

# 사출성형제품 부형상의 지적 설계에 관한 연구

강성남\*, 허용정\*\*

## A Study on the Development of Intelligent Supplementary Feature Designer(ISFD) in Injection Molding

Seong Nam Kang\*, Yong Jeong Huh\*\*

### ABSTRACT

The configuration of injection molded part can be classified into primary feature and supplementary feature. Even though supplementary features such as ribs, snap fits and bosses make mold more complicated, which cause the increasement of the mold cost, supplementary features should be attached to primary features because of assembly, reinforcement, moldability and other functional purposes. But it is not easy for novice designers to design them appropriately because of the profound knowledge related to injection molding. In this paper, the intelligent design tool called ISFD(Intelligent Supplementary Feature Designer) which supplies easy, simple, time and cost-effective design method has been studied and developed. A knowledge-based design 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.

**Key Words** : Injection molding(사출), Knowledge-based design(지적설계), Design for processability(성형성을 고려한 설계), Supplementary feature(부형상), Rib(리브), Boss(보스), Snap fit(스냅핏)

### 1. 서론

전통적으로 사출성형제품의 제조과정에 있어 사출성형 제품, 금형의 설계는 설계자의 축적된 경험과 지식에 주로 의존해 왔다<sup>(1)</sup>. 설계작업이 경험에만 의존하여 이루어질 경우, 신제품 개발시 발생하는 사용재료 및 형상변화에 대한 유연하고 합리적인 대처가 상당히 어렵다. 이 경우 금형제작시 많은 시행착오를 겪게되어 금형의 납기가 연장되는 요인이 되고 제조단가도 비싸지게 된다.

이와 같은 문제점을 해결하기 위해서는 사출성형과 관련된 공정의 수학적 모델링, 과학적이고 체계적인 방법론을 통한 설계해석 및 평가 등 설계전반 작업분야에 걸친 합리화가 지속적으로 추진되어야 할 것이다. 설계시 요구되는 각종 공학데이터의 데이터베이스화, 설계와 관련된 CAD 프로그램 및 CAE 해석프로그램의 적절한 활용뿐만 아니라 설계자의 설계 지식과 경험을 전산정보화하여 제공하는 지적설계 프로그램을 구축할 수 있다면 설계전문가와 제조전문가 사이의 의사소통과 연계 원활, 납기 단축, 제품품질 향상 등의 목적달성이 가능해질 수

✉ 2001년 2월 9일 접수  
\* 한국기술교육대학교 대학원 기계공학과  
\*\* 한국기술교육대학교 메카트로닉스공학부

있을 것으로 판단된다<sup>(2)</sup>.

사출성형제품의 형상은 제품의 주된 기능을 수행하고 외관을 구성하는 주형상(primary geometry)과 사출성형의 특성상 부가되는 부형상(supplementary feature)들로 대별된다<sup>(3)</sup>. 리브(rib), 보스(boss), 거셋리브(gusset rib), 스냅핏(snap fit)과 같은 부형상이 주형상에 추가적으로 부가될 때 이러한 부형상의 존재는 금형에서 복잡한 코어(core)의 형태로 나타나게 된다. 부형상은 구조 보강, 유동원활, 변형방지, 조립 및 기능상의 목적으로 제품의 주형상에 부가되어지는데 이러한 부형상의 설계합성은 사출성형에 관한 광범위한 지식을 필요로 하며 성형성, 제품의 기계적 성능을 고려하고, 또한 웰드라인(weld line), 싱크마크(sink mark), 변형(warpage) 등과 같은 결함 발생 가능성을 설계 초기단계에서 종합적으로 고려해야 한다. 그러나 부형상의 형상, 치수, 위치 등을 적절히 설계합성(synthesis)하는 작업은 공정에 관한 종합적인 지식을 지원해 주는 합리적인 설계도구가 제공되지 못했던 이유로 사출 전문가의 오랜 기간 축적된 경험과 지식에만 전적으로 의존하여 왔다.

본 연구에서는 부형상의 이용과 설계방법, 설계시 필요한 일반적인 고려사항들을 고찰하고, 사출성형제품 설계의 초기단계에서 설계자가 제품을 설계하기 위해 필요한 데이터, 설계 가이드, 설계자의 경험적, 이론적 지식을 Visual C++을 이용하여 전산정보화하고 설계에 요구되는 편리한 환경을 제공해주는 사용자 친화적 부형상 설계 전용 소프트웨어를 개발하였다. 특히 리브, 보스, 스냅핏과 같은 부형상을 강도 설계뿐만 아니라 사출성형 특유의 제조 공정에 의해 제한되어지는 부분까지 고려하여 설계전문가뿐만 아니라 설계 초보자도 쉽게 사출성형제품을 설계할 수 있는 설계 소프트웨어, 부형상 마스터(Intelligent Supplementary Feature Designer)를 제안하였다.

설계된 부형상 데이터는 지식베이스 설계평가 시스템과 연계되어 설계결과를 평가할 수 있도록 하였다. 설계평가를 위한 지식베이스 시스템을 구축하기 위한 도구로서 NASA에서 개발한 전문가 시스템 구축도구인 CLIPS(C Language Integrated Production System)를 사용하였다.

## 2. 부형상 설계합성

### 2.1 현장에서의 부형상 설계

사출성형제품에서 리브와 같은 부형상은 필요에 따라 금형 설계자에 의해 부가적으로 덧붙여지기 때문에 제품설계 초기 단계에서는 도면의 형태로 나오지 않는 경우가 많다. 보스와 스냅핏 같은 경우에도 작은 부형상이지만 사출성형의 전반적인 지식이 없는 설계자에 의해 도면화 되면 사출성형시 많은 성형 불량을 발생시키게 된다. 따라서 실제현장에서는 경험이 많은 금형 또는 사출 전문가에 의해 도면이 수정되거나 혹은 추가되어진다.

실제 현장에서의 설계방법을 파악하기 위하여 10여개 사출금형회사를 선정하여 설문조사를 자체적으로 실시하였고 그 결과가 Fig. 1에 도시되어 있다.

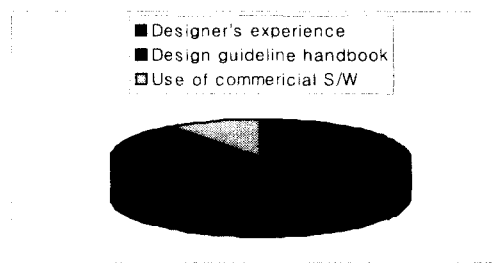


Fig. 1 Typical design methods of the supplementary features.

Fig. 1에 나타난 대로 재료공급자가 제공하는 설계지침서나 상용 CAE 소프트웨어를 이용하여 적합한 부형상의 치수, 위치, 개수 등을 결정하기도 하지만 금형 설계자의 경험과 지식에 의존도가 가장 높음을 알 수 있다. 특히, 일반 중소기업의 경우 전문가의 경험에 의존하는 비율이 더욱 높다. 금형 설계자가 제품도면을 넘겨받으면 자신의 경험에 비추어 파팅라인을 결정하고 런너, 게이트, 스프루, 냉각 채널과 같은 유동전달시스템(delivery system)을 설계한다. 그리고 제품의 형상에 따라 최대 변형이 예상될 때, 혹은 과도한 응력 집중이 예상되는 부분에 직관적으로 부형상을 덧붙이고, 부형상의 치수나 위치 등은 지금까지의 경험에 비추어 설계하게 된다. 그러나 이와 같은 설계 방법은 오랜 경험이 축적되어 있지 않으면 매우 어렵고, 그 경험이 특정한 형상과 고분자 재료에 국한되기 때문

에 새로운 형상과 고분자 재료를 이용한 신규 제품 개발의 경우 전문가의 경험도 그 한계성을 드러내 단번에 좋은 설계가 나오기 힘들고 여러 번의 시행착오를 거쳐야 하는 불합리성을 가지고 있다. 따라서 시행착오를 줄이고 전문가뿐만 아니라 설계초보자도 쉽게 부형상을 설계할 수 있는 소프트웨어를 개발함으로써 설계 단계에서 미리 금형 가공과 사출 단계에서 발생 가능한 문제들을 최소화 할 수 있다.

## 2.2 리브의 설계

리브구조는 제품 살 두께(wall thickness)를 균일하게 유지시키고 성형사이클 시간을 최소화하면서 구조강성을 증가시키고 재료를 경제적으로 사용하기 위한 목적으로 설계된다. 또한 리브는 게이트로부터 멀리 떨어진 부분에서의 미성형(short shot), 플로우마크(flow mark), 기포(void) 등과 같은 결함을 방지하기 위한 보조적 런너(secondary runner)의 역할을 수행하기도 한다.

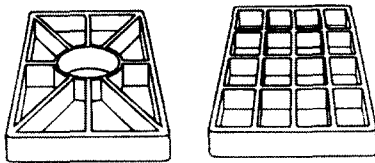


Fig. 2 Typical rib types.

Fig. 2에 전형적인 리브형상인 방사형과 십자형이 도시되어 있다. 만약 부품의 강성을 높이는 목적으로 리브를 설계할 때에는 먼저 고분자 재료의 탄성률을 증가시키거나 혹은 살 두께를 증가시켜 구조강성을 증가시킬 수 없는지 검토한다. 그러나 플라스틱 제품의 살 두께는 플라스틱 재료의 고유의 낮은 열전도율에 의해 제한되어 있는데, 이로 인해 구조적 강성의 부족이 나타난다. 따라서 제품의 살 두께가 두꺼워서 생기는 문제와 관련하여, 리브는 살 두께를 줄이면서 강성을 높일 수 있는 효과적인 수단이 된다<sup>(4)</sup>. 리브의 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 응력집중 방지 등의 함축적인 조건으로 주어지는 것이 일반적이므로 설계시 과도한 처짐으로 인한 제품의 기능 상실과

응력집중으로 인한 파괴만을 고려하여 설계하는 것이 적합하다. 리브구조가 잘못 설계되면 싱크마크, 변형, 이형불량 등의 문제가 발생하여 품질이 저하되게 되며 심지어는 리브가 부가되지 않은 경우보다 강도가 저하되는 경우도 발생하게 된다. 그러므로 리브구조의 설계는 구조적 보강의 필요성, 성형성, 결합 가능성 등의 종합적인 설계평가를 거쳐 합리적으로 수행되어야 한다.

본 논문에서는 직사각형 평판 형태에 대한 단방향 리브를 설계하였다. 제품이 집중하중과 분포하중을 받는 두 가지의 경우를 고려하여 리브의 필요성을 결정하고, 필요하다고 판단되면 적합한 리브의 갯수 및 치수, 위치 등을 설계하게 된다. 리브의 필요성 판정은 아래의 일반적인 구조공식을 이용하여 결정하게 된다<sup>(5)(6)</sup>.

$$y = \frac{Par(a+2r)\sqrt{3a(a+2r)}}{27EIL} \quad (1)$$

$$y = \frac{5DL^4}{384EI} \quad (2)$$

식 (1)은 집중하중시 평판의 처짐량을 나타내고 식 (2)은 분포하중시 평판의 처짐량을 나타낸다. 여기서 P는 집중하중, D는 분포하중, L은 평판의 전체길이, E는 탄성계수, I는 관성모멘트, a는 집중하중을 받는 위치, r = L-a이다.

주어진 평판의 치수와 하중 하에서의 평판의 처짐량을 계산하고 이 값을 허용 처짐량과 비교하여, 허용 처짐량보다 크면 리브가 필요하게 된다. 일단 리브가 필요하다고 판단되면 Fig. 3과 같은 절차로 리브의 갯수를 결정하게 된다.

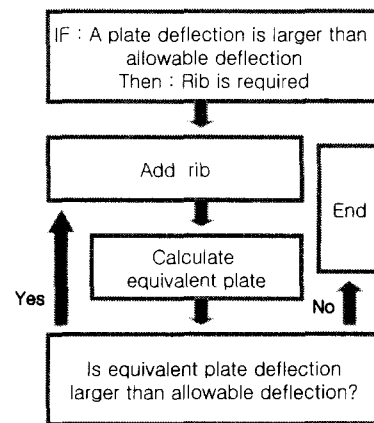


Fig. 3 Design process of rib.

이때 리브의 두께 및 베이스 반경 등은 사출성형 고유티특성에 의한 단면설계 지식이 적용된다. 플라스틱 수지는 수축율이 0.01보다 높으면 고수축 재료, 낮으면 저수축 재료로 분류될 수 있는데, 수축을 많이 하는 고수축 재료에 대해서는 리브의 두께를 제품 살 두께의 1/2로 하고 저 수축 재료는 살 두께의 3/4로 한다. 그 이유는 고 수축 재료에서 리브두께가 두꺼우면 수축으로 인해 싱크마크와 같은 성형불량이 발생하기 때문이다<sup>(7)</sup>.

리브구배와 리브 필렛 반경은 이형불량, 응력집중, 싱크마크, 변형 등이 발생하지 않도록 하기 위해 제한되어지는데, 제한조건과 파라미터 값은 재료 종류와 설계조건에 따라 달라지게 된다.

각각의 고분자 재료에 있어서 단면 파라미터의 제한조건이 부형상마스터내의 규칙 베이스에 전산 정보화 되었다. 대부분의 재료 공급업체들은 리브 설계를 위한 설계지침서를 제공하는데 새로운 고분자 재료가 추가될 경우 쉽게 현재의 지식 베이스에 부가될 수 있다. 본 연구에서는 100개 정도의 고분자 재료에 대해 데이터베이스를 구축하였다.

### 2.3 보스의 설계

보스는 사출성형 제품에서 다른 부품과의 조립을 위해서 널리 사용되는 부형상이다. 보스는 금형 내부에 인서트를 두어 보스를 성형하게 되는데, 성형 후 냉각될 때 플라스틱 재료가 인서트에 의해 자유로이 수축할 수 없기 때문에 잔여 후프 응력(residual hoop stress)이 남게 된다. 만약 보스의 두께가 충분하지 않아서 이러한 후프 응력을 견딜 수 없다면 보스는 쪼개지려는 경향이 나타난다<sup>(8)</sup>. 잔류 응력이 단기 혹은 장기적인 플라스틱 강도를 초과하게 되면 보스는 크랙에 의해 파손되므로 재료의 스트레스와 스트레인 이 예상되는 부위가 보스의 생명주기에 걸쳐 어떠한 영향을 미치는지 점검해보는 것은 아주 중요하다.

일반적으로 보스의 결합강도를 높이기 위해서는 두께를 증가시켜야 하지만, 두꺼운 부분일수록 싱크마크나 변형, 기포와 같은 불량이 생기므로 설계의 절충안이 마련되어야 한다. 주어진 인서트의 직경에 대해 플라스틱 수지의 허용 수축률은 보스의 외경이 증가함에 따라 같이 증가하게 되는데 보스의 직경이 너무 크면 앞에서 언급한 싱크마크, 기포와 같은 불량의 원인이 되므로 보스의 외경이 인서트 지름의 3배를 초과하지 않게 제한해야 한

다. 또한 보스와 제품부가 접하는 부분은 일반적으로 취약하기 때문에 보스의 밑 부분에 라운드를 주거나 거셋리브를 덧붙여서 강화시킨다.

본 논문에서는 일반적인 중공보스와 보스 내부에 나사부가 있는 보스를 설계하였다. 일반적인 중공 보스의 경우 다음 식에 의해 설계자가 보스의 외경이 잔여 후프응력으로 인한 크랙을 방지할 수 있을 만큼 충분한지를 판단하게 된다.

$$W = \frac{1 + \left(\frac{d_i}{d_o}\right)^2}{1 - \left(\frac{d_i}{d_o}\right)^2} \quad (3)$$

$$I = \frac{S_d d_i (W + v)}{WE} \quad (4)$$

$$I_a = S_m \cdot d_i \quad (5)$$

여기서 W는 기하학적 인자(geometry factor),  $d_i$ 는 보스의 내경,  $d_o$ 는 보스의 외경,  $S_m$ 은 재료의 수축률,  $S_d$ 는 보스의 허용응력, E는 탄성계수,  $v$ 는 프와송 비, I는 허용 간섭량,  $I_a$ 는 수축으로 인한 실제 간섭량을 나타낸다. 보스의 설계시 실제 간섭량이 허용 간섭량을 초과하지 않는 범위 내에서 설계가 이루어져야 보스에 발생 가능한 크랙을 방지할 수 있다. 이때 보스의 외경은 보스 내경의 1.5~3배로 하여 그 범위에 해당하는 각각의 허용응력과 보스의 두께를 계산하여 설계자가 원하는 보스의 외경에 대해 잔류응력이 허용 응력값을 초과하는지 알 수 있다.

보스에 나사부가 있는 보스의 설계에서 가장 높은 비틀림 모멘트를 얻기 위해서는 보스의 내부지름을 나사의 피치지름과 같게 하여 설계한다. 나사의 맞물림 길이가 길수록 나사산을 파손시키기 위해 필요한 토크가 더욱 증가되므로 맞물림 길이를 증가시킬수록 결합력이 커지나 사출성형 특성상 보스의 최대 높이가 제품 살 두께의 3배로 제한되므로 보통 맞물림 길이는 나사 피치지름의 2.5배 정도로 한다<sup>(9)</sup>.

아래의 식 (6)과 식 (7)에 의해 나사선이 파괴된다는 가정 하에 나사를 보스로부터 당겨 빼는데 필요한 장력(Pullout force,  $F_p$ )과 나사선이 파괴되기 직전까지 나사부에 가할 수 있는 최대 토크(Strip Torque,  $T_s$ )를 구할 수 있다.

$$F_p = \pi S_s D_p L_e \quad (6)$$

여기서  $D_p$ 는 피치지름,  $L_e$ 는 맞물림 길이,  $S_s$ 는

재료의 전단강도이다.  $S_s$ 는 재료의 항복강도인  $S_y$ 의 0.58배이다.

$$T_s = \frac{0.5 F_p D_p (P + \pi m D_p)}{\pi D_p - m p} \quad (7)$$

여기서  $m$ 은 플라스틱 재료의 마찰계수,  $p$ 는 단 위 길이 당 나사산 수를 나타낸다.

### 2.4 스냅핏의 설계

스냅핏은 일종의 결속장치로서 흔히 플라스틱 부품들을 서로 체결하는데 이용되는데, 그 결합과정을 보면 체결전의 응력이 없는 상태에서 체결하는 동안 하중을 받아 변형이 생기고 인접한 요소의 언더컷 안에서 결합된 후에는 다시 응력이 없는 상태로 복귀하는 원리 하에서 작용한다.

스냅핏은 다른 결속장치에 비해 간편하고, 생산품의 조립단가를 줄일 수 있고, 또한 분리력은 큰 반면에 결합력은 작게 만들 수 있는 장점을 가지고 있어 널리 사용된다. 그리고 시간이 경과해도 결합강도는 감소하지 않아 반영구적으로 사용할 수 있고, 쉽게 분리할 수 있고 스냅핏 부분만 재활용 가능한 재료로 만들 수 있어 환경친화적이다<sup>(10)(11)</sup>.

스냅핏은 많은 재료로 설계될 수 있는데, 그 중 가장 이상적인 재료는 열가소성 수지이다. 그 이유는 유연성이 좋고 쉽게 복잡한 형상을 사출성형으로 생산할 수 있으며 상대적으로 높은 신축성과 낮은 마찰계수, 그리고 충분한 강도를 가지고 있어 스냅핏의 설계에 적합하다. 이때 재료의 탄성계수가 적합한 스냅핏을 결정하는데 있어 좋은 척도가 된다.

일반적인 스냅핏의 구성은 Fig. 4에서 보듯이 보의 한쪽 끝에 언더컷이 있는 외팔보로 이루어져 있다. 이때 언더컷의 깊이는 스냅핏이 체결될 때 생기는 처짐량을 의미한다. 스냅핏을 설계하는데 있어 체결시에 발생하는 최대 변형률에 의해 결합의 성패가 좌우되므로 언더컷이 너무 커서 체결시 재료의 허용 변형률을 초과하지 않도록 한다. 스냅핏의 체결 및 분해를 위해 필요한 힘은 리드각, 리턴각, 마찰계수에 의해 결정되는데, 스냅핏이 쉽게 체결이 되도록 하려면 리드각을  $10^\circ \sim 35^\circ$  사이로 작게 하고 마찰계수도 최대한 작게 한다.

만약 리턴각의 크기가  $(90 - \tan^{-1} \mu)$  값 보다 크면 스냅핏을 분리할 수 없다. 따라서 영구 조립을 목적으로 설계된 스냅핏은 리턴각을 크게하여 분리

할 수 없도록 한다. 이때  $\mu$ 는 재료의 마찰계수를 나타낸다.

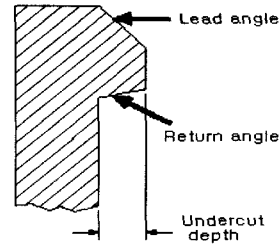


Fig. 4 Cantilever beam with undercut.

스냅핏의 체결력 혹은 분리력은 Fig. 5에 나타난 바와 같이 하중  $P$ 와 재료의 마찰계수, 그리고 리드각과 결합력에 의해 결정된다.

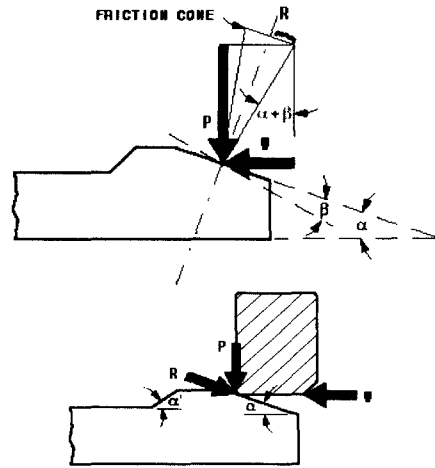


Fig. 5 Mating force W.

스냅핏의 체결력  $W$ 는 다음 식 (8)에 의해 구할 수 있다.

$$\mu = \tan \beta \quad (8-a)$$

$$W = P \tan(\alpha + \beta) \quad (8-b)$$

$$W = P \frac{(\mu + \tan \alpha)}{(1 - \mu \tan \alpha)} \quad (8-c)$$

여기서  $P$ 는 결합시 발생하는 처짐력(Deflection Force),  $\alpha$ 는 리드각이다. 만약 식 (8-c)에서 리드각  $\alpha$  대신 리턴각  $\alpha'$ 를 넣으면  $W$ 는 분리력이 된다. 스냅핏이 체결할 때 생기는 처짐력  $P$ 는 식 (9)과 같

이 나타난다.

$$P = \frac{b t^2 \epsilon E}{6l} \quad (9)$$

여기서  $\epsilon$ 은 허용변형률,  $b$ 는 스프링 지지부의 너비,  $E$ 는 재료의 탄성계수를 말한다.

실제로 스프링을 체결 및 분리할 때 필요한 힘을 감소시키기 위해 지지부가 다소 변형할 수 있지만 설계시에는 완전한 강체 지지부로 가정한다. 이러한 가정은 계산된 허용 언더컷이 실제 허용 언더컷보다 작아서 신뢰성을 높이고, 계산된 분해력과 체결력이 실제의 그것보다 큰 값을 가지므로 실제로는 더 작은 힘으로 체결 및 분해할 수 있음을 의미한다<sup>(12)(13)</sup>.

본 논문에서는 Fig. 6에서 보는 바와 같이 가장 일반적이고 또한 신뢰성이 높은 외팔 스프링을 후크(hook)의 형상에 따라 크게 직사각형 단면에 길이가 일정할 때, 너비가 1/4로 줄어들 때, 높이가 1/2로 줄어들 때의 3가지로 나누어서 설계하였다.

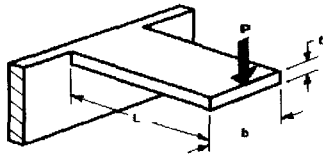


Fig. 6 (a) Uniform cross section, fixed end to free end.

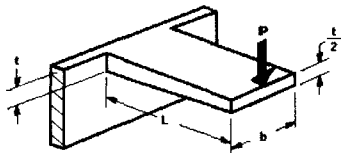


Fig. 6 (b) Uniform width, height tapers to  $t/2$  at free end.

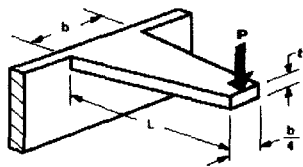


Fig. 6 (c) Uniform height, width tapers to  $b/4$  at free end.

결합과 분해를 하는데 필요한 힘  $P$ 는 재료의 강성도  $k$ 와 최대 처짐량  $Y$ 에 비례하므로 식 (10)과 같이 나타낼 수 있다.

$$P = kY \quad (10)$$

이때  $k$ 값은 스프링의 기하학적 형상에 따라 달라지며 처짐량  $Y$ 에 의해 생기는 하중이나 변형률은 재료의 항복강도나 항복 변형률보다 작아야 한다. Fig. 6의 (a), (b), (c)에 대한  $k$ 값과  $\epsilon$ 값이 Table 1에 나타나 있다.

Table 1 Cantilever beam : deflection-strain formula.

6 (a)	Stiffness : $k = \frac{P}{Y} = \frac{Eb}{4} \left(\frac{t}{L}\right)^3$
	Strain : $\epsilon = 1.50\left(\frac{t}{L^2}\right)Y$
6 (b)	Stiffness : $k = \frac{P}{Y} = \frac{Eb}{6.528} \left(\frac{t}{L}\right)^3$
	Strain : $\epsilon = 0.92\left(\frac{t}{L^2}\right)Y$
6 (c)	Stiffness : $k = \frac{P}{Y} = \frac{Eb}{5.136} \left(\frac{t}{L}\right)^3$
	Strain : $\epsilon = 1.17\left(\frac{t}{L^2}\right)Y$

Table 1의 변형률 식으로부터 Fig. 6의 스프링 형상에 따른 처짐량은 아래의 식으로 구할 수 있다.

$$y = \frac{0.67\epsilon l^2}{t} \quad (11-a)$$

$$y = \frac{1.09\epsilon l^2}{t} \quad (11-b)$$

$$y = \frac{0.86\epsilon l^2}{t} \quad (11-c)$$

식 (11-a)은 길이가 일정할 때, (11-b)는 높이가 1/2로 줄어들 때, 식 (11-c)은 너비가 1/4로 줄어들 때의 처짐량이다. 이 때  $t$ 는 스프링의 두께,  $\epsilon$ 은 허용 변형률,  $l$ 은 스프링의 길이를 나타낸다.

### 3. 부형상마스터(ISFD)의 구성 및 내용

#### 3.1 전체 시스템의 구성

전체 설계 시스템은 Fig. 7에서 보듯이 부형상 마스터, 기하학적 모델러, 그리고 CAE S/W의 3가지 기능적 그룹으로 나뉘어 진다. 각 그룹간의 전반적인 제어와 사용자의 연계는 CLIPS를 이용한 전문가 시스템에 의존한다.

부형상마스터에서는 주형상의 기하학적 조건, 사용되는 고분자 재료의 특성, 하중조건 및 구조적 요구조건에 따라 적절한 부형상의 구조, 위치 그리고 개수 등을 결정하고 합성한다. 부형상 마스터에는 부형상의 합성을 위한 경험적 지식과 이론적 지식이 CLIPS를 이용하여 규칙베이스(rule base)화 되어 있어 설계 합성된 사출성형품에 대한 초기평가를 수행할 수 있다.

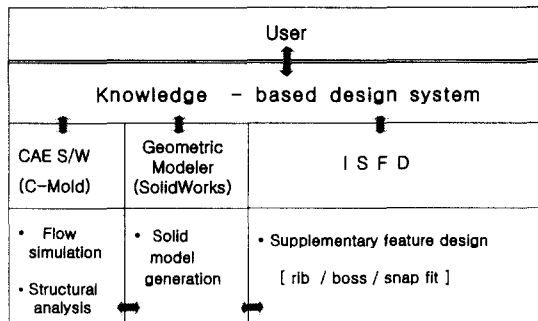


Fig. 7 Framework of a knowledge-based design system.

또한 필요한 경우 C-Mold와 같은 CAE S/W를 호출하여 설계 합성된 사출성형품에 대한 사출성형 해석을 통하여 수축 및 변형 예측과 함께 성형성 등을 평가할 수 있다. 부형상마스터에서 CAE S/W의 구동은 CLIPS의 외부프로그램 호출 기능에 의해 이루어진다. CAE S/W를 이용한 설계평가를 하기 위해서는 우선 부형상마스터에 의해 설계 합성된 사출성형제품을 SolidWorks에서 솔리드 모델로 구현시켜야 한다. 이를 위해, 합성된 부형상의 형상 파라미터를 SolidWorks에서 구동시킬 수 있는 명령어 파일로 변환시킨다. 이때 부형상마스터에서 SolidWorks로의 인터페이스는 SolidWorks에서 지원하는 API(Application Programming Interface)를 사용한다. 솔리드 모델이 생성되면 파일을 IGES 혹은 STL로 변환한 후 이를 C-Mold에서 불러들여 사출성형해석을 수행 할 수 있게 된다.

### 3.2 부형상마스터의 규칙베이스 및 구성요소

제품설계와 금형설계 단계에서 부형상이 필요하다고 판단되면 부형상 마스터를 사용하여 쉽게 부형상의 치수, 개수, 구배 등의 기하학적 형상을 결정할 수 있을 뿐만 아니라 부형상의 구조적 강도도 계산할 수 있다. 이때 금형의 가공 및 사출 공정에서 발생 가능한 여러 문제들을 종합적으로 고려하고, 제품 완성 후 다른 부품과의 조립까지 고려하여 부형상의 2차원 도면을 자동으로 생성함으로써 설계 자동화가 이루어진다.

Fig. 8에 부형상마스터의 구조와 이를 이용한 설계 및 해석절차가 도식화되어 있다.

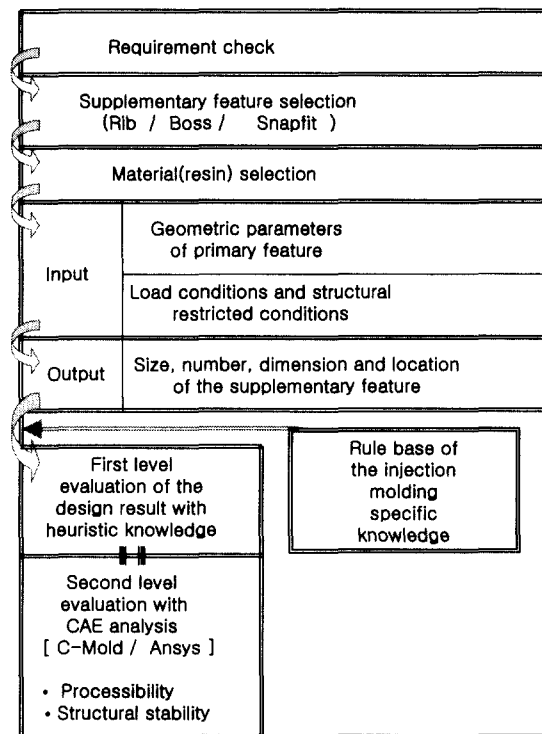


Fig. 8 Schematic framework of ISFD.

부형상의 필요여부(Requirement check)가 결정되면 합성하고자 하는 부형상을 리브, 보스, 스냅핏 중에서 선택(Supplementary feature selection)한다. 그리고 데이터 베이스화 되어있는 플라스틱수지 중 하나를 선택(Material selection)하고 하중조건, 주형상의 기하학적 파라미터 등을 입력하면 선택한 부형상의 적절한 치수, 위치 및 개수 등이 얻어지고

주어진 주형상에 부형상이 적절하게 설계 합성된다. 플라스틱 수지를 선택할 때 사용하고자하는 수지가 데이터베이스에 들어가 있지 않은 경우에는 계산 및 평가에 필요한 재료의 물성값을 직접 입력해야 한다.

부형상마스터에서는 사출성형 고유 특성에 의한 단면설계 지식이 CLIPS를 이용해 규칙베이스로 저장되어 있어 설계 합성된 사출성형품에 대해 미성형 및 크랙 가능성과 같은 1차적 평가(First level evaluation)를 할 수 있다. 또한 C-Mold 혹은 Ansys와 같은 CAE프로그램을 불러들여 설계합성된 부형상에 대한 성형성 및 구조적 안정성을 정량적으로 평가할 수 있다(Second level evaluation).

다음은 부형상마스터에 규칙베이스화 되어있는 경험적 지식과 이론적 단면설계 지식의 예를 보여준다.

1) 리브

IF : Selected material has larger shrinkage than 0.01  
and The wall thickness is [ t ]  
and The output rib thickness [ T<sub>R</sub> ] is larger than 0.5 [ t ]  
THEN : The possibility of sinkmark = 7/10  
and Warning message : "Reduce [ T<sub>R</sub> ] smaller than 0.5 [ t ]"

IF : Selected material has smaller shrinkage than 0.01  
and The wall thickness is [ t ]  
and The output rib thickness [ T<sub>R</sub> ] is larger than 0.75 [ t ]  
THEN : The possibility of sinkmark = 7/10  
and Warning message : "Reduce [ T<sub>R</sub> ] smaller than 0.75 [ t ]"

IF : The wall thickness is [ t ]  
and The input rib height [ h ] is larger than 3.0 [ t ]  
THEN : The possibility of shortshot = 7/10  
and Warning message : "Reduce [ h ] smaller than 3.0 [ t ]"

2) 보스

IF : Boss inner diameter is [ D<sub>i</sub> ]  
and Boss outer diameter [ D<sub>o</sub> ] is greater than 3.0 [ D<sub>i</sub> ]

THEN : The possibility of sinkmark and void = 8/10  
and Warning message : "Reduce [ D<sub>o</sub> ] smaller than 3.0 [ D<sub>i</sub> ]"

IF : Boss inner diameter is [ D<sub>i</sub> ]  
and Boss outer diameter [ D<sub>o</sub> ] is less than 1.5 [ D<sub>i</sub> ]

THEN : The possibility of terrible crack = 9/10  
and Warning message : "Increase [ D<sub>o</sub> ] larger than 1.5 [ D<sub>i</sub> ]"

3) 스냅핏

IF : The lead angle of the snapfit [ D<sub>L</sub> ] is larger than 45°  
and selected material has larger Young's modulus than 6900 MPa

THEN : Warning message : "Life time of the snapfit is drastically decreased in this case. Reduce [ D<sub>L</sub> ] smaller than 45° or Select another material of which Young's modulus is under 6900 MPa"

4. 부형상설계 사례연구

Fig. 9~11은 부형상마스터를 이용하여 실제로 리브, 보스, 스냅핏이 설계합성되는 예가 도시되어 있다.

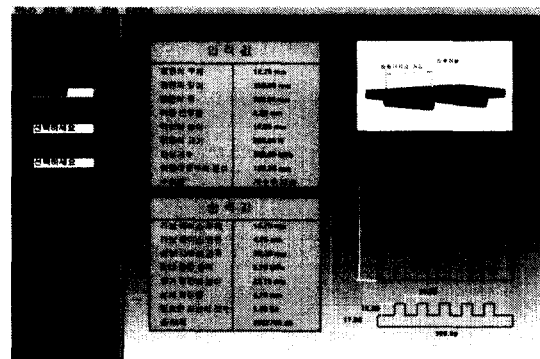


Fig. 9 Output window of rib under concentrated load condition.

Fig. 9는 집중하중을 받는 리브에 대한 재료선택, 사출성형품의 치수와 같은 제한조건에 대해 필



요한 리브의 갯수, 리브 사이의 간격, 리브 베이스 두께 및 반경, 최대 굽힘응력, 실제 처짐량 등이 출력값으로 나타난다.

Fig. 10은 증공 보스에 대한 설계 입력값과 출력값이 도시되어 있다. 입력값으로는 재료에 대한 물성값, 사출성형품의 두께, 보스 내경, 보스부의 높이 등이 있고 그에 대한 출력값으로, 입력한 보스 내경의 1.5~3배 사이의 보스 외경과, 그에 대응하는 보스 두께, 그리고 허용응력 값이 출력된다.

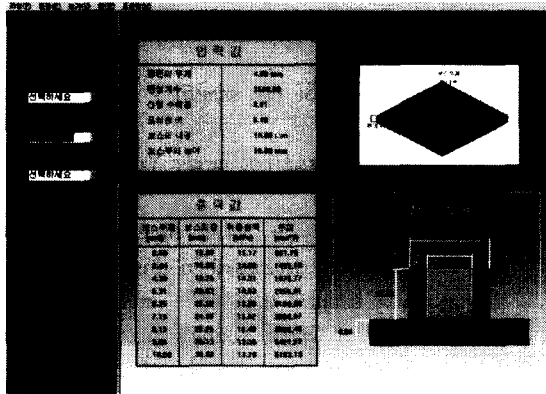


Fig. 10 Output window of insert boss.

Fig. 11은 세 형상의 외팔 스프릿 중에서 길이가 일정한 스프릿에 대한 설계 과정이 도시되어 있다. 플라스틱 재료를 선택하고, 스프릿의 길이, 폭, 높이, 리드각 및 리드각 등이 입력되면, 허용 언더컷 높이, 결합력, 분해력, 변형 하중 및 잠김기능의 유무 등이 출력된다.

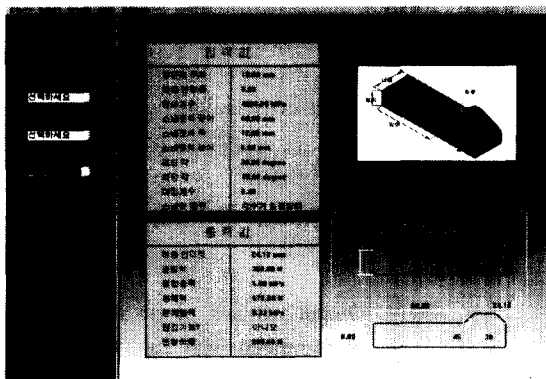


Fig. 11 Output window of snapfit with uniform cross section from fixed end to free end.

부형상마스터에 의해 설계 합성된 사출성형 제품은 CAE프로그램에 의해 성형성과 기계적 성능을 정량적으로 평가할 수 있다. Fig. 12는 C-Mold에 의해 스프릿이 붙어있는 사출성형제품의 충전 및 압입해석을 수행한 결과로서 압입 단계가 끝나는 시점에서의 체적수축률의 분포를 보여주고 있다.

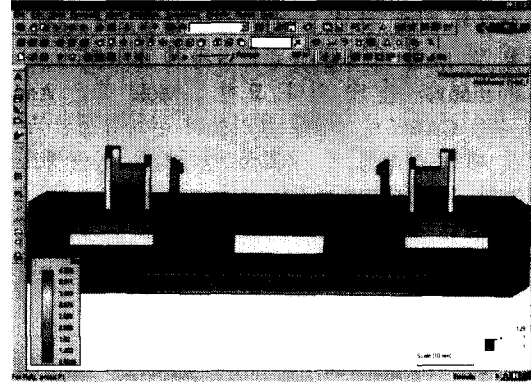


Fig. 12 Volumetric shrinkage distribution at the end of post-filling stage(result from C-Mold).

## 5. 결론

리브, 보스, 스프릿과 같은 부형상이 추가되어지는 사출성형제품 설계용 프로그램을 개발하였다. 이 프로그램은 사출성형의 복합적이고 광범위한 지식과 구조해석 및 재료 선택 데이터가 전산정보화되어 있다. 또한 각각의 고분자 재료에 대한 단면 파라미터의 제한조건이 프로그램 내에 규칙 베이스로 구성되어 있어, 새로운 고분자재료나 혹은 새로운 설계 제한 조건들이 쉽게 현재의 규칙 베이스에 첨가되어질 수 있다.

본 연구에서는 지식 베이스 설계방식에 의하여 설계 초기단계에서 사출성형공정에서 발생할 수 있는 여러 문제들을 미리 예측하여 사출성형 제품을 설계할 수 있도록 하였다. 또한 사용자 친화적 프로그램 환경을 구축하여, 설계자가 쉽게 프로그램을 익히고 사용할 수 있도록 하였다. 본 연구에서 구축된 부형상설계프로그램을 이용하면 사출성형의 비전문가인 경우에도 쉽게 부형상을 설계할 수 있다.

## 참고문헌

1. Sang-Gook Kim, Nam P. Suh, "Knowledge Based Synthesis for Injection Molding," *Robotics & Computer Integrated Manufacturing*, Vol. 3, No. 2, pp. 181-186, 1987.
2. Rosato, D.V. and Rosato, D.V., *Injection Molding Handbook*, Van Nostrand Reinhold Company inc., 1986.
3. 허용정, 김상국, "사출성형제품의 부형상 설계를 위한 지식형 CAD 시스템에 관한 연구," *대한기계학회논문집 제15권 제6호*, pp. 1933-1947, 1991.
4. Miller, E., "Plastic Product Design Handbook. Part A : Component," Marcel Dekker, 1981.
5. Young, W.C., *Roark's Formulas for Stress and Strain*, McGraw Hill Book Company, New York, 1975.
6. Timoshenko, S.P. and Woinowsky-Krieger, S., "Theory of Plate and Shells," McGraw Hill., 1959.
7. Verbicky, J.W., "Encyclopedia of Polymer Science and Engineering," Vol. 12, John Wiley and Sons, New York, 1988.
8. Carter, S., Kazmer, D., "Studies of Plastic Boss Design and Methodology," *ANTEC '99*, Vol. 3, 1999.
9. Malloy, R.A., Orroth, S.A, Arnold, E.S., "Self Threading Screw Boss Design," *ANTEC' 85*, 43st Annual Technical Conference, pp. 744-748, 1985.
10. Suat Genc, Robert W. Messler, Jr., Gary A. Gabriele, "A Method for Attachment Design Concept Development in Integral Snap-fit," *Journal of Mechanical Design*, ASME, Vol. 122, No. 3, pp. 257-264, 2000.
11. Lee, C., Dubin, A., "New Snap-Fit Design Formula," *ANTEC '88*, pp. 1564-1566, 1988.
12. Luscher, A.F., "Part Nesting as a Plastic Snapfit Attachment Strategy," *ANTEC '96*, Vol. 1, pp. 1302-1306, 1996.
13. Satchitanand Kashyap, "A Feature-based Framework for Attachment Level Snap-Fastener Design in Product," *International Symposium on Assembly and Task*, pp. 51-56, 1999.