

.....
 論 文

Rheo-compocasting 및 Hot Pressing에 의하여 제조한 Al-Si-Mg/Al₂O₃ 단섬유강화 복합재료의 조직 및 인장특성

곽현만, 이학주

Microstructures and Tensile Properties of Al₂O₃ Short Fiber/Al-Si-Mg Alloy Composites Fabricated by Rheo-compocasting and Hot Pressing

Hyun-Man Kwak and Hag-Ju Lee

Abstract

Aluminum alloy matrix composites reinforced with various amounts of Al₂O₃ short fibers have been produced by rheo-compocasting accompanied by hot pressing. When composites reinforced with fibers are produced by rheo-compocasting, S-L process is the most effective method for homogeneous dispersion of fibers. A sound composites with the improved orientation(3 dimension→2 dimension) of the fibers and increased volume fraction of them have been fabricated through the hot pressing of the casted composites. Fibers are broken down when rheo-compocasting, hot pressing, and T₆ treating. Among them fibers are broken down most heavily in the hot pressing. And even in the case of the composite reinforced with 30 vol% fibers, which showed the hardest fiber break down, aspect ratio(11.6) is higher than critical aspect ratio(10.7). The fiber strengthening effect in the composites has showed upto 573K. As the test temperature increases to the range of 573K, the effect has been higher. The fracture of composites is controlled by fiber from room temperature to 473K, but the fracture of composites is controlled by interface between fiber and matrix alloy above 473K.

(Received October 27, 1993)

1. 서 론

비강도와 비탄성이 높고, 내열성 및 내마모성 등이 우수한 특성을 가진 금속기 복합재료가 항공기부품, 자동차부품 및 스포츠용품 등의 여러 분야에서 크게 주목을 받고 있다¹⁾.

약 20년간 복합재료에 대한 많은 연구에도 불구하고 기존재료와의 가격경쟁 및 저생산성 때문에 이들 복합재료는 공업재료로 그다지 이용되지 못하였지만, 최근 제조비가 저렴하고 대량생산이 가능한 주조법^{2~8)}이 개발되면서 여러 분야에서 입자 및 단섬유강화 복합재료의 응용이 본격적으

로 추진되고 있다. 주조에 의한 금속기 복합재료 제조법 중 rheo-compocasting은 기지금속을 상태도상의 액상선과 고상선 사이의 온도로 유지시켜 반응용의 슬러리상태로 만들고, 이 슬러리상태의 기지금속에 강화재(입자, 휘스커, 단섬유)들을 첨가하면서 기계적 강제교반을 가함으로써 기지금속과 젖음성이 좋지 못한 강화재들을 기지금속내로 용이하게 분산시킬 수 있는 방법이다.

한편, 섬유강화 복합재료에서 섬유강화효과는 섬유의 배향성이 응력작용방향과 일치할수록, aspect ratio가 클수록 크게 나타나며, 섬유의 분산성 및 계면접착강도가 섬유강화효과에 큰 영향을

동명전문대학 금속과(Metallurgical Eng., Dongmyung Junior College)

미치므로, 단섬유강화 복합재료의 경우에도 섬유
의 배향성, 분산성 및 섬유와 기지금속간의 계면
접착 강도가 우수하고 섬유의 aspect ratio가 임
계 aspect ratio보다 크면 상당한 섬유강화 효과
를 기대할 수 있다⁹⁾. 그러나 지금까지 복합재료
제조에 대한 연구로서, 입자강화 복합재료의 경
우에는 rheo-compocasting, 단섬유 및 휘스커강
화 복합재료의 경우에는 squeeze casting에 관한
것이 주로 보고되고 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 rheo-compocasting과
열간가압을 조합한 방법으로 건전한 단섬유강화
복합재료를 제조하는데 목적을 두었으며, 제조된
복합재료내에 존재하는 섬유의 분산성, 배향성
및 aspect ratio 등을 조사하고, 상온 및 고온인
장강도를 측정하여 rheo-compocasting에 의한
단섬유강화 복합재료 제조시에 필요한 기초자료
를 얻고자 한다.

2. 실험방법

2.1 Al₂O₃ 단섬유강화 복합재료 제조

기지금속으로는 Al-6.5wt.%Si-1.7wt%Mg 합금
을, 강화재로는 SAFFIL제인 δ-Al₂O₃ 단섬유를
선택하고, rheo-compocasting 장치⁷⁾를 이용하여
단섬유강화 복합재료를 주조하였다. 이때 섬유의
첨가량은 5, 10 및 15vol%이었고, 주형은 금형
(Φ 130mm)을 사용하였다. 주조공정은 일정한
교반조건(impeller 회전속도 600rpm, 교반시간
30분)에서 액상(1023K)의 기지금속에 단섬유를
첨가하고, 액상의 복합재료를 주조한(이하 L-L
공정) 경우와 슬러리(873K) 상태의 기지금속에
섬유를 첨가하고, 슬러리상태의 복합재료를 주조
한(이하 S-S 공정) 경우 및 슬러리상태의 기지
금속에 섬유를 첨가하고, 슬러리상태의 복합재료
를 재용해(1023K)한 후 액상의 복합재료를 주
조한(이하 S-L 공정)경우의 3가지로 하였다. 그
후 섬유들의 분산성이 가장 양호한 상태로 조사
된 S-L 공정으로 주조된 시료를 일정한 조건(온
도 873K, 압력 420kg/cm²)에서 가압하고, 압축
공기(냉각속도 20k/min⁵⁾)를 이용하여 냉각시켜
각종 시험용 시편으로 사용하였다. 그리고 섬유
의 체적률을 더욱 증가시키기 위하여 일부 시료
(15vol% Al₂O₃)를 재용해(923K) 및 가압하여

기지금속을 squeeze-out¹⁰⁾시켰으며, squeeze-out
된 기지금속의 양을 변화시켜 섬유의 체적률을
조절하였다. 이 경우 복합재료의 섬유 체적률은
밀도를 이용한 복합칙¹¹⁾에 의하여 23vol% 및
38vol%로 추정되었다.

Table 1 및 Table 2는 본 실험에서 사용한 기
지금속의 조성 및 단섬유의 물성치¹²⁾를 나타낸
것이다.

Table 1. Chemical composition of the matrix alloy
(wt.%).

| Nominal composition | Si | Mg | Fe | Mn | Cr | Al |
|---------------------|------|------|------|------|------|------|
| Al-7wt%Si-2wt%Mg | 6.51 | 1.70 | 0.15 | 0.13 | 0.10 | bal. |

Table 2. Properties of the Al₂O₃ short fiber¹²⁾.

| | |
|---|----------------------------------|
| Thermal exp. coeff.(1/°C) | 8.0 × 10 ⁻⁶ |
| Thermal conductivity (cal/cm·sec·°C) | 0.05 |
| Specific heat(cal/g·°C) | 0.19 |
| Tensile strength(kg/mm ²) | 204 |
| Elastic moduls(kg/mm ²) | 33 × 10 ³ |
| Density(g/cm ³) | 3.3 |
| Hardness(Hv) | 1600 |
| Mean diameter(μm) | 3 |
| Mean length(μm) | 70 |
| Type | δ-Al ₂ O ₃ |

2.2 미세조직, 섬유의 길이 및 기계적 성질

복합재료의 미세조직은 0.5%HF 수용액으로
5초간 부식시켜 광학현미경으로 관찰하였으며,
제조된 복합재료를 10%HCl 수용액에 침적하여
기지금속을 완전히 용해시켜 섬유들을 복합재료
로부터 분리·추출하고, 완전히 건조시킨 후 섬유
들의 길이를 SEM으로 150회 측정하여 그 평균
값을 섬유의 길이로 하였다. 인장시험은 Instron
을 이용하여 상온, 473K, 573K, 673K 및 773K
에서 행하였다. 이때 cross head speed는 0.4mm
/min이었으며, 인장시편의 규격은 T₆(773K ×
2hr → 수냉 → 453K × 12hr → 공냉)처리후 평행부의
길이 18.5mm, 폭 6mm 및 두께 4mm로 가공하
였다. 또한 인장시험후 시편의 파단면을 초음파
세척기로 세척하여 SEM으로 관찰하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 Al₂O₃ 단섬유강화 복합재료의 조직관찰

Photo 1은 슬러리상태의 기지금속에서 합금원소의 분포상태를 조사한 것으로서 (a)는 SEM조직, (b), (c) 및 (d)는 각각 Al, Si 및 Mg image를 나타낸 것이며, S와 L은 각각 슬러리상태에서 고상(α -solid)과 잔류액상을 나타낸 것이다. Photo 1 (c), (d)에서 알 수 있는 바와 같이 슬러리상태의 기지금속에서는 합금원소인 Si 및 Mg가 잔류액상에 편석되어 있는 것을 관찰할 수 있다. 이러한 편석은 초정 α 가 응고 및 성장하는 동안에 잔류액상으로 reject된 결과로서, rheo-compcasting으로 복합재료를 제조할 때 잔류액상의 표면장력을 저하시켜¹³⁾ 슬러리상태의 기지금속에 존재하는 초정 α 와 함께 강화재 첨가에 효과적인 역할을 수행할 것으로 판단된다.

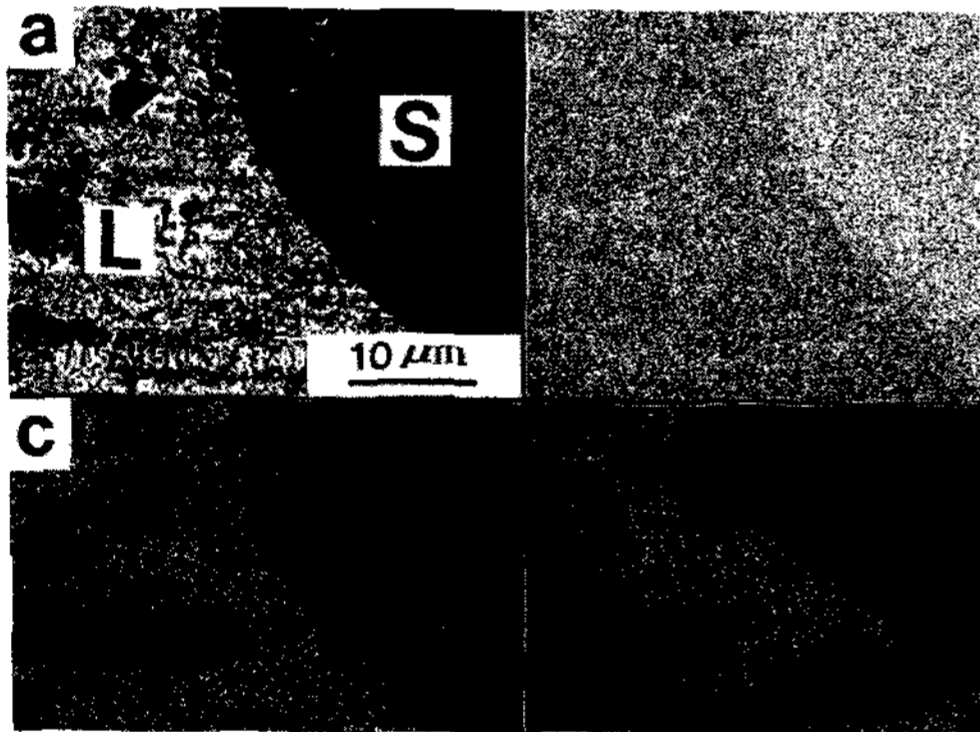


Photo 1. X-ray images of slurry state of matrix alloy : (S : solid, L : liquid)
(a) SEM photograph, (b) Al image, (c) Si image, and (d) Mg image.

Photo 2는 단섬유강화 복합재료의 제조공정에 따른 섬유의 분산상태를 나타낸 것으로서 (a), (b) 및 (c)는 각각 L-L 공정, S-S 공정 및 S-L 공정의 경우이다. L-L 공정(a) 경우에는 섬유의 첨가가 용이하지 않았으며 첨가된 일부의 섬유도 조대한 구상의 응집상태로 존재하고 있는 것을 관찰할 수 있다. S-S 공정(b) 경우에는 섬유의 응집상태가 관찰되지 않았으나 섬유는 조대한 초정 α 사이의 잔류액상에 편석되어 존재하고 있는 것을 관찰할 수 있다. 그러나 S-L 공정의 경우에는 섬유의 응집상태도 존재하지 않고 섬유의 분

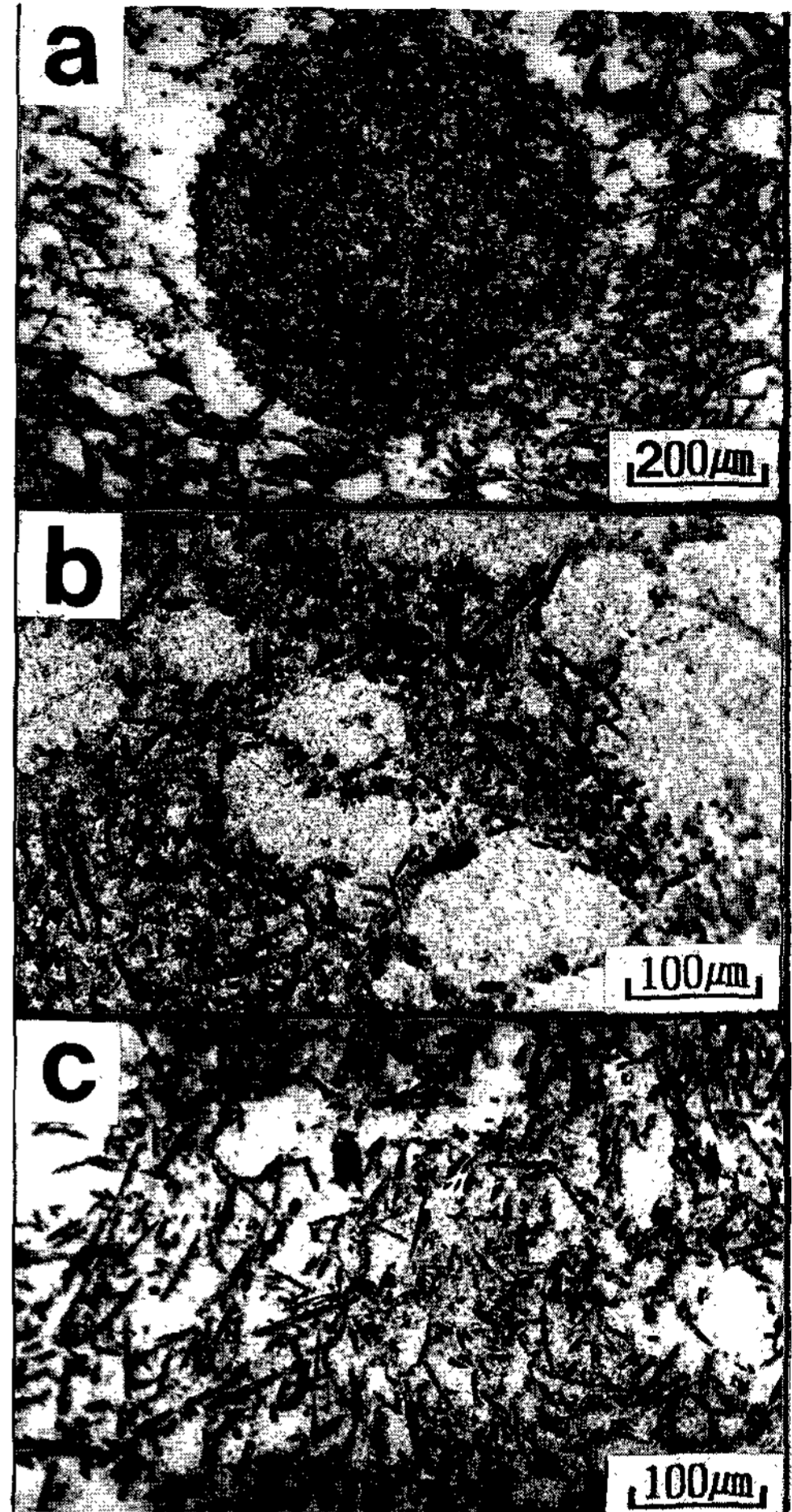


Photo 2. Microstructures of composite reinforced with 15 vol% Al₂O₃ short fibers according to fabrication process :
(a) liquid mixing and liquid casting, (b) slurry mixing and slurry casting, and (c) slurry mixing and liquid casting.

산성도 L-L 공정과 S-S 공정에 비하여 비교적 양호하였다. 즉 S-L 공정의 경우는 슬러리상태의 복합재료를 교반할 때 기지금속내에 존재하는 초정 α 가 응집된 섬유와 충돌하여 응집된 섬유들을 분산시키고⁸⁾, 기지금속내에 존재하는 조대한 초정 α 가 채용됨으로써 초정 사이의 섬유가 분산된 상태에서 급랭응고되어 섬유의 분산성이 양호하다고 생각된다. 따라서 rheo-compcasting으로 복합재료를 제조할 때 S-L 공정이 가장 효과적인 방법임을 알 수 있었다.

그러나 S-L 공정의 경우, 복합재료내의 섬유는 양호한 분산성을 나타내지만 3차원적으로 배향되어 있으며, 복합재료내에는 슬러리상태의 기지금속을 교반할 때 가스흡입의 결과로 판단되는 기공이 관찰되었다.



Photo 3. Microstructures of composite reinforced with 15 vol% Al₂O₃ short fibers after rheo-compocasting and hot pressing :
(a) slow cooling rate, and (b) rapid cooling rate.

Photo 3은 복합재료내에 존재하는 기공을 제거하기 위하여 S-L 공정에 의하여 주조된 시료를 재용해(893K)시켜 가압한 것을 나타낸 것으로서, (a)는 가압한 후 노냉시킨 경우이고 (b)는 가압한 후 압축공기를 이용하여 냉각시킨 경우이다. 가압한 후 복합재료에서는 기공이 거의 관찰되지 않았으나, 노냉의 경우 (a)에는 섬유들이 다시 조대한 초정 α 사이에 편석되어 있으며, 이러한 편석의 경향은 섬유의 체적률이 낮을수록 심하게 나타났다. 그러나 급냉의 경우 (b)에는 섬유들이 기지금속내에 균일하게 분산되어 있다. 즉 서냉응고의 경우에는 초정 α 가 조대하게 성장함으로써 섬유들은 고-액 응고계면의 이동에 의해

최종 응고구역으로 이동¹⁴⁾되어 섬유의 분산성이 양호하지 못하다고 생각되며, 급랭응고의 경우에는 급랭으로 인하여 초정 α 의 성장이 억제되므로 양호한 분산상태를 나타낸다고 생각되며, 팍 등⁷⁾이 입자분산 경우에도 같은 현상을 보고하고 있다.

따라서 입자분산의 경우와 같이 단섬유의 경우에도 강화재의 분산성은 복합재료 제조시의 기지금속의 응고거동에 영향을 받고 있으며, 섬유의 균일분산을 얻기 위해서는 급랭응고에 의한 기지금속에 미세화가 필요하다고 사료된다.

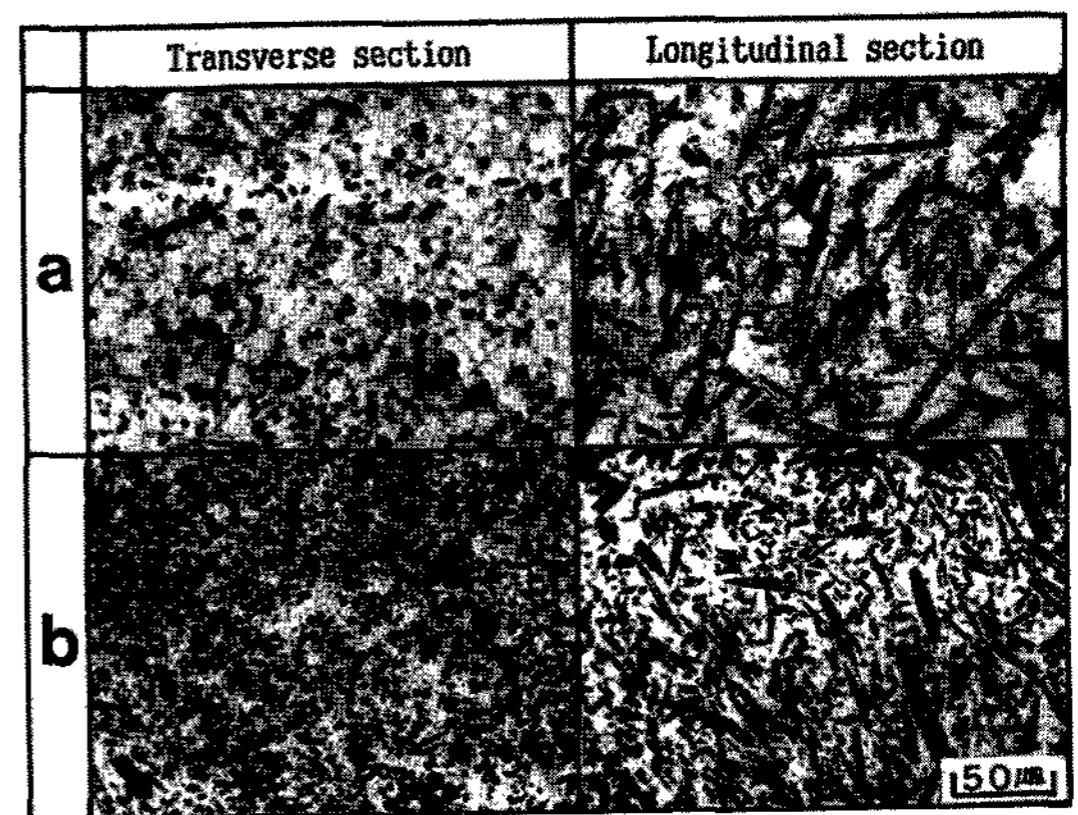


Photo 4. Microstructures of the transverse and longitudinal section of composite reinforced with Al₂O₃ short fibers after rheo-compocasting, hot pressing :
(a) composite reinforced with 15 vol% Al₂O₃ short fibers, and
(b) composite reinforced with 38 vol% Al₂O₃ short fibers.

Photo 4는 Photo 2 (c) 및 Photo 3 (b)에 나타난 방법으로 제조한 단섬유강화 복합재료의 횡단면과 종단면 조직을 나타낸 것으로서, (a)는 15vol%의 섬유로 강화시킨 경우이며, (b)는 38vol%의 경우로서 15vol%의 섬유로 강화시킨 복합재료를 가압할 때, 기지금속을 squeeze-out시켜 섬유의 체적률을 증가시킨 경우이다. 주조에 의하여 제조된 단섬유강화 복합재료는 섬유가 3차원적으로 배향(Photo 2)되어 있는데 비하여 이것을 가압하면 체적률에 관계없이 섬유가 거의 2차원적으로 배향되어 단섬유강화 복합재료의 강화에 중요한 인자인 섬유의 배향성을 개선시킬 수 있었다. 또한 rheo-compocasting으로 단섬유

강화 복합재료를 제조할 때의 결점인 점성증가로 인한 섬유 체적률의 제한성¹⁵⁾을 개선시킬 수 있었다. 그러나 가압시, 섬유의 재배열에 의하여 섬유는 파단되어 있으며 섬유의 체적률이 증가할 수록 섬유의 파단경향은 크게 나타났다.

3.2 제조공정에 따른 복합재료내의 섬유길이

Kelly 등¹⁶⁾의 단섬유강화 복합재료의 강화이론에 의하면 복합재료의 강도는 섬유와 기지금속간의 계면전단응력(τ), 섬유의 강도(σ_f) 및 섬유의 aspect ratio(l/d)에 의하여 결정되고, 섬유의 임계길이(l_c)는 다음과 같이 정의된다.

$$l_c = (\sigma_f / 2\tau) \cdot d$$

여기서, l_c 는 섬유강화 복합재료에서 강화섬유가 강화효과를 나타내는 한계길이, d 는 섬유의 직경이며, 계면전단응력(τ)은 기지금속의 항복응력의 1/2과 거의 같다.

단섬유강화 복합재료에서 섬유 aspect ratio(l/d)가 임계 aspect ratio(l_c/d)보다 작으면 섬유는 섬유강화효과를 나타내지 못하고, 분산강화효과를 나타내어 복합재료의 강도는 기지금속에 의하여 지배되고, 섬유의 aspect ratio가 임계치보다 크면 복합재료의 강도는 섬유에 의하여 지배된다^{9,10)}. 따라서 단섬유강화 복합재료에서 섬유강화효과를 기대하기 위해서는 임계치보다 큰 섬유의 aspect ratio가 요구되므로 본 실험에서도 섬유의 aspect ratio를 조사하기 위하여 복합재료내에 존재하는 섬유의 길이를 측정하였다.



Photo 5. SEM microphotograph of fibers extracted from composite reinforced with 15 vol% Al_2O_3 short fibers after rheo-compocasting, hot pressing and T_6 treatment.

Photo 5는 주조(S-L 공정)한 단섬유강화 복합재료(15vol%)에서 기지금속과 분리·추출한 단섬유를 SEM으로 관찰한 것이다. 주조하기전 섬유의 평균길이가 $70\mu m$ (Table 2 참조)인데 비하여 주조한 후에는 상당히 파손되어 있으며 섬유표면에서 부착물들도 관찰할 수 있었다. 섬유의 파손은 주조시 교반에 의하여 슬러리상태의 기지금속내에 존재하는 초정 α 와 섬유 또는 섬유들간의 충돌로 인한 grinding effect¹⁰⁾의 결과로 생각되며, 섬유표면의 부착물들은 전보¹⁷⁾ 및 Levi¹⁸⁾ 등의 연구결과로부터 Al_2O_3 단섬유와 기지금속간의 반응에 의하여 생성된 $MgAl_2O_4$ 및 응고시 섬유표면에 정출된 공정 Si라고 판단된다.

따라서 본 실험에서 제조한 Al_2O_3 단섬유강화 복합재료는 Al_2O_3 와 기지금속간의 반응으로 인하여 계면접착성이 양호할 것으로 사료된다.

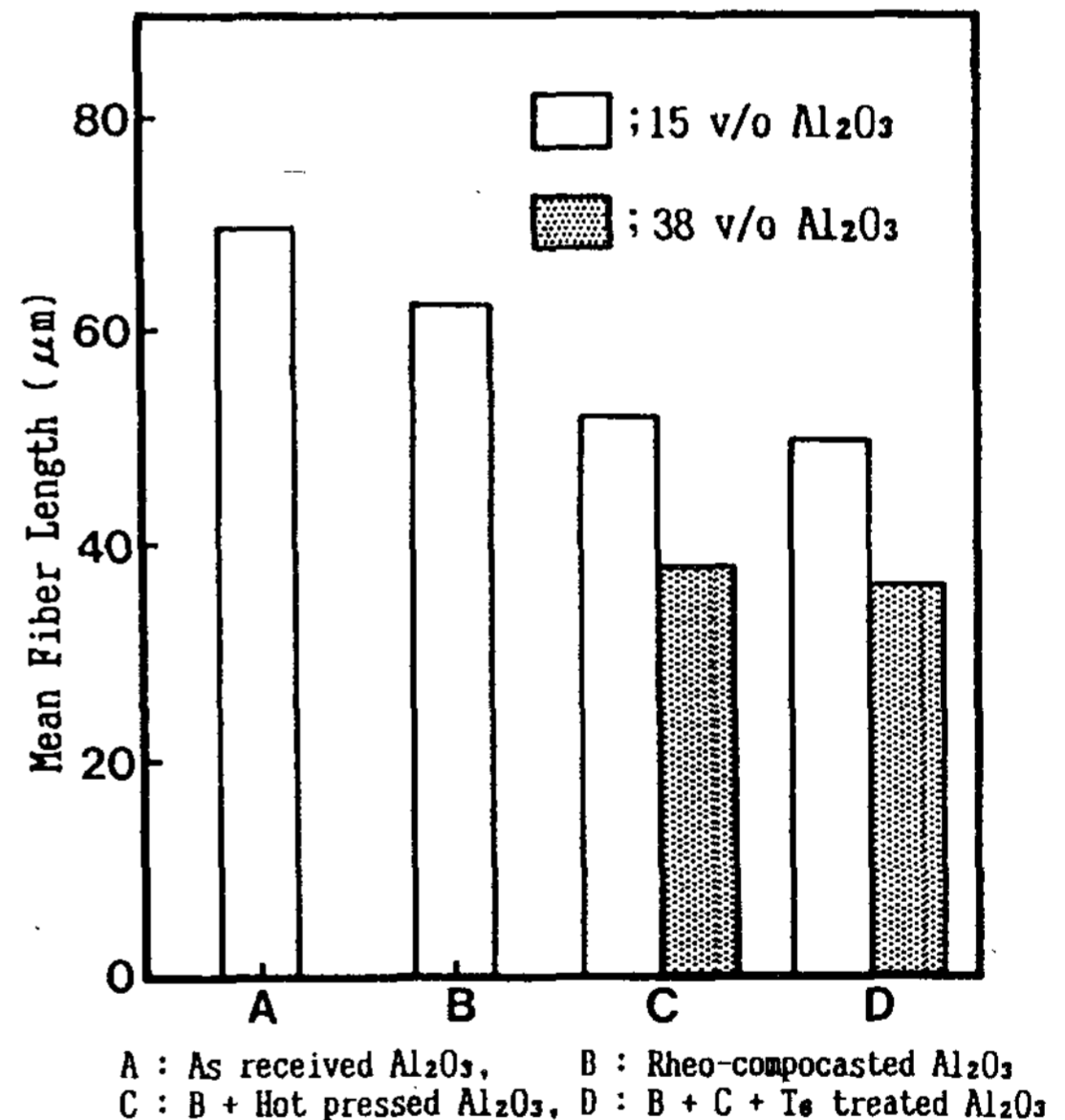


Fig. 1. The effect of fabrication process on the mean fiber length in composite reinforced with Al_2O_3 short fibers.

Fig. 1은 S-L 공정에 의하여 주조된 15vol% 단섬유강화 복합재료의 제조공정에 따른 섬유의 파손경향을 나타낸 것이며, 38vol% 경우도 함께 표기하였다. 15vol%의 경우에는 제조전의 섬유길이가 평균 $70\mu m$ 인데 비하여 rheo-compocasting, 가압 및 T_6 처리후의 섬유의 평균길이는 각각 61μ

m, 49 μ m 및 47 μ m로 측정되어, rheo-compo-casting 및 가압의 경우에 섬유가 심하게 파손되었으며, T₆처리시에도 약간의 파손을 관찰할 수 있었다. 그리고 38vol%의 경우에는 가압 및 T₆처리 후의 섬유의 평균길이가 각각 37 μ m 및 35 μ m로서, 15vol%의 경우에 비하여 크게 파손되어 있음을 관찰할 수 있었다. 이러한 섬유의 파손은 rheo-compocasting의 경우에 Photo 3에서 언급한 바와 같이 grinding effect로 인한 파손이며, 가압의 경우에는 가압시의 하중으로 인한 취성인 섬유의 파손 및 섬유의 재배열시(2차원) 섬유가 받는 굽힘응력과 섬유간의 상호작용(충돌, 마찰)으로 인한 파손 및 냉각시 섬유와 기지금속간의 열팽창계수차이로 인한 파손이라 생각된다. 그리고 섬유의 체적률이 증가(38vol%)하면 섬유들간의 상호작용이 더욱 크게 되어, 섬유의 파손이 더욱 심하다고 생각된다. T₆처리의 경우에는 가열 및 냉각(수냉)시, 섬유와 기지금속간의 열팽창계수 차이로 인한 섬유의 파손이라 생각된다.

그런데 본 실험에서 제조한 복합재료는 섬유들이 가장 많이 파손된 38vol%의 경우에도 섬유의 평균 aspect ratio가 약 11.6 정도이며, 인장시험결과로부터 구한 $\tau(\approx \sigma_y/2)$ 는 약 9.5kg/mm²이었고, 본 실험에서 사용한 섬유의 파단강도 및 직경이 각각 204kg/mm²와 3 μ m(Table 2참조)이므로 윗식에 의하여 임계 aspect ratio를 구하면 약 10.7 정도이다. 따라서 본 실험에서 제조한 모든 복합재료내의 섬유의 평균 aspect ratio는 임계치보다 크므로 섬유강화효과가 기대된다.

3.3 Al₂O₃ 단섬유강화 복합재료의 인장특성

Fig. 2는 38vol%의 단섬유로 강화시킨 복합재료(T₆처리)의 온도변화에 따른 응력-변형률곡선을 나타낸 것이다. 상온에서 673K까지는 최대응력에서 바로 파단되었고, 온도가 증가함에 따라 최대응력은 감소하며 연신율은 약간 증가하였다. 또한 573K 이상의 온도에서는 곡선에 요철이 나타났으며 온도증가와 함께 요철의 크기는 감소하고 요철의 수는 증가하였다. 이러한 요철은 Hong 등¹⁹⁾이 squeeze casting에 의하여 제조한 Al₂O₃ 단섬유강화 Al기 복합재료에서도 보고된 바 있다. 그러나 773K에서는 요철은 나타나지 않고 응

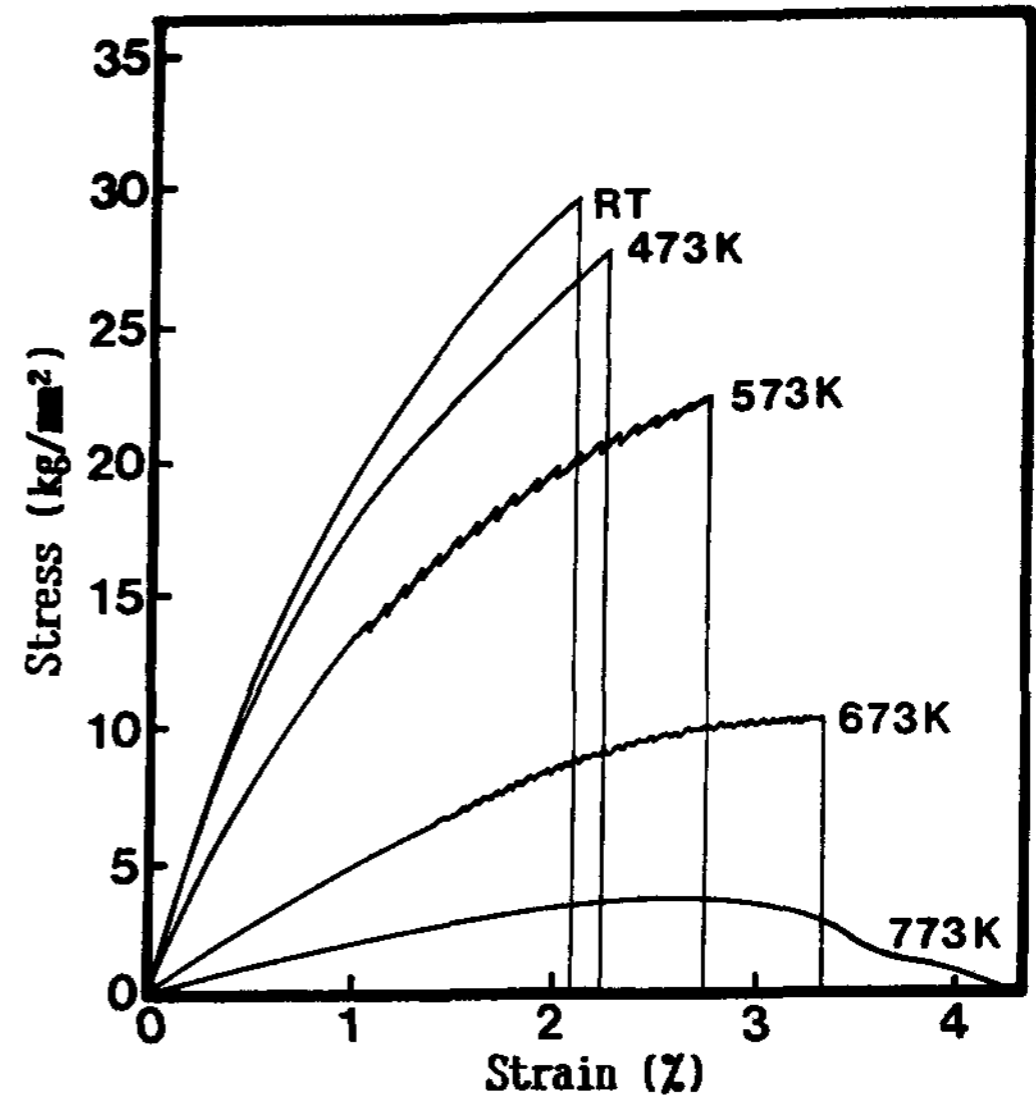


Fig. 2. Tensile stress-strain curves of composite reinforced with 38 vol% Al₂O₃ short fibers tested at various temperature after T₆ treatment.

력도 최고응력에 도달한 후 파단시까지 서서히 0으로 감소하였다. 즉 상온에서 673K까지는 Photo 5 및 Fig. 1에서 언급한 바와같이 섬유와 기지금속간의 양호한 계면결합과 섬유의 aspect ratio가 임계치보다 크기 때문에 섬유가 하중을 분담하여 섬유강화효과를 나타낸 것으로 판단된다. 그러나 573K에서는 기지금속의 연화 및 섬유와 기지금속간의 열팽창계수 차이에 의하여 발생된 계면전단응력 때문에 계면접착력이 저하되어 섬유의 pull out가 일어나며, 개개의 섬유가 pull out될 때마다 순간적인 응력이 감소되어 곡선에 요철이 나타난다고 생각된다. 673K에서는 온도 증가로 인하여 기지금속이 더욱 연화되고, 계면전단응력의 발생이 더욱 크게 되어 섬유의 pull out 즉 계면분리에 필요한 응력이 573K 경우보다 저하되므로 요철의 크기가 감소한다고 생각된다. 그리고 773K에서는 기지금속의 현저한 연화에 의하여 섬유와 기지금속간의 분리에 응력이 거의 필요하지 않으므로 곡선에는 요철이 나타나지 않는다고 생각된다.

Fig. 3은 단섬유로 강화시킨 복합재료(T₆처리)에서 섬유의 체적률 및 온도증가에 따른 인

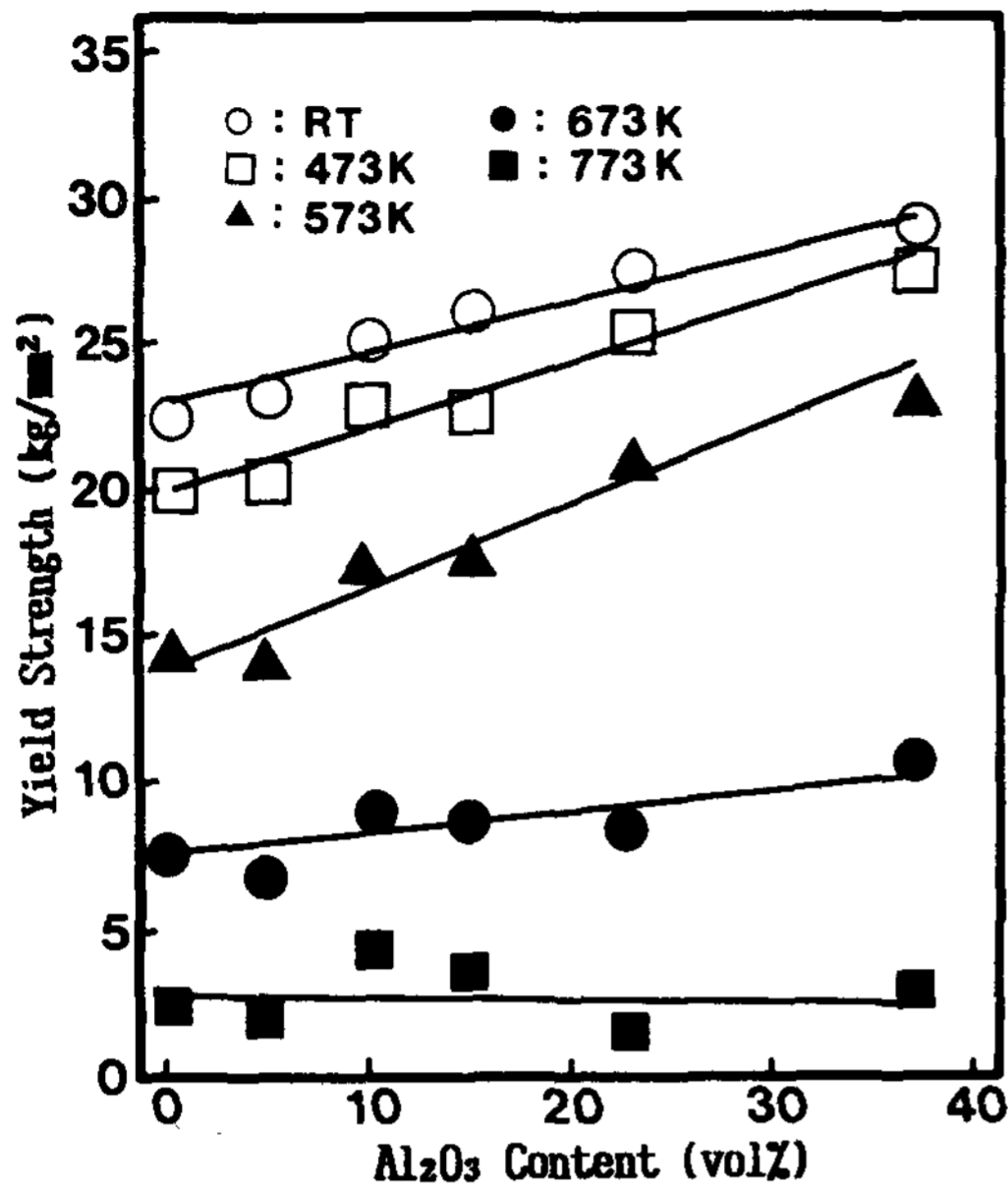


Fig. 3. The effect of Al₂O₃ short fibers content on the tensile strength of composites tested at various temperature.

장강도의 변화를 나타낸 것이다. 상온에서 573K까지는 섬유의 체적률이 증가함에 따라 강도는 향상되었고, 온도가 증가함에 따라 섬유의 체적률 증가에 의한 강화효과는 더욱 크게 나타났다. 특히 573K의 경우에는 38vol% 경우의 강도 (22kg/mm²)가 기지금속(14kg/mm²)에 비하여 57% 정도 향상되었으며, 상온의 기지금속 경우 (22.5kg/mm²)와 비슷한 강도를 나타내어 기지금속의 내열성도 약 300K 정도 개선되었다. 그러나 673K에서는 섬유강화효과가 상당히 저하되었으며, 773K에서는 섬유의 체적률이 비교적 낮은 경우, 강도가 약간 향상되었으나 섬유체적률이 증가됨에 따라 오히려 강도가 감소하는 경향을 나타내었다. 이것은 Fig. 2에서 언급한 바와 같이 비교적 저온에서는 섬유강화효과를 나타내지만 고온에서는 섬유의 pull out에 의하여 섬유강화효과를 나타내지 않기 때문이라고 생각되며, 673K에서는 복합재료내에 존재하는 섬유의 완전한 계면분리에 의하여 섬유의 체적률이 증가함에 따라 섬유의 존재로 인한 기지금속의 체적률 저하로 기지금속 정도의 강도도 나타내지 못한다고 생각된다.

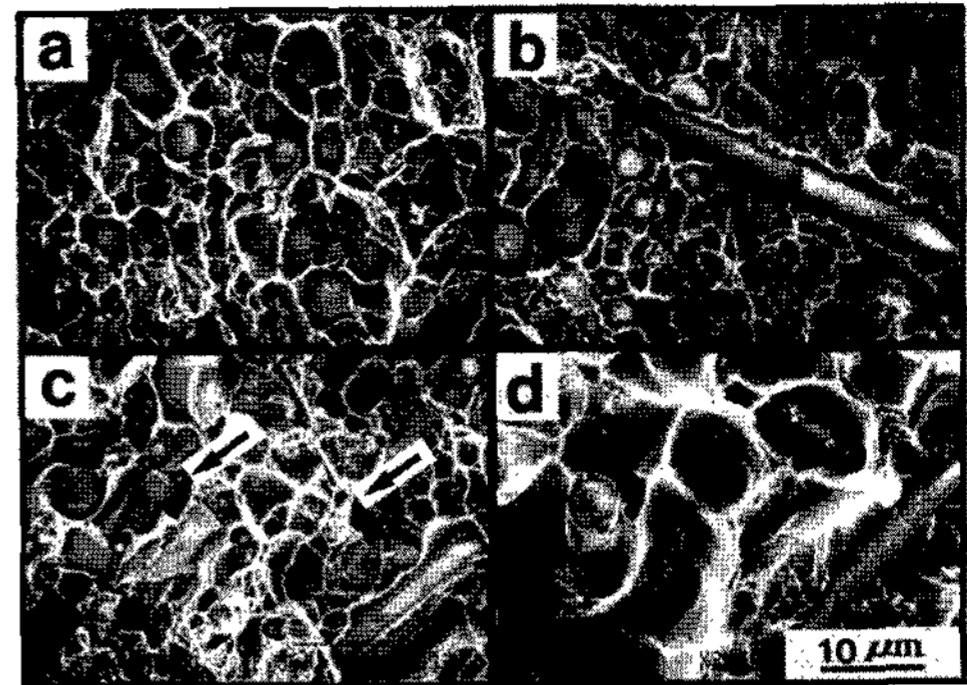


Photo 6. SEM micrographs of fracture surface of composite reinforced with 38 vol% Al₂O₃ short fibers tested at various temperature : (a) room temperature, (b) 473K, (c) 573K, and (d) 773K.

따라서 본 실험에서 제조된 Al₂O₃ 단섬유강화 복합재료는 573K까지 고온강도가 크게 향상되었다.

Photo 6은 38vol% 단섬유로 강화시킨 복합재료의 인장파단면을 나타낸 것이며 (a), (b), (c) 및 (d)는 각각 상온, 473K, 573K 및 773K의 경우이다. 전 파단면에서 균열의 시점으로 작용하는 섬유의 응집상태는 관찰되지 않았다. 상온 및 473K에서는 인장방향과 수직으로 배열된 섬유의 pull out(473K의 경우)가 일부 관찰되었으나, 대부분의 섬유는 파단면에서 파단되어 있음을 관찰할 수 있었다. 이것은 섬유가 자신의 강도를 이용하여 외부의 하중을 분담하여 파단되었음을 의미하므로 상온 및 473K에서 복합재료의 파단은 섬유에 의하여 지배됨을 알 수 있었다. 573K에서는 기지금속의 연화에 의하여 인장방향과 수직으로 배열된 섬유뿐만 아니라 일부 인장방향의 섬유도 pull out되기 시작하지만 여전히 파단면에서 많은 섬유들이 파단되어 있는 것을 관찰할 수 있으므로 이 온도에서도 섬유가 외부의 하중을 분담한다는 것을 알 수 있었다. 또한 pull out된 섬유의 표면에는 연성의 기지금속(화살표로 표시)으로 덮여 있는 것을 관찰할 수 있으므로 기지금속과 단섬유는 양호한 결합을 이루지만, 이 온도에서는 복합재료의 파단은 섬유 및 계면의 기지금속영역 파단으로 파단기구가 천이되고

있음을 알 수 있었다. 그리고 773K에서는 완전한 섬유의 pull out 즉, 계면분리에 의하여 복합재료가 파단되는 것을 알 수 있었다. 즉 이 온도에서는 모든 섬유가 pull out되어 있으며 기지금속은 조대한 연성의 dimple파단을 나타냄으로써, 섬유는 기지금속을 전혀 강화시키지 못하고 강화재로 보다는 void로 작용하여 복합재료의 강도저하 요인이 된다고 생각되며, 이러한 인장파단면의 관찰로부터 Fig. 2 및 Fig. 3의 결과들을 확인할 수 있었다.

4. 결 론

Rheo-compocasting 및 hot pressing에 의하여 Al₂O₃ 단섬유강화 복합재료를 제조하고 그 특성을 조사분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) Rheo-compocasting으로 Al₂O₃ 단섬유강화 복합재료를 제조할 때 S-L공정이 섬유의 균일분산성에 가장 효과적인 방법이었다.

2) 주조된 복합재료를 열간가압시킴으로써 섬유의 배향성 및 체적률이 개선된 건전한 단섬유강화 복합재료를 제조할 수 있었다.

3) Rheo-compocasting, 열간가압 및 T₆처리시 섬유의 파손이 일어 났으며, 섬유의 파손이 가장 심한 38vol% 단섬유강화 복합재료의 경우에도 섬유의 평균 aspect ratio(11.6)가 임계 aspect ratio(10.7)보다 큰 값을 나타내었다.

4) 복합재료는 573K까지 섬유강화효과가 나타났으며, 이 온도까지는 시험온도가 증가함에 따라 강화효과는 더욱 크게 나타났다.

5) 상온에서 473K까지 복합재료의 파단은 섬유의 파단에 의하여 지배되었지만, 그 이상의 온도에서는 점차 섬유와 기지금속간의 계면분리에 의한 파단으로 파단기구가 천이되었다.

참 고 문 헌

1. A. Okura : J. Jap. Compo. Mater. Soc., 11 (1985) 204

2. M. F. Amateau : J. of Compo. Mater., 10 (1976) 279
3. 김정근 : “纖維強化-Al合金 複合材料의 界面反應과 機械的 性質에 관한 研究”, 釜山大學 校 學位論文 (1984)
4. D. F. Hasson, S. M. Hoover, and C. R. Crowe : J. of Mater. Sci., 20 (1985) 4147
5. C. Milliere, M. Suery : Met. Sci. and Tech., 4 (1988) 41
6. 이학주, 홍준표 : 주조, 11 (1991) 18
7. 곽현만, 최창옥 : 주조, 13 (1993) 238
8. R. Mehrabian, R. G. Riek, and M. C. Flemings : Metall. Trans., 5 (1974) 1905
9. 落合壓治郎, 長村光造 : 輕金屬, 38 (1988) 685
10. B. F. Quigley, G. J. Abbaschian, R. Wunderlin, and R. Mehrabian : Metall. Trans., 13A (1982) 93
11. P. K. Ghosh, S. Ray, and P. K. Rohatgi : Trans. Jap. Inst. Metals, 25 (1984) 440
12. 鈴木明 : “新素材·新材料のすべて”, 日刊工業(株), 東京 (1987) 112
13. F. A. Giroto, L. Albingre, J. M. Quenisset, and R. Naslain : J. of Metals, November (1987) 18
14. D. K. Rohatgi, F. M. Yarandi, Y. Liu : “Cast Reinforced Metal Composite”, International Symposium, ASM (1988) 249
15. C. C. Jones, F. E. Wawner : “Fundamental Relationship Between Microstructure & Properties Metal-Matrix Composite”, TMS (1990) 47
16. A. Kelly, W. R. Tyson : J. Mech. Phys. Solids, 13 (1986) 329
17. 이학주, 홍준표 : 주조, 11 (1991) 293
18. C. G. Levi, G. J. Abbaschian, and R. Mehrabian : Metall. Trans, 9A (1987) 697
19. 홍순형, 이길근, 김진, 이상관 : 대한금속학회지, 28 (1990) 615