

자동차 차체용 알루미늄 합금 판재의 기계적특성과 부식피로수명

박 인 덕* · 윤 옥 남** · 남 기 우***
(97년 3월 11일 접수)

A Mechanical Properties and Corrosion Fatigue Life of Aluminum alloy sheets for Autobodyes

In-Duck Park* · Ok-Nam Yoon** · Ki-Woo Nam***

Key Words : Plastic strain ratio(소성변형율비), Work hardening exponent(가공경화지수), Mechanical properties(기계적성질), Fatigue(피로), Spot Weld Joint(스팟용접부), Fatigue Life(피로수명), Corrosion solution(부식액), Dewpoint corrosion(노점 부식 현상)

Abstract

The objective of this study is to compare the mechanical properties of 6000 series *Al-Mg-Si* aluminum alloy (*AC120*) with 5000 series *Al-Mg* aluminum alloy (*TG25*), and to investigate the influence of corrosion solution for fatigue life

Comparing of *TG25* and *AC120* alloy sheets, *TG25* alloy sheets showing higher plastic strain ratio and total elongation have better formability than *AC120* alloy sheets. The hardness of nugget area was a little higher than that of base metal area and the columnar structure and dendritic structure was observed in nugget area. Also, grain coarsening was observed in *HAZ*(Heat Affected Zone). In a corrosion fatigue experiment, the fatigue life decreased as concentration increased, when a dipping time was constant. The fatigue life decreased as dipping time increased, when a concentration was constant.

1. 서 론

알루미늄합금은 경량으로서 가공성과 기계적성질이 뛰어나기 때문에 공업재료로서 널리 사용되

고 있다. 이러한 경량성 때문에 자동차업계에서도 환경보호와 기업의 경쟁력 강화를 위하여 연비향상을 도모하고 있다^{1,2)}. 연비향상을 위한 연구는 엔진성능의 개선, 설계 및 디자인 개발, 차량의

* 부경대학교 대학원

** (주)유니승산업 기술연구소

*** 부경대학교 재료공학과

경량화이다. 이 중에서 차체 경량화가 가장 효과적인 것으로 활발한 연구가 진행되고 있으며³⁾, 알루미늄과 복합재료가 검토되고 있다^{4,5)}. 알루미늄의 경우 소재의 원가가 비싸다는 단점이 있지만, 기존 생산설비의 사용가능성과 재활용이 가능하다는 점에서 복합재료보다 더욱 활발하게 연구되고 있다⁶⁾. 알루미늄의 특징은 현재 사용되고 있는 철강에 비해 비중이 약 1/3인 2.7정도로서 경량화 목적에 부합되고, 적당한 연신률과 합금 첨가 및 열처리에 의해 고강도를 얻을 수 있는 특징이 있다⁷⁾. 자동차 차체용 재료에서는 여러 가지 복잡한 형상으로서의 성형이 가능한 성형성과, 재료접합을 위한 용접성, 적당한 충돌 등에 견딜 수 있는 강도를 지니는 안정성, 가동중에 작용하는 피로특성⁸⁾, 표면처리성, 부위에 따라서는 열적안정성 등의 여러 가지 특성이 요구된다.

따라서 본 연구에서는 현재 자동차 차체용 재료로 사용되어지고 있는 6000계 알루미늄 합금인 AC120과 5000계 알루미늄 합금인 TG25를 사용하여 간단한 기계적 특성과 조적을 조사함으로써 직접 성형시험을 실시하지 않고 성형성을 예측하고자 하였다. 그리고, 두재료의 부식 피로 특성을 알아보기 위하여 H_2SO_4 와 $NaOH$ 수용액을 선택하여 침지시간에 따른 피로 수명을 조사하여 부식 환경의 영향도 조사하였다.

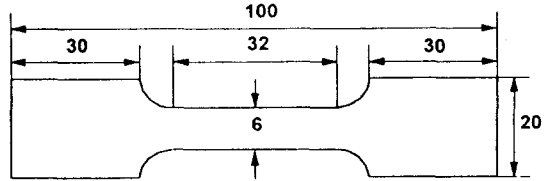
2. 실험 방법

2.1 시험편

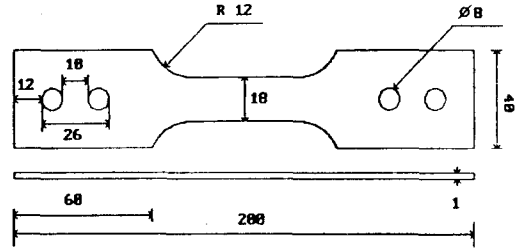
본 연구에 사용된 소재 중 AC120은 Alusuiss사에서 개발한 6000계 알루미늄 합금판이고, TG25는 Sky-Aluminum사에서 개발한 5000계 알루미늄 합금판이다. 실험에 사용된 시험편은 냉간압연 후 최종 두께가 1mm이고, T4처리를 행한 상태로 시판되고 있는 소재 (*as-received*)를 가지고 가공하였다. 두 합금의 화학적 조성은 Table 1에 나타내었고, 시험편의 형상과 치수는 Fig.1의 (a), (b), (c)에 나타내었다. 이 때 스폿용접 시험편은 Table 2와 같은 용접 조건으로 너겟직경이 $\phi 6$ 이 되도록 하였다.

Table 1 Chemical composition(% wt) of the tested materials

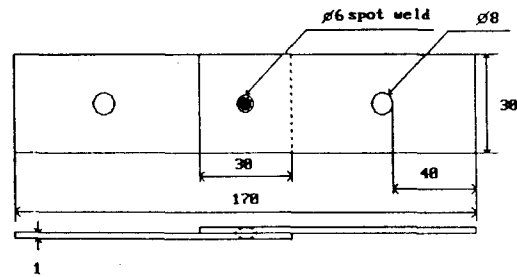
Alloy	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti
TG25	0.07	0.10	-	0.02	5.60	0.01	-	0.01
AC120	1.25	0.25	0.07	0.07	0.40	0.20	0.01	0.01



(a) Tensile test specimen



(b) Plate specimen



(c) Spot welding specimen

Fig.1 Specimen geometries ; All dimensions in mm

Table 2 Spot welding condition

Alloy	Total welding time (6 cycle/sec)		Welding current kA	Welding force N
	Squeeze time	Welding time		
TG25				
AC120	2	4	24	1961.4

2.2 모재의 기계적성질 및 조직관찰

합금판의 물성치는 as-received상태(T4열처리 상태)의 Fig.1(a) 시험편을 사용하여 만능시험기의 crossedhead speed 2.5mm/min으로 시험한 후 구하였다.

미세조직관찰은 경면연마한 후, *keller*(92ml H₂O + 6ml HCl + 2ml HF) 부식액을 사용하여, 표면과 단면, 그리고 측면, 세 방향 모두를 부식시킨 후, 광학현미경을 통하여 미세조직을 관찰하였고, 주사전자현미경 (SEM)을 통하여 파단면과 개재물을 관찰하였다. 그 후 개재물의 성분을 분석하기 위하여, 에너지 분산 X-선 분광법 (EDS)을 이용하여 EDS mapping 및 개재물의 성분을 정량분석 하였다. 또한 단위면적당 개재물의 수와 크기 분포를 측정하기 위하여, 영상분석기를 사용하여 400배의 배율로 4곳을 임의로 선택하여 두 소재의 표면조직을 영상 분석하였다.

2.3 용접재의 조직 관찰 및 경도 조사

용접재에 대하여 너겟중심부를 통하는 단면에서 현미경 조직을 관찰하였다. 현미경 조직을 관찰하기 위하여 단면이 보이게 절단한 후, 이들 시험편의 단면을 초음파 세척기로 세척하였다. 시험편은 경면연마한 후 모재와 같은 부식액을 사용하여 부식시켜 관찰하였다.

경도의 조사는 마이크로 비커스경도기를 사용하여, 너겟 중심부를 통하는 단면의 용융부 중심에서 각각 0.3mm, 0.65mm 떨어진 부분을 0.5mm 간격으로 측정하였다. 이때 압입하중은 0.49N으로 하였다.

2.4 부식 피로 시험

Fig.1(b), (c) 시험편을 사용하여 산 용액과 알칼리 용액에 침지시킨 후 부식 피로 강도를 구하였다. 산 용액으로는 H₂SO₄, 알칼리 용액으로는 NaOH를 사용하였다. 이 때 부식 조건은 H₂SO₄부식 실험에서는 농도를 10%, 20%, 30%, 40%로 하여 10분간 침지하였고, 특히 H₂SO₄의 농도가 40%일 때는 침지 시간을 5분, 10분, 20분, 30분의 네 가지로 실험

을 행하였다. NaOH부식 실험에서는 농도를 1%, 5%, 10%로 하여 10분간 침지하였고, 특히 NaOH의 농도가 10%일 때는 침지 시간을 5분, 10분, 20분, 30분의 네 가지로 실험을 행하였다. 그리고 부식액에 침지 후의 피로시험은 최대하중 10ton의 피로시험기를 사용하였으며, 부하 응력 범위는 평활재의 경우 $\Delta\sigma = 156.9MPa$, 용접재의 경우 $\Delta\sigma = 26.5MPa$, 응력비는 $R=0.1$, 부하 하중 파형은 정현파로 하였다. H₂SO₄ 부식용액에서는 모재와 용접재를 침지한 후 피로 실험을 행하였고, NaOH부식용액에서는 용접재만 침지한 후 피로 실험을 행하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 평활재의 기계적 특성 및 조직관찰

Alustüss사의 6000계 합금인 AC120과 Sky-Aluminum사의 5000계 합금인 TG25의 기본적인 물성치를 평가하기 위하여 인장시험을 실시하였다. 인장시험을 통하여 얻어진 물성치를 Table 3에 나타내었다. 여기서 T.S.는 인장강도, Y.S.는 항복강도, T.E.는 전연신율, U.E.는 균일연신율, L.E.는 국부연신율, n는 가공경화지수, r은 소성변형율비를 나타낸다. TG25는 현재 시판되는 5000계의 다른 판재와 거의 비슷한 인장강도와 항복강도를 보이나, 연신율이 약 2% 정도 우수한 특성을 보였다. AC120은 Alcan사에서 개발한 6111합금⁷⁾보다 인장강도와 항복강도는 낮지만, 연신율이 약 3%정도 우수하여 6000계 합금의 단점인 성형성이 많이 개선된 것으로 나타났다.

Table 3 Tensile properties of Al alloys

Alloy	Direction	T.S.(MPa)	Y.S.(MPa)	T.E.(%)	U.E.(%)	L.E.(%)	n	r
TG25	0°	296.9	122.2	32.3	29.2	3.1	0.32	0.71
	45°	275.2	118.7	32.5	28.8	3.7	0.32	0.70
	90°	275.0	119.8	32.9	28.9	3.7	0.32	0.70
AC120	0°	226.6	119.9	27.8	22.2	5.6	0.23	0.66
	45°	221.9	116.6	30.3	24.8	5.5	0.24	0.50
	90°	222.7	113.2	27.8	22.9	4.9	0.24	0.66

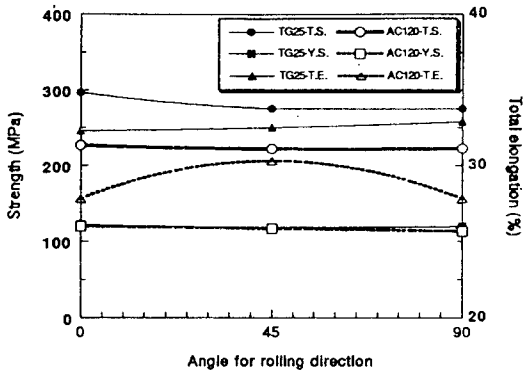


Fig.2 Mechanical properties of Al alloys

또한 AC120과 TG25를 비교하여 보면, Fig.2에서 보는 것과 같이 두 소재 모두 항복강도는 약 120MPa 정도로 비슷하였다. TG25의 연신율은 압연방향과 관계없이 거의 균일한 것으로 나타났으며, 압연방향과 평행한 0° 방향과 압연방향과 수직인 90° 방향에서는 AC120보다 약 4~5%정도, 45°에서는 3%정도 우수하였다. 인장강도는 TG25가 AC120보다 약 50MPa정도 더 높지만, 6000계인 AC120은 T4처리상태로써, 먼저 스탬핑 가공 후 소부경화(baking hardening : 시효경화현상)처리를 통하여 고강도를 얻을 수 있는 특성을 가지고 있다. 대체로 전연신율이 높은 소재가 성형성이 우수한 것으로 알려져 있는데⁸⁾, 위와 같은 결과에서 TG25가 AC120보다 더 우수한 성형성을 나타낼 것이라고 생각된다.

그리고, 강판에서 장출성형성과 덤드로잉성의 척도가 되는 것으로 알려진 가공경화지수 'n'과 소성변형률비 'r'는 Table 3에 나타낸 것과 같이 n값과 r값은 TG25가 AC120보다 각각 약 0.1정도 더 높게 나타났다. 그리고 r값의 경우, AC120은 방향에 따라 값이 변하였지만, TG25는 방향에 관계없이 균일한 경향을 나타내었다. 그리고, 이방성의 정도를 나타내는 Planar strain ratio (Δr)와 평균소성변형률비 (average strain ratio, \bar{r})¹⁰⁾는 식(1)과 식(2)에서 얻어진다.

$$\Delta r = \frac{r_{90} + r_0 - 2r_{45}}{2} \quad (1)$$

$$\bar{r} = \frac{r_0 + 2r_{45} + r_{90}}{4} \quad (2)$$

여기서, Planar strain ratio (Δr)은 '0'으로 수렴할수록 등방성(방위와 무관하게 전반적으로 균일한 특성을 나타냄)을 나타내는 것을 의미하고, 평균소성변형률비는 높을수록 성형성이 우수한 것을 의미한다.

식(1)과 (2)를 통하여 얻은 AC120과 TG25의 planar strain ratio (Δr)과 평균소성변형률비를 Fig.3에 나타내었다. Planar strain ratio (Δr)은 TG25의 경우 0.02로 AC120의 0.16보다 '0'으로 수렴하여 있으며, 평균소성변형률비 역시 더 높은 값을 보이고 있다. 이와 같은 결과를 볼 때, TG25가 AC120보다 우수한 성형성을 가지고 있음을 알 수 있다. 이상과 같이, 성형에 대한 직접적인 시험이 아닌, 간단한 인장시험을 통하여 두 소재의 성형성을 추측할 수 있다.

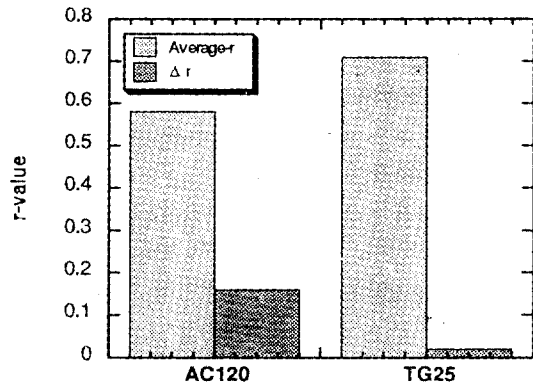
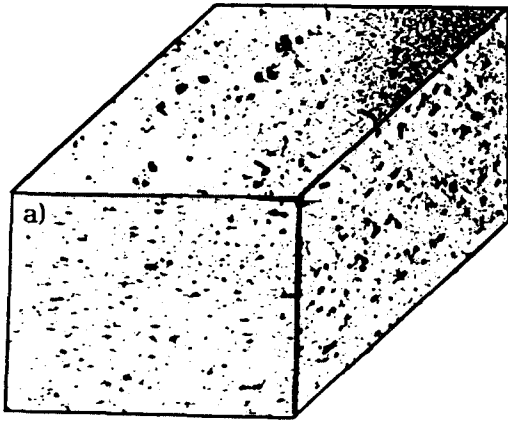
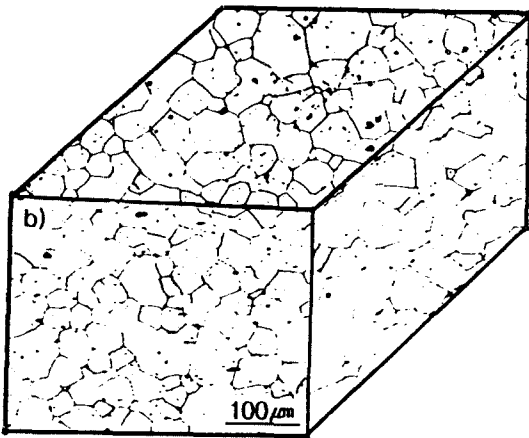


Fig.3 \bar{r} -average and Δr of Al alloys

광학 현미경 관찰을 통하여 얻은 두 소재의 미세조직을 Fig.4에 나타내었다. Fig.4의 (a)는 AC120의 미세조직사진으로 표면과 측면부위에서 압연방향을 따라 배열된 재료물들과 편석대를 관찰할 수 있었고, 아직 재결정에 의한 결정의 성장은 거의



(a) AC120



(b) TG25

Fig.4 The optical microstructure of Al alloys

찾아볼 수 없었다. Fig.4의 (b)는 TG25미세조직사진으로 AC120과 같이 압연방향을 따라 배열된 개재물들과 편석대를 관찰할 수 있었고, AC120과는 달리 재결정에 의하여 형성된 결정들을 분명히 관찰할 수 있었다. 그리고 AC120과 TG25의 가장 큰 차이점은 광학현미경사진을 통하여도 뚜렷이 알 수 있듯이, AC120이 TG25보다 압연방향을 따라 배열된 개재물들의 크기와 수가 훨씬 조대하고 많다는 것이다. 이것을 확인하기 위하여 두 소재의 표면을 영상 분석하여 개재물의 크기와 수의 분포

를 조사하였다.

영상분석기를 이용하여 분석한 결과를 Fig.5에 나타내었다. Fig.5에서 AC120은 170여개의 개재물을 볼 수 있었고, 이에 반해 TG25는 약 1/3인 50여개의 개재물을 볼 수 있었다. 그리고 AC120의 가장 큰 개재물의 크기(면적)는 약 $267.1\mu\text{m}^2$ 이고, TG25는 약 $106.3\mu\text{m}^2$ 이었다. 또한 AC120에는 $10\mu\text{m}^2$ 이하의 미세한 개재물들이 많이 존재하였고, $10\mu\text{m}^2$ 이상 크기의 개재물도 TG25보다 더 많이 존재하는 것을 관찰할 수 있었다. 이와같은 결과는 Fig.4의 결과와도 잘 일치하였다.

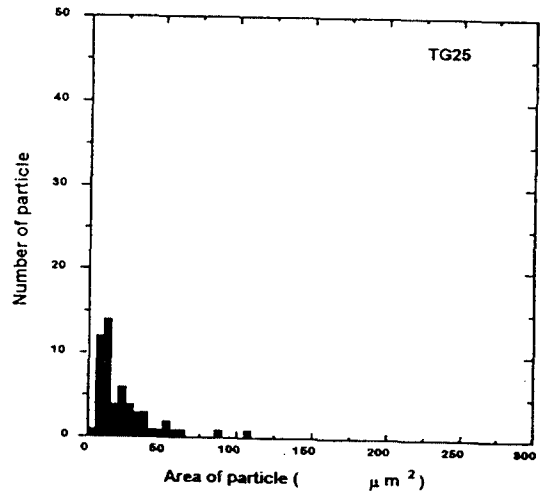
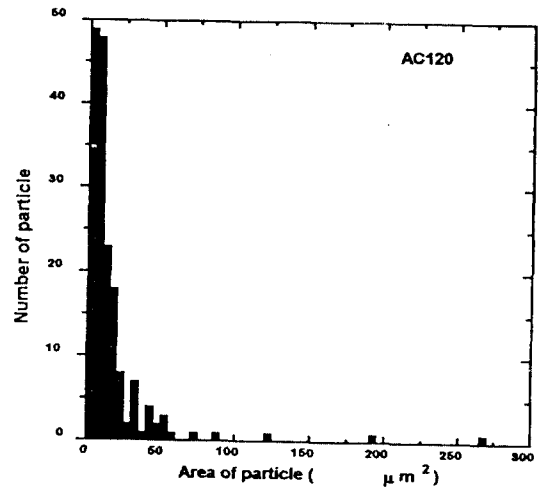


Fig.5 Distribution of particles in AC120 and TG25

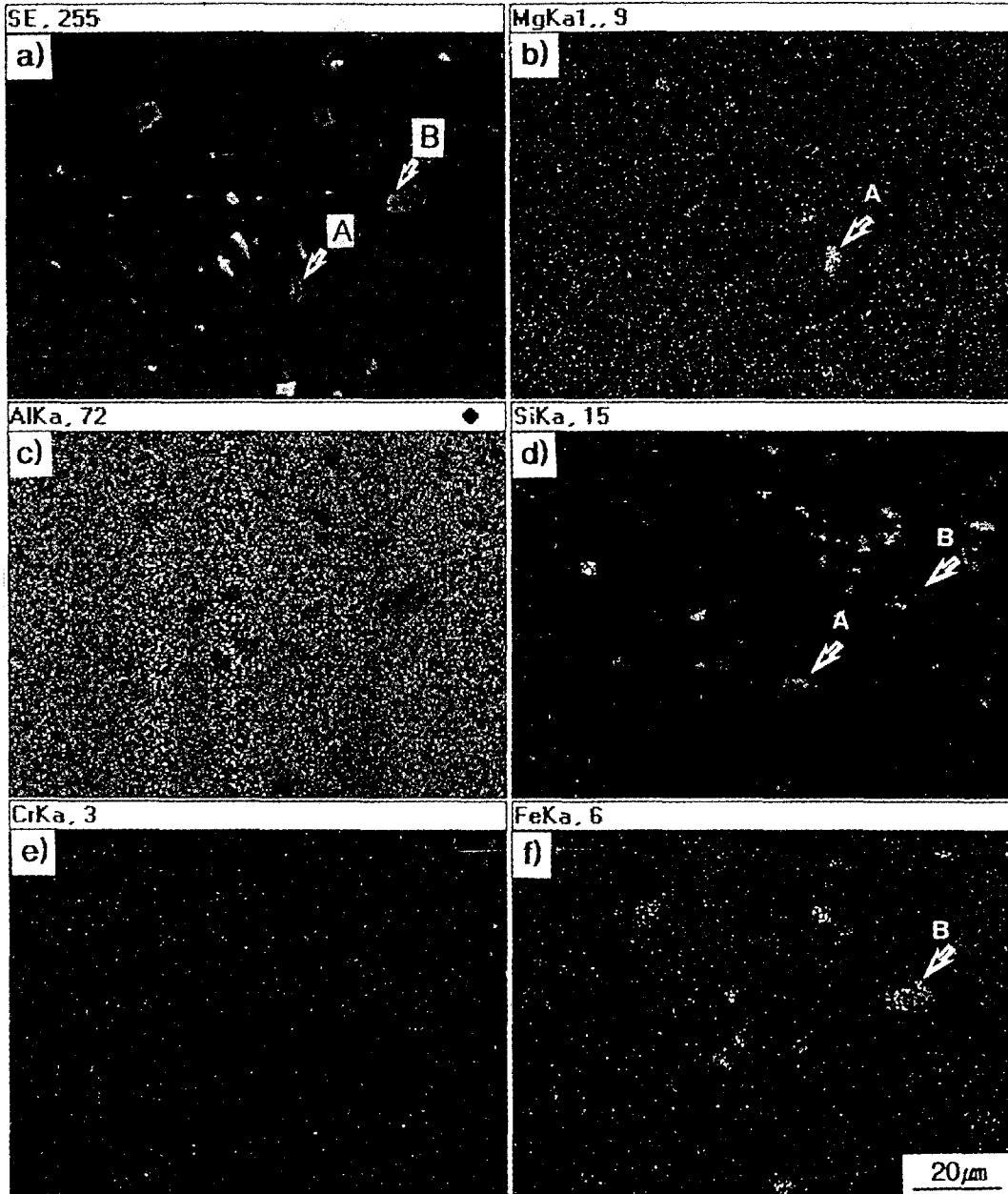


Fig.6 SEM image and EDS mapping of inclusions in AC120

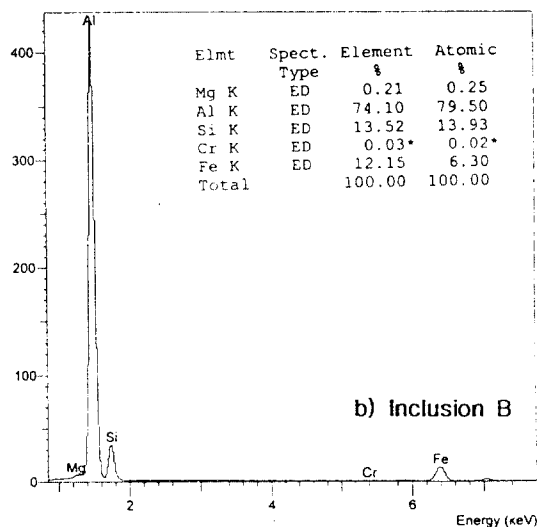
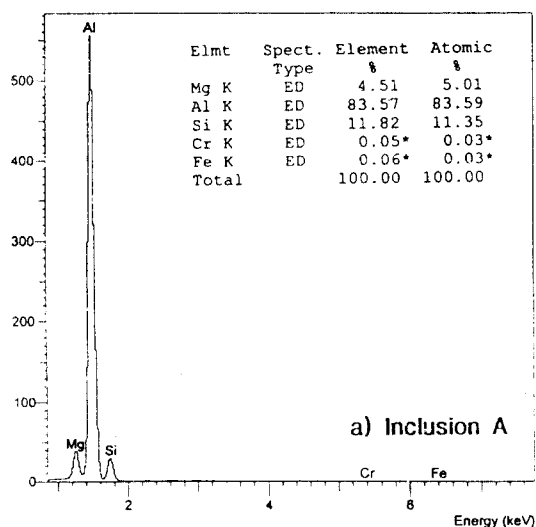


Fig.7 EDS of inclusion in AC120

Fig.6, Fig.7은 AC120과 TG25합금에 대한 주사전자현미경 및 에너지 분산 X선 분광법 분석(EDS)결과이다. EDS mapping은 조사를 원하는 성분원소의점(highlight dot)분포로써 나타내는 것이다.

Fig.6은 AC120의 주사전자현미경 광학상 및 EDS mapping결과로서, Fig.6 (a)에는 분명하게

구분되는 두 개의 개재물 A와 B를 관찰할 수 있다. 이 두 개재물의 성분은 EDS mapping 결과 (b)~(f)에서 볼 수 있듯이, 개재물 A는 주로 (b)의 Mg과 (d)의 Si이 많이 나타나고, 그 외(e)의 Cr과 (f)의 Fe는 나타나지 않는 것을 볼 수 있었다. 개재물 B는 (d)의 Si과 (f)의 Fe가 나타나고, (b)의 Mg이나 (e)의 Cr등은 거의 나타나지 않는 것을 볼 수 있었다.

Fig.7은 개재물 A와 B에 대한 EDS정량분석 결과이다. Fig.6의 EDS mapping결과와 같이, 개재물 A에서는 Al, Mg, Si의 피크(pick)가 나타나고, Cr이나 Fe등은 거의 나타나지 않았다. 개재물 B에서는 Al, Si, Fe의 피크가 나타나고, Cr이나 Mg는 거의 나타나지 않았다. 이와 같은 결과에서, 개재물 A는 Mg-Si의 화합물, 개재물 B는 Al-Si-Fe의 화합물임을 알 수 있었다.

지면관계상 TG25의 주사전자현미경 광학상과 EDS mapping결과 그림은 생략하지만, TG25의 광학상에도 AC120과 같은 A와 B의 두 개재물을 관찰할 수 있었다. 이것들에 대한 EDS mapping결과는 AC120과 같이 개재물 A는 Mg과 Si가 많이 나타났고, 개재물 B는 AC120과는 달리 Si는 나타나지 않고, Fe만이 두드러지게 나타나는 것을 관찰할 수 있었다. 개재물 A와 B에 대한 EDS정량분석 결과, AC120의 EDS mapping결과와 같이, 개재물 A에서는 Al, Mg, Si의 피크가 나타났고, 개재물 B에서는 Al, Mg, Fe의 피크가 두드러지게 나타났다. 이 결과에서, TG25는 5000계(Al-Mg)알루미늄 합금으로 Si가 첨가되어 있지 않지만, A영역에서 Si의 피크가 나타난 것은 TG25합금 제작시 알루미늄원자재에 불순물로 첨가되어 있던 Si가 A영역에서 집중적으로 나타난 것으로 생각된다. 또한 EDS정량분석 결과를 통하여 TG25의 개재물 A는 Mg-Si의 화합물이고, 개재물 B는 Al-Fe로 이루어진 화합물임을 확인하였다.

이상과 같은 미세조직관찰 결과를 근거로 인장 시험을 통하여 얻었던 물성치 중 연신률의 차이를 분석하여 보면, AC120의 연신률이 TG25에 비하여 낮은 것은 압연방향을 따라 배열된 개재물이 TG25에 비하여 AC120에 더 많이 존재하고, 조대하기 때문이라 생각할 수 있다. 또한, 이러한 현상

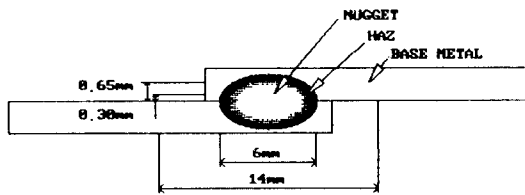
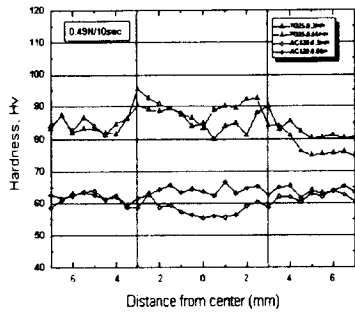


Fig.8 Hardness distribution in cross section through negget center

은 단순히 연신률에만 영향을 미치는 것이 아니라, 성형성과도 밀접한 관계가 있는 것으로 생각되어진다.

3.2 용접재의 경도 및 조직 관찰

Fig.8은 너겟부를 관통하는 단면상에서 측정된 경도 분포를 나타낸 그림이다. 경도 측정은 접합부 중심에서 각각 0.3mm, 0.65mm 떨어진 두 곳을 측정하였다. TG25 알루미늄 합금의 경우는 너겟부에서의 경도는 모재보다 약간 높게 나타나고 있으나, AC120 알루미늄 합금의 경우는 중심에서 0.65mm 떨어진 곳의 경도분포는 TG25의 경우와 같은 경향을 보이고 있지만 보다 용융부에 가까운 0.3mm 되는 곳의 경도분포는 용융부가 모재보다 조금 낮은 경향을 보였다. 이러한 이유는 AC120 알루미늄 합금은 6000계 합금으로서, 이들 합금이 강화되는 이유는 금속간 화합물인 Mg_2Si 가 석출되기 때문

이다. 일반적으로 6000계 합금은 금속간 화합물인 Mg_2Si 가 석출되어 강도가 증가한다. 이렇게 $Al-Mg_2Si$ 합금에서 강도가 증가하는 것은 전위가 석출물 사이를 이동할 때 $Mg-Si$ 결합을 파괴하는데 많은 에너지가 필요하기 때문이다. 6000계 합금에서 최대 경도를 얻으려면 빠른 쿨칭을 하여야 한다. 또, 낮은 온도에서 오랫동안 (135℃에서 150시간)처리하여야 최대 경도를 얻을 수 있다¹¹⁾. 용접시 온도가 용융 온도에까지 도달하기 때문에 특별한 열처리를 해주지 않은 용접재의 너겟부분과 열영향부에는 이들 용융열의 영향에 의해서 석출되어 있던 Mg_2Si 가 다시 용융(6000계 합금에서 알루미늄의 Mg_2Si 고용도는 공정 온도에서는 1.85%이나 상온에서는 약 0.1%로 감소된다.)되어 이전의 열처리 효과가 없어져 경도가 떨어진 것이라 생각된다.

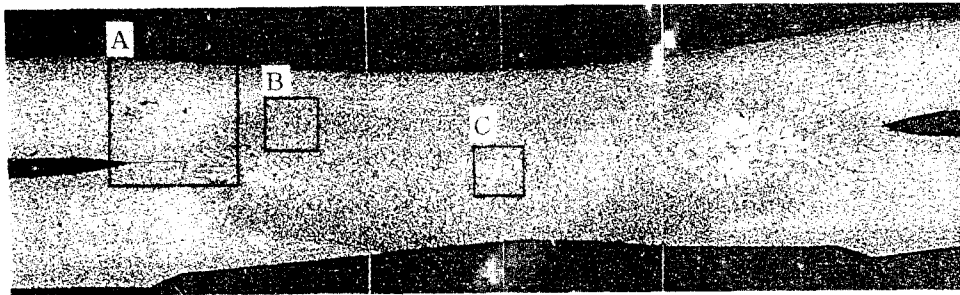
본 실험에서 사용한 AC120의 알루미늄 합금 스폿용접재에서 너겟중심을 지나는 단면에서의 너겟형상을 금속현미경으로 관찰하였다. 그 결과를 Fig.9에 나타낸다. 현미경 조직 관찰에서 너겟부에서는 주상정 또는 수지 상정으로 결정이 발달하여 있고 계재물이 편석 되어 있다. 용해되지 않은 너겟주위의 열영향부에서는 결정립의 조대화가 발달하여 있다. 또 이 부분에서는 부식하기 쉬운 반점이 많이 발견된다. 이들 반점은 불순물이 편석한 것이라 생각된다. 이러한 경향은 TG25 알루미늄 합금 스폿용접재에서도 같았다.

3.3 부식액의 농도에 따른 피로 수명

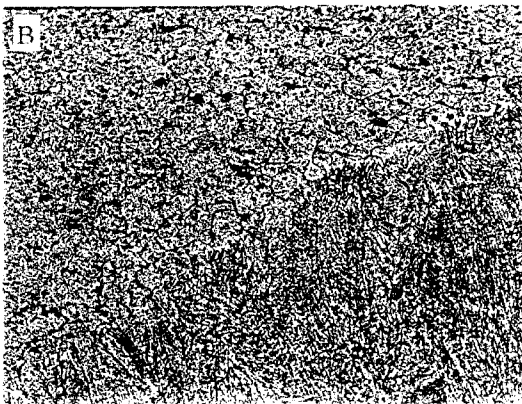
대기중에 방출되는 SO_2 는 광화학적으로 서서히 SO_3 으로 산화되고, 이들이 수증기와 결합해서 황산 이슬(H_2SO_4 mist)로 된다. 일반적으로 황산 이슬은 농액 몰농도의 SO_2 에 비해서 4~20배의 자극성이 있다. 이러한 연소 가스에 의한 저온 부식 형태를 노점 부식 현상(Dewpoint corrosion)이라 한다. 이 노점 부식 현상은 유황(S)의 연소 과정에서 생성되는 무수 황산 가스 SO_3 에 의한 것으로서, 이는 노점 온도(120℃~150℃)이하의 분위기에서 SO_3 가 황산(H_2SO_4)으로 응축되어 일어나는 부식 현상으로, 이 때 최고 농



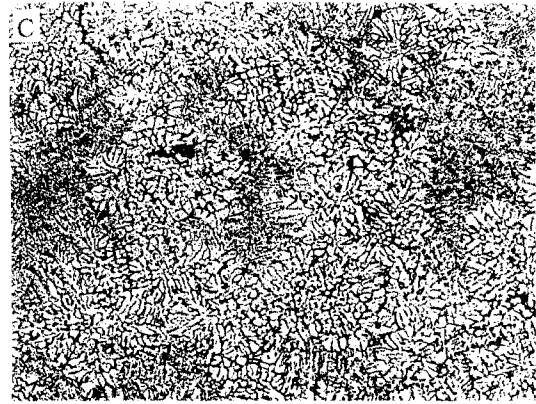
Edge part($\times 100$)



Nugget area($\times 25$)

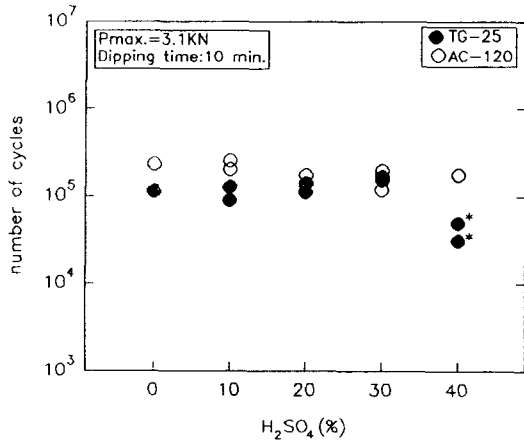


Middle part($\times 200$)

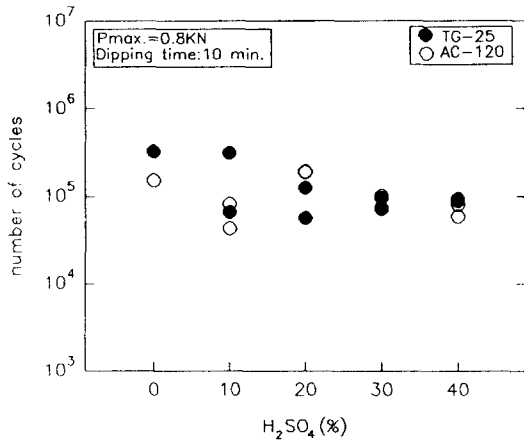


Center part($\times 200$)

Fig.9 Microstructure of cross section of AC120 spot welding specimen



(a) Plate specimen



(b) spot welding specimen

Fig.10 Number of cycles vs. concentration of H₂SO₄

도는 70%까지라고 알려져 있다¹²⁾. 이러한 물질이 알루미늄 차체에 부착하여 심한 결로 현상이 발생하면 부식, 즉 공식을 발생시키기 쉽다. 이렇게 하여 공식이 발생한 구조물이 반복 하중을 받으면, 균열이 발생 진전하여 파단에까지 이른다. 이러한 이유에 의해서 극한 환경을 고려하여 수용액의 농도를 진하게 선택하였다.

Fig.10은 H₂SO₄수용액의 부식 환경에서 10분간 침지한 피로 수명을 나타낸 것이다. 여기서 (a)는

모재이고, (b)는 스폿용접재이다. 그림(a)에서 두 종류 모두 H₂SO₄농도가 증가함에 따라서 파단수명이 약간씩 저하하는 경향을 나타내고 있다. 그러나 대체적으로 거의 비슷한 피로수명을 나타낸다고 생각한다. 이는 부식액에 침지 시킨 후, 표면을 건조시켜 수일간 방치하므로써 표면에 다시 산화 피막이 형성되어 피로 수명에 별차이가 없는 것으로 생각된다. 그러나 40%농도에서 침지후, 곧바로 실험을 실시한 TG25 알루미늄 합금의 경우 (●*)에는 피로 수명의 저하가 현저하게 나타났다. 이점에 대해서는 차후의 검토 대상이라 여겨진다. 그림(b)의 용접재의 경우에는 부식액의 농도가 증가할수록 피로 수명의 저하가 (a)의 경우보다 현저하게 나타나고 있다. 이것은 용접재의 열영향부가 부식되기 쉽기 때문이다. 그러나 모재에서 나타난 경향과 달리 TG25 알루미늄 합금에서 수명이 약간 높게 나타난 것은 내식성이 강한 Mg의 함량이 AC120 알루미늄 합금보다 많기 때문이라고 생각된다.

알루미늄은 압연, 인발시 발생된 산화물 및 변질된 냉각유에 의하여 형성된 녹이 표면에 존재하므로, 이러한 것들을 제거하기 위하여 알칼리 에칭(혹은 pickling)을 실시한다. 그러나 에칭이 지나치면 표면에 얼룩이 발생하거나 표면 상태가 불균일하게 된다. 이와 같은 재료가 반복 하중을 받으면 피로 수명이 감소하게 된다. 이러한 상황을 고려하여 침지시간을 일정하게 유지한 채, 에칭 용액으로 많이 쓰이는 NaOH용액의 농도를 변화시켜 실험을 실시한 결과를 Fig.11에 나타내었다. 이 그림에서 NaOH의 농도가 증가함에 따라서 피로 수명이 약간씩 감소하고 있음을 알 수 있다. 이러한 경향은 AC120알루미늄 합금의 경우가 더욱더 현저하게 나타나고 있다. 이와 같은 경향은 수용액에 의하여 알루미늄이 산화되어 불용성 피막을 형성하는 것보다 부식되는 속도가 빠르다는 것이라고 생각된다. 또한 두 재료의 수명 차이는 위에서 설명한 것과 같이 Mg함량의 차이라고 생각된다.

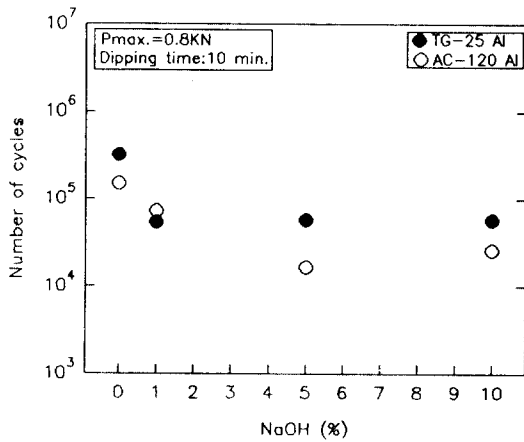
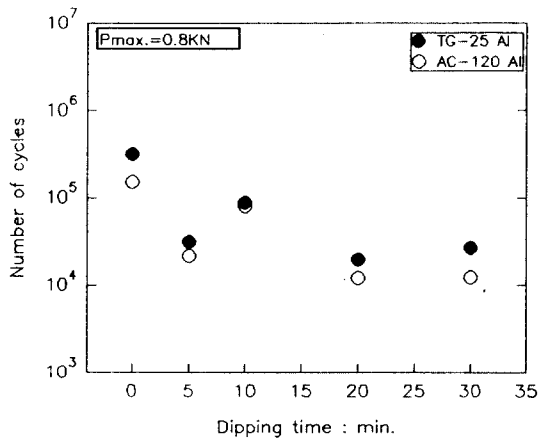


Fig.11 Number of cycles vs. concentration of NaOH at spot welding specimen

3.4 침지 시간에 따른 피로 수명

Fig.12에는 같은 농도의 부식액에서 침지시간을 달리한 경우의 피로 수명을 나타낸다. (a)는 40% H_2SO_4 수용액의 경우이며, (b)는 10% NaOH의 경우이다. 실험에서 수용액의 농도를 40%로 한 것은 SO_3 가 황산 (H_2SO_4)으로 응축되어 일어나는 부식 현상인 노점 부식 현상에 의해서 상당히 높은 농도¹²⁾가 되어 알루미늄 합금 표면에 공식을 일으키



(a) 40% H_2SO_4 solution

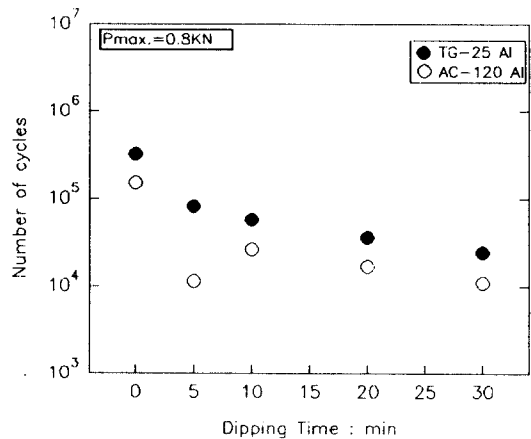
기 쉬우므로 이와 같은 수용액으로 실험을 행하였다.

또한, 10% NaOH는 표면처리시에 10~20%의 수용액에서 2~3분간 실시하고 있으므로, 낮은 범위인 10%로 하였다. 본 실험에서는 일정 시간 침지 후 곧바로 표면을 세척하고 수분을 제거한 후 바로 실험을 행하였다.

Fig.12의 (a), (b)에서 수용액의 농도가 일정할 때 침지시간이 길수록 피로 수명이 짧아지고 있으며, TG25알루미늄 합금의 경우가 AC120알루미늄 합금보다 피로 수명이 길게 나타나고 있다. 그러나 두 수용액에서 어떤 침지시간 이후에는 피로 수명이 일정하게 수렴하는 양상을 나타내고 있다. 이점에 대해서는 차후 검토의 대상이라 생각한다.

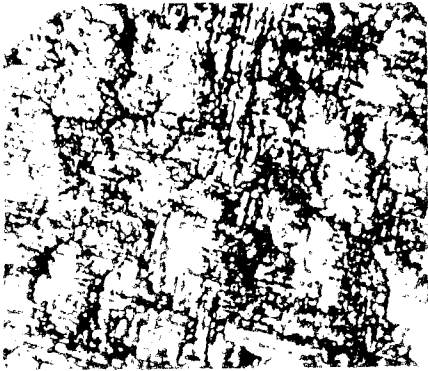
3.5 부식재의 표면 관찰

Fig.13은 H_2SO_4 수용액에서 TG25알루미늄 합금을 10분간 침지한 경우의 부식 표면을 관찰한 것이다. 수용액의 농도가 진할수록 부식 정도가 심한 것을 알 수가 있다. 특히 40%수용액은 입계가 현저하게 넓어져 있음을 알 수 있다. 이와 같은 현상에서 앞에서 얻어진 피로 수명이 수용액의 농도 및 침지시간에 따라 짧아지고 있는 것과 잘 일치하고 있음을 알 수 있다.

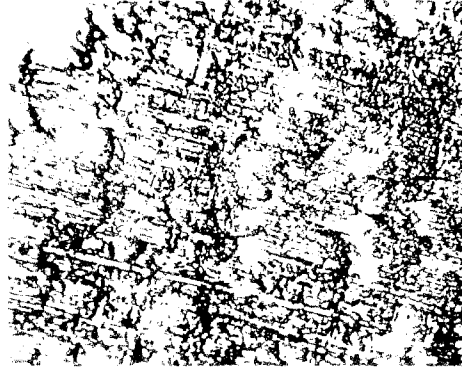


(b) 10% NaOH solution

Fig.12 Number of cycles vs. dipping time at spot welding specimen



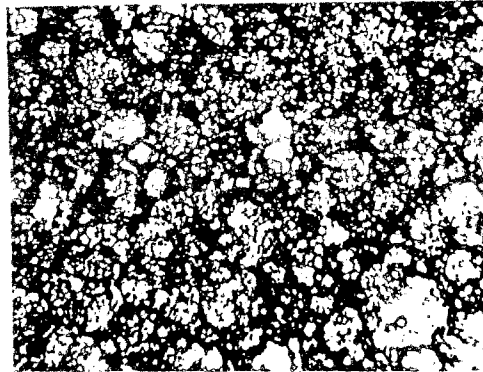
(a) 10%



(b) 20%



(c) 30%



(d) 40%

Fig.13 The surface micrographs of TG25 Al alloys in H_2SO_4 solution (Dipping time : 10 min.)

4. 결 론

자동차 차체용 6000계 알루미늄 합금인 AC120과 5000계 알루미늄 합금인 TG25를 사용하여 기계적특성과 조직을 조사하고, 부식환경의 영향을 조사하기 위하여 H_2SO_4 와 $NaOH$ 수용액을 선택하여 침지시간에 따른 피로 수명을 조사한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) TG25의 전연신율과 평균소성변형율비가 AC120보다 높게 나타나고 있으며, *Planar strain ratio*도 0으로 수렴하고, 압연방향으로 조대화된 개재물이 AC120보다 적으므로 성형성이 우

수한 재질이라고 생각된다.

2) 두재료에서 침지시간이 일정할 때, 부식액 농도에 따르는 피로수명의 영향은 거의 찾아 볼 수 없었으나, 농도가 일정할 때, 침지시간이 증가함에 따른 피로수명은 영향을 받고 있었다. 그리고, TG25의 피로수명이 AC120보다 약간 긴 것을 알 수 있었다.

참고문헌

1. Wheeler, M. J. "Aluminum Structured Vehicles - The Technology, the Weight Saving, the Performance and Value of such

- Vehicles for Auto Companies and Their Customers”, Presentation to Washinton DC, Section of the SAE, Vol.17, May, 1995
2. Ujihara. S., Proc. of Int. Conf. on Recent Advances in Science and Engineering of Light Metals, Tokyo, p.1163, 1991
 3. 자동차 경량화 특집, “알루미늄합금의 성형가공(I)”, 프레스기술, 29-2호, pp.17-79, 1991
“자동차경량화와 프레스가공(II)” 프레스기술, 29-4호, p.17-64, 1991
 4. 宇野 生, 馬場義雄, 「住支輕金屬會報」, Vol.21, p.32, 1980
 5. 강석봉, 임차용, “자동차 차체용 알루미늄 합금 박판에 대한 관련 기술의 현황과 전망”, Bull. of the korean Inst. of Met. & Mater., Vol.7, No.1, pp.19~30, 1994
 6. Yoshida. H. and Hirano. S., “Properties of Aluminum Alloy Sheets for Autobodies”, Sumitomo Light Metal Technical Reports, Jan., Vol.32, No.1, pp.20~31, 1991
 7. 강석봉, 임차용, “자동차 차체용 알루미늄 합금 박판에 대한 관련 기술의 현황과 전망”, Bull. of the korean Inst. of Met.& Mater., Vol.7, No.1, pp.19~30, 1994
 8. 박인덕, 남기우, 강석봉, “스프팅용접된 자동차 차체용 알루미늄 박판의 피로균열진전의 파괴역학적 평가, 한국해양공학회지 (투고중)
 9. 김영석, 김기수, 권남철, “Press Formabilities of Aluminum Sheets for Autobody Aplication”, SAE No.943706, 1994
 10. Whiteley. R. L., Wise.D . E. and Blickwede. D. J., Sheet Met. Int., 38, p.349, 1967
 11. After H. Y. Hunsicker in K. R. Van Horn (ed), “Aluminum”, American Society for Metals, Vol.1, p.147, 1967
 12. “材料環境學入門”, 「腐食防蝕協會編」, pp.199~210, 1993