

## 트리밍펀치 형상과 전단 각에 따른 전단하중 특성에 관한 연구

유종근<sup>1</sup> · 원시태<sup>#</sup>

### A Study of the Shearing Force as a Function Trim Punch Shape and Shearing Angle

C. K. Yoo, S. T. Won

(Received February 2, 2015 / Revised February 11, 2015 / Accepted February 23, 2015)

#### Abstract

By investigating the practical use of trim punch configurations for shearing of vehicle panels, the current study first reviews the shearing angle as part of the shearing die design. Based on this review, four different types of trim punch shapes (i.e., horizontal, slope, convex, and concave type) and shearing angles (i.e., 0.76°, 1.53°, 2.29°, 3.05°, 3.81°) were investigated. In order to conduct shearing experiments, four types of trim punch dies were made. The four trim punch dies were tested under various conditions. The experiments used the four trim punch shapes and the five shearing angles. The shearing force varied by shape and decreased from horizontal, slope, convex, to concave for the same shearing angle. The magnitude of shearing force showed differences between the convex and the concave shapes due to the influence of constrained shearing versus free shearing. The test results showed that compared to the horizontal trim punch shearing force, the decrease of the slope, convex, and concave shearing forces were 22.6% to 60.4%. Based on the results, a pad pressure of over 30% is suggested when designing a shearing die.

**Key Words** : Trim Punch Shape, Shearing Angle, Shearing Force, Shearing Die, Pad Pressure

### 1. 서론

전단 금형 설계에서 전단펀치의 깊이는 경질 또는 연질 등 전단소재의 특성과 함께, 전단두께, 전단길이 등 조건에 따라 다르게 결정한다[1]. 그리고 전단 깊이의 차이에 따라 설정되는 전단 각은 전단 작업에서 전단 하중의 크기, 소음, 전단 날의 수명 등에 중요한 역할을 한다[2].

전단 금형 설계시 최적의 전단 각 설정은 전단 하중의 감소효과에 의해 가공 동력의 에너지 절감 효과와 함께 프레스기계의 용량(톤수)를 낮출 수 있기 때문에, 작업 프레스에 대한 선택의 폭이 넓어진

다. 또한 패드, 스트리퍼의 압력감소에 의해 작업 공정을 줄이고, 압력원의 스프링(또는 가스 스프링)의 개수를 줄일 수 있어 제작단가를 낮출 수 있다.

한편 전단금형 설계의 시작단계에서 전단하중을 정확하게 예측할 수 있다면 프레스 설비 용량에 맞게 정확한 공정설계가 가능할 것으로 생각된다. 그러나 전단 금형 설계시 적용된 전단 각에 의한 전단 하중의 크기는 해석(시뮬레이션)에 의한 방법과 금형을 제작한 후에 프레스작업을 통해서 알 수 있다. 특히 전단조건을 미리 가정하여 전단하중을 예측하는 해석방법은 전단 펀치의 위치가 스크랩(Scrap) 처리와 전단조건 등의 변수가 설계도중에 많이 발생

1. 뉴테크

<sup>#</sup> Corresponding Author : Dept. of Mechanical System Design Engineering, Seoul National University of Science & Technology, E-mail : stwon370@seoultech.ac.kr

하고 있기 때문에 계산하기 어려운 단점이 있다.

따라서 본 연구는 전단 금형의 대표적인 사례로서 승용차 판넬의 트리밍 금형 설계시 전단펀치의 배치에 대해 현장에서 실제 적용하는 사례를 검토하고, 설계에 적용된 전단 각의 조사를 실시하였다.

이를 토대로 4 종류의 트리밍 펀치 형상과 전단 각 모델을 선정하였다. 그리고 4 종류의 트리밍 시험 금형을 설계, 제작한 후 트리밍 펀치형상, 전단 각, 전단 깊이의 다양한 조건에서 전단 실험을 수행하고 발생하는 전단하중의 관계를 정리하였다. 실험 결과를 토대로 전단 금형 설계시 전단하중을 예측하고 적용할 수 있도록 제안하였다.

## 2. 승용차 판넬과 스크랩 커터의 배치

Fig. 1은 승용차의 Stiff roof inner panel의 평면 상태에서 스크랩 커터의 배치를 나타낸다. 그림중 ③과 ⑥은 전단 각의 설정을 의미하는 전단 깊이 3mm와 6mm(Fig. 2와 동일)를 나타낸다. 스크랩 커터의 배치가 넓고 스크랩 커터가 외측 배치인 경우에는 A부분과 같이 양쪽의 스크랩 커터 부분은 6mm로 하고 중간 부분은 3mm로 해서 전단 각을 크게 하는 경우가 있다. A부분처럼 설정하면 오목 펀치가 된다[3].

이와 반대로 B부분은 스크랩 커터의 배치가 넓고 스크랩 커터가 내측 배치인 경우에는 양쪽의 스크랩 부분은 3mm로 하고 중간 부분은 6mm로 해서 전단 각을 크게 하는 경우가 있다. B부분처럼 설정하면 볼록형 펀치가 된다. 이렇게 오목 상태와 볼록 상태는 스크랩 커터의 배치에 따라서 자연스럽게 나타난다. 또한 AFTER CUT이라고 표기한 부분은 자동화 이송의 관계로 1차 전단 후에 다음 공정에서 2차 전단을 하는 부분이다. 다음 공정에서 2차 전단을 하는 경우에는 단독으로 경사 펀치 또는 볼록 펀치 또는 오목 펀치의 상태가 될 수도 있다. 이러한 배경에서 본 실험에서 적용한 전단 시험용 펀치의 형상을 선정하였다.

## 3. 트리밍 펀치와 스크랩 커터의 관계

앞에서 설명한 볼록 펀치와 오목 펀치가 되는 이유는 다음과 같다. Fig. 2는 승용차 프레스 금형에 적용하는 트리밍 펀치와 스크랩 커터(Scrap cutter)의 관계를 나타낸다. 스크랩 커터는 길게 전단된 스크랩

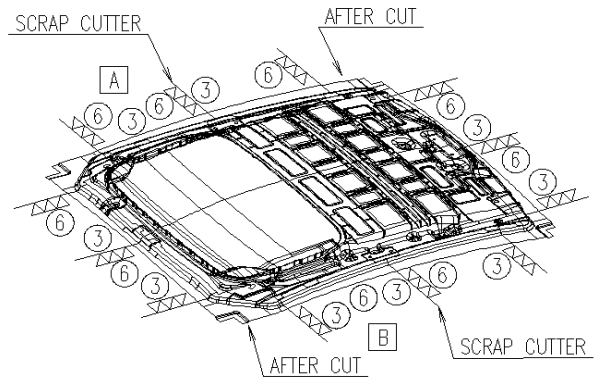


Fig. 1 Scrap cutter layout for automobile panel

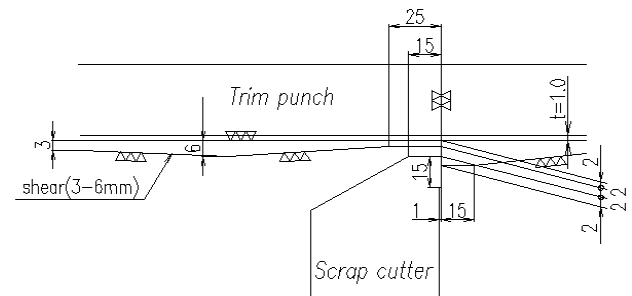


Fig. 2 The relation between trimming punch and scrap cutter

을 일정한 길이로 자르기 위해서 필요하다. 컨베이어 등 자동 이송을 위해 필요한 크기로 잘라야 하기 때문이다. 따라서 스크랩 커터는 필요로 하는 간격으로 배치되고 있다. 이 때 스크랩 커터가 있는 부분의 트리밍 펀치는 스크랩 커터와 충돌하지 않도록 Fig. 2와 같이 2mm의 틈을 주게 된다. 이 부분을 기점으로 트리밍 펀치는 전단 각을 주게 된다. Fig. 2는 3mm와 6mm로 설정한 예이지만 필요에 따라서 10mm, 15mm등 다양하다. 이렇게 전단 각을 부여하면 볼록형도 있게 되고 반대로 오목형도 있게 된다. 이 볼록형과 오목형 펀치의 전단 하중은 전단 응력 분포와 전단력의 변화[3]에서도 알려진 바와 같이 차이가 있을 것으로 생각된다. 또한 이들 펀치 형상이 전단하중에 어떠한 영향을 미치고 있는지 규명할 필요가 있다.

## 4. 실제 적용된 전단 각의 조사결과

Fig. 3은 승용차의 Stiff front roof panel의 전단 각을 조사한 결과이다. 그림에서 트리밍 길이(trimming

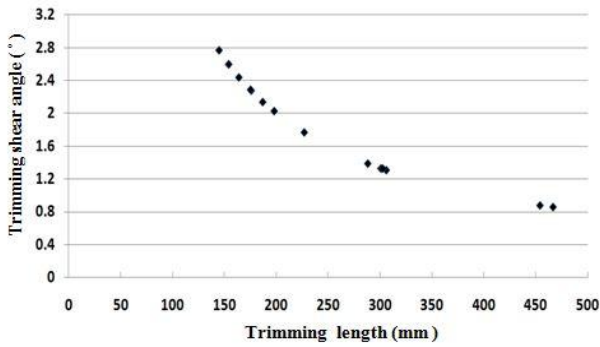


Fig. 3 The relation between trimming shear angle and trimming length

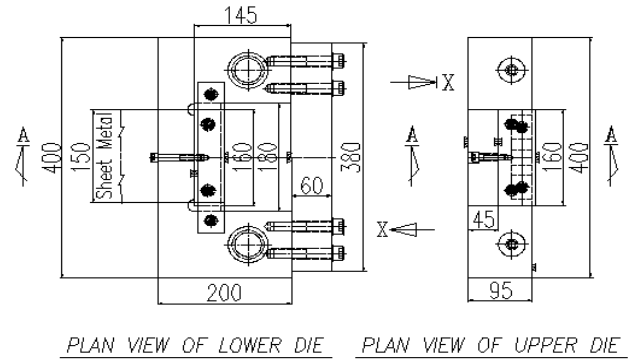
length)는 스크랩 커터와 스크랩 커터 사이의 전단 길이를 나타낸다. 스크랩 커터와 스크랩 커터 사이에는 직선 구간, ㄱ자형 구간, ㄷ자형 구간 등 다양하다. 또한 폐곡선 구간(대형 블랭킹)도 존재한다. 전단 길이는 곡선의 전체 길이를 측정하는 것이다. 따라서 스크랩 커터간의 거리가 가까워도 전단 길이는 길게 나타날 수 있다. Fig. 3의 그래프는 12 개의 점이 있는데 이것은 12 개의 스크랩이 존재하고 각각의 전단 길이와 전단 각을 조사한 것이다. 본 연구에서 적용한 승용차 판넬의 경우 전단 각은 0.85 ~ 2.78°의 범위로 나타나고 있음을 알 수 있다.

### 5. 전단용 시험금형 및 전단소재

전단 시험용 금형의 구조는 Fig. 4에 제시된 일열(一列)의 하형 다이와 상형 펀치로 구성되어 있다. SEC A-A에서 A는 하형 다이이고 B는 상형 펀치이다. C는 하형 본체인데 A와 같은 높이이다. 이 위에 시험편을 올려 놓고 D의 양 쪽에 설정된 볼트를 체결해서 시험편을 고정한다. E는 상형 본체이고, 상형 펀치의 뒤에는 슬라이드 부분을 만들어 전단되기 전에 측압을 완전히 제어할 수 있도록 하였다. 이 슬라이드 부분은 전단이 시작되기 전에 먼저 20~27mm 선행되도록 설계하였다.

시험소재는 인장강도 32kgf/mm<sup>2</sup>(313N/mm<sup>2</sup>)을 갖는 승용차용 냉간압연 강판 \*SC000-\*.\*\*.\*\*\*계열을 사용하였다. 시험편 형상은 Fig. 5와 같이 두께 1mm, 폭 150mm 이다.

전단과정에 의한 전단 단면은 초기 소성변형 단계인 처짐(Edge Radius), 두번째 침입단계인 전단면(Cut Band, 약 소재두께의 1/3), 세번째 단계인 파단면



PLAN VIEW OF LOWER DIE PLAN VIEW OF UPPER DIE

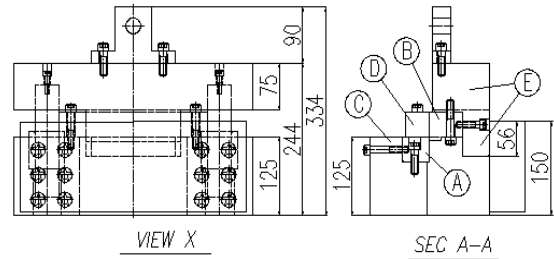


Fig. 4 The trimming die design for test

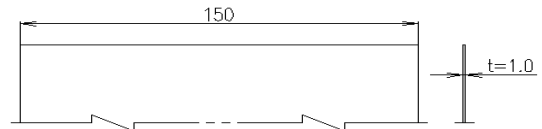


Fig. 5 The trimming test specimen (unit : mm)

(Break), 마지막 단계인 버(Burr)가 발생하고, 전단금형의 틈새(clearance)는 전단 단면의 품질에 중요한 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 본 실험에서 전단펀치의 틈새는 표준형인 소재두께의 5-8%범위인 7% (0.07mm)를 적용하였다[4, 5].

### 6. 시험용 트리밍 펀치의 형상

본 실험에 사용한 트리밍 펀치형상은 수평형(Horizontal type), 경사형(Slope type), 볼록형(Convex type) 및 오목형(Concave type) 4종류이다[6].

Fig. 6은 수평형으로 전단조건 중에서 저항이 가장 큰 동시 전단의 하중을 측정하고 기준하중으로 사용한다. 그림에서 A-3의 A는 수평형, 3은 상형펀치가 하형 다이에 들어가는 펀치의 깊이(3mm)를 나타낸다

Fig. 7은 경사형으로 한 구간을 하나의 단순한 경사로 전단 할 때의 전단하중을 측정한다. 그림에서 원

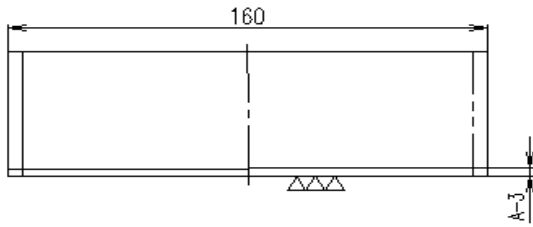


Fig. 6 The shape of horizontal type trimming punch

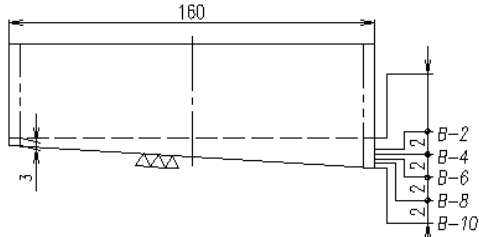


Fig. 7 The shape of slope type trimming punch

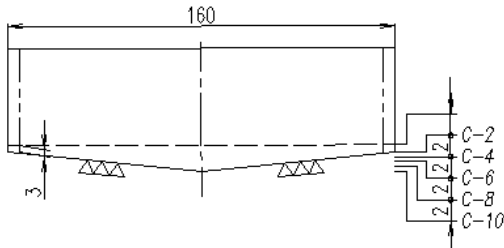


Fig. 8 The shape of convex type trimming punch

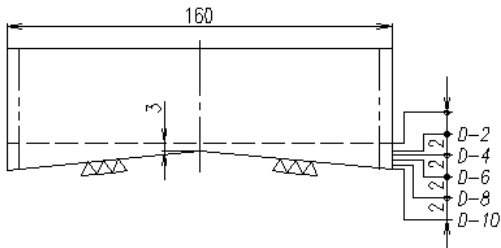


Fig. 9 The shape of concave type trimming punch

쪽의 펀치 깊이는 3mm로 고정하고 오른쪽의 B-2는 수평기준에서 2mm(3+2=5mm)를 경사시킨 것을 의미한다. 그림의 B-4는 수평기준에서 4mm(3+4=7mm)를 경사시킨 것을 의미한다. 같은 방법으로 6, 8, 10mm의 5종류의 전단펀치를 제작하였다.

Fig. 8은 볼록형으로 전단펀치의 한 구간의 중간에 2등분 설정으로 전단하면 볼록 모양이 생기는데 이 부분의 초기하중을 규명하기 위해서 선정하였다. Fig. 7에서 설명한 바와 같이 C-2,.....,10 도 같은 내용의 펀치 깊이를 의미한다.

Fig. 9는 오목형으로 전단 펀치의 한 구간의 중간

에 2등분 설정으로 전단하면 오목 모양이 생기는데 이 부분의 초기하중을 규명하기 위해서 선정하였다. Fig. 7에서 설명한 바와 같이 D-2,.....,10 도 같은 내용의 펀치 깊이를 의미한다.

## 7. 시험결과 및 고찰

Fig. 10은 Fig. 6의 수평형 트리밍 펀치형상으로 전단한 전단 하중과 스트로크의 관계 그래프이다. 이 결과 최대 전단 하중은 1,270 kgf를 나타낸다.

Fig. 11은 Fig. 7의 경사형 트리밍 펀치형상의 B-2, 4, 6, 8, 10(전단길이 150mm / 편측 깊이 2, 4, 6, 8, 10mm / 전단 각 0.76°, 1.53°, 2.29°, 3.05°, 3.81°)의 조건으로 시험한 전단 하중과 스트로크의 관계 그래프이다. 이 결과 각 조건별 최대 전단 하중은 수평형 트리밍 펀치의 최대 전단하중 1,270kgf를 기준으로 감소 비율을 살펴보면, B-2는 1,231kgf로 약 3.1%, B-4는 1,123kgf로 약 11.6%, B-6은 1,008kgf로 약 20.6%, B-8은 954kgf로 약 24.9%, B-10은 870kgf로 약 31.5% 감소하고 있다.

Fig. 12는 Fig. 8의 볼록형 트리밍 펀치형상의 C-2, 4, 6, 8, 10(전단길이 150mm / 편측 깊이 2, 4, 6, 8, 10mm / 전단 각 1.52°, 3.06°, 4.58°, 6.10°, 7.62°)의 조건으로 시험한 전단 하중과 스트로크의 관계 그래프이다. 이 결과 각 조건별 최대 전단하중은 수평형 트리밍 펀치의 최대 전단하중 1,270kgf를 기준으로 감소 비율을 비교하면, C-2는 870kgf로 약 31.5%, C-4는 665kgf로 약 47.6%, C-6은 517kgf로 약 59.4%, C-8은 422kgf로 약 66.8%, C-10은 392kgf로 약 69.1% 감소하고 있다.

Fig. 13은 Fig. 9의 오목형 트리밍 펀치형상의 D-2, 4, 6, 8, 10(전단길이 150mm / 편측 깊이 2, 4, 6, 8, 10mm / 전단 각 1.52°, 3.06°, 4.58°, 6.10°, 7.62°)의 조건으로 시험한 전단 하중과 스트로크의 관계 그래프이다. 이 결과 각 조건별 최대 전단하중은 수평형 트리밍 펀치의 최대 전단하중 1,270kgf를 기준으로 감소 비율을 살펴보면, D-2는 847kgf로 약 33.3%, D-4는 548kgf로 약 56.9%, D-6은 390kgf로 약 69.3%, D-8은 284kgf로 약 77.6%, D-10은 245kgf로 약 80.7% 감소하고 있다. 특히 오목형 펀치형상에서 D-2와 D-4의 전단하중 격차가 290kgf로 다른 펀치형상에 비해서 크게 감소하는 현상이 나타났다.

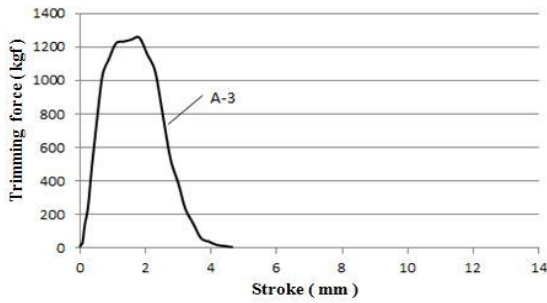


Fig.10 The relation between punch load and stroke curve of the horizontal type trimming punch

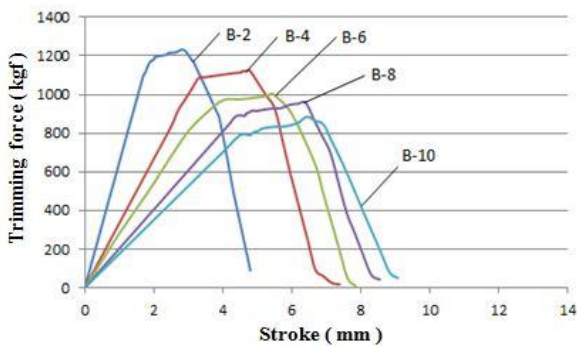


Fig.11 The relation between punch load and stroke curve of the slope type trimming punch

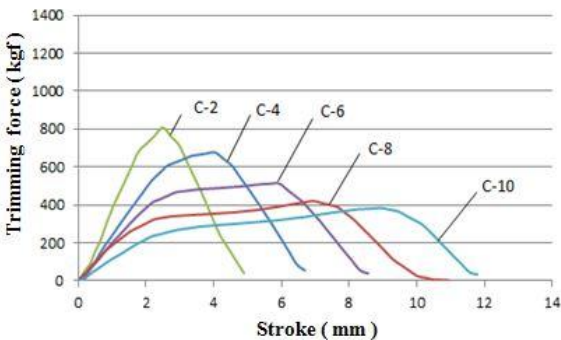


Fig.12 The relation between punch load and stroke curve of the convex type trimming punch

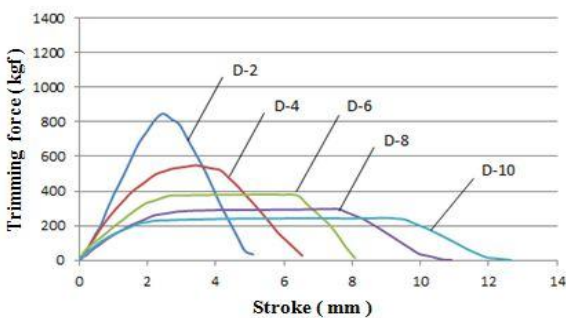


Fig.13 The relation between punch load and stroke curve of the concave type trimming punch

Fig. 14는 경사형, 볼록형, 오목형의 트리밍 펀치형 상에서 전단 각에 의한 전단하중의 영향을 비교하기 위한 그래프이다. 각각의 전단 깊이에 대해서 각 도도 함께 제시하였다. 동일한 전단 각(깊이)에 대하여 3종류 트리밍 펀치형상 하중 감소율의 평균은 다음과 같다. 전단 각  $0.76^\circ$ 의 B-2(3.1%), C-2(31.5%), D-2(33.3%)의 평균 하중감소율은 약 22.6%로 나타났다. 전단 각  $1.53^\circ$ 의 B-4(11.6%), C-4(47.6%), D-4(56.9%)의 평균 하중감소율은 약 38.7%로 나타났다. 전단 각  $2.29^\circ$ 의 B-6(20.6%), C-6(59.4%), D-6(69.3%)의 평균 하중감소율은 약 49.8%로 나타났다. 전단 각  $3.05^\circ$ 의 B-8(24.9%), C-8(66.8%), D-8(77.6%)의 평균 하중감소율은 약 56.4%로 나타났다. 전단 각  $3.81^\circ$ 의 B-10(31.5%), C-10(69.1%), D-10(80.7%)의 평균 하중감소율은 약 60.4%로 나타났다.

Fig. 14에서 전단 각의 평균을  $1.6^\circ$ 정도로 가정하면 B-4, C-4, D-4와 비슷하다. 따라서 전단금형 설계시 펀치 형상과 전단 각에 의한 하중 감소율의 계산은 현재 작업현장에서 수평형 트리밍 펀치 전단하중을 기준으로 약 30% 수준으로 감소율로 산정하고 있지만[3] 실제 전단 금형 설계에서 경사형, 볼록형, 오목형의 트리밍 펀치를 적용하고 있는 경우, 하중 감소율을 30% 보다 크게 설정하여 전단하중 감소율을 계산하여도 문제가 발생하지 않는다는 실험결과를 확인할 수 있다.

한편, 볼록형과 오목형 트리밍 펀치에서도 전단하중의 차이가 예상보다 크게 발생하였다. 이들 타입의 트리밍 펀치에서 전단각의 차이에 의한 전단하중의 평균값을 비교해보면, C-2와 D-2의 전단하중의 차이는 2.7%(23kgf), C-4와 D-4의 전단하중의 차이는 19.3%(117kgf), C-6와 D-6의 전단하중의 차이는 28.0%(127kgf), C-8와 D-8의 전단하중의 차이는 39.1%(138kgf), C-10와 D-10의 전단하중의 차이는 46.1%(147kgf)으로 나타났다. 이 결과는 전단과정에서 볼록형 트리밍 펀치타입은 전단초기에 V자로 진입하여 양측에서 구속된 상태로 전단되므로 저항력이 큰 만큼 전단하중도 크게 나타나는 것으로 생각된다. 그러나 오목형 트리밍 펀치타입은 전단 초기단계부터 바깥에서 내측으로 가위처럼 자르는 상태로 구속이 거의 없는 자유상태로 전단되어 저항력이 작아 전단하중도 작게 나타나는 것으로 생각되며, 볼록형과 오목형 트리밍 펀치의 전단하중의 차이가 발생하는 사실도 확인하였다.

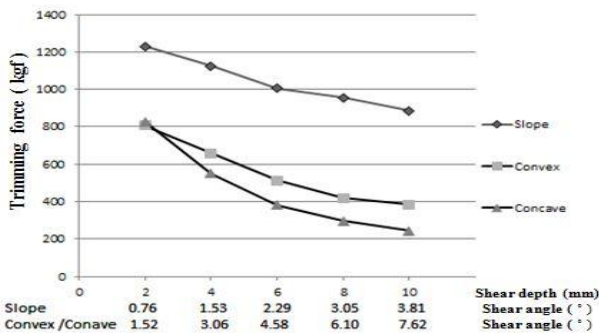


Fig.14 The relation between maximum punch force and shear angle of various type trimming punch

## 8. 결론

본 연구는 승용차 판넬의 전단 금형설계시 트리밍 펀치의 배치에 대한 실제 적용사례를 통하여, 전단 금형설계에 적용된 전단 각을 조사하였다.

이를 기초로 하여 수평형, 경사형, 볼록형, 오목형의 4종류의 트리밍 펀치 형상과 전단 각 모델을 선정하고, 다양한 조건에서 전단실험을 수행한 결과 다음의 결론을 얻었다.

(1) 동일한 크기의 전단 각에서 발생하는 전단하중은 수평형, 경사형, 볼록형, 오목형 트리밍 펀치의 순서로 크게 나타난다.

(2) 전단 각 0.76°에서 경사형(B-2), 볼록형(C-2), 오목형(D-2) 트리밍 펀치의 전단하중은 각각 수평형 트리밍 펀치 전단하중의 3.1%, 31.5%, 33.3%의 크기 만큼 감소하였고, 이들 펀치의 평균 감소율은 약 22.6%이다.

(3) 전단 각 1.53°에서 경사형(B-4), 볼록형(C-4), 오목형(D-4) 트리밍 펀치의 전단하중은 각각 수평형 트리밍 펀치 전단하중의 11.6%, 47.6%, 56.9%의 크기 만큼 감소하였고, 이들 펀치의 평균 감소율은 약 38.7%이다.

(4) 전단 각 2.29°에서 경사형(B-6), 볼록형(C-6), 오목형(D-6) 트리밍 펀치의 전단하중은 각각 수평형 트리밍 펀치 전단하중의 20.6%, 59.4%, 69.3%의 크기 만큼 감소하였고, 이들 펀치의 평균 감소율은 약 49.8%이다.

(5) 전단 각 3.05°에서 경사형(B-8), 볼록형(C-8), 오목형(D-8) 트리밍 펀치의 전단하중은 각각 수평형 트리밍 펀치 전단하중의 24.9%, 66.8%, 77.6%의 크기 만큼 감소하였고, 이들 펀치의 평균 감소율은

약 56.4%이다.

(6) 전단 각 3.80°에서 경사형(B-10), 볼록형(C-10), 오목형(D-10) 트리밍 펀치의 전단하중은 각각 수평형 트리밍 펀치 전단하중의 31.5%, 69.1%, 80.7%의 크기 만큼 감소하였고, 이들 펀치의 평균 감소율은 약 60.4%이다.

(7) 실제 작업현장에서 트리밍 펀치의 전단 각에 의한 전단하중 감소율은 수평형 트리밍 펀치의 약 30% 수준의 감소율로 산정하고 있지만, 본 실험 결과 전단하중 감소율을 더욱 크게 설정하여 패드 압력을 계산하여도 문제가 발생하지 않을 것으로 생각된다.

(8) 본 실험 이외의 트리밍 펀치의 전단 각에 대한 전단하중은 본 실험결과의 비례값으로 구하면 더욱 확대하여 적용할 수 있을 것으로 생각된다.

(9) 볼록형 트리밍 펀치와 오목형 트리밍 펀치의 전단에서 전단하중의 차이가 발생하는 주 원인은 각각 구속전단과 자유전단에 의한 영향으로 생각된다.

## 후 기

본 논문은 서울과학기술대학교 학술연구비의 지원에 의해서 수행된 연구로 이에 감사 드립니다.

## REFERENCES

- [1] C. K. Yoo, 2010, Technology Seminar of Press Die Layout, Gyeongbuk Hybrid Technology Institute, pp. 81~86.
- [2] A. Konieczny, T. Henderson, 2007, On Formability Limitations in Stamping Involving Sheared Edge Stretching, SAE Technical Paper, 2007-01-0340.
- [3] C. K. Yoo, 2010, Technology Seminar of Press Die Layout, Gyeongbuk Hybrid Technology Institute, p. 105.
- [4] D. E. Ostergaard, 1963, Basic Diemaking, McGraw-Hill Book Co. Inc., New York, pp. 3~13.
- [5] P. B. Schubert, 1966, Die Methods, Industrial Press Inc., New York, pp. 30~32.
- [6] C. K. Yoo, S. T. Won, 2014, Proc. 11<sup>th</sup> Trans. Mater. Process Mold Process Symposium, Kor. Soc. Tech. Plast., Seoul, Korea, pp. 21~25.