

## 금형의 국부적인 가열에 의한 사각통의 온간 디프드로잉 성형성에 미치는 온도의 효과

김창호\*, 박동환\*\*, 강성수\*\*\*

### Temperature Effect on Warm Deep Drawability of Rectangular Cup Using Local Heating of Dies

Chang-Ho Kim\*, Dong-Hwan Park\*\*, Sung-Soo Kang\*\*\*

#### ABSTRACT

Warm deep drawing of single-action dies using local heating has appeared to be an alternative attractive production method of multi-operation die sets generally used at room temperature in deep drawing of rectangular cup.

Uniaxial tensile tests and deep drawing tests of various materials are carried out and the effect of temperature on tensile properties and drawability are examined at temperatures up to 200℃ under three kinds of lubricants of teflon film, vinyl film and drawing oil. Good formability is achieved when punch and die temperature were differentiated intentionally in order to get large tensile strength (TS) at punch shoulder portion and small TS at die side. Throughout the experiments, it has been shown that the limiting drawing height of STS316L was increased with heating die and blank holder at 100℃, but that of STS430 wasn't. When vinyl or teflon film was attached on the plates, the drawability was increased considerably.

**Key Words:** deep drawability(디프드로잉의 성형성), limiting drawing height(한계 성형높이), local heating(국부가열), commercial lubricants(상업용 윤활제)

#### 1. 서 론

디프드로잉 가공은 금속판재의 성질, 펀치 직경에 대한 블랭크 직경의 비, 펀치와 다이 사이의 간극, 펀치와 다이의 모서리 반경, 공구형상, 윤활조건, 펀치의 하강속도,

블랭크홀더 지지력 등의 공정변수들에 의해 성형성이 좌우된다. 일반적으로 금속 박판의 디프드로잉은 상온에서 실시하며 이 경우 파단을 일으키지않고 가공할 수 있는 한계드로잉비(limiting drawing ratio : LDR)는 대개 2-2.2 정도이다.<sup>(1)</sup> 따라서 일반적으로 한계드로잉비를 넘

\* 부산대학교 기계설계공학과 대학원  
 \*\* 삼성자동차(주) 부품기술팀  
 \*\*\* 부산대학교 기계공학과, ERC for NSDM

는 깊은 용기는 다공정으로 성형한다. 특히 직사각형 용기의 드로잉은 코너 부위와 직선 부위의 변형이 다르고 소재의 변형거동이 복잡하므로 다공정으로 성형하고 있으나 금형 공정수가 늘어날 뿐 아니라 공정중간에 제품의 외관이 상하거나 두께가 불균일하는 등의 문제가 있으므로 1공정의 드로잉 성형으로 깊은 용기를 성형하려는 연구가 활발하다. 이러한 성형 방법으로는 대향액압(對向液壓) 드로잉법과 국부가열을 이용한 온간 드로잉 가공법이 있다. 대향액압 드로잉법은 다이와 공작물 플랜지면의 유체 윤활효과로 인해 한계드로잉비가 높아지고, 공작물이 정수압 응력을 받기 때문에 복잡한 형상의 내면 정밀도가 높은 제품이 얻어진다. 그러나 이 방법은 장치와 금형구조가 복잡해지는 결점이 있다.

이 결점을 극복할 수 있고 비교적 저렴한 장치를 이용하여 드로잉성을 향상시킬 수 있는 국부가열을 이용한 온간 드로잉 가공법이 있다. 이 가공법은 펀치를 냉각하고, 다이 및 블랭크 홀더를 가열하여 드로잉 가공을 하는 것으로 펀치와 다이 및 블랭크홀더 간에 온도차이를 둬므로서 파단하기 쉬운 펀치 어깨부에서의 소재의 파단저항을 높은 값으로 유지하면서 플랜지에서의 변형저항을 감소시켜 성형성을 향상시키는 방법이다. 또한 프레스 성형의 공정변수, 열에 의한 재료의 성질변화 등을 고려하여 가공하고자 하는 박판을 선택적으로 가열 및 냉각하여 성형하기도 한다. 일반적으로 재료가 변형할 때 변형에너지의 대부분은 열로 변화되는데, 이러한 열의 발생은 국부적으로 변형하는 재료부위의 온도를 상승시키고, 그 부위의 재료는 열의 영향으로 연성이 증가하여 변형의 국부화를 촉진시키므로서 파단을 발생시킨다는 것이다.<sup>(2)</sup> Kim<sup>(3)</sup> 등은 스테인레스강판을 이용하여 크랭크 프레스와 유압 프레스에서 디프 드로잉시 성형성과 한계성형 깊이에 미치는 프레스 속도 및 온도변화의 영향을 연구하였다. 금형 온도가 강의 박판의 성형성에 미치는 효과에 대해서는 최근 10년 간에 걸쳐 중요하게 인식되어 왔으며 펀치와 다이의 온도는 100~200℃까지 상승시킬 수 있다.<sup>(4,5)</sup> Sugamata<sup>(6)</sup> 등은 알루미늄 합금판재의 디프 드로잉시 성형온도의 변화가 성형성에 미치는 효과에 대하여 연구하였다.

본 연구에서는 2종류의 스테인레스강(STS316L, STS430)과 순알루미늄(Al1050)판재를 유압프레스를 이용하여 사각 통(rectangular cup)을 온간 드로잉할 때, 가열하는 금형부위별의 온도변화 및 성형용 윤활제의 종류에 따라 제품의 성형성, 최대 성형하중 및 컵의 중심으로부터 각 부위별의 두께분포 등을 비교하였다.

## 2. 실험장치 및 방법

### 2-1. 인장 시험

본 실험에 사용한 재료는 성형 실험과 동일한 물성치를 갖는 2종류의 스테인레스강(STS316L, STS430)과 순알루미늄(Al1050)의 인발봉으로 시편의 표점거리는 25mm, 표점거리내의 봉의 지름은  $\phi 6\text{mm}$ 로 선반가공 후 연삭하였다. 만능 재료시험기에 부착된 유도가열로에 시편을 삽입하여 외부에서 20, 100, 200℃ 세 종류의 온도로, 크로스헤드의 하강속도는 2mm/min에서 200mm/min까지 변화시켜 인장시험을 하였다.

Table.1은 인장시험 결과를 나타낸다. 일반적으로 온도가 증가함에 따라 인장강도, 항복강도 및 연신율이 감소하였으나 Al1050의 경우, 200℃일 때, 인장강도가 급격히 감소하였는데 이것은 Al1050의 용점이 660℃부근이고 소둔하여 재결정되는 온도가 250~300℃임을 감안할 때, 용점이 높은 스테인레스강에 비해 연화되는 정도가 심하다는 것을 알 수 있다. STS316L은 STS430에 비해 항복비가 낮고 연성이 월등히 좋은 것으로 나타났다. 이것은 STS430은 Ni함량이 거의 없는 페라이트계 강인데 비하여 STS316L은 Ni함량이 많은(12~16%) 오스테나이트계 스테인레스강이기 때문인 것으로 판단된다.

Table 1. Mechanical Properties of Specimen

Temp. (°C)	Ram Speed (mm/min)	Yield Strength (kgf/mm <sup>2</sup> )			Tensile Strength (kgf/mm <sup>2</sup> )			Elongation (%)		
		STS 316L	STS 430	Al 1050	STS 316L	STS 430	Al 1050	STS 316L	STS 430	Al 1050
20	2	34.3	82.5	43.2	64.4	96.9	54.5	67.2	9.2	
	200	39.2	73.7	19.8	66.6	90.3	44.3	63.2	14.4	18.4
100	2	33.1	55.0	40.9	56.3	92.5	52.0	58.0	13.6	15.0
	10	33.7	79.1	27.7	55.6	82.5	40.5	47.0	19.6	16.8
200	2	29.4	77.0	32.0	51.4	90.2	32.0	43.0	19.2	8.4
	10	30.4	65.4	29.0	52.2	78.3	35.0	41.6	6.0	12.0

Table. 2 및 3은 스테인레스강 및 알루미늄판의 화학적 성분을 나타낸다.

Table 2. Chemical Compositions of Stainless Steel

Composition (%) Material	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Fe
STS316L	0.03	1.0	2.0	0.045	0.03	12~15	16~18	2~3	rem.
STS430	0.12	0.75	1.0	0.04	0.03	0.6	16~18	-	rem.



에서 감소하였으며 플랜지부에서는 외측으로 갈수록 두께가 증가하였다.

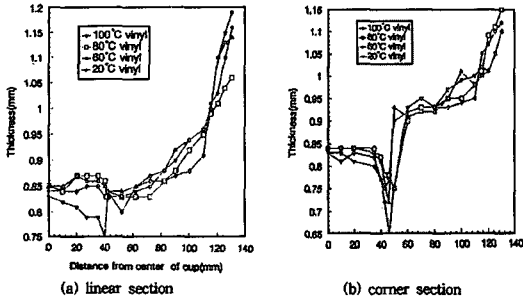


Fig. 3 Relationship between thickness distribution of drawn cups for temperature change of die (punch : cooled, blank holder : room temperature)

Fig.4는 펀치를 냉각, 블랭크홀더를 상온에 두고 비닐 필름을 도포한 판재를 상온 및 온간에서 드로잉하였을 때 (a)다이, (b)블랭크 홀더 (c)다이와 블랭크 홀더의 온도를 변화시켰을 때 각 재료의 온도에 대한 한계성형높이를 나타내고 있다.

세 종류의 실험결과, STS430 및 Al1050판재는 다이 온도가 상승함에 따라 한계성형높이의 변화가 거의 없었으나 (b),(c)와 같이 블랭크 홀더만 가열할 경우 및 다이와 블랭크홀더를 동시 가열하였을 때 100°C에서 최대의 성형높이를 얻을 수 있었다. 그리고 STS316L의 경우 60°C부근에서 한계성형높이가 최저이고, 100°C에서 최대의 성형높이를 얻을 수 있었다. 이는 STS316L의 높은 연성과 저탄소량에 기인하는 것으로 생각된다.

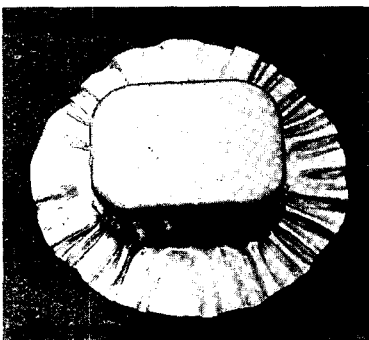
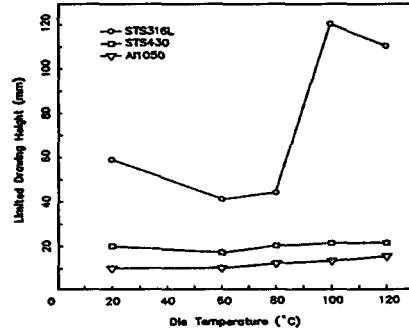
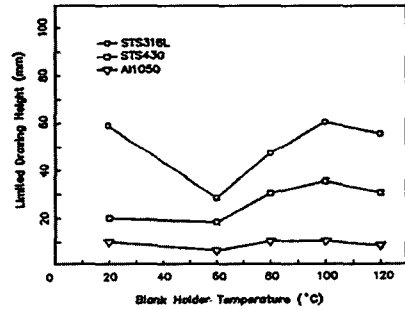


Fig. 4 Flange wrinkles of STS316L (punch:cooled,lubricants: vinyl covered with grease blank holding pressure : 30Kg<sub>f</sub>/cm<sup>2</sup>)

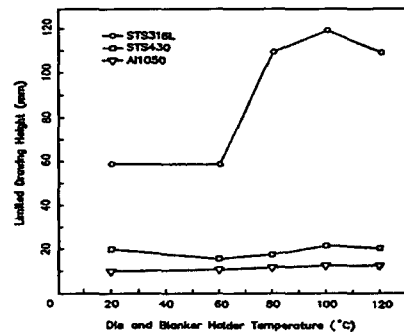
재료별 블랭크홀더력은 스테인레스강은 90Kg<sub>f</sub>/cm<sup>2</sup>, 알루미늄은 30Kg<sub>f</sub>/cm<sup>2</sup>로 하였으며 블랭크홀더력이 재료의 인장강도에 비해 너무 낮으면 플랜지 주위에 주름이 발생하게 된다. Fig.5는 Fig.4의 조건(a)에서 다이온도 60°C, 블랭크홀더력을 알루미늄과 동일한 30Kg<sub>f</sub>/cm<sup>2</sup>으로 STS316L판재를 드로잉하였을 때 생긴 불량이다.



(a) temperature change of die



(b) temperature change of blank holder



(c) temperature change of die and blank holder

Fig. 5 Relationship between limiting drawing height and temperature change of die component (punch:cooled, lubricants: vinyl covered with grease blank holding pressure: STS:90Kg<sub>f</sub>/cm<sup>2</sup>, Al:30 Kg<sub>f</sub>/cm<sup>2</sup>)

Fig.6은 Fig.4의 조건 (c)로 다이와 블랭크홀더를 동시에 가열하여 STS316L 판재를 온간성형하였을 때 60℃부근에서 한계성형높이가 최저이고, 100℃에서 최대의 성형높이를 보여준다.

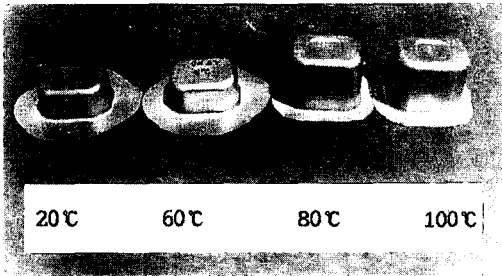
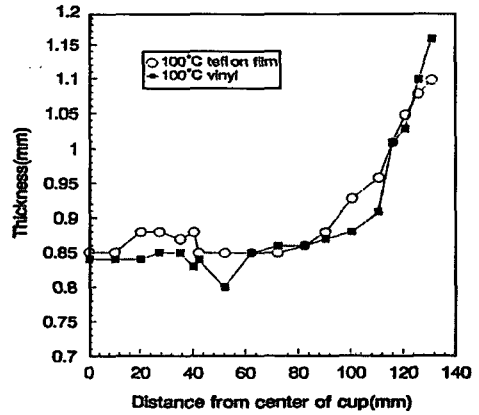


Fig. 6 Temperature effect on drawability

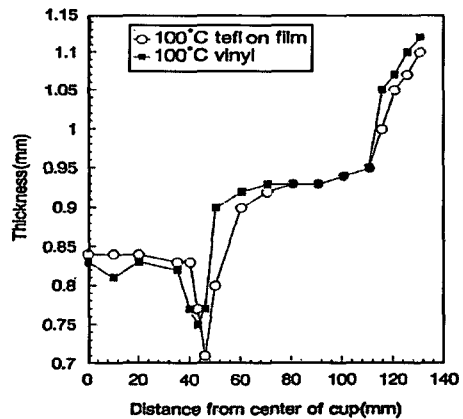
Fig.7은 다이 온도를 100℃에서 STS316L 소재를 테프론 필름과 비닐 필름으로 각각 윤활했을 때, 윤활제의 종류에 따라 컵의 중심에서 플랜지까지의 직선부 및 코너부에서의 두께 변형량을 나타낸다. 비닐의 경우보다 테프론 필름을 사용했을때 두께 변형량이 적었으며 외관 상태가 양호하였다. 그 이유는 테프론이 비닐에 비해 마찰계수 및 압축강도가 극히 낮고 내열성이 높기 때문에 고온 성형에서도 소재와 공구간의 윤활효과가 크기 때문이라고 생각된다. (9,10)

Fig.8은 다이와 블랭크홀더를 60℃에서 STS316L 소재를 테프론 필름과 비닐 필름으로 각각 윤활했을 때 성형성의 척도를 최대성형깊이로 비교한 것으로 비닐에 비해 테프론 필름을 사용하였을 때의 한계성형깊이가 훨씬 크게 나타났음을 보여준다. 이것은 테프론의 마찰계수가 비닐에 비해 낮기 때문이라고 생각된다.

윤활제의 종류에 따라 온도상승에 따른 성형성을 비교한 결과, STS316L의 경우 두 윤활제 모두 온도의 증가에 따라 성형성이 증가하다가 100℃에서 최대의 성형깊이를 나타내었으나 STS430의 경우 Fig.9와 같이 윤활제를 (a) 테프론이나 (b)비닐 모두 온도의 증가에 따라 성형성에 큰 영향을 미치지않았다. 왜냐하면 오스테나이트계 스테인레스강인 STS316L은 변형시 마르텐사이트로 변하는 변형유기 변태(TRIP)현상에 의해 경화되는 특징이 있다. 그런데 국부가열에 의해서 변형이 많은 부분에서 TRIP현상이 촉진되므로 전체적으로 변형이 균일하게 되고 네킹변형이 어렵기 때문에 드로잉비가 높아진

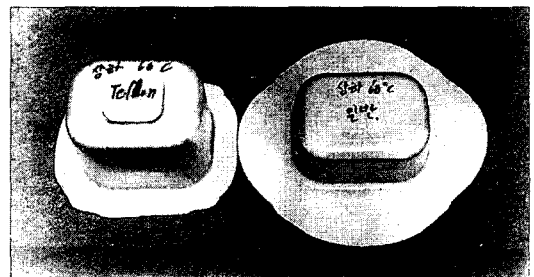


(a) linear section



(b) corner section

Fig. 7 Thickness distribution of drawn cups at die temperature 100℃

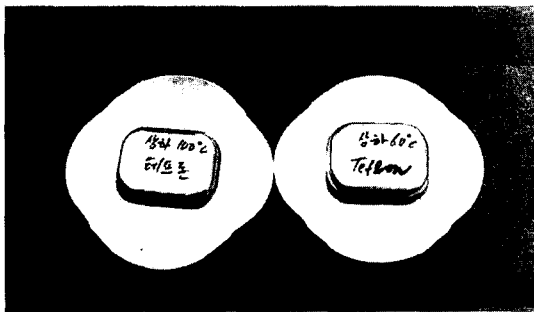


(a) teflon film

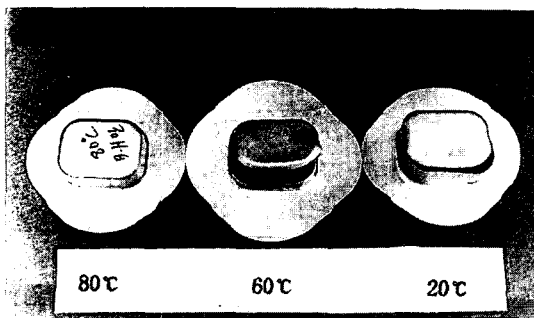
(b) vinyl film

Fig. 8 Comparison of drawability for different lubricants ( STS 316L, t= 1.0mm, punch : cooled, die components : heated, 60℃ )

것으로 판단된다. 따라서 국부가열에 의해 Md30의 온도 부근까지 가면 결정구조가 더욱 불안정하게 되어 TRIP이 촉진되어 네킹변형이 억제될 것으로 예상된다. 그러나 STS430은 BCC조직인 페라이트계로 이미 변태되어 있기 때문에 변형경화의 효과가 발생하지 않아 국부가열에 의한 효과가 그다지 크지 않은 것으로 판단된다. 그러나 국부적인 가열에 의한 연성증가로 인해 한계드로잉비의 증가만이 제한적으로 나타나고 있음을 알 수 있다.<sup>(11)</sup>



(a) teflon film



(b) vinyl film

Fig. 9 The effect of forming temperature on deep drawability of STS 316L for different lubricants (die and blank holder : heated, punch : cooled)

Fig.10에서는 비닐 필름을 윤활제로 사용하고 다이온도를 변화시키면서 성형높이를 94mm로 일정하게 하여 실험하였을 때, 다이의 온도에 대한 최대 드로잉 하중을 나타낸다. 알루미늄의 경우 온도가 하중에 미치는 효과가 적었으나, 스테인레스강의 경우 60℃까지는 하중의 변화가 없었으나 80℃이상부터 플랜지면의 가열온도가 높을수록 드로잉 하중이 감소되는 경향을 나타내었다.

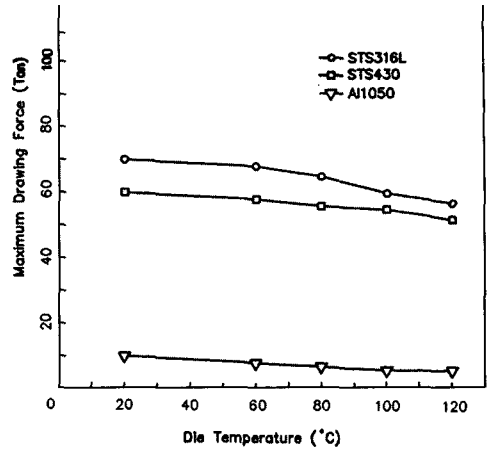


Fig.10 Relationship between die temperature and maximum drawing force

#### 4. 결 론

원통 드로잉에 비해서 각통 드로잉은 플랜지의 코너부와 직선부의 변형이 다르고 소재의 변형 거동이 복잡하여 성형이 어려우므로 냉간가공에서는 다단 금형에서 드로잉유를 윤활제로 사용하여 제작하고 있다. 그러나 본 연구에서는 2종류의 스테인레스 강(STS430, STS316) 및 순 알루미늄 판재를 소재로 냉간가공과 온간가공시 성형성을 비교하였다. 또 온간성형시 윤활제로서 테프론 필름과 비닐필름을 상용 드로잉유에 비해 성형성이 높고 및 두께가 균일하다고 사료되며 이상의 실험을 통하여 얻은 결과는 다음과 같다.

1) 냉간의 다단금형에 의해 디프드로잉하는 사각통을 금형을 국부적으로 가열하는 온간가공에 의해 1공정으로 성형이 가능하므로 공정의 단순화로 생산성을 향상시킬 수 있다.

2) 비닐 필름에 비해 테프론 필름이 제품의 각 부분에서의 두께 변형량이 균일하고 외관 표면이 양호한 제품을 얻을 수 있었다.

3) 다이의 온도가 높아질수록 냉간성형에 비해 인장강도 및 항복강도가 떨어짐은 물론 금속 변형저항이 떨어지므로 일반적으로 드로잉성이 향상되었고 펀치 머리부와 플랜지부에서 제품의 두께가 균일하였다.

4) 다이 혹은 다이와 블랭크홀더의 온도가 100℃일 때 한계성형높이가 최대로서 냉간성형에 비해 STS316L의 경우 약 2배였으나 STS430은 온도의 상승이 한계성형

높이에 별 영향을 주지 못하였다.

5) 온도의 변화에 대한 성형하중에 대하여, 알루미늄은 온도변화가 하중에 미치는 효과가 적었으나, 스테인레스강의 경우 60℃까지는 하중의 변화가 없었으나 80℃이상부터는 플랜지면의 가열온도가 높을수록 드로잉 하중이 감소되는 경향을 나타내었다.

### 후 기

본 연구는 부산대학교 정밀정형 및 금형가공연구센터의 지원하에 연구되었으며, 이에 감사드립니다.

### 참 고 문 헌

1. 金世煥, 韓允熙, 李承熙, "프레스 金型設計 資料集", 大光書林, 1988.
2. 渡部 荳臣, "ステンレス鋼板の温間絞り加工法", 塑性と加工, 第33卷, 第375號, pp. 396-403, 1992.
3. 김중호, 최치수, 나경환, "크랭크 프레스와 유압 프레스에서 스테인리스 강판 의 온간 드로잉성 비교", 한국소성가공학회지, 제4권, 제4호, pp. 345-352, 1995.
4. Granzow, W. G., "The Effect of Tooling Temperature on the Formability of Low-Carbon Steel Steets", The International Deep Drawing Research Group, Forming and Formability proceedings, 10th Biennial Congress, 55, pp. 127-132, 1979.

5. Takechi, H., Shibata, M., Ohwue, T., "Temperature Dependency of Mechanical Properties of Steel Sheets and its Application to Press-forming", Int. J. of Vehicle Design, IVAD Congress on Vehicle Design and Components, B, Proc. of Materials Technology, pp. B24, 1985.
6. Sugamata, M., Kaneko, J., Usagawa, H., and Suzuki, M., "The Effect of Forming Temperature on Deep Drawability of Aluminum Alloy Sheets", Proc. 2nd Int. Conference on Advanced Technology of Plasticity, Stuttgart, Vol. II, pp. 1275-1281, 1987.
7. M. Tisza, "A CAD/CAM System for Deep-drawing Processes", Proc. 2nd Int. Conference on Advanced Technology of Plasticity, Stuttgart, Vol. I, pp.145-150, 1987.
8. Donald F. Eary, Edward A. Reed, "Techniques of Pressworking Sheet Metal", 2nd edition, Prentice Hall, 1974.
9. 櫻内 雄三郎, 最新 플라스틱 기술, 대광서림, pp. 355-358, 1990.
10. 合成樹脂工業 硏究會, 合成樹脂便覽, 대광서림, pp. 121-158, 1988.
11. 남재복, 류도열, 김영석, "오스테나이트계 AISI304 스테인레스강판의 프레스 성형 특성", 한국소성가공학회지, 제3권, 제1호, pp. 38-50, 1994.