

원통형 딥드로잉 용기의 벽 두께 감소 최소화에 관한 실험적 연구

김 두 환*

(1998년 5월 26일 접수)

Experimental Study on Minimizing Wall Thickness Thinning for Deep Drawing of Circular Shells

Doo - Hwan Kim

Abstract

For minimizing wall thickness thinning of circular shells, a new stamping technology, the deep drawing process combined with ironing is approached and investigated. The design requirements for the deep drawing shells are to keep the optimum wall thickness with max.10 percent thickness thinning of the initial blank thickness, to make uniform thickness strain distribution for the wall of circular shell and to improve the shape accuracy for the roundness and concentricity. In order to check the validity and effectiveness of proposed work, a sample process design is applied to a circular shell needed for a 4 multi- stepped deep drawing. Through experiments, the variations of the thickness strain distribution in each drawing process are observed. Also, a series of experiments are performed to investigate optimum process variables such as the geometry of tooling, radius and drawing rate. In particular, the advantage of current approach with ironing is shown in contrast to the conventional deep drawing process. From the results of proposed method, the optimum value of process variables are obtained, which contribute more uniform thickness strain distribution and better quality in the drawn product.

Key Words : Minimizing Wall Thickness Thinning, Deep Drawing Process, Ironing

1. 서 론

복잡한 변형거동을 나타내는 판재 성형에서 원통형 용기를 딥드로잉 가공할 때, 원주 방향으로 압축 변형(circumferential compression)이 심하게 일어난다. 이때 플랜지 면에 주름(wrinkle)이 생기면서 판 두께가 두꺼워지는 경향이 나타나며, 또한 다이 반경부(die shoulder radius)에서 벤딩(bending), 측벽부에서 펴짐(unbending or straightening)과 인장(tension) 등의 복잡한 성

형 메커니즘으로 말미암아 벽 두께의 감소(wall thickness thinning) 현상이 발생한다.^(1~3,12) 특히, 성형 소재는 드로잉 비(drawing ratio)가 증가함에 따라 재 드로잉(re-drawing)에 대한 드로잉성(drawability)이 저하되어 두께 변화가 많이 일어난다. 또한 재료를 성형 시키기 위한 형(dies)의 기하학적 형상이나 소재의 가공경화(work hardening), 플랜지 면의 주름을 억제하기 위해서 부과하는 블랭크 홀딩 압력(blank holding force)과 마찰력 등이 성형하중과 유동특성에 큰 영향을 미친다.^(3,13,14)

* 만도기계(주) 생산기술원

실제로 이러한 공정변수의 영향들에 의해 플랜지부는 최초 판 두께(initial sheet thickness) 보다 15~25% 두꺼워지지만, 벽 두께(wall thickness)는 오히려 15~25% 정도 얇아지며, 머리부(head) 성형 부위는 50% 이상 두께 감소가 된다.⁽⁴⁾

이상에서 언급한 바와 같이, 복잡한 메커니즘을 갖는 박판 성형에 관련된 연구가 국내외에서 활발히 진행되고 있다.^(4~7) 그러나 아직까지 본 연구와 같은 연구의 예는 많지 않다. 유사한 연구는 Hideto SUZUKI와 3인이 대변형 해석(Large Displacement Analysis)으로 두께 증육에 관한 연구를 발표한바 있다.⁽⁷⁾

본 연구에서는 15% ~ 25% 정도 감소가 일어나는 모터 커버의 벽 두께 감소를 10%이내로 최소화 시키면서, 내 외경의 길이 방향 두께 편차를 줄이고, 전원도의 향상을 꾀하기 위하여 기존의 딥드로잉 공법(conventional deep drawing process)에 아이어닝(ironing) 작업을 복합 시킨 아이어닝 딥드로잉 공법(deep drawing process combined with ironing)⁽⁸⁾의 새로운 성형 프레스 가공법을 본 실험적 연구의 목표로 제안하였다.

2. 벽 두께 감소의 최소화를 위한 공정설계 및 공법 비교

1절에서 언급한 바와 같이, 두께 감소는 다양한 공정변수(process variables)⁽⁶⁾에 의해 크게 좌우된다. 특히, 이 중에서도 블랭크 홀더의 구조에 따라 많은 영향을 받으며, 드로잉 반경, 드로잉 율 및 클리어런스 등이 중요한 변수들이다. 따라서 이러한 것들에 대한 최적 공정변수를 결정한다면, 벽 두께 감소를 최소화 시키는 것이 가능하다고 사료된다.

Fig.1은 본 연구에서 연구하고자 하는 딥드로잉 제품의 기하학적 형상을 나타낸 것이다. 기존의 딥드로잉 공법에서는 (a) 1st drawing, (b) 2nd drawing, (c) 3rd drawing

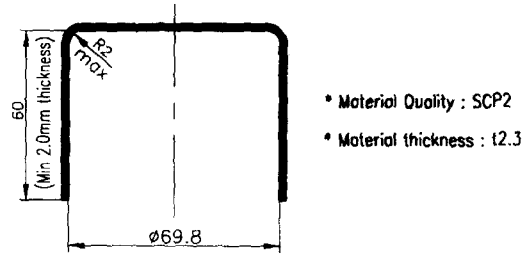


Fig. 1 Geometry of a motor cover as a final shape

의 3공정으로 성형하고 있다. 이 공법은 단순히 내경 치수의 정밀도를 요하는 것에 적합하다. 그러나 일정 두께 유지 및 내 외경 동심도를 동시에 요구하는 제품에는 부적합한 공법이다. 본 연구에서는 기존 공법의 단점을 보완하기 위해서 아이어닝은 딥드로잉 공법이라고 불리우는 새로운 가공법을 제안하여 성형 공정 순서를 Fig. 2에 나타내었다.

이 두 가지 공법의 차이는 형 구조 측면에서 비교해 볼 때, 블랭크 홀더의 형상과 작용되는 축선 압력에 따라 성형 방법이 크게 달라진다. 구체적으로 형 구조에 대해 기존 공법과 제안된 공법을 비교해 보면, Fig. 3(a)와 Fig. 4(a)에서 보는 바와 같이, 제 1공정의 형 구조는 동일하나, 제 드로잉의 형 구조가 전혀 다르다. Fig. 3(b)와 (c)는 기존 공법의 전형적인 재 드로잉 형 구조를 보여주는 그림이다. 제2 및 3공정의 재 드로잉(re-drawing) 형 구조도⁽¹¹⁾에서 슬리브 링(sleeve ring)이 중요한 역할을 한다. Fig. 3 (b)와 (c)의 왼쪽 그림에서 보는 바와 같이, 슬리브 링은 앞 공정의 소재가 정 위치에 놓이도록 게이지 역할을 한다. 그러나 드로잉 될 때에는 블랭크 홀딩 압력이 무부하(no load) 상태가 되도록 킬러 핀에 의해 슬리브 링이 강제 하강되며, 드로잉이 끝난 후, 제품을 밀어 올릴 때만 압력이 작용되도록 한 형 구조이다. 반면에 제안된 공법은 Fig. 4에서 보는 바와 같이 슬리브 링 대신 평평한 블랭크 홀더(flat blank holder)를 사용하였다.

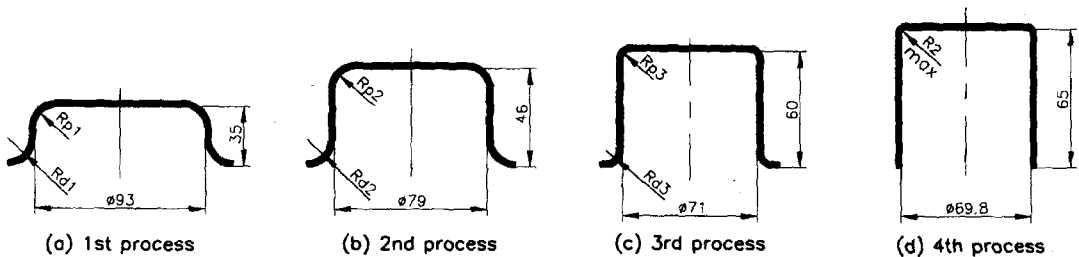


Fig. 2 Geometry of multi-stepped deep drawing process of the present method

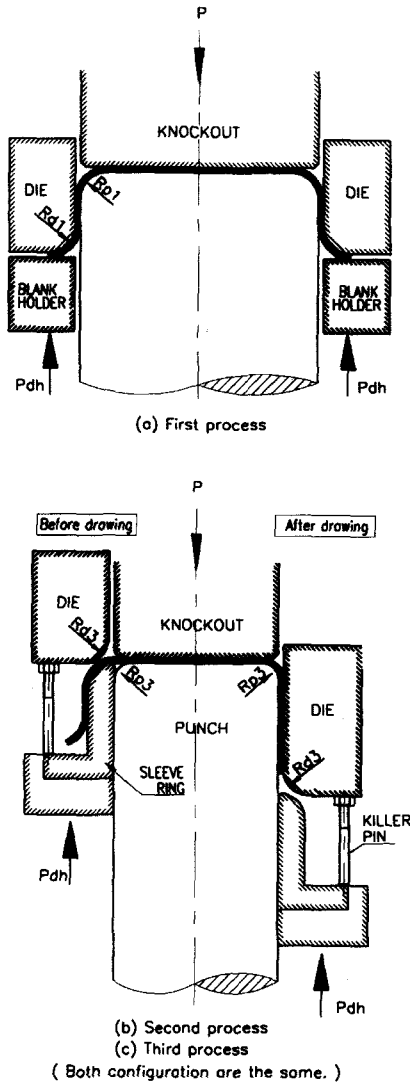


Fig. 3 Die geometry of deep drawing process for the conventional deep drawing method

이 공법은 상 측이 하강할 때, Fig. 4 (b)의 왼쪽 그림에서 보는 바와 같이 다이 반경(die shoulder radius)에 의해 소재가 형의 정 위치에 안내 되면서 드로잉이 시작된다. 이때 소재의 유동을 억제해서 두께가 얇아지지 않도록 드로잉 방향과 반대 측의 하형 블랭크 홀더에 높은 압력을 주어 제품을 다이 속에 강제로 밀어 넣는 방법(push back method)의 형 구조이다. 또한 최종 공정에서는 내 외경 진원도(roundness)를 향상 시키고, 길이 방향에 대해 두께 편차를 최소화하기 위해 기존 공법에서 하지 않는 아이

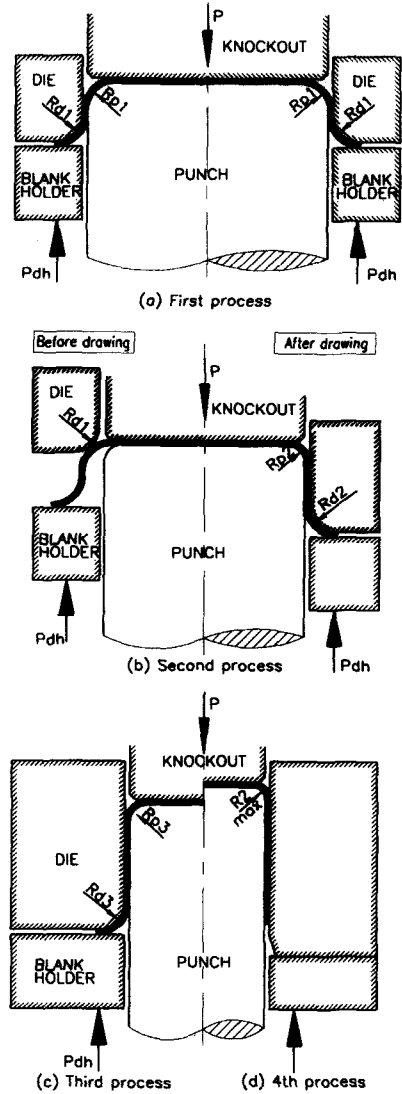


Fig. 4 Die geometry of deep drawing process for the present method

어닝 공법^(16,17)의 형 구조를 Fig. 4(d) 와 같이 제안하였다. 여기에서 각 공정의 드로잉 반경(drawing radius)은 두께 감소와 재 드로잉에서 발생하는 국부적 신장(necking) 현상에 가장 적게 영향을 미치는 편치와 다이의 반경으로 설정하였으며,^(4,12,15) 기존 공법과 큰 차이가 없다. 형 구조 다음으로 딥드로잉에 영향을 미치는 공정변수(process variables)는 한계 드로잉 율(Limiting Drawing Rate)^(9,10)이다. 이것을 간단한 경험식으로 표현하면, 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$m_1 = d_1/D, \quad m_2 \sim m_n = d_2/d_1 \sim d_n/d_{n-1}$$

여기서 m 은 한계 드로잉 율이며, d 는 각 공정(step or process)의 몸통부 내경, n 은 드로잉 공정 수, D 는 블랭크 직경이다. Fig. 5에서 보는 바와 같이 제안된 공법(4단계 성형)과 기존 공법(3단계 성형)에 대해 서로 비교해 보면 큰 차이를 보이는 것을 알 수 있다. 이러한 차이는 각 드로잉 공정에서 발생하는 드로잉 저항을 최소화하기 위해 공정간 직경 축소 양을 적게 한 것을 의미한다.

Fig. 5의 드로잉 율을 총합적인 드로잉 비(cumulative drawing ratio)⁽⁴⁾로 표현하면, Fig. 6 같이 나타낼 수 있다. 그 외 실험에 관련된 소재 특성과 공정변수는 Table 1과 같다.

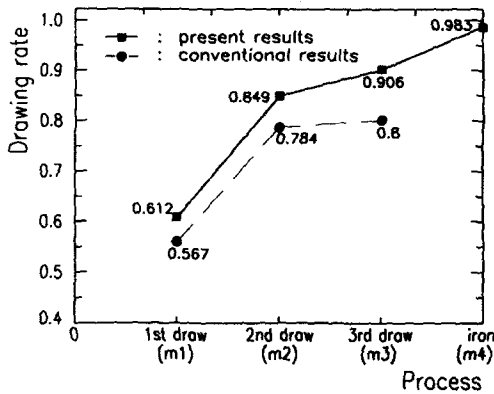


Fig. 5 Comparison of the conventional results with the present results for drawing rate in each process of deep drawing

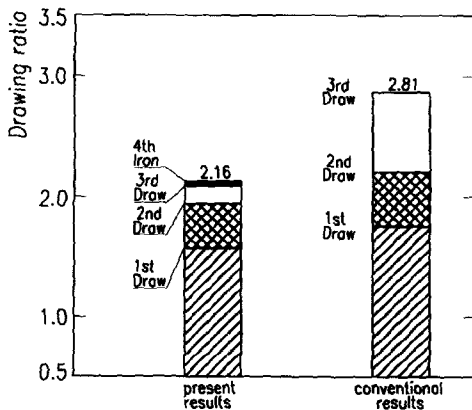


Fig. 6 Comparison of cumulative drawing ratio of the conventional results and the present results

3. 시제품 제작 결과 및 고찰

본 실험적 연구에서는 제안한 공법의 타당성을 검증하기 위하여 기존 공법의 두께 변화, 형 구조 및 공정변수 등을 조사하였고, 새로이 제안된 공법에 대한 공정설계, 실험용 형 및 시제품(proto sample)을 제작하여 다음과 같이 비교하였다.

3.1 실험 방법

실험에 사용된 공정별 기하학적 형상 및 치수들은 2절의 Fig. 2와 같다. 실험용 설비는 400톤으로 블랭크 홀딩 압력을 임의로 조절할 수 있는 다이컷선과 제품 취출을 위한 노크아웃 장치가 갖추어져 있는 기계식 프레스이다. 소재는 드로잉 립드 강판(SCP2)으로 두께 2.3 mm, 블랭크 직경 152 mm로 하였으며, 판 두께 변화의 측정은 소재 판의 표면에 5 mm간격의 눈금을 표시하여 딥드로잉 후, 각 공정별 벽 두께의 분포를 포인트 마이크로 미터 측정기로 조사하였다.

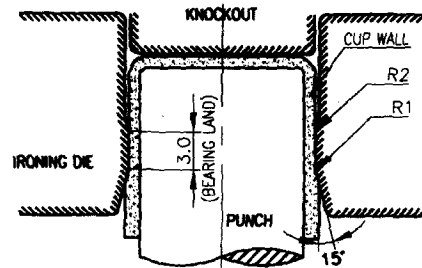


Fig. 7 Geometrical configuration of ironing die section

Table 1 Material properties and process variables used in the present method

Sheet material	Drawing quality steel(KS.SCP2)			
Sheet thickness	t=2.3 mm			
Tensile strength	28.3~30.4 kg/mm ²			
Yield point	16.8~21 kg/mm ²			
Elongation	48~51%			
r value	1.4			
Thickness to Blank Diameter Ratio	1.513%			
Drawing rate	Fig. 5 참조			
Process(Step)	first draw	second draw	third draw	4th draw
Blank holding force	3.5 ton	3 ton	5 ton	5 ton

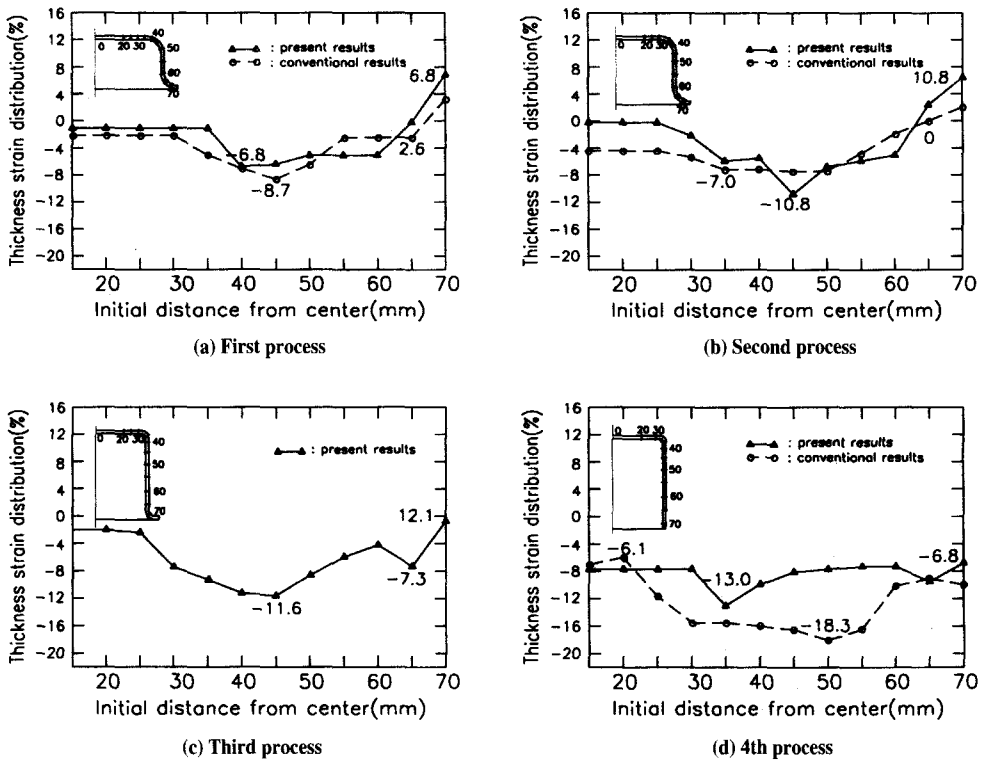


Fig. 8 Comparison of thickness strain distribution of the conventional results and the present results

기존 재 드로잉에서의 블랭크 홀딩 압력은 제품 취출 가능성만 갖기 때문에 압력이 낮다. 그러나 본 실험에서는 두께 감소를 최소화 하기 위해, 재료가 드로잉될 때, 밀려 내려오지 못하도록 기존 압력의 2배(Table 1참조)를 주어 실험하였다. 드로잉 오일은 강제 윤활 방식으로 소재와 형 사이의 접촉면에 고점도(high viscosity)의 염소계 윤활제를 도포하여 실험하였다.

3.2 실험 결과 및 고찰

실험 결과를 고찰해 본 결과, 높은 컷션 압력에 의해 두께 방향으로 강한 압축 응력(compressive stress)과 좌굴(buckling) 현상이 일어나 아이어닝 전 드로잉 제품의

내 외경 표면이 거칠고, 주름과 같은 파형이 발생되면서 치수 정도(accuracy)가 극히 떨어지는 현상이 나타났다. 이와 반대로 기존 공법의 컷션 압력으로 실험했을 때는 벽 두께가 지나치게 얇아져 아이어닝 공정 후 길이 방향의 30% 정도 미 성형부가 발생되었다. 그러나 플랜지부는 두꺼워지는 경향이 나타났다. 이와 같은 현상을 고찰해 볼 때, 컷션 압력이 두께 감소에 많은 영향을 끼치는 것을 알 수 있다. 또한, 제 4공정의 아이어닝에서 드로잉 유막(oil film)의 파손 때문에 지나친 발열로 인한 다이에 소착(galling)이 심하게 일어남을 고찰할 수 있었다. Fig. 7은 다이의 기하학적 형상을 보완하여 소착 현상을 해결한 한 예를 보여 주고 있다.⁽³⁾



Fig. 9 Photography of deep drawing process by the present work

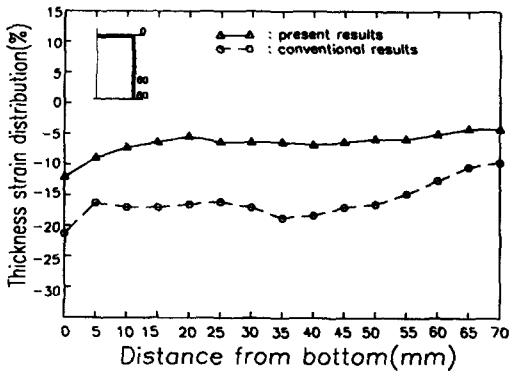


Fig. 10 Comparison of thickness strain distribution of the conventional results and the present results at the final stage

Fig. 8은 두 공법에 대하여 비교된 각 공정 별의 두께 변형 분포를 나타낸 것이며, Fig. 9는 실험된 각 공정의 샘플을 절개한 사진을 보여 주고 있다. Fig. 8(a)는 드로잉 율(m_1)의 공정변수를 Fig. 5와 같이 적용하여 실험한 결과를 보여 주고 있다. 드로잉 율이 높을수록 좋은 결과를 나타내고 있다. 반면에 기존의 두께 변형 분포는 용기의 입구부에서 두껍게 나타난 것으로 보아 드로잉 율이 낮을 수록 소재가 잘 유입되지 않는 것으로 판단된다. Fig. 8(b)에서 보는 바와 같이 제 1공정의 R부의 취약 부분(45 mm)이 연속 성형 공정에 큰 영향을 미치는 것을 그래프를 보아 알 수 있으며, 드로잉 작업을 할 때, 컷선 압력을 높게 작용시킨 공법이 우수한 두께 변형 분포를 보여 주고 있다. 제 3공정은 서로 비교할 수 없지만, 앞 공정과 비슷한 변형 분포의 경향을 보이고 있다. Fig. 8(d)에서 보는 바와 같이 기존 공법은 마지막 공정에서 두께 변형이 가장 심하게 일어났음을 보여 주고 있다. 그러나 제안된 공법은 전반적으로 기존 공법보다 우수하고, 균일한 두께 변형 분포를 나타내고 있다. 이 두 공법을 좀 더 구체적으로 비교해 보면, Fig. 10에서 보는 바와 같이 기존 공법은 최초 소재 두께에 대해서 평균 15.6% 감소 되었지만, 제안된 공법은 평균적으로 약 6.7% 정도 벽 두께 감소를 가져 왔다. 따라서 실험 결과가 기존 결과보다 약 8.5% 정도 벽 두께 감소가 적게 일어났음을 알 수 있다.

4. 결론

이상과 같은 실험적 연구를 통해서 다단계의 닥드로잉을 거치는 원통형 용기의 두께 감소를 최소화 시킬 수 있

는 새로운 접근(approach)을 시도하여 우수한 두께 변형 분포의 결과를 얻었으며, 기존의 닥드로잉공법과 비교하여 제안된 공법의 타당성을 입증하였다. 또한, 닥드로잉의 성공 여부를 결정짓는 관련 공정변수(process variables) 중 드로잉 율과 블랭크 홀딩 압력 등이 벽 두께 감소에 상당히 관련 있음을 검증하였다. 그러나 기존 보다 생산성이 떨어지므로 안정된 생산을 하기 위해 드로잉 발열에 대한 다이의 냉각과 형 수명 연장을 위한 형 소재 및 표면처리 등에 관해 향후 연구가 요구된다.

참고문헌

- (1) Donald F. Eary and Edward A. Reed, 1974, "Techniques of Pressworking Sheet Metal", prentice-Hall, Inc., pp.100 ~ 110.
- (2) 實教出版社(株), Nakakawa外 2人, 1990, "薄板 プレス加工", pp. 99 ~ 121.
- (3) BETZALEL AVITZUR, 1983, "Handbook of Metal-Forming Process", John Wiley & Sons, pp. 527~704.
- (4) 김두환, 1998, "원통형 용기의 다단계 닥드로잉 공정설계에 관한 사례 연구", 한국소성가공학회 '98 춘계학술대회 논문집, pp. 160~167.
- (5) 최태훈, 허훈, 이충호, 1997, "3차원 박판금속 성형해석에서의 블랭크 홀딩력 적용방법에 관한 연구", 한국소성가공학회 97 추계학술대회논문집, pp. 93~97.
- (6) 박민호, 김상진, 서대교, 1996, "오목형 단면 닥드로잉에서의 성형성", 한국소성가공학회지 제5권 제2호, pp. 138~144.
- (7) Hideto SUZUKI, Masayuki, KISHI, Kenji NIWA and Kunio OYA, 1996, "Large Displacement Analysis for Optimal of Press Working that of Increasing Thickness", 16th MARC User Conference, pp 127~131.
- (8) ASM INTERNATIONAL, 1988, "Metals Handbook", Ninth Edition, Volume 14, Forming and Forging, pp. 575~586.
- (9) 日刊工業新聞社 編集委員會 編, 1990, "新プレス加工デ-タブック", pp 236~237, pp. 233.
- (10) 太田 哲, 1990, "プレス加工と型技術, 日刊工業新聞社", pp 54~61, 69~72, 79~83.
- (11) K. Lange, 1985, "Handbook of Metal Forming",

McGraw-Hill Book Company., pp. 20.44~20.45

- (12) T. KUWABARA, 1997, “深絞り加工”, 塑性と加工, 第38卷, 第436號, pp. 52~57.
- (13) K.MANABE, H. HAMANO, 1992, “板押えの効果的利用による板成形限界の向上”, 塑性と加工, 第33卷, 第376號, pp 480~487.
- (14) Shoichiro YOSHIHARA, Kenichi MANABE, Ming YANG and Hisashi NISHIMURA, 1997, “可變しわ抑え力圓筒 深絞りのFuzzy適應制御”, 塑性と加工, 第38卷, 第435號, pp. 46~51.
- (15) Yukio KOJIMA, 1993, “深絞り加工における工具・プランクの接觸狀態の解析”, 塑性と加工, 第34卷, 第388號, pp. 544~549.
- (16) Naoyuki KANETAKE and Hideeaki ASAKURA, 1994, “圓筒深絞り容器の形狀特性に及ぼす側壁しごきの影響”, 塑性と加工, 第35卷, 第407號, pp. 1414~1419.
- (17) Keiichi SHIMIZU and Tomoyuki WADA, 1997, “再絞りしごきによる圓筒容器壁の薄肉化について”, 塑性と加工, 第38卷, 第442號, pp. 64~69.