

# 하이브리드 Mg 복합재료의 진동 감쇠능 및

## 고온 특성평가

장재호, 김봉룡, 최일동, 조경목, 박익민

### High temperature and damping properties of squeeze cast Mg hybrid Metal Matrix Composites.

Jaeho Jang, Bongryong Kim, Ildong Choi, Kyung-mox Cho and Ikmin Park<sup>1</sup>

#### ABSTRACT

Mg alloy is the lightest material of structural materials and is noticed for lightweight automotive parts because of excellent castability, superior ductility and damping capacity than Al alloy. But Mg Alloy is poor corrosion resistance and high temperature creep properties. In this study, Mg Matrix Composites were fabricated by squeeze casting method to improve high temperature creep properties and damping capacity. Hybrid Mg composites reinforced with Alborex, graphite particle, and SiCp was improved creep properties and damping capacity compared with Mg alloy. Compared to the length (9 $\mu$ m, 27 $\mu$ m, 45 $\mu$ m etc.), Hybrid Mg composites reinforced with SiCp, one of the most superior of the length and Alborex were more superior than those reinforced with graphite particle and Alborex in mechanical properties, creep characteristics, and damping capacity, etc.

KEYWORDS: 크립 특성, 진동 감쇠능, Alborex, graphite particle, 마그네슘 복합재료, carbon fiber

#### 1. 서론

Mg합금은 현재까지 개발된 구조용 재료중 가장 가벼우며 낮은 열팽창 계수와 우수한 비강도, 진동 및 충격에 대한 감쇠능, 그리고 뛰어난 전자파 차폐특성 등을 가지므로 자동차 및 항공기 등의 Power train 부품 등에서 Al합금에 대체한 차세대 경량재료로 주목 받고 있다. 그러나 Al합금에 비해 부식저항성이 낮고 고온피로 강도나 고온 크립특성이 부족한

단점이 있기 때문에, Mg합금에 세라믹 강화재를 복합화하여 Mg합금의 낮은 절대강도, 고온 피로강도, 크립특성 등의 단점을 향상시키고 있다.

본 연구에서는 뛰어난 크립특성과 고감쇠 Mg합금기 복합재료의 제조를 목표로 AZ91합금과 AS21합금을 기지로 하고 강화재로 Alumina borate whisker와 Graphite particle, 그리고 Alumina borate whisker와 Carbon fiber를 하이브리드 복합

화 하여 Mg 합금기 하이브리드 복합재료를 squeeze casting 법으로 제조하였다. 이렇게 제조된 복합재료를 기지합금과 강화재의 차이에 따른 진동 감쇠능과 크립 특성 등을 비교하였다.

## 2. 실험방법

본 연구에서는 Fe, Cu, Ni 등의 천이금속 원소를 제거하여 내식성을 향상시킨 다이캐스팅용 합금인 AZ91D Mg 합금과 고온특성을 향상시킨 AS21 Mg 합금을 사용하였다. 강화재는 130~180 $\mu$ m의 graphite particle과 저가이면서도 우수한 Alborex (Aluminum borate whisker)와 (주)태광산업에서 제조한 PAN(polyacrylonitrile)계 carbon fiber의 3종류의 강화재를 사용하였다.

하이브리드 예비성형체의 제조는 이온교환수에 강화재(Alborex와 carbon fiber, Alborex와 Graphite particles)를 일정량 혼합한 후 slurry상태로 만든 다음 교반하면서 무기바인더, 유기바인더, 응집제 순으로 첨가하였다. 그리고 포수제를 첨가한 후 microporosity를 줄이기 위해 진공감압 탈포 처리를 행하여 양호한 예비성형체를 제조하였다.

복합재료의 제조는 squeeze casting 법으로 행하였으며 기지 금속과 강화재사이의 젖음성을 향상시키기 위하여 예비성형체를 450 $^{\circ}$ C로 예열된 금형에 장착하였으며, 800 $^{\circ}$ C의 AZ91과 AS21 Mg 합금 용탕을 하이브리드 예비성형체가 장착된 금형 내에 주입하고 plunger로 35MPa의 압력으로 가압하여 제조하였다.

제조된 금속기 복합재료의 미세조직을 관찰하기 위하여 Oxalic acid(2g Oxalic acid, 100ml H<sub>2</sub>O) 부식액으로 에칭한 후 주사식 전자현미경으로 관찰하였고, 제조

된 하이브리드 복합재료의 반응 생성물 여부를 조사하기 위하여 EDX, XRD 분석을 행하였다. 제조된 금속기 복합재료의 진동감쇠능을 기지금속과 비교하기 위해 Pulse3560 소음진동측정기를 사용하여 Time trace 방식으로 진동 감쇠계수를 구하고 그 값을 비교하였다. 또한 고온특성을 알아보기 위하여 150 $^{\circ}$ C에서 100MPa의 하중을 가하면서 크립시험을 행하였다.

## 3. 결과

### 3.1 미세조직

(그림 1) 용탕단조법으로 제조한 하이브리드 복합재료의 조직을 SEM으로 관찰한 결과를 나타낸 것으로 (a)와, (b), (c) 모두 용탕가압 침투 공정시 가압력에 의한 강화재의 파손이 관찰되지 않았고, micro-porosity, 계면에서의 젖음성 불량도 관찰되지 않아 양호한 복합재료가 제조된 것을 확인할 수 있었다.

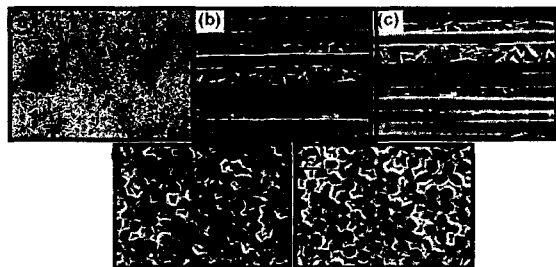


Fig. 1 SEM micrographs of hybrid Mg Metal Matrix Composites.

(a) graphite particle+9(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)•2(B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)/AZ91

(b) carbon fiber+9(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)•2(B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)/AZ91

(c) carbon fiber+9(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)•2(B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)/AS21

(d) carbon fiber+9(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)•2(B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)/AZ91

(e) carbon fiber+9(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)•2(B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)/AS21

반응생성물 및 반응 여부를 정확히 분석

하기 위해 X선 회절분석결과를 (그림2)에 나타내었다. 이는 하이브리드 복합화로 인해  $Mg_2C_3$ 와  $MgAl_2O_4$ 가 반응 생성물로 생성된 것을 알 수 있었다.

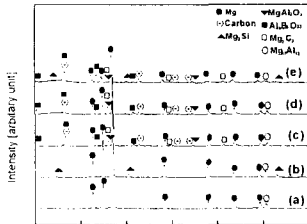


Fig. 2 X-ray diffraction pattern.

- (a) AZ91 alloy
- (b) AS21 alloy
- (c) Graphite+9(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)<sub>2</sub>(B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) / AZ91
- (d) Carbon fiber+9(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)<sub>2</sub>(B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) / AZ91
- (e) Carbon fiber+9(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)<sub>2</sub>(B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) / AS21

### 3.2 고온특성 및 진동 감쇠능

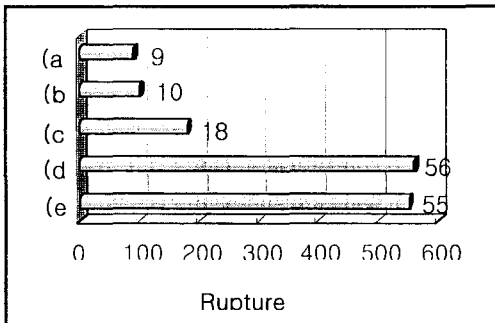


Fig. 3 Creep curves of the squeeze cast Mg matrix and hybrid Mg composites.

- (a) AZ91 alloy
- (b) AS21 alloy
- (c) Graphite+9(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)<sub>2</sub>(B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) / AZ91
- (d) Carbon fiber+9(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)<sub>2</sub>(B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) / AZ91
- (e) Carbon fiber+9(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)<sub>2</sub>(B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) / AS21

(그림3)은 Mg합금 및 하이브리드 Mg복합재료를 150℃에서 100MPa의 하중으로 Creep시험을 행하여 시간에 따른 변형률의 변화를 나타낸 그래프이다. 크립 파단 시간은 세라믹 섬유 보강재와 낮은 응력에 의해 증가하였다. Carbon fiber는 graphite particle보다 더욱 더 크립특성을 향상시키고, (graphite particle + Alborex) 와 (carbon fiber + Alborex) 하이브리드 Mg 복합재료의 크립 파단 시간은 Mg합금보다 2배 또는 5-6배 정도 높다. 그것은 세라믹 섬유에 의한 보강재가 크립저항을 증가시킨다.

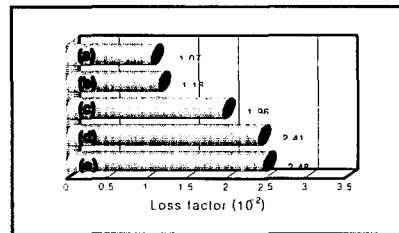


Fig 4. Damping capacity of the squeeze cast Mg matrix and hybrid Mg composites.

- (a) AZ91 alloy
- (b) AS21 alloy
- (c) Graphite+9(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)<sub>2</sub>(B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) / AZ91
- (d) Carbon fiber+9(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)<sub>2</sub>(B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) / AZ91
- (e) Carbon fiber+9(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)<sub>2</sub>(B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) / AS21

(그림4)에는 각 시편의 damping capacity를 측정된 결과를 나타내었다. loss factor( $\eta$ ) 값은 (a), (b), (c), (d), (e)의 순으로 향상되었다. 여기서 복합재료의 loss factor( $\eta$ ) 값은 Mg alloy에 비해 2배 이상 향상된 값을 나타내었으며, graphite 입자와 Alborex를 하이브리드 복합하였을 때보다 carbon fiber와 Alborex를 하이브리드 복합하였을

때 더 양호한 damping capacity를 갖는 것을 알 수 있었다. 순수Mg의 경우에는 dislocation의 이동이 용이하여 진동감쇠능이 아주 우수하지만 합금의 경우에는 dislocation의 pinning으로 인해 진동감쇠능이 다소 낮아지는 것으로 보고되고 있다. 본 실험에서는 Mg alloy를 carbon fiber, graphite입자, Alborex와 같은 강화재로 하이브리드 복합하여 damping capacity의 증가를 꾀하였다. 일반적으로는 continuous fiber를 복합하였을 때보다 particle을 복합하였을 때 더 나은 진동감쇠능을 가진다고 보고되고 있지만 본 결과에서는 반대의 결과를 나타내고 있다. 또한 MMC의 경우에는 강화재 및 matrix의 고유감쇠특성 외에 interface특성에 의해 진동감쇠능이 좌우된다. 결정입계 및 계면에서의 sliding이 커질수록 감쇠능이 향상되는 것을 생각하면 하이브리드 복합재료의 경우, 불균일 조직으로 인한 감쇠능 측정의 오차도 발생할 것으로 사료된다. 복합재료의 계면반응, 강화재에서의 전위밀도 증가, 결정립 미세화에 따른 결정입계 sliding과 crack형성에 따른 진동감쇠능의 변화에 대한 연구가 향후 더 요구된다.

#### 4. Conclusions

Creep특성과 진동감쇠능을 향상시키기 위해 세라믹 강화재(Alborex, graphite particle, carbon fiber)와 기지금속(AZ91Mg alloy, AS21Mg alloy)을 squeeze casting법으로 하이브리드 복합하여 대체적으로 양호한 조직을 갖는 Mg복합재료를 제조하였다.

하이브리드 Mg복합재료와 기지금속의 creep특성은 Mg alloy의 경우에는 AS21

Mg alloy가 AZ91 Mg alloy보다 creep파단 강도가 약간 나은 것을 알 수 있었고, 복합재료의 강화재의 차이에 따른 경우에는 carbon fiber와 Alborex를 하이브리드 복합한 경우가 graphite 입자와 Alborex를 하이브리드 복합하였을 때보다 양호한 creep파단강도를 나타내었다. 진동감쇠능을 측정한 결과에서도 제조한 Mg복합재료는 Mg alloy에 비해 2배가량 향상된 진동감쇠능을 나타내었다. 복합재료의 강화재의 차이에 따른 진동감쇠능을 살펴보면 carbon fiber와 Alborex를 하이브리드 복합한 경우가 graphite입자와 Alborex를 하이브리드 복합하였을 때보다 양호한 진동감쇠능을 나타내었다.

#### References

- [1] C. Mayencourt and R. Schaller : Proc. ICCM-11, Fatigue, Fracture and Ceramic Matrix Composites (1997) 833
- [2] Kauner Karl Ulrich: Development of magnesium Matrix Composites for Power Train Application, Proc. ICCM 12 (1999.7.Paris)
- [3] W.Schaff, F. Geinrich, C. Korner and R.F. Singer: Thermal Fatigue of Locally Reinforced Magnesium with Graded Structure, Proc. ICCM 12 (1999.7.Paris)
- [4] Mayincourt Christine, Robert Schaller: Development and Characterization of High Damping Magnesium Based Composites, Proc. ICCM 12 (1999.7.Paris)