," Van Nostrand Reinhold Company, 1986.
7. Harry Eugene Payne, Jr and Deborah Kay Knauff, "Selecting the proper Gate Selection Using Moldflow," ANTEC, pp. 1077-1081, 1994.
8. D.Cinquegrana, S.Mccarthy, "Mold Optimization Using Rule-Based Software," ANTEC, pp. 1107-1113, 1990.
9. 최진성, "사출성형 불량 대책을 위한 지식베이스의 구축," 한국과학기술원 석사학위논문, 1995.
10. Steven C.Luby, John R.Dixon, Melvin K.Simmons, "Creating and Using a Feature Data Base," computers in mechanical engineering, pp. 25-33, 1986.
11. Robert J.Peret, "Determining the Correct Number of Cavities by Utilization of Elemental Linear Regressions at the Planning Stage," ANTEC, pp. 1117-1122, 1994.
12. C-Mold, "C-Mold Design Guide," C-Mold third edition, pp. 79-112.
13. T.C.Jan, K.T.O'Brien, "Architecture of an Expert System for Injection Molding Problems," ANTEC, pp. 439-443, 1991.
14. "SolidWorks 99 User's Guide," SolidWorks Corporation, 1999.