

## 사출성형에 있어서 스냅핏 설계 시스템에 관한 연구

강 성 남\* · 허 용 정\*\*

### A Study on the Snap-fit Design System in Injection Molding

Seong-Nam Kang\* and Yong-Jeong Huh\*\*

**요약** 스냅핏은 일종의 결속장치로서 흔히 플라스틱 부품들을 서로 체결하는데 이용되는데, 다른 결속장치에 비해 간편하고, 생산품의 조립단가를 줄일 수 있고, 또한 분리력은 큰 반면에 결합력은 작게 만들 수 있는 장점을 가지고 있어 널리 사용된다. 스냅핏의 설계는 재료에 따른 물성(property) 및 구조적 강성(stiffness)이 설계 초기단계에서 고려되어야 하고, 또한 사출성형공정에서 스냅핏의 성형성도 예측되어야 한다. 그러나 스냅핏의 형상, 치수, 위치 등을 적절히 설계합성(synthesis)하고 적절한 재료를 선택하는 작업은 공정에 관한 종합적인 지식을 지원해 주는 합리적인 설계도구가 제공되지 못했던 이유로 사출 전문가의 오랜 기간 축적된 경험과 지식에만 전적으로 의존하여 왔다. 본 연구에서는 기존의 전문가에 의존해온 스냅핏 설계방법을 개선하기 위해 사출 성형에 의해 제한되어지는 지식을 규칙베이스화하고 재료의 물성과 스냅핏의 형상 및 치수에 따라 스냅핏이 갖는 결합력, 분리력, 변형허중 및 허용언더컷 등을 출력하는 설계 프로그램을 제안하였다.

**Abstract** One of the major advantages of using engineering plastics is ease of part assembly through a locking mechanism known as a snap fit. The typical snap fit involves a short cantilever beam with a projection at the free end, which slides over a one way ramp on the mating part to lock in place. The tightness of the mechanism is determined by the lateral interference of the two sliding members. If too small, they become loose and can't hold together, while if too large, excessive force can be generated, causing failure of the cantilever beam during the assembly operation. Therefore, the accurate determination of the force-deflection relationship for cantilever beams is a key element in snap fit design. And also, the process of injection molding should be considered when cantilever beam is designed. But it is not easy for novice designers to design them appropriately because of the profound knowledge related to injection molding. In this paper, an intelligent design program has been developed and proposed to improve a conventional empirical design method.

**Key Words :** Injection molding, Knowledge-based design, Supplementary feature, Snap fit

### 1. 서 론

사출성형제품의 형상은 제품의 주된 기능을 수행하고 외관을 구성하는 주형상(primary geometry)과 사출성형의 특성상 부가되는 리브(rib), 보스(boss), 스냅핏(snap fit)과 같은 부형상(supplementary feature)들로 대별된다[1]. 특히 스냅핏은 가장 간편한 결속장치로서 조립과 분리가 간편하고, 생산품의 조립단가를 줄일 수 있고, 또한 분리력은 큰 반면에 결합력은 작게 만들 수 있는 장점을 가지고 있어 널리 사용되고 있다. 그리고 시간이 경과해도 결합강도는 감소하지 않아 반영구적으

로 사용할 수 있고, 스냅핏 부분만 재확용 가능한 재료로 만들 수 있어 환경친화적이다[2,3].

스냅핏의 설계는 재료에 따른 물성(property) 및 구조적 강성(stiffness)이 설계 초기단계에서 고려되어야 하고, 또한 사출성형공정에서 스냅핏의 성형성도 예측되어야 한다. 그러나 스냅핏의 형상, 치수, 위치 등을 적절히 설계합성(synthesis)하고 적절한 재료를 선택하는 작업은 공정에 관한 종합적인 지식을 지원해 주는 합리적인 설계도구가 제공되지 못했던 이유로 사출 전문가의 오랜 기간 축적된 경험과 지식에만 전적으로 의존하여 왔다. 실제 현장에서의 설계방법을 파악하기 위하여 10여개 사출업체회사를 선정하여 설문조사를 자체적으로 실시하였고 그 결과가 Figure 1에 도시되어 있다.

\*한국기술교육대학교 기계공학과 대학원

\*\*한국기술교육대학교 메카트로닉스공학부

본 논문은 (주)대양ENG, 중소기업청과 충청남도, 한국기술교육대학교가 공동 지원하는 2001년도 산학연지역 컨소시엄 사업과제의 소과제인 정밀 플라스틱 금형 설계·해석·평가에 관하여 개발된 논문을 확인합니다. (Tel: 041-560-1135)

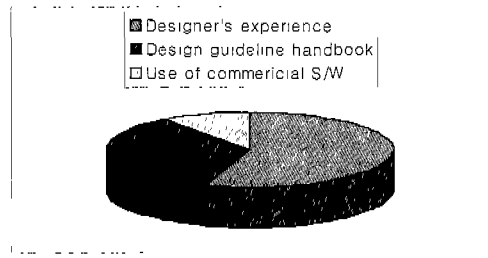


Figure 1. Typical design methods of the supplementary features.

Figure 1에 나타난 대로 재료공급자가 제공하는 설계 지침서나 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 번너, 게이트, 스프루, 냉각 채널과 같은 유동전달시스템(dclivery 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 때문에 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 스냅핏을 설계할 수 있는 소프트웨어를 개발함으로써 설계 단계에서 미리 금형 가공과 사출 단계에서 발생 가능한 문제들을 최소화 할 수 있다.

본 연구에서는 기존의 전문가에 의존해온 스냅핏 설계방법을 개선하기 위해 사출성형에 의해 제한되어지는 지식을 규칙베이스화하고 재료의 골성과 스냅핏의 형상 및 치수에 따라 스냅핏이 갖는 결합력, 분리력, 변형하중 및 허용언더컷 등을 계산하여, 설계자가 출력값을 기준으로 스냅핏의 용도에 따라 스냅핏의 종류를 결정하고 치수를 결정할 수 있도록 하였다. 스냅핏의 종류는 여러 가지가 있으나 본 연구에서는 가장 일반적이고 또한 신뢰성이 높은 외팔 스냅핏을 hook의 형상에 따라 크게 3가지로 나누어서 이들을 합리적으로 설계할 수 있는 지식 스냅핏 설계 프로그램을 Visual C++을 이용하여 구축하였다.

## 2. 스냅핏의 설계

일반적인 스냅핏의 구성은 한쪽 끝에 언더컷이 있는 외팔보로 이루어져 있다. 이때 언더컷의 깊이는 스냅핏이 체결될 때 생기는 저진량을 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°~35° 사이로 작게 하고 마찰계수도 최대한 작게 한다[4].

스냅핏의 체결력 혹은 분리력은 Figure 2에 나타난 바와 같이 하중 P와 재료의 마찰계수, 그리고 리드각과 결합력에 의해 결정된다.

스냅핏의 체결력 W는 다음 식 (1)에 의해 구할 수 있다.

$$\mu = \tan \beta \tag{1 a}$$

$$W = P \tan(\alpha + \beta) \tag{1-b}$$

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

여기서  $\mu$ 는 재료의 마찰계수, P는 결합시 발생하는 치질력(Deflection Force), b는 스냅핏 지지부의 너비이다. 만약 식 (1-c)에서 리드각  $\alpha$  대신 리턴각  $\alpha'$ 를 넣으면 W는 분리력이 된다. 스냅핏이 체결할 때 생기는 치질력 P는 식 (2)과 같이 나타난다.

$$P = \frac{b t^2 \epsilon E}{6l} \tag{2}$$

여기서  $\epsilon$ 은 허용변형률, E는 재료의 탄성계수를 말한다.

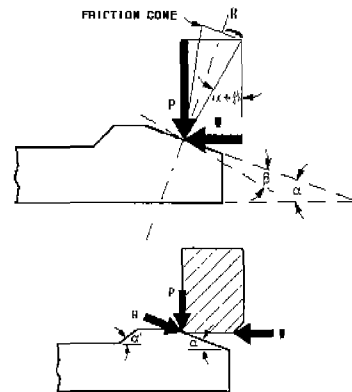


Figure 2. Mating force W.

실제로 스냅핏을 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[5,6].

본 논문에서는 Figure 3에서 보는 바와 같이 가장 일반적이고 또한 신뢰성이 높은 외팔 스냅핏을 hook의 형상에 따라 크게 직사각형 단면에 길이가 일정할 때, 너비가 1/4로 줄어들 때, 높이가 1/2로 줄어들 때의 3가지로 나누어서 설계하였다. 결합과 분해를 하는데 필요한 힘 P는 재료의 강성도 k와 최대 처짐량 Y에 비례하므로 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$P = kY \tag{3}$$

이때 k값은 스냅핏의 기하학적 형상에 따라 달라지며 처짐량 Y에 의해 생기는 하중이나 변형률은 재료의 항복강도나 항복 변형률보다 작아야 한다. Figure 3의 (a), (b), (c)에 대한 k값과  $\epsilon$  값이 Table 1에 나타나 있다.

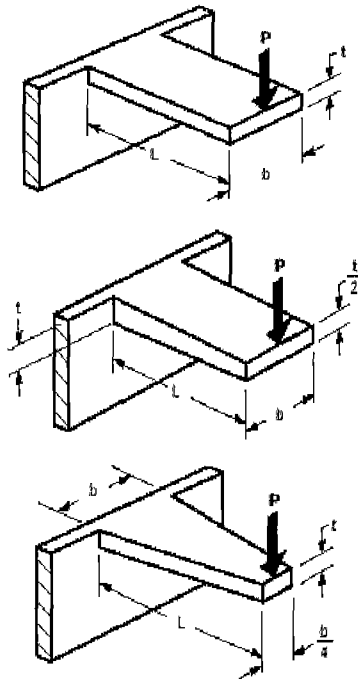


Figure 3. (a) Uniform cross section, fixed end to free end, (b) Uniform width, height tapers to t/2 at free end, (c) Uniform height, width tapers to b/4 at free end.

Table 1. Cantilever beam : deflection-strain

3 (a)	Stiffness : $k = \frac{P}{Y} = \frac{Eb}{L} \left(\frac{t}{L}\right)^3$
	Strain : $\epsilon = 1.50\left(\frac{t}{L^2}\right)Y$
3 (b)	Stiffness : $k = \frac{P}{Y} = \frac{Eb}{6.528} \left(\frac{t}{L}\right)^3$
	Strain : $\epsilon = 0.92\left(\frac{t}{L^2}\right)Y$
3 (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 Figure 3의 스냅핏 형상에 따른 처짐량은 아래의 식으로 구할 수 있다.

$$y = \frac{0.67\epsilon L^2}{t} \tag{4-a}$$

$$y = \frac{1.09\epsilon L^2}{t} \tag{4-b}$$

$$y = \frac{0.86\epsilon L^2}{t} \tag{4-c}$$

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

### 3. 지적 스냅핏 설계프로그램의 구성 및 사례연구

#### 3.1. 프로그램의 구성

스냅핏 프로그램의 구성은 Figure 4에서 보듯이 크게 플라스틱 수지의 데이터 베이스, 사출성형 고유의 지식 베이스, 외팔보 공식들로 이루어져 있다. 대표적인 몇가지 플라스틱 재료의 물성치를 데이터 베이스화하여 재료를 선택하면 재료의 허용변형률, 탄성계수, 마찰계수와 같은 정보가 직접 입력되도록 구성하였고, 식(1)~(4)의 외팔보 공식들을 프로그램에 입력하여 허용 언더컷, 결합력, 변형하중 등을 계산하도록 하였다. 또한 사출성형 고유의 특성에 의해 제한되어지는 조건과 경험적 지식을 규칙베이스화 하여 잘못된 입력이 있을 때 이를 사용자에게 알려주도록 하였다. 다음은 프로그램에 규칙베이스화 되어있는 경험적 지식과 이론적 단면 설계 지식의 예를 보여준다.

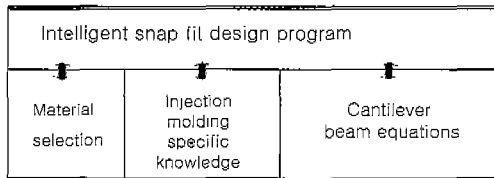


Figure 4. Framework of an intelligent snap fit design program.

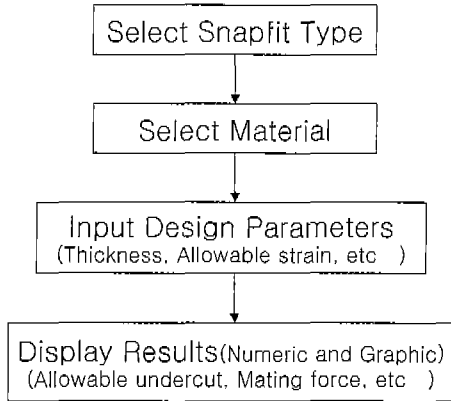


Figure 5. Flow chart of the snapfit design process.

IF : The lead angle of the snapfit [  $D_L$  ] is larger than  $45^\circ$  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 [  $D_L$  ] smaller than  $45^\circ$  or Select another material of which Young's modulus is under 6900 MPa"

### 3.2. 사례연구

Figure 6와 Figure 7은 지적 스냅핏 설계프로그램을 이용하여 실제로 훅(hook)의 단면형상이 직사각형이고 길이가 일정한 스냅핏의 설계 예가 도시되어 있다. 플라스틱 재료를 선택하고, 스냅핏의 길이, 폭, 높이, 리드각 및 리턴각 등이 입력되면, 허용 언더컷 높이, 결합력, 분해력, 변형 하중 및 잠김기능의 유무 등이 출력된다. Figure 6의 출력된 결과는 추후 실험을 통하여 검증될 예정이다.

일단 설계된 스냅핏은 CAF프로그램에 의해 싱형성과 기계적 성능을 정량적으로 평가할 수 있다. Figure 8은 C-Mold에 의해 스냅핏이 붙어있는 사출성형제품의 충전 및 압입해석을 수행한 결과로서 압입 단계가 끝나는 시점에서의 체적수축률의 분포를 보여주고 있다. Figure 8의 경우 스냅핏 부분의 체적 수축률 분포는 크게 변화가 없는 것으로 나타났다.

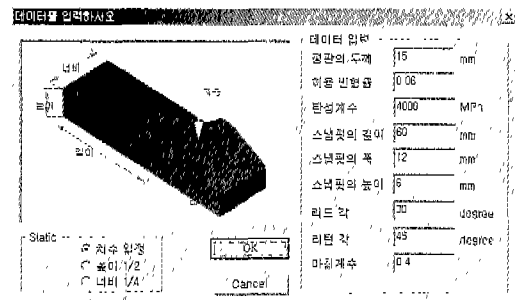


Figure 6. Input window of snapfit with uniform cross section from fixed end to free end.

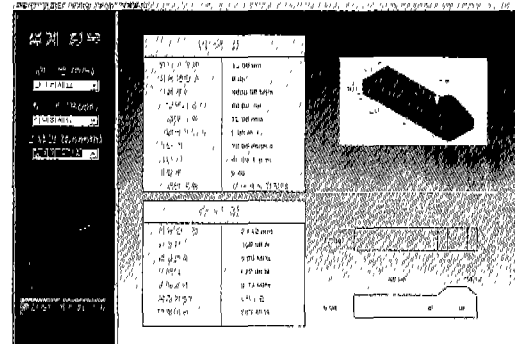


Figure 7. Output window of snapfit with uniform cross section from fixed end to free end.

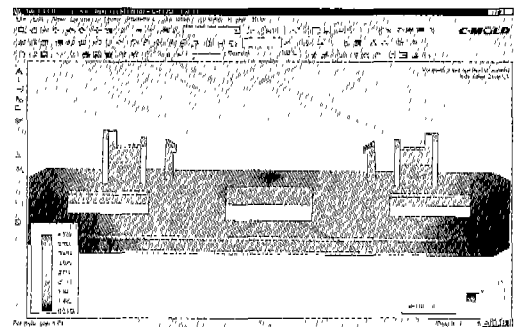


Figure 8. Volumetric shrinkage distribution at the end of post-filling stage(result from C-Mold).

## 4. 결 론

본 연구에서는 기존의 전문가에 의존해온 스냅핏 설계방법을 개선하기 위한 지적 스냅핏 설계 프로그램이 연구되었다. 사출성형에 의해 제한되어지는 지식과 경험적 지식을 규칙베이스화하고 대표적인 플라스틱 재료들의 물성을 데이터베이스화 하였고, 외관보정식에 의해 스냅핏의 형상 및 치수에 따라 스냅핏이 갖는 결합력, 분리력, 변형하중 및 허용언더컷 등을 계산하여, 설

계자가 출력값을 기준으로 스냅핏의 용도에 따라 스냅핏의 종류를 결정하고 치수를 결정할 수 있도록 하였다. 이에 따라 설계 비전문가인 경우에도 쉽게 스냅핏을 그 용도와 제한조건을 고려하여 설계할 수 있다.

### 참 고 문 헌

- [1] 허용정, 김상국, “사출성형제품의 부형상 설계를 위한 지식형 CAD 시스템에 관한 연구”, 대한기계학회논문집 제 15권 제 6호, pp. 1933-1947, 1991.
- [2] 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.
- [3] C. Lee, A. Dubin, “New Snap-Fit Design Formula”, ANTEC '88, pp. 1564-1566, 1988.
- [4] Miller, E., “Plastic Product Design Handbook. Part A : Component”, Marcel Dekker, 1981.
- [5] Rosato, D.V. and Rosato, D. V., Injection Molding Handbook, Van Nostrand Reinhold Company inc., 1986.
- [6] A. F. Luscher, “Part Nesting as a Plastic Snapfit Attachment Strategy”, ANTEC '96, Vol. 1, pp. 1302~1306, 1996.