

〈論 文〉

# 사출성형제품의 부형상 설계를 위한 지식형 CAD 시스템에 관한 연구

허용정\* · 김상국\*

(1991년 5월 27일 접수)

## A Knowledge-Based CAD System for the Synthesis of Supplementary Features in Injection Molded Parts

Yong-Jung Huh and Sang-Gook Kim

**Key Words :** Injection Molded Parts(사출성형제품), Concurrent Product and Process Design (제품및 성형공정의 동시설계), Knowledge-Based CAD System(지식형 CAD 시스템), Supplementary Features(부형상)

### Abstract

The synthesis of supplementary features of injection molded parts has been done empirically, since it requires profound knowledge about the features' moldability and causal effects on the properties of the part, which are not available to designers through current CAD systems. RIBBER is a knowledge module which contains knowledge to permit non-experts as well as mold design experts to generate acceptable supplementary features of injection molded parts. A knowledge-based CAD system is constructed by adding the knowledge module, RIBBER, for mold feature synthesis and appropriate CAE programs for mold design analysis to an existing geometric modeler in order to provide designers, at the initial design stage, with comprehensive process knowledge for feature synthesis, performance analysis and feature-based geometric modeling. 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 stage of injection molding.

### 1. 서 론

사출성형제품의 설계및 제조는 전문가의 축적된 경험과 제품설계 후 금형을 가공하여 시제품을 제작하고, 각종 시험을 거쳐서 만족할 만한 제품이 나올때까지 재설계, 재가공을 반복하는 시행 오차를 통하여 수행되어 왔다<sup>(1)</sup>.

사출성형제품의 형상은 제품의 주된 기능을 수행

하고 외관을 구형하는 주형상(primary geometry)과 사출성형의 특성상 추가되어지는 부형상들로 대별될 수 있는 데, 사출금형 설계시 부형상(supplementary features)의 존재는 복잡한 코어(core)의 형태로 나타나게 된다.

리브와 보스는 구조 보강, 유동 원활, 변형 방지 및 기능상의 목적으로 사출 금형 설계자에 의해 제품의 주형상에 추가되어지는 대표적인 부형상이다<sup>(2,3)</sup>. 이러한 부형상의 설계합성은 사출성형에 관한 광범위한 지식을 필요로 하며 설계의 성형성, 제품의 기계적 성능, 그리고 웰드라인(weldline), 싱크

\*정회원, 한국과학기술연구원 CAD/CAM연구실

마크(sink mark), 변형등과 같은 기계적 결함의 발생 가능성등을 설계 초기단계에서 종합적으로 고려하여 수행하여야 한다. 그러나 이러한 부형상의 형상, 치수, 위치 등을 적절히 설계합성(synthesis)하는 작업은 공정에 관한 종합적인 지식을 지원해 주는 합리적인 설계도구가 제공되지 못했던 이유로 사출 전문가의 오랜기간 축적된 경험과 지식에만 전적으로 의존하여 왔다. 경험에만 의존하는 설계는 단번에 좋은 설계가 이루어지는 경우도 있으나 시제품제작 이전에는 결코 확인될 수 없으며, 제품의 형상이 복잡해 질수록 반복된 금형 수정과 재설계를 요하게 된다.

기존의 CAD시스템은 기하학적 모델링 기능 이외에는 부형상 설계시 요구되는 사출 성형에 관련된 지식 및 데이터를 합리적으로 제공하지 못하고 있으며 컴퓨터를 이용한 설계의 각 단계가 서로 분리되어 수행되고 있다. 사출 공정 해석을 위한 CAE프로그램이 성형성 및 기계적 성능 검토를 위해 개발되어 있으나<sup>(4,5)</sup>, 이러한 소프트웨어의 성능은 사출성형의 유변학적 문제를 모델링함에 있어서 불가피하게 부수되는 가정과 단순화 과정 때문에 사출 금형의 성능을 정량적으로 평가하기에 불충분하다. 또한 이러한 소프트웨어는 해석만을 위한 목적으로 작성되었으며 합성을 위한 것이 아니기 때문에 만족할만한 설계를 얻기 위해서는 합성과 해석의 과정을 수없이 반복해야 한다.

사출성형제품과 같이 공정에 의존하는 제품을 설계함에 있어서 컴퓨터를 이용한 통합적 설계의 구현은 기존의 CAD 시스템으로서는 불가능 하였으므로, 이러한 문제점을 해결하기 위한 방안으로서 제조를 고려한 설계의 개념이 많이 연구되어 왔다<sup>(6,7,8,9)</sup>

특징형상기반 CAD 시스템이 설계 초기 단계에서 특징형상의 형태로 기계 가공에 관련된 지식을 포함하기 위한 방안으로서 제시되었으나 이러한 연구들은 대개 기계가공을 고려한 부품설계 또는 기계가공을 위한 창생적 공정설계(generative process planning) 문제에만 치중되어 있다<sup>(10,11,12)</sup>.

플라스틱 제품의 부형상의 합성을 위해서는 특징형상기반 CAD 시스템에 제품의 성능과 성형성에 대한 설계 파라미터의 인과관계에 관한 지식이 반드시 포함되어야 한다<sup>(1)</sup>. 즉, 플라스틱 제품의 리브구조의 경우 특징형상기반 CAD 시스템에서는 기계가공만을 고려하여 하나의 기계가공 공정에 관

련된 특징 형상으로서 사출금형상에서의 경사진 슬롯(tapered slot)으로 표현된다. 그러나 슬롯의 깊이, 구배각도, 위치 및 방향, 공정조건, 사용된 고분자 재료 등이 성형된 제품의 보강성능, 이형성, 변형, 싱크마크등의 기계적 결함등에 직접적인 영향을 미치게 된다.

이러한 문제점들을 해결하기 위한 방안으로서 특징형상기반 CAD 시스템의 기계가공을 고려한 기하학적 모델링 기능과 부형상의 합성과 해석을 위한 사출성형에 관한 광범위한 지식을 연계, 종합한 형태의 지식형 CAD 시스템을 제안하였다.

## 2. 시스템 개요

본 논문은 사출 성형 플라스틱 제품의 부형상을 생성하기 위한 대화적 지식형 CAD시스템의 구축에 관하여 기술하였다.

설계시스템은 기하학적 모델러, 지식베이스 모듈(knowledge base module), 그리고 CAE 프로그램의 3가지 기능적 그룹으로 나뉘어 진다. 각 그룹간의 전반적인 제어와 사용자와의 연계는 전문가 시스템의 기능에 의존한다(Fig. 1).

부형상 합성을 위한 경험적 지식과 이론적 지식이 RIBBER내에 규칙(production rules)의 형태로 전산 정보화되었다.

RIBBER는 주어진 주형상에 대해 적절한 리브와 보스 구조를 추천해 주게되며, 부형상의 위치, 갯수, 형상 파라미터가 주형상의 기하학적 조건, 사용되는 고분자 재료의 특성, 하중조건 및 구조적 요구조건을 고려하여 RIBBER의 지식베이스로 부터 합성된다. C언어로 쓰여진 CLIPS가 본 연구에서 규칙베이스를 구성하기 위한 전문가 시스템 구축 도구로서 사용되었다.

기하학적 모델러는 제품의 주형상의 기하학적 모델을 생성하고 화면상에 나타낸다. PRO/ENGINEER

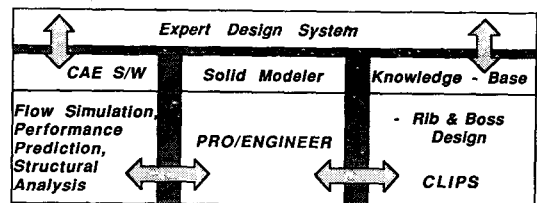


Fig. 1 A framework of knowledge-based CAD system for Injection molded parts with ribs

NEER가 기하학적 모델러로서 사용되었다. RIBBER에 의해 합성된 부형상의 형상 파라미터는 기하학적 모델러를 구동할 수 있는 명령어 화일로 변환시켜주는 인터페이스 프로그램(interface program)으로 전달된다. 인터페이스 프로그램은 C언어로 작성되었으며 CLIPS의 외부 프로그램 호출 기능과 UNIX셸(shell)기능을 이용하여 RIBBER에 의해 직접적으로 구동되어진다. 기하학적 모델러는 주형상과 RIBBER로 부터 합성된 부형상을 조립하여 유동해석 및 구조해석을 위한 유한요소 입력데이터를 제공하게 된다. RIBBER는 필요할 경우 CAE해석 모듈을 호출할 수 있다. 즉, 성형성과 수축률 검토를 위한 유동 해석 프로그램, 기계적 거동 해석을 위한 미세조직 예측 프로그램, 그리고 설계합성된 리브의 보강성능 평가를 위한 구조해석 프로그램등이 이러한 CAE해석 모듈에 포함되어 있다.

C-FLOW와 C-PACK이 충전(filling) 과정과 압입(packing) 과정 해석을 위해 사용되었고, 리브에 의한 보강성능의 평가를 위한 구조해석용 프로그램으로서 ANSYS 프로그램이 사용되었다.

CAE프로그램은 RIBBER의 결정에 의해 요구된 해석을 수행하고 적절한 부형상의 합성을 위해 요구되는 데이터를 공급하게 된다.

### 3. 부형상의 설계합성

사출성형제품의 주형상은 대개 제품 설계자에 의해 요구되는 기능적 필요성과 외관을 고려하여 설계된다. 이 단계에서는 설계의 성형성과 성형공정에 관련된 제품의 기계적 성능은 고려되지 않는다.

제품설계자에 의해 설계 완료된 주형상은 사출금형 설계자에 의해 구조 보강, 유동 원활, 변형 방지, 조립등의 목적으로 부형상이 추가되게 된다. 리브와 보스는 사출성형에 있어서 대표적인 부형상의 유형이다. 리브구조는 제품 벽두께를 균일하게 유지시키고 성형사이클 시간을 최소화 하면서 구조강성을 증가시키고 재료를 경제적으로 사용하기 위한 목적으로 설계된다. 리브구조는 게이트로 부터 멀리 떨어진 부분에서의 쇼트 샷(short shot), 플로우마크(flow mark), 기공등과 같은 결함을 방지하기 위한 보조적 런너(secondary runner)의 역할을 수행하기도 한다. 리브구조가 잘못 설계되는 경우, 싱크마크, 변형, 쇼트 샷, 이형불량등의 문제점

이 발생하여 제품의 품질이 저하되게 되며 심지어는 리브가 추가되지 않은 경우보다 강도가 저하되는 경우도 발생하게 된다. 그러므로 리브구조의 설계는 구조적 보강의 필요성, 성형성, 결함의 가능성등의 종합적인 설계평가를 거쳐 합리적으로 수행되어야 한다.

#### 3.1 리브의 필요성 판정

플라스틱 제품의 벽 두께는 플라스틱 재료의 고유한 낮은 열전도도에 의해 제한되어 지는데, 많은 경우 구조적 강성의 부족이 문제로 제기되게 된다. 만일 주어진 벽 두께로 구조적 강성조건을 만족할 수 없는 경우 주형상에 리브를 추가함으로써 구조가 보강될 수 있다. 보강의 필요성을 판단하기 위해서는 명시된 하중 조건하에서 주어진 제품의 구조적 성능이 정량적으로 표현되어야 하나, 설계 초기 단계에서 제품의 하중조건은 대개 윗판에서의 과도한 처짐 제한, 코너 부위의 응력 집중 방지등의 함축적인 조건으로 주어지는 것이 일반적이며 이러한 국부적인 부위의 응력집중으로 인한 파괴와 과도한 처짐으로 인하여 제품의 기능을 상실하게 되는 경우를 설계 초기단계의 과정에서 충분히 고려하여야 한다. 그러나 초기설계에 있어서 이러한 가상적인 하중조건을 복잡하게 열거하여 전체 형상을 유한요소 프로그램을 이용하여 해석하는 것은 비합리적이라고 볼 수 있다. 제품의 형상에 따라 최대 변형이 예상되거나, 과도한 응력 집중이 예상되는 부위가 경험있는 설계자에 의해 직관적으로 예측될 수 있으며, 복잡한 제품의 기하학적 형상은 설계자에 의해 보강조건을 예시할 수 있는 기본 형상으로 단순화될 수 있다. 이러한 보강의 필요조건을 판정하기 위한 단계가 지식베이스 모듈에 규칙의 형태로 전산정보화되었다.

본 논문에서는 기본 형상을 직사각형 평판, 원형 평판, 곡선보의 3가지 경우로 구분하였으며 이들 각 경우에 적합한 구조공식을 적용하였다.

Fig. 2에 이러한 3가지 경우의 기본 형상을 도시하였다. 다른 형태의 기본 형상이 요구되는 경우, 일반적 적용을 위해 지식베이스의 추가 및 확장이 가능하다.

· 경우 1: 직사각형 평판 형태에 대한 리브구조

Fig. 3(a)와 같이 균일 벽두께  $t$ 인 직사각형의 플라스틱 하우징을 설계하는 경우, 경험있는 설계자는 윗판의 중심에서 최대처짐이 발생할 것이라는

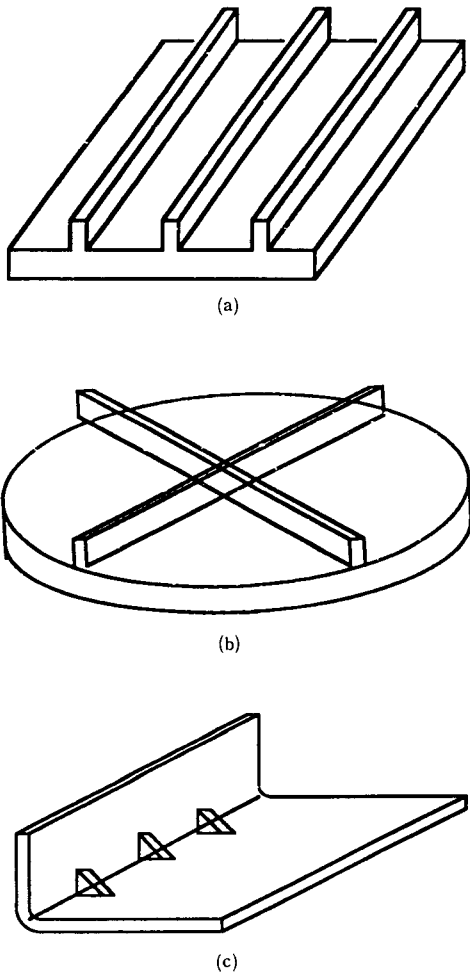


Fig. 2 3 Representative types of ribs to be frequently used in general injection molded part design. (a) Rib on a rectangular plate, (b) Rib on a circular plate, and (c) Gusset rib on an edge

것을 쉽게 예측할 수 있으며 뒷판을 직사각형 평판으로 적절히 근사화하여 구조공식을 적용할 수 있다<sup>(13,14)</sup>(Fig. 3(b), (c)참고).

Fig. 3(c)에서와 같이 근사영역이 직사각형 평판인 경우, 하중 및 경계조건을 분포 하중  $p$ 와 고정조건으로 가정하면 구조 공식으로부터 다음과 같은 최대 응력과 최대 처짐에 관한 식을 얻게 된다 (Table 1 참고).

최대 응력  $\sigma_{max} = \beta p b^2 / t^2$  (1)  
 최대 처짐  $\delta_{max} = \alpha p b^4 / Et^3$  (2)

$a$  : 긴 변의 길이

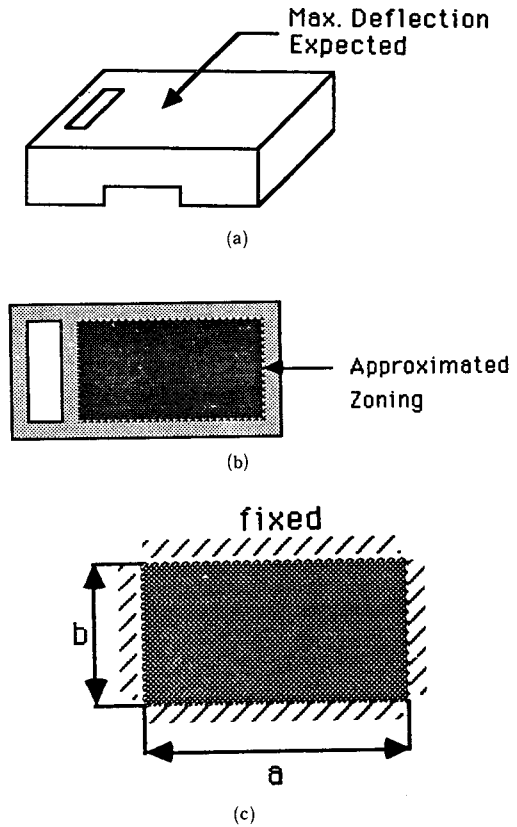


Fig. 3 Simplification of a primary shape to a rectangular plate in order to apply the classical structural formulas for the Max. stress and deflection at the center point

Table 1 The structural formulas for a rectangular plate

	Max, Stress		$\sigma_{max} = \beta p b^2 / t^2$			
	Max. Deflection		$\delta_{max} = \alpha p b^4 / Et^3$			
$a/b$	1.0	1.2	1.4	1.8	$\infty$	
$b$	0.308	0.383	0.436	0.487	0.500	
$a$	0.014	0.019	0.023	0.027	0.028	

$b$  : 짧은 변의 길이

$E$  : 영의 계수 (Young's Modulus)

$p$  : 분포 하중

$\alpha, \beta$  : 재료의 성질과 제품의 기하학적 형상으로 부터 유도되는 상수

식 (1), (2)는 제품에 있어서 요구되는 벽두께를

계산하기 위한 식으로 다시 쓰여 질 수 있다. 최대허용처짐이  $\delta_{max}^*$ 으로 주어지는 경우, 최소제품 두께  $t_{ed}$ 는 다음과 같이 주어진다.

$$t_{ed} = (\alpha p b^4 / E \delta_{max}^*)^{1/3} \quad (3)$$

최대허용응력이  $\sigma_{max}^*$ 으로 주어지는 경우, 최소제품 두께  $t_{es}$ 는 다음과 같이 주어진다.

$$t_{es} = (\beta p b^2 / \sigma_{max}^*)^{1/2} \quad (4)$$

주어진 재료의 최대 허용 가능한 제품두께가 식 (3)과 (4)로 부터 구해지는 두께보다 작을 경우, 주어진 주형상은 보강리브를 필요로 하게 된다.

· 경우 2 : 원형 평판형태에 대한 리브 구조

Fig. 4(a)에 도시된 균일 벽두께  $t$ 인 원형의 플라스틱 하우징을 설계하는 경우 밀판을 원형 평판으로 근사화하여 구조 공식을 적용할 수 있다(Fig. 4(b)) Fig. 4(b)에서의 하중조건은 원형 평판의 중심에서의 집중하중  $W$ 이고 경계조건은 고정된 것으로 가정하면, 구조공식으로 부터<sup>(13)</sup>, 최대응력과 처짐에 관한 식을 구할 수 있다.

$$\text{최대 응력 } \sigma_{max} = \frac{3.0 W}{2.0 \pi t^2} \quad (5)$$

$$\text{최대 처짐 } \delta_{max} = \frac{3.0 W (m^2 - 1) r^2}{4.0 \pi E m^2 t^3} \quad (6)$$

$m$  : 프와송 비의 역수

$r$  : 원형 평판의 반경

$W$  : 중심에서의 집중하중

최대허용처짐  $\delta_{max}^*$ 이 주어지는 경우, 최소제품두께  $t_{ed}$ 는 다음과 같이 주어진다.

$$t_{ed} = \left( \frac{3.0 W (m^2 - 1) r^2}{4.0 \pi E m^2 \delta_{max}^*} \right)^{1/3} \quad (7)$$

최대허용응력  $\sigma_{max}^*$ 가 주어지는 경우 최소제품두께  $t_{es}$ 는 다음과 같이 주어진다.

$$t_{es} = \left( \frac{3.0 W}{2.0 \pi \sigma_{max}^*} \right)^{1/2} \quad (8)$$

만일 주어진 재료의 최대허용 제품두께가 식 (7), (8)로 부터 주어지는 두께보다 작을 경우 주어진 주형상은 보강리브가 필요하다.

· 경우 3 : 직각 코너 부위에 대한 리브 구조

예기치 못한 충격이 주어지는 경우 코너와 모서리 부위는 과도한 응력집중이 발생할 수 있는 대표적인 부위이다.

모서리 부위의 필렛(fillet)으로 인한 영향을 고려

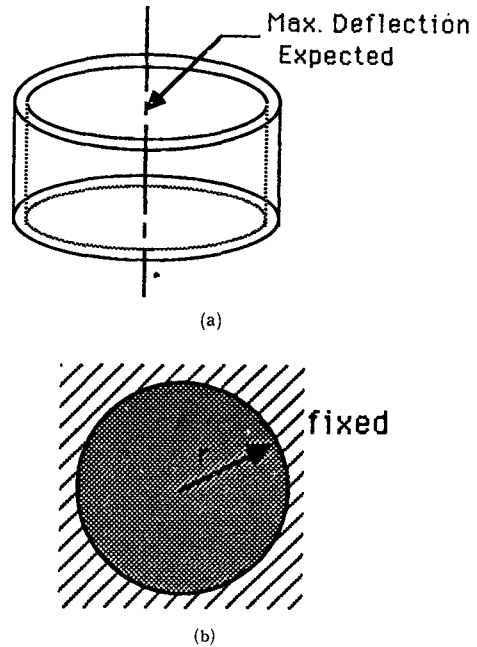


Fig. 4 Simplification of a primary shape to a circular plate in order to apply the classical structural formulas for the Max. stress and deflection at the center point

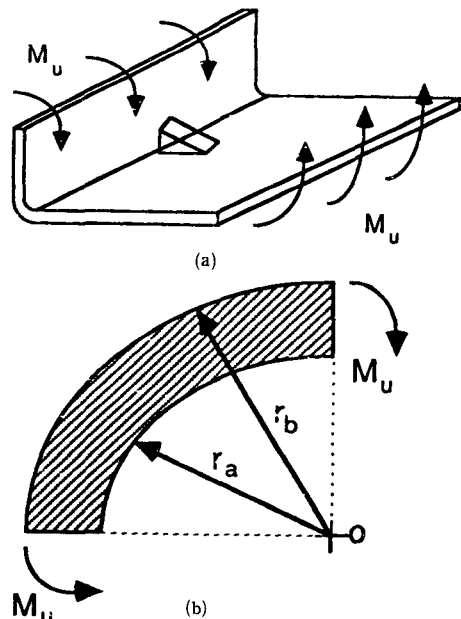


Fig. 5 Simplification of a primary shape to a wide plate with gusset plate and curved beam in order to apply the classical structural formulas for the Max. stress and stress distributions at the right angled corners

하기 위해 필렛 반경 (filleting radius)  $r_a$ 를 가지는 곡선 보로 가정하였다. Fig. 5(a)에 도시된 것과 같은 형태의 형상을 고려한다. Fig. 5(b)와 같은 형태의 곡선보가 균일 분포된 모멘트  $M_u$ 를 지지하는 것으로 가정하면 곡선보의 구조 공식으로부터 <sup>(1.5)</sup> 균일 분포된 모멘트  $M_u$ 에 대한 내부 코너에서의 최대응력을 구할 수 있다.

최대 굽힘 응력

$$\sigma_{max} = \frac{4.0M_u \cdot [(1 - r_a^2/r_b^2) - 2\ln(r_b/r_a)]}{(wr_b^2N)}$$

$$N = (1 - r_a^2/r_b^2)^2 - 4.0(r_a^2/r_b^2)\ln^2(r_b/r_a) \quad (9)$$

$M_u$ : 균일 분포된 모멘트

$r_a$ : 곡선 보의 내부 곡률

$r_b$ : 곡선 보의 외부 곡률

$w$ : 직각 코너 부위의 폭 (width)

내부 코너에서의 최대 굽힘응력이 주어진 재료에 대한 최대허용응력보다 크면, 측면 모서리는 보강 리브를 필요로 하게 된다.

### 3.2 리브의 단면 합성

3.1에서의 단계를 거쳐 리브구조가 필요한 것으로 판정이 되면, 우선적으로 리브단면 파라미터가

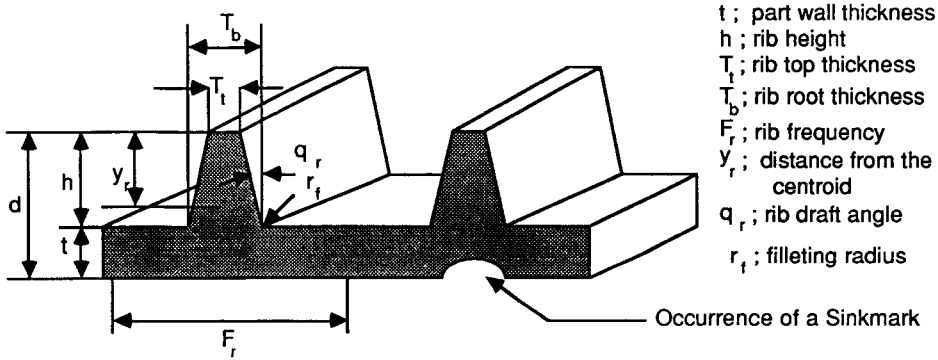


Fig. 6 Design parameters of a rib's cross-section

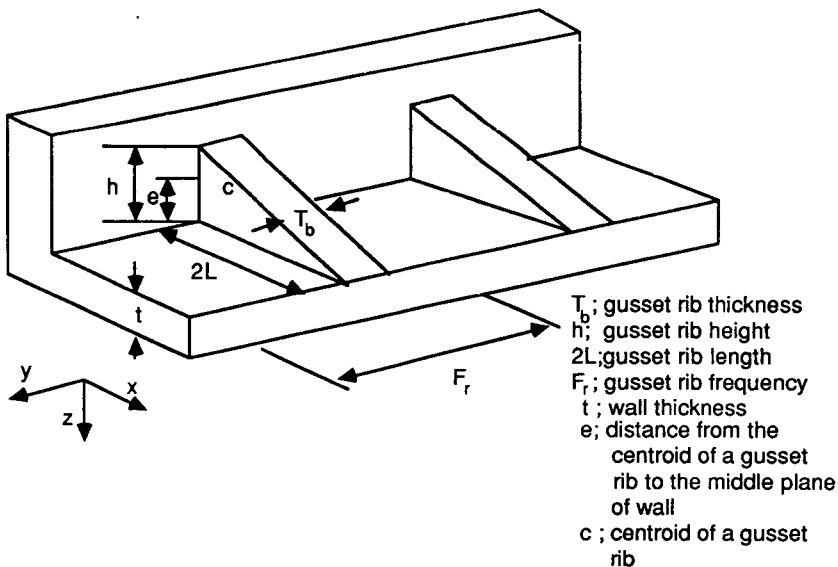


Fig. 7 Design parameters of a gusset rib

결정되어야 한다. 리브 단면 파라미터는 Fig. 6에 서 도시된 바와 같이 리브 두께, 높이, 필렛반경, 구배등을 포함한다.

거셋리브(gusset rib)의 경우는 거셋리브 두께와 리브 높이의 결정이 요구된다(Fig. 7)

이와같이 결정된 리브 단면을 가지고 보강의 정도에 맞게 리브 갯수와 위치가 결정되게 된다.

리브 단면 파라미터는 사출 성형의 공정 특성을 고려하여 결정되어야 하는 데 제품의 벽두께는 단면 파라미터 결정에 있어서 기본적인 인자로 작용한다. 각각의 고분자 재료에 대한 벽두께는 재료 공급업체에서 추천하는 적절한 두께 범위와 제품의 최대 유동 길이등을 고려하여 RIBBER의 지식베이스로부터 결정되어 진다.

리브 두께는 제품 벽두께의 0.5~0.75배 범위에서 추천되는데 이 범위보다 작으면 쇼트샷, 이형불량이 발생하고 이 범위보다 크면 리브의 반대편 표면에 형성되는 국부적 결함인 싱크마크의 발생 가능성이 커진다. (Fig. 6) 리브 높이는 벽두께의 2~3배로 제한되는데, 이 범위를 벗어나게 되면 쇼트샷, 이형불량, 기공, 변형등의 결함이 발생한다 (16,17).

리브 구배와 리브 필렛반경은 이형불량, 응력 집중, 싱크마크, 변형등이 발생하지 않도록 하기 위해 제한되는데 제한 조건과 파라미터 값은 재료와 설계 조건에 따라 각각 달라지게 된다.

각각의 고분자 재료에 있어서 단면 파라미터에 대한 제한조건이 RIBBER 내에 규칙의 형태로 전산 정보화 되었다.

대부분의 재료 공급업체들은 리브설계를 위한 설계 지침서를 제공하는데 새로운 고분자 재료가 추가될 경우 쉽게 현재의 규칙 베이스에 부가될 수 있다. 본 연구에서는 GE Plastics의 61가지의 재료에 대해 규칙을 구성하였다.

다음은 RIBBER의 지식베이스에 내장되어 있는 GE NORYL N190재료에 대한 규칙의 예이다.

IF : The Material is GE NORYL N190  
and The Wall Thickness is [t]  
and The Input Root Thickness [T<sub>b</sub>]  
is bigger than 0.8 [t]

THEN : The Possibility of Bad Sinkmark = 9/10  
and The Possibility of Warpage = 8/10  
and Warning Message : Reduce [T<sub>b</sub>]

Smaller than 0.8[t]

IF : The Material is GE NORYL N190  
and The Wall Thickness is [t]  
and The Input Rib Height [h]  
is bigger than 3.0[t]

Then : The Possibility of Ejection Difficulty  
= 9/10  
and The Possibility of Short Shot = 7/10  
and Warning Message : Reduce [h] smaller  
than 3.0[t]

리브 단면 파라미터의 결정은 설계자와 RIBBER 간의 대화에 의하여 이루어지게 되며 RIBBER는 설계자의 선택에 따라 적절한 리브 파라미터 값을 선정해 주거나, 설계자가 지정할 경우에는 결정과정에서 필요한 정보를 제공해 준다. RIBBER는 제안된 설계를 사출성형하게 될 경우에 있어서 공정상의 문제점을 평가해 주고, 경고나 조언등을 필요할 때마다 생성하게 된다.

### 3.3 리브 빈도(Rib Frequency)

리브 단면 파라미터가 선정되면 리브 갯수와 위치가 3.1에서 논의된 보강 정도에 대처할 수 있도록 결정되어야 한다.

· 경우 1 : 직사각형 평판에 대한 리브 빈도

리브 갯수는 3.2에서 선정된 단면 형상과 3.1에서의 보강의 조건을 만족할 수 있도록 결정되어진다. 재료의 허용 벽두께 범위를 넘어 설 경우 리브 설계가 시작되게 된다. 리브 설계를 합리적으로 수행하기 위하여 동일한 처짐을 주는 등가의 리브구조, 혹은 동일한 응력을 위한 등가의 리브구조의 개념이 사용되었다. 설계자의 선택에 따라 동일한 처짐을 위한 관성 모멘트의 동일조건을 만족시키는 리브구조를 설계하게 되거나, 동일한 응력을 위한 단면 계수의 동일조건을 만족시키는 리브구조가 설계되게 된다.

리브 한개당 단면의 관성 모멘트 I<sub>r</sub>, 단면계수 Z<sub>r</sub>, 그리고 중립축까지의 거리 y<sub>r</sub>이 다음과 같이 주어진다<sup>(9)</sup>.

$$I_r = 1/12[4bt^3 + h^3(3T_t + T_b)] - A(d - y_r - t)^2 \tag{10}$$

$$y_r = d - [3bt^2 + 3hT_t(d + t) + h(T_b - T_t)(h + 3t)]/6A \tag{11}$$

$$A = bt + [h(T_o + T_i)]/2.0 \quad (12)$$

$$Z_r = I_r/y_r \quad (13)$$

식 (10-13)에서의 짧은 변의 길이  $b$ 는 리브가 한 개 이상 요구되는 경우 등가의 처짐 조건에 대해서는 리브 빈도  $F_{rd}$ , 등가의 응력 조건에 대해서는 리브 빈도  $F_{rs}$ 로 된다.

직사각형 평판에 대한 리브 빈도는 평판의 폭을 리브의 갯수로 나눈 값으로 정의된다(Fig. 6).

구조적 필요조건에 충분히 대처할 수 있는 두께의 평판에 대한 동일한 항들이 다음과 같이 주어진다.

$$I_p = bt_e^3/12.0 \quad (14)$$

$$y_p = t_e/2.0 \quad (15)$$

$$Z_p = I_p/y_p = bt_e^2/6.0 \quad (16)$$

동일한 처짐조건을 위한 등가의 벽두께  $t_{ed}$ 와 동일한 응력조건을 위한 벽두께  $t_{es}$ 는 식 (3)과 (4)로부터 결정된다. 또한 식 (10~16)의 단면 파라미터는 RIBBER의 규칙으로부터 결정된다. 식 (14~16)에서의 짧은 변의 길이  $b$ 대신에, 동일한 처짐 조건을 위한 리브 구조 설계의 경우에는  $F_{rd}$ , 동일한 응력조건을 위한 리브 구조 설계의 경우에는  $F_{rs}$ 를 대입하고 두꺼운 평판의 관성 모멘트 혹은 단면계수를 리브구조의 각각 해당하는 값과 같게 두면  $F_{rd}$ 와  $F_{rs}$ 가 계산될 수 있다. 직사각형 평판의 폭을 리브 빈도로 나누게 되면 보강에 필요한 리브 갯수가 정해진다.

직사각형 평판의 경우에 대한 구조계산의 모델을 평가해 보기 위하여 구조해석을 수행하였다.

재료는 PPO(polyphenylene oxide)인 GENORYL N190을 선택하였다. 최대 허용 벽두께는 0.125in(0.318cm)로 하였고 균일분포하중이 0.289psi(1993N/m<sup>2</sup>)인 상태에서 최대허용처짐  $\delta_{max}$ 는 0.1 in(0.254cm)로 제한되어 있다.

적절한 단면 형상을 갖는 2개의 리브가 RIBBER에 의해 제시된 대로 직사각형 평판에 부가되어졌다.

동일한 경우에 대해 리브구조의 보강효과를 확인하기 위한 유한요소해석이 수행되었다. 재료는 선형 탄성(linear elastic), 균질(homogeneous), 등방성(isotropic)으로 가정되었다.

구조해석을 위해서 구조해석용 프로그램인 ANSYS가 사용되었고 4-노드 셸(4-node quadrilateral shell) 요소가 채택되었다.

직사각형 평판에 대한 RIBBER의 계산은 리브가 없는 구조의 처짐이 0.167 in(0.424cm)로 계산 되었으므로 리브구조의 중앙에서의 처짐이 0.05in(0.127cm)가 되도록 리브를 설계하였다. 직사각형 평판에 대한 유한요소 해석의 결과는 리브가 없는 구조의 0.187in(0.47cm)에 비교하여 리브구조의 중앙에서 0.09in(0.23cm)의 처짐이 발생하는 것으로 나타났다. RIBBER의 결과와 구조해석의 차이는 RIBBER의 계산과정에서 무시된 축력의 회전에 기인한 것으로 판단된다. 이러한 결과가 Fig. 8에 나타나 있다.

· 경우2: 원형 평판에 대한 리브 빈도

원형 평판에 있어서, 리브는 일반적으로 반경 방향으로 놓여지게 된다. 원형 평판에 대한 리브 빈도를 구하기 위하여 리브를 보로 가정하고 보와 원형 평판이 결합되어 있는 상태로 단순화하여 구조 공식을 적용한다. 중앙에서 집중하중  $W$ 가 적용되었을 시 총반력은 리브에 의해 지지되는 반력과 원형평판에 의해 지지되는 반력으로 구분된다. 최대 허용처짐  $\delta_{max}$ 가 주어지면 원형평판에 의해 지지되어야 하는 반력  $X$ 가 식 (6)으로부터 결정되어진다. 총하중  $W$ 에서 원형 평판에 의해 지지되는 반력  $X$ 를 뺀 하중을 지지하기 위해 요구되는 리브의 갯수를 구하면 된다. 축 하중에 의하여 리브는 외팔보간의 간섭조건을 고려하기 위한 끝단 모멘트와  $W$ 에 의한 집중하중을 지지하는 외팔보의 문제로 단순화 될 수 있다. 각 외팔보에 대해 최대처짐  $\delta_{max}$ 과 최대 끝단 경사각  $\theta_{max}$ 가 다음과 같이 구조 공식으로부터 주어진다.

$$\delta_{max} = \frac{PL_a^3}{3EI} - \frac{ML_a^2}{2EI} \quad (17)$$

$$\theta_{max} = \frac{PL_a^2}{2EI} - \frac{ML_a}{EI} \quad (18)$$

$$P = (W - X)/N_r$$

$W - X$ : 리브에 의해 지지되는 반력

$N_r$ : 리브 갯수

$L_a$ : 리브의 길이

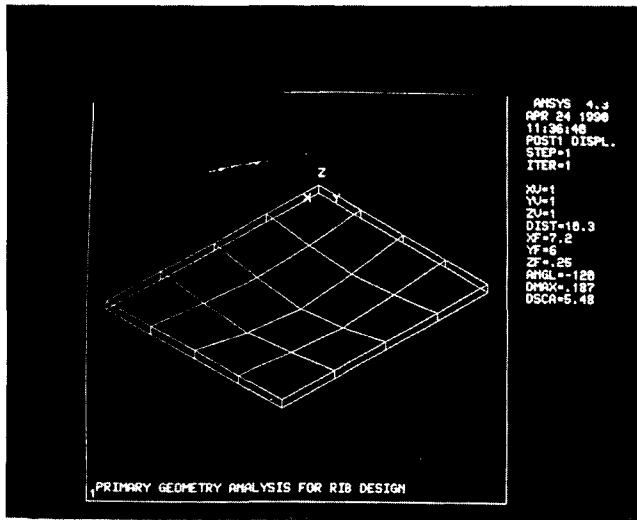
$I$ : 리브의 관성 모멘트

$M$ : 끝단 모멘트

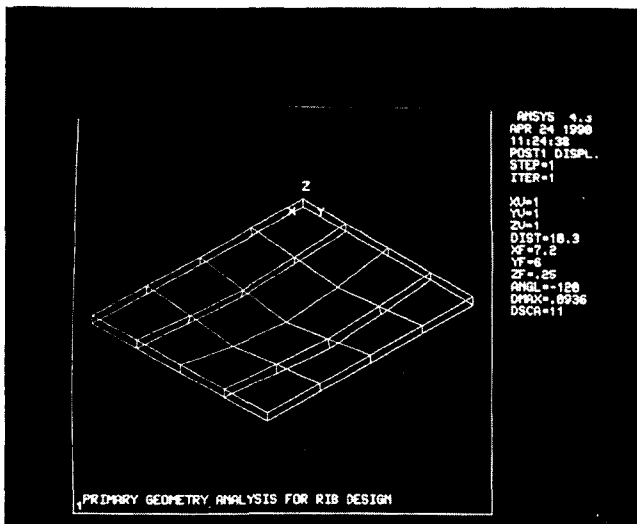
식 (17)에서의 끝단 모멘트는 외팔보의 끝단에서의 경사각을 0으로 하는 연속 조건으로부터 결정된다.

연속조건과 식(18)로 부터 끝단 모멘트  $M$ 이 계산된다.





(a)



(b)

Fig. 8 Structural analysis result of the ribbed region in rectangular plate by ANSYS : (a) Unribbed structure, and (b) Ribbed structure

$$M = PL_a/2 \tag{19}$$

식 (17)과 식 (19)를 결합하면 다음의 식이 구해진다.

$$N_r = \frac{(W-X)L_a^3}{12EI\delta_{max}} \tag{20}$$

식 (20)으로 부터 리브의 갯수  $N_r$ 이 구해질 수 있다.

· 경우3 : 직각 코너 부위에 대한 리브 구조

사출성형제품의 직각 코너 부위와 모서리는 예기치 않은 충격에 의해 과도한 응력 집중이 발생하기 쉽다. 내부 코너 부위에서의 최대 굽힘 응력은 식 (9)로 부터 계산된다. 거сет 리브가 모서리에 위치할 때, 하중 지지 포텐셜(load-bearing potential)은 리브 주위에서 최대이고 리브로부터 떨어짐에 따라 감소하게 된다. 그러므로 리브로부터의 거리  $y$ 에서의 모서리 부위는 리브에서 가까운 모서리

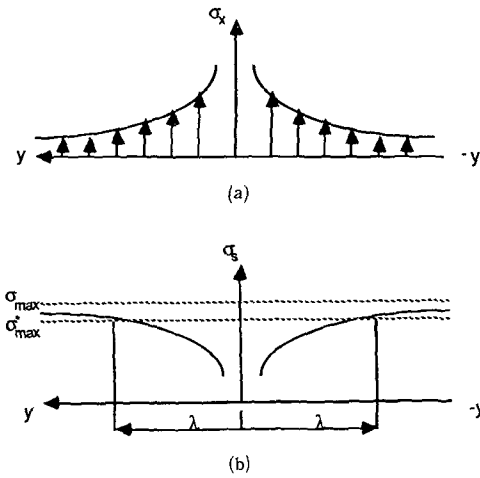


Fig. 9 Determination of rib frequency in a rib structure for a right angled corner  
 (a) Stress Distribution along an Edge with a Gusset Rib  
 (b) Determination of Gusset Rib Frequency

부위보다 취약한 것으로 예상된다. 거셋리브를 갖는 직각 코너부위에 대한 하중 지지 포텐셜의 분포는 최소 에너지 원리를 이용하여 유도될 수 있다.<sup>18)</sup> 직각 코너 부위를 따른 하중지지 포텐셜  $\sigma_x(y)$ 는 식 (21~24)와 같이 주어진다(Fig. 9(a)).

$$\sigma_x(y) = [A_1\pi^2/L^2 \exp(-\pi y/L) + B_1\pi^2/L^2(\pi y/L - 1) \exp(-\pi y/L)] \cos(\pi y/L) \quad (21)$$

$$A_1 = (LX_1) / (2.0\pi t) \quad (22)$$

$$B_1 = \frac{-(1+v)LX_1}{4\pi t} \quad (23)$$

$$X_1 = \frac{Mu}{e} \frac{1.0}{\left[1 + \left(\frac{I_g}{A_g e^2}\right) + \left(\frac{\pi I_g}{t e^2 L}\right) \left(\frac{3+2v-v^2}{4.0}\right)\right]} \quad (24)$$

$L$ : 거셋리브 길이의 1/2

$t$ : 벽 두께

$v$ : 프와송 비

$e$ : 거셋리브의 도심으로부터 제품의 벽의 중립 평면까지 거리

$I_g$ : 도심  $C$ 를 지나는 수평축에 대한 거셋리브의 관성 모멘트

$A_g$ : 거셋리브의 단면적

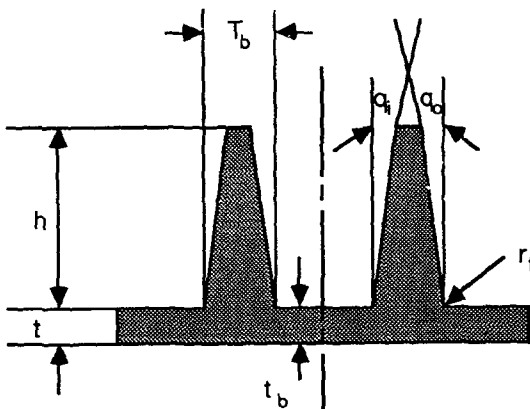
응력분포  $\sigma_x(y)$ 는 리브로부터의 길이,  $y$ 에서의 모서리의 굽힘 모멘트를 저항할 수 있는 하중지지 포텐셜의 분포가 지수 함수적으로 감소함을 보여준다. 식 (9)에서 구해진 최대굽힘응력  $\sigma_{max}$ 에서 모서리를 따라 분포된 하중지지 포텐셜  $\sigma_x(y)$ 를 빼면 결과적으로 모서리를 따라 분포된 실제의 응력분포  $\sigma_s$ 가 구해진다(Fig. 9(b)).

거셋리브의 갯수는  $\sigma_s$ 가 재료의 최대 강도  $\sigma_{max}^*$ 를 넘어서는 것을 방지해 주는 거리인  $2\lambda$ 에 한개씩 위치시키면 된다.

응력분포  $\sigma_s$ 가 주어진 재료에 대한 최대 허용 응력  $\sigma_{max}^*$ 와 같아지는 리브로부터의 거리가 리브 빈도의 절반값인  $\lambda$ 이다.

### 3.4 보스의 설계

보스는 기계적 조립과 결합의 목적으로 사용되는 사출성형제품의 대표적인 부형상이다. 어떤 설계에



- $t_b$ ; boss bottom thickness
- $T_b$ ; boss wall thickness
- $h$ ; boss height
- $t$ ; part wall thickness
- $r_f$ ; filleting radius
- $q_i$ ; inner draft angle
- $q_o$ ; outer draft angle

Fig. 10 Key parameters of a hollow boss

서는 두개 이상의 평면이 만나는 경우에 간격유지를 위해서 혹은 지지대로서도 사용된다. 보스의 위치와 유형은 기능적 필요성에 따라 설계자에 의해 쉽게 결정될 수 있다. 그러나 단면 파라미터는 싱크마크, 변형, 웰드라인 등과 같은 결함을 방지하기 위해 주의 깊게 결정되어야 한다. 두꺼운 단면은 구멍의 내경의 2배 정도인 것이 바람직하며, 보스 벽두께는 제품 두께를 넘지 않아야 한다. 보강의 목적으로 과도한 보스 두께가 요구되는 경우는 적절한 리브를 설계하여 표면상에서의 싱크마크를 방지해야 한다. 보스 높이  $h$ 는 벽 두께의 2~5배로 제한된다. 보스 바닥 두께  $t_b$ 는 벽두께의 0.5~0.7배로 제한된다. 허용 가능한 필렛반경은 벽두께의 0.25배이다. 각각의 재료는 내부 구배와 외부 구배값이 제각기 달리 주어지게 되는 데 폴리스티렌과 ABS를 예로 들면 내부구배가 1/3~1도, 외부 구배가 1~2도로 주어지게 된다. 보스 두께, 높이, 바닥 두께, 그리고 내부와 외부 구배는 주어진 벽두께와 재료에 관계되는 보스형상 파라미터이다(Fig. 10). 리브 단면 파라미터와 유사한 규칙이 RIBBER 내에 전산 정보화 되어져 있다. 다음은 GE NORYL N190 재료에 대한 규칙의 일례이다.

IF : The Material is GE NORYL N190  
 and The Wall Thickness is  $[t]$   
 and The Input Boss Bottom Thickness  $[t_b]$  is bigger than  $0.7[t]$   
 THEN : The Possibility of Sinkmark = 8/10  
 and Warning Message : Reduce  $[t_b]$  Smaller than  $0.7[t]$

#### 4. 지식형 CAD 시스템

부형상의 필요조건에 대한 모델과 공식, 형상 파라미터와 성형성이 연구되었으며 지식베이스 모델, RIBBER의 규칙으로 전산정보화 되었다.

C언어로 된 전문가 시스템 구축도구 CLIPS가 RIBBER를 구축하기 위해 사용되었다. CLIPS는 C언어로 작성되어 있어서, 기존의 LISP 언어에 비해 이식성(portability)이 좋으며, 특히 상당한 양의 수치처리가 요구되는 설계분야에 유리하다. 또한 기존의 고급언어들과 혼합된 형태로 사용이 가능하기 때문에 이미 개발되어 있는 프로그램과

통합적인 시스템의 구축이 용이하다. RIBBER의 지식베이스는 사실과 규칙으로 구성된다. 사실은 데이터의 기본형태이며, 각각의 사실은 현재의 사실 리스트에 위치된 정보를 나타낸다.

규칙은 사실의 존재 유무에 따라 구동된다. 사실은 규칙의 구동이전에 사실 리스트에 첨가(assert)될 수도 있고 규칙 구동시 행위부로서 첨가(assert)되거나 삭제(retract)될 수도 있다.

부형상의 단면 파라미터, 갯수와 위치는 설계합성의 초기 단계에서 설계자가 RIBBER의 도움을 받아 쉽게 결정할 수 있다. 다음단계로 리브와 보스의 기하학적 모델이 생성되고 RIBBER로 부터의 조건과 결정에 따라 제품의 주형상에 조립되게 된다.

앞의 과정을 좀더 자세히 설명하면 다음과 같다. PRO/ENGINEER 모듈상에서 화면에 출력된 주형상의 기하학적 모델에서 근사영역화 작업에 의해 근사영역 형상의 치수정보를 도출한다. 근사영역화 작업은 Fig. 3(b)에 도시된 예와같이 보강을 위해 리브가 필요할 것으로 예측되는 부위를 설계자가 마우스를 이용하여 지정함으로써 수행되게 된다. 근사영역 형상의 종류는 Fig. 2에 나타나 있으며 Fig.2(a)의 경우를 예로들면 모서리의 서로 마주보는 두점을 마우스로 지정함으로써 관련 형상정보인 가로, 세로변의 길이와 제품두께 등이 근사영역화 작업을 위해 작성되어진 프로그램에 의해 PRO/ENGINEER의 데이터베이스에서 자동으로도출되게 된다. 도출된 근사영역의 형상 치수 정보와 사용자와의 대화를 통해 입력된 고분자 재료의 종류, 하중조건, 설계제어인자 등의 정보를 이용하여, 리브의 필요성을 추론 및 계산을 통하여 판단하고, 사출성형성을 고려하여 리브의 단면, 리브

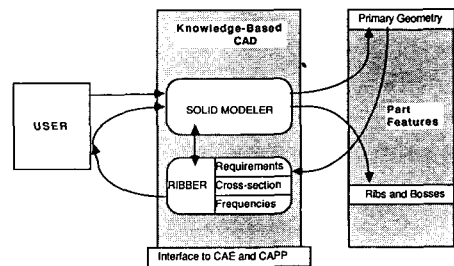


Fig. 11 Knowledge flow of a knowledge-based CAD system for the synthesis of a ribbed injection molded part

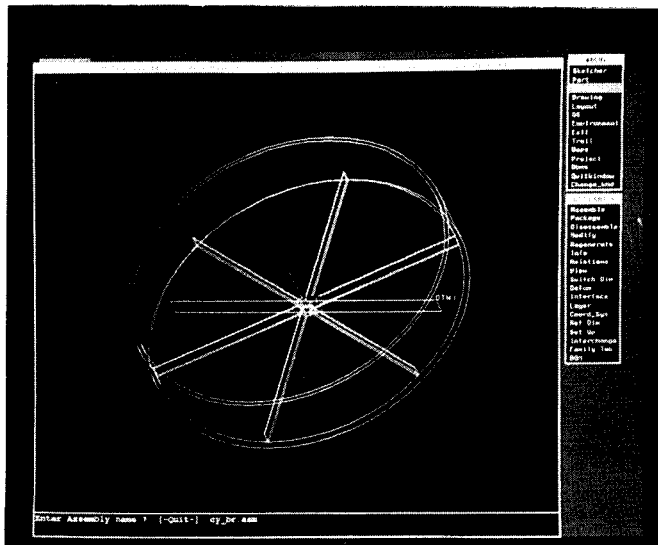


이 어려운 국부적 수정작업도 파라미터를 이용한 모델링 개념에 의해 대단히 쉽게 된다. 리브는 대체로 어떠한 단면을 가진 테이퍼진 막대 형상을 지니므로 제시된 단면에 대해 솔리드 모델러의 스위프 작업 (sweep operation)을 통하여 리브구조가 생성될 수 있다. PRO/ENGINEER의 조립기능을 이용하여 주형상에 RIBBER에 의해 합성된 리브구

조를 최종적으로 조립하면 리브의 합성작업이 완료되게 된다. 보스는 축 대칭 단면의 한면을 360도 회전시킴에 의해 얻어질 수 있으며, 설계자의 선택에 의해 임의의 위치에 위치될 수 있다. RIBBER로부터의 결정과 제어를 따라 기하학적 모델러가 물체를 생성하게 함으로써 고립된 CAD 시스템이 지식형 CAD시스템으로 통합될 수 있다.

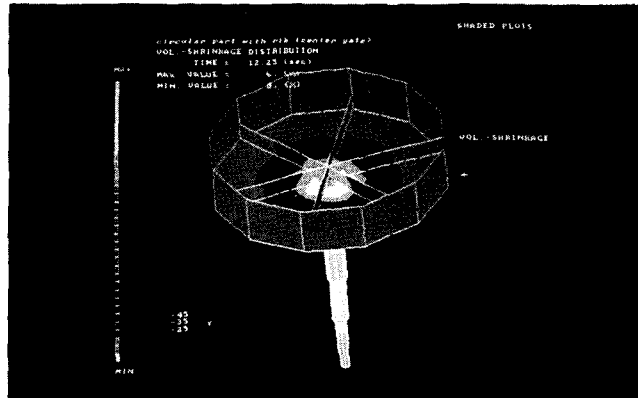


(a)

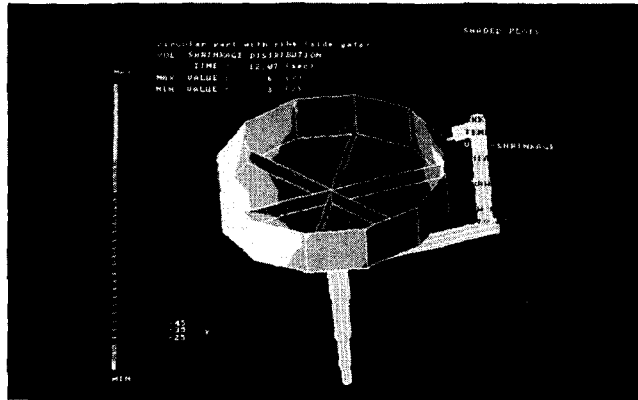


(b)

**Fig. 13** An example of supplementary features on a plastic housing.  
Generated through the knowledge-based CAD system : (for circular plate)  
(a) Primary shape of the part, and (b) supplementary geometries added



(a)



(b)

**Fig. 14** Volumetric shrinkage distribution at the end of post-filling stage(results from C-PACK Analysis) :  
 (a) Center gate is located along the ribs, and (b) Side gate is at the transverse direction of ribs

Fig. 11은 사용자와 지식형 CAD시스템간의 데이터와 지식의 유통과정을 보여준다. 지식형 CAD시스템은 사출성형제품의 성형성과 기계적 성능조건에 근거하여 결정된 부형상의 기하학적 형상을 생성할 수 있게 해준다. Fig. 12(b)에 도시된 대로 직사각형 평판에 조립되었다. Fig. 13(b)에 도시된 대로 원형평판에는 6개의 리브가 조립되어져 있다. 부형상을 가지는 설계의 성형성과 기계적 성능은 정량적으로 평가되어야 할 필요성이 있다. CAE프로그램은 전문가 시스템의 결정에 의해 필요한 해석을 수행하고 적절한 부형상의 합성을 위해 요구되는 데이터를 제공한다. C-PACK이 충전및 압입과정의 해석을 위해 사용되었다. Fig. 14는 2개의 서로 다른 게이트 위치에 대하여 압입해석을 수행

한 결과이며 압입 단계의 마지막 순간에서의 체적 수축률의 분포를 나타내 주고 있다. 보다 균형된 유동패턴을 가지는 경우가 성형성이 우수하며, 최대 3%의 상대적으로 낮은 체적 수축률의 분포를 보여주고 있다.

### 5. 결 론

지식형 CAD시스템이 기하학적 모델링을 위한 솔리드 모델러와 지식 모듈을 결합하여 사출성형에서의 부형상을 합성하기 위해 구축되었다. 이 시스템은 사출성형의 복합적이고 광범위한 지식과 구조해석및 CAE프로그램을 설계자에게 제공한다. 또한 이러한 지식들을 CAD시스템에 함께 결합함에

의하여 사출성형 제품의 부형상의 설계를 통합적인 방식으로 수행할 수 있음을 보였다.

지식형 CAD시스템 설계방식에 의하여 시제품제작이전에 지식베이스 모듈의 경험적 지식과 CAE 프로그램의 해석적 지식이 상호보완적으로 제안된 설계를 평가할 수 있도록 하였다.

본 연구에서 제시된 사출성형을 위한 지식형 CAD 시스템의 구조는 다른 공정에 대해서도 지식베이스를 교체함에 의하여 사용될 수 있다.

RIBBER는 현재 리브와 보스의 합성을 위한 지식만을 포함하고 있으나 전문가 시스템의 모듈 구조는 게이트 설계, 파팅 라인 선정, 언더컷 설계, 이방성 수축률 보상 등과 같은 지식 모듈을 부가함에 의해 사출 금형 설계의 모든 작업을 고려할 수 있도록 확대가 가능하다. 이 시스템은 이미 생성된 형상이 기계가공에 대한 충분한 정보를 가지기 때문에 금형가공을 위한 창생적 공정설계 시스템에도 유용하게 이용될 수 있다.

## 후 기

본 연구는 과기연-산업체 GMP(good mold program)를 통한 과기처의 연구지원으로 수행된 내용의 일부이며, 관계자 여러분께 깊은 감사를 드립니다.

## 참고문헌

- (1) Kim, S.G. and Suh, N. P., 1987, "Knowledge-Based Synthesis System for Injection Molding," Robotics and CIM, Vol.3, No.2.
- (2) Pye, R.G.W., 1983, Injection Mould Design, Pitman Press.
- (3) Rosato, D.V. and Rosato, D.V., 1986, Injection Molding Handbook, Van Nostrand Reinhold Company inc.,
- (4) Wang, V.W., Hieber, C.A. and Wang, K.K., 1986, "Dynamic Simulation and Graphics for the Injection Molding of Three-Dimensional Thin Parts," J. of Polymer Engineering, Vol.7, No.1, pp. 21~45.
- (5) Chiang, H.H., 1989, Simulation and Verification of Filling and Post-Filling Stages of the Injection-Molding Process, Ph.D. Dissertation, Cornell University.
- (6) Boothroyd, G. and Dewhurst, P., 1983, Design for Assembly : A Designer Handbook, Boothroyd Dewhurst, Inc.,
- (7) Bourne, D., Navinchandra, D. and Ramaswamy, R., 1989, "Tolerance-Free Designs for Manufacturing," PED-Vol.36, ASME WAM.
- (8) Cutcosky, M.R. and Tenenbaum, J.M., 1987, "CAD/CAM Integration Through Concurrent Process and Product Design," PED-Vol.25, ASME WAM.
- (9) Gadh, R., Hall, M.A., Gursoz, E.L. and Prinz, F.B., 1989, "Knowledge Driven Manufacturability Analysis from Feature-based Representations," PED-Vol.36, ASME WAM.
- (10) Chang, T.C. and Wysk, P.A., 1984, "CAD/Generative Process Planning with TIPPS," J. of Manufacturing Systems, Vol.2, No.2.
- (11) Luby, S.C., Dixon, J.R. and Simmons, M.K., 1986, "Creating and Using a Features Data Base," Computers in Mechanical Engineering, pp. 25~33.
- (12) Roller, D., 1989, "Design by Features : An Approach to High Level Shape Manipulations," Computers in Industry 12, pp. 185~191.
- (13) Roark, R.J., 1965, Formulas for Stress and Strain, McGraw Hill.
- (14) Timoshenko, S.P. and Woinowsky-Krieger, S., 1959, Theory of Plate and Shells, McGraw Hill.
- (15) Ugural, A.C. and Fenster, S.K., 1981, Advanced Strength and Applied Elasticity, Elsevier North Holland, Inc.,
- (16) Naka, H., Ichiyanagi, T., and Kenmochi, K., 1987, "Analysis of the Partial Thermal Shrinkage in Rib Structure," JSME Int'l Journal, Vol. 30, No.265.
- (17) Dym, J.B., 1979, Injection Molds and Molding, Van Nostrand Reinhold.
- (18) Timoshenko, S.P. and Goodier, J.N., 1970, Theory of Elasticity, McGraw Hill.