

## 판재 신장플랜지성에 미치는 전단 공정 인자의 영향 연구

한수식<sup>1, #</sup> · 이현영<sup>2</sup>

### Study on Influence of Process Parameter on Stretch Flangeability of Steel Sheet

S. S. Han, H. Y. Lee

(Received February 20, 2023 / Revised March 3, 2023 / Accepted March 13, 2023)

#### Abstract

The quality of the sheared surface affects the stretch flangeability of steel sheet. The quality of sheared surface is influenced by several process factors such as die clearance, shape of cutting edge, use of counter punch, and shear. In this paper, the influence of these shearing process factors on the stretch flangeability of the HSS (DP980) was analyzed through a shearing and a stretch flangeability test. When the die clearance was 10%, the effect of these shearing process factors on the stretch flangeability was the greatest, and the use of an acute angle blade was found to be more advantageous in the stretch flangeability than a right angle blade. It was found that the stretch flangeability was improved when active bending was applied during shearing.

**Keywords:** Shear angle, Shape of cutting edge, Active bending, Die clearance

#### 1. 서론

차량 충돌 안전성 향상 및 차체 경량화에 의한 연비 향상 등을 위하여 초고강도 강판이 다양한 자동차 차체 부품에 적용되고 있다. 그러나 초고강도 강판을 자동차 부품 적용을 위하여서는 높은 스프링백과 낮은 성형성 등과 같은 문제들을 해결하여야 한다. 이와 함께 최근에 대두되고 있는 추가적인 해결과제로는 초고강도 강판의 낮은 신장플랜지성이 있다[1].

판재의 신장플랜지성은 연신율과 같은 소재의 기계적 성질과 신장플랜지 변형이 발생하는 전단면의 품질에 의하여 영향을 받는다[2]. 특히 전단면의 품질은 소재의 신장플랜지성에 큰 영향을 미치는 것

으로 알려져 있어 이에 대한 많은 연구가 진행되어 왔다. 그러나 일반적으로 판재의 신장플랜지성 평가는 편칭된 원형 구멍을 원통형 또는 원추형 편치를 이용하여 구멍 모서리 부분에 파단이 발생할 때까지 확장한 후 파단 발생 전후의 구멍 지름비를 측정하는 구멍 확장 시험법을 사용하기 때문에 다이 간극을 제외한 다른 전단 공정인자들의 영향을 분석하기는 어렵다[3,4].

전단면의 품질에 대한 여러 가지 전단 공정 인자들의 영향을 고려하기 위하여서는 직선 형태의 전단이 실시되어야 한다. 따라서 직선형 전단 시편을 이용하여 판재의 신장플랜지성을 평가하기 위한 방법들에 대한 연구가 많이 진행되고 있다[5]. 이러한 활동의 하나로 직선형 전단 시편에 대하여 전단면 주변의 변형 모드를 신장플랜지 변형 모드로 발생시키고 파단 부분의 변형량을 측정할 수 있는 방법을 제안하였다[6].

1. 금오공과대학교 기계공학과, 교수  
2. POSCO 철강술루션연구소 성형연구그룹, 책임연구원  
# Corresponding Author: Department of Mechanical Engineering, Kumoh National Institute of Technology, E-mail: sshan@kumoh.ac.kr  
ORCID: 0000-0001-5234-5594

본 논문에서는 직선 전단 시편에 대한 신장플랜지 성 평가법을 이용하여 각각의 여러 전단 공정 조건으로 전단된 시편에 대하여 신장플랜지성을 평가하고 이들 결과로부터 전단 공정 인자들이 고강도강의 신장플랜지성에 미치는 영향을 분석하였다.

## 2. 본 론

### 2.1 전단 시험

대표적인 전단 공정 인자들로는 다이간극, 카운터 펀치의 사용 유무, 전단날의 형상 그리고 전단각 등을 들 수 있다. 전단 공정을 위한 금형의 일반적인 구성과 이에 대한 전단 공정 인자들을 그림 1에 나타내었다. 전단면의 품질에 영향을 주는 이러한 전단 공정 인자들을 쉽게 변경하여 판재를 전단 가공할 수 있도록 그림 2와 같이 전단 금형을 제작하여 신장플랜지 시험용 시편을 준비하였다.

시험에 사용된 전단 금형은 다이간극을 0~10mm 사이로 조절이 가능하고 다이의 상부와 펀치의 하부에는 각각 블랭크 홀더와 카운터 펀치를 갖고 있으며 이들은 유압 실린더로 지지된다. 그리고 전단 작업시 카운터 펀치의 사용 유무도 선택할 수 있다.

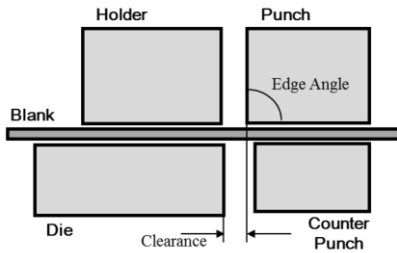


Fig. 1 Components of blanking tool set and process variables

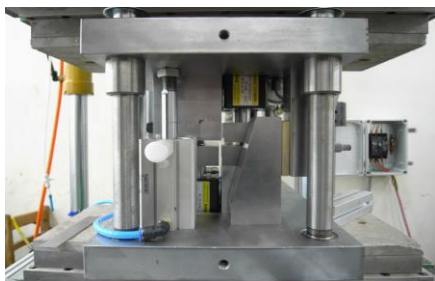
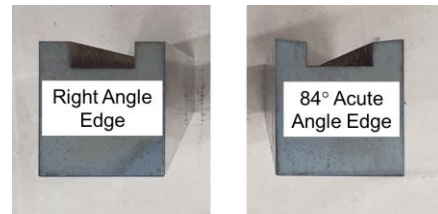


Fig. 2 Shearing tool set for test

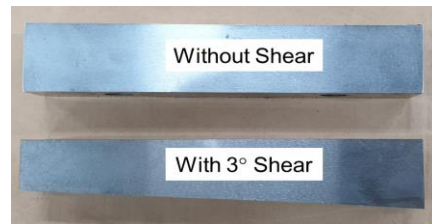
시험에는 DP980 1.0t (YP:640MPa, TS:1034MPa, EL:13%) 소재를 사용하였으며 전단 시험에 사용된 전단 인자는 다음과 같다.

- 다이간극(10%, 20%, 30%)
- 전단날의 형상 (90° 직각날, 84° 예각날)
- 전단각(0°, 3°)
- 사전 굽힘(Active bending)
- 카운터 펀치

전단날은 그림 3(a)와 같이 각각 직각날과 예각날의 형태로 제작하였으며 각각의 전단날 형상에 대하여서도 그림 3(b)와 같이 전단각을 부여하지 않은 경우와 부여한 경우로 제작하였다. 그림 4(a)에 나타난 바와 같이 전단 작업시 카운터 펀치를 사용하지 않는 경우 시편에서 약간의 굽힘 변형이 발생하는 것이 관찰된다. 이러한 굽힘은 전단부의 응력 상태를 변화시키기 때문에 전단면의 품질에도 영향을



(a)



(b)

Fig. 3 (a) Shapes of punch cutting edge, (b) shapes of punch without shear and with 3° shear



(a)

(b)

Fig. 4 (a) Bending occurs when shearing without counter punch, (b) Bank bent by active bending

줄 것을 예상할 수 있다. 이러한 이유로 그림 4(b)와 같이 펀치면에 부가적인 물체를 부착하여 전단 작업시 보다 적극적으로 굽힘 응력이 작용하도록 25° 정도로 사전 굽힘하여 전단하는 조건도 추가하였다. 전단 공정 인자의 영향 분석을 위하여 직각날과 예각날 각각에 대하여 사용된 전단 시험 조건을 표 1에 나타내었다. 금형 구조상 펀치에 전단각을 부여한 경우에는 카운터펀치를 사용할 수 없어서 사용하지 않았다.

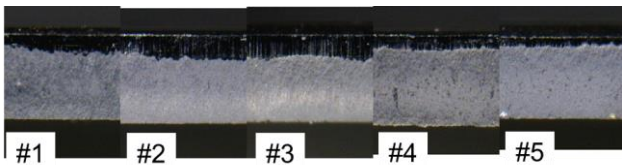
신장플랜지성 시험이후 크랙 부위의 변형을 측정하기 위하여 그림 5에 나타낸 것처럼 레이저 마킹 방법을 이용하여 시편 표면에 2.5mm 간격의 직선을

**Table 1 Shear conditions for each specimen**

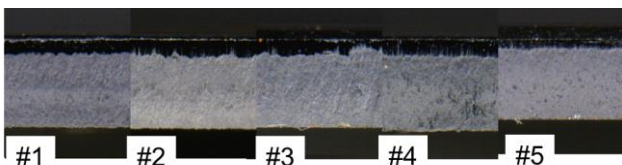
Specimen No	Shear Angle	Counter Punch	Active Bending
#1	0°	0	X
#2	0°	X	X
#3	0°	X	0
#4	3°	X	X
#5	3°	X	0



**Fig. 5 Specimen laser-marked with evenly spaced stripes**

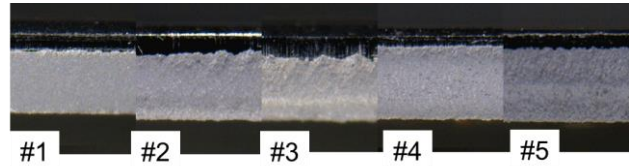


(a)

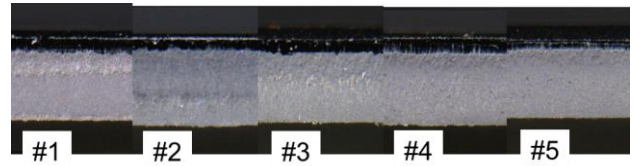


(b)

**Fig. 6 Sheared surface of DP980 for each shearing condition (10% die clearance), (a) right angle cutting edge, (b) acute angle(84°) cutting edge**

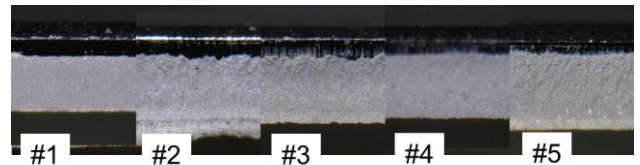


(a)

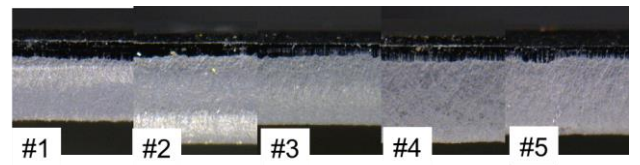


(b)

**Fig. 7 Sheared surface of DP980 for each shearing condition (20% die clearance), (a) right angle cutting edge, (b) acute angle(84°) cutting edge**



(a)



(b)

**Fig. 8 Sheared surface of DP980 for each shearing condition (30% die clearance), (a) right angle cutting edge, (b) acute angle(84°) cutting edge**



**Fig. 9 Stretch flange test with straight shear line specimen**

소재의 압연 방향과 나란하게 표시하였다. 직선들이 표시된 시편을 각각의 전단 공정 조건으로 전단 작업하였다. 이때 전단선은 압연 방향과 수직이 되게 하였다.

그림 6,7,8 에는 각각의 전단 공정 조건으로 전단한 시편의 단면 모습을 나타내었다. 전체 단면적에 대하여 전단 부분(검은색 부분)이 차지하는 비율은 직각날을 사용하는 경우가 예각날을 사용한 경우보다 대체적으로 크게 나타났다. 파단 부분의 상태는 전단 공정 조건에 따라서 매우 다르게 나타났다. 다이간극 10%의 경우 일부 전단 조건에서는 이차전단(#4 의 파단부의 검은색)이 관찰되었다. 다이간극 20% 에서 대부분 버어가 발생하였으며 그 크기는 크지 않았다. 다이간극 30% 에서는 큰 버어가 발생하였다. 특히 카운터 펀치를 사용하지 않은 #2 조건에서 버어가 매우 크게 발생하는 것으로 나타났다.

2.2 신장플랜지성 평가 실험

참고문헌[6]에서 제안한 직선형 시편에 대한 신장플랜지성 평가법을 이용하여 각각의 전단 공정 조건으로 전단된 직선형 시편에 대한 신장플랜지성 평가를 실시하였다. 동일한 전단 조건으로 전단된 시편을 각각 5 개씩 준비하여 신장플랜지성 평가 실험을 실시하였다. 시험 후 그림 10 과 같이 화상 투영기를 이용하여 크랙이 발생된 그리드와 크랙의 크기를 각각 측정하였다. 측정된 그리드 간격에서 크랙의 크기를 제거하여 그리드의 실제 변형량을 산출하고 이를 초기 그리드 크기 2.5mm 와 비교하여 신장플랜지성을 산출하였다.

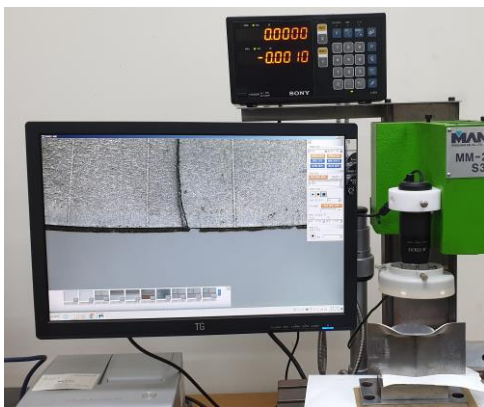


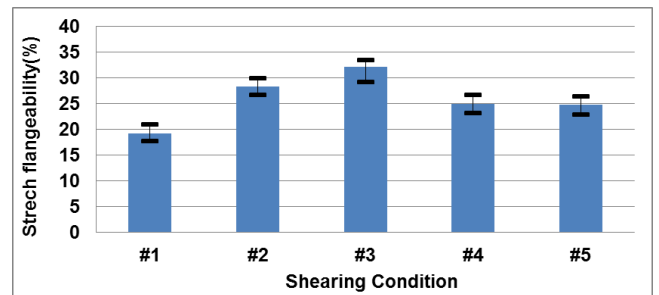
Fig. 10 Device for strain measurement

2.3 결과 분석

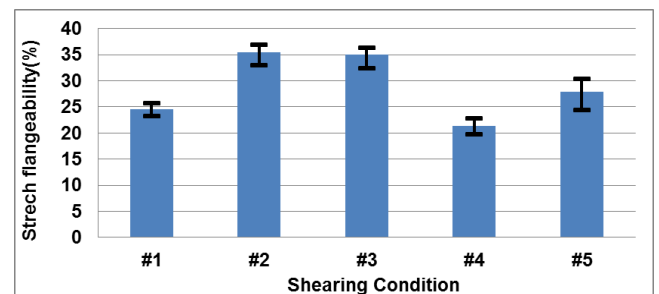
3 가지 다이간극 조건에서 직각날과 예각날을 사용하여 전단한 직선 전단 시편들에 대한 신장플랜지성 평가 결과를 그림 11,12,13 에 각각 나타내었다.

각각의 전단 조건에 대하여 DP980 소재의 신장플랜지성을 평가한 결과 전체적으로는 예각날을 사용하여 전단하는 경우가 직각날을 사용하여 전단하는 경우에 비하여 신장플랜지성이 증가하는 경향을 나타내었다. 일부 전단 조건을 제외하고는 다이간극이 증가할수록 두 종류의 전단날 형상 모두에서 소재의 신장플랜지성은 감소하는 경향을 나타내었다.

일반적인 판재 전단 작업이 많이 이루어지는 다이간극 10% 조건에서 전단각이 없는 경우 전단시 작용하는 굽힘 변형량이 증가하는 함에 따라(#1 에서 #3 순서로 굽힘 변형량 증가) 신장플랜지성이 증가하는 것으로 나타났다. 그러나 다이간극이 20% 이상인 조건에서는 작용하는 굽힘 변형량의 효과는 크게 감소하는 것으로 나타났다. 다이간극 30%에서 직각날을 사용하는 경우에는 굽힘 변형의 작용이 오히려 신장플랜지성을 감소시키는 결과를 나타내었다.

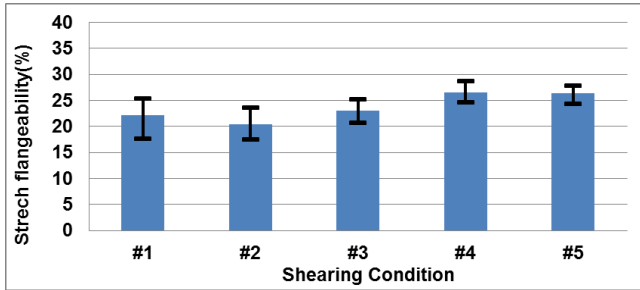


(a)

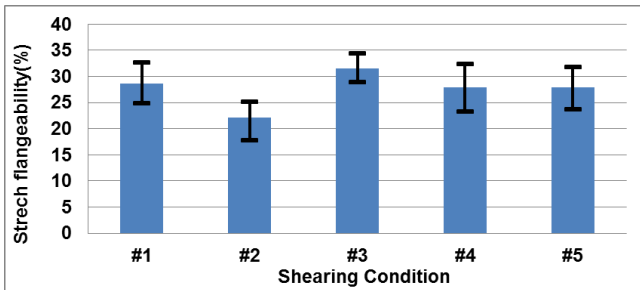


(b)

Fig. 11 Stretch flangeability for various shearing condition (10% die clearance), (a) right angle cutting edge, (b) acute angle(84°) cutting edge

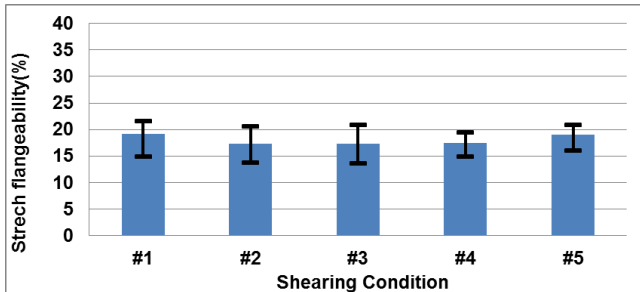


(a)

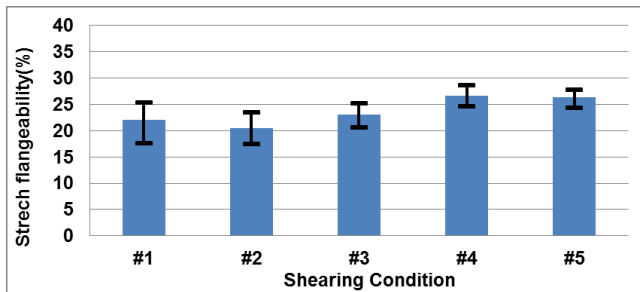


(b)

Fig. 12 Stretch flangeability for various shearing condition (20% die clearance), (a) right angle cutting edge (b) acute angle(84°) cutting edge



(a)



(b)

Fig. 13 Stretch flangeability for various shearing condition (30% die clearance), (a) right angle cutting edge (b) acute angle(84°) cutting edge

전단하중과 초기 전단 충격을 감소시키기 위하여 적용되는 전단각의 경우(#2 와 #4 비교, #3 과 #5 비교) 다이간극에 따라 서로 다른 영향을 주고 있는 것으로 나타났다. 다이간극 10% 에서는 두 종류의 전단날 형상 모두 전단각이 신장플랜지성을 감소시키는 것으로 나타났다. 다이간극이 20%와 30%에서는 전단각은 대체로 신장플랜지성을 증가시키는 효과를 나타내고 있다.

카운터 펀치의 영향(#1 과 #2 비교)을 살펴보면 직각날을 사용할 경우 일반적인 범위의 다이간극 조건(10%)에서는 카운터 펀치를 사용하지 않는 경우에 신장플랜지성이 높게 나타났는데 다이간극이 큰 경우(30%)에는 카운터 펀치를 사용하는 것이 오히려 신장플랜지성을 증가시키는 효과를 나타내었다. 카운터 펀치를 사용할 경우 신장플랜지성은 다이간극의 변화에 영향을 받는 정도가 작은 것으로 나타났다.

전단 공정 인자들이 신장플랜지성에 미치는 영향은 다이간극이 증가할수록 점차 감소하는 것으로 나타났다. 특히 다이간극 30%에서 직각날을 사용하는 경우 전단 조건에 상관없이 거의 유사한 값의 신장플랜지성을 나타내었다.

일반적으로 전단한 소재의 전체 단면적 중에서 전단 부분이 차지하는 비율이 높을수록 신장플랜지성 확보에 유리하다고 한다. 그러나 그림 6 의 직각날(a)와 예각날(b)의 단면 형상을 비교하여 보면 직각날의 경우 전단부분이 차지하는 비율이 예각날을 사용하는 경우보다 높게 나타난다. 그럼에도 불구하고 전단 부분의 비율이 낮은 예각날을 사용한 경우의 신장플랜지성이 더 높게 나타났다. 이것은 신장플랜지성이 단면의 형상뿐만 아니라 다른 인자에 의하여서도 영향을 받는다는 것을 말한다.

본 논문에서 사용한 전단 조건들은 전단 변형이 발생하는 부위의 응력 상태를 변화시킨다. 이러한 응력 상태 변화는 전단 가공후 단면의 가공경화 정도를 변화시킬 것으로 판단된다. 이러한 가공경화 정도의 차이가 유사한 단면 형상을 갖은 경우에 대하여서도 서로 다른 신장플랜지성을 나타내는 원인으로 판단되며 이에 대하여는 추후 연구를 수행할 예정이다.

#### 4. 결론



여러 가지 전단 공정 조건으로 전단된 고강도강의 신장플랜지성 평가를 실시하여 신장플랜지성에 대한 이들 전단 공정 인자들의 영향을 분석한 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

(1) 전단날의 형상, 사전 굽힘, 카운터 펀치의 사용 그리고 전단각과 같은 전단 공정인자들이 판재의 신장플랜지성에 미치는 영향은 다이간극이 10%에서 가장 크게 나타났으며 다이간극이 커질수록 그 영향 정도는 작아지는 것으로 나타났다.

(2) 직각날을 사용하는 경우보다 예각날을 사용하여 전단 작업을 실시하는 것이 판재의 신장플랜지성에 유리한 것을 알 수 있었다.

(3) 전단각의 사용은 다이간극 10%에서는 신장플랜지성을 감소시키는 방향으로 작용했으나 다이간극 20%와 30%에서는 오히려 증가시키는 방향으로 작용했다.

(4) 다이간극 10%에서 전단작업시 굽힘변형을 작용하면 신장플랜지성이 향상되는 것으로 나타내었다.

(5) 전단 공정 인자들의 변화는 전단면의 형상뿐만 아니라 가공경화 정도에도 영향을 끼쳐서 신장플랜지성에 영향을 주는 것으로 판단되며 이에 대한 추가적인 연구가 요구된다.

## 후 기

이 연구는 금오공과대학교 학술연구비로 지원되었음(202001180001).

## REFERENCES

- [1] H. Kohei, K. Shinjiro, S. Kazuhiro, 2013, JFE Technical Report, No. 18, pp. 80~88
- [2] P. Sartkulvanich, B. Kroenauer, R. Golle, A. Konieczny, T. Altan, 2010, Finite Element Analysis of The Effect of Blanked Edge Quality Upon Stretch Flanging of AHSS, CIRP Annals - Manufacturing Technol., Vol. 59, pp. 279~282.  
<http://doi.org/10.1016/j.cirp.2010.03.108>
- [3] X. Chen, H. Jiang, Z. Cui, C. Lian, C. Lu, 2014, Hole Expansion Characteristics of Ultra High Strength Steels, Procedia Eng., Vol. 81, pp. 718~723.  
<http://data.doi: 10.1016/j.proeng.2014.10.066>
- [4] S. S. Han, H. Y. Lee, 2019, Study on Deformation Characteristics of Hole Expansion Test and Its Applicability, Trans. Mater. Process., Vol. 28, No. 3, pp. 154~158. <https://doi.org/10.5228/KSTP.2019.28.3.154>
- [5] Y. Abe, K. Mori, K. Norita, 2013, Gradually Contacting Punch for Improving Stretch Flangeability of Ultra-high Strength Steel Sheets, CIRP Annals - Manufacturing Technol., Vol. 62, pp. 263~266.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.cirp.2013.03.059>
- [6] S. S. Han, H. Y. Lee, 2022, Study on Stretch Flangeability Test Method with Straight Shear Line Specimen Trans. Mater. Process., Vol.31, No.1, pp. 23~28.  
<http://data.doi.or.kr/10.5228/KSTP.2022.31.1.23>