

자동차 차체용 알루미늄 합금 판재개발

Development of Aluminum Alloy Sheets for Automobol

하 기 윤, 문 경 철, 최 회 수, 강 석 봉
K. Y. Ha, K. C. Moon, H. S. Choi, S. B. Kang



하 기 윤
• 1958년 4월생
• 알루미늄 재료연구
• 대한알루미늄공업 경금속
기술연구소



문 경 철
• 1959년 2월생
• 알루미늄 복합재료 연구
• 대한알루미늄공업 경금속
기술연구소



최 회 수
• 1963년 2월생
• 알루미늄 재료연구
• 대한알루미늄공업 경금속
기술연구소



강 석 봉
• 1950년 4월생
• 알루미늄합금 개발 및
물리야금
• 한국기계연구원

1. 서 론

자동차 경량화는 최근 환경오염 규제에 관한

국제간의 분위기가 강화되면서 선진국을 중심으로 활발하게 연구가 진행되고 있으며 이에 대응한 공해방지 대책 및 에너지 절약 방안으로 엔진의 효율 향상, 설계에 따른 주행중의 공기저항 감소, 차체 경량화 등을 들 수 있다.¹⁻³⁾ 이중 가장 효과적인 방법은 차체 경량화로서 10% 경량화는 약 10%의 연료절감을 가져오는 것으로 보고되고 있다.⁴⁾ 이를 위해서는 현재 차체 및 각종 부품에 사용되고 있는 철강재료를 비강도가 좋은 알루미늄 합금으로 대체하는 것이 필수불가결한 사항이며 선진국에서는 인장강도 30kg/mm², 연신율 30% (30-30합금)의 기계적 특성을 갖는 알루미늄합금을 개발 완료하고⁵⁾ 현재 35-35합금을 개발중에 있다.⁶⁻⁸⁾ Table 1에 선진국에서의 차체부품 알루미늄화 상황을 나타내었다.

한편, 국내에서도 자동차 경량화의 필요성이 인식되어 이에 대한 연구가 본격적으로 추진중에 있으나 현재는 수입소재를 차체에 적용하기 위한 응용기술의 개발정도이며 알루미늄 합금 판재에 대한 개발은 이제 시작단계이다. 차체용 알루미늄합금은 많은 종류가 거론되고 있지만 강도, 성형성, 내식성, 용접성, 표면처리성 및 도장등의 재료 특성에 있어서 기존의 냉연 강판 이상의 성능이 요구되며 이와 함께 시설비 절감을 위하여 현재의 자동차 제조 라인에 적용 가능한 알루미늄 재료 및 그 처리방법이 요구되고 있으며 이 경우

Table 1. Trend of aluminum application to body panel

	제조회사	차 종	부 품	사 용 재 료
서 독	Porsche	928	Hood, Fender, Door	AC120(6016), Al-Mg-Mn계
	Benz	420SEC	Hood, T/Lid	Al-Mg-Mn계
이태리	Ferrari	테스터로사	Hood, Rear Fender	AC120, 5000계
	람보기니	카운다크	Outer panel	5000계, 6000계
영 국	AC Cobra	Cobra	Front outer panel	5000계
	Land Rover	렌나로버	전후Fender	5000계
스웨덴	Volvo	760GLE	Hood, Sun roof	5000계, 6000계
		740GTE	Hood	5000계, 6000계
		440	Door	5000계, 6000계
일 본	Mazda	사반나RX7	Hood	5000계 (6000계)
	Nissan	Fair lady Z	Hood	5000계
		Sky Line	Hood, Front Fender	5000계
	Honda	NSX	All body	5000계, 6000계

Table 2. Future subjects in Al alloy application for automobil

	과 제
재 료 개 발	고연성 재료의 개발(5000계) 저온 도장소부 고경화성재의 개발(6000계)
성형가공기술의 개발 (성형성, 형상성)	알루미늄에 적합한 금형설계 윤활제의 연구 최적 성형조건의 검토
표면처리기술의 개발	강판과 알루미늄 합금판의 동시 화성처리 기술 알루미늄 합금판의 내식성 향상 대책
접 합 기 술	저항 점용접의 연속 타점성 향상 기계적 접합기술 강판과 알루미늄 합금판의 접합(전식 대책 포함)
기 타	양산 대응기술(수송, 흠방지) 보수기술

해결해야 할 과제를 정리하면 Table 2와 같다.

따라서 본 연구에서는 차체용 알루미늄 합금 판재의 제조기술 개발을 위하여 선진국에서 사용하고 있는 알루미늄 합금 판재의 기계적 특성을 평가하여 이를 토대로 자동차 차체용 알루미늄 합금 설계 및 판재제조 기술을 개발하고자 한다.

2. 실험방법

본 연구에서는 알루미늄합금 판재 개발에 앞서 외국에서 사용되고 있는 네 종류의 수입 소재에 대하여 압연방향, 폭방향, 45° 방향으로 인장시험 및 성형성 시험 등의 기계적 성질과 광학현미경을 이용한 조직관찰 그리고 SEM을 이용한 인장시험 후의 파단면을 관찰하였다. 특성평가에 사용된

Table 3. Chemical composition of imported materials

(Unit : wt%)

Specimen	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
I1-0	0.04	0.05	0.09	0.23	5.10	0.01	0.01	0.04	Bal.
I2-0	0.06	0.09	0.36	0.16	4.70	0.05	0.01	0.04	Bal.
I3-0	0.07	0.10	—	0.02	5.60	0.01	—	0.01	Bal.
I4-T4	0.11	0.12	0.19	—	4.56	0.04	0.01	0.01	Bal.

수입소재의 화학조성 분석결과는 Table 3과 같다.

이를 바탕으로 적합한 합금을 설계하고 소형 용해로에서 여러차례에 걸쳐 용해, 합금화처리, 탈가스처리를 통하여 200"×150"×30"(mm)의 Slab를 주조하였다. 이때 첨가원소의 회수를 항상 방안, 탈가스 처리조건 및 적절한 주조조건을 설정하고 열간 및 냉간압연 후에 각종 특성평가를 행하였다. 이와같은 예비실험을 통하여 설계된 Al-7%Mg 합금은 먼저 Al인코트를 용해한 후 Cu, Mn등을 첨가하고 마지막으로 Mg를 첨가하여 회수를 항상을 피하였다. 합금 원소가 완전 용해된 후 Ar가스로 약 10분간 탈가스처리를 행하고 수직 주조기에서 DC방식에 의한 310"×900"×65"(mm)의 Slab를 주조하였다.

이렇게 주조한 Slab를 250"×300"×45"(mm)로 면삭한 후 강제 대류식 열처리로에의 표면의 산화 방지를 위해 Ar가스 분위기로 적절한 온도에서 24시간 균질화 처리를 하였다. 균질화 처리된 Slab는 2단 가역형 압연기를 이용하여 재결정 온도 이상에서 두께 5.0mm까지 열간압연을 행하였으며 4단 가역형 압연기를 사용하여 두께 1.0 mm까지 냉간압연하였다.

압연가공된 판재는 400°C에서 1시간 동안의 0처리와 450°C에서 2분간 가열 후 급냉시키는 T4처리를 행하였다.

이렇게 제조된 판재의 특성평가를 위하여 수입소재의 특성평가방법과 같은 시험들을 행하였다. 열처리 후에 판재에 대하여 인장실험을 행하였으며 판재제조 후 차량에 적용하기 위한 성형성시험을 무운활 상태와 윤활제를 사용하였을 경우로 나누어 성형성을 비교하였다.

열처리 후의 미세조직과 인장시험 후의 파단면을 광학현미경과 주사전자 현미경으로 각각 관찰하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 수입소재 특성 평가

본 실험에 앞서 수입 소재의 특성평가를 위하여 인장시험을 행하였다. Fig.1, 2, 3은 네 종류의 수입소재를 각각 압연방향, 폭방향, 그리고 45° 방향으로 인장시험한 결과를 나타낸다. 시험한 방향별로 보면 Fig.1에서와 같이 압연 방향의 경우 인장강도는 I2-0재가 가장 높았고(29.4kg/mm²) I4-T4재가 가장 낮음을 알 수 있다. 또한 항복 강도는 인장강도와 같이 I2-0재가 14.7kg/mm²로 가장 높았으나 나머지 세 종류는 11.8~12.5kg/mm²로 거의 비슷한 값을 나타내고 있다. 그러나 연신율의 경우에는 I1-0재가 32.1%로 월등히 높음을 알 수 있다. Fig.2는 압연방향에 직각인 폭방향으로 시험한 결과로서 압연방향의 인장강도와 항복강도의 경우와 비슷한 양상을 보였으나 연신율의 경우에는 네 종류의 수입소재 모두 30.3~31.5%의 비슷한 값을 나타내고 있다. 45° 방향의 인장시험 결과는 Fig.3에 나타난 바와 같이 각 소재별 인장강도와 항복강도는 압연 및 폭방향의 결과와 비슷한 값을 보여 주고 있으며 연신율에서는 압연방향에서의 결과와는 다르게 네 종류의 소재가 약간의 차이를 보이거나 또는 비슷한 값을 보여 폭방향의 연신율과 비슷한 경향을 나타내고 있음을 알 수 있다. 수입소재의 소성 이방성을 알아보기 위하여 세 방향의 인장시험을 행한 결과 전체적으로 볼 때 인장강도와 항복강도는 I2-0재가, 연신율은 압연방향에서는 I1-0재, 폭방향 및 45° 방향에서는 I3-0, I4-T4재가 약간 높은 것으로 나타났으나 그 차이는 별로 크지않았다. 이상의 결과로 볼때 네 종류의 수입소재의 소성 이방성은 거의 없는 것으로 보인

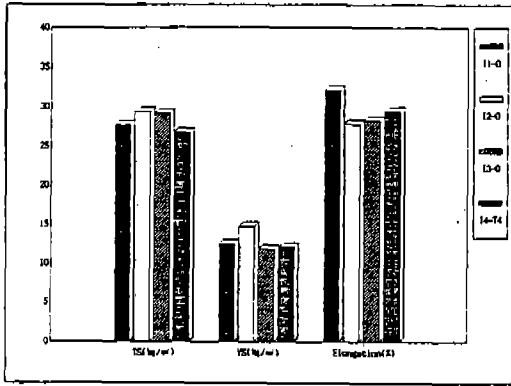


Fig.1 The tensile properties of imported materials with longitudinal direction.

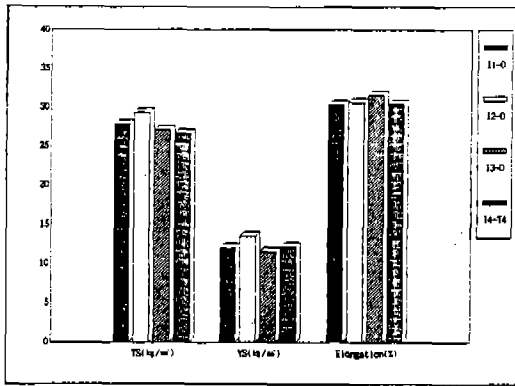


Fig.2 The tensile properties of imported materials with transverse direction.

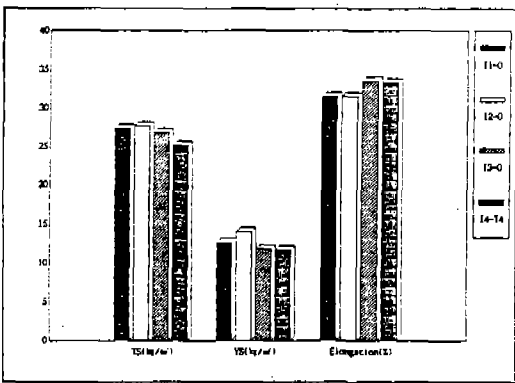


Fig.3 The tensile properties of imported materials with 45° direction.

다.

냉간압연 후 열처리한 수입소재의 미세조직을 광학현미경으로 관찰하여 Fig4에 나타내었다.

결정립의 크기는 네 종류의 수입소재에서 조대하고 미세한 것이 고르게 분포되어 있는 것을 알 수 있으며 이는 강도와 연신율을 함께 미려한 때문으로 사료된다.

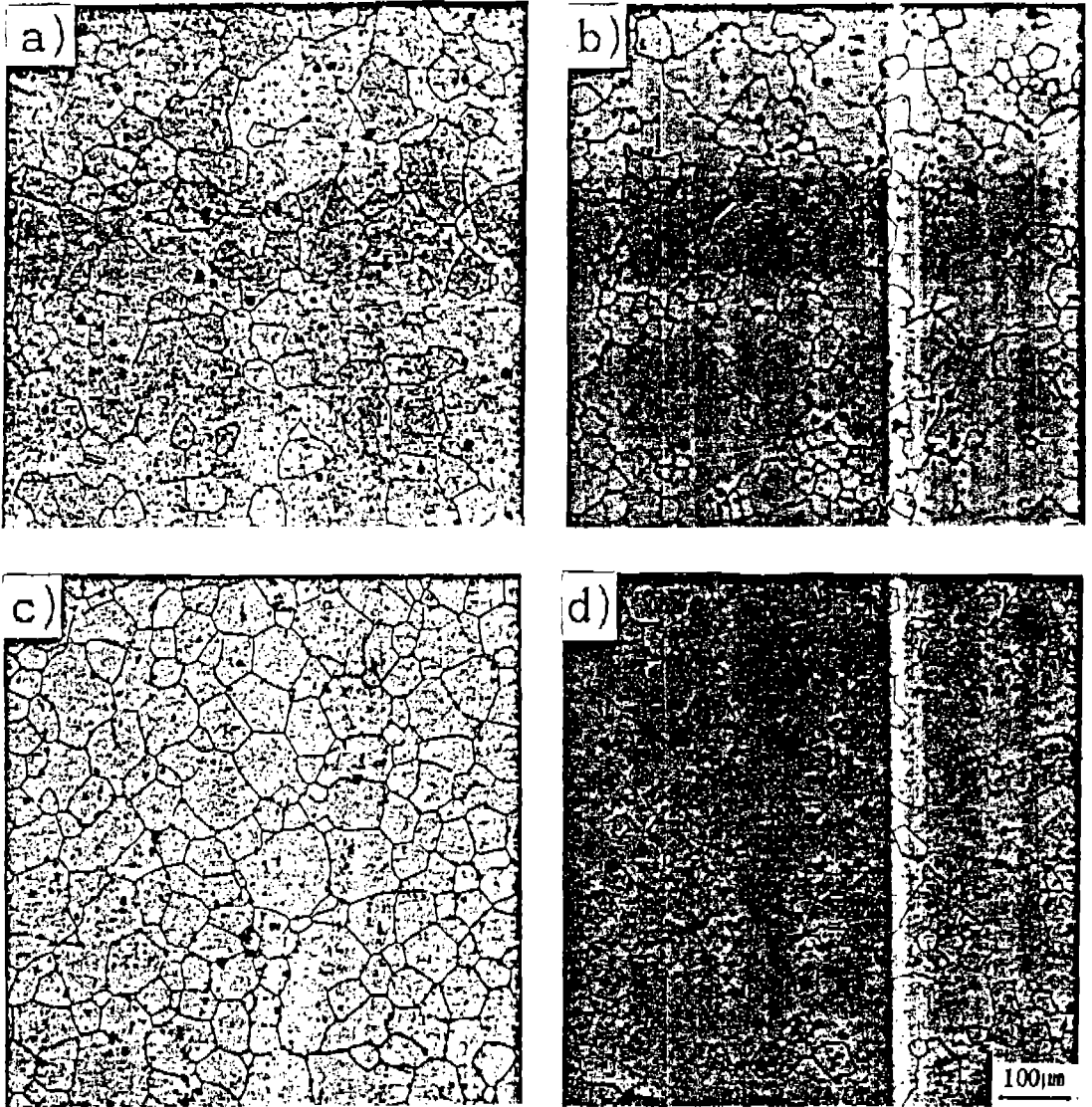
Fig5는 수입소재의 성형성을 알기 위하여 행한 Erichsen 시험 결과이다. 인장강도는 낮으나 연신율이 비교적 좋은 I3-0, I4-T4재가 성형성은 약간 우수하였다. 또한 성형성향상을 도모하기 위하여 성형시 여러가지 윤활제를 사용함으로써 무윤활 상태와 비교하여 약 4.4~7.6% 정도의 성형성 향상의 결과를 가져왔다.

이것은 성형 윤활제가 판 표면에 부착하므로 마찰력을 감소시켜 재료의 변형에 대한 저항력을 줄여주기 때문인 것으로 생각된다. 그러나 Graphit-Fett의 경우 성형 후 완전히 제거하기 위해서는 유기용제를 사용하여야 하는 어려움이 있다. 따라서 성형성 향상제로써 그 효과가 Graphit-Fett와 비슷하고 제거가 용이하며 현재 시판되고 있는 3105A와 개발중인 GT 93-005를 함께 사용하여 비교하였다. 특히 GT 93-005는 그 효과에서는 Graphit-Fett에 못지 않으면서도 사용 후 50°C의 온수로 쉽게 제거되는 이점이 있다. 그러나 생산현장에서 50°C로 가열하여 제거하는 것이 결코 쉬운 일이 아니므로 우수한 효과를 가지면서 상온에서도 제거할 수 있는 성형 윤활제의 개발이 필요한 것으로 사료된다.

이상의 결과를 종합해 보면 강도면에서는 약 28~29kg/mm² 정도로 I1-0, I2-0재가 우수하나 성형성에 있어서는 비록 강도는 떨어지지만 I3-0, I4-T4재가 약간 우수함을 알 수 있다.

수입소재의 인장시험 후 행한 파단면 관찰결과를 Fig6에 나타내었다. 파괴된 양상은 모두 전형적인 dimple 파괴를 보여 주고 있으며 연성 파괴의 경향을 나타내고 있다. 또한 dimple의 크기는 거의 비슷하였으며 이는 Fig4의 조직 사진에서 관찰된 결정립의 크기와도 비슷하였다.

3.2 Al-7%Mg합금의 특성평가



(a) I1-0 (b) I2-0 (c) I3-0 (d) I4-T4

Fig.4 Optical microstructures of imported materials.

Table 4. Chemical composition of manufactured slab by DC casting

(Unit : wt%)

Specimen	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
KA	0.05	0.07	0.07	0.01	7.07	0.01	0.53	0.01	Bal.
KB	0.03	0.14	0.09	0.01	6.85	0.02	0.50	0.01	Bal.
KC	0.04	0.12	0.56	0.01	6.91	0.02	0.76	0.01	Bal.

본 실험에 앞서 소형 용해로에서 금형 주조 하였을 때 주 합금원소인 Mg의 회수율은 75~85%로 낮았으나 합금원소 첨가방법을 개선한 후에는 회수율이 95% 이상으로 향상되었다. 그리고 이때의 탈가스 처리는 Ar 가스를 약 10분 이상 투입하였을 때가 바람직하였다.

이상과 같이 여러차례에 걸친 예비실험을 통하여 세 종류의 Al-7%Mg합금을 DC주조하였으며 이때 이들 합금의 조성은 Table 4와 같다.

DC주조에 의한 Slab 제조시 표면에 급냉에 의한 산화물이 형성되므로 주조온도, 주조속도

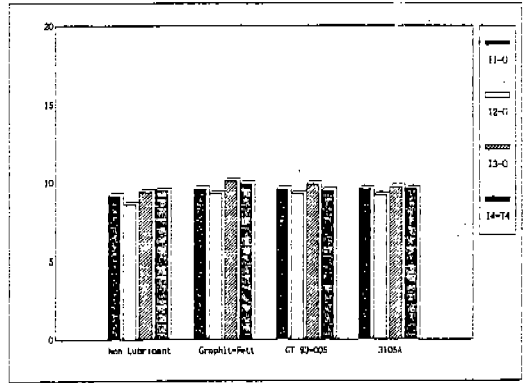
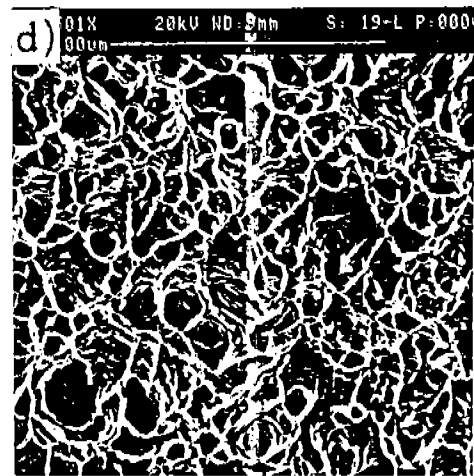
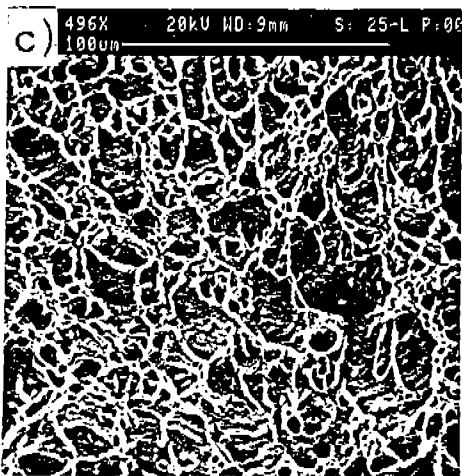
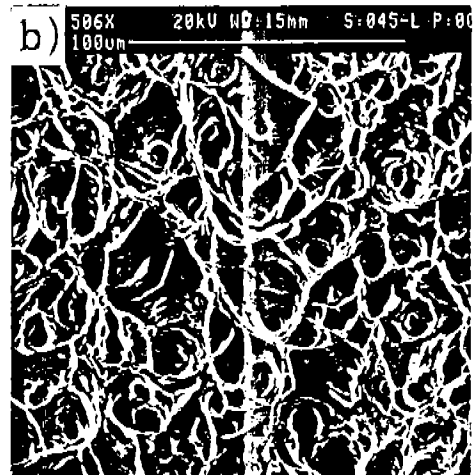
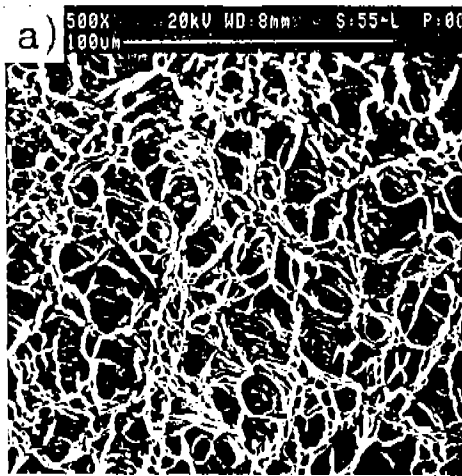


Fig.5 The Erichsen test results of imported materials.



(a) 11-0 (b) 12-0 (c) 13-0 (d) 14-T4

Fig.6 SEM fractography of imported materials with longitudinal direction

및 냉각수량 등을 적절히 조절하여야 하며 이에 대한 연구는 향후 계속되어야 할 것으로 사료된다.

냉간압연한 시료를 0처리 및 T4 열처리를 행한 후 압연방향 및 폭방향으로 시료를 채취 인장 시험한 결과를 Fig.7, 8에 나타내었다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 후속의 열처리에 의해 모든 시료에 있어 냉간압연 상태와 비교하여 인장강도는 크게 감소하였으나 연신율은 매우 증가하였다. 이는 고온에서의 가열에 의해 냉간압연시 집적된 전위밀도 감소 및 재결정화에 기인한 것으로 판단된다.

KA 합금의 경우 0처리와 T4처리시 인장강도 및 연신율에서 모두 비슷한 값을 보여 주었다. 이로써 0처리보다 약간 높은 온도에서 단시간 가열 및 급냉처리에 의해 0처리와 비슷한 효과를 얻을 수 있으나 본 합금의 경우 비열처리형으로 시효경화에 의한 강화효과는 거의 없음을 알 수 있다.

압연방향에서는 인장강도가 모두 31kg/mm^2 정도로 다른 시료에 비해 가장 높았으나 연신율에 있어서는 다른 시료의 32~33% 수준에 비해 약간 낮은 31% 수준을 보여주었다.(Fig.7)

폭방향에서도 모두 32kg/mm^2 이상의 인장강도를 보여 주었으며 압연방향에서와 같이 KC-0재가 35.2kg/mm^2 로 가장 높았고 연신율에 있어서는 KB-0, KC-0재가 33%수준을 보여주는데 반해 KA-0재, T4재는 29~30% 수준을 나타내었다.(Fig.8)

이상의 결과로부터 본 연구에서 개발된 합금을 수입소재와 비교해 보면 압연방향에서 인장강도는 약 $4\sim 5\text{kg/mm}^2$ 정도, 연신율은 약 2% 정도의 향상을 가져 왔으며 폭방향에서는 인장강도가 약 $5\sim 6\text{kg/mm}^2$ 증가하였고 연신율은 약간 향상되었음을 알 수 있다.

KA, KB, KC합금을 0, T4처리한 시편의 미세조직을 광학현미경으로 관찰하여 Fig.9에 나타내었다. Fig.9(a), (c), (d)는 냉간압연 후의 0처리한 조직으로 열처리에 의해 냉간압연시 형성된 연신된 큰 결정립 및 이 결정립에 존재하는 Cliff된 작은 결정립들이 소멸된 다각형의 재결정립을

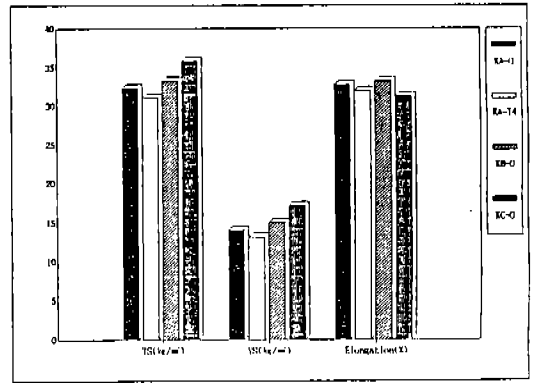


Fig.7 The tensile properties of Al-7% Mg alloys with longitudinal direction.

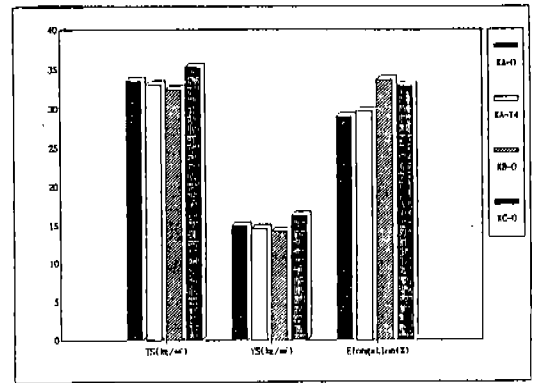


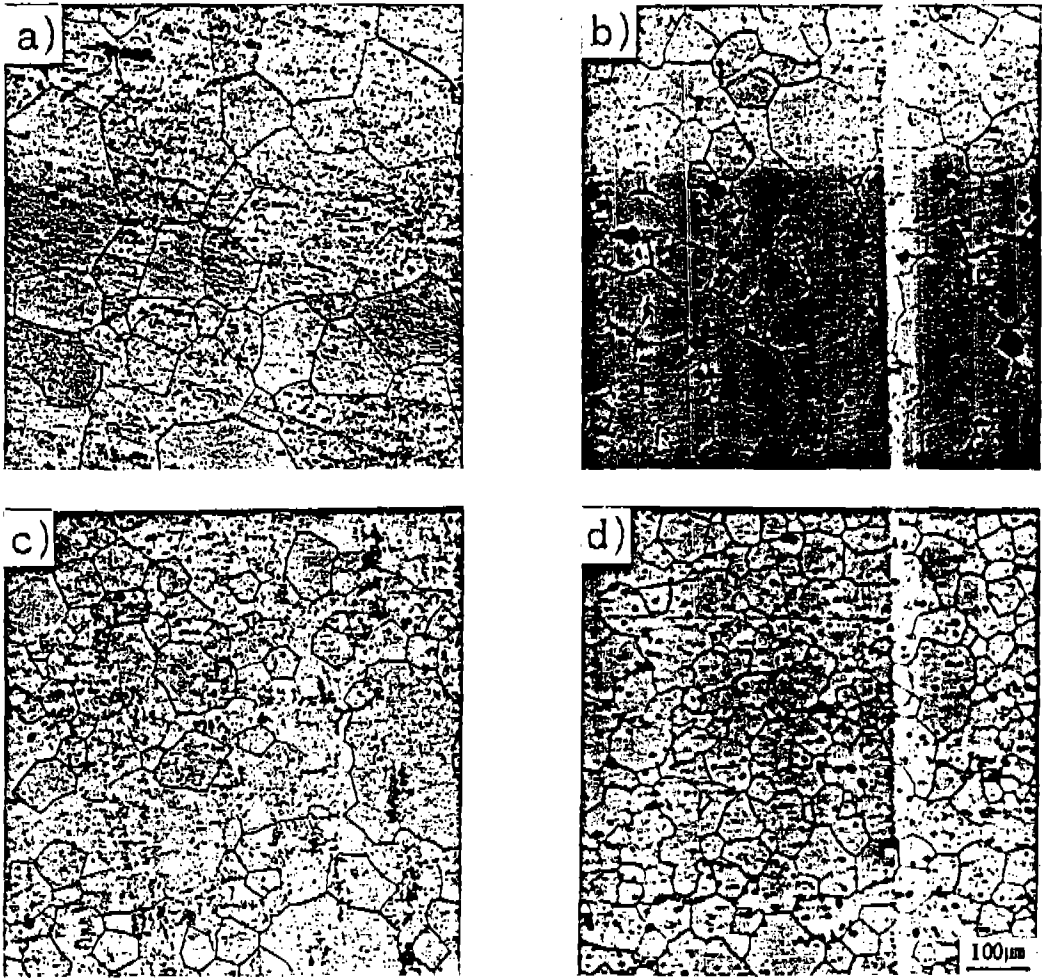
Fig.8 The tensile properties of Al-7% Mg alloys with transverse direction.

보여주며 Mg화합물들이 일부는 입계로 이동하고 일부 입내에도 미세하게 석출되었음을 보여준다. 또한 (d)는 조직이 다른 합금들에 비하여 미세하여 인장강도가 특히 높은 것으로 나타났다.

Fig.9(b)는 KA합금을 냉간압연 후 T4처리한 재료의 조직으로 0처리한 (a)에 비해 결정립이 부분적으로 약간 미세하지만 거의 비슷한 조직을 보여 주며 이는 Fig.7에서 나타난 바와 같이 인장강도 및 연신율에서는 큰 차이가 없는 결과와 잘 일치한다.

두께 1.0mm로 냉간압연후 열처리한 알루미늄 합금 판재의 성형성을 조사하기 위한 Erichsen 시험 결과를 Fig.10에 나타내었다.

무윤활 상태인 경우에는 KB-0재가 8.8mm로



(a) KA-0 (b) KA-T4 (c) KB-0 (d) KC-0

Fig.9 Optical microstructures of Al-7% Mg alloys.

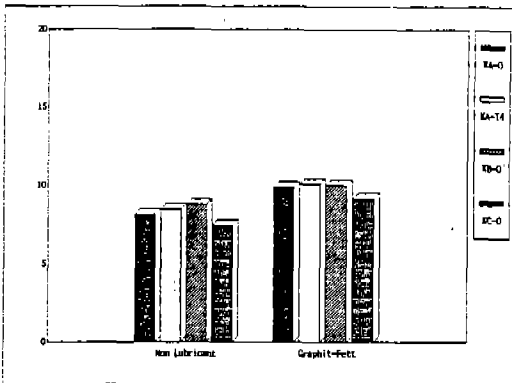
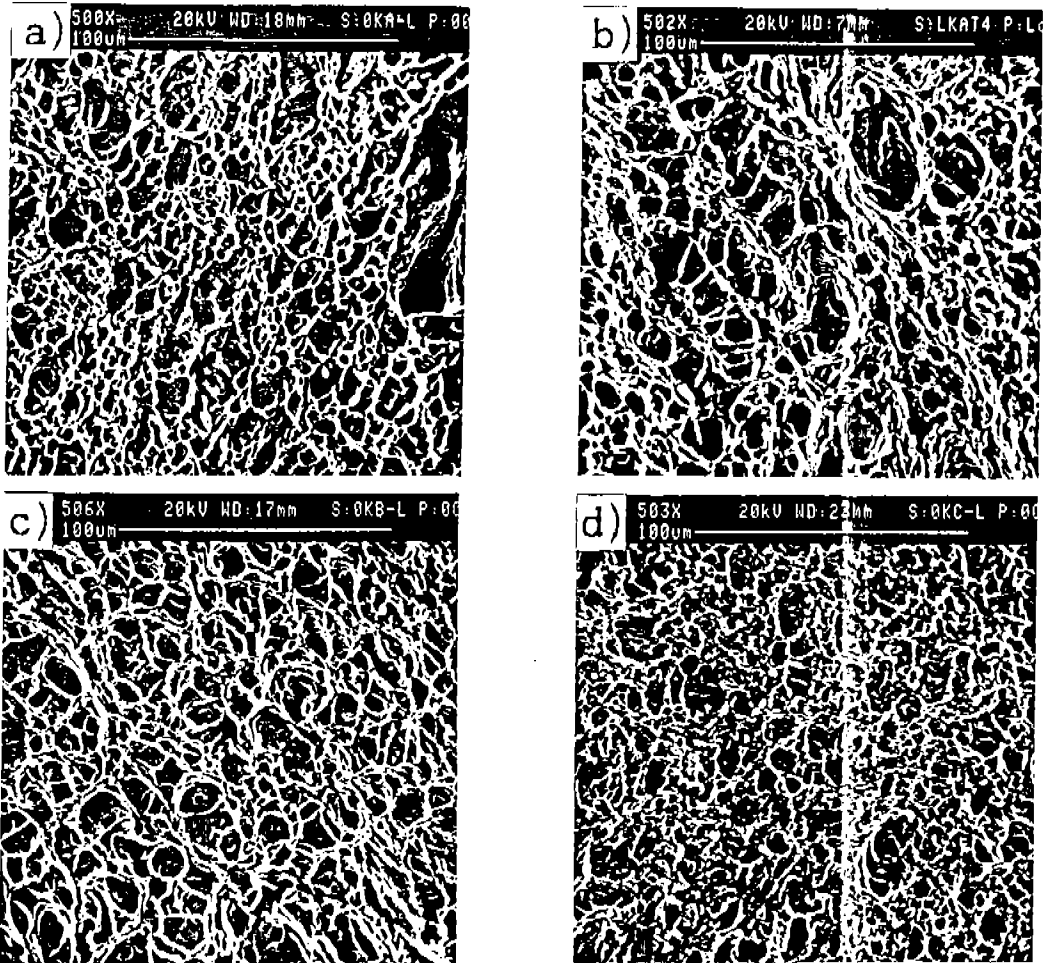


Fig.10 The Erichsen test results of Al-7% Mg alloys.

가장 좋았으며 이는 연신율이 좋은것과 잘 일치한다. 강도가 가장 높은 KC-0재는 다른 것에 비해 성형성이 약간 떨어짐을 보여주며 개발된 합금 모두 수입소재에 비해서는 성형성이 약간 낮은 결과를 보여준다. 성형윤활제인 Graphit-Fett를 사용하였을 때는 KC-0재를 제외한 나머지 합금에서는 9.9~10.1mm로 좋은 결과를 보여주며 KC-0재에 있어서도 윤활제 사용에 의해 성형성이 상당히 개선되었으며 이로부터 소재의 특성에 따라 적당한 윤활제를 사용함으로써 성형성을 개선할 수 있음을 보여준다. 또한 기계적 성질에 있어서 연신율과 성형성이 반드시 비례하지는



(a) KA-0 (b) KA-T4 (c) KB-0 (d) KC-0

Fig.11 SEM fractography of Al-7% Mg alloys with longitudinal direction.

않는 사실로부터 향후 강도, 연신을 및 성형성 사이의 상호 연관성에 대해서도 체계적인 검토가 필요할 것으로 사료된다.

Fig.11은 파괴양상을 관찰하기 위하여 각 합금의 인장시험후의 파단면을 주사전자현미경으로 관찰한 것이다. 모든 시편의 내부가 전형적인 dimple파괴를 보여주어 연성파괴 양상을 나타내고 있으며 (a), (b)는 dimple파괴와 더불어 부분적으로 벽개파괴(Cleavage rupture)양상을 함께 나타내고 있다. (d)의 경우는 (a), (b), (c)에 비하여 dimple의 크기가 약간 작은 것으로 나타났는데 이는 Fig.9에서 나타난 결정립의 크기와 무관하지

않으리라 생각된다. 따라서 조직이 미세할수록, 즉 dimple의 크기가 작을수록 인장강도는 큰 것으로 나타났다.

수입소재의 파단면과 비교하여 보면 모두 연성파괴의 양상을 보여주나 본 연구에서 제조한 합금이 수입소재에 비해 dimple 크기가 작으며 이는 인장실험 결과와 일치하는 것으로 사료된다.

4. 결 론

자동차 차체용의 고 Mg계 알루미늄 합금의 양산 제조기술을 개발하기 위하여 Al-7% Mg 합

금을 DC주조한 후 열간, 냉간압연 및 열처리 후의 특성을 평가하고 수입소재와 비교하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 본 연구에서 개발된 합금의 기계적 성질은 인장강도 30kg/mm², 연신율 30% 이상으로 수입소재보다 강도 및 연신율은 우수하였으나 성형성은 약간 낮았다.
- 2) 개발된 합금의 성형성은 무윤활 조건에서는 수입소재에 비해 약간 떨어지나 성형 윤활제를 사용하였을 경우에는 오히려 상당한 성형성 향상효과를 얻었다. 그러나 성형후 윤활제 제거가 문제였다. 따라서 향후 성형 윤활제에 대한 연구도 진행되어야 할 것으로 사료된다.
- 3) 파괴양상은 수입소재의 경우 모두 연성과 파괴를 보여주고 있으며 개발된 합금의 경우 대체로 연성과파괴양상을 보여주나 일부 합금은 부분적으로 벽개파괴를 포함하고 있다.
- 4) 동일 합금계를 이용 조성 및 제조공정에 따라 소재의 성형성과 강도를 적절히 조합 하므로써 소재의 사용요구 조건에 따른 적합한 알루미늄 합금 판재를 제조할 수 있음을 확인하였다.

이상의 결과로부터 자동차 차체용의 고 Mg계

알루미늄 합금 판재개발의 가능성을 확인하였으나 향후 광폭 판재를 제조하기 위해서는 대형 Slab주조방안, 압연시의 가공성 향상등 판재 제조기술은 물론 성형성, 용접성 및 표면 처리성등 응용기술에 대한 연구도 활발히 진행되어야 할 것으로 사료된다.

후 기

본 연구는 과학기술처에서 시행한 특정연구개발 사업의 연구결과임.

참 고 문 헌

1. 池 健治 : Al-ある5.6(1991) 11
2. 細見彌重 : アルミウム 659, 1
3. 仲田功 : アルトピア 11(1990) 147
4. 近田敏弘 : Al-ある 5.6(1991) 17
5. 細見彌重 : 住友輕金屬技報 1(1991) 1
6. 日野光雄 : アルトピア 12(1989) 9
7. T. Sato, Y. Kojima, and T. Takahashi : Metallurgical Transaction A 13A, AUGUST(1982) 1373
8. G. A. Henshall, M. E. Kassner, and H. J. Mcqueen : Metallurgical Transaction A 23A MA-RCH(1992) 881