

사출성형품의 웰드라인 강도에 관한 연구

모정혁* 홍형식* 류민영**

A Study on the Weld Line Strength in Injection Molded Part

Jung Hyuk Mo*, Hyoung Sik Hong* and Min-Young Lyu**

Abstract

Weld line in injection molded part is one of the defect in injection molding process. Weld line deteriorates not only appearance quality but mechanical property. In this study weld line strength has been examined according to the injection operational conditions, materials and mold designs. PC and PP were used, and four different specimens were used in this experiment. Weld line strength decreased as injection temperature increases for PC. It was more dependent on mold temperature than injection temperature for PP. Among the four different specimens, uneven thickness specimen showed the highest weld line strength.

Key Words : Weld line, Injection Molding Process, Injection Operational Conditions, Materials and Mold Designs, Mold Temperature, Injection Temperature,

1. 서 론

사출성형은 고분자 성형법 중 가장 널리 알려진 방법으로 열가소성 수지가 가장 많이 사용되거나 열경화성 수지는 물론 고무 등도 이 방법에 의해 성형이 된다. 올바른 사출성형 제품을 얻기 위해서는 제품디자인, 금형설계 그리고 사출기의 운전 등이 잘 이루어져야 하겠지만 그렇지 않은 경우는 여러 가지의 결함을 포함하게 된다. 제품디자인 측면에서는 수지의 기계적, 물리적 특징이 충분히 고려되어야 하고, 금형설계의 측면에서는 수지의 유동특성이 중요하게 여겨지며, 올바른 형상의 재현을

위한 금형 부품들의 조합과 구동이 중요한 요소이다. 사출성형에서 나타나는 결함은 젯팅 (Jetting), 싱크마크 (Sinkmark), 백화현상 (Whitening), 변형 (Warping) 그리고 웰드라인 (Weld line) 등이 있다. 이러한 성형 결함 중에서 제품에 어떠한 형태이든 구멍이 있는 경우 웰드라인의 결함은 피할 수가 없다.

사출성형품의 성형 과정에서 제품내의 구멍이 있거나 수지가 진행하다가 방향이 바뀌고 다시 만나게 되면 웰드라인이 형성 되는데 이는 성형품의 외관뿐만 아니라 기계적, 구조적 특성에도 나쁜 영향을 미친다. 따라서 사출성형에서 수지, 금형의 구조 및 공정조건에 따른

* 서울산업대학교 정밀기계공학과

** 서울산업대학교 금형설계학과

Weld line이 제품에 미칠 수 있는 영향이 충분히 고려되어야 한다. 즉 수지 및 여러 성형조건과 금형설계에 따른 웰드라인의 강도의 예측이 필요하다. 그러나 대부분 웰드라인의 연구는 Weld line이 발생하는 부분의 구조나 형태에 관한 연구^(1~3)와 성형조건에 관한 연구^(4~7) 그리고 금형설계에 따른 Weld line에 관한 연구^(8,9)등이며 강도에 대한 연구는 미진하다. 그리고 강도를 증가시키기 위한 금형설계는 없는 시점이다.

본 연구에서는 결정성 수지인 Polypropylene (PP)와 비결정성 수지인 Polycarbonate (PC)를 이용하여 금형설계와 공정조건 등에 변화를 주어 Weld line부의 거리, 성형품의 두께 변화, 보조 캐비티 유무, 웰드부의 유동선단의 합류각에 따른 Weld line의 강도를 연구 하였다. 금형설계조건 및 공정조건에 따라 다르게 나타나고 있는 Weld line의 인장강도 변화를 관찰하여 더 좋은 기계적인 성질을 얻을 수 있는 금형 설계 조건 및 공정 조건을 알아내고 제품 설계 및 금형 설계와 기계적인 물성을 향상 시킬 수 있는 가이드라인을 제시해 줄 수 있을 것이다.

2. 실험

2.1 재료

열가소성 수지는 결정성 수지와 비결정성 수지로 나뉘는데 결정성 수지는 T_g 와 T_m 을 갖고, 용융수지가 고화 되면서 결정을 이룬다. 그러나 비결정성 수지는 T_g 만을 갖고 고화 중에 결정을 이루지 않는다. 결정성 수지와 비결정성 수지에서 Weld line의 강도를 관찰하기 위하여 결정성 수지는 Polypropylene (PP)로 삼성종합화학의 HJ700인 Grade를 사용하였고, 비결정성 수지는 Polycarbonate (PC)가 사용되었고, 삼양사의 Trirex 3020HF인 Grade를 사용하였다. 본 연구에서 사용한 수지는 모두 사출성형용 Grade이다.

2.2 시편형상 및 사출성형용 금형

사출 성형된 제품에서 웰드라인의 강도를 알아보기 위하여 Fig. 1에서 나타나 있는 것처럼 다양한 시편을 사용 하였다. ASTM D638의 시편에서 Type I을 선택 하였고, Gate는 모든 시편에서 필름 게이트를 사용하였다. Fig. 1. (a)는 인장 시편에 Gate를 한쪽에 설치하여 Weld line이 없을 경우의 인장강도를 파악하고(이하 Non-weld line 시편), Fig. 1. (b)는 Gate를 시편 양쪽에 두어 시편 중앙에 Weld line이 발생하게 하여 Weld line의 강도를 실험 하였다.(이하 Weld line 시편) 또한, Fig.

1. (c)는 시편 한쪽에 보조 캐비티를 만들어 추가 유동을 두어 Weld line이 발생 되는 위치를 변화시켜 Weld line의 강도를 실험 하였다.(이하 Additional Cavity 시편), Fig. 1. (d)는 인장 시편에 두께를 조절하여 Weld line의 합류각을 조절하여 Weld line 성장을 방해하였다.(이하 Uneven Thickness 시편) Fig. 1. (e)처럼 사각홀 시편에서 Weld line의 합류시 만나는 각도와 거리에 따른 Weld line의 강도를 알기 위하여 실시하였다. (이하 Rectangular Insert 시편) Runner의 형상은 사다리꼴 런너형 폭은 6.0 mm이고, 두께는 4.0 mm, 빼기 구배는 5°이다. Gate의 폭은 19.0 mm 이고, 두께는 1.0 mm이다. 제품의 금형 빼기 구배는 4.0°이고, 시편을 성형하기 위한 금형은 하나의 몰드 베이스에 시편의 형상이 바뀔 때마다 금형 Cavity를 교체할 수 있는 형식으로 설계 하였고, 이런 금형을 카세트 금형이라고 한다.

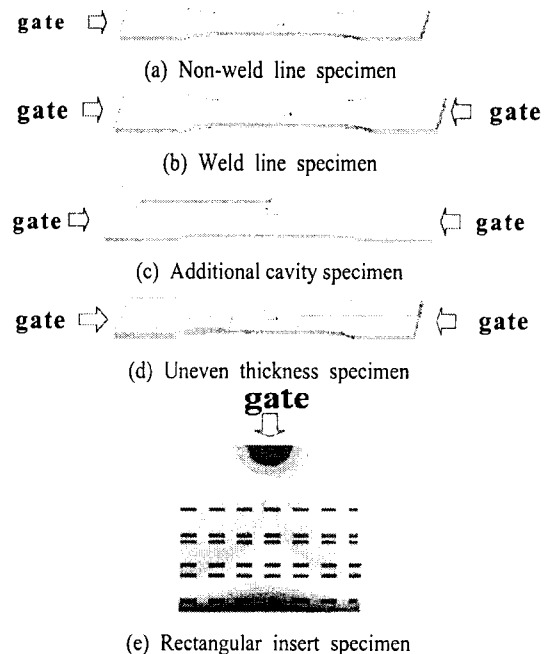


Fig. 1 Shapes of specimens and location of gate

2.3 사출 성형

사출성형을 수행하기 위하여 LG 사출성형기 (IDE 140 EN)를 사용하였으며 사출기의 형체력은 140 ton이고 최대 사출용량은 10 oz이며 스크류의 직경은 45 mm이다. 각 수지별로 적합한 사출온도를 세 가지씩 설정하여 사출온도에 따른 Weld line의 강도를 측정하였고, 사출온도는 사출시 노즐의 온도를 의미한다. 금형온도를 세 가지로 설정하였다. 금형온도에 따른 인장강도를 알아보기

위하여 금형 온도 조절기 (대한전기공업 DHM-30)를 사용하여 금형온도를 제어하였다. 금형온도는 냉각수의 평균온도이다. 수지온도와 금형온도는 수지회사에서 제안한 범위에서 설정하였다. 그리고 사출 압력은 세가지로 구분하여 사출압력을 설정하였다. 사출압력은 사출기 최대 사출압력 (1550 kg/cm²)의 퍼센트이다. 각 PP와 PC의 수지에 따른 여러 가지 성형 조건을 Table 1에 정리하였다.

Table 1. Injection molding conditions for the molding of test specimens

Polymer	Injection Temperature (°C)	Mold Temperature (°C)	Injection Pressure (%)
PC (삼양사 Trirex 3020HF)	285	40	50
	300	60	65
	314	80	80
PP (삼성 HJ700)	210	30	35
	230	45	50
	250	60	65

2.4 실험 방법

인장 실험에 사용된 실험 장비는 UTM (Universal Test Machine) TMaster TSM50을 사용하였다. 인장 시편은 각 조건에 따라 10 개씩 성형하였고, 인장시편에 사용된 시편은 기본적으로 5개의 시편으로 테스트 하였다. 인장 테스트 속도는 모든 시편에 동일하게 적용 하였고, 50 mm/min를 사용 하였다.

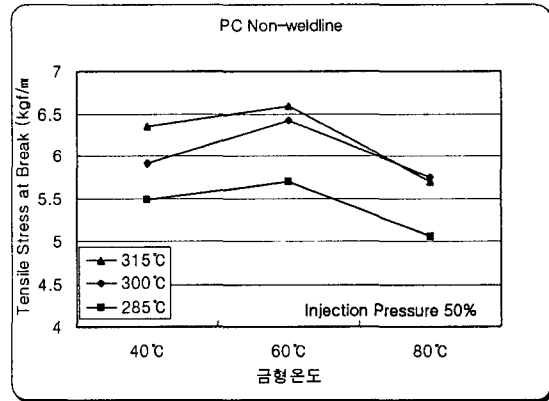
PC는 파단응력 (Tensile Stress at Break)을 측정하였고 PP는 최대인장응력(Max. Tensile Stress)을 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

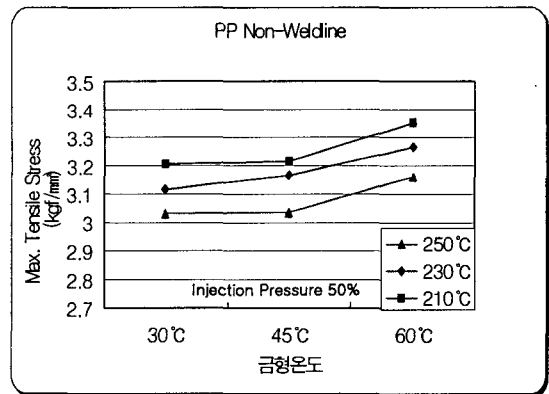
3.1 Non-weld line 과 Weld line 시편의 인장강도

Fig. 2와 3은 Fig. 1의 (a),(b)를 이용한 PC와 PP의 Non-weld line 시편과 Weld line 시편의 인장시험 결과를 보여주고 있다. PC인 경우 Non-weld line 과 Weld line 모두 수지온도가 높을수록 강도가 증가하는경향이 있고 금형온도가 높을수록 강도가 저하되는 경향이 있다. PP인 경우는 금형온도가 높을수록 강도가 증가하고 수지온도가 낮을수록 강도가 증가한다. PC인 경우 수지온도가 너무 높으면 오히려 강도저하가 되었고 PP는 수지의 온도보다

는 금형의 온도에 크게 영향을 받는다. Non-weld line 와 Weld line 비교에서는 같은 성형조건에서는 비슷한 경향성을 보이며 Weld line의 인장강도 값이 Non-weld line 보다 약 10~20% 정도 저하되었다.

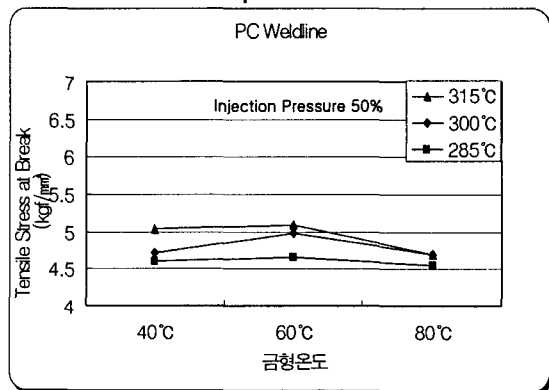


(a) PC non-weld line specimen

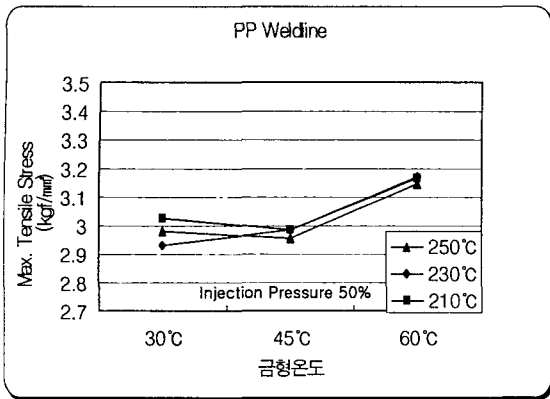


(b) PP non-weld line specimen

Fig. 2 Tensile strength of PC and PP for non-weld line specimens

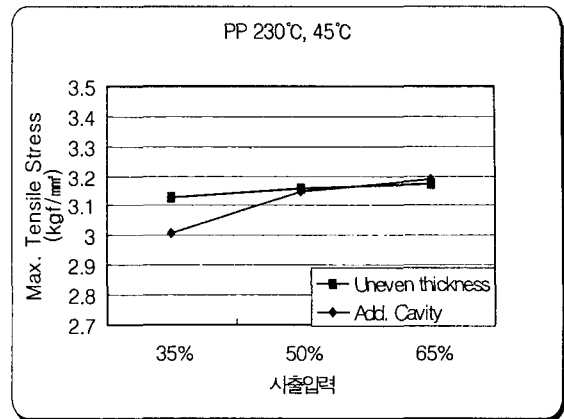


(a) PC weld line Specimen



(b) PP weld line Specimen

Fig. 3 Weld line strength of PC and PP for weld line specimens



(b) Additional cavity vs. uneven thickness for PP

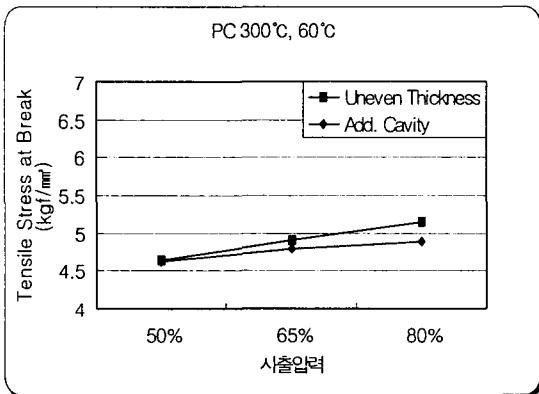
Fig. 4 Weld line strength of PC and PP additional cavity and uneven thickness specimens

3.2 Additional Cavity 과 Uneven Thickness 시편의 인장강도

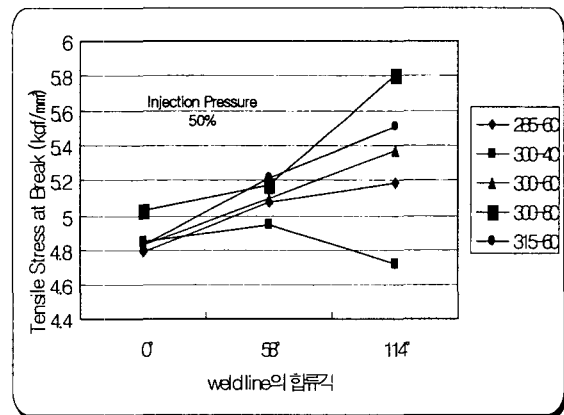
Fig. 4는 Fig.1 (c),(d)시편을 이용하여 PC와 PP의 Additional Cavity 시편과 Uneven Thickness 시편의 인장시험 결과를 비교해서 보여주고 있다. 두 형상 모두 사출압력증가에 따라 인장강도가 증가 하는 경향을 보이고 있다. 이는 사출압력이 증가하면 고분자 수지는 압축성 재료이기 때문에 수지가 압축되어 밀도가 높아지고 Weld line 부분의 형태학적으로 결합상태가 우수하게 되어 기계적 성질이 향상된다고 볼 수 있다. 시편형상 별로 보면 Uneven Thickness 시편의 인장강도가 다소 높게 나타난다. 이는 수지가 유동되는 과정에서 두께조절로 인하여 유동선단의 수직방향 흐름을 방해하여 Weld line의 접촉면적을 넓게 만드는 결과를 가져오게 된다. 상대적으로 넓은 접촉면적의 Weld line으로 인장강도가 증가하였다.

3.3 웰드라인의 합류각에 따른 인장강도

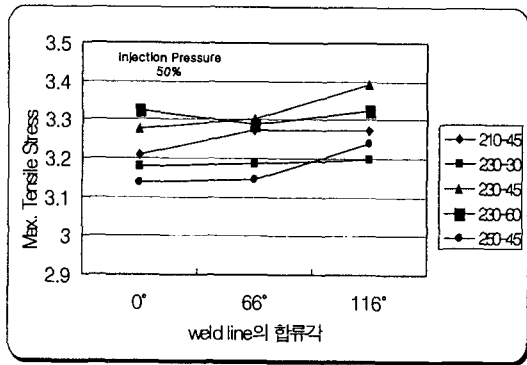
Fig. 5는 Fig. 1 (e)의 Rectangular Insert 시편을 이용하여 weldline이 발생하는 거리와 합류각에 따른 인장강도를 나타내고 있다. PC와 PP 모두 대체적으로 시편의 합류각이 증가할수록 인장강도가 증가하는 경향이 있다. 유동선단의 합류각이 커짐에 따라 웰드라인이 희미해지며 Weldline의 강도는 향상된다. PC인 경우 Fig. 5 (a)를 보면 합류각 114° 에서는 수지의 온도가 저하되기 때문에 금형의 온도에 지배를 많이 받아 금형온도가 높을 수록 인장강도가 증가한다. 그에 비해 그림 Fig. 5 (b)를 보면 PP는 수지온도 따라 많은 영향을 받는다고 사료된다.



(a) Additional cavity vs. uneven thickness for PC



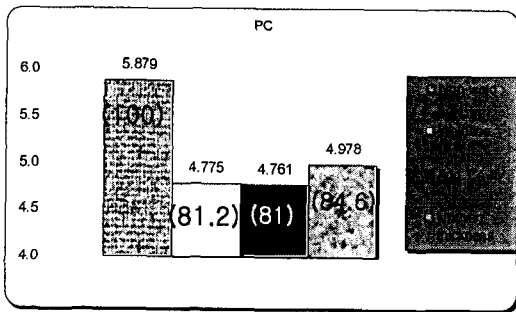
(a) PC and rectangular insert specimen



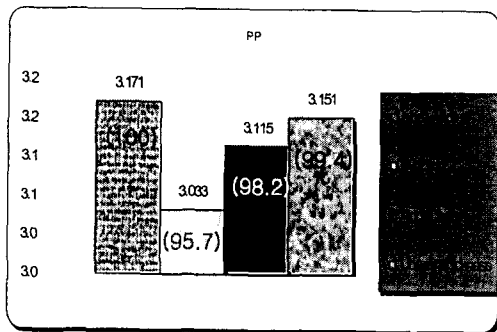
(b) PP and rectangular insert specimen
 Fig. 5 Weld line strength for rectangular insert specimen

3.4 각 시편의 웰드라인 강도 비교

Fig. 6은 각 시편별 인장강도를 비교한 그래프이다. Weld line이 없는 Non-weld line 시편의 인장강도가 제일 우수하고 Uneven Thickness, Additional Cavity 그리고 Weld line 시편의 순서로 인장강도가 저하되는 경향이 있다. 본 연구에서 제안된 두께를 조절한 Uneven Thickness 시편의 경우 취약한 인장강도를 보완하는데 효과적이라 생각된다.



(a) PC



(b) PP

Fig. 6 Comparison of weld line strength for each specimen and resin

4. 결론

본 연구는 사출성형에서 수지와 공정변수 그리고 제품 설계에 따라 다르게 나타나는 Weld line 부분의 인장강도에 대하여 알아 보았다. 성형조건에 따른 Weld line의 인장강도를 살펴보면 본 연구의 실험 온도 범위 내에서 수지온도가 높을 수록 PC인 경우 강도가 증가 하였고 PP는 수지온도가 높을수록 강도가 저하 되었다. 그리고 PC인 경우 금형온도가 높을 수록 강도가 저하 되었고 PP인 경우 금형온도가 높을 수록 강도가 증가 되었다. 모든 실험에서 압력이 증가할수록 인장강도가 증가 하는 경향이 나타나고 있다. 또한 웰드라인 부에서 제품설계에 따른 영향을 살펴보면 용융선단의 합류각이 증가하면 인장강도가 증가 하는 경향을 보이고 있다. 본 연구에서 제안한 웰드라인 부분의 두께를 변화시켜 웰드라인의 형성을 교란시킨 Uneven Thickness 시편의 경우 Weld 부의 강도가 타 웰드라인 시편보다 증가됨을 알 수 있었다. 본 연구를 통해서 수지, 공정변수 그리고 제품설계에 따라 Weld line 부분의 인장강도가 다르게 나타나는 것을 알수 있었으며 연구의 결과는 정밀한 성형 및 성형품의 강도를 요하는 사출성형에 필요한 가이드 라인을 제공할 수 있다.

참고 문헌

- (1) 김형수, 1997, "다성분계 고분자 블랜드의 Weld line 강도에 관한 연구" The Korean Journal of Rheology, vol 9 no. 4, December p. 133
- (2) Tomari, K., 1986, "The V-Notch at Weld lines In Polystyrene Injection Molding" Polym. Eng. Sci., vol.30, p. 931
- (3) Tomari, K., 1993, "Fracture Toughness of Weld lines in Thermoplastic Injection Molding" polym. eng. sci., mid-august vol.33 no15
- (4) T. Semba, 1999, "Weld line Strength in PC/ABS Injection Molding" intern. polymer Processing vol. 14 no. 4, p. 365
- (5) S. C. Malguamera, 1981, "The Effects of Processing Parameters on the Tensile Properties of Weld lines in Injection Molded Thermoplastics", Polym. Eng. Sci., vol.21 p. 586
- (6) S. C. Malguamera, 1981, "Weld lines Structures and Properties in Injection Molded Polypropylene"

- Polym. Eng. Sci., vol.21, p. 1149
- (7) S. Fellahi, 1995, "Weld line Strength in Injection Molded HDPE/PA6 Blends : Influence of Interfacial Modification.", J. Appl. Polym. Sci., Vol. 57, p. 1319
- (8) S. J. Liu, 1999, "Optimization of the Weld line Strength in Gas-assist Injection Molded Thermoplastics", intern. polymer Processing vol. 14, no. 2, p. 191
- (9). 김용조, 2001, "효과적인 Weldline 제어를 위한 사출 성형 유동해석" 한국공작기계학회논문집, vol.10 no.2