

# Hybrid(HTZ/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>p) MMC의 제작과 Aging에 따른 물성분석

남현욱\* · 정성욱\* · 정창규\* · 한경섭\*\*

## Fabrication of Hybrid(HTZ/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>p) MMCs and Properties Degradation due to Aging

H.W. Nam, S.W. Jung, C.G. Jung and K.S. Han

Key Words: HTZ 단섬유, 알루미나 입자, 시효(aging)

### Abstract

본 연구에서는 AC8A 알루미늄 합금과 HTZ 단섬유 및 알루미나(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) 입자(particle)를 이용하여 HTZ 및 혼합 금속복합재료를 개발하고 정하중 시험을 통하여 개발된 재료의 상온 및 고온 기계적 물성을 규명하였으며, 개발된 금속복합재료가 고온에 노출되어 있을 경우 발생하는 aging에 의한 재료의 물성 변화를 분석하였다.

### 1. 서 론

금속복합재료를 이용한 제품이 양산됨에 따라 금속복합재료의 물성 외에도 제조 단가를 고려해야 하는 문제가 발생되었다. 1990년대 들어 일본의 사국화성에서는 saffil보다 뛰어난 기계적 물성을 가지면서도 가격이 저렴한 alborex whisker를 상품화하였으며 우리 나라에서도 (주)금강에서 HTZ 단섬유들이 개발하여 금속복합재료에 이용하고자 하는 시도들이 진행되고 있다[1-2].

본 연구에서는 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 입자의 가격이 저렴하고 단섬유와 혼합시켰을 경우 경도나 마모 특성이 향상될 수 있다는 점을 고려하여 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 입자를 HTZ 단섬유와 혼합시킨 금속복합재료를 개발하고자 하였다. 이러한 혼합 보강재가 금속복합재료의 물성에 미치는 영향을 살펴보았으며, HTZ

단섬유만을 사용한 금속복합재료와 기계적 특성을 비교하였다. 또한 금속복합재료가 고온에서 노출되어 사용됨을 고려하여 고온 노출에 따른 각 재료의 노화 정도를 분석하였다

### 2. 실험 방법

#### 2.1 사용재료

본 연구에서는 기지재로서 AC8A, 보강재로서 알루미나 입자와 HTZ(금강(주))를 사용하였다. Table 1, 2에 기지재와 보강재의 물성을 나타내었다.

#### 2.2 금속복합재료의 제조

예비성형체에 사용된 강화재는 평균길이가 150  $\mu$ m인 HTZ 단섬유와 평균직경이 45  $\mu$ m인 알루미나

\* 포항공과대학교 기계공학과 대학원

\*\* 포항공과대학교 기계공학과

Table 1 Mechanical property and heat treatment condition of AC2B Al alloy

Material	Mechanical property		Heat treatment condition(T6)	
	T.S(MPa)	Elong.(%)	Solution H.T.	Precipitation H.T.
AC8A	275	1	510°C for 4hr	170°C for 7hr

Table 2 Specification of various short fiber

Material	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Diameter (μm)	Length (μm)	Tensile strength(GPa)	modulus(E) (GPa)
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> p	3.95	45			380
HTZ	2.7	3.5	150	1.4	100

입자를 사용하였다. 이렇게 준비된 알루미늄 입자와 HTZ 단섬유를 부피분율에 맞게 적정량을 계량하고 성형제인 몰유리(SiO<sub>2</sub>)를 3% 넣은 후 교반기에서 5분동안 교반하였다. HTZ 단섬유를 이용한 예비성형체는 12%의 부피분율을 지녔으며, 알루미늄 입자를 혼합한 예비성형체의 경우 16%의 부피분율을 가졌다. 이 때 알루미늄 입자와 HTZ 단섬유는 1:1의 무게비를 가지도록 혼합하였다. 금속복합재료의 제조는 용탕 주조법을 이용하였다.

### 2.3 인장 시험 및 경도 시험

인장 시험은 ASTM E8을 기초로 판상으로 제작하였다. MTS (100KN, USA)를 이용하여 0.1KN/sec의 하중 제어로 수행하였으며, 이 때 연신율의 측정은 10mm의 gage length를 갖는 Extensometer(USA)를 사용하였다. 고온 인장 시험에 사용한 시험편은 Pin-Loaded 인장 시험편을 사용하였다. 고온 인장 시험은 250°C에서 MTS (100KN, USA)를 이용하여 수행하였으며 전기로를 이용하여 온도를 조절하였다.

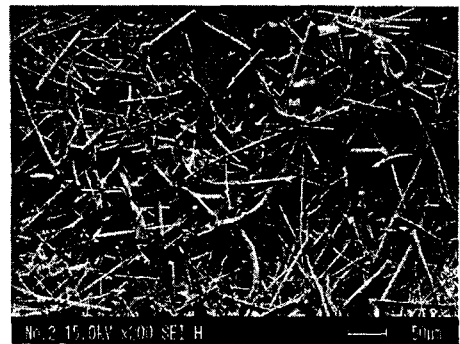
고온 노출 후의 인장 시험은 피스톤 top ring groove 부근의 온도를 고려하여 250°C에서 노출시킨 후 수행하였다. 고온 노출 시험에 사용된 시험편들은 전기로에서 일정 시간동안 노출한 후 공기 중에서 냉각시켰다. 인장시험 시 고온 노출 시간은 1, 3, 13, 63시간이었으며 경도 시험은 1~100시간 사이에서 노출시킨 후 시험하였다.

## 3.결과 및 고찰

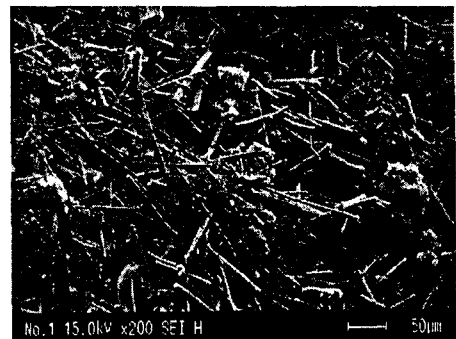
### 3.1 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>p/HTZ 예비성형체 및 금속복합재료의 제조

Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>p/HTZ 예비성형체의 제조에서 가장 큰 문제가 되는 것은 알루미늄 입자와 HTZ 단섬유의 밀도차에 따른 불균일이 발생할 수 있다는 것이다. 본 연구에서는 이러한 문제를 알루미늄 입자의 평균 직경을 조절하여 해결하였다. 즉 알루미늄 입자가 미세한 경우 불균일이 발생하는 문제가 발생할 수 있었으나 비교적 조대한 알루미늄 입자를 이용한 경우 이러한 문제는 발생하지 않았다. 본 연구에서는 평균 직경이 45μm인 알루미늄 입자를 사용하였다.

Fig.1에 제조된 예비성형체의 SEM 사진을 나타내었다.



(a)



(b)

Fig. 1 SEM photographs of (a) HTZ preform and (b) Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>p/HTZ preform

두 예비성형체 모두 직경과 높이가 110cm, 2cm 이며 HTZ 예비성형체의 경우 12%의 부피비를 가졌으며  $Al_2O_3p/HTZ$  예비성형체의 경우 16%의 부피비를 가졌다. HTZ 예비성형체의 경우 단섬유의 길이나 직경이 일정하지 않으며 불량 단섬유가 상당히 보이고 있다.  $Al_2O_3p/HTZ$  예비성형체의 경우 알루미나 입자들이 무질서하게 분포되어 있으며 입자를 중심으로 cluster구조를 이루고 있다

### 3.2 상온 인장 시험

제조된 금속복합재료로부터 인장시험에 사용할 시편은 채취 후 540°C에서 용체화 처리하였으며 담금질(Quenching) 처리하였다. 금속복합재료는 엔진 내부의 고온에 노출되어 사용되어지는 재료이기 때문에 T6 열처리한 상태의 강도도 중요하지만 완전히 시효된 후의 강도도 중요하다. 따라서 본 연구에서는 고온 노출에 따른 노화 정도를 보기 위하여 담금질(Quenching)된 시편은 250°C에서 1, 13, 63 시간동안 노출시킨 후 공기 중에서 냉각하였다. Fig. 2에 시효시간에 따른 각 재료의 인장 강도를 나타내었다. 시효 시간이 길어짐에 따라 각 재료의 인장 강도는 감소하는 경향을 보였다.

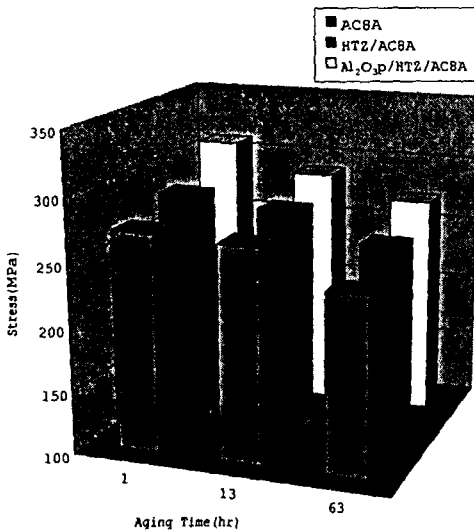


Fig. 2 Tensile failure strength of each material varied with aging time

$Al_2O_3p/HTZ/AC8A$ 의 인장 강도가 HTZ/AC8A보다 높게 나타나는 이유는 분산강화 기구를 가진 재료의 경우 강화재의 형태가 조대한 것보다는 미세한 것이, 불 균일한 것보다는 균일한 것이, 단섬유 형태의 강화재보다는 입자 형태의 강화재가 더욱 더 효과적이기 때문이다.

### 3.3 고온 인장 시험

고온 인장 실험은 자동차 피스톤 top ring groove의 온도를 고려하여 250°C에서 수행하였다. 또한 실제 상황을 구현하기 위하여 상온 인장 시험에서와 같이 250°C에서 노출시킨 후 인장 시험을 수행하였다. Fig. 3에 250°C에서 인장 시험한 값을 나타내었다. 시효 시간에 상관없이  $Al_2O_3p/HTZ/AC8A$ 의 인장 강도가 HTZ/AC8A에 비하여 높게 나타났다.  $Al_2O_3p/HTZ/AC8A$ 의 경우 과시효되었을 경우 그렇지 않았을 경우에 비하여 28% 정도 고온인장강도가 감소되었으며 HTZ/AC8A의 경우 22%정도 감소되었다. 본 실험의 전체적인 고온인장시험 결과로부터 차이는 크지 않지만  $Al_2O_3p/HTZ/AC8A$ 의 고온 강도는 HTZ/AC8A보다 우수한 것으로 나타났다.  $Al_2O_3p/HTZ/AC8A$ 는 예비성형체의 크기가 크거나 높이가 높을 경우 보강재의 밀도차에 의한 불균일이 발생할 수 있으므로 이러한 문제를 보완한다면 상당히 우수한 금속복합재료가 될 것으로 사료된다.

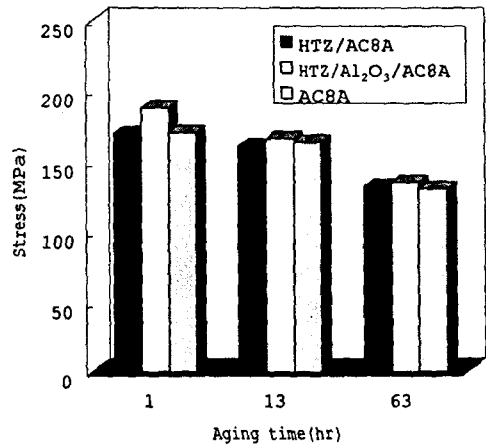


Fig. 3 High temperature(250°C) tensile strength of each material varied with aging time

### 3.4 경도 시험

엔진 내부에 사용될 금속복합재료는 과시효 상태에서 사용되므로 용체화 처리 후에서부터 과시효(overaging)되었을 때까지의 경도를 파악하는 것은 중요한 일이다. 본 연구에서는 용체화 처리 후 담금질된 금속복합재료를 고온(250°C)에 노출시킨 후 경도를 측정하였다. Fig. 4와 5는 측정된 경도의 결과이다. 로크웰 경도와 비커스 경도의 경우 거의 유사한 경향을 보였다. 즉, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>p/HTZ/AC8A, HTZ/AC8A, HTZ/AC8A의 순서로 경도값이 나타났으며 시효 시간이 대략 50시간 이상이 될 경우 일정한 경도 값에 수렴하는 경향을 보였다. 과시효된 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>p/HTZ/AC8A는 담금질 후에 비하여 34%정도 경도가 저하되었으며, HTZ/AC8A의 경우 42%정도 저하가 된 상태에서 수렴하였다.

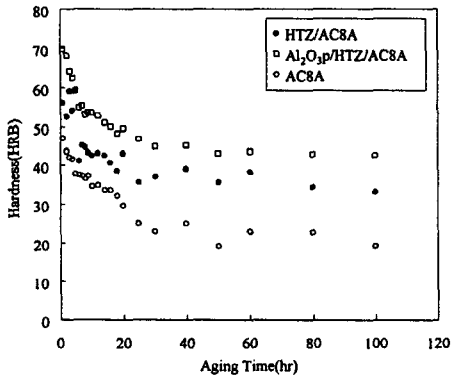


Fig. 4 Hardness(HRB)-aging curves of various material

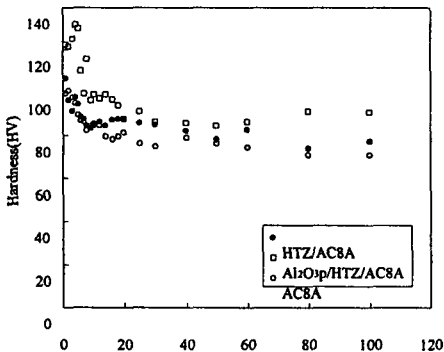


Fig. 5 Hardness(HV)-aging curves of various material

비커스 경도계의 경우 보강재를 피하여 기지재 부분만을 측정할 수 있는 장점이 있으나 금속복합재료의 부피비가 어느 정도 이상일 경우 측정에 어려움이 있고 그 경향도 로크웰 경도와 비슷한 결과를 나타내 주고 있으므로 높은 부피비의 금속복합재료의 경도를 측정하는 것은 로크웰 경도가 바람직하다 사료된다.

## 4. 결론

1) HTZ 단섬유와 알루미늄 입자를 이용한 예비성형체를 이용하여 금속복합재료를 제조한 결과 인장 강도, 탄성계수, 경도 등이 HTZ 단섬유만을 이용한 경우에 비하여 우수하였다.

2) 고온 노출 후, 인장 시험과 경도 시험을 수행할 결과 상온 인장 강도는 과시효(overaging) 전보다 10%정도 감소하였으며 고온인장 강도는 20%정도 감소하였다. 경도값은 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>p/HTZ/AC8A가 가장 높게 나타났으며 HTZ/AC8A, AC8A의 순서로 나타났다. 시효 시간이 50시간이상 될 경우 각 재료의 경도값은 일정값에 수렴하였다.

## 후기

본 연구는 KIST에서 지원하는 선도기술개발사업(1998년도) 중 경량금속복합재료 분야 위탁과제로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

- (1) 남현욱, 전호찬, 민병렬, 한경섭 "예비성형체 및 금속복합재료에 미치는 바인더의 영향에 관한 연구", 대한기계학회 추계학술대회 논문집 A, 1997, pp. 233-238
- (2) 남현욱, 김상엽, 김성철, 임태원, 한경섭 "HTZ/AC8A 금속복합재료의 기계적 성질과 피로 거동", 한국복합재료학회지 제11권, 제5호, 1998, pp. 84-95