

# 성형조건에 따른 부분 압축가열방식의 도광판 성형에 관한 실험적 연구

조 광 환\* · 윤 경 환†

(2003년 5월 28일 접수, 2003년 12월 10일 심사완료)

## An Experimental Study of the Effect of Process Conditions on Direct Surface Forming of a Light-Guide

Kwanghwan Cho and Kyunghwan Yoon

**Key Words :** Direct Surface Forming(DSF:부분압축가열성형법), Light-Guide(도광판), Back Light Unit(백라이트 유닛), Cold Cathode Fluorescence Lamp(CCFL: 냉음극관), Thin-Film-Transistor Liquid-Crystal-Display(TFT-LCD).

### Abstract

A light-guide is one of several important components of backlight unit in TFT-LCD. The manufacturing technology and optical system design of the light guide is very sensitive to quality and cost of the TFT-LCD module. In the present study a new manufacturing method which is called as direct surface forming(DSF) has been tested under various conditions. DSF is very similar to the well-known hot embossing except for partial contact between mold and substrate. The final V-groove pattern shows different shapes depend on the temperature of mold surface, contact time of mold and depth of V-groove.

### 기호설명

Tc : 접촉시간 (Contact time)

Tg : 유리전이온도 (Glass transition temperature)

### 1. 서론

액정 디스플레이 기술의 비약적인 발전으로 기존의 CRT 모니터는 TFT-LCD 로 대체되고 점차로 대형화되는 추세이다. TFT-LCD 는 크게 LCD 모듈과 백라이트 유닛(Back Light Unit, BLU)으로 구성되어 있다. 특히, 백라이트 유닛은 현재 도광판의 광의 효율과 균일성에 초점을 맞추어서 연구되고 있으며, TFT-LCD 의 대형화에 맞추어 그 연구의 비중은 점차 증대되고 있다.<sup>(1)</sup>

백라이트 유닛은 도광판, 냉음극관, 확산시트, 프리즘시트, 반사시트, 기타 냉음극관의 동작을 위한 인버터나 전원공급장치로 구성된다.

도광판은 측면에서 냉음극관이나 LED 를 통해 나온 선광이나 점광의 광원을 전면방향으로 꺾어 LCD 모듈 방향으로의 면광으로 진행하도록 광의 방향을 바꾸는 부품이다. 광경로 변환의 원리는 빛의 확산, 굴절, 반사를 이용하는데 현재 사용되는 제작방법으로는 도트인쇄법과 사출성형법 그리고 기계적인 V-커팅에 의한 방법이 있다.

도트인쇄법은 현재 가장 많이 사용되고 있는데 그 원리는 도광판 하부면에 도트(dot)를 형성시키고 이 도트안에 빛을 산란시키는 재료인 작은 입자를 포함시켜 제작하는데 빛의 산란 원리를 이용하여 비교적 안정된 광원을 얻을 수 있으나, 오랜 시간이 지나면 인쇄한 페인트가 변색되는 등 온도와 습도에 민감하다. 또 평면에 인쇄하는 방식이기 때문에 2 차원에 국한되어서 다양한 방법<sup>(2,3)</sup>으로 그 향상을 위해 시도되고 있으나 결국 패턴의 자유도에 제한이 있다(광의 확산과 반사만 이용).

† 책임저자, 회원, 단국대학교 기계공학과

E-mail : khyoon@dankook.ac.kr

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

\* 단국대학교 대학원 기계공학과

일반적으로, 사출성형법에 의해 제작되는 도광판은 광의 굴절, 확산, 반사의 원리를 이용한다. 금형의 한 면 또는 양면에 광의 굴절과 반사를 일으킬 수 있는 홈을 만들어 사출성형과정을 통해 투명 플라스틱 기판에 전사하는 방법으로 만들어진다. 이 방법은 3 차원 형상이기 때문에 광경로 변환이 자유로워 도트인쇄법과 비교하여 광 효율이 좋고 일부 시트를 제거할 수 있는 설계도 가능하다는 장점이 있다. 그러나 도광판의 크기가 크고 두께가 두꺼워 사출하기에는 적합치 못한 기판(17 인치 이상이거나 두께가 8 mm 이상일 경우)에서는 실제적인 제작에 어려움이 있다.

기계적인 방법은 사출성형으로 제작하려는 홈을 V-커팅에 의한 기계적인 가공으로 제작 시도하고 있으나 마무리 면이 깨끗하지 못하다는 제약조건도 있다.

본 논문에서 시도하는 방법은 도트인쇄법이 가지고 있는 2 차원 형상의 한계를 극복하면서 사출성형법의 단점인 크기가 크고 두꺼운 도광판의 제작에 적용될 수 있는 부분압축가열성형법(DSF)에 관한 것이다.<sup>(4)</sup> 이 방법은 핫엠보싱(hot embossing)을 응용한 것으로 핫엠보싱이 모재전체를 가열, 가압하여 진공상태로 긴 냉각과정을 거쳐 제작하는 것에 비하여 모재를 부분적으로 가열, 가압하고 대기 상태에서 제작하는 것이 특징이다. 이 방법은 광 경로를 자유자재로 변환할 수 있는 설계에 적합하며, 도광판 전체를 가열하지 않으며 도광판의 냉각시간도 짧아 제작시간을 줄이는데 유리하다.

본 연구에서는 부분압축가열성형법(DSF)를 통해 시험 제작된 도광판의 성형조건이 단면형상에 미치는 영향에 관한 실험결과를 보이고자 한다.

## 2. 관련이론

### 2.1 BLU의 구조

백라이트 유닛은 Fig. 1에 보이는 바와 같이 광원(Light Source), 도광판(Light-Guide), 반사판(Reflective Film), 확산판(Diffusive Film), 프리즘필름(Prism Film)으로 구분되는데 광원으로는 중형 도광판은 냉음극관(CCFL)을 주로 사용하고, 소형 도광판은 LED를 사용한다.

광의 진행은 광원에서 시작하여 도광판을 통과면서 각도가 바뀌어서 전면(TFT-LCD panel 방향)으로 향하거나 반사판으로 향하는 광은 반사판에서 전면으로 각도가 바뀌어 전면으로 향하게 된다. 그리고 이 광은 확산판과 프리즘 필름을 통과하면서 유효한 각도로 변환되어 진행하게 된다.

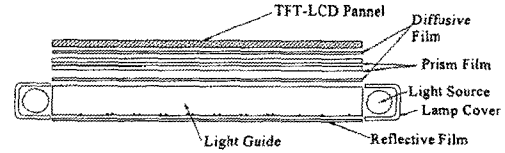


Fig. 1 Schematic diagram of Back Light Unit

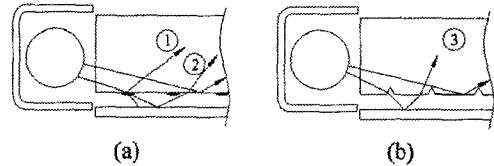


Fig. 2 A class of Light-Guide (a) Printing type (b) V-groove type

특히, 도광판은 점광이나 선광을 면광으로 바꾸는 역할을 담당한다. 선광을 면광으로 바꿀 때 가장 중요한 역할을 하는 것은 광의 경로 변화를 예측해서 최대한 광의 효율을 높이는 설계를 하는 것인데 광의 경로를 예측하는 소프트웨어를 이용한 모형 해석을 토대로 원하는 패턴의 위치와 그에 대한 광의 경로를 보다 정확하게 예측하는 연구들이 활발히 이루어지고 있다.<sup>(5)</sup>

대표적인 도광판의 종류는 인쇄형과 홈형(V-홈)이 있는데(Fig. 2) 인쇄형은 매질을 통한 확산(Fig. 2(a)의 ①)과 반사판에 반사되는 광(Fig. 2(a)의 ②)을 이용하고, V-홈형은 굴절광과 반사광(Fig. 2(b)의 ③)을 이용한다. 인쇄방식이 광확산 이용 면에서 단순한 2 차원 평면에 국한되는데 비해 V-홈 방식은 3 차원으로 새겨진 홈의 각도에 따라서 다양한 광의 굴절과 반사의 이용이 가능하기 때문에 광 경로 변환에서 인쇄방식보다 유리하다.

### 2.2 DSF(부분압축가열성형법)

DSF 방식은 도광판에 홈을 새기기 위하여 금형을 일정한 온도 이상으로 가열하여 가압 성형하는 방법으로 핫엠보싱 기술을 응용한 성형방법이다.<sup>(6)</sup>

Fig. 3에 보이는 바와 같이 핫엠보싱 기술은 금형과 모재를 함께 유리전이온도(glass transition temperature,  $T_g$ ) 이상으로 올린 후 내부에 진공상태를 유지한 채 금형과 모재 사이에 틈새가 없도록 완전히 밀착하여 수지를 녹여서 전사하고 다시 온도를 유리전이 온도 이하로 낮추어서 고화시킨 후 이젝팅하는 단계로 제작하는 성형하는 방법이다.<sup>(7)</sup> 성형과정 중 30°C 이상 되는 큰 온도변화를 주어야 하고 금형과 제품 사이에 에어버블에 의한 인트랩을 방지하기 위해 진공의 유지를 위한

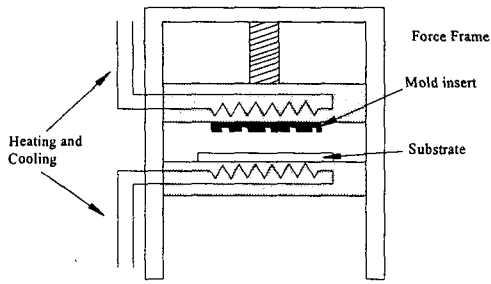


Fig. 3 Diagram of a hot embossing machine

장치가 필요한 점이 특이하다.<sup>(8)</sup> 반면에 DSF 방법은 금형과 모재간 완전히 밀착하는 것이 아니라 일정한 간격(gap)이 있는 상태로 제작하여 에어트랩으로 인한 영향이 없기 때문에 진공유지가 필요하지 않으며 부분가열, 가압하여 부분융융 상태로 이젝팅하기 때문에 별도의 냉각과정이 필요가 없다.

2.2.1 DSF 성형공정

DSF 성형공정은 크게 금형 가열, 성형가압, 이젝팅으로 구분된다.

Fig. 4(a)는 금형가열단계로 금형의 측면에 장착된 열요소(heat element)에 의해 온도를 유리전이온도(Tg) 이상으로 올리는데 기판(Substrate)이 순간적으로 녹을 수 있는 온도가 적절하다.

Fig. 4(b)는 성형가압단계로 압력은 일반적으로 금형자체의 자중에 의해 저속으로 가압한다.

금형상관부의 기판과 금형사이에 간격(gap)이 있는 것이 특징이다.

Fig. 4(c)는 이젝팅 단계로 DSF가 수지의 점탄성을 이용하기 때문에 고속으로 후퇴하도록 한다. 저속일 경우 V-홈이 다시 메워지는 현상이 생긴다.

고온의 돌출부를 가진 금형을 플라스틱 기판에 대고 압력을 가하면 표면에 홈이 생기면서 돌출된 형상이 전사되는데 금형돌출부가 냉각되며 고속으로 후퇴하기 때문에 형상은 성형조건에 따라 다양하게 나타난다. 플라스틱 수지의 경우 일정온도 이상의 열을 가하면 수지의 점성이 작아져서<sup>(9)</sup> 홈에 있던 수지가 좌우 측면으로 밀리기 쉬운 반면 너무 고온일 경우 플라스틱 수지가 녹아 금형과의 접촉력이 커져서 이젝팅할 때 표면이 거칠게 된다. 이런 경우 성형각도가 커지고 표면조도가 떨어져 효율적인 반사나 굴절에 장애가 되어 광 효율이 떨어진다.

반면에 너무 낮은 온도일 경우 수지가 완전히

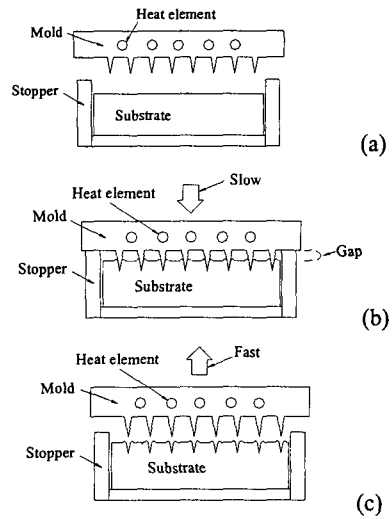


Fig. 4 Sequential processes of DSF method

녹지 않은 상태에서 가압하기 때문에 더 많은 힘이 들어가고 수지의 탄성적인 복원력의 영향이 강하기 때문에 각도가 좁아지게 된다. 역시 광 효율에서도 원하는 값을 얻기 힘들다.

3. 실험결과

3.1 성형단면의 분석

본 실험에서는 성형조건에 영향을 알아보기 위해 Fig. 5 와 같이 금형에 하나의 날을 장착하여 좌우에 있는 원통형 열선을 통해 온도를 상승시켜 PMMA 기판에 대고 누르는 동작을 통해 시험 성형품을 제작하였다.

실험에 사용된 재료인 PMMA(Mitsubishi Rayon, SHINKOLITE-A)의 열적특성은 유리전이 온도가 105℃이고 2 차 이완온도(secondary relaxation temperature)는 50℃이다.<sup>(10)</sup>

성형 후 전사된 V-홈의 형상은 온도, 접촉시간(Tc), 깊이에 따라 다르게 나타난다. 온도는 성형과정 중에 날 끝부분에서 측정하기가 쉽지 않아 열선위치에 측정기(thermocouple)를 장착하여 측정했는데 실제 날 끝부분의 온도와 15℃정도 차이가 난다. 접촉시간은 타이머를 장착하여 날 끝이 성형기판에 닿을 때부터 이형되기 직전까지의 시간이다. 성형깊이는 다이얼 게이지로 제어하고 최종 깊이는 성형단면을 컷팅하여 측정하였다.

먼저 온도에 의한 영향으로 깊이가 200 μm, 접촉시간(Tc)이 20 초인 조건에서 180~250℃로 변화

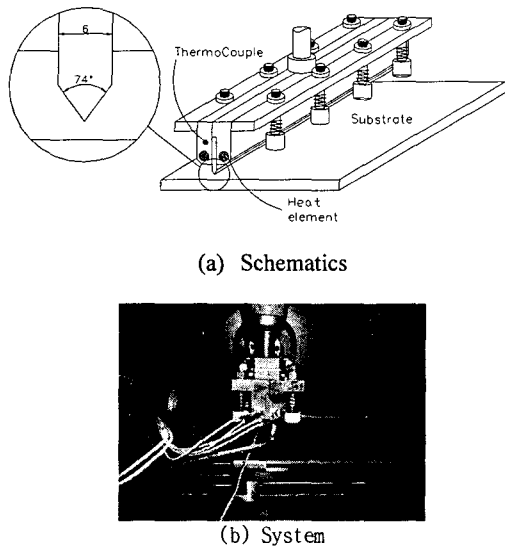


Fig. 5 Structure of DSF method for experience

시킬 때 형상은 Fig. 6 과 같이 나타난다.

Fig. 6(a)는 180℃일 경우인데, 특징은 형성된 홈의 사이각이 첨단부에서는 좁고 첨단에서 멀어질수록 넓어지게 되는데 이것은 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 설계된 이상적인 광 경로에 적용할 수 없다. 그 이유는 전면으로 향해야 하는 광의 대부분이 좌우로 분산, 소멸되게 되며 결국 어둡게 나타나게 된다. 반면에, 광을 산란과 관련된 표면상태는 비교적 좋은 장점이 있다.

Fig. 6(b)은 210℃의 경우로 180℃에서의 완전한 홈의 각도가 비교적 첨예하게 되나 금형의 날부와 같은 완전한 형상(74°)은 아니다. 특히, 홈의 좌우에는 V-홈 내부에 있던 수지가 좌우로 밀리면서 쌓이게 되어 불룩하게 되고 표면도 거칠어진다.

Fig. 6(c)은 225℃의 경우로 이전의 두 경우와 비교하여 볼 때 첨예한 부분부터 이형불량현상이 나타나기 시작한다. 온도가 더 높은 경우(Fig. 6(d))에는 접촉된 면 전면에서 이형 불량이 생긴다. 홈의 사이각은 첨단에서는 사이각이 넓고, 표면에서는 좁아지는 포물선형으로 180℃에서 보여주었던 모양과 반대로 나타난다.

접촉시간에 대한 영향은 깊이가 200 μm이고 온도가 215℃일 때 5~35 초의 범위로 실험했으며 시간에 따른 단면 형상은 Fig. 7 과 같다.

5 초일 경우(Fig. 7(a)) V-홈이 완전하게 확장되지 않았다. 그 이유는 수지가 유동성을 가질 만큼 충분한 시간이 부족한데서 원인을 찾을 수 있다.

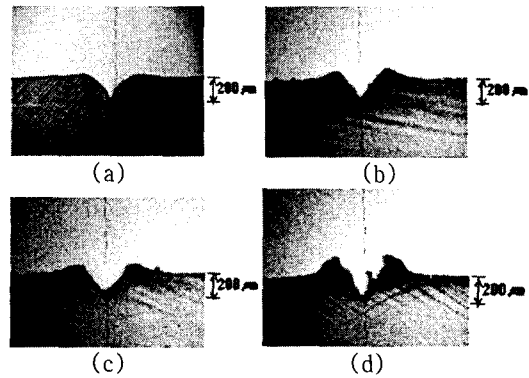


Fig. 6 The cross sectional view about respective temperature(T) in conditions of 200 μm and Tc(Contact time) = 20 sec ; (a) T = 180℃, (b) T = 210℃, (c) T = 225℃ and (d) T = 240℃

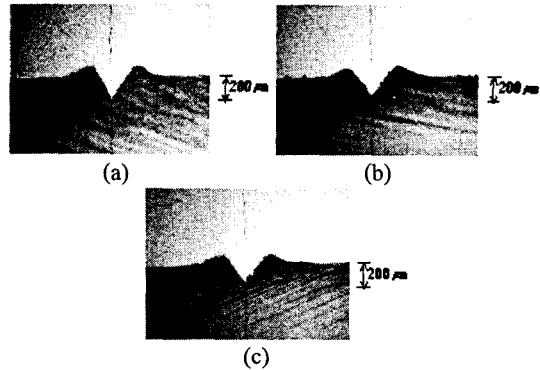


Fig. 7 The cross sectional view of different contact time(Tc) for the conditions of 200 μm and 215℃; (a) Tc = 5 sec, (b) Tc = 20 sec and (c) Tc = 35 sec

20 초인 경우(Fig. 7(b)) 홈의 사이각이 금형의 날부 각도와 같은 각도로 확장했다. Fig. 7(c)는 접촉시간이 35 초일 경우인데 파잉으로 가열된 경향을 보인다. 표면은 이형불량현상으로 거칠게 되고 V-홈의 각이 첨단으로 갈수록 넓어지며 표면에서는 좁아진다.

Fig. 8 에서는 극단적인 두 경우에 형성된 패턴을 보여준다. 극저온, 짧은 접촉시간(Fig. 8(a))의 형상은 금형의 칼날 부위가 이젝팅된 후에 날에 의해 좌우로 밀렸던 수지가 다시 메워지는 현상으로 중앙에 자국만 남았다. 이와는 반대로 극 고온과 긴 접촉시간일 경우 이형불량 현상이 발생하는데 Fig. 8(b)에서 보여주고 있다.

위의 결과를 토대로 PMMA 의 경우 V-홈의 성형가능온도는 200℃ ~ 220℃, 접촉시간은 200 μm일 때 20 초가 적절하다는 결론을 얻었다.

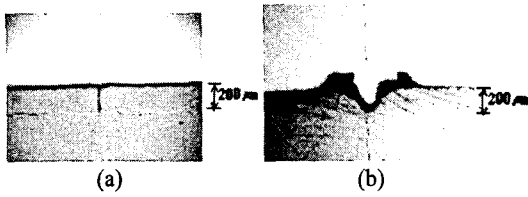


Fig. 8 The cross sectional view of two extreme cases of 200  $\mu\text{m}$ : (a)the ultimate low temperature( $T = 150^\circ\text{C}$ ,  $T_c = 0.5 \text{ sec}$ ) and (b)the ultimate high temperature( $T = 250^\circ\text{C}$ ,  $T_c = 35 \text{ sec}$ ).

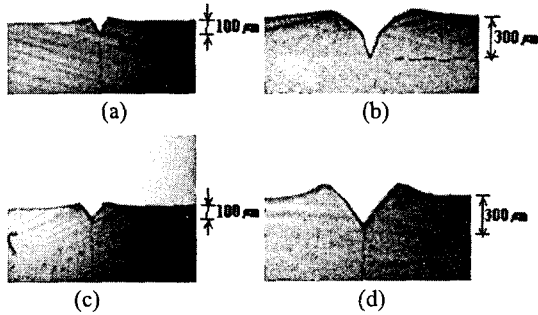


Fig. 9 Variation of cross sectional view and V-groove depths with contact times( $T_c$ ) for the conditions of  $210^\circ\text{C}$ ; (a) depth = 100  $\mu\text{m}$ ,  $T_c = 20 \text{ sec}$ , (b) depth = 300  $\mu\text{m}$ ,  $T_c = 20 \text{ sec}$  (c) depth = 100  $\mu\text{m}$ ,  $T_c = 10 \text{ sec}$ , (d) depth = 300  $\mu\text{m}$ ,  $T_c = 35 \text{ sec}$ .

깊이가 변할 때의 영향은  $210^\circ\text{C}$ 에서 각각 100  $\mu\text{m}$ 와 300  $\mu\text{m}$ 의 실험을 통해서 비교해 보았다. Fig. 9(a)에 나타난 바와 같이 100  $\mu\text{m}$ 의 경우 접촉시간을 20 초로 주었을 때 깊이를 200  $\mu\text{m}$ 로 한 경우 높은 온도에서 나타난 형상과 유사하게 표면에 이형불량이 나타났다. 반면에, Fig. 9(b)에서는 300  $\mu\text{m}$ 와 20 초일 때의 결과로 낮은 온도에서 나타나는 형상과 유사하게 완전히 확장되지 않은 형상으로 나타났다. 각각의 접촉시간을 줄이거나 늘였을 때의 적절한 조건은 Fig. 9(c),(d)에서 나타난 것처럼 100  $\mu\text{m}$ , 10 초와 300  $\mu\text{m}$ , 35 초일 경우이다. 깊이에 따라서 최적 접촉시간이 비례적으로 증가하는 것을 알 수 있다.

하나의 날이 장착된 금형의 실험을 토대로 전체를 한번에 찍을 수 있는 금형을 제작하기 위하여 각 날을 일체형으로 결합시킨 금형을 합체형 금형이라고 한다.(Fig. 10)

Fig. 11 은 합체형 금형으로  $215^\circ\text{C}$ ,  $T_c = 20 \text{ sec}$ 의 상태에서 찍은 성형품을 보여주고 있다. 간격은 1.5 mm로 일정하게 하고 깊이를 변화시켜서 좌우 균등하게 패턴을 설계하였다. 패턴의 깊이는

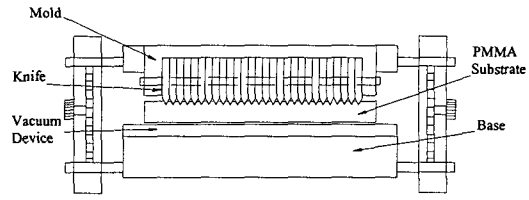


Fig. 10 A diagram for union mold of DSF

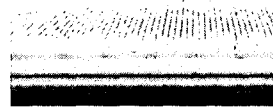


Fig. 11 The Light guide sample manufactured by union mold

Table 1 Annealing process condition

Annealing temperature( $^\circ\text{C}$ )	Annealing time(min)
130	20
140	15
150	11

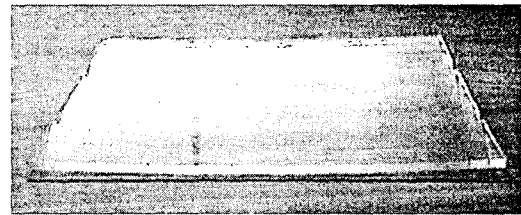


Fig. 12 A picture of warped PMMA substrate

130~240  $\mu\text{m}$ 의 범위에서 변화도록 설계하였는데, 광원으로부터 가까운 거리의 V-홈 깊이는 낮게 하고 먼 거리에는 깊게 설계하여 제작하였다.

해결방법은 Table 1의 조건에 따라서 적절한 풀림(anneal)과정을 통하면 가능하다. 각각의 온도와 시간 조건에서 완전히 풀림과정을 거치고 서냉하여 2 차 이완온도 이하( $50^\circ\text{C}$ 이하)로 떨어뜨리게 되는데 이 과정으로 외부의 열에 의해 민감하게 반응하는 현상도 완화된다. 그러나 응력이 해소 외에도 기관자체에 약간의 수축이 발생하는데, 본 실험에서 사용한 PMMA(Mitsubishi Rayon, SHINKOLITE-A)에서는 길이 방향으로 약 5%의 수축이 발생하였다.

위에서 언급한 단점을 보완하여 보다 정밀한 제품을 성형하기 위한 연구가 현재 진행 중에 있다.

#### 4. 결 론

본 연구를 통해 얻어진 DSF 방법에 의한 성형의 특징은 다음과 같다.

- 성형조건(성형온도, 접촉시간, 성형깊이)에 따라서 여러 가지 성형단면이 나타나는데 성형온도가 최적온도에 비해 낮거나 접촉시간이 적은 경우에는 탄성복원력(springback)에 의한 미성형이 발생하고, 성형온도가 너무 높은 경우나 접촉시간이 긴 경우에는 이형불량이 발생하며 그 형태들을 실험에 의해 보였다.
- 본 실험에서 사용한 PMMA 의 경우 V-홈의 최적 성형온도는 200℃ ~ 220℃범위이며 접촉시간은 깊이가 200 μm일 때 20 초가 적절하다.
- 하나의 날에 의한 실험결과를 토대로 합체형 금형으로 성형한 경우 험이 발생하여 이를 없애기 위해 후 공정으로 풀림과정이 필수적임을 발견하였다.

#### 후 기

이 연구는 2003 학년도 단국대학교 대학연구비의 지원으로 연구되었음.

#### 참고문헌

- (1) Kim, K. H., Song, J. G., Park, S. B. and Lyu J. J., 2000, "PVA Technology for High Performance LCD Monitor," *Journal of Information Display*, Vol. 1, No. 1, December 2000, pp. 3~7.
- (2) Horibe, A., Baba, M., Nihei, E. and Koike, Y., 1998, "High-Efficiency and High-Visual-Quality LCD Back-Lighting System," *SID 98 DIGEST*, USA, pp. 153~156.
- (3) Tagaya, A., Ishii, S., Yokoyama, K., Higuchi, E. and Keike, Y., 2002, "The Advanced Highly Scattering Optical Transmission Polymer Backlight for Liquid Crystal Displays," *Japanese Journal of Applied Physics*, Vol 41 N.4A, pp. 2241~2248
- (4) Park, S. J., Yoon, K. H. and Park, C., 2001, "New Manufacturing Method for Light Guide of PMMA," ANTEC. 2001, pp. 3308~3310.
- (5) Breault Research Organization Inc., 2001, ASAP(Advanced System Analysis Program) Advanced Tutorial, *Breault Research Organization*.
- (6) Jang, Y. J., Lee, L. J. and Koelling, K. W., 2002, "Hot Embossing in Microfabrication," *Polymer Engineering and Science*, Vol. 42, No. 3, pp. 539~550.
- (7) Hecke, M., Bacher, W. and Muller, K. D., 1998, "Hot Embossing-the Molding Technique for Plastic Microstructures," *Microsystem Technologies*, Vol. 4, pp. 122~124.
- (8) Becker, H. and Gartner, C., 2000, "Polymer Microfabrication Methods for Microfluidic Analytical Applications," *Electrophoresis2000*, Vol. 21, pp. 12~26.
- (9) Ferry, J. D., 1980, *Viscoelastic Properties of Polymers*, John Willey & Sons, pp. 264~320.
- (10) Aklonis, J. J. and MacKnight, W. J., 1983, *Introduction to Polymer Viscoelasticity*, pp. 73~82.

(1) Kim, K. H., Song, J. G., Park, S. B. and Lyu J. J.,