

사출성형에서 밀핀 흔적의 형성에 관한 연구

황금중*, 이희관**, 양균의***

A Study on Formation of Ejector-Pin Hollowness in Injection Molding

Jing Chung Huang*, Hi-Koan Lee**, Gyun-Eui Yang***

ABSTRACT

This paper presents formation of ejector-pin hollowness in injection molding. Injection molding process is widely used in production of plastic part for good dimensional accuracy and high productivity. However, the injection molding leaves ejector-pin hollowness on part, which causes bad part surface and quality. Dimensions and profiles of ejector-pin hollowness are measured for formation of ejector-pin hollowness. The formation of ejector-pin hollowness is traced with dimensions and profiles of ejector-pin hollowness. The compression force and moment cause ejector-pin to form hollowness on part surface.

Key Words : Injection molding(사출성형), Ejector-pin hollowness(밀핀 흔적), Plastic parts(플라스틱 제품), Inner ejecting method(내면 이젝팅 방법)

기호설명

D : Diameter of ejector pin
 h, H : Depth of hollowness
 x, y : Direction of measurement

1. 서론

사출성형은 생산속도가 빠르고 정밀도가 높기 때문에 플라스틱 제품의 생산에 많이 사용된다.¹⁾²⁾³⁾ 사출성형은 용융된 플라스틱이 금형 내부의 냉각 시스템에 의해서 냉각되어 응고된 후 가동측 형판(movable mold plate)이 이동하면서 응고된 제품이 밀핀에 의해서 금형 밖으로 추출된다. 가동측 형판이 밀핀을 작동하고, 제품은 자중으로 자유낙하하여 추출된다.

금형 내부에서 응고된 제품은 40~50°C의 온

도이며, 제품의 표면층 및 내부는 완전히 냉각되지 않는 상태이다.⁴⁾⁵⁾ 따라서 밀핀에 의해 추출된 제품 표면에 밀핀 흔적이 생성된다. 밀핀 흔적을 숨기고 깨끗한 외관을 위해 내면 이젝팅 방식을 사용하거나 밀핀이 제품의 내면이나 기능을 방해하지 않는 곳에 위치하도록 설계한다.

그러나 현재의 사출성형 제품은 소형화 및 박막화되어가는 경향이며, 정밀도와 외형의 미려함도 강조되고, 투명한 재질을 사용한 제품이 증가하면서 밀핀 흔적에 대한 연구가 더욱 필요하게 되었다.⁶⁾⁷⁾⁸⁾ 요즘은 게이트 방식에 게이트의 흔적을 남기지 않는 서브마린 게이트(submarine gate) 방식을 사용한다.⁹⁾¹⁰⁾ 또한, 금형 제조 원가 절감을 위해서도 밀핀 흔적을 방지하거나 개선하는 것이 필요하다. 본 논문은 내면 이젝팅 방식으로 제품을 추출할 때¹¹⁾ 원형 밀핀 흔적의 정량적 측정과 형성원리에 대해서 연구하였다.

접수 2001년 7월 27일

* 전북대학교 기계항공시스템공학부 대학원

** 전북대학교 자동차부품·금형 기술혁신센터

*** 전북대학교 기계항공시스템공학부, 자동차부품·금형 기술혁신센터

2. 밀핀 흔적의 깊이

윤곽 및 표면조도 조합식 형상 계측기(SVC 524, mitutoyo)로 밀핀 흔적의 윤곽을 계측하여 형상을 확대 관찰하였다.

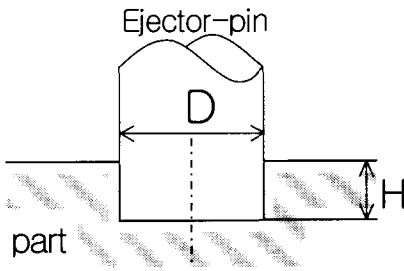


Fig. 1 Diameter and depth of ejector-pin hollowness

Fig. 1은 사출성형 제품의 원형 밀핀 흔적의 깊이(H)와 직경(D)를 보여주고 있다. 밀핀 흔적의 깊이는 제품의 표면에서 밀핀 흔적의 기저평면까지의 거리로 정의한다. 원형 밀핀 흔적을 120° 방향으로 3점을 측정된 평균값을 사용하였다.

$$H = \frac{h_1 + h_2 + h_3}{3} \quad (1)$$

여기서, h_1 은 X축을 기준으로 0°, h_2 은 120°, h_3 은 240°에서의 밀핀 흔적 깊이이다.

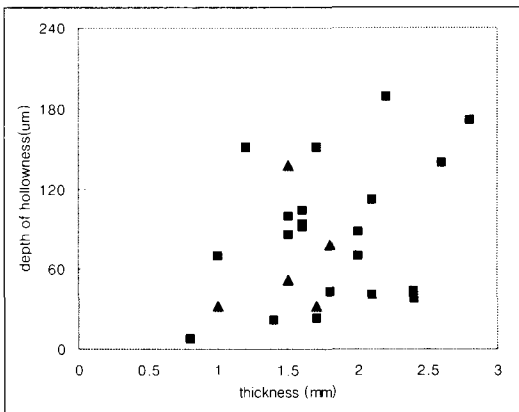


Fig. 2 Thickness of injection molding parts and depth of pin hollowness

Fig. 2는 밀핀 흔적의 깊이와 흔적이 있는 위치의 제품 두께와의 관계를 나타낸다. Fig. 2에서 ■는 상자(box)형의 성형 제품이고, ▲가 판(plate)형 제품을 나타낸다. 밀핀 흔적의 깊이는 대체로 0~60μm, 60~120μm 그리고 120~180μm의 세 부분으로 구분할 수 있다.

측정 결과로부터 밀핀의 직경과 제품의 종류에 관계없이 밀핀 흔적이 있는 위치의 두께가 두꺼울수록 흔적의 깊이는 커지는 비례관계가 있다. 제품이 두꺼우면 제품의 내부의 응고속도가 느려서 밀핀 자국이 깊게 남게 되기 때문이다. Table. 1은 사출 공정의 수지 온도를 측정된 것이다. 밀핀 작동 시 온도가 사출물의 응고 온도보다 상당히 높다.

Table 1 Temperatures in molding (°C)

plastics	melting	mold	ejecting
PP	230	35	93
ABS	225	60	88
HDPE	230	35	100
POM	200	90	118

3. 원형 밀핀 흔적의 윤곽

Fig. 3은 밀핀 흔적의 윤곽을 측정하는 방향을 보여준다. x는 수평방향, y는 수직방향이다.

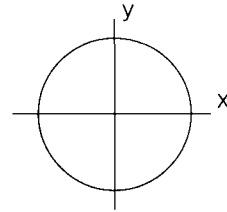


Fig. 3 Measuring direction of ejector-pin profile

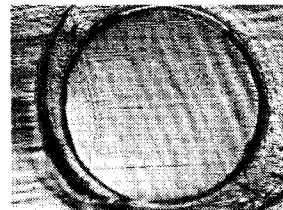


Fig. 4 Magnified hollowness of ejector-pin

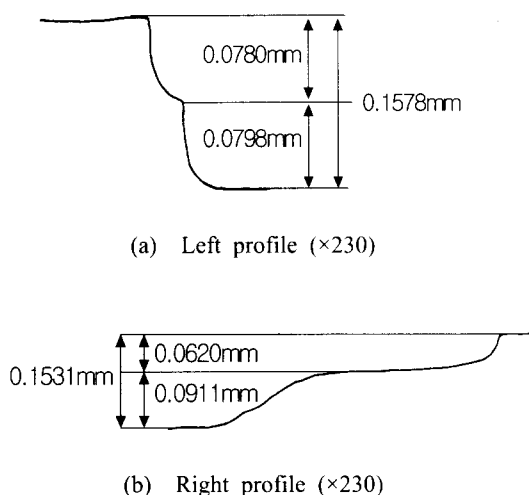


Fig. 5 Profile of ϕ 2.5mm ejector-pin hollowness

Fig. 4는 커터의 고정부(cutter holder)에 남아있는 밀핀 흔적을 확대한 사진이다. 수지는 ABS로 사출압 40t, 사출시간 3sec, 냉각시간 4sec이다. ϕ 2.5mm 밀핀이 사용되었고, 윤곽계측기를 사용하여 x방향으로 밀핀흔적을 계측하여 Fig. 5과같이 좌우쪽의 윤곽을 나타냈다. 그림에서 보면 밀핀 흔적의 바닥은 평면이지만 양쪽의 윤곽 형상은 다르다. 밀핀 흔적의 높이는 좌우가 각각 0.1578mm, 0.1531mm이었다.

이 흔적은 양쪽윤곽의 높이는 거의 차이가 없다. 그러나 양쪽 윤곽에서 대략 중간 깊이의 지점에서 윤곽의 변화가 나타나고, 이 윤곽의 변화가 나타나는 지점을 분계점으로 위아래의 형상은 비슷한 형상임을 알 수 있다.

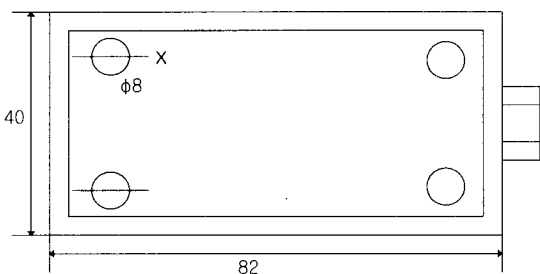


Fig. 6 Cover of converter

Fig. 6은 변환기용 커버이고, 내면에는 ϕ 8mm의

4개 밀핀 흔적을 가지고 있다. 수지는 ABS이고, 사출압 50t, 사출시간 3sec, 냉각시간 10sec이다. Fig. 7는 각각 왼쪽과 오른쪽의 윤곽 형상이 확대된 것이고, 이 윤곽 형상의 특징은 cutter holder의 밀핀 흔적의 특징과 비슷하다. 밀핀 흔적에 의한 직경은 7.77mm이고 밀핀 흔적의 높이는 각각 0.239mm, 0.1823mm이었다.

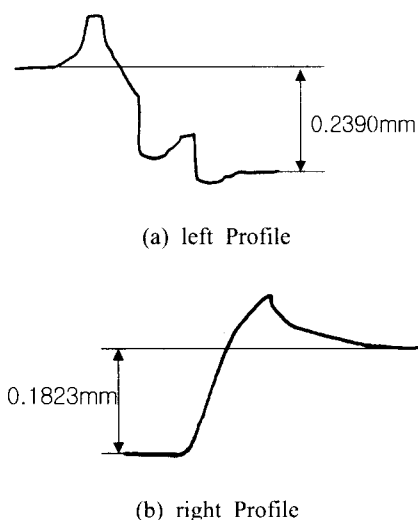


Fig. 7 Profile of ϕ 8mm ejector-pin hollowness (x120)

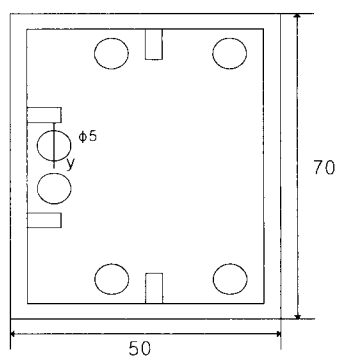


Fig. 8 Case of recorder tape



Fig. 9 Profile of left hollowness (x820)

Fig. 8은 카세트 태잎 케이스이다. 수지는 PP이고, 사출압 40t, 사출시간 4sec, 냉각시간 6sec이다. 내면에는 ϕ 5mm인 6개의 밀핀 흔적을 가지고 있다. 흔적의 윤곽을 y방향으로 계측한 결과는 Fig. 9과 같다. Fig. 9는 왼쪽 윤곽을 나타낸 것이고, 오른쪽 윤곽도 대략 같은 모양이다. 밀핀 흔적의 깊이가 0.024mm 정도로 작고, 좌우쪽 형상이 거의 같다. 핀 흔적을 통한 핀직경은 4.9445mm, 반대편 핀 흔적 높이는 0.0181mm이다.

x방향 윤곽과 달리 y방향 윤곽은 중간 깊이에서 변화가 없는 단순 형상이다. 방향에 따라 밀핀 흔적의 깊이가 큰 차이가 있는 것은 아니지만 x방향 윤곽이 크고 매우 복잡하다.

4. 다른 재질의 밀핀 흔적

서로 다른 재질 PP, LDPE, POM(폴리아세탈)으로 동일한 제품을 제작했을 경우 밀핀 흔적 윤곽을 관찰하였다. 시편은 두께가 4mm이고 밀핀은 ϕ 3mm이다. 성형조건은 PP와 LDPE의 경우 각각 사출압 48t과 40t, 사출시간 4sec와 3sec, 냉각시간 10sec와 12sec이며, POM은 사출압 45t, 사출시간 3sec, 냉각시간 9sec이다.



(a) Left profile of hollowness (x420)



(b) Right profile of hollowness (x200)

Fig. 10 Profile of ϕ 3mm ejector-pin hollowness on PP



(a) Left profile of hollowness (x230)



(b) Right profile of hollowness (x230)

Fig. 11 Profile of ϕ 3mm ejector-pin hollowness on LDPE



(a) Left profile of hollowness (x350)



(b) Right profile of hollowness (x340)

Fig. 12 Profile of ϕ 3mm ejector-pin hollowness on POM

Fig. 10, 11, 12는 ϕ 3mm인 밀핀 흔적의 X방향 윤곽을 나타내며, 좌우 윤곽이 3장에서 언급한 특징을 보여주고 있다. 원형 밀핀 흔적을 관찰한 방향은 모두 X방향이고, 좌우단이 서로 다른 윤곽을 가진다. 왼쪽 윤곽은 재료에 관계없이 분계점을 포함한 복잡한 형상이 되고 있다.

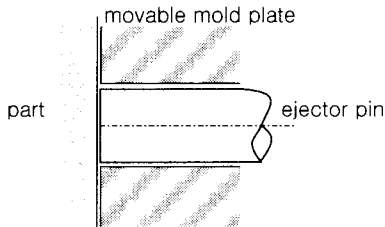
5. 밀핀 흔적의 형성 원리

플라스틱 재질, 밀핀 직경 및 그 위치, 방향은 달라져도 사출성형 제품 위의 원형 밀핀 흔적을 형성하는 과정은 아래와 같다.

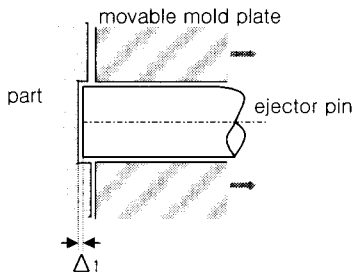
5.1 밀핀에 의한 밀핀 흔적

Fig. 13은 제품 축출 전과 후를 나타낸다. 사출성형 금형 내부의 이젝팅 기구는 가동측 형판이 밖으로 이동하면서 고정상태인 밀핀이 완전히 냉각되지 않은 사출성형 제품을 밖으로 밀어낸다. 성형 직후 제품은 응고되지 않은 상태이므로 밀핀으로부

터 충격을 받아 핀 흔적이 제품에 남게된다.



(a) before ejecting



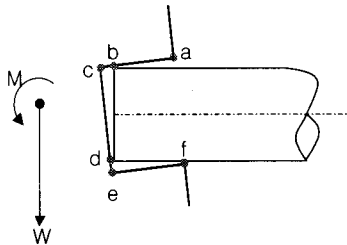
(b) on ejecting

Fig. 13 Hollowness by collision of part and pin

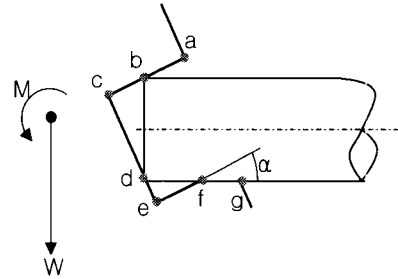
그림에서 Δ_1 은 밀핀 충격력에 의한 변형이며, 변형량에 영향을 미치는 중요한 요소는 재료의 응고 상태와 밀핀 충격력이라고 볼 수 있다.

5.2 회전운동으로 인한 밀핀 흔적

제품표면에 충격으로 인한 밀핀 흔적이 남고, 냉각되면 수축으로 인해 흔적의 직경이 커지고 성형품과 밀핀 사이에 틈이 생긴다. Fig. 14 (a)에서처럼 제품과 밀핀은 발생되는 틈에서 제품의 자중으로 인한 회전 운동을 하게 된다.



(a) The first stage



(b) The second stage

Fig. 14 Hollowness by momentum of part

Fig. 14 (a)에서 중력으로 인하여 성형제품이 밖으로 회전하다가 위쪽 윤곽 점 b에서 멈추고, 아래쪽 윤곽의 바닥 점 d 및 우단 입구 점 f에서 멈춘다. 만일 성형제품이 강체라면 회전 운동은 정지된다. 그러나 성형제품에 있는 밀핀 흔적의 양쪽 끝은 완전히 냉각되지 않은 상태이며 Fig. 14 (b)와 같이 밀핀 흔적 입구 점 f가 밀핀에 눌러 f-g평면(경사면)이 되고, 각 α 는 경사면의 경사각이다.

밀핀은 점 b에서 회전 할 수 있는 운동을 회복하며, b-a구간에서 회전운동을 진행한다. 점 a에서 위 방향으로의 인장력이 생겨서 점 a 부근에서는 볼록 형상이 된다. 이는 재료의 연신률에 의해 영향을 받는다. 재료의 연성이 클수록 점 a에서 높게 늘어진 형상이 생성된다. Fig. 10에서 Fig. 12를 보면 연신률이 큰 PP와 LDPE가 연신률이 작은 POM보다 a점에서 높고 길게 늘어진 부위를 형성하고 있음을 알 수 있다.

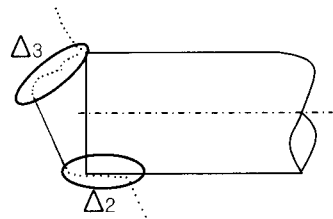


Fig. 15 Contour of hollowness on part

점 b가 밀핀 흔적의 윤곽형상의 분계점이 되는 것이다. b-c구간의 변화는 대개 b-a구간과 같이 회전운동에 의한 흔적으로서 2지점의 윤곽 형태는 E형상이 된다. Fig. 15는 성형제품상의 밀핀 흔적의

양쪽 윤곽이다. 윤곽의 아래쪽은 45도 정도의 경사면($\alpha = 45^\circ$)이 되는데 사출성형 제품이 다시 회전할 수 있는 역할을 한다. 그리고 분계점은 사출성형 제품의 중량의 영향을 받으며 중량이 가벼우면 분계점 b 가 낮아진다. 회전운동에 의한 변형량은 Δ_2, Δ_3 이고 각각 밀핀 위쪽과 아래쪽에 인장과 압축에 의해서 형상이 형성된다.

Fig. 16은 밀핀 자국을 3차원적으로 나타낸 것이다. 실제 형상과 달리 밀핀 자국의 높이를 크게 확대하여 모의형상을 만든 것이다. 회전운동에 의한 밀핀 자국은 매우 복잡하고 압축에 의한 밀핀 자국은 경사진 평면 형태로 상대적으로 단순하다.

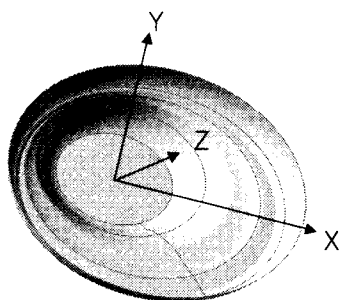


Fig. 16 3D simulation of ejector-pin hollowness

6. 결론

수평식 사출성형 제품의 밀핀 흔적의 윤곽 형성 측정 및 관찰 결과는 다음과 같다.

(1) 원형 밀핀 흔적의 깊이와 밀핀 흔적이 있는 위치의 두께와의 관계는 비례관계가 있지만, 밀핀 직경, 위치 등과의 일정한 관계는 없다. 밀핀 작동시 수지 온도가 수지의 응고 온도보다 상당히 높아 응고되지 않는 사출물 표면에 밀핀 흔적이 남음을 알 수 있다.

(2) 원형 밀핀 흔적은 수지가 충분히 응고되지 않는 상태에서 밀핀의 충격력과 제품의 이탈시 발생하는 회전운동에 의해 생성된다. 특히, 제품의 자중으로 회전운동이 발생하여, 완전히 냉각되지 않은 제품표면에 윤곽 왼쪽방향으로 인장작용이 생겨서 분계점 등을 포함한 복잡한 형상이 된다. 그러나 흔적의 오른쪽 윤곽은 상대적으로 압축작용이 생겨 경사진 평면 형상이 된다.

참고문헌

1. 홍명용, 사출성형기술 I, 기전연구사, pp. 32 - 33, 1999.
2. S. C., Lee, et al, Analysis for filling stage of injection molding considering compressibility and phase change, KSPE, Korea, Vol. 18, No. 12, pp. 60 - 65, 2001.
3. S., Han, et al, Optimum design of process conditions to minimize residual stress and birefringence in injection molded parts, international journal of KSPE, Korea, Vol. 2, No. 2, pp. 17 - 25, 2001.
4. 유중학 외, 최신사출금형설계, 동명사, pp. 219, 2001.
5. 손양언, 사출금형설계, 구민사, pp. 181, 2000.
6. Y. koizumi, et al, "Experimental Investigation of precision plastic lens cutting," JSPE, Japan, Vol. 65, No. 12, pp. 1809 - 1913, 1999.
7. Y. kobayashi, et al, "Relationship between core surface roughness and ejection force for injection molding," JSPE, Japan, Vol. 67, No. 3, pp. 510 - 514, 2001.
8. M. Amano, et al, "Precise injection molded parts for fiber-optic communications," JSPE, Japan, Vol. 66, No. 10, pp. 1514 - 1517, 2000.
9. J. C., Huang, "A study on selection of gate location in injection molding plastic parts," Journal of mold technology, Taiwan, Vol. 50, pp. 28 - 33, 1999.
10. C. W., Lee, et al, Intelligent design system for gate and runner in injection molding, KSPE, Korea, Vol. 18, No. 9, pp. 192 - 203, 2001.
11. J. C., Huang, "A study on detecting area rate of inner ejector-pin in box type plastic parts," Journal of mechanical technology, Vol. 173, pp. 162 - 177, 1999.