

사출성형 시 성형조건이 웰드라인의 생성에 미치는 영향

김영모^{†,1} · 박영민¹ · 장민규² · 정영득[#]

부경대학교 기계공학부^{†,1} · 부경대학교 기계공학부 대학원² · 부경대학교 기계공학부[#]

Effects of Injection Conditions on the Weld Line Creation in Injection Molding

Young-Mo Kim^{†,1} · Yeong-Min Park¹ · Min-Kyu Jang² · Yeong-Deug Jeong[#]

Undergraduate School of Mechanical Engineering, Pukyong National University^{†,1}

Graduate School of Mechanical Engineering, Pukyong National University²

School of Mechanical Engineering, Pukyong National University[#]

Abstract : Weld line in injection molded part is one of the defects in injection molding process. Weld line deteriorates not only appearance quality but mechanical property. In this study, ABS and PP were used as experimental materials. And weld line length, depth and strength have been examined according to the injection molding conditions. As the results of experimental studies, weld line length increased as flow rate increases for all materials. And the flow rate is most influenced to the creation of weld line length. Also weld line strength increased, as flow rate and melt temperature increase for all materials. The whole experiment results was similar to CAE analysis results.

Key Words : Weld Length, Weld Depth, Injection Molding Conditions, Melt Temperature, Flow Rate

1. 서 론

사출성형은 플라스틱 수지, 고무 및 우레탄 등을 소재로 제품을 성형하는 방법들 중의 하나로 제품 형상을 캐비티로 갖는 금형 내에 용융된 재료를 주입하여 원하는 제품을 만들어내는 방법이다. 사출성형 제품의 성공적인 개발은 오늘날 사출성형 엔지니어들이 직면한 가장 큰 과제중의 하나이다. 제품과 금형 설계의 불합리, 낮은 정밀도의 성형기계 및 성형기술의 낙후 등은 다양한 성형불량의 원인이 된다. 이러한 문제는 플라스틱 재료의 복잡한 특성에서 유래되며, 대다수의 사출성형 제품이 사출성형

특성을 고려하지 않고 설계되기 때문에 더욱 심각해진다.^[1]

사출성형에서 나타나는 결함은 싱크마크(sink), 젯팅(jetting), 플로마크(flowmark), 에어트랩(airtrap), 탄화(burning) 그리고 웰드라인(weld line) 등이 있다. 이러한 성형불량 중에서 웰드라인은 서로 다른 두 개 이상의 유동선단이 만나는 경우 형성 되는데, 이는 성형품의 외관뿐만 아니라 기계적, 구조적특성에도 심각한 영향을 미친다. 따라서 사출성형에서 수지, 금형의 구조 및 공정조건에 따른 웰드라인이 제품에 미칠 수 있는 영향을 충분히 고려해야한다.^[2]

웰드라인의 예측을 위해서는 수지 및 성형조건과 금형구조에 따른 많은 실험과 CAE(Computer Aided Engineering) 시뮬레이션에 의한 실험이 필요하다. 최근에는 Moldflow 사의 MPI(Moldflow

^{†,1}부경대학교 기계공학부

² 부경대학교 기계공학부 대학원

[#] 교신저자 : 부경대학교 기계공학부

E-mail : ydjung@pknu.ac.kr

접수 : 2012. 04. 12. 채택 : 2012. 10. 12.

Plastic Insight)와 같은 CAE 프로그램의 활용은 실제 실험에 필요한 시간과 예산을 줄이는데 크게 기여하고 있다.^[3]

본 연구는 결정성 수지 PP(polypropylene)와 비결정성 수지 ABS(acrylonitrile, butadiene, styrene)를 대상으로 하여 몇 가지 성형조건에 따른 웰드라인의 길이 및 웰드부의 유동선단의 접촉각에 따른 웰드라인의 변화를 사출성형 CAE 프로그램을 이용하여 실험하였으며, 이 결과를 참조하여 실제 사출성형실험을 통하여 웰드라인의 길이, 깊이 및 기계적 강도 변화를 조사하였다.

본 연구의 결과는 사출성형품의 웰드라인의 생성을 최소화하고, 웰드부위의 강도를 최대로 할 수 있는 성형조건을 찾아내어 실제 금형설계와 성형현장에서 적용할 수 있는 기초 자료를 제공하는데 그 목적이 있다.

2. 실험내용 및 방법

2.1. 시편 및 금형형상

사출 성형된 제품에서 웰드라인의 깊이와 길이, 기계적 특성을 알아보기 위하여 Fig. 1 과 같이 두 가지 시편을 사용하였다. Fig. 1 (a)는 인장시험용 시편(이하 인장시편)으로써 ASTM D638의 규격을 따랐다. 성형조건에 따른 웰드라인의 강도를 비교하기 위해 양측에 게이트를 두었고, 웰드라인이 없는 시편을 성형하기 위해 한쪽 러너를 막아서 성형할 수 있는 구조의 실험금형을 설계, 제작하였다. Fig. 1 (b)는 성형조건에 따른 사각구멍 뒤에 생기는 웰드라인의 길이와 깊이를 파악하기 위한 시편(이하 인서트코어 시편)으로써 사각구멍은 게이트에서 시편길이의 약 1/3 지점에 두었다.

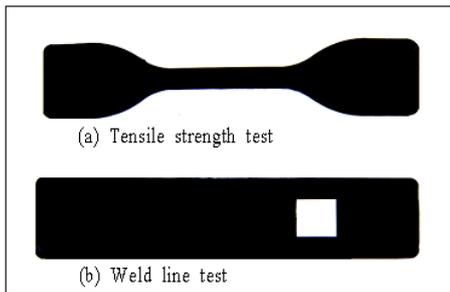


Fig. 1 Experimental specimens

Fig. 2는 콜드슬러그웰(cold slug well)이 있는 사다리꼴 단면의 러너를 갖는 금형의 캐비티 형상을 나타낸다. 사다리꼴 러너는 상측 폭은 6.2 mm, 하측 폭은 5 mm, 높이는 4 mm이다. 게이트는 모든 시편에서 팬 게이트(fan gate)를 사용하였고 폭은 12.2 mm, 두께는 2 mm이다.



Fig. 2 A cavity shape of experimental mold

2.2. 재료

사출성형에 사용되는 플라스틱 재료는 대부분 열가소성 수지(thermoplastic resin)로 열가소성 수지는 다시 결정성 수지(semi-crystalline resin)와 비결정성 수지(amorphous resin)로 나뉜다. 결정성 수지는 명확한 용점을 갖고, 고분자 폴리머(polymer)가 조밀한 결정을 이루기 때문에 냉각 시 수축이 큰 특성이 있다. 이에 반해 비결정성 수지는 용점이 불분명하고 비교적 수축이 작은 특성이 있다. 본 연구에서는 결정성 수지와 비결정성 수지의 웰드라인 특성을 관찰하기 위하여 결정성 수지는 PP를, 비결정성수지는 ABS를 사용하였다. PP수지는 GS Caltex 사의 Hi-Prene M540을, ABS수지는 Basf 사의 Terluran GP-22를 사용하였다.

2.3. 사출성형조건

사출성형조건 중에서 웰드라인에 영향을 주는 인자로는 금형온도, 수지온도, 사출속도, 보압 등이 있는 것으로 알려져 있다.^[4] 본 연구에서는 웰드라인의 길이와 깊이를 알아보기 위해 수지온도, 사출속도, 보압의 세 가지 성형조건을 실험조건으로 선택하였다. 각 조건별로 수지에 맞는 기준조건을 선정하여 수지온도는 기준조건에서 $\pm 20^{\circ}\text{C}$ 범위를, 사출속도는 $\pm 30\%$ 범위를, 보압은 $\pm 40\%$ 범위를 실험조건으로 선정하였다. CAE에서는 선정된 조건변화에

따른 모든 경우에 대하여 해석을 수행하였으며, 이 CAE 해석결과 중에서 실제 성형조건을 3가지씩 선정하였다. Table 1은 실제 성형조건을 정리한 것이며, 음영 처리된 조건은 각 수치별 기준조건을 나타낸다.

Table 1 Injection molding conditions

Condition	Unit	ABS	PP
Melt Temperature	℃	230	210
		240	220
		250	230
Flow Rate (Max.206 cm ³ /s)	%	35	35
		50	50
		65	65
Packing Pressure (Max.1550 kg/cm ²)	%	40	40
		60	60
		80	80

2.4. 사출성형 CAE 실험 및 실제 사출방법

사출성형CAE 프로그램은 Moldflow MPI 6.1을 사용하였다. 사출성형시 발생하는 웰드라인 현상과 성형조건과의 관계를 알아보기 위하여 실제 금형과 동일한 시편과 러너를 모델링 하였다. 메쉬 타입은 미드플랜 메시(mid plane mesh)를 사용하여 성형해석을 수행하였다. Fig. 3은 사출성형해석에 사용된 메시모델을 나타낸 것이다.

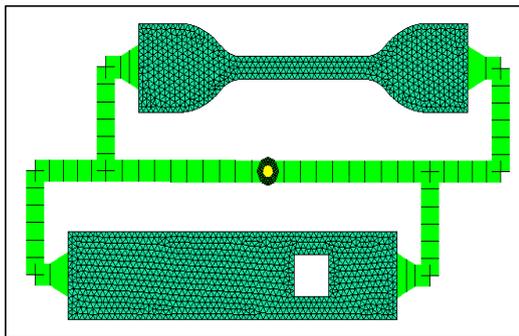


Fig. 3 A shape of mesh model

사출실험에 사용된 실험 장비는 LG 사출성형기 (IDE 140 EN)를 사용하였다. 사출기의 최대 형체력은 140 ton이며, 최대 사출용량은 10 oz이다. 최대

사출속도는 206 cm³/s이며, 스크류의 직경은 45 mm이다. 웰드의 강도측정을 위해 플라스틱 만능인장시험기를, 웰드의 깊이를 측정하기 위해서는 Time group Inc.의 Hand-held Roughness Tester TR200을 각각 사용하였다.

인장시험에서 시험 속도는 50 mm/min를 사용하였고, 최대인장하중은 2000 N, 최대 인장길이는 150 mm로 모든 시편에 동일하게 적용 하였다. 웰드라인 측정에서는 CAE 해석결과에 결과를 참조하여 위치를 선정하였다. 웰드라인의 깊이와 길이 측정을 위하여 웰드라인의 시작 지점인 사각 구멍에서부터 1 mm씩 간격을 두어 표면 조도를 측정하여 웰드라인이 없는 부위의 표면 거칠기의 값이 나타날 때까지 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1. 인서트코어 시편의 웰드라인 길이

Fig. 4는 인서트코어 시편의 사출속도에 따른 웰드라인 길이변화를 보여준다. ABS와 PP 모두 사출속도가 빠를수록 웰드라인의 길이가 증가하는 경향을 보였으며, PP보다 ABS가 그 증가폭이 더 크다. 그러나 수지온도와 보압은 웰드라인의 길이에 별다른 영향을 주지 않았다. 사출속도가 빠를 때 웰드라인의 길이가 길어지는 것은, 빠른 사출속도가 용융수지의 유동선단의 온도의 감소 없이 빠른 유동이 진행되어 유동선단의 접촉 길이를 더 연장시킬 수 있기 때문이라 생각한다.

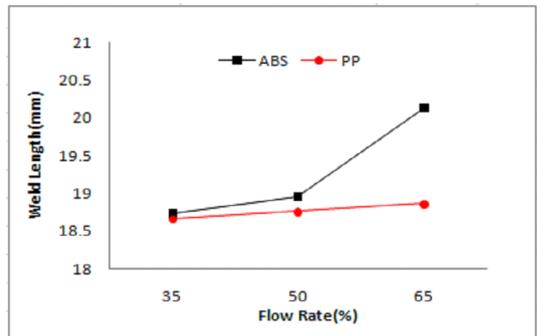


Fig. 4 Weld length vs. flow rate

3.2 인서트코어 시편의 웰드라인 깊이

Fig. 5는 CAE 해석결과에서 나타난 웰드라인의 각 위치별 접촉각을 보여준다. ABS와 PP 모두 사각 구멍의 후면으로부터 3 mm 떨어진 지점에서 접촉각이 가장 작은 값을 나타내었다. 수지온도와 보압은 웰드라인의 접촉각에 영향을 주지 않았으며, PP와 ABS의 수지종류의 차이에 따라서는 접촉각의 변화에 크게 영향을 주지 않았다.

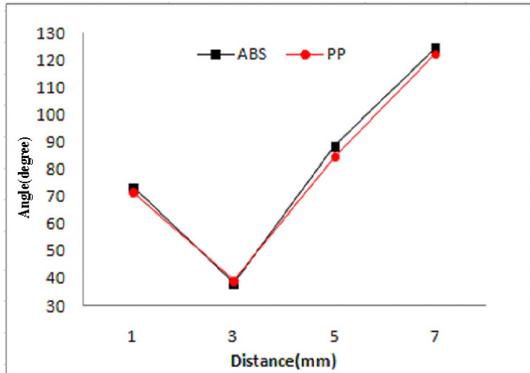


Fig. 5 Weld angle vs. flow distance

Fig. 6은 웰드라인의 각 위치별 깊이를 보여준다. ABS와 PP 모두 웰드라인의 깊이가 사각구멍의 후면으로부터 3 mm 떨어진 지점에서 가장 깊게 나타났다. 웰드라인 접촉각에 대한 CAE 해석결과는 수지의 종류와 관련이 없었던 것과는 달리 ABS의 웰드라인의 깊이가 PP보다 더 깊게 나타나는 경향을 보였다.

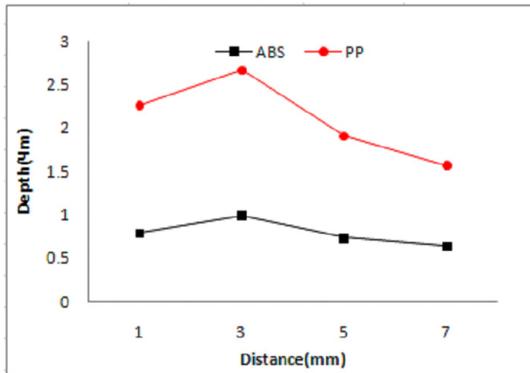


Fig. 6 Weld depth vs. flow distance

알려진 바와 같이 수지의 접촉각이 작을수록 웰

드라인의 깊이는 깊어지는 것으로 나타났다. 또한 최초 웰드라인 형성 후 웰드라인을 따라 계속 유동이 발생하면서 웰드라인의 깊이가 얕아지는 웰드라인의 발생 메커니즘에 따라 웰드라인의 깊이가 가장 깊은 위치는 웰드라인이 형성된 후 가장 빨리 고화되는 용융수지의 최초 합류지점인 것으로 나타났다.

3.3. 인장 시편의 강도 측정

Fig. 7은 수지온도에 따른 ABS와 PP 인장시편의 인장강도를 나타낸 것이다. ABS와 PP 모두 수지온도가 증가할수록 강도가 증가하는 경향을 보였다. PP의 경우 수지온도가 너무 높으면 강도가 감소하는 경향을 보였다. 이러한 결과는 웰드라인 강도에 대한 다른 연구^[5] 결과와 유사한 것으로 PP수지의 경우 비교적 온도에 민감하기 때문에 높은 수지온도에서 점도 변화율이 커지므로, 이에 따라 웰드라인 부위의 접합성이 감소하여 강도가 감소되는 것으로 사료된다.

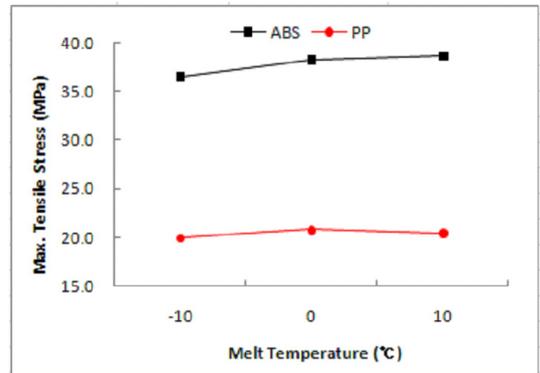


Fig. 7 Max. tensile stress vs. melt temperature

Fig. 8은 사출속도에 따른 인장강도를 나타낸 것이다. ABS와 PP 모두 사출속도가 빠를수록 인장강도가 증가하는 경향을 보였다. 사출속도가 빠를 때 웰드라인 강도가 더 강해지는 것은 용융수지가 더 빨리 캐비티 내부를 채우므로 용융수지의 온도가 높은 상태로 유지되어 고화층이 더 얇게 형성되기 때문에 웰드라인의 깊이가 얕아지게 되어 인장강도가 증가하는 것으로 판단된다.

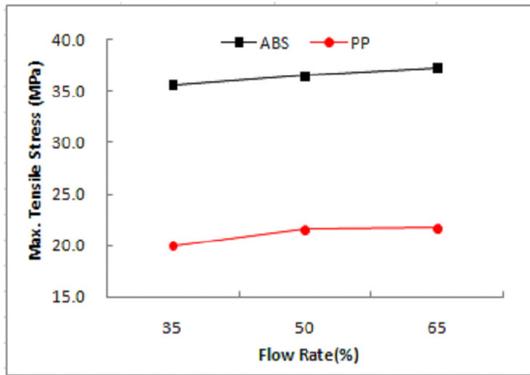


Fig. 8 Max. tensile stress vs. flow rate

Fig. 9는 각 수지별 인상시편의 웰드라인 유무에 따른 인장강도를 비교하여 나타낸 것이다. 알려진 바와 같이 웰드라인이 발생하였을 때는 웰드라인이 없을 때의 90 %이상의 강도를 유지하였으며, 실험 조건 내에서는 수지별로 3~5 %의 강도변화를 보였다. 이는 올바른 성형조건에 의해 성형품의 기계적 성질이 향상될 수 있음을 보여주는 결과라 사료된다.

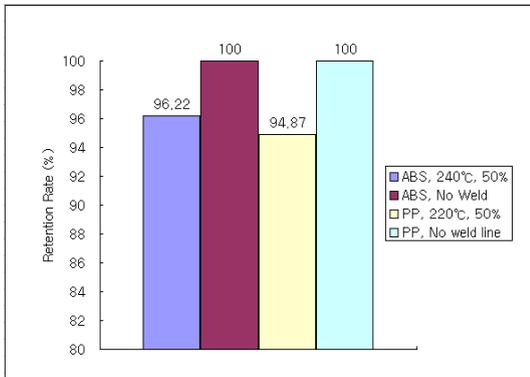


Fig. 9 Retention rate of tensile strength according to weld line

4. 결론

본 연구는 ABS, PP 수지를 대상으로 사출성형에서 수지와 성형조건에 따라 나타나는 사출성형품의 결함 중의 하나인 웰드라인이 어떻게 변화하는지에 대해 실험적 연구를 수행하였다.

본 연구의 주요한 결과는 다음과 같다.

(1) 웰드라인의 길이는 사출속도가 증가할수록 길어지며, 수지온도와 보압에는 영향을 받지 않았다.

(2) 웰드라인의 깊이는 용융수지의 최초합류지점인 측정 위치에서 가장 깊으며, 수지온도, 사출속도 및 보압에는 큰 영향을 받지 않았다. 또한, PP가 ABS 수지보다 웰드의 깊이가 더 깊게 나타났다.

(3) 웰드부위의 인장강도는 사출속도와 수지온도가 높을수록 증가하며, 보압에는 영향을 받지 않았다.

참고문헌

- 1) 정영득, 박태원, 김현필, “플라스틱 성형을 위한 알기쉬운 금형설계”, 도서출판 인터비전, pp. 333 ~ 341, 2003.
- 2) John P. Beaumont, “Runner and Gating Design Handbook”, Hanser Publishers, pp. 268.
- 3) 정영득, 구분홍, “사출성형해석에 의한 제품 및 금형설계”, 도서출판 인터비전, pp. 239 ~ 246, 2005.
- 4) 신남호, 오희성, 강승규, “CAE을 응용한 사출성형 최적화”, 도서출판 대광서림, pp. 211 ~ 222, 2003
- 5) 모정혁 · 홍영식 · 류민영, “사출성형품의 웰드라인 강도에 관한연구” 한국소성가공학회 논문집, pp. 211 ~ 216, 2003.