

〈論 文〉

자동차용 표면처리강판의 마찰특성에 관한 연구

김영석* · 남재복* · 최원집**

(1990년 4월 4일 접수)

A Study of Frictional Characteristics of Galvanized Sheet Steels for Automobiles

Young Suk Kim, Jae Bok Nam and Won Jib Choi

Key Words : Frictional Characteristics(마찰특성), Galvanized Steel Sheet(아연도금강판), Friction Coefficient(마찰계수), Stamping Formability(스탬핑성형성)

Abstract

The frictional characteristics of galvanized sheet steels(GA, EG, EGF, EGN) for automobiles were studied and compared with that of cold rolled sheet steel. A draw bead tester which simulates metal flow through a draw bead in stamping die face was used to measure coefficients of friction of galvanized sheet steels for four kinds of lubricants. Stamping formability of galvanized sheet steels for quarter outer panel was examined. The results show that stamping formability and friction characteristics were mainly influenced by the nature of zinc coating, surface roughness and micro hardness of coated layer, and proved to be very sensitive to the lubricant used.

1. 서 론

일반적으로 자동차 제조공정은 스탬핑 → 용접 → 도장 → 조립순으로 구성되고, 각 공정별로 자동차용 강판에 요구되는 주요 품질특성으로는 성형성, 용접성, 도장성, 내식성 등을 들 수 있다. 특히 첫 공정인 스탬핑 공정에서 주로 파단, 주름, 면 변형, 표면 손상 등과 같은 성형불량은 자동차의 품질을 저하시키고 연속 스탬핑 공정의 중단에 따른 생산량의 감소로 제조 단가를 높여주는 피해를 초래한다.

최근 자동차 차체의 수명연장을 위한 대책으로 종래의 냉연강판(cold rolled sheet, CR)을 대신하여 아연도금 강판으로 대표되는 고 내식성 표면처리강판(방청강판)의 사용부위의 증가에 따라 스탬

핑 공정중에 도금층의 손상에 의한 박리 및 탈락된 도금피막에 의한 외판 표면의 흠 발생 등에 의하여 내식성 및 표면품질 측면에서 새로운 문제점들이 야기되고 있다⁽¹⁾. 한편 스탬핑 성형성(stamping formability)에서도 기존의 냉연강판과 비교하여 치악한 도금층의 존재에 의한 도금강판의 기계적 성질의 약화, 도금후의 표면거칠기, 도금표면의 미소경도등 표면특성의 변화에 의한 마찰과 윤활조건 의 차이로 스탬핑 공정에서 최적가공을 위한 공정 변수, 예를 들면 블랭크 홀더 지지력 (blank holder force, BHF)과 윤활조건 등에 대한 조정 범위가 일반적으로 좁다. 따라서 상대적으로 최적 가공을 위한 강판 자체의 기계적 특성에 대한 허용 편차 범위가 좁고 스탬핑 공정제어에 어려움이 있는 것으로 알려지고 있다^(2~4). 이것은 도금공정 특성에 따라 도금 전과 비교하여 도금 후의 모재 자체의 기계적 특성의 열화 및 도금층의 존재가 모재의 변형을 구속하여 기계적 특성을 열화시키는 것

* 정회원, 산업과학기술연구소 용접연구센터

** 산업과학기술연구소 용접연구센터

에 의하며, 또한 스템핑 공정에서의 마찰특성 열세에 기인한 것으로 알려지고 있다^(5,6). 스템핑 공정에서 마찰특성은 딥 드로잉 (deep drawing)과 같이 다이면에서 재료의 유동이 많은 패널 성형에서 강판의 성형성을 결정하는 중요한 인자이다⁽⁷⁾.

한편 도금강판 중에서도 자동차 외판용으로 많이 사용되고 있는 Zn-Fe계, Zn-Ni계 합금 도금강판은 냉연강판과 비교하여 도금공정 특성상 도금공정에서 코일의 길이방향 및 폭방향으로 도금량 및 합금성분 함량의 편차에 의해 표면품질이 불균일해지기 쉬운 특징이 있다. 따라서 냉연강판과 비교하여 동일 코일 내에서 마찰, 윤활특성에 대한 편차가 심하므로 스템핑공정의 안정성 측면에서 불리하고 윤활유 종류에 따라 성형성에 큰 차이를 보인다^(4,11,17).

스템핑 안정 성형가능 여부에 결정적 역할을 하는 도금층의 마찰과 윤활특성은 도금층의 야금학적 특성 (도금종류, 도금부착량(도금층 두께), 합금성분 함량)과 밀접한 관련이 있다고 보고되고 있다⁽⁸⁻¹⁰⁾. 그러나 이런 야금학적 특성이 일반적으로 강판의 마찰특성과 관련이 있다고 알려지고 있는 표면 경도 및 표면 거칠기와의 관계에 대한 연구는 행해지지 않았다.

본 연구에서는 자동차용 표면처리 강판의 스템핑 성형에 있어서 도금 종류별 도금층의 표면특성과 마찰, 윤활특성의 상관관계를 규명하고, 스템핑 성형특성을 파악하여 도금 종류별 최적 성형조건을 도출하고자 한다.

2. 실험방법

자동차용 표면처리 강판의 스템핑 성형에 있어서 도금층의 표면특성이 강판의 마찰과 윤활저동에 미치는 영향을 살펴보기 위하여 다음과 같은 실험을 하였다.

2.1 인장실험

도금 종류별 4종 (전기 Zn 도금강판(EG), 전기 Zn-Fe 합금 도금강판(EGF), 전기 Zn-Ni 합금 도금강판(EGN), 합금화 용융 도금강판(GA))의 도금강판을 인장실험하여 강판의 기계적 성질을 파악하였다. 인장실험은 압연방향에 대해 0°, 45°, 90° 방향으로 ASTM E-8 시편을 제작하여 Instron 만능시험기 (20ton)에 의해 0.16mm/sec 속도로 실시하였다. 가공경화지수 n 은 Hollomon식, $\sigma = K\epsilon^n$ 을 이용하여 변형률이 0.1~0.2사이에서 결정하였다. 여기서 σ 는 진응력, ϵ 은 소성변형률, K 는 소성계수이다. 이방성계수 R 값은 변형률 0.15에서 폭방향 변형률 ϵ_w , 길이방향 변형률 ϵ_l 을 이용하여

$$R = -\epsilon_w / (\epsilon_w + \epsilon_l)$$

식에 의해 구했다. Table 1에 인장실험에 의한 도금 종류별 기계적 특성을 나타내었다.

2.2 도금층의 표면특성 분석실험

도금 종류별 도금층의 표면특성 차이 규명을 위

Table 1 Mechanical properties of tested materials

Material	Coating weight (g/m ²)	Alloy content (wt %)	Thickness (mm)	YP (kg/cm ²) 0.2% offset	TS (kg/cm ²)	E1 (%) over 50mm	Rm-value	n-value
CR	-	-	0.79	18.6	30.7	40.3	1.80	0.210
EG	20/20	-	0.81	19.7	29.7	42.9	1.62	0.207
EGF	20/40	Fe : 16.6	0.80	20.0	30.2	40.9	1.90	0.184
EGN	40/40	Ni : 14.9	0.81	18.3	35.5	37.1	1.70	0.183
GA	30/45	Fe : 9.9	0.79	17.9	30.7	40.6	1.80	0.218

CR : Cold Rolled

EG : Electrogalvanized Coating Pure Zinc

EGF : Electrogalvanized coating Zn-Fe alloy

EGN : Electrogalvanized coating Zn-Ni alloy

GA : Hot-dip galvanized

All values are averaged according to

$$X = \frac{X_{(0)} + 2X_{(45)} + X_{(90)}}{4}$$

해 SEM(scanning electron microscopy)으로 표면 형상(morphology)을 관찰하였고 가압하중 10g에 의한 미소 경도시험기(micro hardness tester, Hv10)로 도금층의 경도를 측정하였다. 그리고 도금 단면층의 조직촬영(optical micrograph)을 통해 도금층의 표면물성을 파악하였으며, 도금층의 경도에 따른 다이와의 접촉상태를 상분석기(image analyzer)로 관찰하여 마찰특성과의 관계를 살펴보았다.

2.3 도금층의 상(Phase) 분석실험

바리와 마찰특성과 관련이 있는 도금 종류별 도금층의 상 성분분석은 X-선 회절분석(X-ray diffraction) 방법으로 실시하였다.

2.4 마찰 및 윤활특성 실험

도금층의 표면특성에 따른 마찰특성은 마찰계수를 측정하는 Fig. 1과 같은 드로오 비이드 실험⁽¹²⁾을 통해 도출하였다. 이때 윤활유를 도포한 45W×300L(mm) 크기 강판의 한쪽 끝을 20톤 인장시험기에 걸고 유압실린더에 의해 다이를 일정높이까지 가압한 후 일정한 속도로 인발하여 인발하중-변위곡선을 구하고 인발하중이 안정한 상태에 도달하였을 경우의 가압하중을 로드셀(load cell)에 의해 측정하였다. 본 실험에서는 인발하중의 미소변동에 따른 측정 곤란을 배제하고 도금 종류별 상대 평가를 위해 시편의 인발거리 60mm에서 인발하중과 가압하중을 측정하였다.

마찰계수 μ 는 상기 실험을 동일한 조건에서 고정비이드를 사용한 경우와 롤러비이드를 사용한 경우 각각의 인발하중으로 쿨롬법칙(Coulomb's law)을 이용한 식 (1)에 의해 구하였다⁽¹²⁾.

$$\mu = \frac{\tau}{p} = \frac{T_{(f+d)} - T_{(d)}}{\pi N_{(f+d)}} \quad (1)$$

여기서 τ 는 전단응력, p 는 수직응력이다. 드로오 비이드 실험에서 고정비이드를 사용할 때의 인발하중 $T_{(f+d)}$ 는 시편이 비이드부를 통과할 때 받는 굽힘-회복-굽힘의 반복변형과 비이드부에서의 마찰에 저항하는 하중이고, 롤러비이드를 사용할 때의 인발하중 $T_{(d)}$ 는 마찰에 대한 기여는 거의 무시되고 다만 굽힘-회복-굽힘의 반복변형에 대한 하중이다. 따라서 시편과 다이와의 슬립에 의한 마찰하중은 $T_{(f+d)} - T_{(d)}$ 로 나타내어지고 수직하중은 비이드부에 균일압력이 가해진다고 가정할 때 $(\pi/2) N_{(f+d)}$ 으로 주어진다. 한편 시편은 양쪽면에서 가압되고 있으므로 수직력은 2배가 된다. 여기서 $N_{(f+d)}$ 는 고정비이드를 사용할 때의 가압하중이다.

드로오 비이드 실험조건을 Table 2에 나타내었고 동일 강판내의 부위별 표면특성 차이를 고려하여 2회 반복 실시하였다. 표면처리 강판은 CR 강

Table 2 Experimental conditions-draw bead simulation

Forming conditions	Male bead interleaf distance : 5.74~9.34mm Drawing speed : 200mm/min Lubricant : rust-preventive oil
Specimen	Size : 45×300mm Drawing length : 150mm
Tool	Bead and roller radius : 4.76mm Material : tool steel(SKD 11)

Table 3 Properties of lubricants

Lubricant code	Type	Viscosity (40°C, cSt)	Specific gravity (15°C/4°C)
1	Washing oil	-	1.04
2	Washing & rust-preventiveoil	4.5	0.8417
3	Rust-preventiveoil	12.01	0.8964
4	Drawing oil	56.0	1.15

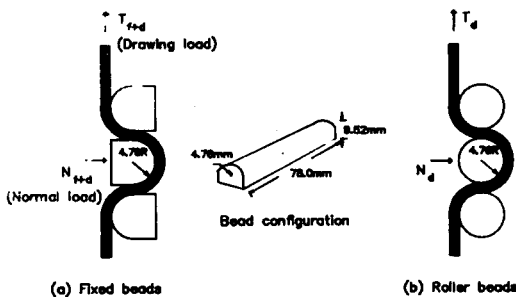


Fig. 1 Fixed (a) and roller (b) bead configuration of draw bead simulator

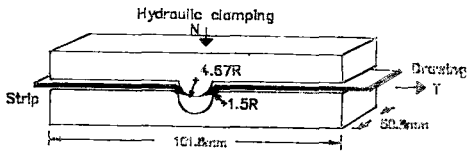


Fig. 2 Schematic view of strip draw tester

Table 4 Experimental conditions-strip draw test

Forming conditions	Normal load : 2.54~5.71kN Drawing speed : 200mm/min Lubricant : rust-preventive oil
Specimen	Size : 45×250mm Drawing length : 120mm
Tool	Male bead radius : 4.67mm Female bead radius : 4.67mm Female bead profile radius : 1.5mm Material : tool steel(SKD 11)

판과는 달리 마찰특성이 윤활유의 종류에 따라 매우 민감하게 작용하므로 스탬핑 공정 혹은 압연 공정중에 사용되는 네 종류의 윤활유(Table 3)를 사용하여 도금 종류별로 윤활유에 대한 영향을 조사하였다. 세척유(Lub. 1)는 윤활을 하지 않은 경우에 대한 도금 종류별 마찰특성을 평가하기 위해 사용한 것이다.

한편 도금강판이 다이면에 미끄러질 때 도금층이 다이면에 고착(cold welding 혹은 transfer of zinc)하여 도금층을 파헤치는 골링(galling) 특성을 Fig. 2의 스트립 드로오 실험을 통해 평가하였다. Table 4는 스트립 드로오 실험조건을 나타낸다.

2.5 스탬핑 성형실험

도금층의 표면특성에 따른 마찰특성의 차이가 실제 스탬핑 공정에서 성형성에 미치는 영향을 검토하기 위해 도금 종류별로 쿼터 외판 패널 성형실험을 하였다. 도금 종류별 성형성을 정량화하기 위하여 스탬핑 공정에 있어서의 성형성 평가 척도로 널리 이용되고 있는 성형한계도 (forming limit diagram 혹은 Keeler-Goodwin diagram)를 펀치 장출실험⁽¹³⁻¹⁵⁾을 통해 도출하였고, 1000/300 ton 유압식 복동프레스를 이용한 쿼터 외판패널의 성형 실험 결과와의 비교를 통하여 도금 종류별 강판의 성형난이도(forming severity)를 평가하였다. 스탬

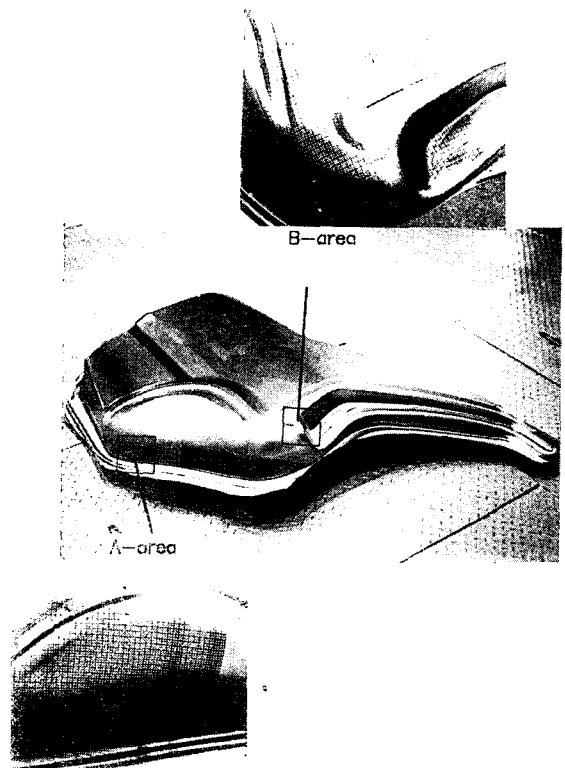


Fig. 3 Critical areas in the stamping of quarter outer panel

핑 실험은 쿼터패널 성형시에 파단발생 위험이 높은 A영역(평면변형 모드)과 B영역(드로잉변형 모드)에 대응하는 블랭킹된 패널부위에 직경 2.5mm 원형 그리드(grid)가 균일한 패턴으로 인쇄된 스텐실을 사용하여 전해 에칭한 후 스탬핑 성형시에 타 원으로 변형한 원형 그리드의 주변형률(장방향 변형률)과 부변형률(단방향 변형률)을 원형 그리드 해석법(circle grid analysis)에 의해 측정하였다 (Fig. 3). 측정된 변형률을 주변형률 E1과 부변형률 E2 좌표상에 표시하여 성형한계도와 비교하였다. 변형률의 측정은 유연한 테이프상에 등간격으로 변형률에 해당하는 직선의 크기가 인쇄되어 있는 템플레이트(template)를 사용하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 도금층의 특성

Fig. 4는 도금종류에 따른 표면형상(왼쪽)과 도금 단면층의 조직(오른쪽)을 나타낸 것이다. EG

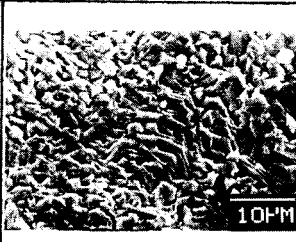
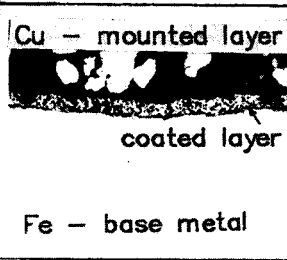
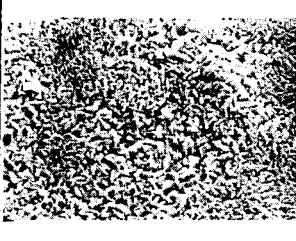
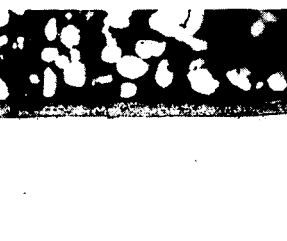

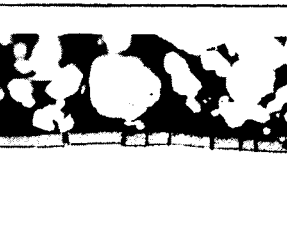

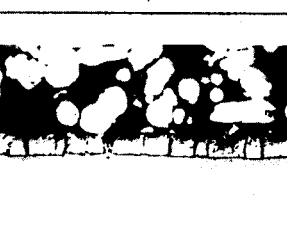
Material	Surface morphology	Microstructure of cross section
EG		
EGF		
EGN		
GA		

Fig. 4 Surface morphologies and microstructures of cross section for various coated layers

강판은 표면이 방향성을 갖는 비입상(non-granular) 형태를 가지며 도금층에 크랙이 존재하지 않는다. EGF와 EGN 강판의 경우는 도금 표면이 입상형태를 갖고 있고 양자 모두 표면 크랙을 보이고 있으며 EGN의 경우는 특히 선상크랙이 많이 존재함을 보여준다. 한편 GA 강판의 경우는 합금화 용융도금 후 일반 CR 강판에서와 같은 조절압연(temper rolling)에 의해 표면을 균일하게 압하시킨 것을 알 수 있다. 이런 조절압연은 합금

화 용융도금 후 아연 결정립 성장에 의해 거칠어진 표면을 균일하게 압하하여 매끈하게(smooth)하고 도금 표면층에 적당한 경도를 부여하는 역할을 하여 도금 결정립의 성장제어가 어려운 전기 도금강판(EG, EGF, EGN)보다 마찰특성에 유리한 균일한 표면 거칠기($R_{max}=6.50-7.05\mu m$, $Ra=0.71-0.82\mu m$) 및 경도를 얻기 쉽다. 따라서 코일의 길이방향 및 폭방향으로 균일한 표면특성은 도금강판의 마찰 및 윤활특성을 향상시키고 임의

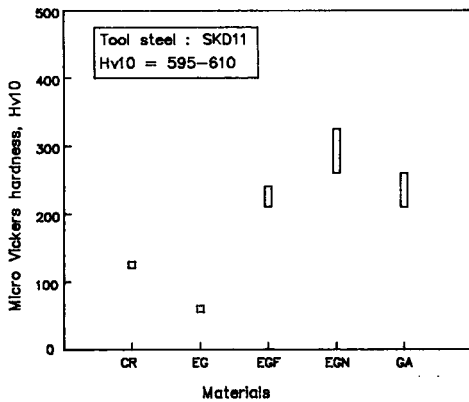


Fig. 5 Micro Vickers hardnesses for various coated layers

코일에서 시편의 채취 위치에 관계 없이 균일한 마찰특성이 얻어지는 효과가 있음이 알려져 있다⁽¹¹⁾. 일반적으로 자동차용 외판재로써 사용되는 강판의 표면 거칠기는 스템핑 성형성 및 도장 후 영상 선명도의 관점에서 $0.6 < Ra(\mu m) < 0.9$ 및 $R_{max}(\mu m) < 7.0$ 정도로 관리되고 있는데 표면 거칠기가 너무 거칠어지면 다이와 강판간에 경계 윤활막이 깨어지기 쉽고 반면 표면 거칠기가 너무 매끈하면 윤활유를 보관할 수 있는 장소가 작아져 다이와의 직접접촉이 야기되어 마찰이 증가한다⁽⁹⁾.

Fig. 5는 도금 종류에 따른 도금층의 미소경도를 나타낸 것이다. EG 강판을 제외하고는 모두 CR 강판보다 도금층의 경도가 높다. 이와 같은 표면경도 특성은 다음에 논할 마찰 및 윤활특성과 밀접한 관계가 있다.

3.2 도금층의 상 특성

Fig. 6은 도금 종류에 따른 도금층의 상을 X-선 회절분석한 결과이다. Table 5는 합금 도금강판의 경우 Fe 함량에 따라 존재하는 상의 특성을 나타낸 것이다. EG는 연질인 η 상만 존재하고, EGF는 η 와 δ 상이 공존하며, EGN은 경질인 γ 상만 존재한다. GA는 δ 와 γ 상이 혼합하여 존재하며 GA와 EGN의 경우 γ 상은 도금층과 모재의 경계면에 존재하는 금속간 합금(intermetallic alloy)이다.

일반적으로 EGF 도금강판은 도금층 중에 η 와 δ 상이 공존하는데 Fe함량이 낮을 수록 η 상이 도금층 내에 많이 존재하며 Fe 함량이 높아지면 δ 상의 존재가 많아지고 상대적으로 η 상은 적어진다^(9,11)

3.3 도금층의 마찰 및 윤활특성

본 연구에 사용된 4종류의 윤활유에 대해 도금종류별 마찰특성을 Fig. 7에 나타내었고 비교를 위해 냉연강판의 마찰특성을 첨부하였다.

EGN의 경우는 도금층과 다이의 경도 차이가 작아서 CR 강판과 비교하여 전반적으로 마찰계수가 낮으나 윤활유에 따라 변화가 매우 심하였다. GA의 경우는 조질압연을 거친 CR 강판과 유사한 표면 특성을 가지므로 모든 윤활유에 대하여 편차가 적고 거의 일정한 마찰계수를 갖고 있어 안정된 마찰특성을 보여 주고 있다. EGF의 경우는 세척유의 경우를 제외하고는 마찰계수가 윤활유 종류에 무관하게 일정한 낮은 값을 갖고 있음을 보여준다. 한편 EG의 경우는 윤활이 안된 경우에 해당하는 세척유(Lub. 1)와 방청점 세척유(Lub. 2)의 경우에 마찰계수의 크기 및 편차가 매우 커서 마찰특성이 나쁘나 다른 윤활유에 대해서는 안정된 마찰특성을 보이고 있어, EG 강판의 경우 적절한 윤활유 선택이 성형성에 영향을 크게 미친다는 것을 알 수 있다. EGN의 경우를 제외하고는 점도가 매우 낮은 세척유(Lub. 1)에 대해 모두 높은 마찰계수를 가지며, 방청유(Lub. 3)와 고 점도인 드로잉유(Lub. 4)에 대해서는 낮은 마찰계수를 갖는다. 한편 CR강판의 경우는 조질압연된 균일한 표면거칠기를 가지므로 4종류의 윤활유 모두에 대해서 마찰계수의 차이가 크지 않고 동일한 윤활유에 대해 변화의 폭이 적어 안정된 마찰특성을 보인다.

Fig. 8은 고정 비이드를 통해 인발된 각 도금강판 시편의 표면형상과 다이와의 접촉상태를 보여준다. 왼쪽은 SEM 촬영에 의한 표면형상을 나타내고 오른쪽은 상 분석기에 의한 다이와 도금 표면의 접촉면적을 나타낸 것이다. 오른쪽에서 흰 부분은 다이와 접촉한 부분을 나타내고 검은 부분은 접촉하지 않은 부분을 나타낸다. 도금층이 η 상만으로 구성되어 있는 EG와 도금층 표면에 η 상을 갖고 있는 EGF의 경우에는 변형저항이 작은 연질인 η 상의 존재로 도금표면의 돌기(asperities)에 해당하는 부분이 다이의 가압에 의해 눌리고, 눌린 부분이 다이와의 상대 슬립에 의해 밀리면서(ironing 현상) 접촉면적이 커지고 다이와 직접 접촉한 넓은 영역에서 경계윤활 상태가 깨어져 마찰저항이 커지게 되는 것으로 추측된다. 한편 도금층이 경질이고 균일한 표면거칠기를 갖는 GA강판의 경우는 다이의 가압에 의해 도금표면의 돌기 부분이 눌리고 있

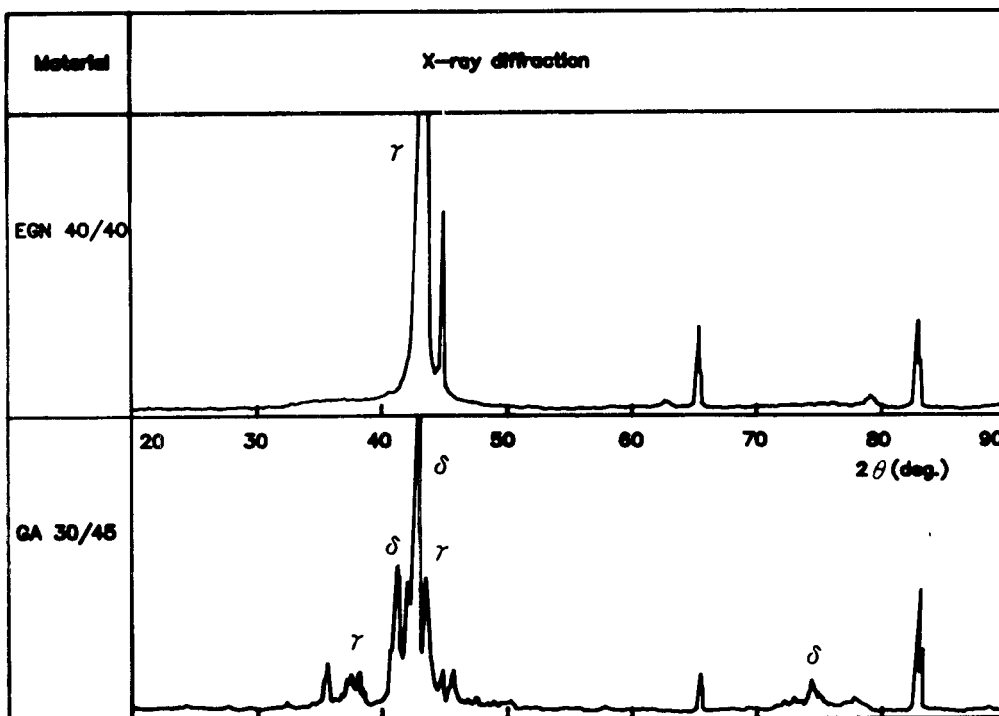
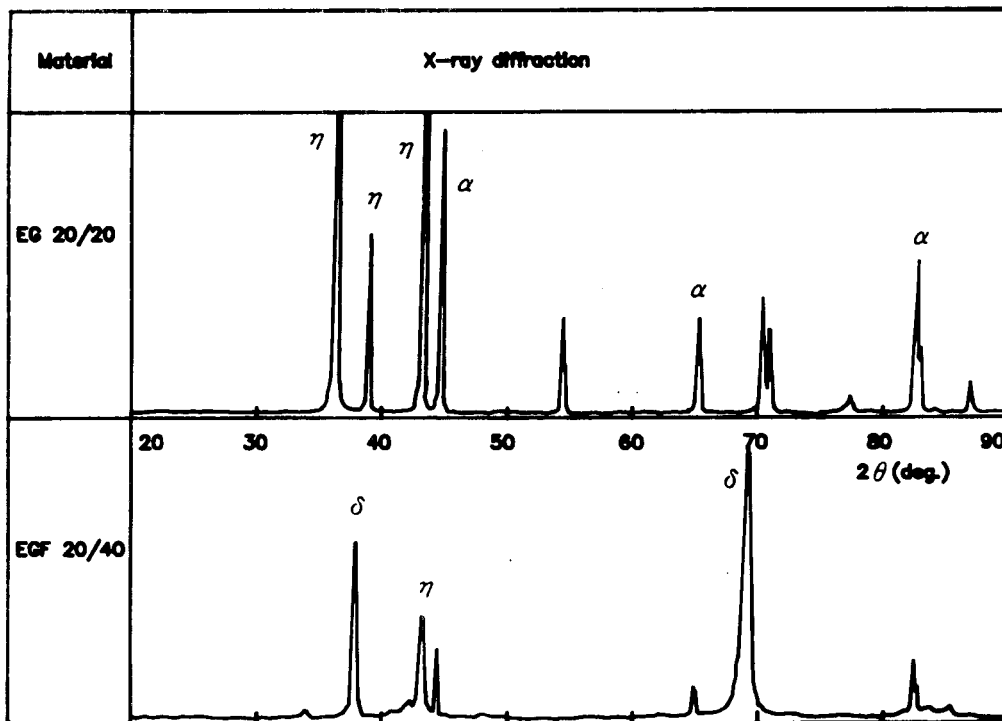


Fig. 6 X-ray diffractions of Zn, Zn-Fe, Zn-Ni and GA coated sheet steels

Table 5 Properties of each phase in galvanized coated layer

Phase	Formula	Wt %, Fe	Melting point(°C)	Structure
η	Zn	-0.03	419.5	HCP
ζ	FeZn ₁₀	6.0~6.2	530.0	Monoclinic
δ	FeZn ₇	7.2~11.5	620.0~668.0	HCP
γ	Fe ₃ Zn ₁₀	20.5~28.0	668.0~780.0	BCC

으나 전단 변형저항이 높아 다이의 상대슬립에 의해 늘린 부분이 심하게 밀리는 현상은 적어 다이와의 접촉면적이 적게 되고 균일하게 분포되어 있음을 보여준다. 따라서 이 경우는 실험 전에 도포한 윤활유를 보관할 수 있는 장소가 상대적으로 많아 마찰저항이 적은 것으로 생각된다.

위에서 논한 경계윤활 상태하에서의 도금 종류별 마찰특성은 다음과 같은 모델에 의해 다이와 도금 표면과의 접촉면적 및 표면 변형저항의 함수에 의해 설명할 수 있다. 즉 도금표면의 돌기부에서 일부가 다이와 직접 접촉하고 있고 나머지 부분에서는 윤활유를 통하여 다이와의 접촉이 이루어지고 있는 경우의 도금강판의 마찰계수 μ 는

$$\mu = \mu_0(1-\alpha) + \mu_m\alpha \quad (2)$$

으로 주어진다⁽⁶⁾. 여기서 μ_m 은 도금표면과 다이간의 마찰계수이고 μ_0 는 윤활유와 다이간의 마찰계수이다. α 는 도금표면과 다이간의 겉보기 접촉면적(nominal contact area)에 대한 직접 접촉면적(actual contact area)의 비이다. 일반적으로 $\mu_0 <$

μ_m 이므로 도금층과 다이와의 직접 접촉면적이 클수록 도금강판의 마찰계수는 커진다.

Fig. 9는 드로잉 속도에 따른 마찰계수의 영향을 나타낸 것이다. 본 실험에서 이용한 속도범위 내에서 도금층이 경질인 EGF, EGN, GA와 CR 강판은 속도에 따른 마찰계수의 변화가 적으나 도금층이 연질이며 불균일한 표면조도를 갖는 EG 강판의 경우는 속도 증가에 따라 마찰계수의 감소가 크게 나타난다. 이것은 저속에서는 가압하에 아연도금층이 다이에 눌리고 밀리면서 그 부분의 윤활유가 빠져나가서 경계윤활이 깨어지고 다이와 도금층의 직접 접촉면적이 증가하는 반면 고속에서는 아연도금층의 표면에 함유된 윤활유가 고속변형에 의해 미쳐 빠져나가지 못해 윤활유가 많이 보관되어 있어서 다이와의 직접접촉이 적어지기 때문일 것으로 생각된다.

Fig. 10은 스트립 드로오실험에 의한 도금층의 풀링특성을 나타낸 것으로 풀링이 발생하면 그림에서와 같이 다이에 아연이 부착되어 변위-하중곡선 상에 하중의 요동이 발생한다. 풀링이 일어나지 않는 강판은 변위에 따라 처음 하중정점(정적 하중)이 발생하고 뒤이어 거의 일정한 하중(동적 하중)이 유지되나 풀링이 발생하면 이동거리에 따라 동적 하중에 심한 요동이 발생하며 커지고 따라서 비이 드를 통과하지 않은 부위에서 과도한 인장력이 가해져 시편의 변형을 크게 한다. 이것은 다이에 아연이 부착되어 마찰저항을 크게 하고 다이에 부착된 아연층이 떨어져 나가는 현상이 반복되기 때문일 것으로 생각된다⁽¹⁷⁾.

Fig. 11에 도금종류에 따른 풀링특성을 나타내었다. EG의 경우는 가압력이 커지면 풀링현상을 나타내고 EGF, GA의 경우는 풀링발생이 보이지 않는다.

그러나 EGF도금강판의 경우에 Fe 합금함량이

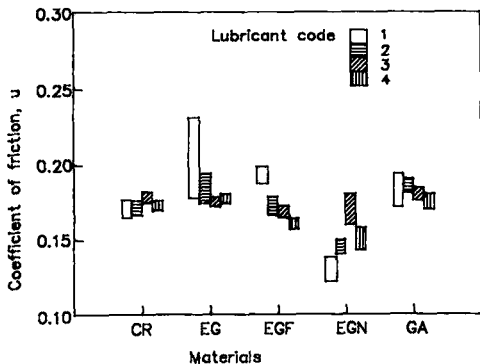


Fig. 7 Effect of lubricant code on coefficient of friction for Zn, Zn-Fe, Zn-Ni, GA coated and cold rolled sheet steels

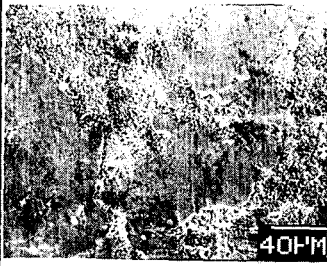

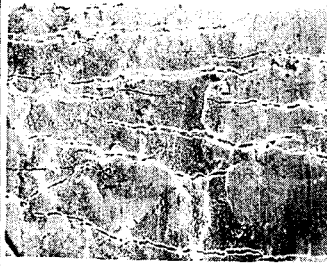
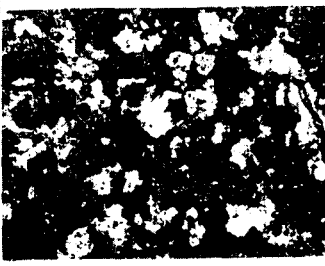
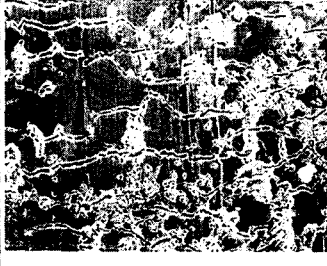

Material	Normal load, N=1.9KN	
	Surface morphology	Contacting area
EG		
EGF		
GA		

Fig. 8 Surface morphologies and contacting areas for various coated layers in draw bead simulation

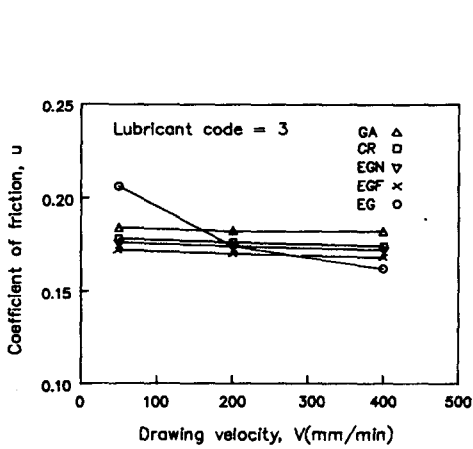


Fig. 9 Effect of drawing velocity on coefficient of friction

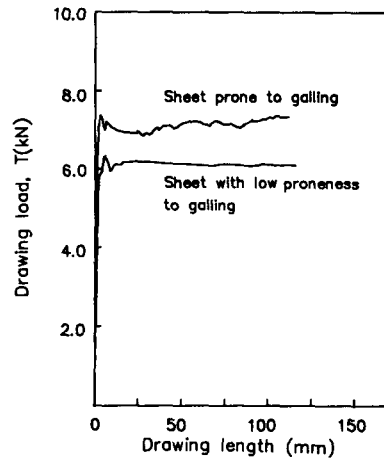


Fig. 10 Drawing length-drawing load curve showing typical galling tendency

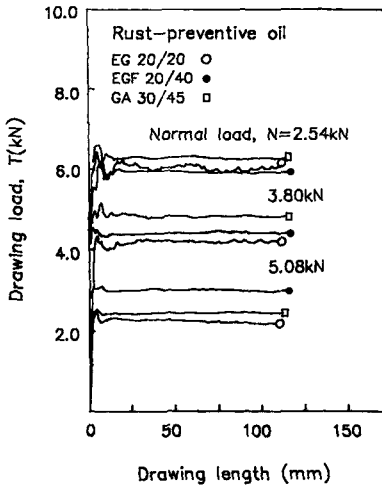


Fig. 11 Drawing load versus drawing length for Zn, Zn-Fe and GA coated sheet steels

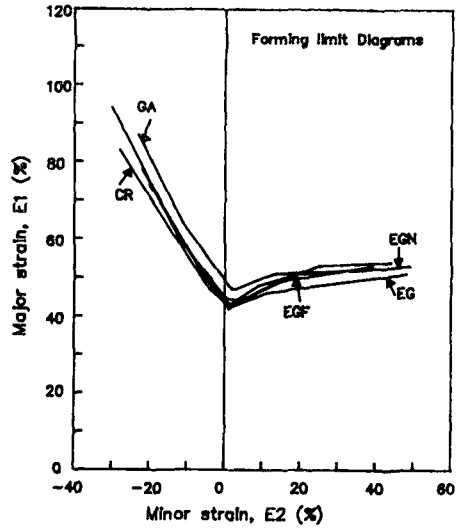


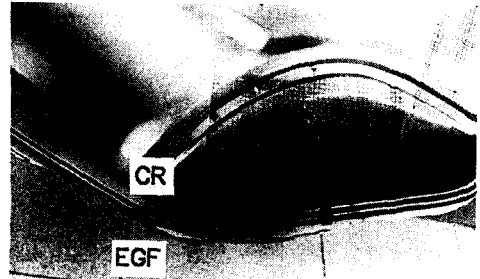
Fig. 12 Forming limit diagrams for EG, Zn-Fe, Zn-Ni, GA coated and cold rolled sheet steels

낮아지면 도금층 표면에 η 상의 존재가 많아져 다이에 η 상이 고착되어 마찰저항을 크게 하고 도금면에 콜링을 야기하기도 한다⁽¹¹⁾. 따라서 마찰특성을 향상 시키기 위해서는 가능한 한 도금층 중에 η 상의 발달을 억제하거나 다이와 도금층의 직접접촉을 피하도록 적절한 윤활조건을 선택하는 등의 조치가 필요하다.

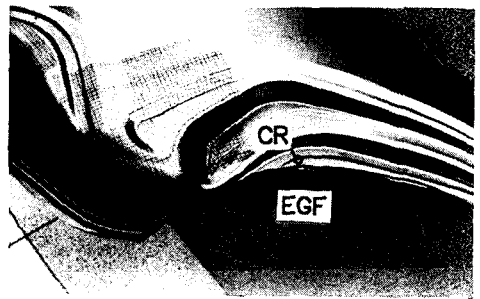
3.4 스탬핑 성형특성

자동차용 강판의 스탬핑 성형성의 척도로 널리 이용되고 있는 성형한계도를 편치장출 실험을 통해 도출하여 Fig. 12에 나타내었다. Fig. 13은 쿼터패널의 성형시 변형위험 부위 A, B영역에서 CR 강판과 EGF 강판의 유입 양에 차이를 보여준다. 드로오 비이드부를 통과하여 재료의 유입이 많은 A 영역에서 유입량의 차이가 크게 나타나고 있는데 이것은 앞에서 논한 마찰 특성의 차이라고 생각된다.

Fig. 14는 스탬핑 성형난이도도를 정량적으로 나타내기 위해 변형위험 부위에서 측정된 변형률점에서 성형한계도까지의 최단 수직거리로 표시되는 여분 변형률(marginal strain)을 나타낸다. Fig. 12의 성형한계도와 도금종류별 변형위험 부위의 변형률과 비교하면 (Fig. 15~Fig. 17) 스탬핑 성형성의 우열을 나타내는 성형한계도의 높이에는 큰 차이가 보이지 않지만 마찰특성에 의한 재료 유입량의 차



(a) Drawing difference at A-area



(b) Drawing difference at B-area

Fig. 13 Difference of metal flow at A-area (a) and B-area (b)

이로 도금종류별로 성형성에 큰 차이를 나타낸다. 블랭크 호울더 지지력이 705kN인 경우 CR 강판은 안전 성형하에 있고 EGF의 경우는 다이 립을 통과한 패널 벽에서 (A-area) 평면변형 모드의 파단

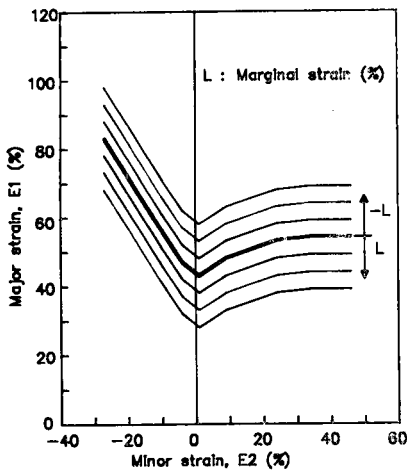


Fig. 14 Parallel movement of forming limit diagram to define marginal strain, *L*

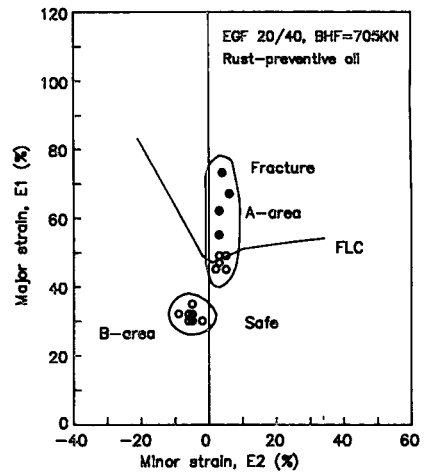


Fig. 16 Strain distribution of critical area of Zn-Fe coated sheet steel with rust-preventive oil

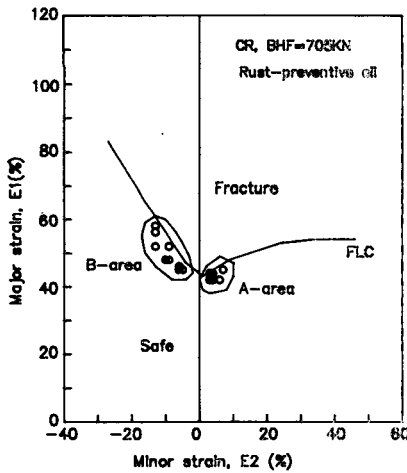


Fig. 15 Strain distribution of critical area of cold rolled sheet steel with rust-preventive oil

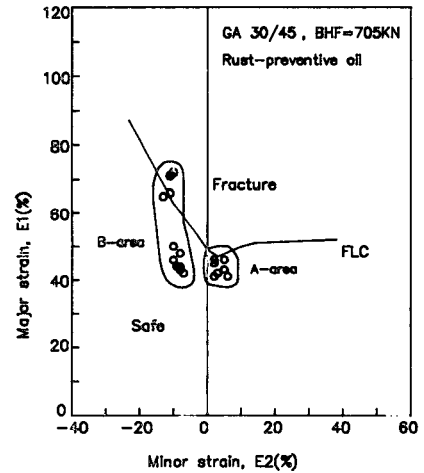


Fig. 17 Strain distribution of critical area of GA coated sheet steel with rust-preventive oil

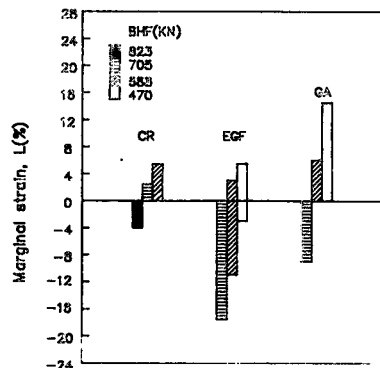


Fig. 18 Marginal strains of critical area for various sheet steels with different blank holder forces

이 발생하고 GA의 경우는 드로잉 변형영역에서 (B-area) 파단이 발생한다. GA 강판의 경우는 Fig. 7에서와 같이 마찰특성이 CR강판과 비교하여 거의 동일하여 마찰저항이 큰 EGF에서 발생하는 파단현상과는 다른 양상을 보이고 있다.

Fig. 18은 CR, EGF, GA 강판의 BHF범위에 따른 성형난이도를 나타낸다. CR강판의 경우는 EGF, GA 강판보다 성형 가능한 범위가 넓고, EGF 강판의 경우는 BHF=470~588kN에서 안전 성형이 되기도 하고 파단이 발생되기도 하여 불안정한 상태에 있음을 알 수 있다. 따라서 표면처리 강판을 사용할 때는 가능하면 적정한 윤활조건 선택 혹은 도금 표면특성의 개선등에 의해 마찰 및 윤활특성이 CR 강판의 경우와 유사하도록 하여 생산성 측면에서 스탬핑조건 변경없이 CR 강판과 동일한 성형조건에서 가공하는 것이 유리하며, 그렇지 못한 경우에는 블랭크 호를 더 지지력 변경, 다이 재질의 변경등 성형조건 변경등이 요구된다.

4. 결 론

각종 자동차용 표면처리강판의 스탬핑성형 공정에 있어서 도금층의 표면특성이 마찰, 윤활저항에 미치는 영향을 규명하여 스탬핑 성형성에 관한 연구를 통하여 얻어진 주요 결과는 다음과 같다.

(1) GA강판은 도금후 조질압연된 거치므로 EG, EGN, EGF 강판보다 균일한 표면 거칠기 특성을 갖는다.

(2) 표면처리강판은 CR 강판에 비해 표면품질이 불균일하기 때문에 동일코일내에서도 마찰계수의 편차가 크고 윤활유의 종류에 따라 마찰계수의 차이가 크다. 그러나 GA 강판의 경우는 조질 압연에 의해 부가된 균일한 표면 거칠기 특성 때문에 CR강판과 유사한 안정된 마찰특성을 갖고 있다.

(3) 도금층에 연결된 n 상이 존재하는 EG 및 EGF 강판의 경우는 윤활조건이 윤활을 안한 상태에 가까우면 마찰특성에 불리하고 골링발생이 심하다.

(4) 도금강판은 CR 강판에 비해 스탬핑 성형에서 성형가능한 BHF 범위가 좁고 성형이 불안정하며 성형가능 여부는 윤활유의 종류에 매우 민감하다. 또한 도금층의 표면특성에 따라 스탬핑 성형 특성이 달라 안전 성형을 위해서는 최적 성형조건

유지등의 스탬핑 공정의 엄격한 공정관리가 필요하다.

후 기

본 연구 수행을 위해 시편을 제공해 주시고 일부 실험장치 사용을 도와주신 포항종합제철(주) 관계자들과 실험과 결과정리에 도움을 아끼지 않으신 이 찬락씨와 박 기철씨에게 심심한 감사를 표합니다.

참 고 문 헌

- (1) Yoshida, K., 1987, 프레스성형 난이 Hand Book, Chap. 5.
- (2) Lewis, L.L. and Murray, M., 1984, "Effect of Die Hardness and Lubrication on Stamping Performance of Galvanized Steel Sheet", SAE Paper No.840368.
- (3) Meuleman, D.J. and Eoldak, J.J., 1986, "The Interactions of Coated Steels, Die Materials, and Forming Lubricants", SAE Paper No.860432.
- (4) Keeler, S.P. and Dwyer, T.W., 1986, "Frictional Characteristics of Galvanized Steels Evaluated with a Draw Bead Simulator", SAE Paper No.860433.
- (5) Stevenson, R., 1985, "Formability of Galvanized Steels Revisited", SAE Paper No.850276.
- (6) Meuleman, D.J., Denner, S.G., and Cheng, F.L., 1984, "The Effect of Zinc Coating on the Formability of Automotive Sheet Steel", SAE Paper No.840370.
- (7) Keeler, S.P., and Dwyer, T.W., 1986, "Frictional Characteristics of Galvanized Steels Evaluated with a Draw Bead Simulator", SAE Paper No.860433.
- (8) Hishida, Y. et al., 1989, "자동차 차체 패널성형에 있어서 표면처리강판의 프레스가공성 평가", CAMF-ISIJ, Vol. 2, pp.1695.
- (9) 프레스기술, 1985, 표면처리특집, Vol. 23-10.
- (10) Meuleman, D.J., Denner, S.G. and Cheng, F.L., 1984, "The Effect of Zinc Coating on the Formability of Automotive Sheet Steels", SAE Paper No.840370.
- (11) 김영석 외, 1989, 산업과학기술연구소 연구결과 보고서, Code 9037A.
- (12) Nine, H.D., 1978, "Drawbead Forces in Sheet Metal Forming", Mechanics of Sheet Metal Forming, Edited by Koistinen and Wang, Plenum Press, p. 179.
- (13) Keeler, S.P., 1965, "Determination of Forming Limit in Automotive Stamping", SAE Paper No.

- 650535.
- (14) Hecker, S.S., 1975, "Formability of Aluminum Alloy Sheets", J.Eng. Mater. Technol., Trans ASME -H, Vol.97, p.66.
- (15) 김영석 외, 1987, 산업과학기술연구소 연구보고서, Code 098A-053.
- (16) Bowden, F.A. and Tabor, D., 1964, "The Friction and Lubrication of Solids", Oxford Press, Part II.
- (17) Meuleman, D.J. and Dwyer, T.E., 1988, "Die Materials and Treatments with Electrogalvanized Steel", SAE Paper No.880369.