

## 온간성형공법을 이용한 오일팬 드로잉공정 단축

최치수\* · 최이천\* · 이종민\* · 오영근\*

# Reduction of Drawing Process in Warm Forming Steel Sheets using Oil Pan

C.S. Choi, Y.C. Choi, J.M. Yi, Y.K. Oh

### Abstract

This study is to investigate the effects of warm deep drawing with steel sheets of SCP3C and SCP1 for improving deep drawability. Experiments were carried out in various working conditions, such as forming temperature and lubrication. The effects of lubrication and temperature on drawability of steel sheets as well as thickness distribution of drawn oil pan were examined and discussed. One step forming at room temperature and uniform distribution of thickness was achieved at optimum formability for lubrication. The optimum forming temperature was obtained that both the die and the blankholder were heated to 100°C while the punch was cooled by circulating coolant of 0°C.

Key words : Warm Deep Drawing, Drawability, Lubrication, Thickness Distribution

## 1. 서 론

최근 제품의 생산성과 품질향상을 위해 온간영역에서 작업하는 새로운 온간성형공법이 주목을 받고 있다. 이 공법은 펀치와 다이 주변요소(다이, 블랭크홀더) 사이에 온도편차를 주어 펀치부위는 냉각하고 다이와 블랭크홀더부위는 가열하여, 제품의 펀치 어깨반경 부근에 파단강도를 높임과 동시에 제품의 플랜지부위에 압축강도를 저하시켜 다이표면상의 재료유입을 쉽게하도록 하여 드로잉성을 향상시키는 기술이다. 이에 관한 연구로서는 渡部<sup>(1,2)</sup> 등은 펀치를 0~10°C로 냉각시키고 동시에 다이와 블랭크홀더는 상온에서 150°C까지 가열 변화시키면서 소재의 인장강도와 연신율의 온도의존성, 드로잉 성형온도와 한계 드로잉비와의 관계를 연구한 바 있으며, 그 결과 펀치부위의 냉각과 다이 주변부위의 가열에 의해 드로잉성을 향상시킬 수 있음을 확인하였다. Ohwue<sup>(3,4)</sup> 등은 연강판의 청열취성

효과를 응용하기 위하여 온도변화에 의한 기계적성질 변화를 조사하고, 또한 펀치와 다이를 별도로 가열할 수 있도록 금형을 설계, 제작한 후 강 중에 포함하고 있는 고용탄소와 질소함량에 따른 성형효과를 재질과 온도변화에 따라 원형용기와 사각용기에 대해 드로잉성을 조사한 바 있다. 松倉<sup>(5)</sup> 등은 자동차부품 중에서도 가장 덥 드로잉 요소가 강한 오일팬에 대한 온간성형 실험을 수행하였다. 그 결과 성형성이 낮은 소재로도 성형이 가능한 금형온도 조건을 보고한 바 있으며, Usuda<sup>(6)</sup> 등은 알루미늄, 티타늄합금과 같은 비철재료에 대해 온간영역에서의 롤(roll)성형과 V형 굽힘작업에 있어서 스프링백(springback) 현상에 대한 온도효과를 조사하였다. Kim<sup>(7,8)</sup> 등은 STS304 스테인레스 강판을 이용하여 원형용기와 사각용기의 드로잉성을 온간과 상온에서 한계 드로잉비를 비교 분석하여 스테인레스 제품에 대한 최적의 성형조건을 조사한 바 있다. 일반적으로 오일팬(oil pan)은 드로잉 깊이가 깊고 형

\* 기아자동차(주) 생기연구원

상이 복잡하며 드로잉공정을 1회의 공정으로 성형할 경우 펀치 어깨변경부위의 파단강도 저하 및 플랜지부위의 압축응력 증가로 인하여 성형이 거의 불가능하다. 현재 이러한 문제점을 해결하기 위해 성형성이 더 좋은 소재를 찾고 있으나, 아직까지 성형가능영역이 안정된 소재는 개발되어 있지 않다.

본 연구에서는 극저탄소강(SCP1, SCP3C)의 온도의존성을 검토한 후 드로잉성을 조사하고자 하였다. 연구목표는 오일팬 2공정의 드로잉 공정을 1공정으로 공정단축시키고, SCP3C 소재를 SCP1의 소재로 그레이드 다운(grade down)시켜 생산성 제고 및 원가절감을 기하고자 하였다. 또한 이에 수반되는 제품두께 변화, 스프링백 등을 비교 검토하여 최적의 성형조건을 제시하고자 하였다.

## 2. 실험

### 1) 실험재료, 인장시험 및 마찰시험

온간성형 실험에 사용된 소재는 포항제철에서 생산한 자동차용 패널 SCP1, SCP3C 1.6mm의 강판이며, 표 1은 이들 재료의 화학적 조성을, 그리고 표 2는 상온에서의 기계적 물성치를 나타내었다. 실험용 소재는 압연방향에 따라 0°, 45°, 90° 방향으로 각각 인장시험편을 준비하여 상온에서 300°C 까지 변화시키면서 인장시험을 하였다. 그림 1에

나타낸 것과 같이 온도가 상승함에 따라 인장강도 및 연신율이 감소함을 알 수 있으며, 전체 온도구간에서 SCP1 보다 SCP3C의 인장강도가 다소 작고 연신율의 경우는 약간 큰 값을 보이고 있음을 알 수 있다.

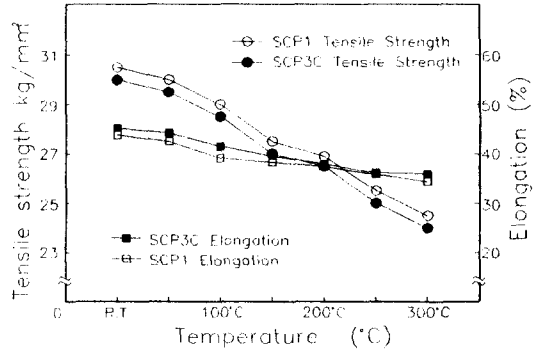


그림 1. 온도에 따른 기계적성질(SCP1,SCP3C)

표 3은 마찰시험 결과를 나타낸 것이다. 표에서 다이표면 온도가 100°C 영역에서 마찰계수가 가장 적은 값(0.258 $\mu$ ; average)을 나타냄을 알 수 있다. 이상의 결과에서 작업온도를 100°C로 증가시키면 상온보다 인장강도가 20Mpa, 마찰계수는 0.02 $\mu$ 로 각각 감소하기 때문에 온간 드로잉성을 향상시킬 것으로 기대된다.

Table 1. Chemical composition of test materials

Materials	Chemical composition wt(%)					
	C	Si	Mn	P	S	Al
SCP1	0.003	TR	0.08	0.013	0.008	0.026
SCP3C	0.002	TR	0.05	0.009	0.011	0.036

Table 2. Mechanical properties of test materials

Materials	Tensile Strength(Mpa)	Yield Strength(Mpa)	Elongation(%)	r	n
SCP1	169.5	299.4	43.8	2.1	0.22
SCP3C	155.8	293.6	45.2	2.3	0.25

Table 3. Friction coefficients for each temperature in SCP3C 0.7mm

	Temperature of Die & Blankholder(°C)					
	R.T	50	100	150	200	250
F.C	0.272 $\mu$	0.262 $\mu$	0.258 $\mu$	0.292 $\mu$	0.299 $\mu$	0.422 $\mu$

## 2) 드로잉 금형 및 주변장치

드로잉 금형은 기존에 사용하고 있는 오일팬 2차 드로잉 금형과 같은 형상으로 온간금형을 설계 및 제작하였으며, 다이와 블랭크홀더에는 용량 1.5kw의 파이프 히터(pipe heater)를 8개, 500w의 카트리리지 히터(cartridge heater)를 8개씩 장착하고, 한편 온도조절을 위한 열전대를 각각 1개씩 부품내에 장입하고 TPR(thyristor power regulator) 방식에 의한 전력제어 방법으로 온도조절을 하도록 하였다. 펀치는 펀치 어깨반경 가장자리를 따라 냉각수가 흐르도록 STS304(2.0t×φ12) 파이프를 삽입하여 주물 제작하였다. 그림 2는 본 연구에 사용되어진 온간드로잉 금형의 전체적인 조립도를 보여주고 있다.

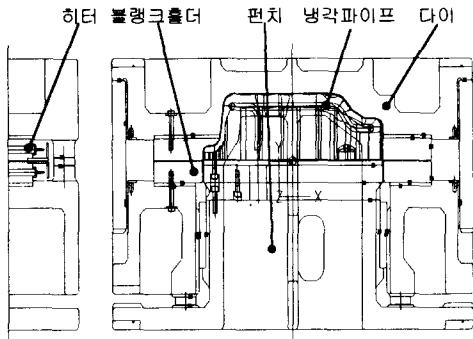


그림 2. 온간드로잉 금형의 구성도

## 3) 실험

실험은 램의 하강속도가 10mm/sec인 600톤 유압 프레스에 금형을 장착하고 틈새, 펀치 및 다이 어깨반경, 블랭크홀딩력, 드로잉속도 등은 기존의 금형의 성형조건과 같게 유지하고 다이와 블랭크홀더의 온도 및 윤활 유무에 따라 드로잉실험을 하였다. 소재에 따른 성형성 정도를 상대 비교하고, 성형품의 두께변화 및 스프링백 량을 비교 조사하였다. 온간작업에서의 윤활제로는 내열성과 윤활성이 양호하고 가격이 저렴한 염화비닐(vinyl chloride)을 사용하였다.

## 실험결과 및 고찰

### 1) 뒤틀림

오일팬 온간성형 실험에서 윤활제를 사용하지 않고 드로잉할 경우 사진 1과 같이 예상한 결과와는

달리 성형온도가 증가할수록 드로잉깊이가 감소하였다. 그 원인을 분석하기 위해 드로잉 작업을 하기 전에 다이만을 가열하여 온도변화에 따른 다이표면 부위의 뒤틀림 정도를 비교 측정하였다. 그 결과를 정리하면 그림 3, 4와 같다.

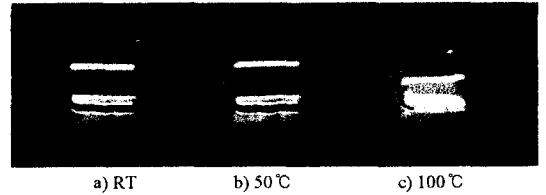


사진 1. 온도변화에 따른 성형품(무윤활)

그림 3은 온도변화에 따른 다이 안쪽의 뒤틀림 정도를 나타낸 것이다. 그림에서 길이방향(C, G)의 측벽부에서 더 많은 뒤틀림(100°C, 약 0.2mm)이 발생함을 알 수 있었다. 그림 4는 다이 표면부위의 뒤틀림 정도를 측정된 것이다.

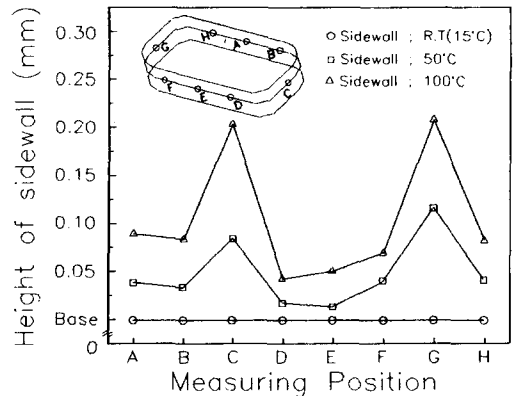


그림 3. 온도변화에 따른 다이 안쪽의 뒤틀림

그림에서 알 수 있듯이 다이 어깨반경 영역에 가까울수록 뒤틀림 현상이 심하게 발생함을 알 수 있다. 이것은 다이 가장자리의 경우 외부로 빨리 열방출이 되지만 내측의 경우는 방출이 쉽게 되지 않아 다이 어깨반경 부근에서 블랭크홀딩력이 집중적으로 부가되어 소재의 유입을 방해함으로 펀치 어깨반경 부근의 파단강도가 저하하여 크랙을 발생시킨 것으로 판단된다. 또한 윤활효과를 검증하기 위해 100°C에서 소재의 윤활 유무에 따른 성형성 실험을 행하였다. 그 결과 사진 2에 나타난 것처럼 윤활제를 사용한 경우가 크랙 발생없이 완전성형이

가능하였다. 이것은 뒤틀림 영향보다 윤활효과가 온간성형에는 더 큰 영향을 미치기 때문이라고 판단된다.

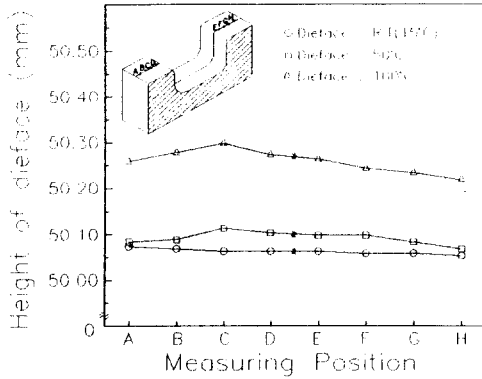
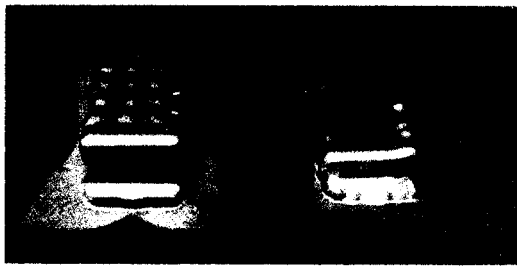


그림 4. 온도변화에 따른 다이표면 부위의 뒤틀림



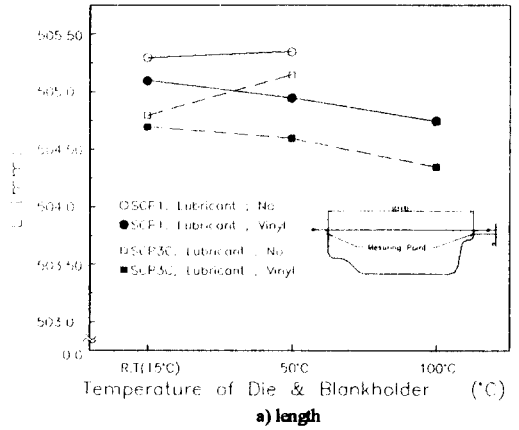
a) lubrication      b) non-lubrication

사진 2. 윤활 유무에 따른 온간성형성

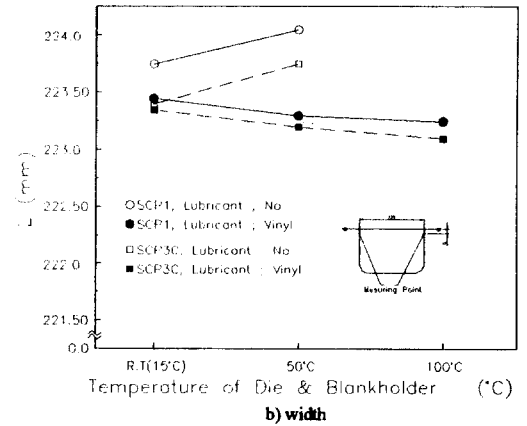
## 2) 스프링백 (springback)

스프링백 현상은 일반적으로 두께가 두꺼울수록 인장강도가 클수록 더 크게 발생한다. 오일팬의 경우 소재두께(1.6mm)가 두꺼워 드로잉 후 스프링백 현상이 심하게 나타나며, 후공정인 리스트라이킹 공정에까지 영향을 미치게되며, 스프링백 현상이 크게 발생하면 치수정밀도가 떨어져 오일팬 밑면의 평탄도가 좋지 못하여 엔진블록과 조립시 오일실링에 문제가 발생하기도 한다. 그림 5는 윤활제 사용 유무와 소재변화에 따른 스프링백 현상을 폭과 길이방향으로 각각 나타내었다. 그림 5의 (a)는 길이 방향에 대한 스프링백 현상을 그림 5의 (b)는 폭방향에 대한 스프링백 현상을 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 무윤활보다는 윤활제를 이용한 것이 인장강도가 낮은 SCP3C가 SCP1보다 스프링백 현

상이 현저하게 감소함을 알 수 있다.



a) length



b) width

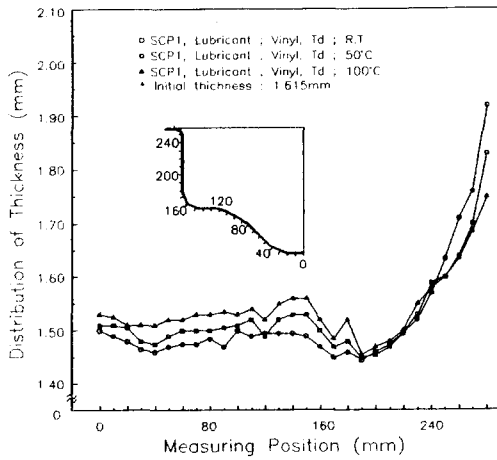
그림 5. 온도변화에 따른 스프링백

이것은 윤활제를 이용할 경우 소재유입을 원활하게 해주기 때문이며, 또한 SCP1보다 SCP3C 소재가 인장강도가 낮아 가공경화 현상이 적게 일어나기 때문이라고 생각된다.

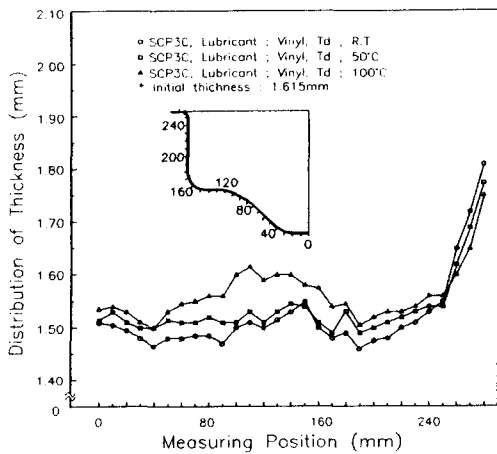
## 3) 성형제품의 두께분포

그림 6, 7은 소재와 상온 및 온간에서의 성형된 제품의 두께분포를 각각 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 다이와 블랭크홀더를 가열하고 펀치를 냉각시켜 온간성형한 것이 제품의 밑면과 측벽의 두께편차가 적으며, 보다 균일한 분포를 보여주고 있다. 상대적으로 드로잉단 높이가 큰 그림 7의 경우가 두께편차가 크게 일어나고 있음

알 수 있다.



(a) SCP1

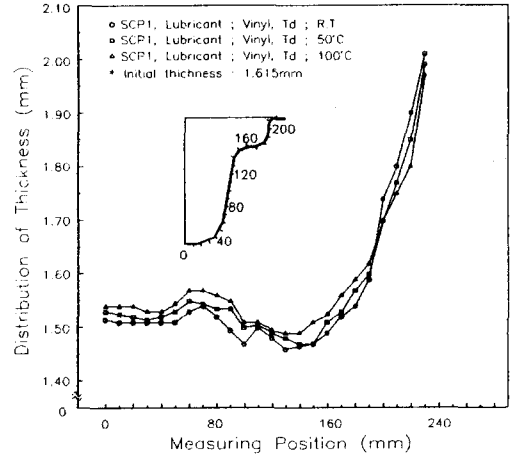


(b) SCP3C

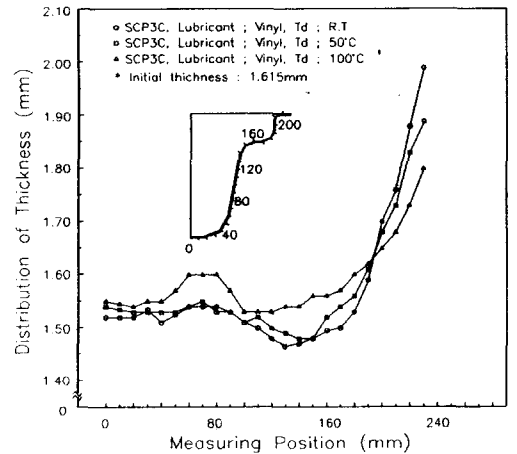
그림 6. 온도변화에 따른 두께분포

또한 펀치 어깨반경 부위에서 두께가 가장 얇아지는 것을 알 수 있으며, 이 주변에서 파단이 발생함을 예측할 수 있다. 온간성형 제품은 상온에서 생산한 제품에 비해 펀치 어깨반경 부위의 두께가 상대적으로 덜 얇아지고 플랜지 부위는 더 얇아지면서 전체적으로 제품의 두께산포가 작게 나타나고 있다. 이것은 온간성형의 경우 펀치 어깨반경 부위를 냉각함으로써 이 부위의 연신이 억제되고, 플랜지 부위는 가열되어 소재의 강도가 떨어져 소재의 유동성을 향상시키기 때문에 두께가 얇게 되는 것

이다.



(a) SCP1



(b) SCP3C

그림 7. 온도변화에 따른 두께분포

그림 8은 소재 및 온도변화를 통해 두께산포가 가장 크게 발생하는 조건과 가장 적게 발생하는 조건을 비교한 것이다. 그림 8의 (a)에서 SCP1을 상온에서 작업한 것과 SCP3C를 100°C에서 작업한 것은 두께산포가 가장 크게 발생하였으나, 그림 8의 (b)는 SCP3C를 상온에서 SCP1을 100°C에서 작업한 것을 비교해보면 거의 비슷한 형태의 두께산포를 가지고 있음을 알 수 있었다.

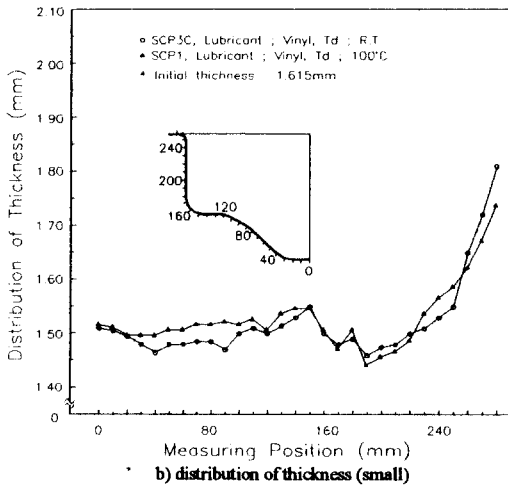
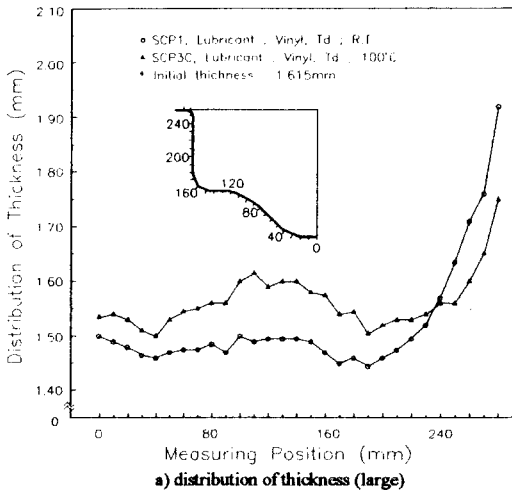


그림 8. 온도변화에 따른 두께변화

#### 4. 결론

본 연구는 온간성형공법을 이용하여 SCP3C의 소재로 2공정의 드로잉공정으로 생산되고 있는 오일팬을 SCP1 소재 및 1회의 드로잉 공정으로 생산하고자 다이와 블랭크홀더를 가열하고 펀치는 냉각하여 공정단축, 원가절감 및 품질을 향상시키고자 하였다. 온간성형 실험한 결과를 정리하면,

1. 히터에 의해 가열된 부위는 팽창하여 다이표면

부위가 많이 뒤틀어서 덩 드로잉시 다이 어깨반경 부근에서 블랭크홀딩력이 집중적으로 부가되어 무윤활 상태에서는 상온보다 성형성이 떨어진다.

2. 스프링백 현상은 윤활제를 사용한 것이 SCP1 소재보다는 SCP3C 소재가 스프링백 현상이 현저하게 감소하였다. 또한 성형온도가 상승할수록 스프링백 현상이 감소하며, 폭방향보다 길이방향의 스프링백 현상이 더 심하게 발생하였다.
3. 다이와 블랭크홀더를 가열하고 펀치를 냉각시켜 온간성형한 것이 제품의 밑면과 측벽의 두께산포가 적고 보다 균일한 두께분포를 나타내었다. 또한 SCP1 소재를 온간성형할 경우 SCP3C 소재를 상온에서 성형한 것과 같은 결과를 나타내므로 SCP3C 소재를 SCP1의 저급소재로 전환이 가능하였다.

이상의 결론에서 성형품의 두께 균일화 및 스프링백 감소는 제품의 품질을 좋게할 뿐만아니라 재드로잉(redrawing), 리스트라이킹(restriking) 등의 2차 가공에 있어서도 성형성 향상을 기대할 수 있으며, 공정단축에 의한 제조비용 절감과 SCP3C 소재를 SCP1 소재로 전환함으로써 재료비 절감을 꾀할 수 있었다. 또한 유사한 불량현상을 나타내는 덩 드로잉 성형제품에 확대적용시 만성불량 해소, 작업환경 개선 및 원가절감을 할 수 있으리라 생각된다. 그리고 기존설비에 부가하여 실용화하기 쉽기 때문에 난가공성 재료와 고정밀도 가공에도 점진적으로 응용이 가능할 것으로 예상된다.

#### 참고문헌

- 1]渡部 豊臣, 後藤 隆夫, 鈴木 誠一, 1985, “ステンレスクラット材の温間絞り加工”, 第36回 塑性加工聯合講演會, pp.257~260.
- 2]渡部 豊臣, 1992, “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.
- 3]T. Ohwue, H. Takechi and Y. Furuno, 1987, “Temperature dependence of steel sheets in warm working condition”, JSTP, Vol.28, No.314, pp.225~231.
- 4]T. Ohwue, M. Usuda and S. Sudo, 1991, “Cooled-punch Deep Drawing and its Application to Automobile Parts”, IDDRG Proceedings, Pisa, Italy, pp.308~315.

- 5]松倉孝典, 須藤誠一, 大上哲郎, 瀧田道夫, 1990, "金型冷却による實機低溫成形法の開發", 塑性加工春季講演會, pp.13~16.
- 6]M. Usuda, T. Ohwue, T. Katayama, 1991, "Formability of High Strength Steel Sheets in Warm Working Condition", IDDRG Proceedings, Pisa, Italy, pp.1~7.
- 7]J. H. Kim, C. S. Choi, B. Y. Jeong and G. H. Lee, 1993, "Deep Drawing of Stainless Steel in Warm Working Condition using a Single Crank Press", Proceed. 4th Int. Con. on Technology of Plasticity, Beijing, China, pp.1691~1694.
- 8]김종호, 최치수, 나경환, 1995, "크랭크프레스와 유압프레스에서 스테인레스 강판의 온간드로잉성 비교", 한국소성가공학회지, 제4권, 제3호, pp.345~352.