

# AC4C 알루미늄 합금의 정적 및 동적 특성

권용구 \* · 주원경 \*\* · 송정일 †

## Static and Dynamic Characteristics of AC4C Aluminum Alloy

Y.G KWON, W.K JU and J.I SONG

**Key Words :** AC4C Aluminum Alloy(AC4C 알루미늄 합금), Impact Test(충격실험)  
Tensile Test(인장실험), Impact Energy(충격에너지)

### Abstract

The mechanical characteristics of AC4C Aluminum Casting Alloy were investigated by tensile test and impact test. Based on the tensile test's result, we found that the yield strength of a high speed was about 10% higher than that of a low speed test and the maximum rupture strain mostly occurred in low speed tensile test. The impact energy of curved surface specimen was higher than that of plane surface specimen that can be measured in impact test.

## 1. 서 론

### 1. 연구배경 및 목적

선박용 호이스트 축은 다양한 정적 하중 및 동적 하중이 가해져 파손 예측이 필요하다.

본 연구는 이러한 호이스트 축의 대량생산 및 경량화를 위하여 널리 사용되고 있는 AC4C 알루미늄 주조합금의 기계적 특성, 특히 정적 및 동적 거동을 비교하기 위하여 정적 인장시험과 충격시험을 수행하였다<sup>(1~5)</sup>. 각 시험이 완료된 후, 시험편의 파단면을 분석하여 조직학적 고찰을 수행하였다.

## 2. 시험방법

### 2.1 시험재료 및 격출부위

인장시험과 충격시험에 사용된 시험편은 Fig.1 과 같은 형상의 AC4C 알루미늄 주조합금의 9 개 부위에서 각각 4 개씩 격출하였다. 격출된 각각의 시험편은 Fig.2, Fig.3 과 같은 인장 시험편과 충격 시험편으로 제작되었다.

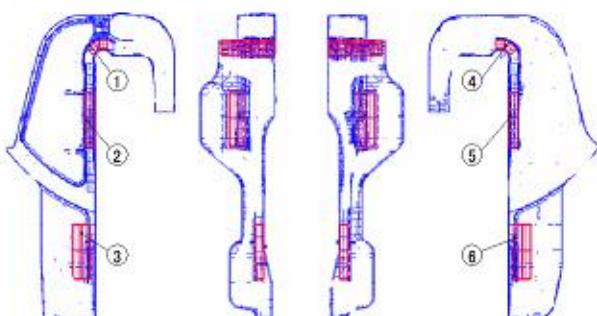


Fig. 1 The extracted part of specimens

\* 창원대학교 메카트로닉스공학부 기계공학전공  
E-mail : jisong@changwon.ac.kr  
TEL : (055)279-7508

\* 창원대학교 메카트로닉스공학부 기계공학전공

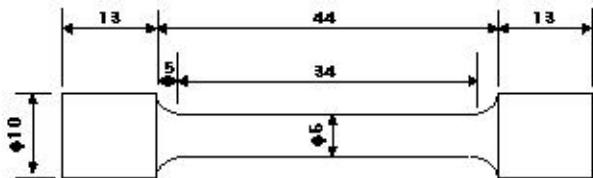


Fig. 2 Shape of tensile test specimen

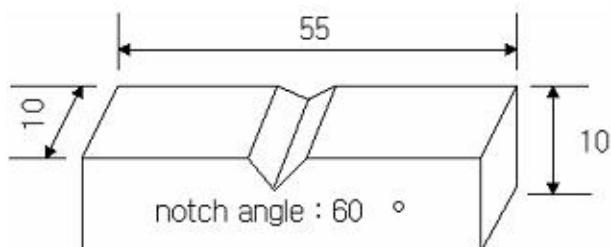


Fig. 3 Shape of impact test specimen

## 2.2 시험방법

인장시험에 의한 AC4C 알루미늄 주조합금의 기계적 성질을 연구하기 위하여 Table 1 과 같은 시험기와 시험방법을 사용하였으며, 인장응력하에서의 재료의 변형특성을 파악하기 위해서 strain rate 를 변화하여 시험을 수행하였다.

Table 1 Loading condition and testing machine

Loading condition	Testing machine
-Low strain rate : 5mm/min	-Static & fatigue tester : MTS-810 -Extensometer : MTS 632.13c-20
-High strain rate : 25mm/min	-Max. load cap. : 20kN -Max. strain : 20%

Fig. 3 과 같은 충격 시험편으로 샤르피 충격시험기를 이용하여 AC4C 알루미늄 주조합금의 충격 특성을 시험하였다.

충격 시험의 결과로 얻어진 충격하중과 변위, 충격 흡수에너지와 변위의 시험 데이터를 이용하여 AC4C 알루미늄 주조합금의 충격 특성을 고찰하였다.

## 3. 시험결과

### 3.1 인장시험

strain rate 의 변화에 따른 정격 인장시험의 결과로 얻어진 각 적출부위의 응력-변형률 거동을 Fig.4 과 Fig.5 에 나타내었다. 각 그림에서 시험편의 적출 부위에 따라서 최대 파단 변형률과 초기 항복응력에 있어서 차이가 발생함을 알 수 있다.

Low strain rate 에 의한 인장시험에서 초기 항복응력은 205MPa 에서 발생하였으며, High strain rate 에 의한 인장시험에서는 220MPa 에서 발생하였다.

최대 파단 변형률을 비교해보면, High strain rate 에서의 최대 파단 변형률이 Low strain rate 에서의 파단 변형률 보다 10% 이상 감소함을 알 수 있다.

시험편에 가해진 strain rate 의 차가 20% 이상인 Low strain rate 와 High strain rate 에서의 AC4C 알루미늄 주조합금의 정격 인장거동은 Low strain rate 에서 연성거동을 나타내고, High strain rate 에서 쥐성거동을 나타내고 있음을 알 수 있다.

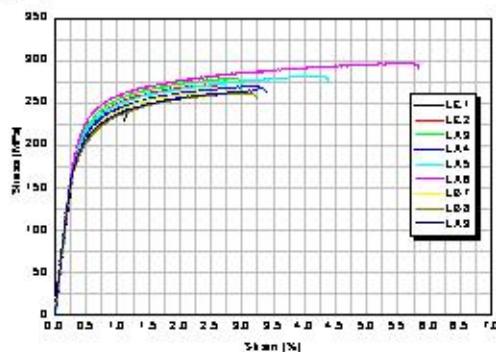


Fig. 4 Stress-strain curve of low strain rate

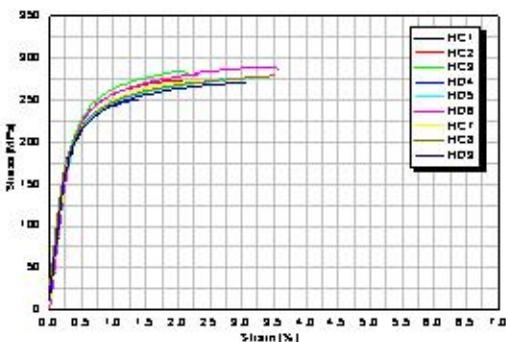


Fig. 5 Stress-strain curve of high strain rate

Fig.6 과 Fig.7 는 경격 인장시험의 결과로 얻어진 각 시험편의 항복강도와 최대 파단 변형률을 나타낸다. 그럼 8 의 항복강도는 응력-변형률 선도에서 탄성구간을 0.2% offset 하여 구하였으며, Fig.7 의 최대 파단 변형률은 파단이 발생한 지점에서의 변형률을 나타낸다.

Fig.6 에서 알 수 있듯이 격출부위가 평면인 #2, #3, #6 번 시험편의 항복강도가 크게 나타났으며, 격출부위가 곡면인 #1, #9 번 시험편의 항복강도가 낮게 발생하였다.

최대 파단 변형률은 Low strain rate에서 높게 발생하며, High strain rate에서 낮게 발생하였다. 이러한 원인은 Low strain rate에서 시험편이 연성거동을 하였고, High strain rate에서 소성거동을 하였기 때문이다.

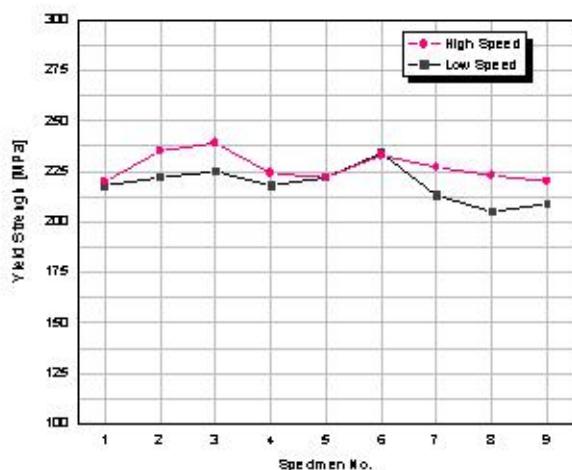


Fig.6 Yield strength of each location

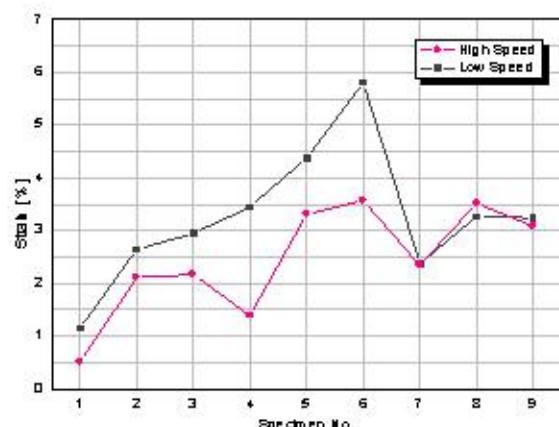


Fig.7 Maximum strain of each location

Fig.6 과 Fig.7 에서 알 수 있듯이 Low strain rate 와 High strain rate 의 항복강도 변화 추이는 유사하며, #4, #5, #6 번 격출 부위의 항복강도 변화가

상이하게 발생한 것은 금속조직의 치밀성에 기인한 것으로 판단된다.

Fig.7에서 #1, #4, #7, #8, #9 번 시험편의 최대 파단 변형률 변화가 급격한 것은 시험편의 격출부위가 곡면과 모서리 부위에서 격출되었고, 주조시 곡면과 모서리에서 용탕의 유동과 응고가 불완전하게 이루어졌기 때문이다.

Table2 와 Table3 은 strain rate 의 변화에 따른 각 시험편의 항복강도와 최대 파단 변형률을 나타낸다.

Table 2 Yield strength on the change of strain rate

Extracted part	Low strain rate Y.S. [MPa]	High strain rate Y.S. [MPa]
1	218	220
2	222	235
3	225	239
4	218	224
5	222	222
6	234	233
7	213	227
8	205	223
9	209	220

Table 3 Strain on the change of strain rate

Extracted part	Low strain rate Strain [%]	High strain rate Strain [%]
1	1.15	0.51
2	2.64	2.11
3	2.95	2.17
4	3.45	1.39
5	4.38	3.31
6	5.81	3.56
7	2.38	2.34
8	3.27	3.52
9	3.24	3.09

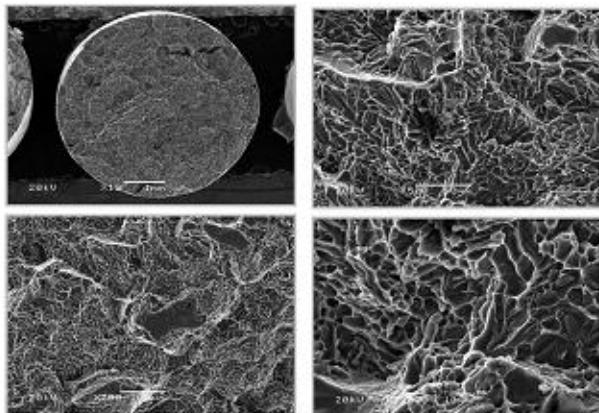


Fig.8 Low strain rate – fracture surface

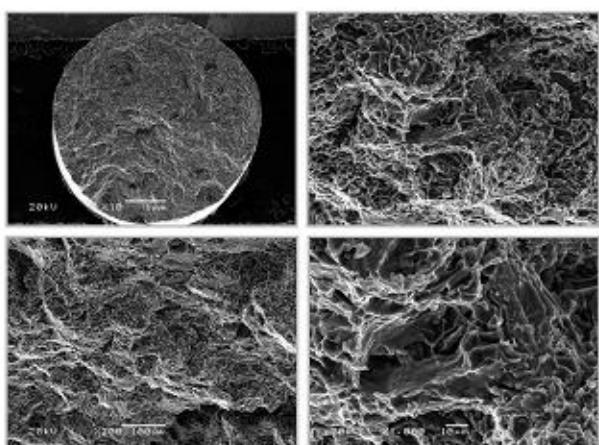


Fig.9 High strain rate - fracture surface

Fig.8 은 Low strain rate 에서의 각 격출 시험편의 파단면을 촬영한 사진이며, Fig.9 은 High strain rate 에서의 각 격출 시험편의 파단면 사진을 나타낸다. 각 시험편의 확대 사진은 시험편의 중앙에서 촬영되었다.

Fig.8 에서 알 수 있듯이 Low strain rate 에서의 파단면 형상은 인장시험의 결과로 얻어지는 딥풀(dimple) 형상을 나타내고 있다.

항복강도와 최대 파단 변형률이 낮은 #1, #4, #7, #8 번 격출 시험편의 파단면은 딥풀의 밀도가 높고, 조대한 기공을 갖고 있음을 확인할 수 있다. 이러한 원인은 AC4C 알루미늄 주조합금의 주조시에 발생한 응고의 불균일함 때문일 것이다.

High strain rate 에 의한 인장시험의 파단면인 Fig.9 은 저속 충격에 의한 파단면 형상과 유사한 tongue 와 ridge 형상을 보여주고 있다. 이것은 strain rate 가 25mm/min 에서는 AC4C 알루미늄 주조합금이 충격거동을 하였음을 의미한다.

상기의 파단면 분석 결과, Low strain rate 에 의한 인장시험은 재료의 연성거동을 발생시키며,

High strain rate 에서는 저속 충격과 같은 소성 거동을 발생시킬 수 있다.

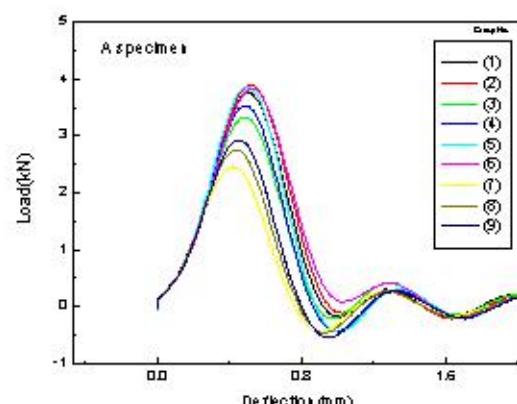
### 3.2 충격시험

샤르피 충격시험에 의한 결과로 얻어진 각 격출 시험편의 충격흡수에너지-변위, 하중-변위의 관계를 Fig.10 와 Fig.11 에 나타내었다.

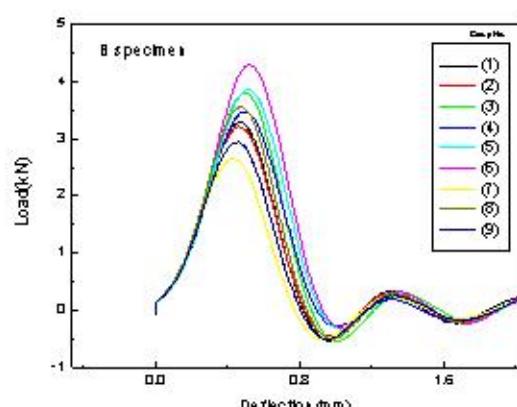
각 격출 시험편에서 격출부위가 곡면이거나 모서리인 #1, #9 번 시험편의 충격에너지가 낮게 나타났고, 격출부위가 평면인 #3, #5, #6 번 시험편의 충격에너지가 높게 발생하였다.

시험편 격출부위가 균일한 2, 3, 5, 6 번의 각 (A~D) 시험편의 충격에너지 변동량은 작았으나, 불균일한 추출부위인 7, 8, 9 번의 각(A~D) 시험편의 충격에너지 변화는 크게 발생하였다.

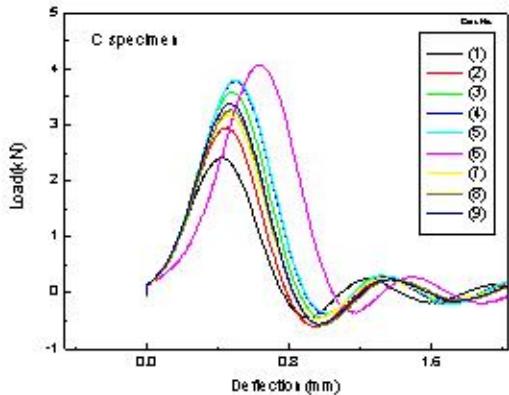
각각의 격출 시험편마다 고속인장시험의 최대 파단변형률 변화와 충격시험의 충격에너지 변화의 추이는 유사함을 확인할 수 있었다.



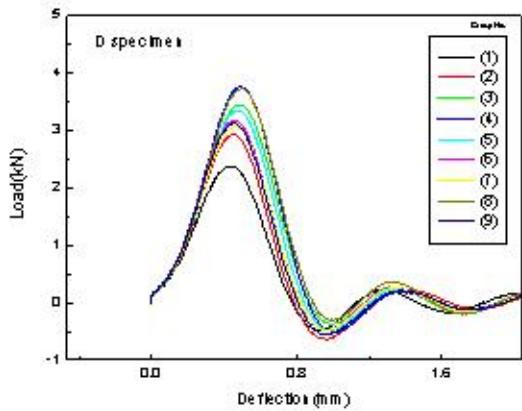
[A] specimen



[B] specimen



[C] specimen



[D] specimen

Fig.10 Load vs. displacement diagram (A~D)

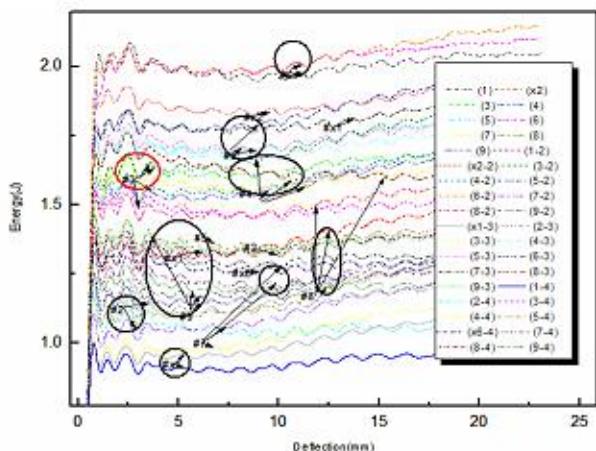


Fig.11 Impact energy vs. displacement diagram

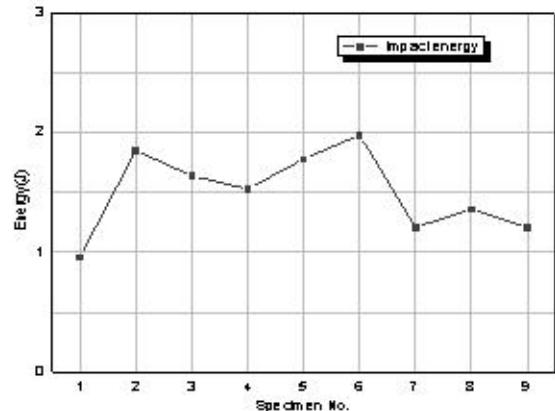


Fig.12 Impact energy of extracted part

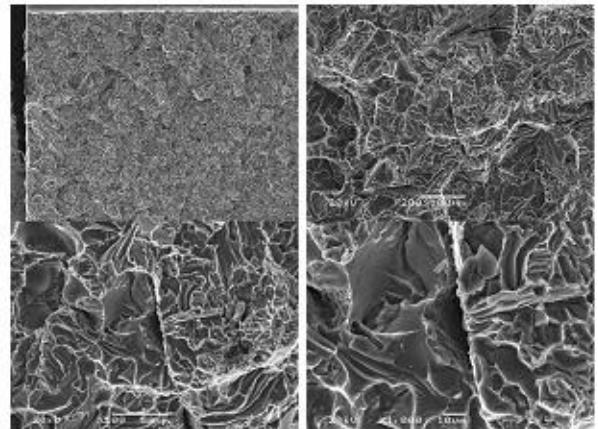


Fig.13 Impact test fracture surface

Fig.13에 충격 시험후의 파단면 형상을 전자주사식 현미경(SEM)으로 촬영하였다. 각각의 확대 사진은 시험편의 좌측 상단(사진의 타원 안)에서 촬영되었다. 파단면 사진에서 확인할 수 있듯이 충격에 의한 파단면의 형상은 입계면의 ridge 와 tongue 형상을 나타내고 있다.

Fig.13에서 충격에너지가 높은 #2, #6 번 시험편의 파단면을 비교해 볼 때, #2, #6 번 시험편의 조직이 다른 시험편에 비해 기공률이 낮음을 알 수 있다.

#### 4. 결론

정격 거동에서 저속 및 고속 인장시험의 결과, 고속인장 시험의 항복강도는 저속인장시의 항복강도보다 10% 정도 높았으며, 저속 및 고속인장시험의 파단변형율의 경우 저속인장에 의한 최대 파

단변형률이 더 크게 발생하였다.

동적 거동에서 시험편 추출부위가 균일한 2, 3, 5, 6 번의 각(A~D) 시험편의 충격에너지 변형량은 작았으나, 불균일한 추출부위인 7, 8, 9 번의 각(A~D) 시험편의 충격에너지 변화는 크게 발생하였다.

각 적출 시험편에서 적출부위가 곡면이거나 모서리인 #1, #9 번 시험편의 충격에너지가 낮게 나타났고, 적출부위가 평면인 #3, #5, #6 번 시험편의 충격에너지가 높게 발생하였다.

따라서, 1, 4, 9 번 시험편이 기계적 특성 약하다고 볼 수 있으며 구조적 보강 및 조직의 치밀함이 요구된다.

### 참고문헌

- (1) Flom,Y and Arsenault,R.J., "Effect of particle size on fracture toughness of SiC/Al composites material," 1989, Acta metal., Vol.37 pp.2413~2423.
- (2) Manoharn,M and Lewandowski,J.J., "Crack initiation and growth toughness of an aluminum metal matrix composite," Acta metal., Vol.38, 1990, pp.489~496.
- (3) Song,J.I. and Han,K.S., "Mechanical Properties and Solid Lubricant Wear Behavior of Al/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/C Hybrid Metal Matrix Composites Fabricated by Squeeze Casting Method," J.Comp.Mater.,Vol.31, 1997, pp.316~344.
- (4) Lee,C.G., Kwon, D.G and Lee,S.H., "Microfracture Behavior of Al-SiC Composites under Dynamic Loading," Metall. Trans., Vol.19A, 1987, pp.2162~2170.
- (5) David L. McDanel "Analysis of stress-strain, fracture, and ductility behavior of aluminum matrix composites containing discontinuous silicon carbide reinforcement", Metallurgical Transactions 16A(1985), 1105~1115