

사출 금형의 벽두께 설계 방법의 고찰

황수진[†] · 류민영[#] 김도운¹ 김수영¹ · 신광수¹ · 김기윤¹

서울산업대학교 금형설계학과

A Study on the Wall Thickness Design for Injection Molding

S. J. Hwang[†], M.-Y. Lyu[#], D. W. Kim¹, S. Y. Kim¹, K. S. Shin¹, and K. Y. Kim¹

Department of Die & Mould Design, Seoul National University of Technology

Abstract : The cavity of mold is exposed to high pressure during injection molding operation. Injection molded articles with deep depth are often demanded as design variety increases. Mold becomes weak and deformation increases as the mold depth increases. Thus the injection molds for deep depth articles should be designed to hold out high pressure or stress and large deformation. Through this study, equation for mold design was examined and suggested novel method to determine equation for mold design with deep depth. Novel equation developed in this study was consisted with cantilever and two points bending while previous equation was modified from just cantilever bending. The validity of novel equation was verified through computer simulation.

Key Words : Injection Mold, Mold Wall Thickness, Deep Depth Mold, Mold Design, Cantilever, Two Points Bending

1. 서론

사출 성형이란 성형하고자 하는 모양이 새겨진 금형 (캐비티) 안에 용융된 수지를 고온, 고압으로 주입하여 플라스틱 제품을 성형하는 방법이다. 사출 성형은 플라스틱의 가소화 - 금형의 형체 - 충전 - 보압 - 냉각 - 이형 및 취출의 공정으로 이뤄져 있다.

같이 사출공정이 진행될 때 캐비티 내에서는 압력을 받게 된다. 사출 성형 공정 중 보압공정에서 캐비티는 가장 큰 압력을 받으며 보압이 커질 경우 캐비티 내압이 증가되어 금형에 크랙이 발생할 가능성이 높아진다.

과거 금형의 벽 두께는 캐비티의 내압을 플라스틱이 발생하지 않을 정도를 지지하면 되었지만[1] 현재에 요구되는 깊이가 깊은 사출품의 경우 플라스틱 방지뿐 아니라 금형에 크랙을 방지할 수 있어야 한다. 깊이가 깊은 성형품을 생산하는 금형의 경우, 현재 사용되는 식을 이용하였을 때 크랙이 발생하였다.

현재 금형의 벽 두께 계산에 사용되는 식은 다음과 같다. [2]

$$\delta = C \times \frac{p \times a^4}{E \times h^3} \quad (1)$$

[†] 서울산업대학교 금형설계학과 대학원

¹ 삼성전자

[#] 교신저자 : 서울산업대학교 금형설계학과

E-mail : mylyu@snut.ac.kr

- δ = 처짐량
- p = 사출압력 (Injection Pressure)
- E = 사용 재료의 영률 (Young's Modulus)
- C = l/a 에 정해지는 상수
- l = 금형의 길이
- a = 금형의 깊이

깊이가 깊은 금형에서 이 수식을 사용하여 벽 두께를 설계한 경우 금형에 크랙이 발생하였다. 따라서 본 연구에서는 현재 수식의 분석과 수정을 진행하고 금형의 특성을 고려한 새로운 수식을 제안하겠다.

2. 기존의 수식 분석 및 수정

2.1. 현재의 측벽 두께 수식 분석

현재 사용되는 식은 외팔보의 수식에서 상수대신 'C' 값을 도입하여 a 에 따른 변화 값을 적용하고 있다. 외팔보의 식은 (2)와 같다.

$$\delta = \frac{q \times l^4}{8EI} = \left(\frac{3}{2}\right) \times \frac{p \times a^4}{E \times h^3} \quad (2)$$

Fig. 1은 C값을 그래프로 표현한 것이다. 이 그래프를 보면 l 이 증가할 때 C값이 증가되며 측 길이가 길어질수록 C값이 커진다. 식 (1)과 같이 고려할 때 식 (1)에서 l 값은 없지만 l 값이 증가되면 C값도 증가되므로 결과적으로 두께는 증가된다. 그러나 a 가 증가될 때 C값이 감소되므로 깊이가 깊어질수록 C값이 작아진다.

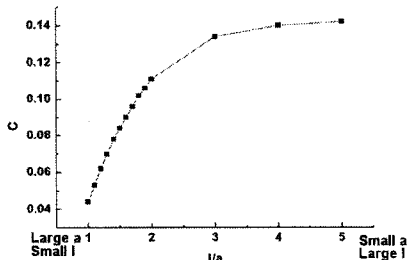


Fig. 1. Variation of C according to l/a

a 값이 증가할 때 C값은 감소하며 측 깊이가 깊어질수록 C값은 감소한다. 식 (1)을 이용한 두께 계산 시 a 값이 증가될 경우 벽 두께는 $a^{4/3}$ 의 비로 증가되어야 하나 a 가 증가할수록 C값이 줄어들어 결국

벽 두께는 $a^{4/3}$ 보다 작게 증가된다.

이 수식은 외팔보의 수식을 사용하면서 l/a 에 따라 즉, 기하학적 형상에 따라 단순한 외팔보의 수식을 보정하기 위해 보정 값 C를 사용하고 있으나 깊이가 증가할수록 벽 두께의 증가량은 작아지므로 C값이 적절하지 못한 것으로 판단된다.

2.2. 기하학적 변화에 따른 새로운 수식 검토

금형은 Fig. 2과 같이 구분할 수 있다. Fig. 2 (a)은 일체형 박스 형태의 간단한 금형을 나타낸 것이다. 이 금형에서 한 면을 떼어서 보면 Fig. 2 (b)와 같이 양단 고정으로 가정할 수 있으며 Fig. 2 (c)와 같이 아래 면이 고정되어 있는 외팔보로 가정할 수 있다.

양단 고정으로 가정을 할 경우, 실제 금형에서는 바닥 면이 존재하므로 가정보다 하나의 구속이 더 있으며, 외팔보로 가정할 경우에도 금형의 아랫면 외에 양단에서 고정해주는 면이 있으므로 두 개의 구속이 과도하게 발생하고 있다.

이를 통해 금형에서 발생하는 처짐의 합은 양단 고정정보의 처짐량과 비례하며 ($\delta_{total} \propto \delta_{fixed}$), 외팔보의 처짐량과도 비례한다 ($\delta_{total} \propto \delta_{cantilever}$). 또한 금형에서 발생하는 처짐량의 합은 양단 고정정보의 처짐량과 외팔보의 처짐량의 합과도 비례한다 ($\delta_{total} \propto \delta_{fixed} + \delta_{cantilever}$). 그러므로 양단 고정정보와 외팔보의 처짐량을 모두 고려한 새로운 수식이 필요하다.

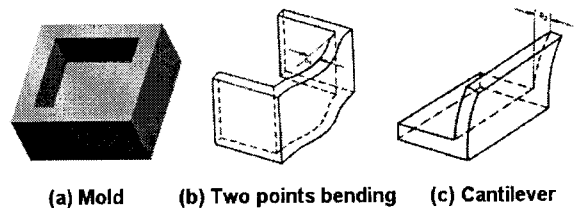


Fig. 2 Combination of deformations

$l=300\text{mm}$, $a=150\text{mm}$ 를 기준으로 l 또는 a 를 변화하여 이에 따른 해석을 통해 적절한 l/a 를 결정하였다. 구조해석은 ABAQUS를 이용하였으며 Fig. 3과 같이 정육면체의 시편을 모델링하여 해석을 진행하였으며 기준 처짐량은 0.03mm, 캐비티 내의 압력은 80MPa, 영률은 2.0E5MPa를 사용하였다.

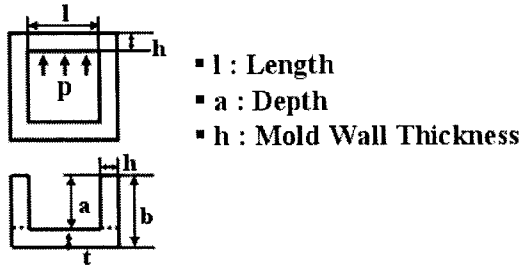


Fig. 3. Dimension of mold

a는 150mm으로 고정한 후 l의 길이를 15~1500mm로 변화하여 해석을 진행하였다. 이때 벽두께는 l=300mm일 때를 기준으로 하여 모두 동일하게 설정하였다. 각 경우 단순한 양단 고정보 식과 외팔보 식의 처짐량과 해석 결과로 나온 처짐량을 비교해 보았다.

해석 결과는 Fig. 4와 같다. a=150mm 일 때 l/a가 3이상이면 (l=450mm이상) 해석에서 나온 처짐량은 양단 고정보의 처짐량과 유사한 경향을 가지므로 양단 고정보 식이 유리하다.

l은 300mm로 고정한 후 a의 길이를 300~3000mm로 변화하여 해석을 진행하였다. 이때 벽 두께는 이전 해석과 동일하며 각각 단순한 양단 고정보 식과 외팔보의 식의 처짐량과 해석 결과로 나온 처짐량을 비교하였다.

해석 결과는 Fig. 5와 같다. l=300mm 일 때 l/a가 2이하이면 (a=150mm이하) 해석에서 나온 처짐량은 외팔보의 처짐량과 유사한 경향을 가지므로 외팔보 식이 유리하다.

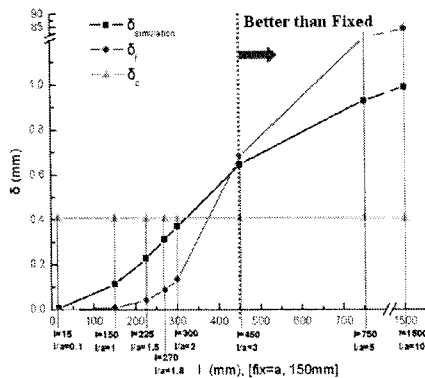


Fig. 4. Variations of deflection for various mold length, l

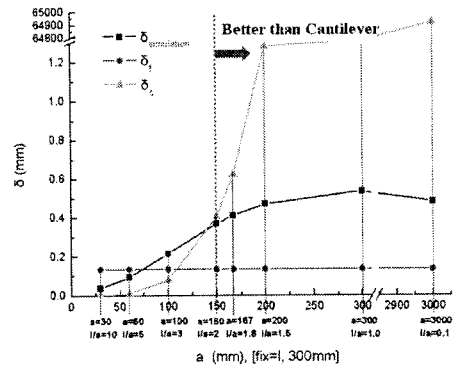


Fig. 5. Variations of deflection for various mold depth, a

3. 새로운 측벽 계산 방법

3.1. 새로운 측벽 계산식 유도

길이 (l)가 매우 길 경우는 양단 고정보로 가정할 수 있으며 이때는 δ_f 로 가정한다. 깊이 (a)가 매우 깊을 경우 외팔보로 가정할 수 있으며 이때 δ_c 로 가정한다. 그 사이의 l과 a는 양단 고정보와 외팔보의 식을 결합해서 표현한다. 즉

$$\delta_t \propto x \times \delta_f + (1-x) \delta_c \quad (3)$$

과 같이 표현할 수 있다. 이 때 x는 Geometry에 따라 양단 고정보, 외팔보를 구분하는 Factor로 외팔보는 0, 양단 고정보는 1로 가정한다. 그리고 실제 처짐량 (δ_t)과 간단한 Beam 이론으로 계산된 식 ($\delta_f + \delta_c$)과의 차이를 보정해주기 위한 Factor를 y라고 가정하면 δ_t 는 식 (4)와 같다.

$$x = ax + b \quad (4)$$

이 때 l/a에 따라 l/a가 0.1일 때를 외팔보로 가정하면 $x=0$ 이고, l/a가 10일 때를 양단 고정보로 가정하면 $x=1$ 이다. x를 선형함수로 가정하면 x는 식 (5)와 같다.

$$x = \frac{1}{9.9} l/a - 0.01 \quad (5)$$

y는 만약 $x=0$ 이면 외팔보로 가정되어 식 (6)과 같이 되며 $x=1$ 이면 양단 고정보로 가정되어 식 (7)과 같이 된다. 이 때 δ_t 는 실제처짐량을 측정할 수 없으므로 해석의 처짐량을 이용하였다.

$$\delta_t = \delta_c \times y \rightarrow \delta_t = \delta_c \times y_c \quad (6)$$

$$\delta_t = \delta_f \times y \rightarrow \delta_t = \delta_f \times y_f \quad (7)$$

y를 x에 따른 선형 함수로 가정한다면 식 (8)과 같다.

$$y = (y_f - y_c)x + y_c \quad (8)$$

위 식을 종합한 δ_t 는 식 (9)와 같다.

$$\therefore \delta_t = [(y_f - y_c)x + y_c][x\delta_f + (1 - x)\delta_c] \quad (9)$$

식 (9)와 같이 유도되며 이를 이용하여 벽 두께 h를 계산한다.

3.2. 새로운 측벽 계산식 적용

금형의 그룹을 총 4개로 분류하여 새로운 계산식을 적용하였다. 그룹은 l을 300mm로 고정된 상태에서 a에 따라 Group 1은 a=150mm, Group 2는 a=100mm, Group 3은 a=50mm, Group 4는 a=30mm로 구별하였다.

각 그룹을 분류 후, 그룹별로 해석을 진행한 후 해석결과를 가지고 새로운 수식에 적용하여 벽 두께 h2를 계산하였다. 새로운 수식으로 벽 두께를 계산할 때, l/a의 범위에 따라서 x와 y가 변화하였으며 l/a의 범위가 줄어들수록 같은 l과 a에서 h2가 크게 측정이 되었다.

계산식 중 (6)과 (7)에서 실제 처짐량 대신 해석의 처짐량을 이용하였는데 이 처짐량을 100%로 신뢰할 수 없으므로 Safety Factor (SF, 안전계수)를 고려하였다. SF가 커질수록 h2는 크게 측정되었다.

각 그룹에서 a를 고정한 후 l을 변화시켜 해석한 후 l/a의 범위와 SF를 이용하여 h2를 구하였다. 이 중 가장 적절한 범위를 선정하여 각 그룹에서의 x와 y를 결정하였고 h2를 결정하였다. 다음 Table 1~Table 2은 각 그룹에서의 선정한 l/a의 범위와 SF에 따른 h2의 결과이다

Table 1 Estimated mold wall thickness for group 1 and group 2

순서	l/a	Group1 l/a:0.5~5 (SF:2)					Group2 l/a:0.5~5 (SF:2)				
		l	a	x	y	h	l	a	x	y	h
1	0.1	15	150	0.000	0.198	126	10	100	0.000	0.162	69
2	0.5	75	150	0.000	0.198	126	50	100	0.000	0.162	69
3	1	150	150	0.112	0.215	125	100	100	0.112	0.186	69
4	2	300	150	0.334	0.250	125	200	100	0.334	0.233	71
5	3	450	150	0.557	0.284	158	300	100	0.557	0.280	92

6	4	600	150	0.779	0.318	242	400	100	0.779	0.327	142
7	5	750	150	1.000	0.352	359	500	100	1.000	0.374	214
8	6	900	150	1.000	0.352	458	600	100	1.000	0.374	272

Table 2 Estimated mold wall thickness for group 3 and group 4

순서	l/a	Group3 l/a:0.5~5 (SF:2)					Group4 l/a:0.1~10 (SF:10)				
		l	a	x	y	h	l	a	x	y	h
1	0.1	5	50	0.000	0.098	23	3	30	0.000	0.030	8
2	0.5	25	50	0.000	0.098	23	15	30	0.041	0.033	8
3	1	50	50	0.112	0.149	26	30	30	0.091	0.037	8
4	2	100	50	0.334	0.251	29	60	30	0.192	0.045	9
5	3	150	50	0.557	0.352	39	90	30	0.293	0.053	10
6	4	200	50	0.779	0.453	63	120	30	0.394	0.062	14
7	5	2050	50	1.000	0.554	97	150	30	0.495	0.070	20
8	6	300	50	1.000	0.554	123	180	30	0.596	0.078	27
9	7	-	-	-	-	-	210	30	0.697	0.086	37
10	8	-	-	-	-	-	240	30	0.798	0.094	47
11	9	-	-	-	-	-	270	30	0.899	0.102	59
12	10	-	-	-	-	-	300	30	1.000	0.110	72

4. 결론

(1) 현재 벽 두께를 계산하는데 사용되는 식은 외팔보의 수식을 사용하며 기하학적 형상에 따라 단순한 외팔보 수식을 보정하기 위해 보정 값 C를 사용하고 있으나 적절히 보정되고 있지 못하다.

(2) 금형의 한 면을 고려하면 양단 고정정보와 외팔보가 결합된 형태이므로 금형의 벽 계산시 양단 고

정보와 외팔보의 식이 결합된 형태의 새로운 수식이 필요하다.

(3) $a=150$ 일 때 $l/a=3$ 이상은 양단 고정정보로 고려하는 것이 유리하며, $l=300$ 일 때 $l/a=2$ 이하는 외팔보로 고려하는 것이 유리하다.

(4) 같은 길이에서 금형의 깊이에 따라 4개의 그룹으로 분류를 하여 l/a 의 범위와 SF에 따라 적절한 벽 두께를 선정하였다. Group 1~3은 $l/a = 0.5\sim 5$, SF=2로 선정하였으며 Group4는 깊이가 매우 얇으므로 $l/a=0.1\sim 10$, SF=10으로 결정하였다. 그러나 각 그룹의 범위의 끝에 있는 부분에서는 결과가 불안정하다.

참고문헌

- 1) Osswald, Turng, Gramann, 2002, Injection Molding Handbook, USA, Hanser, pp 294
- 2) Donald V. Rosato, Dominick V. Rosato, 1995, Injection Molding Handbook Second edition, USA, Champmen & Hall, pp 346