

# 냉각성형공법이 트렁크 플로어 드로잉성에 미치는 영향

최치수\* · 최이천\* · 박재현\* · 오영근\* · 이정우\*\* · 이항수\*\*\*

## Effect of Cold Forming Method on Drawability in Trunk Floor Panel

C. S. Choi, Y. C. Choi, J. H. Park, Y. K. Oh, J. W. Lee and H. S. Lee

### Abstract

This study is to investigate the effects of cold forming method with steel sheet of SCP3C to improve continuous productivity. Experiments were carried out in various working conditions, such as the number of stamping and the punch temperature. The effects of the punch temperature and the number of stamping on drawability of steel sheet of SCP3C as well as clearance and draw-in in the number of stamping were examined and discussed. The cooled the punch and the die and the blankholder heated by stamping were achieved at continuous productivity and quality improvement. The optimum forming condition for drawing trunk floor panel of SCP3C is shown as the punch is cooled by coolant of  $-5^{\circ}\text{C}$  and at the same time both the die and the blankholder are heated by stamping and frictional heat.

**Key Words** : Cold forming method, Continuous productivity, Drawability, Quality improvement

### 1. 서 론

최근 자동차산업이 급속히 발전하면서 자동차 차체부품 생산에 대한 생산성 제고를 위해 기존의 텐덤 프레스 라인(tandem press line)보다 금형교환, 생산속도, 작업인원 감소 등의 장점을 가지고 있는 트랜스퍼 프레스 라인(transfer press line)으로 생산환경이 전환되면서 트렁크 플로어(trunk floor), 도어 인너(door inner), 휠 하우스(wheel house) 등과 같은 딥 드로잉제품을 연속적으로

프레스성형을 하면 소착, 파단 및 주름 등과 같은 성형 불량 현상이 발생한다. 이러한 현상을 방지하기 위해 생산현장에서는 오일도포, 밸런스 블록(balance block)內 얇은 동판을 이용한 다이와 블랭크홀더의 틈새조정, 드로 비드(bead)부 사상과 같은 부수적인 작업을 통해 생산을 진행하고 있으나 확실한 개선점을 찾지 못하고 있는 실정이다.

최근 생산현장에서는 딥 드로잉 제품에 대한 연속작업성이 요구되면서 성형불량 현상에 영향을 미치는 인자들

\* 기아자동차 생기개발팀  
\*\* 삼척대학교 정밀기계공학과  
\*\*\* 한라대학교 기계공학과

에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 福富 浩一郎<sup>(1)</sup> 등은 프레스 가동율에 대해 열인자가 미치는 영향에 대한 조사를 실시하였는데 프레스성형 중 발생하는 열이 금형과 재료에 영향을 미치는 것으로 조사하였다. 특히 금형에서는 열팽창에 의한 국부적 클리어런스 감소를 유발하여 재료의 유입을 방해한다고 보고하였으며, 재료에는 금형표면의 마찰특성(마찰계수)이 변화되어 소재의 유입을 방해한다고 발표하였다. 吉田 智行<sup>(2)</sup> 등은 박판 프레스 성형에 대한 금형의 온도상승이 성형성에 미치는 영향을 검증하기 위해 실제 차체부품인 트렁크 리드 아우터(trunk lid outer) 드로잉금형을 이용하여 파단이 예상되는 다이 어깨반경 부위에 열전대를 설치하고 연속생산시 발생하는 현상을 검토하였다. 그 결과 금형의 열팽창에 의한 블랭크홀딩력의 증가가 성형성을 저하시키는 주요 요인이라고 기술하였으며, 吉田 亨<sup>(3,4)</sup> 등은 딥 드로잉성에 미치는 금형의 온도영향 조사에서 보통강판의 경우 상온에서 100℃ 범위까지 항복강도 및 인장강도가 15~20%, 연신율이 3% 정도 감소하고, 또한 한계 드로잉비(limited drawing ratio) 역시 0.1~0.2 정도 감소한다고 보고하였다. Choi<sup>(5-7)</sup> 등은 프레스성형에 있어서 계절에 따른 가동을 변화를 실제 차체 부품인 트렁크 플로어 부품을 대상으로 1년간 분석하였는데, 그 결과 봄, 가을 그리고 겨울철에는 가동율의 변화가 거의 없는 반면 여름철의 경우 상대적으로 약 8~10% 이상 가동율이 떨어지고, 특히 야간보다는 주간이 가동율이 떨어진다고 보고하였다. 이것으로 보아 온도가 제품성형에 얼마나 큰 영향을 미치는지 알 수 있다.

이러한 결과들을 종합해보면 연속생산시 성형불량의 원인으로는 연속생산에 따른 소재와의 마찰열 및 소성가공열이 금형에 축적되어 금형온도를 상승시키므로 그 열이 금형과 소재에 전도되어 금형에는 열팽창을 유발시켜 틈새를 감소시키고, 소재에는 소재를 연화시켜 소재가 원래 가지고 있던 성질(항복강도, 인장강도, 연신율 등)을 저하 및 마찰계수의 변화 등을 유발시켜 소착 및 파단 현상을 발생시키는 것으로 판단된다.

본 연구에서는 이러한 요인을 제거하기 위한 근본적 해결방안으로 실제 양산되고 있는 트렁크 플로어 드로잉금형의 펀치 어깨반경 부위에 냉각회로를 구성하여 파단 강도 저하에 따른 인장 연신을 억제하고, 다이와 블랭크홀더의 플랜지 부위에는 마찰열과 소성가공열을 그대로 이용하여 원주방향으로 발생하는 압축강도를 저하시켜 소재의 유입을 도와 소재의 딥 드로잉성 향상시키고자 하였다. 또한 연속작업성에 영향을 미치는 펀치부 냉각 효과를 파악하기 위하여 연속생산시 성형매수에 따른 틈

새 및 유입 변화량을 측정하여 비교하였으며, 실제 연속 작업이 가능한지 600매 이상 연속생산을 실시하였다.

## 2. 실험

현재 프레스생산 라인에서는 트렁크 플로어부품을 비롯하여 드로잉 깊이가 깊은 판넬류의 경우 성형매수가 증가함에 따라 넥킹(necking) 및 파단(crack), 주름(wrinkle) 등이 다발하여 제품생산에 많은 어려움을 가지고 있다. 본 연구에서는 이러한 고질적 만성불량 현상의 근본적 원인을 먼저 파악하기 위해 성형매수 증가에 따른 금형의 틈새 및 유입 변화량을 측정하고, 또한 펀치에 냉각회로를 설치하여 펀치의 냉각 유무에 따른 성형성을 평가하고자 하였다.

### 2.1 사용 기계

실험은 3500톤 트랜스퍼 프레스(transfer press)와 7.5HP 냉각장치(냉각능력 21,500kcal/h)를 사용하였다.

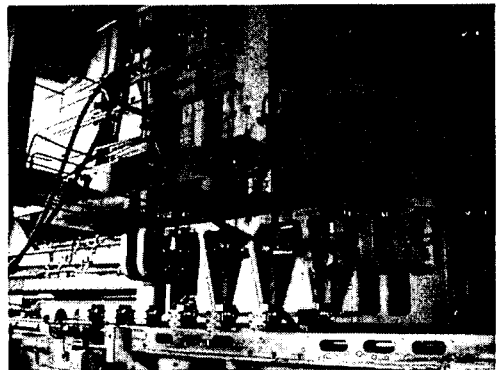


Fig. 1 Experimental set-up for cold forming in transfer press

Fig. 1은 트랜스퍼 프레스에 냉각성형용 금형이 연결되어 있는 모습을 보여주고 있다. 금형과 냉각장치를 연결하는 방식은 사용자의 안전과 편의를 위해 원터치 방식을 이용하였다.

### 2.2 냉각성형용 금형설계 및 제작

본 실험에 사용한 냉각성형용 드로잉금형은 상온뿐만 아니라 펀치냉각을 한 상태에서도 성형작업을 할 수 있도록 설계, 제작하였다. Fig. 2는 냉각회로를 구성하고 있는 펀치부 설계도이다. 냉각성형용 금형의 블랭크홀더와 다이는 기존 트렁크 플로어 드로잉금형과 동일하게

제작하고, 펀치는 Fig. 2에서 나타낸 것처럼 두 부분으로 나누어 냉각회로 설치가 용이하도록 하여 제작하였다. 또한 블랭크홀더의 압력은 가스 스프링(gas spring)을 이용하여 양산조건과 같은 900psi로 선택하여 사용하였다.

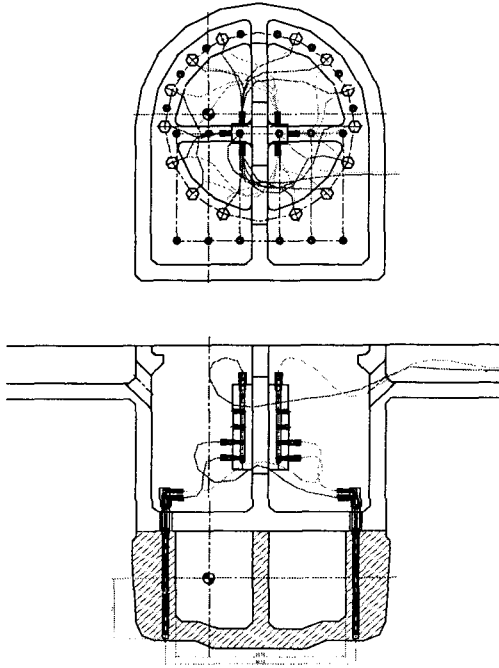


Fig. 2 Schematic view of cold forming punch

### 2.3 실험 방법

일반적으로 드로잉성형에 있어서 가장 큰 영향을 미치는 인자로서는 펀치와 다이의 틈새, 다이 어깨반경, 블랭크홀딩력, 윤활제 등이 있으며, 냉각성형공법의 경우는 펀치어깨반경 부위의 냉각온도가 있다. 본 실험에서의 금형 조건은 기존 트렁크 플로어부품의 드로잉 금형과 동일하게 제작하고 펀치부에는 냉각회로를 설치하여 연속생산성 확보를 위한 성형성 평가를 하고자하였다. 본 연구에서는 먼저 펀치냉각 유무에 따라 100매당 1매의 소재를 반출하여 소재의 유입 변화량을 그리고 연납을 이용하여 100매당 1회의 틈새 변화량을 측정하였다. 연납설치 장소는 Fig. 4와 같고 설치시간은 기계정지 후 1분 이내 설치하였다.

냉각성형공법에 대한 실험은 0.65mm 두께의 SCP3C의 강판을 사용하여 펀치에는  $-5^{\circ}\text{C}$ 의 냉각수를 순환시키면서 냉각하고, 다이와 블랭크홀더는 연속생산에 의한 소성가공열 및 마찰열을 그대로 이용하여 연속생산성을

확보하고자 하였다. 또한 본 연구에서는 냉각효과를 극대화하기 위해 드로잉금형의 펀치 어깨반경 부위에 배플러 파이프방식의 냉각기를 설치하였으며, 블랭크 형상은 양산 Line에서 생산하고 있는 크기  $0.65\text{t} \times 1090 \times 1400\text{mm}$ 를 사용하였다. Fig. 3은 본 실험에 사용한 블랭크 형상 및 치수이다.

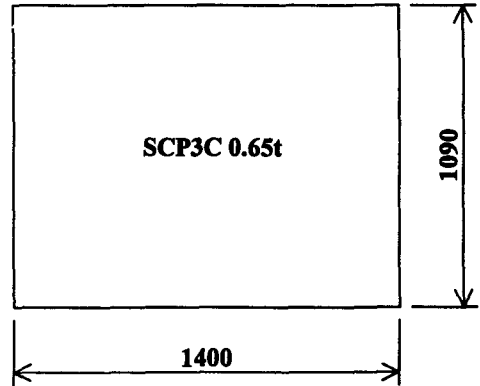


Fig. 3 Shape and dimension of blank

실험은 소재를 2,000매 준비하고, 생산속도는 양산조건과 동일하게 8spm 하였으며, 결과 정리는 펀치냉각 유무에 따른 틈새 및 유입 변화량 그리고 연속생산성을 조사하였다. 윤활제로는 방청유를 소재 상하에 도포한 상태로 실험하였다. 또한 금형온도 측정은 접촉식 온도계를 사용하여 금형에서 가장 고온이 되는 부위(다이축; 다이 어깨반경, 펀치축; 펀치 어깨반경 부위, 그리고 블랭크홀더축; 펀치 가장자리 부근)에 접촉시켜 매 100매 성형 후 프레스기계를 정지하여 각 부위별로 측정하였다. 측정시간은 측정 시작에서 완료까지 소요되는 시간은 약 1분 정도 걸렸다.

## 3. 실험 결과

### 3.1 틈새 변화량

Fig. 4는 틈새측정 위치를, Fig. 5는 펀치냉각 유무에 따른 틈새측정 결과를 나타낸 것이다. Fig. 5의 a)는 펀치냉각을 하지 않은 상태에서의 성형매수 증가에 따른 틈새 변화량을 측정한 결과이다.

Fig. 5에서 알 수 있듯이 성형매수가 증가할수록 초기 틈새보다 점점 감소하고 최대 0.15mm까지 감소함을 알 수 있다. 이것은 성형매수가 증가하면서 발생하는 소성가공열 및 마찰열에 의해 금형의 온도가 상승하게 되어 이때 흡수한 열이 외부로 빨리 방출되지 못하고 계속해

서 축적되면서 금형의 열팽창을 유발시켰기 때문이라고 생각되어지며, 또한 틈새 변화량이 큰 부위(⑥, ⑦, ⑧)의 경우는 마찰열이나 소성가공열이 상대적으로 많이 발생되는 곳이라고 생각되어진다.

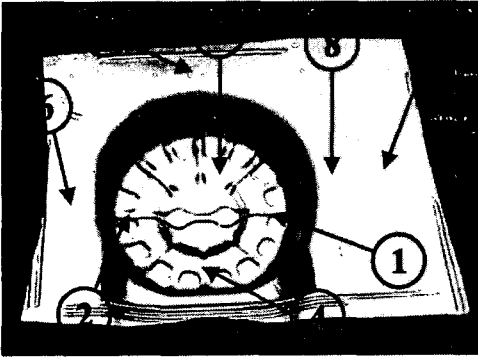
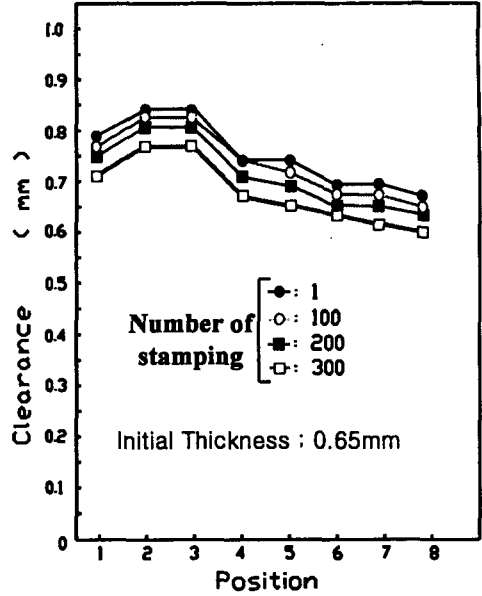


Fig. 4 Measuring position of clearance

Fig. 5의 (b)는 펀치냉각을 한 상태에서의 성형매수 증가에 따른 틈새 변화량을 측정한 결과이다. 그림에서 알 수 있듯이 펀치냉각을 하지 않은 상태에서의 결과와 경향은 비슷하지만 틈새 변화량이 다소 둔화됨을 알 수 있다.



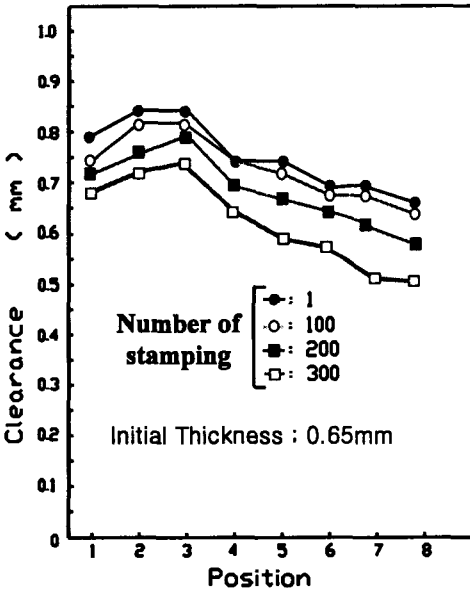
(b) punch = cooled

Fig. 5 Clearance for two forming conditions

이것은 펀치 냉각의 경우 펀치와 인접한 소재에서 발생하는 소성가공열 및 마찰열을 냉각펀치가 흡수하고 펀치를 둘러싸고 있는 블랭크홀더에 펀치의 냉각온도가 전달되어 블랭크홀더가 가공열을 흡수하고 흡수된 블랭크홀더의 온도에 의해 소재의 소성가공열 및 마찰열을 흡수하여 금형온도가 상승하는 것을 억제하고 지연시킨 결과에 의해 틈새 변화량이 둔화되었다고 생각되어진다.

### 3.2 유입 변화량

Fig. 6은 유입 변화량의 측정위치를 그리고 Fig. 7은 펀치냉각 유무에 따른 성형매수 증가에 의한 각 부위별 (A, B, C, D) 유입 변화량을 표기한 것이다. Fig. 7의 (a)는 펀치냉각을 하지 않은 상태에서의 성형매수 증가에 따른 유입 변화량을 측정한 결과이다. Fig. 7에서 알 수 있듯이 성형매수가 증가할수록 A, B의 유입 변화량은 점점 감소하고, C, D의 변화량은 거의 변화하지 않으나, 오히려 D부위의 유입 변화량은 더 증가함을 알 수 있다. 이것은 틈새 변화량과 마찬가지로 성형매수가 증가하면서 발생하는 소성가공열 및 마찰열을 금형 외부로 빨리 방출하지 못하기 때문이라고 생각되어지며, 오히려 유입 변화량이 증가하는 부위(D)는 마찰열이나 소성가공열이 적게 발생하고 열 흡수량도 적게 일어나기 때문에 유입 변화량이 증가한 것으로 생각되어진다.



(a) punch = no cooled

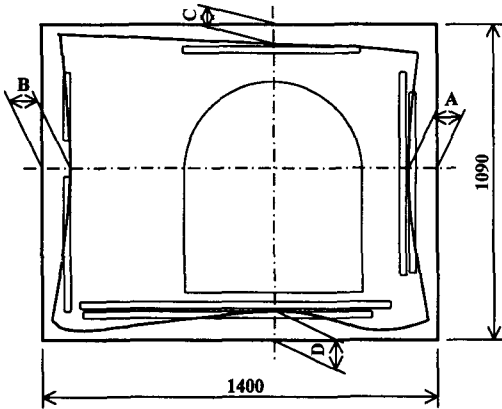


Fig. 6 Measuring position of draw-in

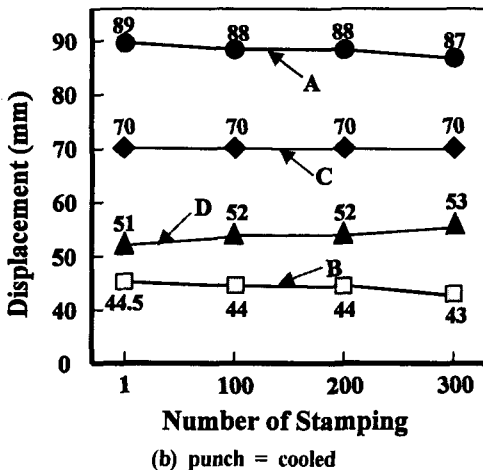
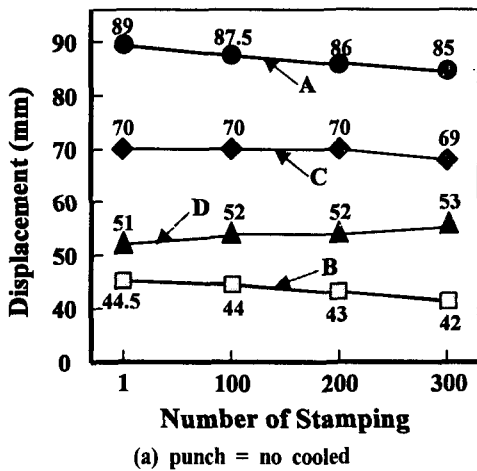
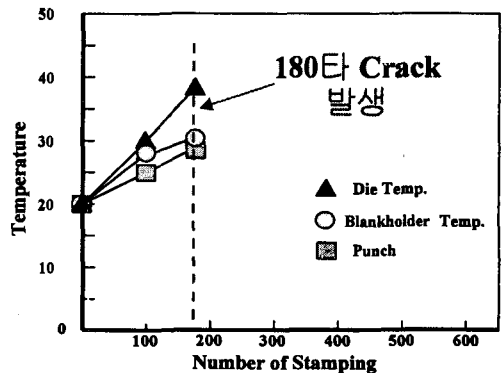


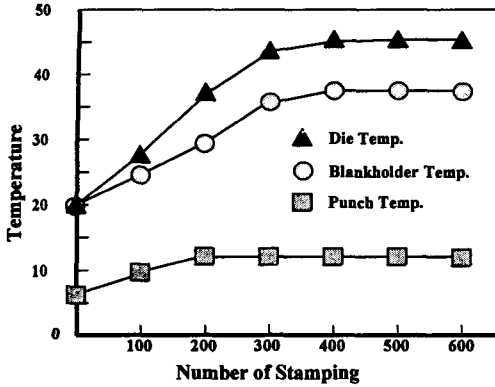
Fig. 7 Draw-in for two forming conditions

Fig. 7의(b)는 펀치를 냉각한 상태에서의 성형매수 증가에 따른 유입 변화량을 측정된 결과이다. Fig.에서 알 수 있듯이 펀치냉각을 하지 않은 상태에서의 결과와 경향은 비슷하지만 유입 변화량은 그렇게 크지 않음을 알 수 있다. 이것은 틈새 변화량과 마찬가지로 펀치와 인접한 소재에서 발생하는 소성가공열 및 마찰열을 냉각펀치가 흡수하기 때문에 금형온도가 상승하는 것을 억제하고 지연시켜 유입 변화량을 둔화시킨다고 생각되어진다.

### 3.3 성형성

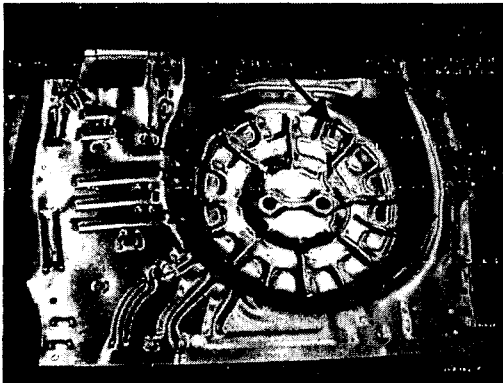
Fig. 8은 펀치냉각 유무에 따른 성형매수 증가에 의한 금형의 구성요소(펀치, 다이 및 블랭크홀더)의 온도 변화량을 나타낸 것이다. 금형온도 측정 부위는 마찰열 및 소성가공열에 의해 온도상승이 가장 크게 발생되어진다고 생각되는 부위를 측정하였다. Fig. 8의 a)는 펀치냉각을 하지 않은 상태에서의 성형매수 증가에 따른 금형의 온도 변화를 나타낸 것이다. Fig.에서 알 수 있는 바와 같이 성형매수가 증가하면 할수록 금형의 온도는 상승한다. 그러다가 어느 성형매수가 되면 금형의 온도는 일정하게 됨을 알 수 있다. 그림에서 180매 성형 후 펀치 어깨반경 부근에서 파단이 발생하였다. 이것은 성형에 의해 발생하는 소성가공열 및 마찰열이 금형에 축적되어 외부로 방출되지 못하고 소재에 전달되어 소재가 가지고 있던 파단강도를 저하시켜 소재가 견딜 수 있는 파단강도에 비해 소재의 유입저항이 증가하여 더 이상 유입이 되지 않으면서 파단을 유발시킨다고 생각되어진다. 또한 금형온도 상승으로 금형이 열팽창하게 되고 이것에 기인하여 틈새가 감소함으로써 블랭크홀딩력이 국부적으로 증가하기 때문이라고 생각되어진다.



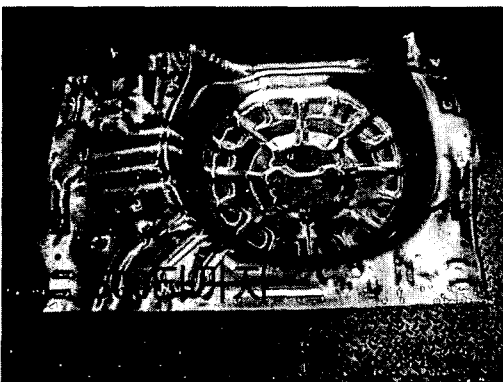


(b) punch = cooled

Fig. 8 Temperature of die components for two forming conditions



(a) punch = no cooled



(b) punch = cooled

Fig.9 Trunk floor drawn at two forming conditions

Fig. 8의 (b)는 펀치 어깨반경 부위를  $-5^{\circ}\text{C}$ 의 냉각수를 순환시켜 연속성형한 결과를 나타낸 것이다. Fig.에서 성형매수가 600매 이상에서도 파단발생 없이 연속생산되었다. 이것은 펀치 어깨반경 부위를 냉각함으로써 이 부위의 소재 연신이 억제되고, 플랜지 부위에서는 소성 가공열 및 마찰열을 그대로 이용하기 때문에 소재의 압축강도가 떨어져 소재의 유동성을 향상시켜줌으로써 전반적으로 성형성이 향상된 결과라고 생각되어진다. 또한 다이와 블랭크홀더의 상승온도도 펀치 비냉각보다 완만하게 증가하고 펀치와 다이의 온도구배도 비냉각보다  $20\sim 30^{\circ}\text{C}$  이상 차이가 발생하여 성형성을 향상시키는 것으로 생각되어진다.

Fig. 9는 펀치냉각 유무에 따른 성형 결과물로서 Fig. 9의 (a)는 펀치냉각을 하지 않은 상태에서 연속생산(180매 성형 후 파단 발생)한 결과물이고, Fig. (b)는 펀치냉각을 한 상태에서 연속생산(600매 성형 후 파단발생 하지 않음)한 결과물을 나타낸 것이다.

#### 4. 결 론

프레스성형에 있어서 연속생산시 금형의 온도상승에 의해 프레스부품에 파단이 발생하여 연속작업성이 200매 이하인 것을 본 연구에서 개발한 냉각성형공법을 적용하여 600매 이상 연속생산성을 확보하였다. 이상의 실제 트렁크 플로어부품을 성형한 후에 얻을 결과를 정리하면 다음과 같다.

- (1) 틈새 변화량은 성형매수가 증가할수록 소성가공열 및 마찰열에 의해 틈새가 감소하나, 펀치를 냉각하여 성형하면 틈새 변화량은 둔화된다.
- (2) 유입 변화량은 성형매수가 증가할수록 소성가공열 및 마찰열에 의해 유입이 억제되며, 펀치를 냉각하여 성형하면 유입 변화량은 둔화된다.
- (3) 성형성은 펀치 어깨반경 부위를 냉각함으로써 연속생산성(200매→600매)을 확보하였다.

이상의 결론에서 트렁크 플로어 드로잉금형의 펀치 어깨반경 부위를 냉각함으로써 연속생산성을 확보하였다. 이것은 프레스부품을 설계하는 설계자부터 프레스 생산 라인에서 작업하는 작업자까지 설계자유도 및 작업환경을 개선하는 것으로서 연속생산성 확보에 따른 불량률 감소로 제조비용 절감 및 작업환경을 개선할 수 있는 성형공법이라고 생각되어진다.

## 후 기

본 연구는 산업기반기술사업인 "박판의 딥 드로잉 성형성 향상 기술개발" 과제의 일환으로 산업자원부의 지원을 받아 수행된 것으로서 관계자 여러분께 감사 드립니다.

## 참 고 문 헌

- (1) 吉田 智行, 鹽田 哲郎, 吉田 享, 橋本 浩一, 1996, "薄板プレス成形における金型温度上昇の影響", 型技術, 第11卷, 第8号, pp.28~29.
- (2) 佐野 篤, "プレス成形における型温度", 1994, 工具材質および薄板表面の影響, 塑性加工春季講演會, pp.77~780.
- (3) 吉田 享, 橋本 浩一, 鹽田 哲郎, 佐野 篤, 1997, "深絞り成形性に及ぼす金型温度の影響", 薄鋼板成形技術研究會資料, pp.1~11.
- (4) 福富 浩一郎, 工藤 優, 永光 達夫, 1991, "プレス成績に對する熱因子のおよぼす影響について", 薄鋼板成形技術研究會資料, pp.1~5.
- (5) 최치수, 최이천, 1996, "트렁크 플로어 가동을 분석" 기아자동차 생산기술통신지, 제16호, pp.56~61.
- (6) 최치수, 최이천, 이종민, 오영근, 1999, "온간성형공법을 이용한 오일팬 드로잉공정 단축", 한국소성가공학회, '99추계학술대회논문집, pp.88~94.
- (7) 이항수, 최치수, 1999, "박판의 온간상태에서의 인장 특성", 한국소성가공학회, '99추계학술대회논문집, pp.49~52.