

진공도가 사출성형제품에 미치는 영향에 관한 연구

이은중* · 신남호*

A study on the Influence Affected on Injection Molding Product by Vacuum Degree

Eunjong Lee* and Namho Shin*

요 약 본 연구는 Connector Mold의 Termina (리브)에 가스 모임으로 인한 미성형 및 웰드라인이 생성되어 이를 방지하기 위해 과다한 사출압력, 금형온도 및 수지온도를 높이므로 Burr등의 불량현상이 발생하게된다. 따라서 연구에서는 진공성형시스템을 응용한 Connector Mold를 개발하기 위하여 사출성형의 중요한 인자가 되는 용융수지온도, 금형온도, 냉각조건을 최적 조건에서 진공압을 체계적으로 제어함으로 각 캐비티의 깊은 골 부분의 미충전 부분을 진공화 하여 충전불량을 해소하면서, 싸이클 시간을 단축시킬 수 있는 진공시스템을 연구개발 성형가공에 적용함으로 우수한 제품과 생산성 향상의 효과를 얻을 수 있다.

Abstract Non-molding and welding line happen by the assembly of gas at the connector terminal. There is not good phenomenon of burr by increasing the over injection pressure, the temperatures of die and resin to prevent from them. Therefore, the connector mold to apply the vacuum molding system is developed in this study. The vacuum pressure is controlled systematically with the optimum conditions in the important ingredients of injection molding that are the temperatures of melting resin and die and cooling condition. The badness in charging is cleared by making a vacuum to non-charging part of the deep bottom part of each cavity. And the vacuum system to reduce the cycle time is applied as the study envelopment of molding work. So, the good product and the productivity improvement can be obtained in this study.

1. 서 론

플라스틱의 사출성형과정을 크게 분류하면 충전과정, 보압과정, 냉각과정, 기타 금형열림 및 취출과정으로 이루어진다. 이중 충전과정은 가소화된 플라스틱 수지가 매우 빠른 속도로 캐비티부에 유입된다. 이때 유동수지가 접하는 금형 벽면의 온도는 수지의 고화온도 보다 낮으므로 고화층이 발달하게 된다.

또한 매우 빠른 유동속도에 의해서 마찰열이 발생하며, 때로는 마찰열에 의한 온도의 상승이 매우 급격하여 수지의 열화가 발생하기도 한다. 이와 함께 충전과정 중 수지의 점도가 변화하며, 유동선단이 만나는 부위에서 외관 및 성형품의 강도를 저하시키는 웰드라인 및 에어트랩 등과 같은 성형불량이 발생하게 된다.

따라서 성형불량 예방 및 생산성과 품질 향상을 위해 충전과정의 수치적 해석이 요구 된다.

아울러 충전과정 중 설계조건과 성형조건들에 의하

여 유동하는 용융수지의 물성이 크게 변화하여 캐비티 내의 압력, 전단응력, 온도 등이 변화된다.

그러므로 충전과정은 성형품의 품질을 결정하는데 있어서 중요하며, 충전시 발생하는 웰드라인(weld line), 충전부족(short shot), 에어트랩(air trap) 등과 같은 성형불량 현상을 미리 예측할 수 있다.

충전과정은 Spencer와 Gilmore[1, 2]의 실험적 연구에 의하여 금형내 수지 유동상태에 관한 연구가 진행되었고 [3, 4] 보압과정 중에는 점성모델과 수지의 압축성이, 냉각과정에서는 온도와 수축율에 따른 수지의 물성치 변화의 중요성을 언급하였으며, Sherbelis와 Friedl[5]은 충전과 보압단계에서 수지의 전단률과 온도 의존성에 관하여 연구하였다. 냉각과정중 고화층 두께 변화 해석에서 캐비티 입구측의 고화층 두께 과다 계산의 단점을 보완하기 위하여 Richardson[6]은 원형관내의 유동과 평판내의 유동에 대하여 마찰열 발생을 고려하여 고화층의 두께 및 온도분포의 계산을 위한 식을 제시하였다. weld line부의 구조에 대한 고찰은 Malguarnera et al[7] 등에 의하여 이루어 졌다.

*천안공업대학 금형설계과
Tel : 041-550-0276, FAX : 041-566-6995

본, 연구에서는 진공성형시스템을 응용한 connector mold 를 개발하기 위하여 사출성형의 중요한 인자가 되는 용융수지온도, 금형온도, 냉각조건을 최적조건에서 진공압을 체계적으로 제어함으로 각 캐비티의 깊은 골 부분의 미충전 부분을 진공화 하여 충전불량을 해소하면서, 싸이클시간을 단축시킬 수 있는 진공시스템을 연구개발 성형가공에 적용함으로 우수한 제품과 생산성 향상의 효과를 얻을 수 있다.

2. 실험

2.1 실험장치

2.1.1 사출성형기

컨테이너 진공금형을 장착하여 성형가공실험에 사용된 사출성형기는 LG사 IDE100EN 모델로 성형기 사양은 Table 1과 같다.

2.1.2 진공기(gas vent box)

실험에 사용된 진공기는 국내업체인 대기산업(주)에서 제작된 것으로 금형 내부의 가스 및 에어를 급속히 배출할 수 있어 사출압력, 사출속도, 싸이클 타임을 단축할 수 있으며, 가스로 인한 타는 현상과 불순물의 묻음현상이 제거되므로 금형내부의 부식이 방지되어 금형수명이 연장되고, 미성형, 수축, 기포, 가스로 인한 웰드라인 등의 불량현상을 해결할 수 있고, 수동 및 자동운전이 가능하며 기기의 작동시간을 임의로 조절할 수 있다.

2.2 실험용 수지

실험에 사용된 수지는 Zytel® 3189 NC010 (nylon66 resin)는 폴리아미드계 합성수지로 강력한 수소결합을 가진 결정성 쇄상구조 고분자로서 인장강도, 굽힘강도,

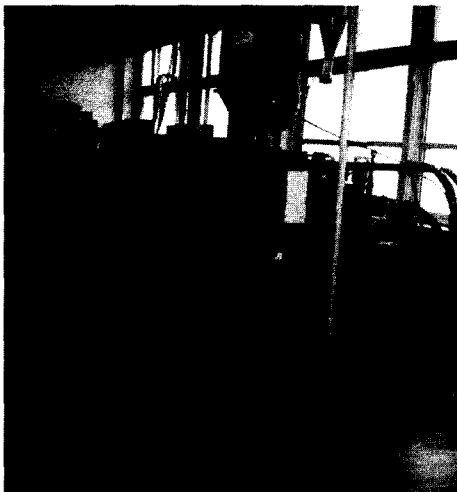


Figure 1. Injection molding machine

Table 1. Spec. of injection molding machine

항목	규격	
스크류 직경	36 mm	
이론 사출용적	163 cm ³	
사출량(PS)	150 g	
사출압력	1,720 kg/cm ²	
사출율	116 cm ³ /sec	
가스화 능력(PS)	74 kg/Hr	
스크류최고회전속도	350/280 rpm	
형체력	100 Ton	
형체속도	고속	40.4 m/min
	저속	4.6 m/min
형개속도	고속	40.5 m/min
	저속	2.3 m/min
형체 행정		460 mm
최소 금형 두께		170 mm

Table 2. Spec. of gas vent box

모델명	GV - 03
규격	500×800×1300
중량	90 kg
정격중량	60온스이하
사용전압	AC 220V(3상)
사용공기압	5 kg/cm ² ~85 kg/cm ²
도달진공도	759 mmHg

충격강도가 극히 강하고 탄성률도 높고 결정성으로 강도, 내마모성 자기윤활성, 강인성, 내열성, 내유성이 우수하나 흡수성이 높고, 산이나 알칼리, 스팀 등에 의해 가수분해되어 열화하나, 기어, 베어링, 캠 등의 기계부품의 진동음향 등을 흡수하는 특성이 있다.

2.3 가스벤트 설계

생산제품의 형상이 한 방향으로 언더컷이 있어 8개 캐비티를 H형으로 배열하였으며, 턴넬게이트를 이용하여 게이트가 자동절단이 되도록하였다.

금형 형폐시 형내에 공기나, 플라스틱 용융수지의 발생가스, 자동취출과 원가절감을 위해 금형제작시 제한 게이트의 활용이나, 플라스틱 소재의 고급화 추세에 대한 다양한 첨가제(난연제) 등에 의한 발생하는 가스는



Figure 2. Gas vent box

사출성형 외관품질에 절대적인 악영향이 미치므로 금형 내의 공기나, 가스를 제거하기 위해 벤트(vent)를 설치하여 진공흡입 장치에 의하여 금형밖으로 배출시켜 제거함으로 미성형, 웰드라인, 변색, 후로우 마크, 탄화, 실버등 사출외관 품질향상은 물론 최적 성형조건으로 생산성을 향상시킬 수 있다.

본 실험용 금형의 피아팅면에 깊이 0.03 mm×폭 2 mm의 가스벤트를 가공하고, 캐비티부 진공시 피아팅면 사이로 공기 흡입을 차단시키기 위해 그림과 같이 캐비티 외각부 가동측형판에 패킹홀을 파고 단면에 환

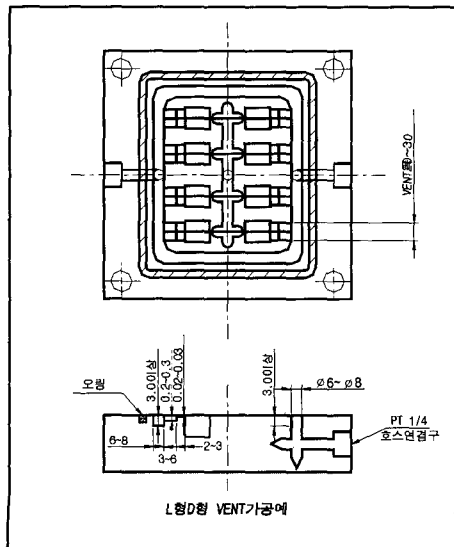


Figure 3. Design of vent

형의 고무를 묻고 접착제로 고정하였으며, 밀편은 O-ring으로 밀봉하였다.

3. 실험결과 및 고찰

본 연구에서는 일반적인 성형가공 방법에 진공의 원리를 이용한 것으로 캐비티에 수지가 유입될 때 이 공간을 진공기에 의해 진공화시키므로 좁은 공간인 리브에 수지유동속도를 빠르게 흡입 충전되므로 수지냉각시간의 극소화와 저압사출에서 미성형과 웰드라인의 생성을 억제 하므로 불량률 50%정도에서 3%정도 이내로 감소시킬 수 있다.

3.1 무진공에서 성형가공

수지온도: 262±2°C, 성형압력(성형기 게이지 압력):

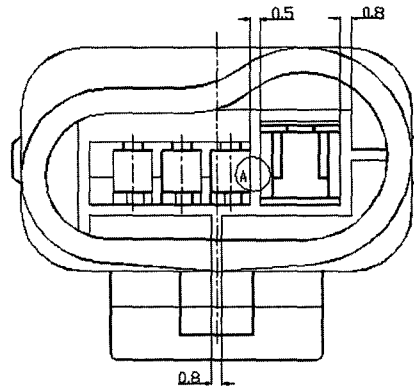


Figure 4. Plane figure of connector

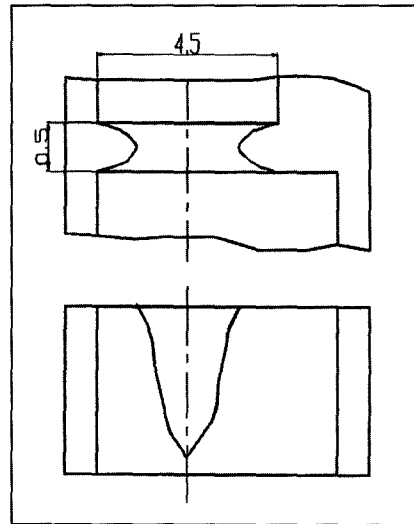


Figure 5. Incomplete molding of part A in Fig. 4

시간: 12 sec, 싸이클 타임: 30.4 sec의 조건에서 성형가공 하였을 때 제품 하나의 중량은 3.11 g이었고 Fig. 6 과 같이 미성형에 의한 불량률 49.8%로 나타난다.

이 원인은 0.5 mm의 좁은 리브 공간이 수지유통의 종점이 되므로 유통중 수지 온도 저하와 이곳에 압축가스가 잔류함으로 발생한다. 리브에 충전되는 수지온도 및 금형온도를 높이면서 리브에 해당되는 공간의 가스가 원활히 배출 될수 있도록 리브 밑부분의 벤트 치수를 후래쉬가 발생하지 않는 범위에서 크게하고 사출압력을 높이면 더 좋은 결과를 얻을 수 있다. 그러나 불량률(23.1%) 감소에 한계가 있다.

3.2 120 mmHg 진공에서 성형가공

수지온도: $262 \pm 2^\circ\text{C}$, 성형압력(성형기계이지압력): $57 \pm 1 \text{ kg/cm}^2$, 금형온도: $72 \pm 1^\circ\text{C}$, 사출시간: 4 sec, 냉각시간: 12 sec, 싸이클타임: 30.4 sec의 조건에서 성형가공



Figure 6. Rib phenomenon in non-vacuum situation



Figure 7. Rib phenomenon in 120mmHg vacuum situation

하였을 때 제품의 중량은 3.12 g이었고 Fig. 7과 같이 미성형에 의한 불량률은 40.3%로 나타났다.

3.3 320 mmHg 진공에서 성형가공

수지온도: $262 \pm 2^\circ\text{C}$, 성형압력: $52 \pm 1 \text{ kg/cm}^2$, 금형온도: $62 \pm 1^\circ\text{C}$, 사출시간: 3.5 sec, 냉각시간: 11 sec, 싸이클 타임: 28.2 sec의 조건에서 성형가공 하였을 때 제품의 중량은 3.14 g이었고 Fig. 8과 같이 미성형에 의한 불량률은 33.1%로 나타난다.

3.4 630 mmHg 진공에서 성형가공

수지온도: $262 \pm 2^\circ\text{C}$, 성형압력: $47 \pm 1 \text{ kg/cm}^2$, 금형온도: $55 \pm 1^\circ\text{C}$, 사출시간: 3 sec, 냉각시간 10 sec, 싸이클 타임: 26.5 sec의 조건에서 성형가공 하였을 때 한 제품의 중량은 3.21 g이었고 Fig. 9와 같이 웰드라인에 의한 불량률이 17.1%로 나타난다.

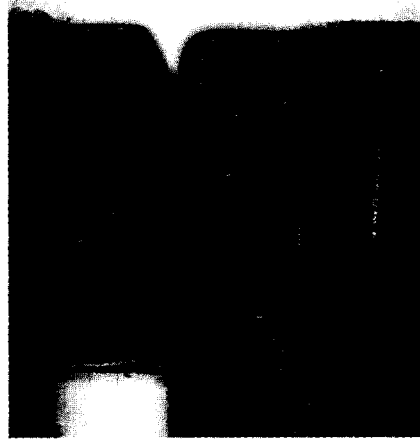


Figure 8. Rib phenomenon in 320 mmHg vacuum situation

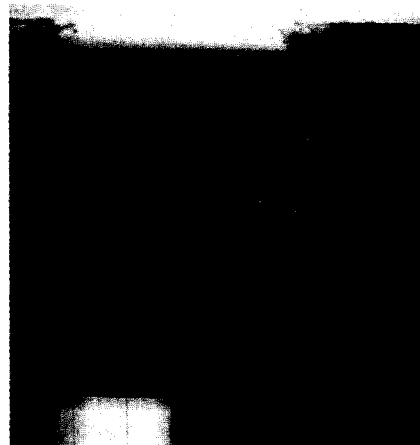


Figure 9. Rib phenomenon in 630mmHg vacuum situation

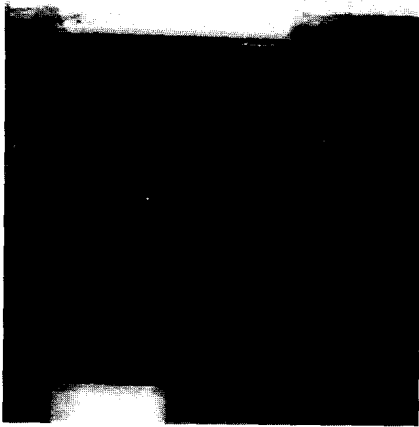


Figure 10. Rib phenomenon in 710 mmHg vacuum situation

웰드라인 현상은 유동수지의 융합이 완전하지 못함으로 기계적 강도가 저하 되게 된다. 웰드라인을 극소화시키기 위해 사출압력 및 금형온도를 높이므로 해소시킬 수 있으나 싸이클 타임 등의 문제로 생산성이 감소된다.

3.5 710 mmHg 진공에서 성형가공

수지온도: $262 \pm 2^\circ\text{C}$, 성형압력: $41 \pm 1 \text{ kg/cm}^2$, 금형온도: $55 \pm 1^\circ\text{C}$, 사출시간: 3 sec, 냉각시간: 10 sec, 싸이클 타임: 24.3 sec의 조건에서 성형가공 하였을 때 제품의 중량은 3.22 g이었고 Fig. 10과 같이 미성형 및 웰드라인 등의 불량현상이 나타나지 않고 있다.

동일 진공을 적용하면서 수지온도: $262 \pm 2^\circ\text{C}$, 성형압력: $52 \pm 1 \text{ kg/cm}^2$, 금형온도: $62 \pm 1^\circ\text{C}$, 사출시간: 3.5 sec, 냉각시간: 11 sec, 싸이클 타임: 28.2 sec의 조건에서 성형가공 하였을 때 제품의 중량은 3.22 g이었고 육안으로는 Fig. 10과 동일하다고 생각한다.

3.6 진공 성형가공 결과

성형가공에 사용되는 나이론 수지의 온도: $262 \pm 2^\circ\text{C}$ 에서 캐비티 진공압력을 0 mmHg에서 710 mmHg로 높이므로 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

(1) 성형압력(성형기 게이지압력): 64 kg/cm^2 에서 41 kg/cm^2 로 36% 낮출 수 있다.

(2) 냉각시간은 12 sec에서 10 sec로 17%, 사출시간은 4 sec에서 3 sec로 25% 낮출 수 있다.

(3) 금형온도를 72°C 에서 55°C 로 낮출수 있어, 싸이클 타임이 30.4 sec에서 24.3 sec로 20%의 성형가공 시간을 단축시킬 수 있다.

(4) 제품의 중량은 3.11 g에서 3.22 g로 증가된다.

(5) 컨넥터 리브의 미성형 및 웰드라인 불량률 49.8%에서 2.9%로 감소시킬 수 있다.

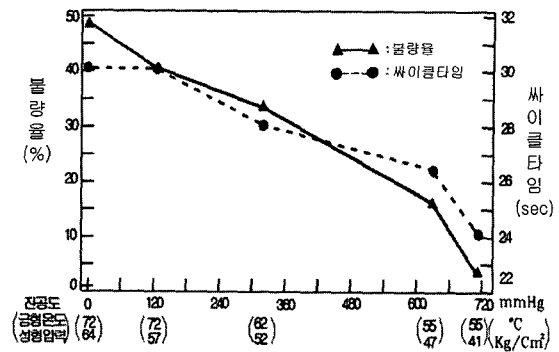


Figure 11. Relations among vacuum degree, cycle-time, and defective proportion

4. 결 론

본 연구는 connector mold의 terminal(리브)에 가스 모임으로 인한 미성형 및 웰드라인이 생성되어 이를 방지하기 위해 과도한 사출압력, 금형온도 및 수지온도를 높이므로 burr등의 불량현상이 발생하게된다. 이를 위해 connector mold의 terminal을 형성하는 공간을 좁은 시간에 진공화시킬 수 있는 진공시스템을 적용한 것으로 이로부터 얻은 결론은 다음과 같다.

1. 캐비티 외측의 파아팅면에 패킹과 밀핀에 O-ring을 설치하고 가스벤트시스템을 적용함으로 좁고 깊은 성형부의 미성형, 웰드라인 및 burr의 극소화가 가능하게 되었다.

2. 캐비티 진공도의 증가에 따라 금형온도, 싸이클타임, 사출압력이 작아지는 현상이 나타난다.

3. 컨넥터 리브의 미성형 및 웰드라인이 진공도 증가에 따라 극소화되는 현상이 있으며, 수지 온도: 262°C , 금형온도: 55°C , 싸이클타임: 24.3 sec, 성형압력(성형기 게이지압): 41 kg/cm^2 , 진공도 710 mmHg의 성형조건에서는 웰드라인 현상이 나타나지 않고 있다.

◆ 본 연구 내용은 '99 산·학연소사업 사업 연구과제로 (주)은창정공과 천안공업대학간에 이루어진 것임을 밝혀두며, 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

- [1] Spencer, R. S. and Gilmore, G. D., "Some Flow Phenomena in the Injection Molding of Polystyrene", Journal Collid Science, Vol.6, pp. 118-132, 1950.
- [2] Spencer, R. S. and Gilmore, G. D., "Equation of State for High polymers", Journal of Applied Physics, Vol.21, pp. 525-526, 1950.

- [3] Kamal, M. R. and Keing, S., "The Injection Molding of Thermoplastic, Part: Theoretical Models", *Polymer Engineering and Science*, Vol.12, No.4, pp. 294-301, 1972.
- [4] Kamal, M. R. and Keing, S., "The Injection Molding of Thermoplastic, PartII : Experimental Testofthe Model", *polymer Engineering and Science*, Vol.12, No.4, pp. 302-308, 1972.
- [5] Sherbelis, G, and Friedl, C., "the Importance of Low Temperature Viscosity to CAE Injection Molding Simulation", *SPE ANTEC*, pp. 954-957, 1992.
- [6] Richardson, S. M., "Injection Moulding of Thermoplastics : Freezing During Mould Filling", *Rheologica Acta*, Vol.22, No.2, pp. 223-236, 1993.
- [7] 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.