

진공도가 성형제품에 미치는 영향에 관한 연구

A Study on the Effects of Vacuum Degree on the Plastic Parts

신남호(천안공업대), *이은중(천안공업대), 김강(국민대), 한윤희((주)은창정공)

ABSTRACT

To make use of various switches, relays, and control instruments, a connector (jack) is used to link the battery (power) and operating units.

A connector must have precision as well as solidity to control the power in a car. To improve productivity, we researched and developed a connector molding by adapting vacuum system and we've made it possible to minimize the incomplete molding and weld-line. As a result, good quality can be warranted with less costs.

1. 서 론

플라스틱의 사출성형과정을 크게 분류하면 충전과정, 보압과정, 냉각과정, 기타 금형열림 및 취출과정으로 이루어진다. 이중 충전과정은 가소화된 플라스틱 수지가 매우 빠른속도로 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 되었으

며, 많은 연구자들이 논문을 발표하였다. 충전과정 중 설계조건과 성형조건들에 의하여 유동하는 용융수지의 물성이 크게 변화하여 캐비티내의 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.

충진과정은 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 Friedl⁵⁾은 충전과 보압단계에서 수지의 전단률과 온도 의존성에 관하여 연구하였다. 냉각과정중 고화층 두께 변화 해석에서 캐비티 입구측의 고화층 두께 과다 계산의 단점을 보완하기 위하여 Richardson⁶⁾은 워형관내의 유동과 평관내의 유동에 대하여 마찰열 발생을 고려하여 고화층의 두께 및 온도분포의 계산을 위한 식을 제시하였다. Weld line부의 구조에 대한 고찰은 Malguarnera et all⁷⁾ 등에 의하여 이루어 졌다.

본, 연구에서는 진공성형시스템을 응용한 Connector Mold를 개발하기 위하여 사출성형의 중요한 인자가 되는 용융수지온도, 금형온도, 냉각조건을 최적조건에서 진공압을 체계적으로 제어함으로써 각 캐비티의 깊은 끝 부분의 미충진 부분을 진공화 하여 충전불량을 해소하면서, 싸이클시간을 단축시킬 수 있는 진공시스템을 연구개발 성형가공에 적용함으로써 우수한 제품과 생산성 향상의 효과를 얻을 수 있다

2. 실험

2.1 실험장치

2.1.1 사출성형기

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



Fig. 1 Injection Molding Machine

Table 1 Spec. of Injection Molding Machine

항 목	규 격	
스크류 직 경	36mm	
이론 사출용적	163cm ³	
사 출 량(PS)	150g	
사 출 압 력	1,720kg/cm ²	
사 출 율	116cm ³ /sec	
가소화 능력(PS)	74kg/Hr	
스크류최고회전속도	350/280 rpm	
형 체 력	100Ton	
형체속도	고속	40.4m/min
	저속	4.6m/min
형개속도	고속	40.5m/min
	저속	2.3m/min
형 체 행 정	460mm	
최 소 금형 두께	170mm	

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, 사이클 타임을 단축할 수 있으며, 가스로 인한 가스타는 현상과 불순물의 묻음현상이 제거되므

로 금형내부의 부식이 방지되어 금형수명이 연장되고, 미성형, 수축, 기포, 가스로 인한 웰드라인 등의 불량현상을 해결할 수 있고, 수동 및 자동 운전이 가능하며 기기의 작동시간을 임의로 조절할 수 있다.



Fig. 2 Gas Vent Box

Table 2 Spec. of Gas Vent Box

모 델 명	GV - 03
규 격	500×800×1300
중 량	90Kg
정 격 중 량	60온스이하
사 용 전 압	AC 220V ~ 380V(3상)
사 용 공 기 압	5Kg/cm ² ~ 85Kg/cm ²
도 달 진 공 도	759mmHg

2.2 실험용 수지

실험에 사용된 수지는 Zytel[®] 3189 NC010 (Nylon 66 Resin)는 폴리아미드계 합성수지로 강력한 수소결합을 가진 결정성 쇄상구조 고분자로서 인장강도, 굽힘강도, 충격강도가 극히 강하고 탄성률도 높고 결정성으로 강도, 내마모성 자기운활성, 강인성, 내열성, 내유성이 우수하나 흡수성이 높고, 산이나 알칼리, 스티프 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 용융수

형제작성 제한 게이트의 활용이나, 플라스틱 소재의 고급화 추세에 대한 다양한 첨가제(난연제) 등에 의한 발생하는 가스는 사출성형 외관품질에 절대적인 악 영향이 미치므로 금형내의 공기나, 가스를 제거하기 위해 벤트(vent)를 설치하여 진공흡입 장치에 의하여 금형밖으로 배출시켜 제거 함으로 미성형, 웰드라인, 변색, 후로우 마크, 탄화, 실버등 사출외관 품질향상은 물론 최적 성형 조건으로 생산성을 향상시킬 수 있다.

본 실험용 금형의 파아팅면에 깊이 0.03mm× 폭 2mm의 가스벤트를 가공하고, 캐비티부 진공 시 파아팅면 사이로 공기 흡입을 차단시키기 위해 그림과 같이 캐비티 외각부 가동측형판에 패킹홈을 파고 단면에 환형의 고무를 묻고 접착제로 고정하였으며, 밀핀은 O-ring으로 밀봉하였다.

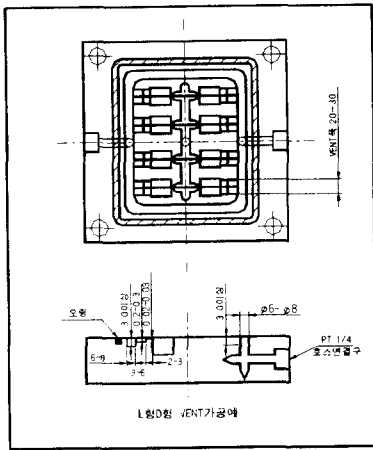


Fig. 3 Design of Vent

3. 실험결과 및 고찰

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

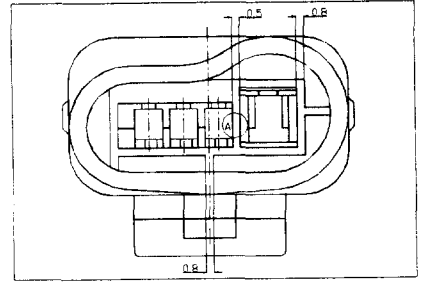


Fig. 4 Plane Figure of Connector

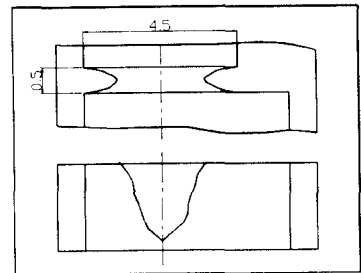


Fig. 5 Incomplete Molding of Part A in Fig. 4

3.1 무진공에서 성형가공

수지온도: $262 \pm 2^\circ\text{C}$, 성형압력(성형기 게이지 압력): $64 \pm 1\text{Kg/cm}^2$, 금형온도: $72 \pm 1^\circ\text{C}$, 사출시간: 4sec, 냉각시간: 12sec, 싸이클 타임: 30.4sec의 조건에서 성형가공 하였을 때 제품 하나의 중량은 3.11g이었고 Fig. 6과 같이 미성형에 의한 불량률이 49.8%로 나타난다.

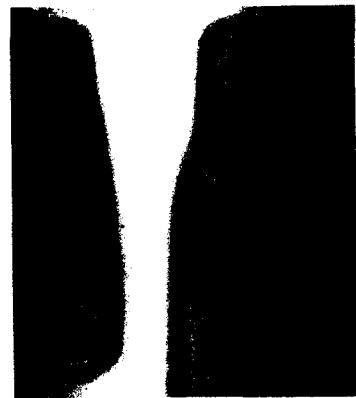


Fig. 6 Rib Phenomenon in Non-vacuum Situation

이 원인은 0.5mm의 좁은 리브 공간이 수지유통의 중점이 되므로 유동중 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 불량율(23.1%) 감소에 한계가 있다.

3.2 120mmHg 진공에서 성형가공

수지온도: $262 \pm 2^\circ\text{C}$, 성형압력(성형기 게이압): $57 \pm 1\text{Kg/cm}^2$, 금형온도: $72 \pm 1^\circ\text{C}$, 사출시간: 4sec, 냉각시간: 12sec, 싸이클 타임: 30.4sec의 조건에서 성형가공 하였을 때 제품의 중량은 3.12g이었고 Fig. 7과 같이 미성형에 의한 불량은 40.3%로 나타난다.

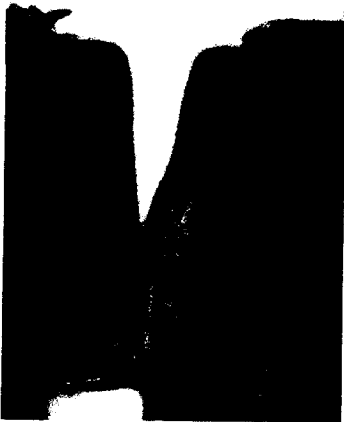


Fig. 7 Rib Phenomenon in 120mmHg Vacuum Situation

3.3 320mmHg 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: 3.5sec, 냉각시간: 11sec, 싸이클 타임: 28.2sec의 조건에서 성형가공 하였을 때 제품의 중량은 3.14g이었고 Fig. 8과 같이 미성형에 의한 불량은 33.1%로 나타난다.

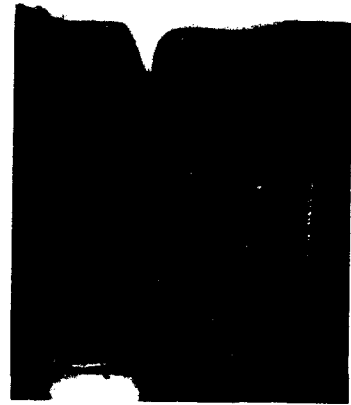


Fig. 8 Rib Phenomenon in 320mmHg Vacuum situation

3.4 630mmHg 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: 3sec, 냉각시간 10sec, 싸이클 타임: 26.5sec의 조건에서 성형가공 하였을 때 한 제품의 중량은 3.21g이었고 Fig. 9와 같이 웰드라인에 의한 불량은 17.1%로 나타난다.

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.

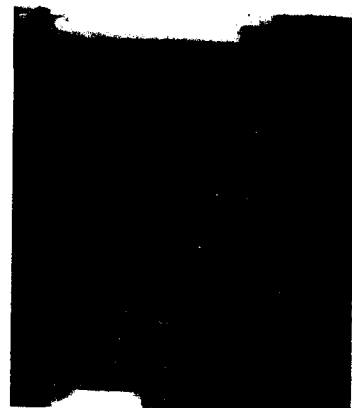


Fig. 9 Rib Phenomenon in 630mmHg Vacuum situation

3.5 710mmHg 진공에서 성형가공

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

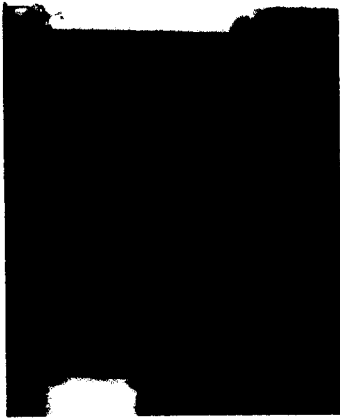


Fig. 10 Rib Phenomenon in 710mmHg Vacuum situation

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

3.6 진공 성형가공 결과

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

- (1) 성형압력(성형기 게이지압력): $64\text{Kg}/\text{cm}^2$ 에서 $41\text{Kg}/\text{cm}^2$ 로 36% 낮출 수 있다.
- (2) 냉각시간은 12sec에서 10sec로 17%, 사출시간은 4sec에서 3sec로 25% 낮출 수 있다.
- (3) 금형온도를 72°C 에서 55°C 로 낮출수 있어, 싸이클 타임이 30.4sec에서 24.3sec로 20%

의 성형가공 시간을 단축시킬 수 있다.

- (4) 제품의 중량은 3.11g에서 3.22g로 증가된다.
- (5) 컨넥터 리브의 미성형 및 웰드라인 불량률 49.8%에서 2.9%로 감소시킬 수 있다.

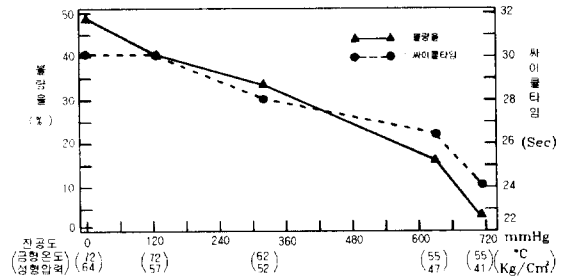


Fig. 11 Relations among Vacuum Degree, Cycle-time, and Defective Proportion

IV 결 론

본 연구는 Connector Mold의 Terminal (리브)에 가스 모임으로 인한 미성형 및 웰드라인이 생성되어 이를 방지하기 위해 과다한 사출압력, 금형온도 및 수지온도를 높이므로 Burr등의 불량현상이 발생하게된다. 이를 위해 Connector Mold의 Terminal을 형성하는 공간을 짧은시간에 진공화 시킬 수 있는 진공시스템을 적용한 것으로 이로부터 얻은 결론은 다음과 같다.

1. 캐비티 외측의 피아팅면에 패킹과 밀핀에 O-Ring를 설치하고 가스벤트시스템을 적용함으로 좁고 깊은 성형부의 미성형, 웰드라인 및 Burr의 극소화가 가능하게 되었다.
2. 캐비티진공도의 증가에 따라 금형온도, 싸이클타임, 사출압력이 작아지는 현상이 나타난다.
3. 컨넥터 리브의 미성형 및 웰드라인이 진공도 증가에 따라 극소화되는 현상이 있으며, 수지온도: 262°C , 금형온도: 55°C , 싸이클타임: 24.3Sec, 성형압력(성형기게이지압): $41\text{Kg}/\text{cm}^2$, 진공도 710mmHg의 성형조건에서는 웰드라인 현상이 나타나지 않고 있다.

◆ 본 연구 내용은 '99 산·학컨소시엄 사업 연구과제로 (주)은창정공과 천안공업대학간

에 이루어진 것임을 밝혀두며, 관계자 여러분께 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. Spencer, R. S. and Gilmore, G. D., "Some Flow Phenomena in the Injection Molding of Polystyrene", *Journal Colloid 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, Part II: Experimental Test of the 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.