

## 리브를 가진 사출제품의 공리 설계 연구

허 용 정<sup>†</sup>

<sup>†</sup>한국기술교육대학교 메카트로닉스공학부

### A Study on Axiomatic Design for Ribbed – Injection-Molded Parts

Yong Jeong Huh<sup>†</sup>

<sup>†</sup>School of Mechatronics Engineering, Korea University of Technology and Education

#### ABSTRACT

The design and manufacture of injection-molded parts with desired properties is a costly process dominated by empiricism, including the repeated modification of actual tooling. The objective of this study is to obtain the good design of injection-molded polymeric parts using axiomatic design approach.

**Key Words :** Injection molding, Design for processability, Supplementary feature, Rib, Axiomatic approach

## 1. 서 론

사출성형제품의 형상은 제품의 주된 기능을 수행하고 외관을 구성하는 주형상(primary geometry)과 사출성형의 특성 부가되는 부형상 (supplementary feature) 들로 대별된다[1].

리브(rib), 보스(boss), 거셋 리브(gusset rib), 스냅핏(snap fit)과 같은 부형상이 주형상에 추가 적으로 부가될 때 이러한 부형상의 존재는 금형에서 복잡한 코어(core)의 형태로 나타나게 된다. 부형상은 구조 보강, 유동원활, 변형 방지, 조립 및 기능 상의 목적으로 제품의 주형상에 부가되어 지는데 이러한 부형상의 설계 합성은 사출성형에 관한 광범위한 지식을 필요로 하며 성형성, 제품의 기계적 성능을 고려하고, 또한 용접선(weld line), 싱크마크(sink mark), 변형 (warp) 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 연구의 목적은 리브를 갖는 사출제품을 설계할 때 공리적 접근방법을 이용하여 좋은 설계를 수행할 수 있도록 하려는 것이다. 또한 공리적 접근을 통해 최종 얻어진 설계행렬을 Acclaro DFSS<sup>®</sup> 프로그램을 이용하여 정렬함으로써 최종 설계행렬이 공리적 설계임을 쉽게 알 수 있도록 시도 하였다.

## 2. 리브의 설계 합성

### 2.1. 리브의 설계

리브 구조는 제품 살 두께(wall thickness)를 균일하게 유지시키고 성형사이클 시간을 최소화 하면서 구조강성을 증가시키고 재료를 경제적으로 사용 하기 위한 목적으로 설계된다. 또한 리브는 게이트로부터 멀리 떨어진 부분에서의 미성형 (short shot), 플로우마크(flow mark), 기포(void) 등과 같은 결함을 방지하기 위한 보조적 된

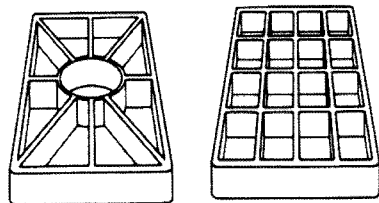


Fig. 1. Typical rib types.

<sup>†</sup>E-mail : yjhuh@kut.ac.kr

너(secondary runner)의 역할을 수행하기도 한다.

Fig. 1에 전형적인 리브형상인 방사형과 십자 형이 도시되어 있다. 만약 부품의 강성을 높이는 목적으로 리브를 설계할 때에는 먼저 고분자 재료의 탄성률을 증가시키거나 혹은 살 두께를 증가시켜 구조강성을 증가시킬 수 없는지 검토 한다. 그러나 플라스틱 제품의 살 두께는 플라스틱 재료의 고유의 낮은 열전도율에 의해 제한되어 지는데, 이로 인해 구조적 강성의 부족이 나타 난다. 따라서 제품의 살 두께가 두꺼워서 생기는 문제와 관련하여, 리브는 살 두께를 줄이면서 강성을 높일 수 있는 효과적인 수단이 된다<sup>(2)</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 싱크 마크, 변형, 이형불량 등의 문제가 발생하여 품질 이 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 판정되면 적합한 리브의 갯수 및 치수, 위치 등을 설계하게 된다. 리브의 필요성 판정은 아래의 일반적인 구조공식을 이용하여 결정하게 된다 [3][4].

$$y = \frac{P\alpha\gamma(\alpha + 2\gamma)\sqrt{3\alpha(\alpha + 2\gamma)}}{27EIL} \quad (1)$$

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

식 (1)은 집중하중시 평판의 처짐량을 나타내 고 식 (2)은 분포하중시 평판의 처짐량을 나타낸다. 여기서 P는 집중하중, D는 분포하중, L은 평판의 전체길이, E는 탄성계수, I는 관성모멘트,  $\alpha$ 는 집중하중을 받는 위치,  $r = L \cdot \alpha$ 이다.

주어진 평판의 치수와 하중 하에서의 평판의 처짐량을 계산하고 이 값을 허용 처짐량과 비교 하여, 허용 처짐량보다 크면 리브가 필요하게 된다. 일단 리브가 필요하다고 판단되면 Fig. 2와 같은 절차로 리브의 개

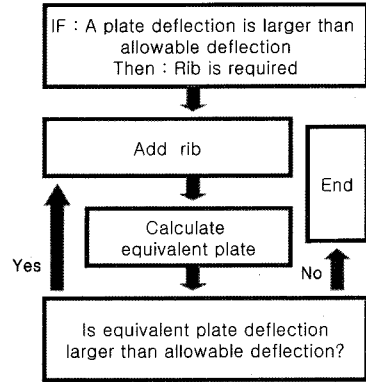


Fig. 2. Design process of rib.

수를 결정하게 된다.

이때 리브의 두께 및 베이스 반경 등은 사출성형 고유풀성에 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 저수축 재료는 살 두께의 3/4로 한다. 그 이유는 고수축 재료에서 리브두께가 두꺼우면 수축으로 인해 싱크마크와 같은 성형불량이 발생하기 때문이다[5].

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

각각의 고분자 재료에 있어서 단면 파라미터의 제한조건이 부형상 마스터 내의 규칙 베이스에 전산정보화 되었다. 대부분의 재료 공급 업체들은 리브설계를 위한 설계지침서를 제공 하는데 새로운 고분자 재료가 추가될 경우 쉽게 현재의 지식 베이스에 부가될 수 있다. 본 연구에서는 100개 정도의 고분자 재료에 대해 데이터 베이스를 구축하였다.

## 2.2. 공리적 접근방법에 의한 리브설계 평가

### 2.2.1. FR과 DP 계층구조의 1단계

리브 설계의 초기단계를 합리화하기 위하여 공리적 접근방법을 도입하였다. 공리설계 개념에 의해 리브 설계를 표현하기 위해서 우선 기능적 필요성과 설계변수가 정의되어야 한다. 기능적 필요성을 다음과 같이 정의하였다.

FR1 = 보강 요구조건의 제시

FR2 = 부형상 생성

FR3 = 구조해석에 의한 보강구조의 성능 검토  
 FR이 준연성(decoupled)이 되게하는 설계변수는 다음과 같이 선정하였다.  
 DP1 = 설계자에 의해 설계된 사출제품의 주 형상  
 DP2 = 리브구조  
 DP3 = 부가되는 하중(예상치)  
 이상과 같이 정의된 기능적 필요성과 설계 변수들을 설계행렬을 이용하여 표현하면 다음과 같은 형태로 된다.

$$\begin{bmatrix} FR1 \\ FR2 \\ FR3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X & 0 & 0 \\ X & X & 0 \\ X & X & X \end{bmatrix} \begin{bmatrix} DP1 \\ DP2 \\ DP3 \end{bmatrix} \quad (3)$$

(3)식을 보면 설계행렬이 공리설계에 있어서 준연성임을 나타내 주는 삼각행렬(triangular matrix)로 됨을 알 수 있다. 공리설계의 견지에서 고찰하여 볼 때 사출 제품 형상 설계 시 부형상을 주형상과 분리하여 설계하는 방안이 보다 합리 적임을 알 수 있다. DP1과 DP2값이 결정되면 FR3는 구조해석 프로그램을 이용하여 해결할 수 있게 된다.

FR1과 FR2는 설계해가 선택된 DP들에 의해 완료될 수 없기 때문에 1단계 더 세분화되어 고려되어야 한다.

### 2.2.2. 2단계 세분화

보강의 필요성 여부가 결정되기 위해서는 주어진 주형상의 구조성능이 어떤 하중조건하에서 정량화 되어야 한다. 그러나 대부분의 플라스틱 제품의 하중조건은 미리 정확하게 주어지기 보다는 허용 변형량을 유지하도록 설계하거나 응력집중을 방지하는 등의 형태로 주로 주어진다. 그러므로 구조해석을 위한 유한요소법의 사용은 이 단계에 적합하지 않다.

FR1은 다음과 같이 세분화될 수 있다.

FR11 = 함축적 하중조건하에서의 주형상의 구조성능 특성화

FR12 = 보강의 필요성 계산

제품의 형상에 따라 설계자의 경험에 의해 최대응력 또는 최대 변형이 발생할 부위가 결정될 수 있다. 주형상의 복잡한 형태는 이러한 방법으로 평판이나 보의 조합에 의해 특성화될 수 있으며 구조공식의 적용이 가능해진다. 본 연구에서는 3가지 유형의 기본형상으로 특성화를 제한하였다. 직사각 평판, 원형 평판, 곡선 보의 3가지 형태에 대해 리브설계를 적용하였다.

선택된 DP는

DP11 = 기본 기하학적 요소

DP12 = 구조공식

이와 관련된 설계 행렬은 삼각행렬이다.

$$\begin{bmatrix} FR1 \\ FR2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X & 0 \\ X & X \end{bmatrix} \begin{bmatrix} DP1 \\ DP2 \end{bmatrix} \quad (4)$$

FR21 = 제품의 성형성에 나쁜 영향을 미치지 않는 리브 생성

FR22 = 보강 요구조건을 만족시키는 리브생성

FR21은 물리적 영역에서의 설계변수인 DP들과 공정영역에서의 공정변수인 PV들이 동시에 독립성 공리를 위배하지 않을 때만 만족될 수 있다. PV들이 적절하게 선택된 것으로 가정하면 리브의 단면형상이 FR21을 통제하는 핵심변수이다. 리브의 개수와 위치는 단면 형상이 결정된 후에 보강성능을 만족하도록 결정되어야 한다. 이것은 보강성능을 만족하는 평판의 강성과 등가의 리브구조를 결정함에 의해 이루어질 수 있다. 이것이 준연성 설계(decoupled design)이다.

FR21과 FR22를 통제하는 DP들은 다음과 같다.

DP21 = 리브구조의 단면 형상

DP22 = 리브 개수

설계 방정식은 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} FR21 \\ FR22 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X & 0 \\ X & X \end{bmatrix} \begin{bmatrix} DP21 \\ DP22 \end{bmatrix} \quad (5)$$

이 단계에서 FR11, FR12 그리고 FR22는 선택된 DP들에 의해 만족될 수 있을 것으로 보인다. 그러나 FR21은 DP21이 설계목적 만족에 충분하지 않기 때문에 더 세분화되어야 할 필요가 있다.

### 2.2.3. FR21의 3단계 세분화 과정

리브의 성형성은 이형성, 과도한 변형 방지, 싱크마크 최소화 등으로 열거될 수 있다.

FR211 = 변형 방지

FR212 = 이형성 보강

FR213 = 싱크마크 최소화

리브의 단면 형상은 사출성형의 공정 특성에 의해 결정된다. 단면 파라미터는 리브 높이, 바닥 두께, 필렛 반경, 구배각 등을 포함한다. 살두께와 고분자 재료는 주형상 결정시 함께 결정되고 제한조건으로 작용한다. 사출성형분야의 경우 각각의 고분자 재료에 있어서 살 두께, 단면 파라미터 등이 설계 범위로 주어진다. 최종 제품의 결합과 단면 파라미터 간의 인과관계를 고려하

면 다음과 같은 DP들이 선정된다.

- DP211 = 리브 높이
- DP212 = 구배각
- DP213 = 살두께

그러나 설계 행렬은 허용 변형량이 공정에 의해 만족될 수 없다면 다음과 같이 연성이 된다.

$$\begin{bmatrix} FR211 \\ FR212 \\ FR213 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X & 0 & 0 \\ X & X & 0 \\ X & X & X \end{bmatrix} \begin{bmatrix} DP211 \\ DP212 \\ DP213 \end{bmatrix} \quad (3)$$

사출성형공정은 고분자 용액의 유동과 고화가 복합된 연성공정이다. 이 경우 공차가 매우 크게 주어지지 않는다면 설계행렬을 비연성 또는 준연성 되게 하는 DP들을 선정하기가 대단히 어렵다. 이러한 어려운 문제를 해결하는 한가지 방법은 지식기반 시스템을 사용하는 것이다.

### 3. 설계 행렬의 정렬

Fig. 3은 3x3 설계행렬에서 쉽게 준연성 (decoupled) 되어있음을 알 수 있다. 하지만 Fig. 4와 같이 설계행렬이 정렬되어 있지 않으면 사용자가 준연성(decou-

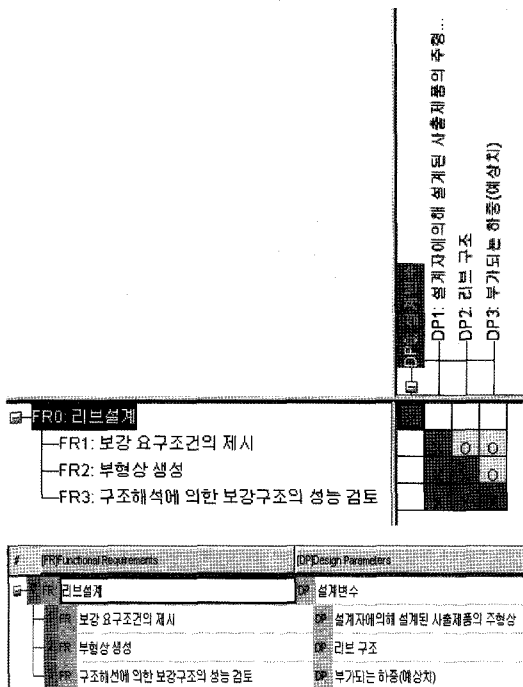


Fig. 3. Triangular design matrix.

pled)이 아닌 연성(coupled) 되어 있다고 착각하여 혼동에 빠질 가능성이 있다. 이런 경우 Acclaro DFSS프로그램을 사용하여 자동으로 정렬하여 비연성(uncoupled) 되어 있는 설계행렬을 식별할 수 있게 된다. Fig. 5에서는 삼각행렬에 가장 가깝게 정렬시켜주고 수동으로 바꾸는 과정을 보여준다. 이는 3x3 설계행렬 뿐 아니라 더욱 복잡한 설계행렬에서 연성이 어떻게 되는지를 보다 쉽게 알 수 있게 도와준다.

또한, Acclaro DFSS에서는 Fig. 6와 같이 상위 매트릭스와 하위 매트릭스가 모두 나타나는 전체 매트릭스를 각각의 FR에 대한 DP만 진술하면 보여줄 수 있다.

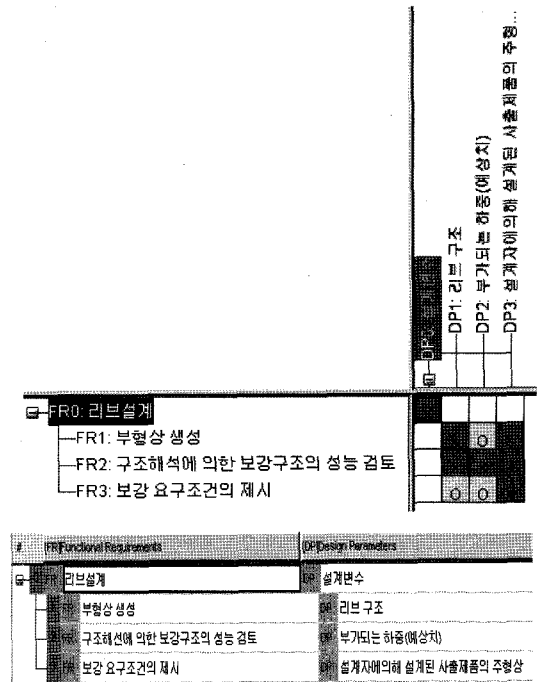


Fig. 4. Design matrix which is not arranged

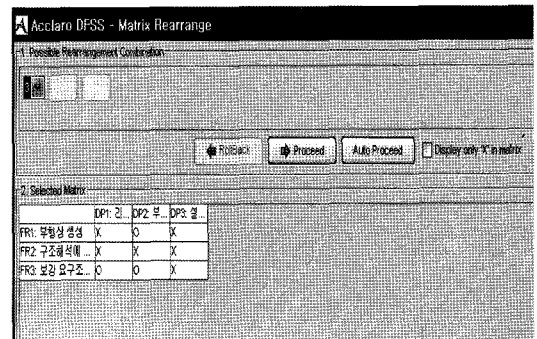


Fig. 5. Rearrange process

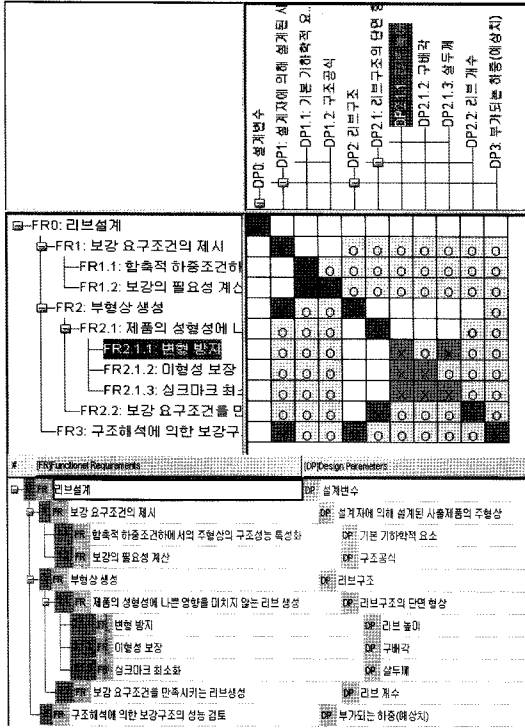


Fig. 6. Overall design matrix.

그리고 연성(coupled) 되어 있는 부분은 개선 할 필요성이 있음을 알려준다.

FR2.1.1과 DP2.1.3이 교차되는 곳을 클릭하고 마우스 오른쪽을 클릭하여 TRIZ 기능을 선택하면 Fig. 7와 같이 TRIZ가 연계된다.

#### 4. 결 론

리브를 갖는 사출성형 제품의 설계 평가를 위한 공리적 접근을 수행하였고 Acclaro DFSS(듀프로그래름

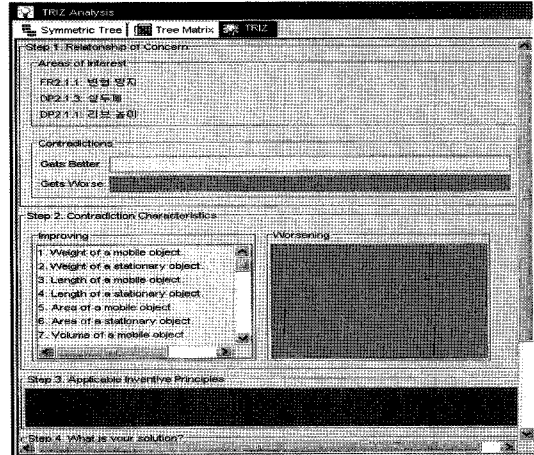


Fig. 7. Connection with TRIZ.

이용하여 설계행렬의 정렬을 수행하였다.

본 연구에서는 공리적 설계방법을 이용하여 리브를 갖는 사출성형 제품이 보다 합리적으로 설계될 수 있도록 설계평가를 위한 구체적 사례를 통해 입증하였다.

#### 참고문헌

1. 허용정, 김상국, “사출성형제품의 부형상 설계를 위한 지식형 CAD 시스템에 관한 연구,” 대한기계학회 논문집 제 15권 제 6호, pp. 1933-1947, 1991.
2. Miller, E., “Plastic Product Design Handbook. Part A : Component,” Marcel Dekker, 1981.
3. Young, W.C., Roark's Formulas for Stress and Strain, McGraw Hill Book Company, New York, 1975.
4. Timoshenko, S.P. and Woinowsky-Krieger, S., “Theory of Plate and Shells,” McGraw Hill., 1959.
5. Verbicky, J.W., “Encyclopedia of Polymer Science and Engineering,” Vol. 12, John Wiley and Sons, New York, 1988.