

## 사다리꼴 단면 용기의 성형에 코너컷이 미치는 영향

고대림\* · 김진무  
기계공학과

### <요 약>

본 논문은 사다리꼴 단면을 갖는 용기의 성형에서 4각블랭크의 코너컷방법을 제시하였다. 또한 4각블랭크와 코너컷을 한 블랭크의 성형성을 비교하였다.

실험 결과에 의하면 사각 블랭크인 경우 단면부의 코너와 중앙에서 변형률의 최대가 0.24와 0.25이었고, 코너컷을 한 경우는 최대변형률이 0.12와 0.16으로 상당히 감소하였음을 알 수 있었다.

---

## Effects of Corner Cut on the Formability of Trapezoid Cup Drawing

Ko Dae Lim · Kim Jin Moo  
Department of Mechanical Engineering

### <Abstract>

A method of corner cut for a rectangular blank in trapezoid cup drawing is proposed. The formability of a rectangular blank is compared with that of a corner cut blank.

The experimental results has shown that maximum strains in the former were 0.24 and 0.25 at the corner and center of short side, but in the latter 0.12 and 0.16 and that the strain distribution considerably decreased.

---

\*울산대 대학원 기계공학과

## 1. 서 론

판재성형은 자동차, 항공기 산업을 비롯하여 전기, 전자 제품 등의 여러 분야에 다양하게 이용되고 있다. 용기를 만드는 디프드로잉가공은 판재성형 가공 중에서 매우 중요한 가공법으로 평가되고 있다. 디프드로잉에 있어 변형 거동은 굽힘, 드로잉, 스트레칭, 아이어닝 및 이들의 조합으로 구성된 복잡한 변형 모드를 포함하고 있으며<sup>(1)</sup>, 재료 자체의 성형성, 이방성 등의 기계적 성질이나 블랭크의 형상, 공구 상태, 표면 윤활, 성형속도, 성형압력 등에 따라 가공 상태가 달라지므로 이러한 공정 변수에 대한 성형 난이도를 체계화시키는 작업이 요구된다.

디프드로잉 가공에서 발생하는 문제점 중에서 펀치어깨부의 파단, 월 브레이크, 직변부의 벽균열이나 신장플랜지부의 균열 등과 주름현상<sup>(2)</sup>을 대표적으로 생각할 수 있다. 이런 문제점들은 재료의 유입과 반대 방향으로 적당한 장력과 마찰을 부가하여 재료의 유동 상태를 효과적으로 제어함으로써 해결할 수 있다.

디프드로잉에 관한 연구는 Swift<sup>(3)</sup>가 2축인장, 굽힘, 아이어닝 가공을 받는 판재의 불안정성에 대한 연구에서 시작되어, Chung과 Swift<sup>(4)</sup>는 간단한 컵형 드로잉에 관해서 연구를 하였고, Woo<sup>(5)</sup>는 인장성형에 관해서 연구했으며, 이와 같은 연구들은 Willis<sup>(6)</sup>, Alexander<sup>(7)</sup> 등에 의해 잘 요약되었다. 초기 대부분의 연구는 컵형과 같은 축대칭에 관한 연구였으며, 그 이후 비원형 단면의 형상에 관한 연구는 Yoshidas<sup>(8)</sup>와 Kawai<sup>(9)</sup> 등에 의해서 이루어 졌다. 최근에는 성형성을 향상시키는 방안으로 초기 블랭크의 형상 결정에 관한 연구들이 많이 진행되고 있으며, 특히 미끄럼 신장법<sup>(10)</sup>과 유한요소법<sup>(11)</sup>을 이용한 초기 블랭크의 형상을 결정하는 연구들이 많이 진행되고 있다. 적당한 블랭크 형상은 성형시 플랜지부의 두께 변화가 적어 재료의 유입이 원활하며 성형성을 향상시킬 수 있다. 그러나 이와 같은 방법들에 의해 결정되어진 초기 블랭크의 형상들은 계산이 복잡하고, 모양이 복잡하여 가공이 어려운 문제점들 때문에 현장에서 적용하기 어렵다.

적당한 코너컷도 위와 같은 효과를 얻을 수 있으나, 아직까지 블랭크의 적당한 코너컷에 대한 연구가 미진하여 대부분의 경우에 실험과 경험으로 코너컷량을 결정하고 있다. 따라서 본 논문에서는 비원형 단면인 사다리꼴 단면의 용기 성형에서 4각블랭크에 적당한 코너컷에 의해 초기 블랭크 형상의 결정 방법을 제시하고, 미끄럼 신장법<sup>(12),(13),(14),(15)</sup>에 의해서 구한 블랭크, 사각 블랭크 및 코너컷한 블랭크에 대해 성형 난이도를 고려한 최대성형 깊이까지 성형한 후 성형성을 비교하였다.

## 2. 실험 장치 및 방법

### 2.1 실험 장치

본 연구에 사용된 실험 장치는 Fig. 1과 같이 다이 구동부, 금형, 펀치구동부, 변위측정부, 변위 및 하중 데이터 신호처리 시스템으로 구성되어 있다. 프레스는 동성개발주식회사에서 제작된 Side Frame Type이며 기종은 PDH-250-100, 가압능력 250ton, 행징 1000 mm, 볼스타 변적 1000 × 600 mm이다. 펀치구동부는 유압식이며 최대 가압능력은

120ton, 최대 행정은 150 mm이다.

금형의 구성은 다이, 펀치, 블랭크홀더, 블랭크홀더력과 펀치력을 측정하는 두개의 로드셀로 구성되며, 펀치 어깨반경이 12 mm이고 다이 어깨반경이 10 mm인 금형의 다이 형상 및 치수는 Fig. 2와 같다.

변위 측정 장치는 MTS사에서 제작된 TEMPOSONICS II이고 자기장의 원리를 이용하여 변위를 측정한다. 구성요소는 변위측정장치에 전원을 공급하는 Switching Power Supply와 변위를 측정하는 변환기로 구성되어 있다.

데이터 획득장치는 변위 측정 장치의 출력 신호를 처리하는 Digital Counter Card, 로드셀의 출력 신호를 증폭하는 OP Amplifier, 아날로그신호를 디지털 신호로 바꾸는 A/D Converter, 그리고 데이터의 저장 및 출력을 위한 컴퓨터로 구성되어 있다.

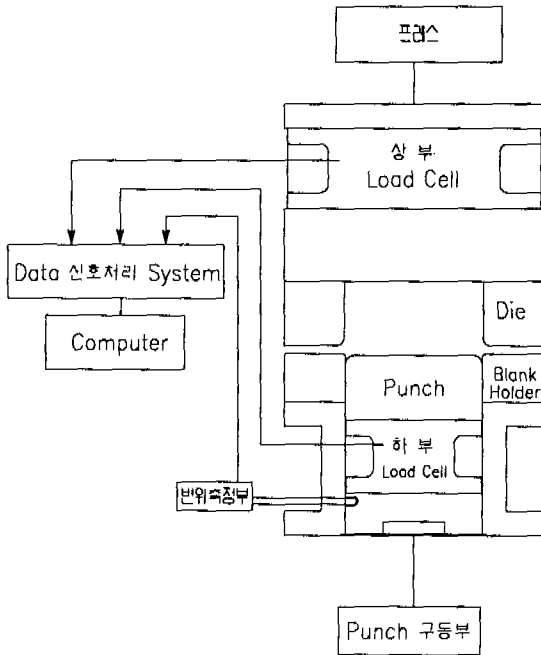


Fig. 1 실험장치도

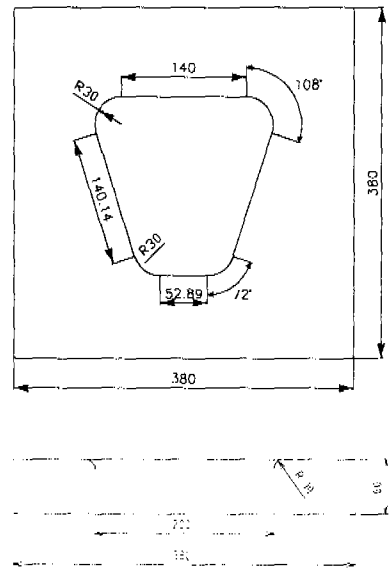


Fig. 2 다이의 형상 및 치수

## 2.2 실험 방법

본 실험에서 사용한 판재의 두께는 0.88 mm인 냉연강판(SPCC)을 사용하였고 재료의 기계적 성질은 Table 1과 같다.

Table 1. 기계적 물성치

시편	인장강도 (kgf/mm <sup>2</sup> )	탄성계수 (kgf/mm <sup>2</sup> )	경화지수 n	항복강도 (kgf/mm <sup>2</sup> )	연신율 (%)	이방성계수 R	
SPCC	37.5	$2.1 \times 10^4$	0.26	17.3	37	R <sub>0</sub>	1.72
						R <sub>45</sub>	1.52
						R <sub>90</sub>	2.14

블랭크의 크기는 제품의 표면적과 블랭크의 표면적이 같다는 가정과 성형깊이 45mm를 기준으로 300×310 mm로 결정하였다. 최적의 성형은 파단과 플랜지 및 용기의 벽에 주름이 발생하지 않고 제품의 각 부위에서 두께 변화가 적고 용기의 형상이 양호하며 트리밍을 고려한 플랜지 부분이 최소일 때이다. 적정한 코너컷 및 장,단변부의 유입량을 결정하기 위해서 성형을 단계별로 하였다. 블랭크홀더력과 펀치력의 측정은 상하 로드셀로 하고, 펀치의 변위는 펀치구동부에 부착된 변위 측정기에서 나오는 신호를 각각 받아서 컴퓨터에 입력시켜 데이터 파일로 저장하였다.

블랭크홀더력은 무운환 상태에서 예비 실험을 통하여 성형이 가능한 상한치 0.322 kgf/mm<sup>2</sup>로 하였으며, 펀치의 속도를 3.4 mm/s로 하고, 시편을 5단계의 성형깊이, 즉 10, 20, 30, 40, 45 mm로 순차적으로 성형하여 재료의 유동 특성 및 두께를 실측하여 코너컷이 필요한 부분을 결정하였다. 코너컷은 분석된 결과와 코너 부분에서 성형깊이와 관련된 블랭크 크기 결정식으로부터 Fig. 3과 같이 결정하여 성형실험을 하였고, 미끄럼 선장법에 의해 결정된 블랭크의 성형결과와 비교하였다. 4각 블랭크, 코너컷된 블랭크, Slip 선장법에 의한 블랭크 등 블랭크는 모두 압연 방향이 사다리꼴 금형의 높이 방향과 동일하게 놓았으며, 예비 실험을 통하여 장변부의 벽면에 주름이 발생하지 않고 성형이 가능한 블랭크의 위치를 Fig. 4 (a), (b) 및 (c)와 같이 결정하였다.

성형된 소재의 유동 상태를 관찰하기 위하여 판재의 표면에 5 mm간격으로 정사각형의 격자를 포토에칭하였으며, 판재 각 부위의 두께는 전자마이크로미터로 측정하였다.

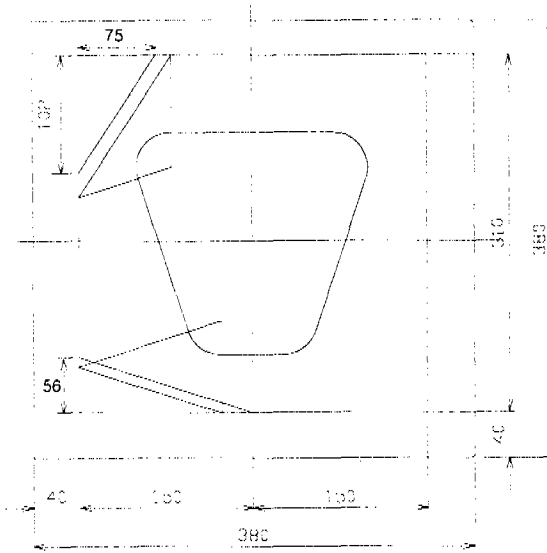
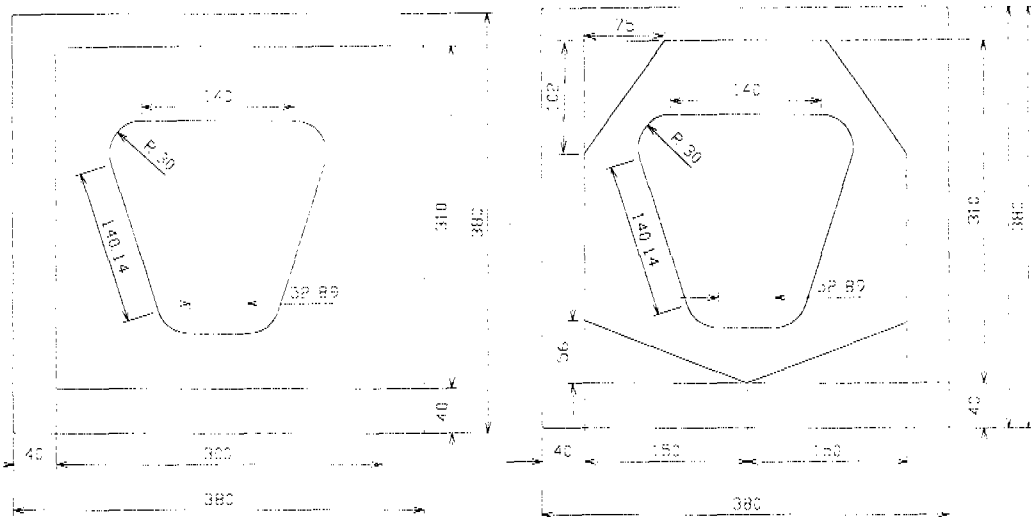


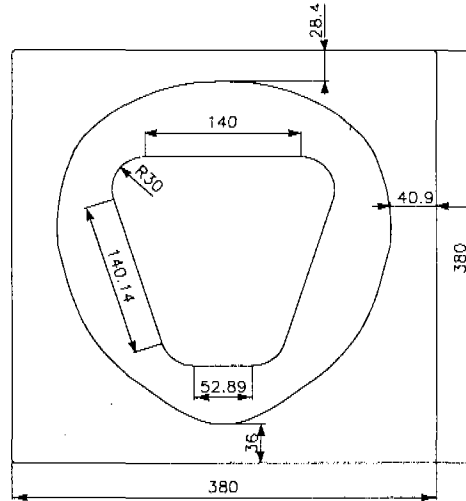
Fig. 3 코너컷의 결정 방법



(a) 4각블랭크

(b) 코너컷된 블랭크

Fig. 4 성형시 블랭크가 다이위에 놓이는 위치(계속)



(c) Slip 선장법에 의한 블랭크

Fig. 4 성형시 블랭크가 다이위에 놓이는 위치

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 사각블랭크의 코너컷량

사다리꼴 단면을 갖는 용기는 장변부와 단변부의 중심을 연결하는 선에 대해 대칭이므로 시편의 1/2을 해석하였다. 직사각형 블랭크를 사용한 성형품은 성형깊이 10, 20, 30, 40, 45 mm로 성형후 플랜지 끝단의 두께를 32지점으로 나누어 측정하였고, 측정된 위치는 Fig. 5와 같다.

Fig. 6에서 위치 1-5와 14-21에서는 20 mm까지 성형될 때 플랜지 끝단의 두께 변화가 거의 없음을 알 수 있다. 그러나 성형깊이가 30 mm이상에서 부터 두께의 급격한 증가가 관찰되었다. 이러한 현상은 성형 초기에는 재료의 거동이 다이 내부방향으로만 일어나고 돌려 방향으로의 유동은 미약하나 성형이 진행됨에 따라서 다이 코너부에서는 유입저항이 증가하면서 강체 영역을 형성하여 직변부 중심 방향으로 재료가 유동하여 두께가 증가함을 알 수 있다. 그러나 5번 위치에서는 성형깊이와 무관하게 두께의 변화가 없고 5-13과 22-29에서는 성형 깊이와 무관하며 두께의 변화가 거의 없음(1%이내)을 알 수 있다. 장,단변 코너부에서 성형된 제품의 형상을 살펴보면 성형깊이에 관계없이 플랜지부의 코너 끝단은 90°로 유지되며 장변부 및 빗변방향으로 회전되어 있는 현상이 발견된다.

30-32영역은 단변부의 중앙 부분으로서 장변부 및 빗변부의 중앙부와 비교하면 두께변형을 얇은 것이 관찰되는데 이것은 단변부에서는 양쪽 코너부의 영향으로 돌려 방향으로의 유동이 제약을 받기 때문이라 판단된다. 전체적으로 보면 코너부에서는 압축량이 유입량보다 많아 두께가 증가함을 알 수 있다.

이상의 결과에서 위치 5, 13, 21 및 27 부근을 기점으로 플랜지 끝단의 두께가 급격하게 변화하고 있음이 관찰되는데 이 지점들의 인접영역들이 전단 영역인 것으로 생각한다.

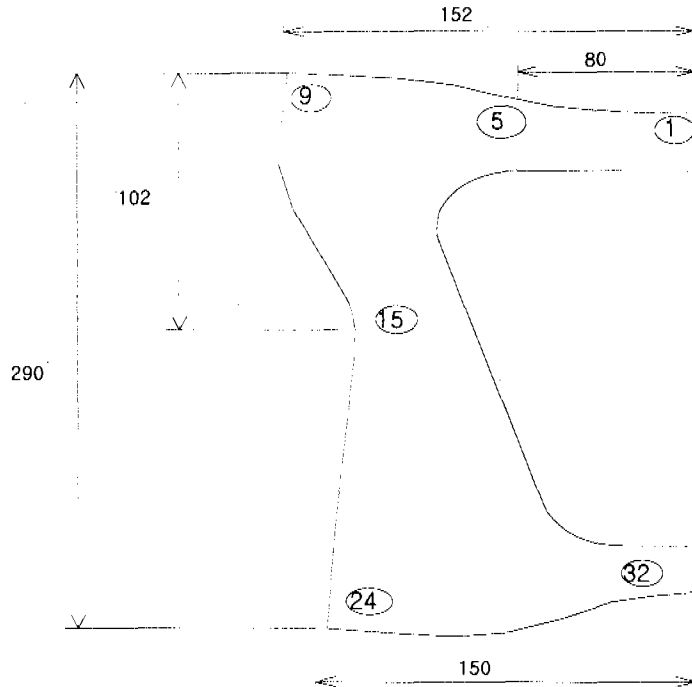


Fig. 5 플랜지 끝단의 실측 위치

Fig. 3과 같이 다이윤곽의 각 모서리부에서 원호와 직선이 만나는 점에 수직선을 그려서 성형전 블랭크 가장자리와 만나는 지점과 성형후의 플랜지부의 가장자리의 전단 영역과 거의 동일함을 알 수 있다. 코너컷은 Fig. 3과 같이 각 모서리에서 다이에 수직한 선이 블랭크와 만나는 두 지점을 연결한 선과 평행하게 코너컷을 하면된다.

### 3.2 장, 단변부의 유입량

Fig. 7은 성형깊이에 따른 성형된 용기의 다이 모서리에서 펀치 어깨까지 그리드수를 순차적인 실험을 통하여 단변부 및 장변부에서 측정한 결과이다. 10 mm 성형에서는 장, 단변부 모두 신장없이 유입만 일어나고, 20 mm 성형에서는 단변부는 5 mm가 늘어나지만 장변부는 신장량이 없다. 40 mm 성형까지는 장, 단변부 모두 5 mm만 신장된다. 45 mm 성형에서 장변부는 신장이 없으나 단변부는 0.25 mm가 신장된다. 이상의 결과에서 살펴보면 장변부에서 최초 성형에서 45 mm 성형까지 5 mm의 신장만 발생하여 원만한 유동이 이루어짐을 알 수 있으나, 단변부에서는 20 mm 성형까지 5 mm의 신장이 초기에 발생하고

이후 40 mm 성형까지는 5 mm의 신장만 발생하여 유동이 잘되지만 다시 45 mm 성형시 2.5 mm 신장이 발생하여 네킹이 진전됨을 알 수 있다.

전체적으로 보면 45 mm 성형시 장변부의 신장량은 5 mm이나, 단변부는 12.5 mm로서 단변부가 취약함을 알 수 있고, 이러한 현상은 단변부의 재료 유동은 양쪽코너부에서 강체 영역의 영향에 의해서 제약을 많이 받는 것으로 판단된다.

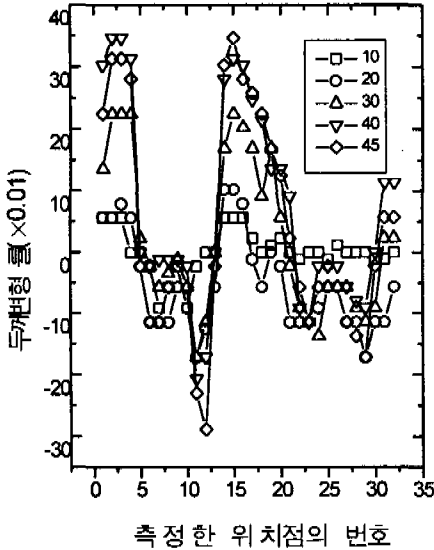


Fig. 6 성형깊이에 따른 플랜지 가장자리의 두께분포

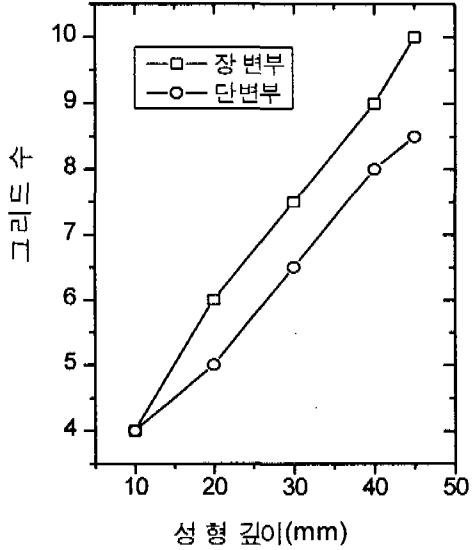


Fig. 7 장, 단변부의 유입량

예비 실험에서 결정된 블랭크의 설치 위치가 장변부 및 단변부의 다이 내부로부터 거리 차이가 17 mm 정도 발생하는 것은 상기와 같은 재료의 유동 특성에 기인된 것으로 검증된다.

### 3.3 사다리꼴 블랭크의 성형성

직사각형 블랭크(N-C), 코너컷한 블랭크(C)와 미끄럼선장법에 의한 블랭크(H)로 각각 성형하고 장,단변코너부와 단변중앙부를 용기바닥에서 15mm부터 35mm까지 5mm높이로 두께변형률을 측정한 결과는 Fig8~10과 같다.

Fig. 8은 장변 코너부의 벽면에서 높이에 따른 각 지점의 두께 분포를 나타낸 그래프다. N-C의 경우 바닥에서 30 mm 지점에서 두께 변형률이 0.23으로 되어 파단이 우려되나, C와 H의 경우는 0.15이하로 나타나 N-C의 결과보다 성형성에 있어 우수하였다. 특히 C의 경우 H보다 두께의 변화가 작아서 코너컷량의 결정이 적절함을 알 수 있다.

Fig. 9는 단변 코너부의 두께 변형률로서 N-C의 경우 25 mm 지점에서 두께 변형률이



0.24로 최대이며 각 부위별 두께 변형률 차가 크게 나타나서 장변부 코너보다 파단의 위험이 크다고 판단된다. C와 H의 경우는 최대 변형률이 공히 0.12이고 전체적으로 비슷한 결과를 나타내고 있다.

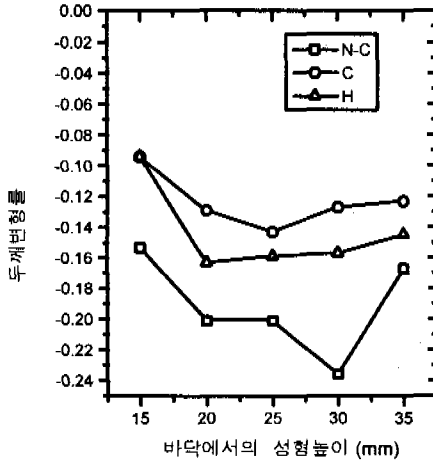


Fig. 8 장변 코너부의 두께분포

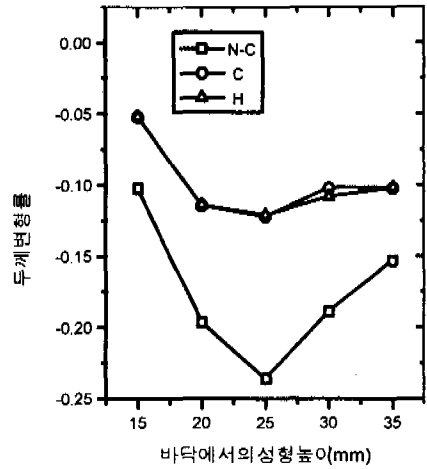


Fig. 9 단변 코너부의 두께분포

Fig. 10은 단변 중앙부의 결과로서 N-C의 경우 25 mm 지점에서 두께 변형률이 0.25로 되며 각 부위별 두께 차가 크게 나타나서 단변부 코너부와 비슷하게 벽균열의 위험이 우려된다. H의 경우 20 mm 지점에서 두께변형률이 0.2로 되어 변형률의 최대가 0.16인 C와 비교하면 부위별 두께 및 두께의 변화폭에서 불만족한 결과로 판단된다. 단변부의 중앙 및 코너부에서 비슷한 결과가 나타나지만 중앙부는 유입이 계속되나 코너부에서는 성형 초기에는 압축과 유입이 병행되고 성형이 진전될수록 스트레칭이 일어나서 이 부위에서 파단이 일어난다.

이상의 결과에서 사각블랭크인 경우 단변부의 중앙에서 변형률이 최대이고 그 값은 0.25이며 장·단변부의 코너부에서는 변형률이 각각 0.23과 0.24였다.

코너컷을 한 경우 역시 단변부의 중앙에서 변형률이 0.16으로 최대이고 장·단변부의 코너부에서는 0.15와 0.12이었다. 코너컷을 함으로써 단변부의 중앙 및 장·단변부의 코너부에서 각각 변형률이 상당히 감소함을 알 수 있었다.

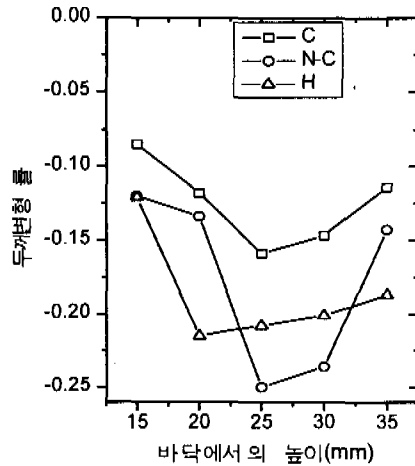


Fig. 10 단변 중앙부의 두께 분포

#### 4. 결 론

사다리꼴 단면을 갖는 용기의 성형성 실험에서 블랭크의 크기와 형상을 결정하고, 파단이 예측되는 장변부 코너, 단변부코너 및 단변부 중앙에서 두께 및 유입량을 측정한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 사다리꼴 단면 용기의 성형에서 코너컷은 다이의 코너부가 시작되는 점에서 세운 수직선이 블랭크의 가장자리와 만나는 두 점을 연결한 선과 평행하게 코너컷한다.
- (2) 사각블랭크인 경우 단변부의 코너와 중앙에서 변형률이 0.24와 0.25로 가장 컸다.
- (3) 코너컷을 한 블랭크인 경우 역시 단변부의 중앙에서 변형률이 0.16으로 가장 컸고, 단변부의 코너에서 변형률은 0.12였다. 코너컷을 함으로써 변형률이 상당히 감소함을 알 수 있었다.

#### 참 고 문 헌

1. R. A. C. Slater, "Engineering Plasticity", Macmillan Press, pp. 328-341, 1977.
2. H. Swift, "Instability of Sheets Subjected to Biaxial Tension", Journal of the Mechanics and Physics of Solids, Vol. 1, pp 1, 1952.
3. H. Swift & R. Lowe, "The Ironing of a Sheet Metal", Institute of Automobile Engineering, Report, 1945.
4. S. Y. Chung & H. Swift. "Cup Drawing from a Flat Blank", Proceedings of the Institute of Mechanical Engineering, Vol. 165, pp 169, 1951.

5. D. M. Woo, "Analysis of the Cup-drawing Process", J. Mech. Engng. Sci., Vol.6, No.2, pp 116, 1964.
6. J. Willis, "Deep Drawing ; A Review of the Practical Aspects of Professor H. Swift's Reseraches", Butterworth Scientific Publication, 1954.
7. J. Alexander, "An Appraisal of the Theory of Deep Drawing", Metallurgical Reviews, Vol. 5, pp 19, 1965.
8. K. Yoshida & K. Miyauchi, "Experimental Studies of Behavior as Relation to Sheet Metal Forming," GMR Symposium, pp 19-52, 1978.
9. N. Kawai, T. Mori, H. Hayash, F. Kondoh., "Effect of Punch Cross-Section on Deep-Drawability of Square Shell of Aluminum Sheet," Journal of Engineering for Industry, Vol 109, pp 355-361, 1987.
10. V. V. Hasek, & K. Lang, "Use of Slip-Line Method in Deep Drawing of Large Irregular Shaped Components," NAMRC, Vol. 7, pp 65-71, 1979.
11. V. Gopinathan, "Optimum Blank Profile Determination for Rectangular Deep Drawing," Indian Journal of Technology, Vol. 15, pp 330-333, 1977.
12. 김민수, 신재현, 서대교, "비원형단면에 대한 판재 성형성(I)," 한국자동차공학회 논문집, 제2권 제1호, pp 84-95, 1993.
13. 김민수, 신재현, 서대교, "비원형단면에 대한 판재 성형성(II)," 대한기계학회 논문집, 제17권 제12호, pp 3094-3104, 1993.
14. 神馬 敬, 桑原利彦, 崔 淳哲, "凹輪郭を有する容器の深絞り加工の研究," 塑性加工, 제26권 제294호(1985-7), pp 744-751, 1985.
15. 神馬 敬, 桑原利彦, 崔 淳哲, "深い凹輪郭を有する容器の深絞り加工の研究," 塑性と加工, 제26권 제299호(1985-12), pp 1195-1202, 1985.