

## PDP 격벽의 롤 포밍을 위한 그루브와 프리폼의 설계

박종진<sup>†</sup> · 황한섭\* · 김용석\*\* · 전형조\*\*  
(2002년 2월 18일 접수, 2002년 7월 15일 심사완료)

### Design of Groove and Preform for Roll Forming of PDP Barrier Ribs

Jong-Jin Park, Han-Sub Hwang, Yong-Seog Kim and Hyung-Cho Jeon

**Key words:** PDP(플라즈마 디스플레이 패널), Barrier Rib(격벽), Green Tape(그린 테이프), Roll Forming(롤 포밍), Groove Roll(그루브 롤), Plastic Flow(소성 유동)

#### Abstract

Among various methods to manufacture the PDP barrier ribs, the pressing and the roll forming methods are simple and economical because they form the ribs by utilizing the plastic flow of the green tape in a relatively short time without generating air-polluting dusts. In the present study, the roll forming method was investigated by experiments as well as numerical analyses and in result the groove roll and the preform were designed. The effect of draft angle, corner radius, and initial thickness of the green tape on the plastic flow was examined by a series of parametric studies. The preform was recommended to ease the plastic flow into the grooves and to avoid the occurrence of cracks during rolling and sintering processes.

#### 1. 서 론

CRT(Cathode Ray Tube)는 영상정보를 표현하는 장치의 주류로 개발되어 왔지만, 두께와 무게 때문에 대형화면을 실현하기에는 많은 문제가 있다. 이를 해결하기 위해 최근에는 평판표시(FPD; Flat Panel Display) 소자로써 LCD(Liquid Display Panel)와 FED(Field Emission Display) 등에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 평판표시 분야는 현재 시장 형성의 초기단계에 있으나, 성장 잠재력이 큰 차세대 핵심산업으로 기대되고 있다. 여러 소자 중 PDP(Plasma Display Panel)는 10cm 이하의 두께를 가지는 박형이면서도 40~60inch의 대형 화면과 160도 이상의 넓은 시야각을 비롯하여 CRT 수준의

화질을 구현할 수 있는 장점을 가지고 있다.

PDP에 관련하여 배기공정의 열전달 해석<sup>(1)</sup> 등 여러분야에서 연구되고 있다. 여러 가지 주요 기술 중 격벽(barrier rib)의 제조기술이 관심을 모으고 있으며, 이에 대한 많은 기술이 개발되고 특허가 등록되고 있다. 일반적으로 PDP의 격벽은 다음과 같은 요구조건을 만족해야 한다: (1) 격벽의 폭은 되도록 얇고 상부는 평탄할 것, (2) 패널 전면에서 격벽의 높이가 균일할 것, (3) 형광체가 부착되기 용이하도록 격벽 측면은 적당한 경사각을 가질 것, (4) 반사율이 높은 재료로 구성하여 형광체에서 가시광이 반사되기 쉬울 것, (5) 기체 흡착 및 방출이 적을 것.

격벽을 성형하는 방법으로는 실크 스크린을 이용하여 격벽을 쌓아가는 스크린 프린트(screen printing)법, 세라믹 입자를 함유한 압축공기를 불어서 패턴된 후막층을 식각하는 샌드 블라스트(sand blasting)법, 노광시킨 PR(photo-resister)을 식각시킨 후 그 부분에 격벽용 페이스트(paste)를 채우고 건조와 경화 과정으로 PR을 제거하여 격벽을 성형하는 포토 매입(photo-sensitive dry film press and rib

<sup>†</sup> 책임저자, 회원, 홍익대학교

E-mail : jjpark@wow.hongik.ac.kr

TEL : (02)320-1637 FAX : (02)322-7003

\* 홍익대학교 대학원 기계공학과

\*\* 홍익대학교 대학원 신소재공학과

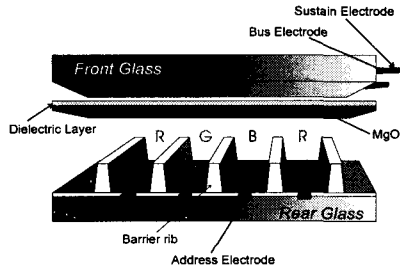


Fig. 1 Schematic drawing of AC type PDP panel structure

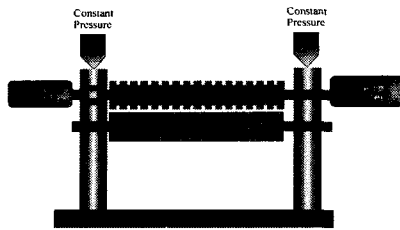


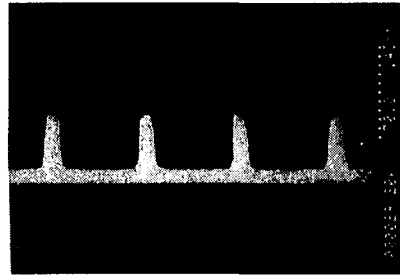
Fig. 2 Experimental apparatus for roll forming

paste)법, 격벽의 역 형상을 가지는 몰드 또는 롤을 이용하여 격벽을 성형하는 프레스(press)법과 롤 포밍(roll forming)법 등이 있다.<sup>(2)</sup>

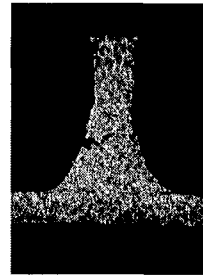
그린 테이프(green tape)로부터 격벽을 성형하는 롤 포밍 법은 상대적으로 공정이 간단하고 성형 시간이 짧으며 소재의 손실과 분진 발생이 거의 없는 장점이 있다.<sup>(3-6)</sup> 하지만 프리폼(preform), 롤 그루브(roll groove) 등 성형조건에 따라 성형의 성공여부가 좌우되므로 이에 대한 다양한 실험과 해석이 필요하다. 본 연구에서는 서브 스케일의 성형 장치를 제작하여 실험을 수행하였으며, 상용 유한 요소해석 프로그램인 DEFORM<sup>(7)</sup>을 이용하여 그린 테이프 소재의 롤 그루브로의 유동을 분석하였다. 그리고 이로부터 성형에 적합한 프리폼과 롤 그루브의 형상을 포함한 성형공정을 제시하였다.

## 2. 기초 성형 실험

Fig. 1에 PDP의 전후면 기본구조를 도시하였다. 전면에는 전극과 MgO 보호막이 얇게 성형되어 있으며, 후면에는 어드레싱 전극 사이에 많은 격벽이 평행하게 성형되어 있다. 이 격벽 사이의 거리가 PDP의 서브픽셀(sub-pixel)을 형성한다. 일반적으로 격벽의 폭은 30~80 $\mu\text{m}$ 이며 높이는 120~160 $\mu\text{m}$ 이다. 42인치 VGA급 PDP의 격벽 사이의 거리는 420 $\mu\text{m}$

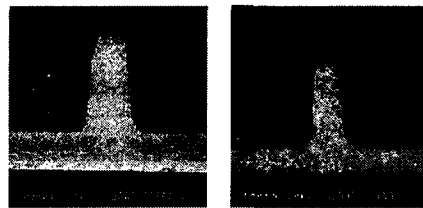


(a) Formed barrier ribs



(b) A tearing defect

Fig. 3 Barrier ribs formed by roll forming



(a) Before (b) After

Fig. 4 Barrier ribs before and after sintering

이다. 이러한 격벽을 롤 포밍으로 성형할 경우에는 그린 테이프를 소재로 사용한다. 그린 테이프는 유리 모재 알루미나 복합재료로써 유리 가루(glass frits)와 알루미나 가루(alumina powder)가 용해제(solvent), 결합제(binder), 가소제(plasticizer) 그리고 분산제(dispersant)와 함께 혼합되어 있다.

본 연구에서 사용된 실험용 롤 포밍 성형장치를 Fig. 2에 나타내었다. 상부 롤에는 격벽을 성형하기 위하여 그루브가 파여 있으나, 하부 롤은 표면이 매끈한 평 롤이다. 자유회전하는 상부와 하부 롤에 일정한 압력을 가하면서 또는 롤 갭(roll gap)을 유지하면서 그린 테이프가 도포된 유리기판을 롤 사이로 통과시킨다. 이 과정에서 그린 테이프의 소재는 소성변형으로 인하여 그루브로 유동하여 격벽을 성형하게 된다. 롤 포밍에 의하여 성형된 격벽

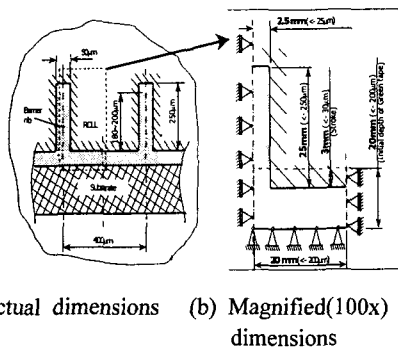


Fig. 5 Dimensions of the groove and barrier ribs

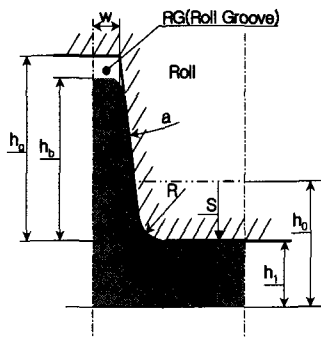


Fig. 6 Design parameters for the roll groove

의 사진이 Fig. 3(a)와 (b)에 나타나있다. 그림 (a)와 같이 격벽은 전반적으로 잘 성형되었지만 여러 군데에서 그림 (b)와 같이 뜯김(tearing)에 의하여 발생한 결함이 발견되었다. Fig. 4(a)와 (b)에 소결 전과 후의 격벽을 나타내었다. 소결을 통하여 부피가 크게 감소하였으며, 소결 후 여러 코너 부위에서 크랙이 발견되었다. 소결과정에서는 소재내의 유기 물질을 제거하기 위하여 420°C에서 약 30분 동안 가열하였으며, 이어서 분말사이의 결합을 위하여 500°C에서 약 1시간 동안 가열하였다.

위의 실험을 통해서 발견된 결함을 이해하고 이를 해결하기 위하여 유한요소해석을 수행하였으며, 해석결과로부터 롤 그루브를 설계하였다. 즉, 성형성을 높이고, 성형 및 소결 과정에서의 결함 발생 가능성을 낮추고자 하는 관점에서 그루브를 설계하였다. 이를 위하여 그루브 측면의 경사각, 코너 반경, 그리고 그린 테이프의 두께가 성형에 미치는 영향을 분석하였다. 아울러 롤과 격벽이 분리될 때 격벽 상부에서 발생하는 뜯김 결함을 낮추는 관점

도 고려하였다. 또한 하중부족으로 인한 미충전 결함을 방지하기 위하여 성형에 필요한 하중을 낮추는 관점에서 프리폼을 설계하였다.

### 3. 그루브와 프리폼의 설계

#### 3.1 유한요소해석 모델

Fig. 5(a)와 (b)에는 각각 격벽의 실제 치수와 100 배로 확대시켜 유한요소해석에 사용한 모델을 도시하였다. 유한요소해석 프로그램 DEFORM에서는 응용분야의 특성상 너무 작은 치수를 사용하게 되면 "계산착오"가 발생할 수 있으므로 이를 방지하기 위하여 치수를 확대하여 사용하였다. 롤 포밍 성형 시 소재의 유동은 길이 방향으로의 변화가 없는 평면 변형을 변형에 해당한다. 따라서 유한요소해석에서는 롤과 소재사이의 접촉면에서 발생하는 상대속도 중 수평방향 성분을 무시한 평면 변형을 압축 변형으로 가정하였다.

그린 테이프는 어느 정도 마른 후에 성형에 사용하는데, 이때의 유동응력은 측정하기가 매우 어렵다. 따라서 이와 유사하다고 판단되는 플라스틱인(plasticine)의 유동응력<sup>(8,9)</sup>을 사용하여 해석을 수행하였다.

#### 3.2 롤 그루브

Fig. 6에는 롤 그루브와 각 부분을 나타내는 기호를 도시하였다. w는 격벽의 1/2 폭, h<sub>0</sub>는 그린 테이프의 초기두께, h<sub>1</sub>은 성형이 완료된 시점에서의 그린 테이프의 두께, h<sub>2</sub>는 성형이 완료된 시점에서의 격벽의 높이, h<sub>g</sub>는 그루브의 깊이, a는 그루브의 측면 각도, R은 코너 반경, 그리고 S는 성형 중 그루브 롤의 하향 운동거리(stroke)를 나타낸다.

측면 각도(a)에 따른 성형성을 살펴보기 위해서 격벽의 폭, 코너 반경 및 격벽의 높이를 동일하게 유지하고 측면 각도만 2°, 4°, 6°로 변화시키면서 해석을 수행하였다. 코너 반경이 2mm일 경우에 예측된 성형하중의 변화를 Fig. 7에 도시하였는데, 측면 각도가 증가할수록 성형하중이 감소함을 볼 수 있다. 또한 성형 중에 롤 그루브와 성형된 격벽이 분리될 때에도 측면 각도가 증가할수록 격벽의 뜯김 결함이 감소하게 된다. 즉, 측면 각도가 증가할수록 성형성은 향상되는 것을 알 수 있다.

코너 반경(R)의 영향을 분석하기 위하여 격벽의 폭, 측면 각도 및 격벽의 높이를 동일하게 하고 코

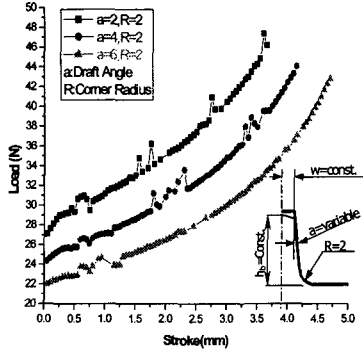


Fig. 7 Load vs. stroke curves predicted for different draft angles

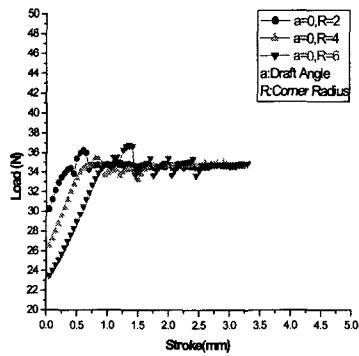
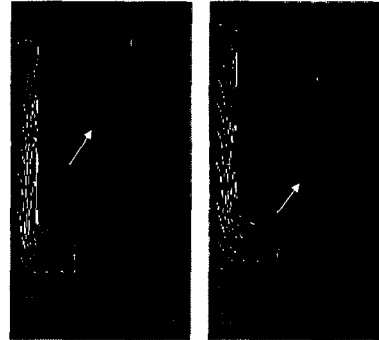


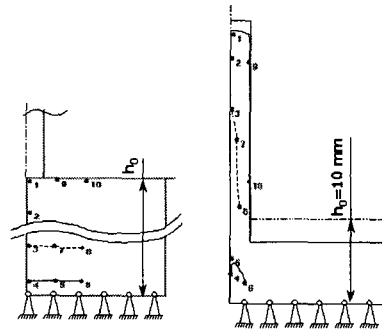
Fig. 8 Load vs. stroke curves predicted for different corner radii

너 반경만 0mm, 2mm, 4mm, 6mm로 변화시키면서 해석을 수행하였다. 측벽 각도가 0°일 때 예측된 성형하중을 Fig. 8에 나타내었다. 성형 초기의 하중은 코너 반경이 증가할수록 감소되지만 스트로크가 약 1.0mm를 넘게되면 코너 반경의 크기에 상관없이 거의 일정하게 유지됨을 볼 수 있다. Fig. 9에 코너 반경이 0mm와 2mm일 때의 flow-net을 비교하였다. 성형 전의 flow-net은 정사각형 격자로 구성되어 있으므로 성형 후 격자의 찌그러짐 정도로부터 변형 양상을 판단할 수 있다. 코너 부위에서 격자의 찌그러짐은 코너 반경이 0mm인 경우에 더 크게 나타나므로 성형 중의 전단응력과 성형 후의 잔류응력이 더 클 것이라고 예측된다. 특히 코너 부위에서 인장 잔류응력이 크게 존재하면 소결 중에 크랙이 용이하게 발생할 것이다. 따라서 코너

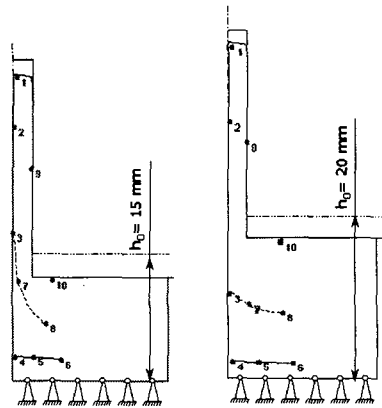


(a) 0 mm (b) 2 mm

Fig. 9 Flow-nets predicted for different corner radii



(a) Before forming (b)  $h_0 = 10$  mm



(c)  $h_0 = 15$  mm (d)  $h_0 = 20$  mm

Fig. 10 Displacement of points predicted for different green-tape thicknesses

반경이 클수록 소재의 유동은 부드러워지며, 따라서 성형 및 소결 과정에서 결함이 발생할 가능성이 낮아질 것이다.

그린 테이프 초기두께( $h_0$ )의 영향을 분석하기 위하여 다른 조건은 모두 동일하게 유지하고 그린

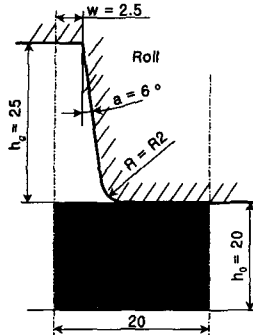


Fig. 11 Proposed roll groove dimensions and green-tape thickness

테이프의 초기두께만 10mm, 15mm, 20mm로 변화시켰다. 성형 전에 Fig. 10 (a)의 위치에 있던 점들이 동일한 압축거리를 가하였을 때 초기두께의 차이에 의하여 Fig. 10 (b), (c), (d)에 나타난 위치로 이동하였다. 특히 점 3,7,8의 위치 변화를 추적하여 보면 초기두께가 클수록 유동은 작게 나타나므로 격벽 성형에 유리함을 알 수 있다.

위의 결과들을 요약하면 측벽각도, 코너 반경, 그리고 그린 테이프의 초기두께는 클수록 성형에 유리하다는 것이다. 이러한 결과를 바탕으로 격벽의 사양 한도에서 설계한 롤 그루브 형상과 그린 테이프를 100배로 확대하여 Fig. 11에 나타내었다.

3.3 프리폼

위에서 설계된 그루브 롤을 이용하여 본 연구에서는 Fig. 12에 도시한 세 가지 공정에 대하여 고려하였다. (a)는 프리폼이 없는 공정이며, (b)와 (c)는 각각 블락커(blocker) 과정과 피니셔(finisher) 과정으로 구성되어있다. 블락커 과정에서 프리폼이 성형되며, 피니셔 과정에서는 프리폼을 사용하여 최종 형상을 성형한다. 따라서 격벽의 높이/폭을 나타내는 형상비(aspect ratio)는 피니셔에서 더 크게 나타난다. (b)와 (c)에서는 각각 다른 프리폼이 성형되고 사용되는 것을 볼 수 있다. 따라서 블락커에서 프리폼을 성형할 때에는 과다하중이나 성형결합이 거의 발생하지 않음으로 결육이 없는 완전 충전으로 가정하였다.

Fig. 13에 유한요소해석으로부터 예측된 충전과정과 손상값(damage factor) 분포를 도시하였다. 손상값으로는 "normalized Cockroft & Latham ductile fracture criterion"<sup>(10,11)</sup>을 적용하였으며, 이로부터 성

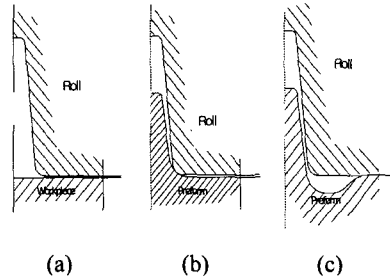


Fig. 12 Selected forming processes: (a) with no preform, (b) with simple preform, and (c) with grooved preform

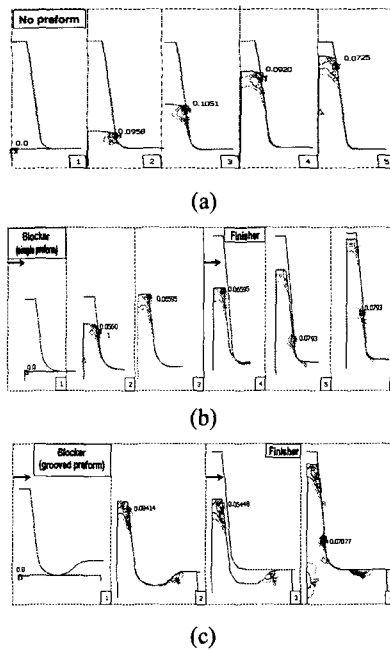


Fig. 13 Filling process and damage factor distributions for the selected forming processes: (a) with no preform, (b) with simple preform, and (c) with grooved preform

형 과정에서 뜯김 결합의 정도를 예측하였다. (a)의 경우에는 최대 손상값 0.0725가 상부 코너에서 발생하며, (b)에서는 0.0793이 격벽의 1/2 높이에서 발생하고, 그리고 (c)에서는 0.0708이 격벽의 1/4 높이에서 발생한다. (b)와 (c)의 프리폼은 형상비가 작고 측벽 각도가 크기 때문에 최대 손상값이 다소 크게 예측되었어도 실제로 뜯김이 발생할 가능

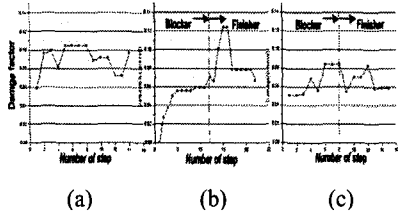


Fig. 14 Variations of the maximum damage factor for the selected forming processes: (a) with no preform, (b) with simple preform, and (c) with grooved preform

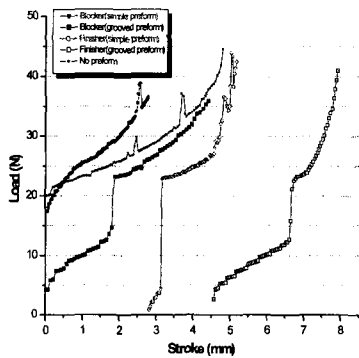


Fig. 15 Load vs. stroke curves predicted for the selected forming processes

성은 낮을 것으로 판단된다. 따라서 블락커 공정을 제외하면, 최대 손상값은 (c), (a), (b) 순서로 증가하며 이러한 순서로 성형공정의 효율성은 낮아진다. Fig. 14에 성형시간에 따른 최대 손상값의 변화를 도시하였다. (a)에서는 공정 전반에 걸쳐 크게 나타나며, (b)에서는 피니셔 공정의 초기에서 급격히 증가하며, (c)에서는 블락커 공정의 후반부와 피니셔 공정의 중간부에서 증가하는 것을 볼 수 있다.

Fig. 15에 성형하중을 비교하였는데, 최대 하중은 세 가지 공정에서 모두 비슷하게 나타났다. 하지만 각각의 블락커 공정과 피니셔 공정은 프리폼이 없는 공정보다 스트로크가 작고(즉, 소재의 유동이 작고) 하중도 대체로 작다. 일반적으로 소재의 유동과 하중이 작을수록 마모 발생이 낮으므로 롤의 수명은 증가한다. 이러한 관점에서 (c)의 경우가 가장 바람직하다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 롤 포밍에 의한 PDP 격벽 성형에 관한 기초연구로써 롤 그루브의 형상과 프리폼을 실험과 유한요소해석을 통해서 제안하였다. 본 연구로부터 얻은 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 롤 포밍에 의하여 격벽이 효율적으로 성형됨을 알 수 있었다. 하지만 성형과 소결 과정에서 뜯김과 크랙 결함이 간혹 발생하였다. 이러한 결함은 적절한 롤 그루브와 프리폼을 포함한 성형공정을 통하여 방지할 수 있을 것으로 예상된다.

(2) 롤 그루브의 형상은 소재 유동에 매우 큰 영향을 미친다. 측벽 각도, 코너 반경, 그린 테이프의 초기두께가 클수록 성형하중, 잔류응력이 낮아지며 소재의 유동이 부드러워진다.

(3) 충전과정, 손상값의 분포, 그리고 성형하중을 검토하여 블락커 공정과 피니셔 공정으로 구성된 성형공정이 가장 바람직한 것으로 나타났다. 특히 프리폼은 얇은 그루브가 있는 형상이 보다 효율적인 것으로 판단되었다. 피니셔 공정만으로 성형할 경우에는 격벽의 상부 코너에서 뜯김이 발생하며, 성형하중이 높아지므로 미충전 등의 문제가 발생할 것으로 예측된다.

#### 후 기

본 연구는 과기부에서 지원하는 “첨단기계류·부품기술 개발” 과제 “PDP용 고정세 격벽 형성 장치 개발”의 위탁과제 “PDP 격벽 제조용 금형설계 및 장치구조물 해석”에 의하여 수행되었습니다.

#### 참고문헌

- (1) Park, H. G. and Chung, J. D., 2001, "Heat Transfer Analysis in a PDP Ventilation Chamber," *Transactions of the KSME, B*, Korea, pp. 347~355.
- (2) Im, N. K., 2001, "Survey Report for 2000 New-Tech. Trend (Plasma Display Panel)," Patent Bureau, No. 11-1430000-000158-01.
- (3) Kenichi, Y., Masafumi, K. and Kiyohiro, S. K., 1997, "Barrier Rib for Plasma Display Panel and Manufacture Thereof," Japanese Patent, Application No. 09137132.

- (4) Lee, K. I., 1998, "Manufacturing Method of Plasma Display Panel," Korean Patent No. 1998-038420.
- (5) Kim, Y. S., Lee, S. Y., Lee, Y. H. and Hong, S. K., 2001, "Formation of Barrier Ribs of Plasma Display via Roll Forming of Green Tapes," Journal of American Ceramic Society, 84(7), pp. 1470 ~ 1474.
- (6) Kim, Y. S., Kim, H. S., Hwang, H. S., and Park, J. J., 2001, "Effects of Processing Parameters on the Barrier Ribs Formed for PDP by Rolling of Green Tapes," Proceedings of IMID, KIDS, pp. 299 ~ 302, 2001.8.29-31, Korea.
- (7) Kobayashi, S., Oh, S.-I. and Altan, T., 1989, Metal Forming and the Finite Element Method, Oxford University Press.
- (8) Kim, H. S., Chu, E. D., Im, Y. T., Lee, S. H. and Lee, J. S., 1993, "An Experimental Study on Cup-Type Heavy-Forging by Physical Modeling," Journal of the KSTP, Vol. 2, No. 3, pp. 27 ~ 36.
- (9) Lee, J. H., Lee, Y. S. and Park, J. J., 1994, "Design of the Cold Forging Process for the Outer Race of BJ Type Constant Velocity Joint using Plasticine," Journal of the KSTP, Vol. 3, No. 3, pp. 282 ~ 290.
- (10) Latham, D. J. and Cockcroft, M. G., 1966, A Simple Criterion of Fracture for Ductile Metals, NEL Report, No. 240.
- (11) Oh, S. I., Chen, C. C. and Kobayashi, S., 1979, "Ductile Fracture in Axisymmetric Extrusion and Drawing-Part 2," Trans. ASME. Journal of Engineering for Industry, Vol. 101, pp. 36 ~ 44.