

## 마찰특성을 고려한 도금강판 및 무도금강판의 성형성 평가

이경수\*(부산대 대학원 정밀기계공학과), 이정민(부산대 대학원 정밀기계공학과),  
김병민(부산대 기계공학과)

### Formability Evaluation of Coated Steel Sheet and Uncoated Steel Sheet with Consideration of Friction Characteristics

K. S. Lee(Mechanical and Precision Eng. Dept. PNU), J. M. Lee(Mechanical and Precision Eng. Dept. PNU),  
B. M. Kim(Mechanical Eng. Dept., PNU)

#### ABSTRACT

Tensile and anisotropy test were performed to evaluate the mechanical properties of coated and uncoated steel. These results were used to predict the deference of formability between two sheets. Cup-drawing test was performed to verify formability of two sheets. Also, Cup-drawing test could predict the coefficient of friction and the forming limit.

Finite Element Method of cup-drawing was performed to assess the deference between two sheets considering frictional characteristics. This result was compared with the former results.

**Key Words** : Coated steel(도금강판), Uncoated steel(무도금강판), Formability(성형성), Frictional characteristics(마찰특성) Tensile test(인장시험), Cup-drawing test(컵드로잉 시험)

#### 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(Yield Stress)의 증가, 인장강도(Tensile Stress)의 감소, 가공경화지수(Plastic hardening exponent)이 감소하는 것으로 알려져 있다.[2] 또한, 도금강판과 무도금강판은 도금층의 존재로 인하여 다른 마찰특성을 가지는 것으로

알려져 있으며, 마찰력의 크기는 스탬핑 공정과 같은 판재성형에서 성형성에 큰 영향을 미치는 것으로 알려져 있다.[3] 그러므로 마찰특성을 고려한 도금(coated) 및 무도금강판(uncoated steel sheet)의 성형성 평가에 대한 연구가 필요하다.

#### 2. 실험방법

도금 및 무도금강판의 성형성을 평가하기 위하여 냉연강판(cold rolled steel)과 합금화용융아연도금강판(galvannealed steel)을 준비하였으며, 인장시험(tensile test) 및 이방성시험(anisotropy test)을 통하여 가공경화지수(n-value)와 소성이방성계수(r-value)를 측정하였다. 가공경화지수는 스트레치 성형성(stretch formability)을 나타내는 척도로, 소성이방성계수(coefficient of plastic anisotropy)는 드로잉 성형성(drawing formability)을 나타내는 척도로 사용된다. 이들 특성들은 두 강판의 성형성을 비교하기 위하여 사용되었다.

분석된 두 강판의 성형성을 검증하기 위하여 컵드로잉 실험을 수행하였다. 또한, 컵드로잉 시험은 성형중 마찰계수를 측정할 수 있도록 고안되어 있어 성형성 뿐만 아니라 두 강판의 마찰특성을 분석할 수 있는 장점을 가지고 있다.

### 2.1 도금 및 무도금강판의 기계적 특성

두께 0.7mm 의 두 강판을 ASTM E80 규격에 따라 제작하였으며, 압연방향에 따라 0°, 45°, 90°의 시편을 제작하였다. 실험결과를 Table 1 에 나타내었다.

Table 1 (a) The mechanical properties of uncoated steel .

Factor	Rolling direction		
	0°	45°	90°
YS (MPa)	142.8	126.2	165.9
UTS (MPa)	525	550	505
k-value(MPa)	723	687	654
n-value	0.261	0.272	0.221
Elongation (%)	39.6	46.7	39.0
r-value	1.92		

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

Factor	Rolling direction		
	0°	45°	90°
YS (MPa)	144.5	155.8	165.5
UTS (MPa)	485	495	465
k-value(MPa)	622	592	621
n-value	0.234	0.214	0.212
Elongation (%)	41.5	45.8	40.1
r-value	1.93		

### 2.2 마찰특성 시험

도금 및 무도금강판의 마찰특성을 파악하기 위하여 컵드로잉 시험을 수행하였다. 시험은 블랭크 홀더력을 증가시키면서 최대성형하중을 측정하게 된다. 블랭크 홀더력의 증가분과 최대성형하중은 일정한 관계를 가지게 되며 그 관계를 마찰계수를 도출할 수 있다.[2] 실험 결과를 Table 3 에 나타내었다.

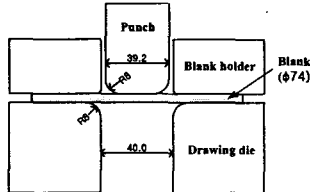


Fig. 1 Schematic of cup-drawing test

Table 3 Friction coefficient of sheets

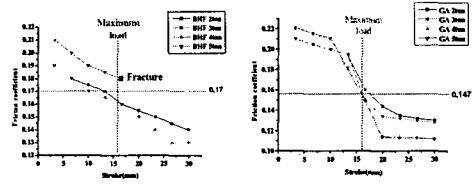
Kinds of sheet	Friction coefficient
Coated steel	0.147
Uncoated steel	0.17

### 3. 성형해석

컵드로잉 시험의 성형해석을 통하여 마찰계수의 검증하였다. 또한, 정마찰계수를 적용시 실성형에 비해

낮은 블랭크 홀더력에서 파단이 발생하여 동마찰계수를 적용하여 마찰계수의 변화를 예측하였다.

무도금강판의 경우 성형이 진행되는 동안 일정하게 감소하며, 도금강판의 경우 최대성형하중 지점에서 급격한 마찰계수의 감소를 보이고 있다.



(a) uncoated steel (b) Coated steel  
Fig. 1 The variation of friction coefficient

### 4. 결론

- (1) 도금 및 무도금강판의 기계적 특성을 도출하기 위하여 인장 및 이방성 시험이 수행되었다.
- (2) 두 강판의 기계적 특성을 파단내력[4]을 구하는 수식에 대입하였을 경우 무도금강판이 더 높게 나타났다.
- (3) 위의 (1),(2)을 종합하여 무도금강판의 기계적 특성이 도금강판에 비해 우수하다고 판단하였다.
- (4) 컵드로잉 시험에서 무도금강판은 블랭크 홀더력 5ton 에서 파단이 발생하였으며, 도금강판은 5ton 까지 성형이 가능하였으며, 도금강판의 마찰특성이 무도금강판에 비해 우수하였다.
- (5) 무도금강판의 파단내력이 도금강판에 비해 높으나 도금강판에 비해 상대적으로 높은 마찰특성에 의해 낮은 블랭크홀더력에서 파단내력에 도달하여 파단에 이르게 된 것으로 판단된다.

### 후기

본 연구는 산업자원부의 지역혁신 인력양성사업의 연구결과로 수행되었음

### 참고문헌

1. 김영석, 박기철, 조재억, 1991, Zn-Ni 계 합금도금강판의 마찰특성에 관한 연구, 대한기계학회, 제 16 권, 제 6 호, pp. 1807~1818.
2. 김영석, 최원집, 1994, 컵드로잉 시험에 의한 판재의 마찰특성 평가, 한국자동차공학회 논문집, 제 2 권, 제 1 호, pp. 96~105.
3. K.LANGE, HANDBOOK OF METAL FORMING, McGraw-Hill Book Company, pp 20.9~20.18