

# 이동식 코어를 적용한 웰드라인 제거에 관한 실험적 연구

윤 경 환\* · 조 광 환\*\*  
(1999년 10월 9일 접수)

## An Experimental Study on The Removal of Weldline by Moving Core Method

Kyunghwan Yoon and Kwang Hwan Cho

**Key Words:** Moving Core(이동식 코어), Weldline(웰드라인), Frozen Layer(고화층)

### Abstract

Injection molding is one of the most popular processes in plastic industry. Despite the significant progresses in technical point of view there are still problems to be solved in injection molding process. One of these problems is well-known weldline. A weldline is formed when the two flow front separates and rejoins during the filling process. The flow front separation is caused by an obstruction in the cavity such as core, inserts and multiple gates. The typical occurrence of weldlines is one of the most undesirable phenomena in injection molding because the molded product's appearance is damaged and its strength is reduced considerably. A major factor which weakens the strength is the V-notch structure in its surface and parallel molecular orientation in inner structure. Several methods were tried to remove the weldline in injection-molded parts, but in fail. In the present paper a new technique to remove the weldline is proposed. This technique is named as "moving core method" for the moment, i.e., core moves into the cavity after the flow front passes the core region. The test results using "moving core method" will be shown with some theoretical consideration about weldlines.

### 1. 서 론

일반적인 사출성형품 제작시 여러 가지 결함이 생기는데 대표적으로 웰드라인을 들 수 있다. 그 특징으로는 외관상 흐름의 방향으로 긴 선 모양이 나타나며, 일반 사출품에 비해 강도상으로 50%가량 떨어진다고 알려져 있으며, 특히, FRP (Fiber reinforced polymer)의 경우 fiber의 포함량에 따라 강도는 보다 현저히 감소한다.<sup>(1)</sup>

기존의 해결 방법으로 금형의 구조변경이나 성형조건변화의 변화<sup>(2)</sup> 등으로 결함을 없애려는 노력이

있었으나 근본적으로 웰드라인을 없애주진 못했다.

그러므로, 본 연구에서는 성형품의 구멍을 만드는 과정을 이동식 코어를 사용하여 유동이 지나간 후에 코어 부분에만 압축을 가하여 원하는 구멍 후단에 발생하는 웰드라인을 없애는데 중점을 두었다. 코어의 작동은 사출/압축성형기의 압축과정에 사용되는 유압식 피스톤을 이용하였고, 코어의 움직임은 충전과정 중 유동이 구멍을 지난 후 시작되어 보압과정 중 끝나며 코어의 동작과정 중 고화층(frozen layer)의 형성 정도에 따라 성형품에 영향을 많이 미친다는 사실을 발견하였다.

한편, 시험 사출을 통해 실험적으로 외형상 웰드라인이 사라지는 조건을 찾아낸 후 상용프로그램인 C-MOLD를 이용하여 고화층의 두께 비를

\* 회원, 단국대학교 기계공학과

E-mail : khyoon@dankook.ac.kr

TEL : (02)709-2825 FAX : (02)796-9529

\*\* 회원, 단국대학교 대학원 기계공학과

시간의 변화에 따라 구하여 코어의 작동 시간을 결정하는 참고자료로 하였다. 또한, 평면인 코어 인서트에 따른 바람직하지 않은 유동을 방지하기 위해 이동식 코어의 형상을 개선한 결과를 보였다. 이러한 코어 형상 개선은 구멍부위의 변형 방지 및 깨끗한 절단을 위해서도 중요하다.

## 2. 이론적 배경

### 2.1 웰드라인

웰드라인은 사출성형과정 중 두 유동단면이 만날 때 생긴다. 따라서, 두 개 이상의 게이트(gate)가 있는 곳이나 핀(pin), 홀(hole) 등 인서트(insert)가 있는 경우엔 필히 생긴다. 웰드라인은 니트라인(knit line)이라고도 불리며<sup>(3)</sup> 생성원인에 따라 캐비티(cavity)내에 인서트가 있는 경우 생기게 되는 핫 웰드라인(hot weldline)<sup>(3,4)</sup>과 2개 이상의 게이트에서 용융체(melt)가 유동단면을 따라 서로 평행하게 흐르면서 생기는 콜드 웰드라인(cold weldline)로 분류된다.<sup>(5)</sup>

웰드라인 생성과정은 Yokoi와 Murata<sup>(6)</sup>의 논문에 잘 설명되어 있으며 3차원 실린더 모양의 유동단면을 Fig. 1(a)와 같이 표시할 때 유동전면의 만곡한 면이 벽과 접촉된 부분에서는 캐비티벽 쪽으로 빨는 유동(fountain flow)이 발생한다. 그 결과 Fig. 1(b)에서처럼 두 접점 사이에는 자연적으로 잔여구역(surplus area)이 발생하는데 이 잔여구역이 유리전이온도 이하에서 서로 완전히 결합되지 않고 서로 겹쳐져서 웰드라인이 생기게 된다.

두 유동이 접합할 때 Fig. 2에서 보이는 것처럼 접합각(meeting angle,  $\alpha$ )이 중요한 데 이 각이 작으면 잔여구역이 증가하고, 측방력(side force)도 증가하는데 이때 웰드라인은 좁고 깊게 된다. 반면에 각이 증가하면 접합점 주위의 표면 층에서 잔여구역이 감소되어 웰드라인의 크기가 감소하거나 소멸된다.

두 유동단면의 접합각  $\alpha$ 에 따라 웰드라인이 소멸되는 구역은 일정한 범위 내에 있는데 ( $118^\circ \sim 148^\circ$ ),<sup>(6)</sup> 이 각보다 큰 값에서 웰드라인이 없어지며 금형조건과 캐비티 형태에는 무관하다고 알려져 있다.

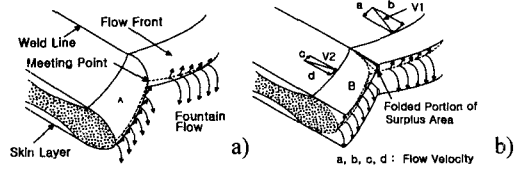


Fig. 1 Schematic mechanism of weld-line formation process(6) (a) Flow fronts meeting (b) Flow fronts turning up/down

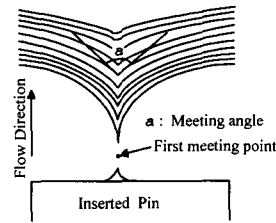


Fig. 2 Image processing results showing the weldline formation pattern(6)

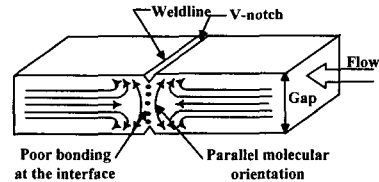


Fig. 3 Origins of weld-line weakness<sup>(8)</sup>

### 2.2. 웰드라인의 구조

웰드라인을 구조적으로 살펴보면 Fig. 3에 보이는 바와 같이 세가지의 결합으로 정리할 수 있다.

1. 유동단면의 접합 시 빈약한 결속력
2. 유동전면에서의 상호 평행한 분자 배향성<sup>(7)</sup>
3. 웰드라인 표면에서의 V-노치<sup>(8)</sup>

### 2.3 웰드라인의 강도

웰드라인의 존재는 일반적으로 사출품의 기계적 강도를 감소시키는데, 폴리머의 웰드라인 형태와 기계적 성질은 성형조건에 의해 많은 영향을 받는다. 초기에는 성형품 제작자의 주요 관심 사항은 웰드라인과 관계있는 표면 얼룩의 제거였

다. 이것을 최소화하기 위해 많은 사출조건에 대한 개선탄안이 제시되었으며, 정리해 보면 다음과 같다.<sup>(2)</sup>

- 1) 인서트 유동변화를 최소화하는 게이트선정
- 2) 웰드라인 있는 곳의 통풍구 설치
- 3) 웰드라인 있는 곳의 부분적 두께의 증가

특히, 게이트의 위치변경은 많은 재료에서 웰드라인의 표면결함을 적게 만들었고, 기계적 결합도 줄였다.

성형조건을 개선하는 방법에는 용융온도, 금형온도, 사출속도, 압력의 제어 등이 있는데, 특히 용융온도와 금형온도는 웰드라인에 가장 많은 영향을 준다.<sup>(2)</sup> 높은 용융온도와 금형온도는 결합부위의 응력과 변형률에 영향을 주어서 유리성질(glassy)의 폴리머와 비결정 폴리머의 경우에서 강도상으로 크게 개선되었다. 예를들어, GPPS(General purpose poly styrene)의 경우 금형온도를 일정하게 유지시킨 상태에서 사출온도를 향상시키면 파단점에서 30% 정도 강도가 개선되고, 사출온도를 일정하게 유지한 상태에서 금형온도를 높이면 강도가 15% 정도 개선된다.<sup>(2)</sup>

보압(holding pressure)도 성형조건에 영향을 주는데 Tomari<sup>(8)</sup>는 보압을 높였을 경우 성형품간에 인장강도를 비교했는데, 보압을 높였을 경우 강도가 개선되는 효과가 있었다.

유리섬유보강재가 보강된 경우는 웰드라인이 있는 부분의 결합성은 오히려 보강재가 없는 경우보다 떨어지는 결과도 보이고 있다.<sup>(1)</sup>

### 3. 실험

#### 3.1 금형의 설계

##### 3.1.1 2단 금형의 설계

본 실험에 사용한 금형은 이동식 코어를 장착한 2단 금형으로 제작하였으며 이는 일반 사출에 사용하는 금형을 변형하여 이젝팅 플레이트가 코어의 전진을 가능하도록 한 것이다.

다음의 Fig. 4는 이동식 코어(moving core)를 적용한 2단 금형의 구조를 보여주고 있다.

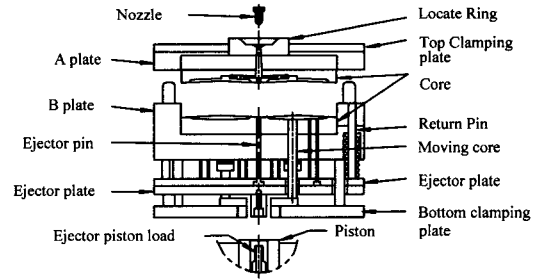


Fig. 4 The structure of mold

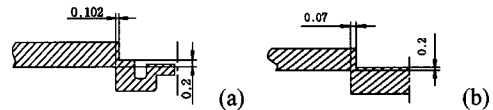


Fig. 5 The gate structure of MOD and moving core(unit = mm) (a) Magneto-Optical Disc (b) present moving core

주요 설계변경 내용은  $\varnothing 14 \times 100$  mm크기의 이동식 코어를 사용한 것으로 사출 성형기의 가동측 유압실린더에서 연결된 피스톤으로 작동하도록 만들었다. 탈착을 위해서는 디스크스프링과 스톱퍼를 사용하였다.

고정측에는 코어의 크기보다 1% 크게 수직 유입구를 3 mm 깊이로 만들어서 코어의 압축에 따른 성형품의 백화 현상이 일어나지 않도록 하였다.

##### 3.1.2 이동식 코어의 설계

코어가 압축되었을 때의 성형품에 형성되는 구멍 부분의 설계 치수는 Fig. 5(a)에 보인 MOD에 사용하는 디스크게이트를 참조하여 0.07 mm  $\times$  0.2 mm로 하였다.

코어의 재질로는 SK-3 탄소 공구강을 사용하였는데 표면경도가 높아 주로 공구재료로 쓰이는 단단한 재료이다. 표면경도가 높아 과중한 하중에도 결합이 생기지 않는다.

이동식 코어의 형상은 Fig. 6(a), (b)에 보이는 두 가지 형태로 만들었다. 코어의 끝 부분에 평평한 모양의 A-type과 5 mm의 홈이 파여진 B-Type의 두 가지 형상의 코어를 제작하였다.

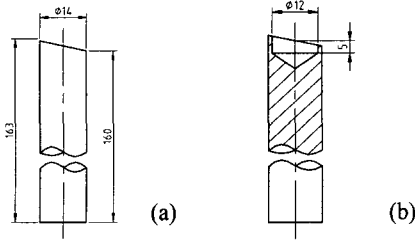


Fig. 6 Modified moving cores; (a) A-type (b) B-type

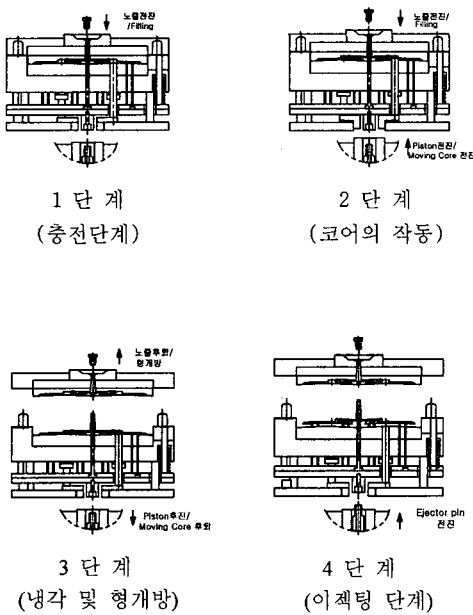


Fig. 7 The processing of injection mold

후자의 경우 코어의 선단 부분을  $\varnothing 12 \times 5$  mm로 칼날모양으로 만들었다.

3.1.3 단계별 금형의 작동

단계별 금형작동에 따른 이동식 코어의 동작은 다음과 같이 진행된다. 즉, 유동선단이 코어를 지난 후 코어를 전진하며 보압을 걸어 형상을 완성 후 냉각이 완료된 후 추출하는 것이다. 코어의 전진을 위해서는 압축동작이 가능한 사출/압축성형기를 사용했으며 독립적인 유압 시스템의 사용도 가능하다.

Table 1 Material and molding conditions of the present experiments

Grade	141-112
Manufacture	GE LEXAN
Melt Temperature	310°C
Mold Temperature	90°C
Filling Time	1.25 sec
Maximum injection Pressure	70 MPa
Holding Pressure	60 MPa
Injection speed	30 cm <sup>3</sup> /sec
Cooling Time	10 sec

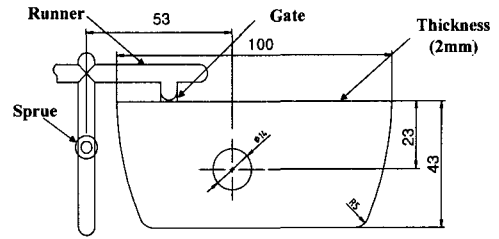


Fig. 8 The geometry of the sample

3.2 성형 조건

본 실험에서 사용된 수지는 범용 폴리카보네이트로 성형조건은 다음의 Table 1에 정리하였다.

총 사출량은 24 g이며 수지는 G.E.사의 Lexan 141 -112로 fiber가 없는 투명한 재료로써 사출품에서 웰드라인을 육안으로도 알아보기가 용이하여 선정하였다.

완성된 성형품의 형상은 100 mm × 42 mm × 2 mm인 사각형 모양으로 실제로는 약간의 곡면을 이룬 스피커의 커버이며 스프루를 기준으로 양쪽에 두 개로 균형을 이루고 있으며 사출용적은 20 cm<sup>3</sup>이다.

다음의 Fig. 8는 좌측이 절단된 한쪽 면의 성형품 치수를 보여준다.

사용된 사출성형기는 진화기계사의 VCD II -50HS이다.

3.3 Frozen layer 두께

전이온도(Transition temperature)는 물질의 성질이 비연속적으로 변하는 온도로 체적엔트로피가 불연속적으로 변하는 온도인 일차전이와 온도-체적, 온도-비열의 곡선이 급격히 변하는 온도인 이차전이 즉, 유리전이온도로 나타낸다. 폴리카보네

이트의 유리전이온도는 약 140℃이다.

고화층(Frozen layer)의 온도에 관하여 Janeschitz-Kriegl<sup>(9)</sup>은 이상적인 열 전달문제로서 충전과정을 볼 때 흐름이 멈추는 온도인 T1 을 도입하였다. T1 이하의 온도구역을 응고층(solidified layer)이라 하였고, 이 층에서의 점성은 사출온도에서 보다 e(2.71828)배가 큰 값을 가진다고 정의하였다. 그러나, 선택된 온도인 T1은 폴리머의 유동이 멈추기엔 너무 높은 값이었다.

그래서 Isayev<sup>(10)</sup>는 정지온도를 유리전이온도 Tg로 선정했고 충전과정동안의 시간의 함수로 고화층의 성장을 보여줬다. 본 연구에서는 고화층의 온도를 Tg로 사용하여 고화층의 두께비가 얼마에서 코어가 작동하는 것이 이상적인가에 대한 고찰을 하였다.

#### 4. 결 과

##### 4.1 시험사출결과

시험 사출은 코어가 없는 상태, 코어가 있는 상태 그리고 이동식 코어가 적용된 사출 등 각각의 경우에 대해 short shot 실험을 통해 과정별 사출을 비교하였다.

(a) 캐비티 내에 코어가 없는 상태의 사출

코어가 캐비티를 방해하지 않는 상태에서의 short shot의 실험을 통하여 Fig. 9에 나타내고 있다(CASE #1).

(b) 캐비티 내에 코어가 있는 상태의 사출

Figure 10(a)는 수지가 캐비티 내로 45% 유입된

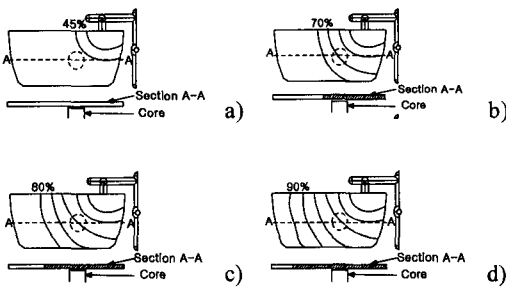


Fig. 9 The result from short shot experiment for the CASE #1 at (a) 0.56, (b) 0.85, (c) 0.92 and (d) 1.05 seconds, respectively

모양을 보여주고 있는데 유동면의 선단이 코어에 접근하고 있다. Figure 10(b)에서는 70% 충전된 상태로 유동이 분기된 후 접합하고 있다. (a), (b)에 의하여 유동의 분기점은 0.58초로 예측되며, 접합점은 70% 수지가 채워진 0.85초임을 알 수 있었다. Figure 10(c)에서는 유동이 접합된 후에 평행하게 0.07초 진행되어 웰드라인이 발생됨을 보여주고 있는데, 웰드라인은 양쪽 흐름이 평행하게 되는 라인을 따라 7 mm의 길이로 두께방향 양쪽 면에 나타났다. 본 실험은 실험의 편의를 위하여 CASE #2라 하였다.

(c) 이동식 코어가 적용되었을 때의 사출

앞의 실험 (a), (b)의 시험 사출을 통하여 이동식 코어의 작동시점을 충전이 70% ~ 80% 완료되었을 때로 잡아야 한다는 것을 예측해 볼 수 있다. Figure 11(a)는 0.73초에 코어를 압축한 short shot 실험을 보여주고 있는데 유동이 코어의 홀 부분을 지나기 전에 코어가 작동되어서 코어 선단에서 성형품의 모양이 불룩하게된 상태를 보여주고 있는데, 이 경우 양쪽에 웰드라인이 생기게 된다. Figure 11(b)는 수지가 캐비티내 70% 채워진 0.85초에 코어를 압축했을 때를 나타내고 있다. 이 경우 구멍이 깨끗하게 커팅되었으며 웰드라인도 생기지 않았다. Figure 11(c)는 80% 채워진 경우로 0.92초에 코어가 압축되었을 때의 형상인데, 이 경우도 웰드라인이 발생되지 않았다. 반면에, Figure 11(d)는 100% 수지가 채워진 후 코어를 압축했을 때의 성형품 형상인데, 원형으로 표시된 부분을 보면 구멍주위에서 두께가 증가하였다.

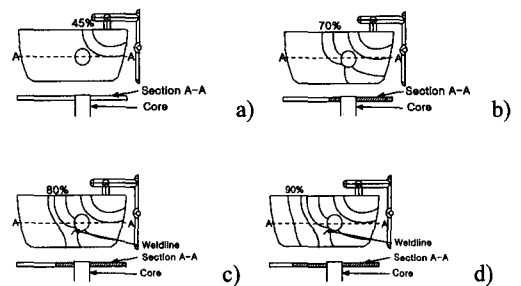


Fig. 10 The result from short shot experiment for the CASE #2 at (a) 0.56, (b) 0.85, (c) 0.92 and (d) 1.05 seconds, respectively

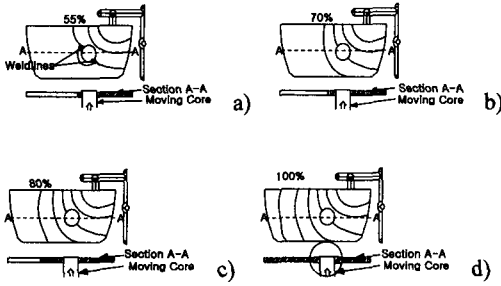


Fig. 11 The result from short shot experiment for the CASE #3 at (a) 0.73, (b) 0.85, (c) 0.92 and (d) 1.25 seconds, respectively

결국, 0.85초 이후에 인서트를 삽입하였을 경우 웰드라인이 발생하지 않는다는 것을 실험적으로 확인할 수 있었고, 충전이 완료된 시점에서 압축은 성형품에 또 다른 외관상의 결함의 원인이 됨을 알았다. 실험의 편의를 위해서 CASE #3로 하였다.

한편, 상용 프로그램인 C-MOLD를 사용한 고화층(frozen layer)의 형성과정을 예측하였으며 이 결과는 이동식 코어의 작동시간을 정량적으로 예측하는데 도움을 준다.

(d) 코어 선단의 형상변경

Figure 6에서 보인 코어의 형상 두 가지에 대한 절단면의 형상은 Fig. 12와 같이 나타내었다.

코어 끝 부분을 평평하게 한 형상(A-type)과 5 mm의 흠이 있는 형상(B-type) 각각의 사출 결과에 대해 특징을 비교하면, 코어의 절단과 이젝팅에 용이한 형상은 5 mm의 가공 흠이 있는 경우임을 알 수 있었다. 흠이 있는 형상은 이동식 코어 선단이 칼날 역할을 하여 절단을 용이하게 하며, 움푹 들어간 흠은 절단으로 잘려진 칩을 잡아당기는 역할을 하여 고정측 캐비티 내에 칩이 남지 않게 되어 확실한 이젝팅에 효과적이었다. 평면 선단의 경우에는 코어를 전진시킬 때 발생하는 유동이 과다하여 사출 후 코어 주변이 지지 분해되고 전진 hr도의 조절에도 어려움이 발생하였다.

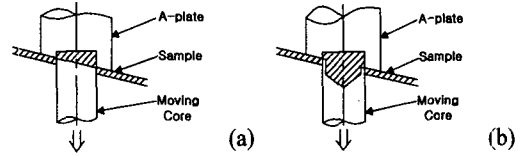


Fig. 12 A sectional view of injection molding sample; (a) A-type (b) B-type

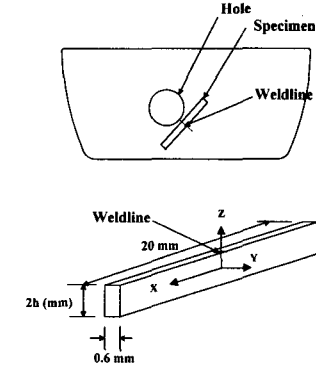


Fig. 13 The specimen for measuring birefringence

4.2 복굴절

웰드라인이 있는 성형품의 경우와 이동식 코어가 적용된 성형품의 복굴절(birefringence)과 소멸각(Extinction Angle)은 다음과 같은 결과로 나타났다. 시험편의 형상은 Fig. 13과 같다.

측정위치는 이동식 코어가 작동된 웰드라인이 없는 시험편과 웰드라인이 있는 고정된 인서트가 있을 때의 시험편을 웰드 중심에서부터 각각 2 mm와 4 mm거리의 위치이며, 웰드라인이 있는 경우와 없는 시험편의 복굴절 값의 차이가 뚜렷이 나타나고 있다. Fig. 14에 보인바와 같이 웰드라인이 없는 시험편의 경우 일반 성형품의 보압을 준 경우와 같은 구조, 즉, 중심 부근에서의 정점을 갖는데 충분히 수축을 보완했음을 나타낸다. 반면에, 웰드라인이 있는 시험편(Fig. 15)에서는 웰드표면 근처에서의 복굴절 값이 높게 나타났고, 중심에서 복굴절 정점이 없으므로 충분한 보압의 효과가 전달되지 않았음을 보인다. 이 복굴절의 측정결과는 이동식 코어를 사용하면 사출품 내의 웰드라인을 없앨 뿐만 아니라 웰드라인이 형성되는 장소에서의 수축을 보완할 수 있음을 보인다.

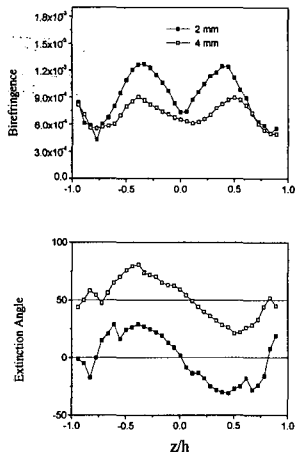


Fig. 14 The gapwise profiles of birefringence and extinction angle for the sample without weldline

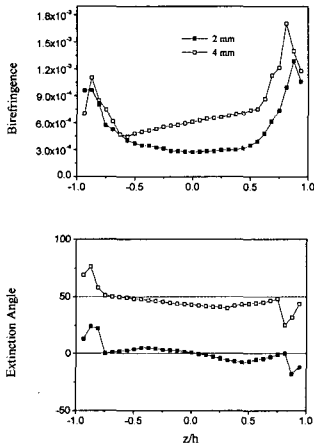


Fig. 15 The gapwise profiles of birefringence and extinction angle for the sample with weldline

4.3 C-MOLD를 사용한 frozen layer의 예측결과 실험에서 얻은 이동식 코어 압축시점인 0.85 ~ 0.9초를 바탕으로 충전 과정 중 고화층의 비를 구하기 위하여 상용프로그램인 C-MOLD를 사용한 해석 결과는 다음과 같다.

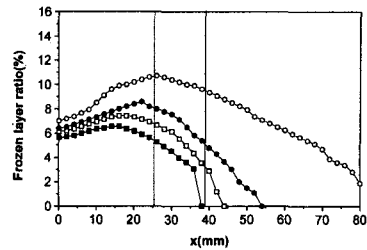


Fig. 16 The distribution of frozen layer ratio for filling phase.(Symbols ■ , □ , ● , ○ denote 0.73, 0.83, 0.94 and 1.25 seconds, respectively)

샘플을 측면에서 관찰 해 볼 때 고화층 비의 변화는 Fig. 16에 보여주고 있다. 여기서 x좌표는 게이트로부터의 거리를 나타내고 있으며, 홀의 위치는 Fig. 16에서 실선으로 표시한 부분인 25 ~ 39 mm에 존재한다. 수지의 흐름은 왼쪽에서 오른쪽으로 진행된다.

코어의 압축 시점에서 고화층의 두께를 살펴보면 선단에서 약 4% 후단에서 8%이며 두께는 게이트에서 가까운 코어 후단에서 더 두껍다. 한편, 충전완료 시에는 코어의 선단에서 가장 큰 값을 보이며 약 10%의 값을 보인다.

실험 결과와 비교하였을 때 유동해석을 통해 웰드라인이 없어지는 압축 조건은 고화층(frozen layer)의 두께 비가 4% ~ 8%인 경우에 해당한다.

### 5. 결론

일반적으로 구멍이 있는 사출성형품의 경우 웰드라인이 생기는데 본 논문에서는 웰드라인의 원인이 수지가 캐비티 내로 흘러갈 때 코어에 의하여 유동이 갈라져 생긴다는 것에 착안하여, 인서트 유동을 방해하지 않도록 하기 위해 유동이 지나간 후에 홀을 만든다는 새로운 방식인 이동식 코어방법을 적용할 수 있다는 것을 보였다.

한편, 시험 사출 과정을 통해 유동이 홀을 지나서 어느 정도 진행된 후 코어가 진행되어야 한다는 특정한 범위를 알 수 있었다. 본 실험의 조건에서는 충전이 70% ~ 80% 진행할 때가 가장 적절한 시간임을 알 수 있었으며 너무 늦게 코어

를 전진시키면 커팅면이 지지분해되고 두께가 두꺼워지는 현상이 생기며 코어의 손상도 가져올 수 있다는 것을 알 수 있었다. C-MOLD 해석의 결과를 참고로 해보면 이에 상응하는 최적의 고화층 두께는 4 ~ 7 % 범위임을 알 수 있었다. 이는 P.C., 두께 2 mm 인 제한된 경우에 해당하며 다른 경우들은 이동식 코어의 형상 개선과 함께 앞으로 계속 연구를 해야한다고 판단된다.

### 참고문헌

- (1) Fisa, B. & Rahmani, M., 1991, "How to Measure Weldline Strength in Reinforced Injection Molded Parts," SPE ANTEC, 37, pp. 396~398.
- (2) Malguarnera, S. C. & Manisali, A., 1981, "The Effects of Processing Parameters on the Tensile Properties of Weld Lines in Injection Molded Thermoplastics," Polymer engineering and science, 21, pp. 586~593.
- (3) Tadmore, Z., and Gorgos, C., 1979, Principles of Polymer Processing, p. 603.
- (4) Hobbs, S. Y., 1974, Polymer Engineering and Sciences, 14, p. 621.
- (5) Bown, J., 1974, Injection Molding of Plastics Components, McGraw Hill, London.
- (6) Yokoi, H., 1991, "Visual Analysis of Weld Line Vanishing Process by Glass-Inserted Mold," SPE ANTEC Tech. Paper, 37, pp. 367~371.
- (7) Kim, S. G., 1986, "Performance Prediction of Weldline Structure in Amorphous," Polymer Engineering and Science, 26, pp. 1200~1207.
- (8) Tomori, K., 1986, "The V-Notch at Weld Lines in Polystyrene Injection Moldings," Polymer Engineering and Science, 30, pp. 931~936.
- (9) Janeschitz-Kriegl, H., 1977, Polymer Melt Rheology and Flow Birefringence, Springer-Verlag, Berlin.
- (10) Isayev, A. I.(Ed.), 1987, Injection and Compression Modeling Fundamentals, Marcel Dekker, New York.