

이중 사출시 발생하는 Weld-line의 강도 연구

장민규¹ · 김창진² · 최해석³ · 정영득[†]

부경대학교 대학원 기계공학과¹·부경대학교 기계공학부^{2,†}·한일이화(주) 중앙연구소³

A study on the weld-strength in two-shot molding

Min-Kyu Jang¹ · Chang-jin Kim² · Hea-Suck Choi³ · Yeong-Deug Jeong[†]

Graduate School of Mechanical Engineering, Pukyong National University¹

School of Mechanical Engineering, Pukyong National University^{2,†}

Han Il E Hwa Co., LTD, R&D Center-Design Team³

(Accepted May 28, 2015)

Abstract : In injection molding, many kinds of defects have occurred because of a characteristic of plastics injection molding. Weld line is one of the defects is formed when separated melt fronts recombine together during the mold filling stage. That is one of problems in injection molding. Weld lines in the appearance of plastics parts can deteriorate visible quality. And most importantly, the local mechanical strength in the weld line area can be significantly weaker. It could be one of the most problems for structural applications. In this study, the mold available two-shot-molding of same polymers have been designed, and a series of experiment about tensile strength in weld line area has been conducted using Taguchi's design of experiment to optimize injection molding conditions decreasing of weld strength and find out a factors affected weld strength in two-shot- molding.

Key Words : Two Shot Molding, Weld line, Design of Experimental, Weld strength, Separating core temperature, Transition temperature.

1. 서 론

산업의 성장 및 고도화에 따라서 대부분의 제품들이 경량화, 다양화, 및 대량 생산화 되면서, 플라스틱 사출 성형은 현대 산업에서 없어서는 안 될 공정으로 그 비중은 점차 커져가고 있다. 플라스틱 사출 성형품은 외관품질 뿐만 아니라 기계요소로도 사용이 확대되고 있으며, 그에 따라 플라스틱 제품의 외관품질 및 강도 등에 대한 신뢰성 및 보증의 필요성이 점차 증가되고 있으며, 기존의 사출 성형 기술을 응용한 새로운 사출 성형 기술이 발달되고 있다. 그러나 사출성형 제품은 플라스틱 성형의 특성상 많은 성형불량이 나타나고 외관품질과 강도 등에 문제를 유발하게 된다.

외관불량 중의 하나인 웰드라인(weld-line)은 두개 이상의 용융 수지의 선단들이 서로 만나게 될 때 형성되는 것으로서, 이것이 외관을 중시하는 제품의 표면 위에 나타날 경우에는 외관품질이 떨어지고, 특히 웰드라인이 발생한 곳에는 강도 저하가 일어나 기계적, 구조적 특성에 큰 영향을 미친다¹⁾. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 웰드라인에 관한 여러 가지 연구들이 진행되고 있는데, 웰드라인에 관한 연구는 웰드라인의 최소화에 관한 연구^{2,4)}와 웰드라인의 강도에 관한 연구^{5,6)}로 크게 두 가지로 나뉜다. 웰드라인의 최소화에 관한 연구는 금형 구조, 제품 설계, 성형 조건 등에 의하여 웰드라인의 깊이와 크기를 최소화 하는 것이며, 웰드라인의 강도에 관한 연구는 금형 및 제품 구조상 웰드라인을 피할 수 없을 경우, 여러 가지 성형 조건 변경으로 웰드라인에 의한 강도 저하를 최소화 시키는 연구이다.

본 연구에서는 동일 수지의 이중 사출 성형(two

1. 부경대학교 기계공학부 대학원
† 교신저자 : 부경대학교 기계공학부
E-mail : ydjung@pknu.ac.kr

shot molding) 시에 발생하는 Butt weld line의 강도 저하를 최소화 시키는 공정변수를 찾아내기 위하여 결정성 수지인 pp 수지를 대상으로 이중사출이 가능한 금형을 설계하여 다구짜 실험계획법으로 수지 온도, 코어온도, 사출시간을 변수로 실험을 실시하였으며, 또한 코어의 온도 범위를 크게 하여 코어의 온도와 웰드 라인의 강도에 대하여 실험을 실시하였다.

본 연구의 결과는 동일 수지의 이중사출시 발생하는 웰드라인 부의 강도를 최대로 할 수 있는 성형 조건과 웰드 강도에 가장 큰 영향을 주는 인자를 찾아내어 실제 이중사출시 적용할 수 있는 기초 자료로 활용할 수 있다. 본 연구의 목적은 웰드라인에 의한 강도 저하를 최소화 하는 최적조건을 도출하는 데 그 목적이 있다.

2. 실험

2.1. 금형설계 및 제작

본 연구에서 사용되는 실험금형은 Fig. 1에서 나타나는 바와 같이 핫러너(hot runner) 밸브 게이트(valve gate)와 분리 코어(separating core)를 이용하여 동일 수지의 이중 사출이 가능하도록 설계하였으며, 분리 코어에 히터(heater)를 적용하여 온도를 설정할 수 있도록 하였다. Fig. 2는 수지가 채워지는 과정을 나타낸 것으로 시험편의 한 부분에 먼저 수지가 분리 코어까지 채워지고, 그 후 분리 코어가 하강 작동한 후 반대쪽에서 수지가 채워져 수지가 만나는 부분에 웰드라인이 형성되고 있다.

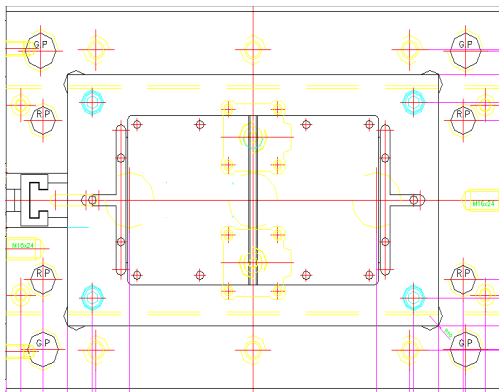


Fig. 1 Schematic of the injection mold for two shot molding

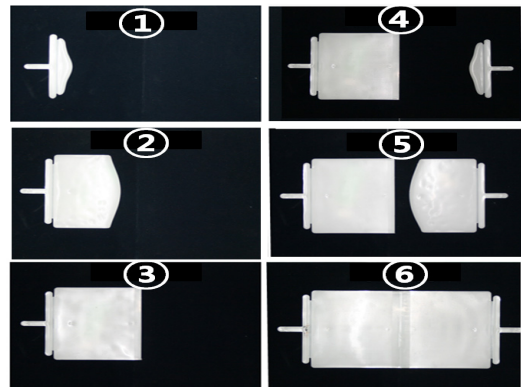


Fig. 2 The process of forming weldline

2.2. 실험내용 및 방법

본 연구에서 사용된 수지는 PP(GS Caltex, M540)이며, 사출기는 LG 전선에서 제작한 형체력 140ton 직압식 수평형 사출기를 사용하였으며, Fig. 3과 같이 인장 시험을 하기위하여 실험시험편을 인장시험편 모양으로 잘라내어 플라스틱 만능시험기(Hounsfield사, H10kt)를 이용하여 인장강도를 실험하였다.

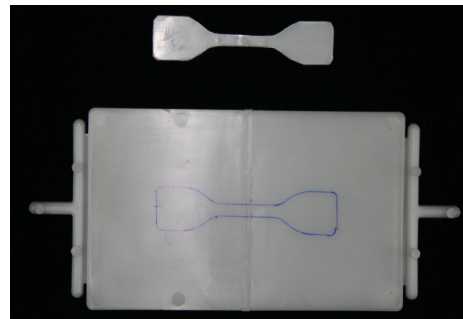


Fig. 3 Experimental specimen



Fig. 4 Universal test machine

2.3. 성형조건과 웰드강도 실험 및 결과

동일 수지의 이중 사출에서 생기는 웰드라인의 강도에 가장 크게 영향을 미치는 인자를 찾아내고 웰드라인 부의 강도를 최대로 할 수 있는 성형조건을 찾아내기 위하여 수지온도(A), 분리코어온도(B), 사출시간(C)을 인자로 하고 각 인자에 대한 수준(level)은 재료의 물성치 및 기본 사출 조건을 바탕으로 요구되는 성형범위 한계 내에서 각각 3수준으로 정하여 실험을 실시하였으며, 실험조건표는 Table 1과 같다.

본 실험에서는 $L_9(3^4)$ 직교배열표를 이용하였으며, 본 실험에서는 다구찌 실험계획법을 이용하였으며 데이터의 값은 웰드라인의 강도이므로 인장강도의 값이 클수록 좋은 결과를 나타내므로 식 (1)의 망대특성(large-the-better)인 손실함수를 적용하여 SN 비(signal-to-noise ratio)를 비교하고 분산분석(analysis of variance, ANOVA)을 이용하여 웰드라인의 강도에 가장 크게 영향력을 미치는 인자를 찾았다.

$$SN = -10 \log \left\{ \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \frac{1}{Y_j^2} \right\} \quad (1)$$

Table 1 Control factors and levels

factor \ level		level		
		0	1	2
A	Melt temp.(°C)	195	210	225
B	Core temp.(°C)	120	140	160
C	Injection time(sec)	5	4	3

각 실험결과에 따라 측정된 인장 강도로부터 망대특성 문제에 대해 계산한 결과를 Table 2에 나타내었다. 각 인자의 수준변동에 따른 변화를 보여주는 결과는 Fig. 5에 도시하였다. 그림에서 알 수 있듯이 분리코어의 온도와 사출시간은 3수준(160°C, 3sec), 수지온도는 2수준(210°C)에서 웰드라인에 의한 강도가 가장 크게 나온다는 것을 알 수 있었다. Table 3은 분산분석의 결과를 나타낸 것으로 코어의 온도가 웰드라인의 강도에 가장 큰 영향을 미치고, 두 번째로는 사출 시간, 수지 온도의 순서로 영향이 미치는 것을 볼 수 있었다. 여기서 수지 온도의 영향력은 다른 요인에 비해 아주 미미한 것으로 나타났다. 또한 웰드의 강도는 웰드가 없는 no-weld인 경우 약 430N로 나타났으며 이중사출에 의해 웰드가 발생하였을 경우는 244~370N으로 나타났다.

따라서 웰드가 있는 경우에는 강도유지율(retention ratio)⁷⁾는 약 57~86%로 나타났다.

Table 2 SN ratio of design

No	tensile strength(N)	SN ratio
1	244.28	47.7478
2	271.45	48.6722
3	370.15	51.3640
4	287.23	49.1576
5	323.10	50.1840
6	366.54	51.2814
7	335.87	50.5216
8	280.23	48.9431
9	301.45	49.5828

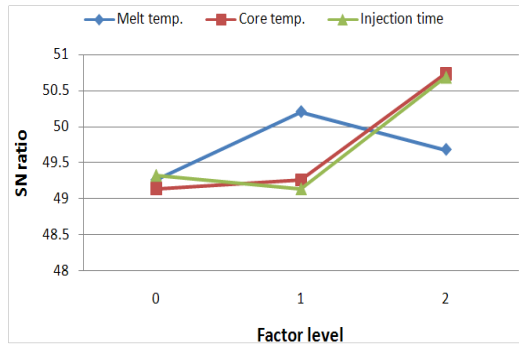


Fig. 5 SN ratio of parameter level

Table 3 ANOVA for SN ratio

Factor	SS	DOF	V
Melt temp.	1.348	2	0.6744
Core temp.	4.756	2	2.3781
Injection time	4.309	2	2.1549
Error	1.0598	2	
Total	10.410	8	

2.4. 코어온도와 웰드강도 실험 및 결과

선행된 성형조건별 웰드라인의 강도 실험의 결과에 따르면 코어의 온도가 웰드라인의 강도에 가장 크게 영향력을 나타내고 있는데, 이는 코어의 온도가 플라스틱 수지의 전이온도(transition temperature)으로 유지하는데 따른 영향력으로 예상되며, 이에 대한 정확한 관계를 알아보기 위하여 수지 전이온도와 웰드라인의 강도에 관하여 실험을 실시하였으며, 실험 조건표는 Table 4와 같다. 실험에 사용된 수지는 PP(GS Caltex, M540)이며, 이 수지의 전이온도는 116°C이다.

Table 4 Conditions of experiment

No	Core temp. (°C)	Melt temp. (°C)	injection time (sec)
1	23 (상온)	215	5
2	60	215	5
3	100	215	5
4	140	215	5
5	180	215	5

코어 온도별 실험 결과, Fig. 4에서 보는 바와 같이 140 ~ 180°C 구간에서 인장강도가 크게 증가함을 알 수 있었다. 이는 센서의 위치에서 나타내는 온도가 코어의 말단부까지 전달되지 못하여 코어의 실제 온도와 센서의 온도가 다르게 나타나는 것으로 판단되며, 이를 미루어 볼 때 수지는 전이온도를 넘어서면 결합강도가 급격히 강해질 것으로 판단된다.

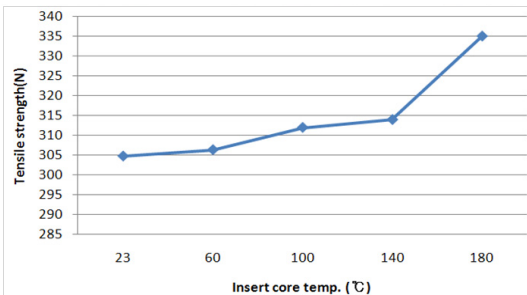


Fig. 6 Tensile strength according to core temperature

3. 결론

본 연구에서는 결정성 수지 중의 하나인 PP(GS Caltex) 수지를 대상으로 동일 수지의 이중사출시 발생하는 웰드라인의 강도에 대하여 조건별로 실험을 실시하고 다구찌 실험계획법에 의하여 강도에 가장 큰 영향을 주는 인자를 찾아 그 결과를 고찰하고 영향력이 가장 큰 인자에 대하여 조건을 재설정하여 실험을 실시하고 그 결과를 고찰하였다.

본 연구의 주요한 결과는 다음과 같다.

1) 동일 수지의 이중사출시 형성되는 웰드라인의 인장 강도에 가장 크게 영향을 주는 인자는 코어 온도, 사출시간, 수지 온도의 순으로 나타났으며, 분리 코어의 온도가 높을수록 사출시간이 짧을수록 웰드 강도는 증가하며, 수지 온도에는 아주 미미한 영향을 미쳤다.

2) 수지의 온도가 210°C, 코어의 온도는 160°C, 사출시간은 3sec 일 때, 웰드라인의 인장 강도를 최대화 할 수 있었다.

3) 동일 수지의 이중 사출시 Butt weld line의 인장강도는 순수수지에 비해 약 57~86%의 유지율을 보였다.

4) 코어의 온도가 140°C 이상일 경우 결합강도가 급격히 증가하였으며, 이는 수지의 전이온도와 직접적 관련이 있는 것으로 판단된다.

후기

본 연구는 울산산업단지공단이 주관하는 혁신클러스터사업의 일환인 현장 맞춤형기술지원사업의 연구 지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

- 1) Allen Y.Peng, David C, Hsu and Wen-Hsien Yang, Prediction of the Weld-line-induced strength reduction for Injection-Molded Plastics Parts, ANTEC 2006, pp. 719-722, 2006.
- 2) Tomari, K., Fracture Toughness of Weld lines in Thermoplastics Injection Molding, Polym. Eng. Sci., vol. 30, p. 931, 1993.
- 3) Liu Chuntai, Shen Cahngyu, "The Influence of Meeting Angle on the Weld Line Strength in Injection Molded Short-fiber-reinforced Polyamide 66", ANTEC 2005, pp. 879-883, 2005.
- 4) TAO C. CHANG, ERNEST FAISON, Optimization of Weld Line Quality in Injection Molding Using an Experimental Design Approach, Journal of injection molding technology, Vol. 3, No.2, pp. 61-66, 1999.
- 5) Kevin R.Quinn, James A.Duffy, and Chris S.Ellis, Reinforced Thermoplastics : Understanding Weld Line Integrity, Journal of injection molding technology, Vol.1, No.2, pp. 123-129, 1997.
- 6) T. Semba, Weld line strength in PC/ABS Injection Molding, intern. polymer Processing, Vol.14, No.4, p. 365, 1999.
- 7) Rover A. Malloy, Plastics Part Design for Injection molding, Hanser public, p. 54, 1994.