

국부 금형가열에 조건에 따른 사출성형품 웰드라인의 강도 고찰

Investigation of Weldline Strength with Various Heating Conditions

박근^{1,✉}, 손동휘², 서영수²
Keun Park^{1,✉}, Dong-Hwi Sohn² and Young-Soo Seo²

¹ 서울산업대학교 기계설계-자동화공학부 (Mechanical Design and Automation Engineering, Seoul National Univ. of Technology)

² 서울산업대학교 기계설계-자동화공학부 원 (Mechanical Design and Automation Engineering, Seoul National Univ. of Technology)

✉ Corresponding author: kpark@snu.ac.kr, Tel: 02-970-6358

Manuscript received: 2009.7.27 / Accepted: 2009.10.23

Weldlines are generated during the injection molding process when two or more melt flows are brought into contact. The weldlines are unavoidable in the cases of presence of holes or inserts, multi-gated delivery systems, significant thickness change, etc. At the welded contact region, a 'V'-shaped notch is formed on the surface of the molded part. This 'V'-notch deteriorates not only surface appearance but also mechanical strength of the molded part. To eliminate or reduce weldlines so as to improve the weldline strength, the mold temperature at the corresponding weld locations should be maintained higher than the glass transition temperature of the resin material. The present study implements high-frequency induction heating in order to rapidly raise mold surface temperature without a significant increase in cycle time. This induction heating enables to local mold heating so as to eliminate or reduce weldlines in an injection-molded plastic part. The effect of induction heating conditions on the weldline strength and surface appearance of an injection-molded part is investigated.

Key Words: Injection Molding (사출성형), Weldline (웰드라인), High-frequency Induction Heating (고주파 유도가열), Local Mold Heating (국부 금형가열), Tensile Strength (인장강도)

1. 서론

사출성형은 복잡한 형상의 고분자 제품을 제작할 수 있는 생산기술로서 다양한 산업분야에서의 플라스틱 부품 제조에 널리 사용되며, 제품의 경량화와 생산성 향상을 위해 가전, 이동통신, 자동차 분야의 외관 제품의 제조에 많이 사용되고 있다. 최근 첨단부품의 개발추세를 살펴보면 미세한 패턴이 추가되고 기능성 재료가 함유된 고분자 복합재료의 사출이 증가하고 있으며, 환경규제에 따른 무도장 사출 기술이 요구되면서 웰드라인(Weld line)과 흐름자국(Flow mark) 등 표면 결함을 줄이는 사출기술에 대한 관심이 증가하고 있다.

이중 웰드라인은 사출성형 과정에서 상호간에 분리되어 있는 유동선단(Flow front)이 서로 다른 방향에서 이동하다가 만날 때 형성된다. 사출성형에서 웰드라인은 다점 게이트를 사용할 경우, 제품에 구멍이나 인서트 존재하는 경우, 제품의 두께가 극심하게 변화되어 유동의 정체 발생하는 경우 등에 생성된다. 웰드라인이 발생한 부위는 마치 크랙(Crack)과 같이 보여 외관상 좋지 않다. 따라서 외관 제품의 경우 제품 표면에 웰드라인이 발생하면 도장 등의 후공정을 통해 웰드라인을 보이지 않도록 처리해주는데, 이러한 과정에서 부가적인 경비와 시간이 소요되는 단점이 있다 또한 웰드라인 발생부위에서는 'V'자 형태의 노치

(Notch)가 발생하며, 이러한 취약부위는 제품의 기계적 특성 저하는 물론 증착, 도장, 도금 등 후공정에 여러가지 문제를 유발하게 된다.

사출성형에서의 웰드라인 발생 및 기계적 특성에 미치는 영향을 분석하기 위한 연구가 수행되었다. Malguarnera 등¹²은 사출성형 변수가 웰드라인의 특성에 미치는 영향에 대한 연구를 수행하였다. Tomari 등³은 웰드부위에서 발생하는 ‘V’자 형태의 노치가 인장강도에 미치는 영향을 분석하였으며, 사출압 및 보압의 증가가 웰드라인의 강도를 증가시킴을 확인하였다. 또한 사출성형시 발생하는 웰드라인의 개선을 위해 사출성형 해석과 최적화기법을 연계하여 웰드라인을 최소화시킬 수 있는 게이트의 위치와 개수를 선정하기 위한 연구가 수행되었다.^{4,5}

한편 웰드라인을 개선하기 위한 성형조건외의 고찰에 관한 연구도 수행되었는데, 일반적으로 수지 온도 및 금형온도를 증가시켜 웰드 발생위치에서의 유동선단의 온도를 높여주는 방안이나 사출압 및 사출속도를 높여 웰드 생성부에서의 유동선단간의 결합력을 증가시키는 방법이 있다.^{6,7} 이중 금형을 유리전이온도 이상으로 가열하는 방법이 소형 제품의 웰드라인 감소에 가장 효과적인 것으로 알려져 있으나,⁸ 금형의 가열과 냉각에 소요되는 시간이 상대적으로 길어 생산성이 저하되는 문제점이 있다.

본 연구에서는 이러한 문제점을 극복하기 위해 고주파 유도가열(High-frequency induction heating)을 사용하여 금형온도를 증가시킴으로써 웰드라인을 개선하는 방안에 대해 연구하고자 한다. 고주파 유도가열은 사출금형에 고주파 전류를 인가할 때 금형표면에 전류가 집중되는 표피효과(skin effect)를 이용하여 금형표면을 급속으로 가열하는 기법으로, 최근들어 박육 사출성형⁹ 및 마이크로 형상의 성형성 향상,¹⁰ 웰드라인 향상,¹¹ 사출성형품의 기계적 물성 향상¹² 등에 응용되고 있다. 본 연구에서는 인장시편 형태의 사출금형에 고주파 유도 가열 기법을 적용하여 웰드라인 생성부를 국부적으로 가열하고, 가열조건에 따른 성형품의 웰드라인 형상 및 강도 특성을 고찰해보고자 한다.

2. 고주파 유도가열을 사용한 급속 금형가열

2.1 고주파 유도가열의 개요

고주파 유도가열은 교반자계 내부에 놓여있는

도전성 물체 내에 발생하는 와전류손 또는 히스테리시스손을 이용하여 피가열체를 가열시키는 방식이다. 피가열체가 도체인 경우 고주파 유도가열에 의해 피가열체의 표면에 와전류(Eddy current)가 유도되고 이로 인한 저항 손실에 의해 표면에 열이 발생된다. 따라서 피가열체에 에너지를 짧은 시간에 인가할 수 있으므로 급속 가열이 가능하고 표면층만을 가열할 수 있다는 장점이 있다.

본 연구에서는 사출금형의 급속가열을 위한 고주파 유도가열 시스템을 구축하였다. 구성 요소를 살펴보면 고주파 가열기, 가열코일, 코일이 연결된 보조 컨트롤 박스, 냉각장치 및 데이터 처리장치로 구성된다.¹³ 실험에 사용된 고주파 가열기는 (주)백마고주파의 BMHF-P227 모델을 사용하였으며, 출력전력은 최대 15 kW 이다. Fig. 1 에 사출금형 가열을 위한 유도가열 과정을 도시하였다. 금형이 열린 상태에서 가열코일을 삽입하여 코어부분 주변에 위치시킨 후 가열을 실시하며, 가열이 완료된 후 코일을 제거하고 금형을 닫은 후 사출을 실시한다. 실험장치는 고주파가열기 및 보조 컨트롤 박스를 이동식 프레임에 장착하여 사출성형기에 삽입이 가능하도록 구성하였다.

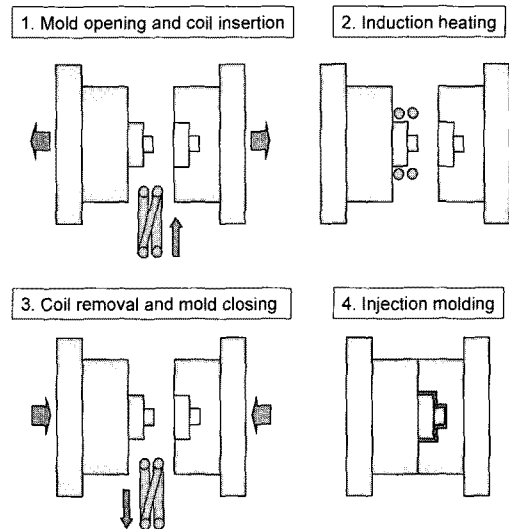


Fig. 1 Induction heating process for an injection mold¹³

2.2 고주파 유도가열시 금형가열 효과 고찰

본 연구에서는 고주파 유도에 의한 금형가열 효과를 고찰하기 위해 고주파 유도가열 과정의 유한요소 해석을 실시하였다. 유도가열 과정을 해석

하기 위해서는 일차적으로 유도전류에 의한 전자기장(Electromagnetic field)을 계산하고, 피가열체 내부에 발생하는 저항열을 계산한 후 이를 이용하여 열전달 해석을 수행하는 전자기-열 연계 해석을 실시해야 한다.¹³ 본 연구에서는 상용 유한요소해석 프로그램인 ANSYS™를 사용하여 전자기장 해석과 열전달 해석을 연계하여 수행하였다.

Fig. 2 에 가열부의 개념도 및 주요 치수를 도시하였다. 피가열체는 금형 평판에 해당하며, 재질은 금형강(NAK50)을 사용하였고 이를 외경 8mm 의 구리 코일이 총 6 회 권선되어 둘러싸고 있다. Table 1 에 고주파 유도가열 해석을 위한 금형강 및 코일의 열적 및 전자기적 물성을 요약하였다. 유도가열 과정을 해석하기 위한 경계 조건으로는 코일에 221A, 160kHz 의 고주파 전류를 3 초간 인가하였다. 금형의 초기온도는 70℃로 설정하였고, 가열후에는 자연대류 상태에서 4 초간 냉각해석을 실시하였다.

Fig. 3(a)에 전자기장 해석 결과로부터 얻어진 자속선(flux line)의 분포를 도시하였다. 코일에서 발생된 자기장이 상대적으로 투자율이 높은 금형을 투과하지 못하고 표면에 흡수됨을 알 수 있는데, 흡수된 교변자장은 결과적으로 표면부위에 와전류를 형성하여 표면의 온도 상승을 유발하게 된

Table 1 Electromagnetic and thermal properties for induction heating analysis

Material	Steel	Copper
Material Density (kg/m ³)	7.78	8.96
Specific heat (J/kg-K)	460	385
Thermal conductivity (W/m-K)	28.3	385
Resistivity (x 10 ⁻⁶ Ω-m)	0.625	0.170
Relative permeability	400	1.0

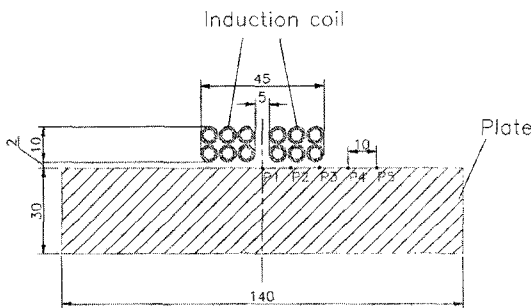
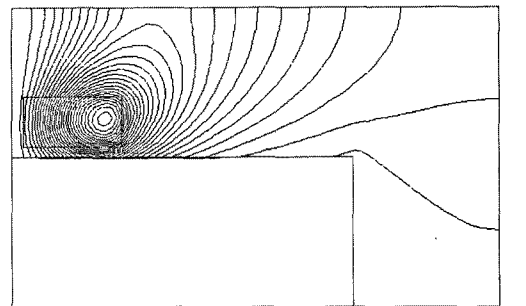
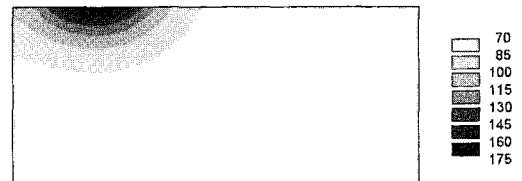


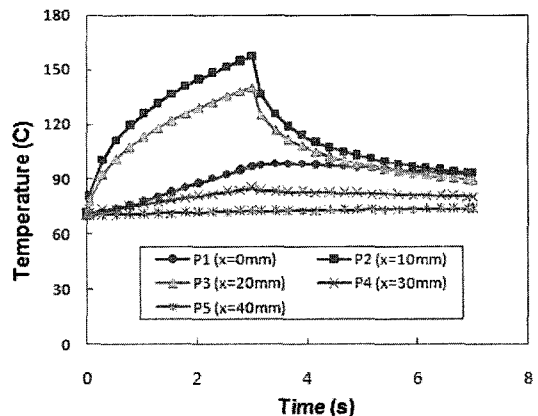
Fig. 2 Schematic description of the heating section



(a)



(b)



(c)

Fig. 3 Finite element analysis results: (a) magnetic flux lines, (b) temperature distribution at the end of the heating stage (unit: °C), and (c) temperature variation at various locations

다. 금형 표면에 유도된 와전류에 의한 저항열 성분을 열원으로 하여 비정상상태 열전달 해석을 수행하였다. Fig. 3(b)에 3 초 경과시, 즉 가열 직후의 금형의 온도분포를 도시하였다. 온도분포를 살펴보면 금형 상측 표면에서 최대 166.5℃까지 상승되는 것으로 나타나는 반면 금형의 하단 및 측면부 온도는 80℃ 이하로 나타나 금형 코어의 성형부 표면을 집중적으로 가열하고자 하는 의도에 부

합함을 확인할 수 있었다. Fig. 4 에 금형의 고주파 가열 실험시 열화상카메라로 측정된 금형표면의 온도분포를 도시하였다. 온도분포를 관찰하면 코일 내부의 코어 외측에서 온도상승이 두드러지게 발생하는 점이 해석결과와 유사함을 알 수 있었다.

또한 금형의 위치별 온도변화를 고찰하기 위해 금형표면 중앙부에서부터 10mm 간격으로 5 개의 지점(Fig. 2 참조)에서의 시간대별 온도변화를 Fig. 3(c)에 그래프로 도시하였다. 그래프를 보면 코일과 인접한 P₂(x = 10mm) 및 P₃(x = 20mm)지점에서는 가열시간동안 온도가 급격하게 상승하고 이후 빠른 속도로 감소함을 확인할 수 있었다. 한편 중앙부(P₁)의 경우 가열시간 동안의 온도상승폭이 상대적으로 적었으나, 가열직후 냉각 역시 더디게 진행됨을 알 수 있다. 이는 코일에 의한 가열부가 가열후 냉각되는 과정에서 발생하는 열전도에 기인한 것으로 분석된다. 반면에 코일로부터 멀리 떨어져있는 P₄(x = 30mm) 및 P₅(x = 40mm) 지점의 경우 온도의 변화가 적어 유도가열의 효과가 미미한 것으로 판단할 수 있다. 이러한 결과로부터 가열하고자 하는 부위에 코일이 근접할 수 있도록 코일을 설계해야 함을 알 수 있다.

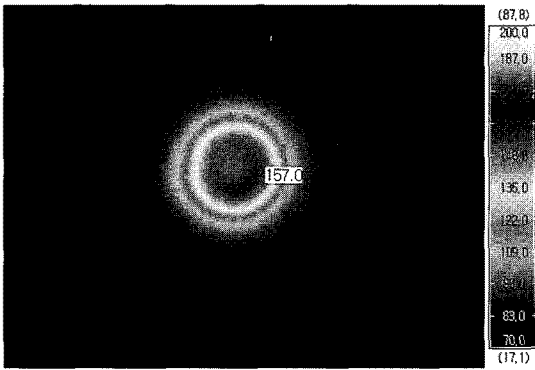


Fig. 4 Experimentally-measured temperature distribution at the end of the heating stage

3. 금형가열에 의한 웰드부 강도 개선

3.1 인장시편 금형의 유도가열 및 사출성형

본 연구에서는 고주파 유도가열을 적용하였을 경우 웰드라인의 형상 및 강도의 변화를 고찰하고자 한다. 이를 위해 Fig. 5 와 같이 인장시편(ASTM D608 규격)을 성형할 수 있는 사출금형을 제작하였다. 이때 웰드라인의 유/무에 따른 강도비교를

위해 게이트를 한쪽/양쪽으로 변경할 수 있도록 금형을 제작하였다. 또한 유동의 균형을 위해 반대측에서 동일한 부피를 갖는 사각 바(bar) 형태의 시편을 추가하였다.

인장시편 사출품의 웰드라인 발생부위 관찰을 위해 온수를 사용하여 금형온도를 100℃로 유지한 상태에서 시사출을 실시하였다(Fig. 6 참조). 수지는 PC(제일모직 EH-1050)를 사용하였으며, 사출온도는 280℃, 사출시간은 1 초로 설정하였다. 게이트는 양쪽 모두를 사용하여 중앙부에서 웰드라인이 발생하도록 하였다. 고주파 가열실험 조건은 주파수는 160kHz, 인가전류는 221A, 가열시간은 3 초로 설정하였다.

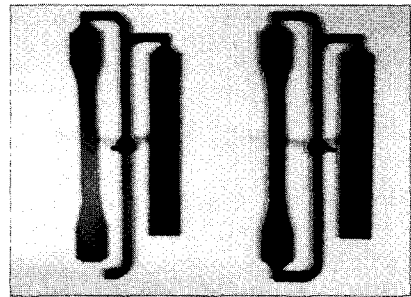


Fig. 5 Tensile specimens with single/double gates



Fig. 6 Injection molding experiment with the aid of induction heating

3.2 가열조건에 따른 웰드부 형상비교

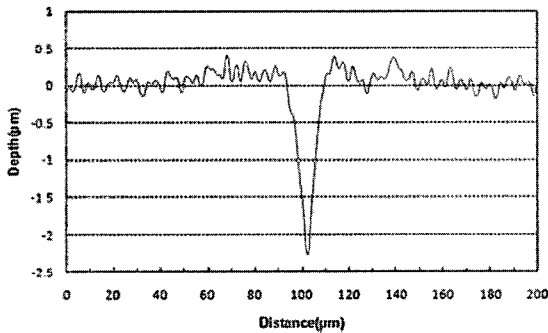
고주파 가열에 따른 웰드라인의 감소를 정량적으로 고찰하기 위해 웰드라인 발생부위에 대한 표면조도를 측정하였다. 표면조도 측정에는 TESA 의 RugoSurf 90G(분해능 0.001μm)를 사용하였다. Fig. 7 에 고주파가열 유/무에 따른 웰드부의 표면조도 측정결과를 비교하였다. Fig. 7(a)는 온수를 사용하여 금형온도를 100℃로 유지한 경우 발생된 웰드부의 표면조도를 측정한 결과이다. 측정된 웰드부

의 깊이는 2.15 μm 이며, 폭은 15.93 μm 에 해당한다. Fig. 7(b)는 고주파 유도가열을 3 초간 실시한 경우 웰드부의 표면조도를 측정된 결과로 깊이는 0.27 μm , 폭은 5.62 μm 에 해당하며, (a)의 경우에 비해 획기적으로 감소하였음을 알 수 있다.

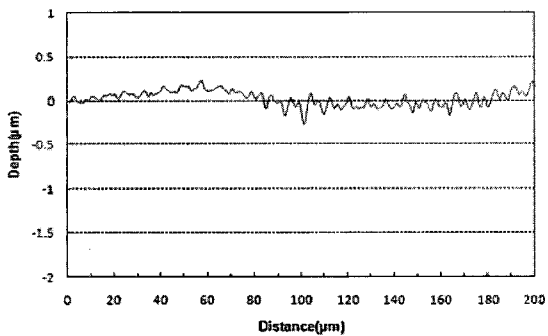
보다 정량적인 비교를 위해 가열조건에 따른 웰드부의 주요 치수(폭 및 깊이)의 변화를 Table 2 에 요약하였다. 가열방법은 금형이 열린 상태에서

가동측만을 가열한 경우(단면가열)와 코일을 삽입한 상태에서 금형의 형개량을 조절하여 고정측과 가동측 모두를 가열한 경우(양면가열)로 구분하여 실시하였다. 이때 금형면과 코일간의 간격은 2mm 이하로 조절하였다. 성형품의 상측(고정측 성형부)과 하측(가동측 성형부)에 대해 웰드부의 표면조도를 측정하였다.

측정결과를 보면 고주파가열을 실시하지 않은 경우 상측과 하측 모두 웰드라인의 깊이는 1 μm , 폭은 15 μm 이상임을 알 수 있다. 단면가열의 경우 금형가열이 실시된 하측의 경우 깊이가 0.270 μm 로 감소된 반면 가열이 이루어지지 않은 상측의 경우 0.902 μm 로 차이가 크게 나타났다. 반면에 양측가열의 경우 하측 0.288 μm , 상측 0.549 μm 로 감소하였는데, 이러한 결과로부터 웰드부의 강도를 효과적으로 향상시키기 위해서는 양측 모두를 가열해야 함을 알 수 있다.



(a)



(b)

Fig. 7 Measured surface profiles at the weld region: (a) without induction heating and (b) with induction heating

Table 2 Comparison of the size of weldline with various heating conditions

Heating Conditions	Weld position	Weld size (um)	
		depth	width
without induction heating	Upper	1.403	16.43
	Lower	2.145	15.93
Induction heating (single-side)	Upper	0.902	12.90
	Lower	0.270	5.62
Induction heating (double-sides)	Upper	0.549	8.33
	Lower	0.288	6.87

3.3 가열조건에 따른 인장강도 비교

앞절에서 기술된 다양한 가열조건에서 성형된 인장시편을 사용하여 인장시험을 실시하였다. 인장시험은 Instron 8516 장비(최대하중 10ton)를 사용하여 상온에서 실시하였다. 인장시험 속도는 3mm/min 로 설정하였으며, 조건별 5 회씩 실험을 실시하였다. 우선적으로 웰드라인의 발생으로 인한 강도저하 정도를 분석하기 위해 1 점 게이트일 때(웰드라인 미발생)와 2 점 게이트일 때(시편 중앙부 웰드라인 발생)의 인장강도 결과를 비교하였다. 1 점 게이트의 경우 인장강도가 546.85 kgf/mm² 로 측정된 반면 2 점 게이트, 즉 웰드라인이 발생된 경우 525.19kgf/mm² 로 측정되어 21.66kgf/mm² 만큼(4%)의 강도저하를 보였다. Fig. 8 에 각각의 경우에 따른 인장강도를 그래프로 비교하였다.

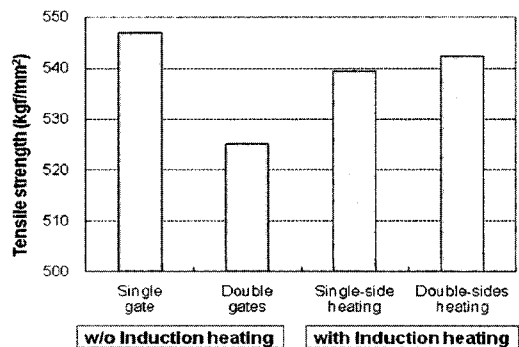


Fig. 8 Comparison of measured tensile strength

다음으로는 고주파 유도가열을 적용한 상태에서 2 점 게이트로 사출성형을 수행하여 인장시편을 제작하였다. 3.2 절에 기술된 바와 같이 가동측만을 가열한 경우(단면가열)와 고정측과 가동측 모두를 가열한 경우(양면가열)로 구분하여 인장시험을 실시하였다. 우선 단면가열을 실시한 경우 인장강도가 539.34kgf/mm² 로 측정되어 고주파가열을 실시하지 않은 경우에 비해 14.15kgf/mm² 만큼의 강도향상을 확인할 수 있었다. 한편 양면가열의 경우 542.30kgf/mm² 로 측정되어 단면가열의 경우에 비해 소폭(2.96 kgf/mm²)으로 강도가 증가되었음을 알 수 있다. 이러한 결과로부터 고주파유도를 사용한 국부 금형가열이 웰드라인의 외관향상은 물론 웰드부의 응력집중을 완화시켜 성형품의 강도를 향상시킴을 확인할 수 있었다.

4. 유리섬유 함유 수지의 인장강도 고찰

4.1 유리섬유 함유수지를 사용한 사출성형 및 가열조건에 따른 인장강도 비교

유리섬유 강화 플라스틱(Glass fiber reinforced plastic)은 고분자수지를 유리섬유와 함께 중합시킨 것으로 플라스틱 제품의 강도 향상을 위해 많이 사용되고 있다. 유리 섬유를 함유한 수지의 사출성형시 유동의 방향에 따라 유리섬유의 배향(fiber orientation)이 발생하게 되며, 이로 인해 제품의 이방성이 발생한다. 즉 유리섬유의 방향으로는 강도가 우수한 반면 수직방향으로는 강도가 상대적으로 떨어지는 특성을 갖는다. 이러한 이방성으로 인해 유리섬유를 함유한 수지의 사출성형시 웰드부에서 발생하는 섬유배향에 의해 추가적인 강도저하가 발생하는 것으로 알려져 있다.^{14,15}

인장시편 사출품의 웰드라인 발생부위 관찰을 위해 온수를 사용하여 3 장과 동일한 금형을 사용하여 사출을 실시하였다. 수지는 유리섬유를 30% 함유한 Polycarbonate(제일모직 EH-3300)를 사용하였으며, 사출온도는 290℃, 사출시간은 1 초로 설정하였다. 게이트는 양쪽 모두를 사용하여 중앙부에서 웰드라인이 발생하도록 하였으며, 고주파 가열실험 조건은 3 장과 동일하게 설정하였다. 또한 웰드라인의 발생으로 인한 강도저하 정도를 분석하기 위해 1 점 게이트만을 사용하여 시사출을 실시하였다. Fig. 9 에 각각의 경우에 따른 인장강도를 그래프로 비교하였다.

1 점 게이트의 경우 인장강도가 1201.6kgf/mm²

로 측정된 반면 2 점 게이트, 즉 웰드라인이 발생된 경우 954.0kgf/mm² 로 측정되어 247.6kgf/mm² 만큼의 강도저하를 보였다. 이는 웰드라인이 없는 경우의 인장강도(1201.6kgf/mm²)의 20.6%에 해당하며, 유리섬유를 포함하지 않은 경우 웰드라인에 의한 강도저하가 4.0%였던 점(3.3 절 참조)을 감안하면 훨씬 두드러짐을 알 수 있다. 한편 고주파 유도가열을 실시한 경우(단면가열)에 인장강도가 838.8kgf/mm² 로 측정되어 고주파가열을 실시하지 않은 경우보다 오히려 낮음을 알 수 있다. 양면가열을 실시한 경우 846.4kgf/mm² 로 다소 향상되기는 하였으나 여전히 고주파 유도가열을 실시하지 않은 경우보다 낮게 측정되었다.

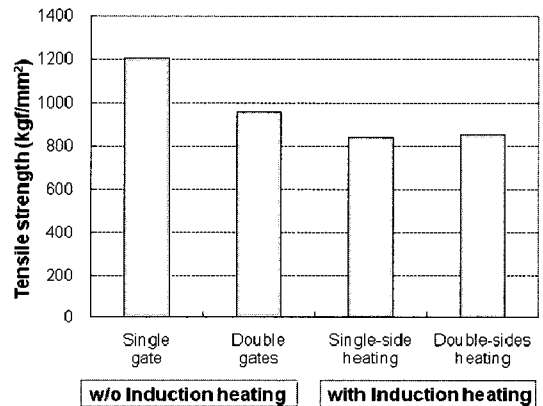


Fig. 9 Comparison of measured tensile strength

4.2 결과분석 및 고찰

4.1 절에서 기술한 바와 같이 유리섬유를 함유한 수지의 경우 웰드라인에 의한 강도저하(21.6%)가 일반 수지의 경우(4.0%)에 비해 크게 나타났다. 이러한 차이는 일반 수지의 경우 웰드부에서의 강도저하의 주 원인이 'V'자 형태의 노치에서 발생하는 응력집중인 반면, 유리섬유 함유 수지의 경우 응력집중과 섬유배향 효과가 복합적으로 작용하기 때문인 것으로 분석된다.

이를 보다 심도있게 고찰하기 위해 인장시편 사출성형과정의 충전과정에 대한 유동해석을 실시하였다. 해석은 Moldflow Plastic Insight®5.0 을 사용하였으며, 박막요소(shell element)로 격자를 구성하여 진행하였다. Fig. 10 에 해석결과로부터 얻어진 절점에서의 유동속도를 벡터로 도시하였으며, 특히 웰드부에서의 속도분포를 확대하여 도시하였다. 속도분포를 보면 전반적으로 길이방향으로 유동속

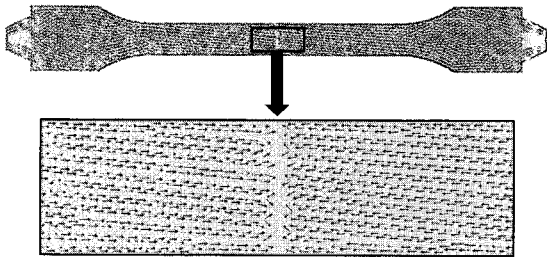
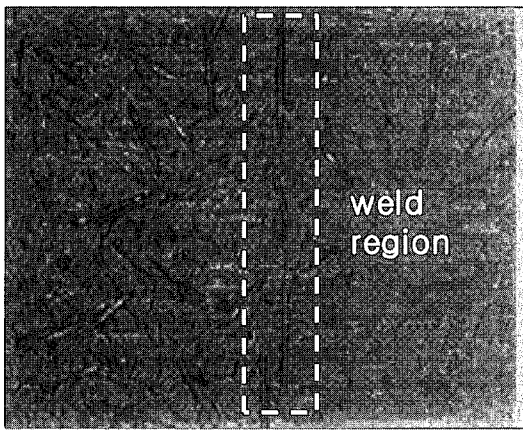
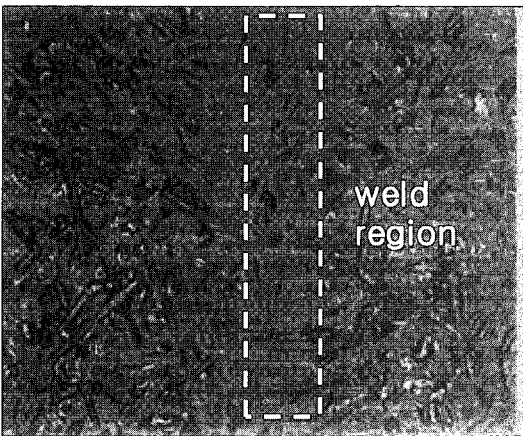


Fig. 10 Velocity vector distribution around the weld region



(a)



(b)

Fig. 11 Photographs of part surface at the weld region: (a) without induction heating and (b) with induction heating

비례함을 감안할 때, 유리섬유의 분포 역시 유동 속도벡터와 유사한 것으로 판단되고, 결과적으로 웰드부에서 유리섬유가 수직방향으로 분포하게 되어 해당 위치에서의 강도저하가 두드러지는 것으로 유추할 수 있다.

한가지 특이한 점은 고주파가열을 실시한 경우 오히려 강도가 저하된 결과인데(Fig. 9 참조), 이는 3 장에서 기술된 바와 같이 일반 수지의 경우 고주파가열에 의해 웰드부의 인장강도가 대폭 증가한 사실과 상반되는 결과이다. 이에 대한 정성적인 고찰을 위해 고주파가열을 실시한 경우와 그렇지 않은 경우 웰드부에서의 조직사진을 비교해보았다. Fig. 11(a)는 고주파가열을 실시하지 않은 경우 웰드부의 사진으로 웰드부에서 유리섬유가 수직방향으로 배향되어 있음을 알 수 있다. 반면에 Fig. 11(b)는 고주파가열을 실시한 경우로 웰드부에서 유리섬유가 거의 분포하지 않음을 확인할 수 있다. 이는 국부적인 금형가열로 인해 웰드부의 온도가 증가함으로써 상대적으로 유동성이 좋은 고분자수지가 집중적으로 유입되었기 때문으로 분석되며, 상기 원인으로 유리섬유 함유율이 떨어짐으로써 강도가 저하되는 것으로 분석된다.

5. 결론

이상으로 본 연구에서는 고주파 유도가열에 의한 급속 금형가열을 적용하여 사출성형품 웰드라인의 외관 및 강도를 향상시키기 위한 연구를 진행하였다. 이러한 연구결과를 요약하여 정리하면 다음과 같다.

(1) 고주파 유도가열을 사용하여 금형표면을 가열한 결과 3 초간의 가열시 금형표면의 온도가 최대 166.5℃까지 상승되는 반면 금형의 하단 및 측면부 온도는 80℃ 이하로 나타나 금형의 성형부 표면을 집중적으로 가열할 수 있음을 확인하였다.

(2) 고주파 유도가열을 인장시편 금형의 사출 성형에 적용한 결과(사용수지: 일반 Polycarbonate 수지) 기존에 2.27μm 였던 웰드라인의 깊이가 최대 0.27μm 로 획기적으로 감소하여 결과적으로 성형품의 외관품질을 개선할 수 있었다.

(3) 2 점의 게이트를 사용하여 인위적으로 웰드라인을 발생시킨 경우 인장시험을 실시한 결과 1 점의 게이트를 사용한 경우에 비해 21.66kgf/mm² 만큼의 강도저하가 발생되었으며, 양면 고주파가

도가 분포된 반면 2 개의 유동이 만나는 웰드부에서는 유동의 방향이 급격하게 변하며 최종적으로 수직방향에 가깝게 분포함을 알 수 있다. 일반적으로 수지 내의 유리섬유의 배향이 유동의 방향과

열을 실시한 경우 17.11kgf/mm² 만큼 인장강도가 향상되어 웰드라인에 의한 강도저하가 대부분 보완됨을 확인할 수 있었다.

(4) 유리섬유를 함유한 고분자수지에 대해 동일한 실험을 진행한 결과 고주파가열 적용시 오히려 인장강도가 소폭 감소하는 경향을 보였으며, 이는 웰드부의 국부적인 온도상승에 의해 유리섬유의 밀도가 저하되는 경향을 보여 응력집중 완화 효과와 복합적으로 작용하기 때문으로 분석된다.

향후에는 상기 연구결과를 토대로 플라스틱 사출성형품의 외관품질 개선 및 강도 향상에 활용할 수 있을 것으로 전망된다.

후 기

본 연구는 중소기업청의 중소기업기술혁신사업 및 지식경제부와 한국산업기술진흥원의 전략기술 인력양성사업의 지원으로 수행된 결과임.

참고문헌

- Malguarnera, S. C. and Manisali, A., "The effects of processing parameters on the tensile properties of weld lines in injection molded thermoplastics," *Polym. Eng. Sci.*, Vol. 21, No. 10, pp. 586-593, 1981.
- Malguarnera, S. C., Manisali, A. and Riggs, D. C., "Weld line structures and properties in injection molded polypropylene," *Polym. Eng. Sci.*, Vol. 21, No. 17, pp. 1149-1155, 1981.
- Tomari, K., Tonogai, S., Harada, T., Hamada, H., Lee, K., Morii, T. and Maekawa, Z., "The V-Notch at weld lines in polystyrene injection molding," *Polym. Eng. Sci.*, Vol. 30, No. 15, pp. 931-936, 1990.
- Yao, D. and Kim, B., "Direct-search-based automatic minimization of weldlines in injection-molded parts," *Polym. Plast. Tech. Engng.*, Vol. 37, No. 4, pp. 509-525, 1998.
- Park, J. C. and Kim, B. H., "Automated mold design to optimize multi-quality characteristics in injection molded parts based on the utility theory and modified complex method," *J. Kor. Soc. Prec. Engng.*, Vol. 17, No. 9, pp. 210-221, 2000.
- Selden, R., "Effect on processing on weld line strength in five thermoplastics," *Polym. Eng. Sci.*, Vol. 37, No. 1, pp. 205-218, 1997.
- Kim, J. K., Song, J. H., Chung, S. T. and Kwon, T. H., "Morphology and mechanical properties of injection molded articles with weld lines," *Polym. Eng. Sci.*, Vol. 37, No. 7, pp. 1202-1210, 1997.
- Tosello, G., Gava, A., Hansen, H. N., Lucchetta, G. and Marinello, F., "Characterization and analysis of weld lines on micro-injection moulded parts using atomic force microscopy (AFM)," *Wear*, Vol. 266, No. 5-6, pp. 534-538, 2009.
- Chen, S. C., Jong, W. R., Chang, Y. J., Chang, J. A. and Cin, J. C., "Rapid mold temperature variation for assisting the micro injection of high aspect ratio micro-feature parts using induction heating technology," *J. Micromech. Microeng.*, Vol. 16, No. 9, pp. 1783-1791, 2006.
- Kim, S., Shiau, C. S., Kim, B. and Yao, D., "Injection molding nanoscale features with the aid of induction heating," *Polym. Plast. Tech. Engng.*, Vol. 46, No. 11, pp. 1031-1037, 2007.
- Chen, S. C., Jong, W. R. and Chang, J. A., "Dynamic mold surface temperature control using induction heating and its effects on the surface appearance on weld line," *J. Appl. Polym. Sci.*, Vol. 101, No. 2, pp. 1174-1180, 2006.
- Park, K. and Kim, Y. S., "Effect of mold temperature on mechanical properties of an injection-molded part with microfeatures," *J. Polym. Engng.*, Vol. 29, No. 1-3, pp. 135-154, 2009.
- Park, K., Choi, S., Lee, S. J. and Kim, Y. S., "Injection molding for a ultra thin-wall part using induction heating," *Trans. J. Kor. Soc. Mech. Engng.(A)*, Vol. 32, No. 6, pp. 95-102, 2008.
- Fisa, B. and Rahmani, M., "Weld line strength in injection molded glass fiber-reinforced polypropylene," *Polym. Eng. Sci.*, Vol. 31, No. 18, pp. 1330-1336, 1991.
- Tomari, K., Takashima, H. and Hamada, H., "Improvement of weldline strength of fiber reinforced polycarbonate injection molded articles using simultaneous composite injection molding," *Adv. Polym. Technol.*, Vol. 14, No. 1, pp. 25-34, 1995.