

90년대의 A1 차체 기술

Aluminum Autobody Technology for the '90

박 석 완, 권 순 용, 조 원 석
S. W. Pak, S. Y.Kwon, W. S. Cho



박 석 완
• 1961년 5월생
• 박판재료의 성형성
• 기아자동차 기술센터 재료연구실



권 순 용
• 1963년 5월생
• 금속 표면처리
• 기아자동차 기술센터 재료연구실



조 원 석
• 1953년 4월생
• 輕合金材料의 자동차부품 응용연구
• 기아자동차 기술센터 재료연구실

알루미늄차체의 개발에 박차를 가하고 있다. 알루미늄 판재는 비중이 기존의 저탄소 강판에 비해 약 1/3로 경량화 효과가 뛰어나지만, 성형성, 접합성, 표면처리성에 있어서는 기술적으로 해결해야 할 많은 문제가 있다. 본고에서는 차체제작의 첫단계인 프레스 성형시 문제가 되는 알루미늄 합금판재의 성형성에 대하여 기술하고자 한다.

2. 시편의 종류

실험에 사용된 A1합금 시편은 3개회사 5종으로 제품명과 성분은 표 1과 같다. 시편 A-D는 차체용 판재로 개발된 것이고, 시편 E는 주로 전기제품의 파워서플라이 케이스 등 일반용으로 판매되는 것으로서, 차체용 재료와 비교할 목적으로 본 실험에서 사용되었다. 화학성분을 보면 시편 C는 Mg와 Si가 주로 함유된 6000계 합금이고, 나머지 시편은 Mg가 주인 5000계 합금이다. 그러나 차체용 판재는 Cu를 첨가하여 도장 건조시 베이크 하드닝 특성을 갖도록 하였다. A1합금판재와 비교할 목적으로 기존의 저탄소 강판인 냉연강판(SCP) 1종과 3종도 포함하였는데, SCP1종은 주로 강도 요구부위에, SCP3종은 성형 요구부위에 사용된다.

1. 서 론

최근 지구환경차원에서 자동차의 경량화가 이슈로 됨에 따라 자동차 차체의 A1화가 급속히 진행되고 있다.¹⁾ 일례로 1990년 일본 혼다사에서는 차체전체를 A1화한 NS-X를 시판하였고, 독일 아우디 등 많은 선진 자동차 회사에서도

Table 1. Composition of aluminum alloy sheets.

Company	Specimen	Brand Name	Composition (wt %)			
			Mg	Si	Cu	Fe
Sky Aluminum	A	TG19-T4	4.34	0.06	0.12	0.15
	B	TG25-O	5.40	0.08	0.12	0.12
	C	TM21-T4	0.47	1.34	0.66	0.13
Sumitomo	D	GC45-O	4.36	0.11	0.30	0.09
Hungaru	E	5052-H32	2.53	0.03	0.001	0.14

3. 결정립 조직

시편 A는 등방형 결정립 조직을 갖지만 결정립계가 선명하지 않았고, 시편 B는 전형적인 재결정 조직을 선명하게 보여주고 있으며, 시편 C와 D는 어느 정도 결정립계가 선명 하지만 시편 A와 B의 중간정도였다. 시편 E는 다른 시편과는 달리 결정립계가 불분명하고 가공방향으로 연신되어 있는 것처럼 보이는 것으로 보아 열처리 후에도 가공경화가 풀리지 않고 있음을 알 수 있다(참고문헌 2 참조).

결정립크기를 KS D0209규격으로 측정한 결과에 의하면 시편 모두가 거의 등방형이고 비슷한 결정립크기(약 45 μ m)를 가지는 것으로 나타났다. 따라서 적어도 차체용 판재에 대해서는 결정립크기가 성형성에 미치는 영향이 작을 것으로 판단된다.

4. 집합 조직

측정된 극점도로부터 유추된 각 시편의 집합조직은 다음과 같다. 먼저 표기된 것이 주된 집합조직이다.

시편 A와 C : (001) [100] + (331) [$\bar{1}$ 13]

시편 B : (001) [100] + (113) [$\bar{1}$ 10]

시편 D : (001) [100]

시편 E : (011) [100] + (113) [332]

본 연구에 사용된 시편의 집합조직은 크게

두가지로 나눌 수 있었는데, 첫번째는 (001) [100]의 큐빅집합조직으로 차체용으로 개발된 알루미늄 판재에서 볼 수 있었고, 다른 하나는 (011) [100]의 변형집합조직으로 일반용 시편에서만 나타났다. 일반적으로 알루미늄은 냉간가공 후에 재결정시키면 큐빅집합조직을 가지므로 앞에서 언급한 결정립조직과 관련지어 생각할 때 시편 A-D는 이미 재결정이 일어난 상태라고 판단된다.

5. 상온 인장시험

상온 인장시험 결과를 표 2에 실었다. 차체용 A1의 경우 신율은 약 30% 정도로 SCP1종의 37%, SCP3종의 48%에 비하여 현저히 낮아, deep drawing 위주의 부품에서는 문제가 발생하리라 판단된다. 강성의 경우(항복응력)에는 두께가 0.8mm인 SCP1종에는 미치지 못하지만(약 1/2), 0.7mm SCP3종과는 거의 비슷한 값을 나타내고 있다. 따라서 0.7mm SCP 3종을 A1합금으로 대체하는 경우 약 60%의 경량화 효과를 얻을 수 있다. 일반용 A1 합금인 시편 E는 강성의 경우 차체용 A1합금보다 우수하나, 연신율과 강도면은 열세였다. 시편 E를 어닐링한 시편 EA는 연신율이 증가한 반면 강도와 강성 모두 저하되었다. 그림 1은 표 2를 근거로 하여 각 시편의 인장강도, 항복응력과 신율의 관계를 나타낸 것으로서, 차체용 A1합금판재의 발달과정과 향후 목표를 조망할 수 있다. 일반용 A1합금판재는 신율과 강도 모두 냉연강판에 비해 현저히 낮아 복잡한 형상을 요구하는 부품성형은 불가능하였다. 그러나 새로운 합금조성 및 열처리 등의 기술개발로 현재 차체용 A1합금판재와 같은 수준인 인장강도 30kg/mm², 연신율 30%(30-30이라 약칭)까지 향상되었다. 그러나 극단적인 에어로다이내믹(Aero-dynamic)한 디자인을 추구하는 현시점에서는 30-30의 재료 물성은 설계자에게 큰 부담을 준다. 냉연강판의 경우 1종은 40-40, 3종은 30-50인 것으로 미루어볼 때, 차체용 A1합금판의 향후 개발목표는 40-40이 되리라 예측된다. 그러나 순 A1의 신율이 약 45%이므로

Table 2. Mechanical properties of aluminum alloy and low carbon steel sheets

	Elongation(%)	Y.S.(kg/mm ²)	T.S.(kg/mm ²)	n Value	m Value	Young's Modulus (Kg/mm ²)
SPC1	36.82	33.02	42.92	0.1071	0.00721	18,925
SPC3	48.58	16.20	31.89	0.2041	0.01283	18,490
A	31.26	11.53	26.45	0.2554	0.00281	6,713
B	32.74	12.44	28.89	0.2547	0.00237	6,963
C	28.62	14.82	27.49	0.2119	0.00655	6,522
D	29.85	14.66	29.97	0.2328	—	6,698
E	9.25	20.98	26.14	0.1060	—	7,855
EA	20.01	8.27	20.64	0.2776	0.00048	6,962

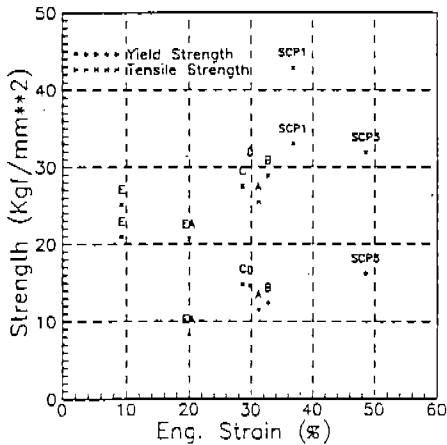


Fig.1 Relationship among tensile strength, yield strength and elongation.

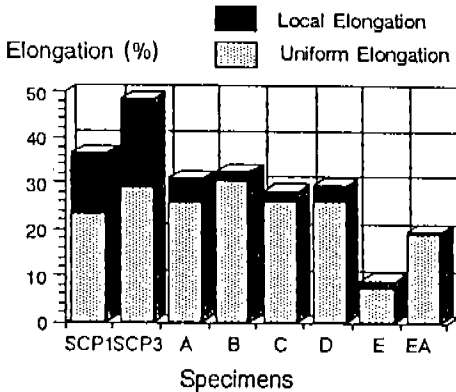


Fig.2 Uniform and local elongation of low carbon steel and aluminum alloy sheets.

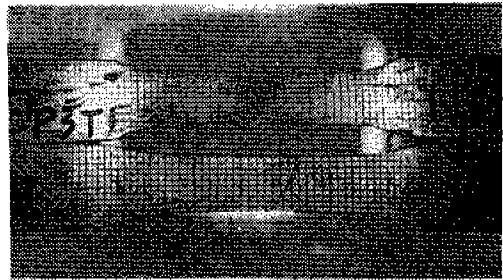


Fig.3 Grid etching of Specimen SCP3 and A. Necked region of Specimen SCP3 is more prominent than that of Specimen A.

40-40인 수준까지 향상시키기엔 많은 어려움이 있으리라 생각되므로, A1합금 소재의 물성향상과 함께 SCP3종에 기초한 설계한도를 SCP1종의 한도까지 내리는 작업도 병행하여야 한다.

성형에 있어서 가장 중요한 인자인 연신율은 균일연신율과 국부연신율로 구분되며, 그림 2는 냉연강판과 A1합금판의 균일 및 국부연신율을 보여준다. 균일연신율을 비교해보면 차체용 A1합금은 냉연강판과 비슷하지만, 국부연신율은 냉연강판이 A1합금판보다 월등히 우수하여 전체 신율에 있어서 큰 차이가 발생하게 되는 것이다. 이러한 국부연신율은 주로 m값의 영향을 받으므로 이것을 비교해 보면 국부신율의 차이를 이해할 수 있다. 국부연신율의 거동을 좀더 자세히 알아보기 위해 인장시편에 그리드를 에칭

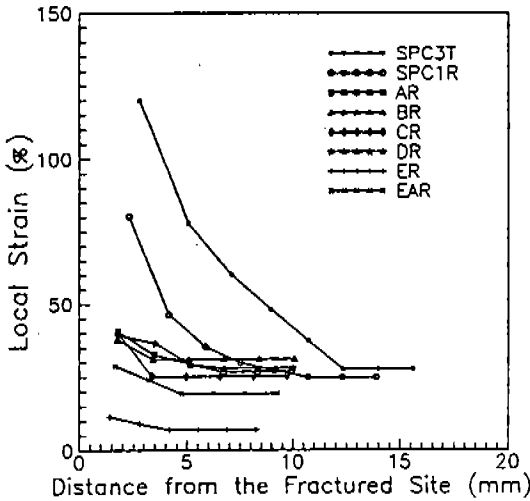


Fig.4 Strain distribution from the fractured site after tension test. Test speed was 2 mm/min.

하여 새기고, 인장시험을 하였다 그림 3에서 보듯이 SCP3종의 국부연신율이 A1합금보다 훨씬 큰 것을 알 수 있다 그림 4는 파단부부터 균일 변형부 방향으로 신율을 측정된 것으로 파단부 위에서 SCP1종과 3종의 국부연신율(80-120%)이 두드러졌다. 이에반해 차체용 A1합금의 국부연신율은 최대 40%가 한계였으며, 일반용 A1합금인 경우에는 어닐링한 경우에도 30%에 못미치고 있다. 따라서 40-40인 A1합금개발 관건은 국부연신율을 어떻게 냉연장판 수준까지 향상시키느냐에 달려있다고 할 수 있다.

6. 고온 인장시험

A1합금의 낮은 국부연신율은 온도를 올리게 되면 향상된다.(그림 5) 이것은 m값이 온도에 따라 상승하는 것에 기인한다. 300°C에서는 최고 80%까지 연신이 가능하므로 복잡한 성형부품에의 적용도 기대할 수도 있다. 또한 연신율은 온도뿐만 아니라 변형속도에도 영향을 받는데 그림 6은 각각 0.5mm/min, 10mm/min의 변형속도에서 온도에 따른 연신율과 인장강도의 변화이다. 변형속도를 0.5mm/min에서 20배인 10mm

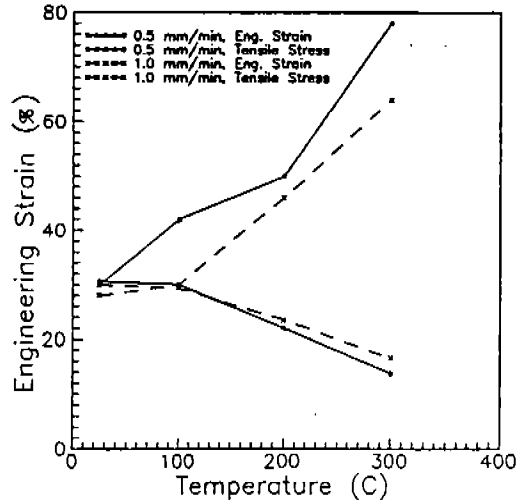


Fig.5 Temperature dependence of local elongation

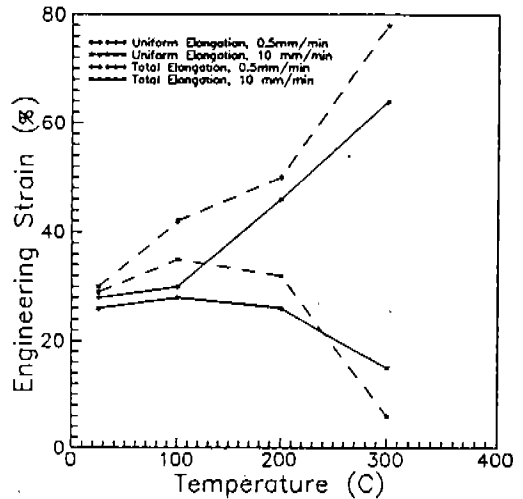


Fig.6 Temperature and strain dependence of strain and tensile strength in case of Specimen D.

/min으로 상승함에 따라 인장강도는 거의 변화하지 않았지만 연신율은 최대 14%까지 저하되었다.

7. 헤밍 시험(Hemming Test)

이 시험은 내판과 외판을 결합하는 헤밍작업

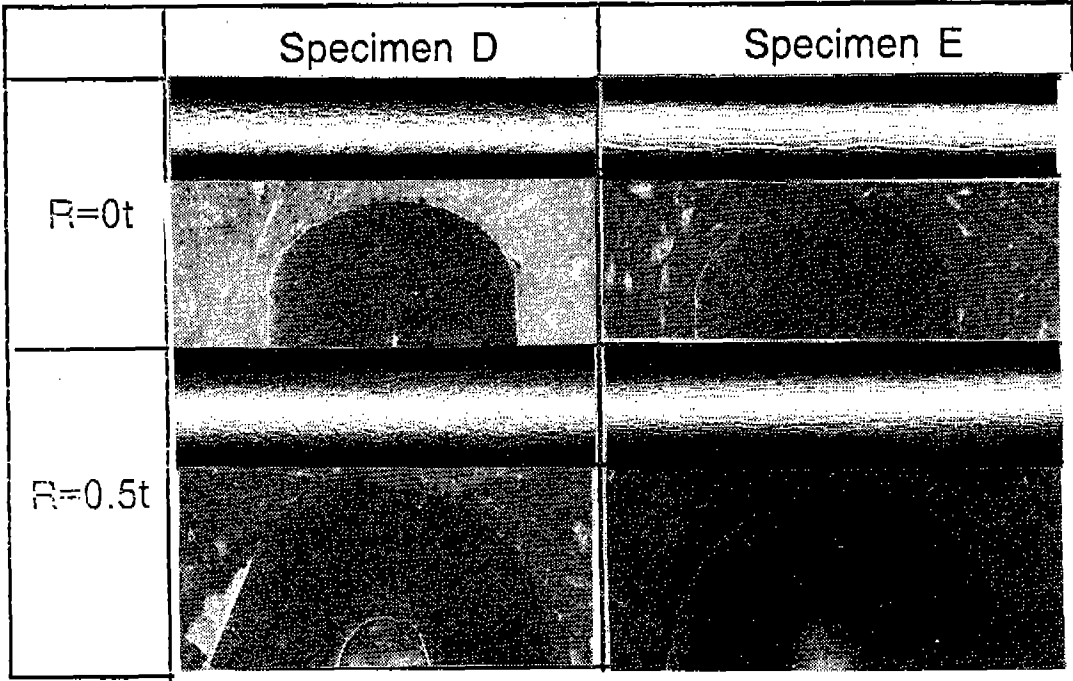


Fig.7 Outer surface and cross-section of hemmed region of Specimen D and E.

시 외관표면에 어떤 결함이 발생하며, 이러한 결함발생을 억제할 수 있는 조건이 무엇인가를 결정하기 위하여 행해졌다. 그림 7은 헤밍시험후 시편 D와 E의 표면과 단면으로 곡률반경 $R=0t$ 와 $0.5t$ 일 때이다. 차체에 적용되는 헤밍가공은 $R=0.5t$ 에 상당하며, 차체용 시편인 D의 경우 오렌지필 현상이 발생하나 극단적인 표면결함은 보이지 않았다. 그러나 일반용 시편 E의 경우에는 심한 표면결함이 발생하여 많은 수정이 필요하게 된다.

8. 스트레치 포밍 시험(Stretch Forming Test)

이 시험은 관재의 스트레치성을 판단하기 위해 행해졌고, 시험조건은 편치속도 10mm/min, 편치지름 100mm, Blank Holder 압력은 160kg/cm²였다. 파단이 발생되기까지의 돔높이를 스트레치성의 척도로 삼는데 그 값이 윤활에 좌우되기 때문에 양극한인 무윤활과 비닐+드로잉

유의 두 조건을 사용하였다. 그림 8은 SCP3종과 A1합금의 돔 높이를 두가지 윤활조건에 따라 나타낸 것으로 A1합금판의 스트레치성 열세를 알 수 있다. 그림 9는 비닐+드로잉유를 사용했을 때 SCP3종과 시편 D의 돔형상을 나타낸 것으로 SCP3종의 돔크기가 더 큰 것을 볼 수 있다. 이 그림에서 보듯이 시편표면 위에 그리드가 �칭되어 있어 돔의 정점에서 비드까지 반지름 방향으로 국부적인 연신율을 측정할 수 있다. 그림 10(a)는 무윤활 시의 연신율 분포이고, 그림 10(b)는 비닐+드로잉유를 사용했을 때의 연신율 분포이다. 먼저 재료적인 측면에서 보면 냉연강판의 경우가 A1합금판에 비해 연신율 분포가 균일하고, 최대연신율도 크다. 윤활적인 면에서 보면 무윤활시보다 비닐+드로잉유를 사용했을 때 연신율 분포가 보다 균일하게 되고 크기도 높아졌다. 따라서 성공적인 성형을 위해서는 재료 물성의 개선 뿐만 아니라, 윤활에 대한 연구도 필요하다.

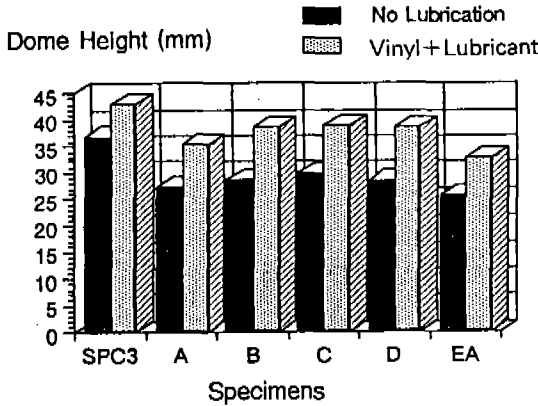


Fig.8 Dome heights after stretch forming test.

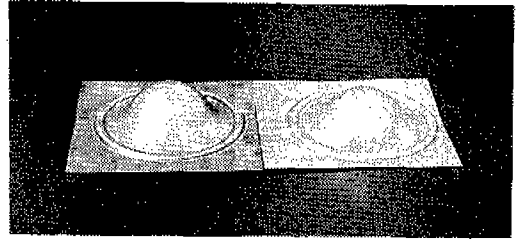
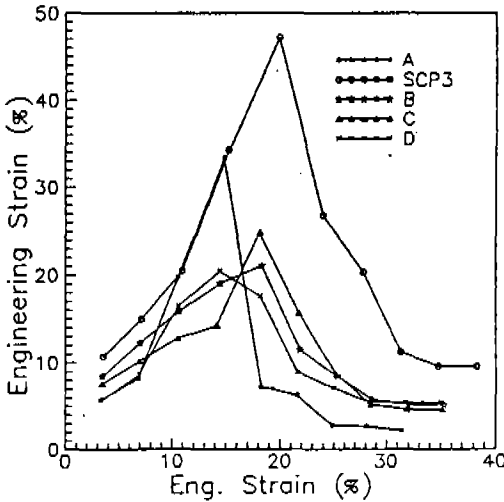
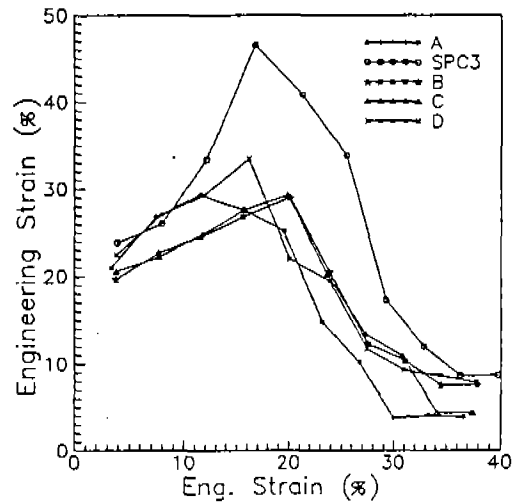


Fig.9 Test specimens after stretch forming test under the vinyl+drawing oil condition(SPC3 : left, SPECIMEN D : right).



(a) No lubrication and



(b) Vynil+drawing oil.

Fig.10 Strain distribution of dome after stretch forming test.

9. 맺음말

차체용 A1합금판의 성형성을 인장시험, 헤밍 시험, 스트레치 포밍 시험 등으로 조사해 보았다. 냉연강판과 비교하여 현재의 차체용 A1합금판은 강도와 연신율 면에서 열세임에 틀림이 없으나, 지속적인 연구개발로 향후 냉연강판에 버금가는 A1합금판이 나오리라 예상된다. 성공적인 A1차체의 성형을 위해서는 A1합금판재의 물성을 향상시키는 작업과 함께 국부변형이 심하지 않도록 하는 차체설계 작업과 금형제작 작업도 동시에 진행되어야 한다.

참 고 문 헌

1. H. Yoshida and S. Hirano, "Properties of Aluminum Alloy Sheets for Auto Bodies". Sumitomo Light Metal Technical Reports, Vol.32, No.1, 1991 Jan., pp.20-31.
2. 권순용, 박석완, 조원석, "차체용 A1합금 판재의 접합방법에 관한 연구", 기아기보, No.16, 1992, pp.85-105.