

도금강판과 무도금강판의 마찰특성을 고려한 성형성 평가

이경수¹, 이정민², 김상주³, 김병민[#]

Formability evaluation of coated steel sheet and uncoated steel sheet with consideration of friction characteristic

K. S. Lee, J. M. Lee, S. J. Kim, B. M. Kim

Abstract

Recently the usage of galvanealed steel sheet was increased in order to protect corrosion in automobile industry. So, the alternative of steel sheet was investigated in a point of formability. Generally it was known that uncoated steel sheet has better mechanical properties than coated steel sheet. But, contrary results were sometimes occurred in workplace. This reason is the effect of friction. In this study, the formability of steel sheet considering friction characteristics was investigated with tensile test, cup drawing test and finite element method.

Key Words : coated steel sheet, uncoated steel sheet, friction characteristic, cup drawing test, finite element method

1. 서론

최근 자동차 차체의 부식에 대한 대책으로 종래의 일반 냉연강판(cold rolled steel sheet, CR)을 대체하여 아연계 도금강판으로 대표되는 고 내식성 도금강판의 사용이 증가하고 있다. 현재 일본, 유럽을 중심으로 자동차 내, 외판으로 널리 사용되고 있는 Zn-Ni 계 및 Zn-Fe 계 합금강판은 순수 Zn 도금강판보다 높은 용융점을 갖는 얇은 합금계 도금층의 존재에 의해 동일한 두께의 도금층을 갖는 Zn 도금강판보다 우수한 스탬핑 성형성(stamping formability), 용접성, 내식성을 갖고 있다.[1]

이들 합금 도금강판은 도금공정 특성상 그리고, 도금후의 경질인 도금층의 존재로 인하여 일반적으로 도금전의 냉연강판의 경우와 비교하여 도금강판의 기계적 특성이 열세에 있고, 즉, 도금전과 비교하여 도금후의 항복강도 YS 의 증가, 인장강

도 TS 의 감소, 가공경화지수 n 이 감소하게 된다. 그러나, 현장에서 이러한 기계적 특성의 열세에 불구하고 반대의 결과가 종종 발생한다. 이러한 결과가 나오는 이유는 성형중 마찰특성에 기인하지만, 기존의 성형성 평가에서 마찰의 영향을 고려하여 주지 않았기 때문이다. 그리고, 통상적인 마찰시험에서 마찰계수를 예측할 수 있지만, 이 마찰특성은 실 공정에서의 마찰특성과는 차이가 있기 때문에 마찰특성을 고려한 성형성 평가는 쉽지 않다.

본 연구에서는 인장시험 및 이방성시험을 통하여 도금강판(coated steel sheet)와 무도금강판(uncoated steel sheet)의 기계적 특성을 비교하여 드로잉 성형성을 비교하였으며, 실제 컵드로잉시험을 수행하여 비교된 드로잉 성형성을 검토 및 마찰계수를 예측하였다. 그리고, 유한요소해석을 통하여 마찰계수의 검증 및 마찰계수의 변화를 예측하였다.

1. 부산대학교 정밀기계공학과

2. 부산대학교 정밀기계공학과

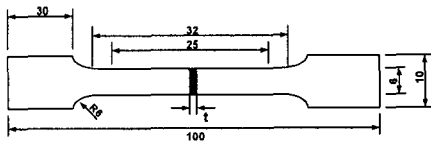
3. 스타리온

교신저자: 부산대학교 기계공학부 bmkim@pusan.ac.kr

2. 인장시험(Tensile test)

2.1 시험방법

강판의 도금층 유무 및 압연방향에 따른 기계적 특성을 파악하기 위하여 인장시험이 수행되었다. 무도금 강판으로 자동차용 냉연강판(cold rolled steel, CR steel), 도금강판으로 자동차용 용융아연도금강판(galvannealed steel, GA steel)이 사용되었으며 두 강판 모두 두께는 0.7mm 로 측정되었다. 그리고, Fig. 1 과 같은 ASTM E80 규격이 사용되었다.



ASTM E80 Subsize specimen

Fig. 1 The size of tensile test specimen.

2.2 시험결과

Table 1 에 도금층 유무 및 압연방향에 따른 기계적 특성을 비교하였다. 항복강도는 경질인 도금층의 영향으로 GA 강판이 더 높게 나타났으며, 가공경화지수(n)는 CR 강판이 더 높게 나타났으며, 이방성계수는 두 강판이 비슷한 값을 나타내었다.

Table 1 (a) The mechanical properties of cold rolled steel.

Factor	Rolling direction		
	0°	45°	90°
Yield Strength (MPa)	142.8	126.2	165.9
Ultimate Tensile Strength (MPa)	525	550	505
K	723	687	654
Work hardening exponent (n)	0.261	0.272	0.221
Elongation (%)	39.6	46.7	39.0
Anisotropy exponent (R)	1.92		

Table 1(b) The mechanical properties of galvannealed steel.

Factor	Rolling direction		
	0°	45°	90°
Yield Strength (MPa)	144.5	155.8	165.5
Ultimate Tensile Strength (MPa)	485	495	465
K	622	592	621
Work hardening exponent (n)	0.234	0.214	0.212
Elongation (%)	41.5	45.8	40.1
Anisotropy exponent (R)	1.93		

인장시험 데이터를 이용하여 드로잉성을 예측하였다. 드로잉성을 예측할 수 있는 인자로서 가공경화지수(n)와 이방성계수(R)를 들 수 있으며, n-값은 CR 강판이 더 크며, R 값은 두 강판이 유사한 값을 나타내었다.

그리고, 드로잉성을 판단하는 기준으로 파단내력이 쓰이는데[4] 이 값이 클수록 파단에 견디는 능력이 커진다. 이론적 수식은 다음과 같다.

$$P_{cr} = \pi d_m s_0 S_u$$

여기서 P_{cr} 는 각각 파단내력, S_u 는 인장강도, $d_m = d_1 + s_0$ (d_1 : 컵의 내경, s_0 : 초기두께)를 나타낸다.

위의 식을 이용하여 구한 파단내력을 비교하면 CR 강판은 4.68 ton, GA 강판은 4.33 ton 으로 CR 강판이 더 크게 나타났다.

3. 컵드로잉 시험(Cup-drawing test)

3.1 시험방법

앞 절에서 예측한 드로잉 성형성을 검증하기 위하여 컵드로잉 시험을 수행하였다. 두 강판에 대하여 $\phi 74$ 의 블랭크(blank)를 준비하였으며, Fig. 2 와 같은 치수를 가지는 드로잉 다이(drawing die), 펀치(punch), 블랭크 홀더(blank holder)등을 제작하였다. 실험조건은 스트로크(stroke)를 30mm 로 고정시키고 블랭크 홀딩력(Blank holding force)를 2 톤에서 5 톤 까지 변화시키면서 무윤활상태에서 수행하였다.

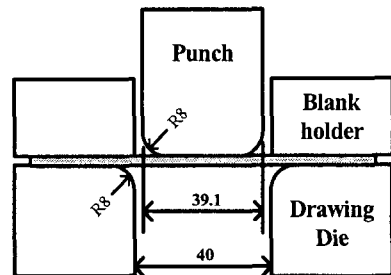


Fig. 2 Conditions of Cup drawing test.

3.2 시험결과

실험에서 성형하중을 측정하였으며, Fig. 3 에 블랭크 홀딩력에 따른 최대하중의 변화를 나타내었다. CR 강판의 성형하중이 더 크게 나타났으며, GA 강판은 블랭크 홀딩력 5ton 까지 성형이 가능한 반면 CR 강판은 5ton 에서 파단이 발생하였다.

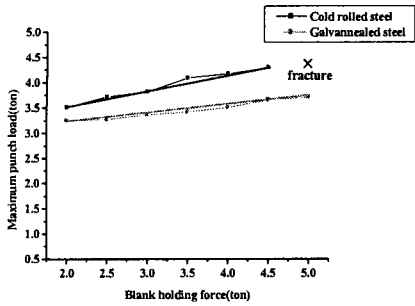


Fig. 3 Maximum punch load distribution with blank holding force.

각 강판의 마찰특성을 파악하기 위하여 블랭크 홀딩력과 최대하중 사이의 관계를 이용하여 아래의 수식을 이용하여 마찰계수를 도출하였다.[5]

$$\mu_f = [-1 + \{1 + \pi\alpha\beta(\Delta T / \Delta N)\}^{1/2}] / \pi\alpha$$

여기서 ΔT 는 최대편치하중의 증가량, ΔN 은 블랭크 홀딩력의 증가량, β 는 드로잉비, α 는 앞선 연구에서 실험적으로 $1 < \alpha < 1.5$ 의 값을 가진다.[6]

위의 수식을 이용하여 각 강판의 마찰계수는 GA 강판이 0.17, CR 강판이 0.147 으로 도출하였다. 이는 기계적 특성은 CR 강판이 우수하나, 마찰특성은 GA 강판이 우수하다는 것을 말한다.

4. 유한요소해석

4.1 정마찰계수를 고려한 성형해석

수행된 시험 및 도출된 마찰계수의 정당함을 검증하기 위하여 유한요소해석을 수행하였다., 상용해석 툴인 ABAQUS 6.3 을 사용하여 Fig. 5 와 같이 2 차원 축대칭모델링을 하였다.[7]

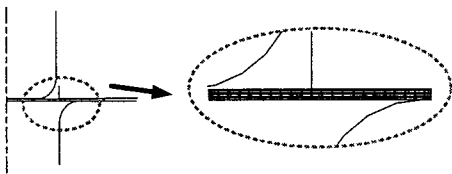
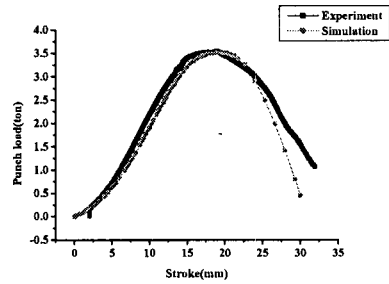


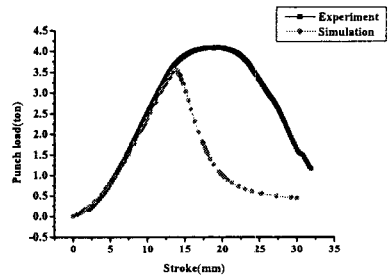
Fig. 5 2-D Finite element model

시험과 동일하게 블랭크 홀딩력을 증가 시켰으며, 실험에서 얻은 하중곡선과 비교를 통하여 해석모델을 검증하였다. 두 강판 모두 실험과 유사한 곡선을 나타내었지만, Fig. 6 과 같이 실험에 비

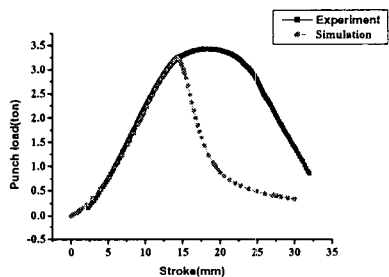
해 낮은 블랭크 홀딩력에서 파단이 발생하였다. 이는 실제 성형에서 발생하는 습동의 영향을 고려하지 않았기 때문이다. 그러므로, 정밀한 해석을 위하여 습동에 의한 마찰계수의 변화를 고려해 주어야 한다.



(a) BHF 2ton for CR steel



(b) BHF 3.6ton for CR steel

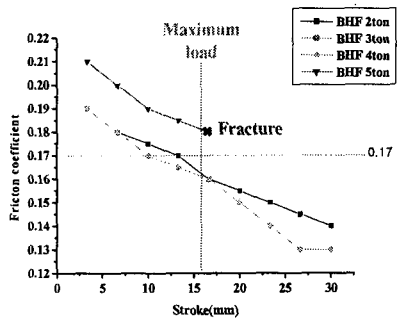


(c) BHF 3.7ton for GA steel

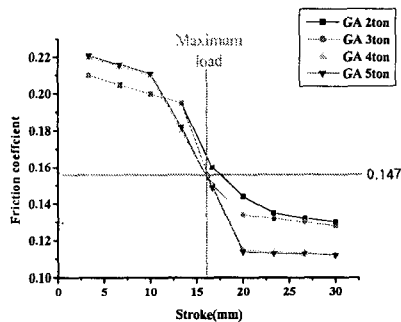
Fig. 6 Loading curves at each BHF for GA steel

4.2 등마찰계수를 고려한 성형해석

습동에 의한 마찰계수의 변화에 대한 선행된 연구[8]를 토대로 하여 마찰계수의 변화를 예측하였다. 마찰계수의 예측방법은 스트로크를 9 구간으로 나누어 마찰계수의 변화를 주었으며, 해석결과와 실험치를 비교하여 마찰계수를 검증하였다.



(a) At each BHF for CR steel



(b) At each for GA steel

Fig. 7 Variation of friction coefficient at each steel

해석결과 Fig. 7 과 같은 마찰계수의 변화를 예측할 수 있었으며, 실험과 유사한 곡선을 얻을 수 있었다. 초기 마찰계수는 GA 강판이 더 높으나, 최대하중 지점에서부터 더 낮게 나타났다. 이는 파단이 발생하게 되는 최대하중지점에서의 마찰계수가 CR 강판이 더 높기 때문에 CR 강판이 파단내력에 이르게 되고 GA 강판에 비해 낮은 블랭크 홀딩력에서 파단에 이른 것으로 사려된다.

5. 결론

강판의 마찰특성을 고려하여 성형성을 평가하기 위하여 인장시험을 통하여 인장시험을 통하여 강판의 기계적 특성을 파악하였고, 컵드로잉 시험을 통하여 마찰특성 및 성형한계를 파악하였다. 또한, 유한요소해석을 통하여 파악된 마찰계수를 검증할 수 있었으며, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다

- (1) 인장시험을 통하여 도금강판과 무도금강판의 기계적 특성을 파악하였으며, 도금강판이 열세인 것으로 보인다.
- (2) 두 강판의 컵드로잉 시험으로써 실제 성형과

비교하였다. 무도금강판의 성형한계가 더 작은 것으로 보이며, 이는 마찰특성에 기인한다.

- (3) 유한요소해석을 통하여 습동에 의한 마찰계수의 변화를 예측하였다. 초기 마찰계수는 도금강판이 더 크나, 스트로크 진행됨에 따라 무도금강판이 더 크게 나타났다.
- (4) 파단이 발생하게 되는 최대하중지점에서 마찰계수가 많이 차이를 나타내며, 무도금강판의 파단내력이 더 크지만, 마찰의 영향에 의해 파단내력에 먼저 이르게 되어 무도금강판의 성형한계가 더 낮은 것으로 사려된다.
- (5) 마찰특성을 고려한 성형성 평가의 유용성을 검증할 수 있었다.

후 기

여기에 후기를 입력하십시오. 여기에 후기를 입력하십시오. 여기에 후기를 입력하십시오.

참 고 문 헌

- [1] 김영석, 박기철, 조재억, 1991, Zn-Ni 계 합금도금강판의 마찰특성에 관한 연구, 대한기계학회, 제 16 권, 제 6 호, pp. 1807~1818.
- [2] BASIC FORMABILITY, FORMING TECHNOLOGIES INC, pp 1-1 ~ 2-35.
- [3] 프레스 成形難易 핸드북, pp. 381~434.
- [4] K.LANGE, HANDBOOK OF METAL FORMING, McGraw-Hill Book Company, pp 20.9~20.18
- [5] 김영석, 최원집, 1994, 컵드로잉 시험에 의한 판재의 마찰특성 평가, 한국자동차공학회 논문집, 제 2 권, 제 1 호, pp. 96~105.
- [6] N. Iwata, N. Matui and M. Gotoh, "An elastic-plastic analysis of square cup draing process, JSTP, Vol. 33, No. 381, pp. 1202~1207.
- [7] Maluk Darendeliler, Metin Akkok, Can Ali Yucesoy, 2002, Effect of variable friction coefficient on sheet metal drawing, Tribology International, vol. 35, pp.97~104.
- [8] Koji HASHIMOTO, Yukihisa KURIYAMA and Koichi ITO, 2003, Changes in Friction Force of Surface-Coated steels Owing to Sliding Distance and Influence of the Friction Force on Deep Drawability, Journal of the JSTP, vol. 44, no. 504, pp. 35~39.