

.....
 論 文

Rheo-compocasting 및 열간압출에 의하여 제조한 Al-Si-Mg / Al₂O₃ 단섬유강화복합재료의 특성

이 학 주* 홍 준 표**

**Characteristics of Al₂O₃ Short Fiber/Al-Si-Mg Alloy Composites Fabricated
by Rheo-compocasting and Hot Extrusion**

Hag-Ju Lee* Chun-Pyo Hong**

Abstract

Aluminum alloy matrix composites reinforced with various amounts of Al₂O₃ short fibers have been produced by a combined technique of rheo-compocasting and hot extrusion. Distribution of fibers in the composites fabricated by rheo-compocasting was relatively uniform. A good degree of uniaxial fiber alignment has been achieved by hot extrusion, but a lot of fibers fractured during extrusion. The tendency of fiber fracturing increases as the aspect ratio and the amount of fibers increase. Relatively good bonding between fiber and matrix was obtained by the formation of MgAl₂O₄ and Mg(Al, Fe)₂O₄ at the interface between fiber and matrix. In extruded composites, fiber-strengthening effect was relatively small since a lot of fibers fractured during hot extrusion. On the other hand, dispersion strengthening effect may increase. In order to improve the fiber strengthening effect, it is important to optimize the extrusion condition with consideration of metal flow in extrusion die.

1. 서 론

금속기지와 SiC 및 Al₂O₃ 등과 같은 세라믹섬유들을 복합화한 재료는 비강도와 비탄성이 높고 열팽창계수가 낮으며 고온성질이 우수하여 항공기 부품, 자동차 부품 및 레저용품 등의 여러 분야에서 크게 주목을 받고 있다.

약 20년간 복합재료에 대한 많은 연구에도 불구하고 기존 재료와의 가격경쟁 및 저생산성 때문에 공업재료로 그다지 이용되지 못하였지만, 최근, 제조비가 저렴하고 대량생산이 가능한 주조법

에 의한 복합재료 제조법이 개발되면서 복합재료의 본격적인 응용이 추진되고 있다. 주조법에 의한 복합재료 제조법에는 가압성형법(hotpressing)⁽¹⁾, 용탕단조법(squeeze casting)⁽²⁾ 및 rheo-compocasting^(3,4) 등이 있다. 이들 방법중 rheo-compocasting은 응고중의 slurry를 강제교반하면서 강화재를 첨가하므로, 기지금속과 젖음성이 좋지 못한 세라믹 강화재도 용이하게 slurry에 첨가 및 분산시킬 수 있으며, 강화재 첨가로 인한 저 유동성의 slurry가 thixotropic 거동⁽⁵⁾을 하여 유동성이 유지됨으로 near-net shape의 복합

* 동명전문대학 금속과(Dongmyung Junior College)

** 연세대학교 금속공학과(Dept. of Metallurgical Eng., Yonsei University)

재료를 대량으로 구조할 수 있다.

한편 섬유강화복합재료에서 높은 강화효과를 얻기 위해서는 재료내에 존재하는 섬유들이 부하 응력방향과 일치하는 배향성을 가지고, 이들 섬유의 aspect ratio가 임계 aspect ratio 보다 커야 하므로 강화섬유는 장섬유가 단섬유에 비하여 유리하다.^(6,7) 그러나 장섬유는 복합재료 제조전에 미리 배향시켜야 하며, rheo-compocasting에 의하여 near-net shape제품을 용이하게 구조할 수 없는 반면, 단섬유는 장섬유에 비하여 제조된 복합재료의 강도는 떨어지지만⁽⁸⁾ 섬유의 취급이 용이하고 가격이 저렴하며 rheo-compocasting을 이용하여 near-net shape제품을 용이하게 구조할 수 있는 장점이 있다. 또한 단섬유강화복합재료는 소성가공성이 비교적 양호하므로 압연, 압출 등의 2차가공을 통하여 섬유들을 1차원적으로 배향시킬 수 있으며, 1차원적으로 배향된 섬유의 aspect ratio가 임계 aspect ratio 보다 크면 단섬유의 경우에도 상당한 강화효과를 기대할 수 있다.

본 연구에서는 rheo-compocasting을 이용하여 Al합금을 기지금속으로 하는 Al₂O₃ 단섬유강화복합재료를 구조하고, 구조된 시료를 다시 일정한 압출조건하에서 압출하였다. 이렇게 제조된 섬유강화복합재료의 강도에 미치는 섬유의 분산성, 배향성, 길이 및 섬유와 기지금속간의 계면반응 등의 영향을 조사하고 경도 및 강도를 측정하여, rheo-compocasting 및 열간압출에 의하여 제조한 Al₂O₃ 단섬유강화복합재료의 제 특성을 조사하고자 한다.

2. 실험방법

2.1 시편제작

기지금속으로는 Al-6.5wt% Si-1.7wt% Mg 합금을, 강화재로는 SAFFIL제인 δ-Al₂O₃ 단섬유를 선택하여 rheo-compocasting⁽⁹⁾으로 단섬유강화복합재료를 구조하였다. 이때 섬유의 첨가량은 5, 10 및 15vol%이었다. 그후 구조된 시료는 최대하중 25ton의 열간압출장치를 이용하여 일정한 압출조건(압출온도:500℃, 압출비:25, 압출속도:2mm/min, 다이각:27°)에서 봉상시편(φ6mm)으로 압출한 후, T6 처리를 행하여 각종 시험용

시편으로 사용하였다. Table 1은 본실험에 사용한 기지금속의 조성을, Photo. 1 및 Table 2는 δ-Al₂O₃ 단섬유의 형상 및 물성치를 각각 나타낸 것이다.

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

Si	Mg	Cr	Fe	Mn	Cu	Al
6.51	1.70	0.83	0.15	0.13	0.10	bal.



Photo 1. SEM microphotographs showing the morphology of Al₂O₃ short fiber.

Table 2. Properties of Al₂O₃ short fiber

Tensile strength (kg/mm ²)	153
Elastic modulus (kg/mm ²)	33×10 ³
Density (g/cm ³)	3.3
Mean diameter (µm)	3
Mean length (µm)	70
Type	δ-Al ₂ O ₃

2.2 복합재료의 미세조직 및 계면반응

미세조직은 0.5% HF 수용액으로 부식시켜 광학현미경으로 관찰하였으며, 압출한 복합재료내에 존재하는 섬유들의 길이는 10% HCl 수용액을 사용하여 기지금속으로부터 분리, 추출한 Al₂O₃ 섬유들을 SEM으로 관찰하였다. 또한 섬유와 기지금속간의 계면반응은 추출한 Al₂O₃ 섬유를 SEM 및 X-선 회절(회절각:20-90°, scanning speed:2°/min, voltage/current:30Kv/20mA, target:Cu, filler:Ni)을 이용하여 조사하였다.

2.3 복합재료의 기계적 성질 및 파면관찰

복합재료의 경도는 하중 100g하에서 microvic-kers hardness tester를 이용하여 측정하였으며, 인장시험은 Instron을 이용하여 상온, 200℃ 및 300℃에서 행하였다. 이때 cross head speed는 0.01mm/sec이었으며, 인장시편의 규격은 평행부의 직경이 4.0mm, 표점거리가 20mm이었다. 또한 인장시험후 시편 파면을 초음파세척기로 세척시킨후 SEM으로 관찰하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 Rheo-compocasting으로 제조한 복합재료의 미세조직

Photo 2는 rheo-compocasting으로 제조한 복합재료의 대표적인 미세조직이며, slurry에 섬유를 10vol% 첨가하고 재용해(750℃)시켜 주조한 경우로서 섬유들은 대체로 균일하게 분산되어 있으며, 3차원적인 배향성을 가지고 있다. 이와같은

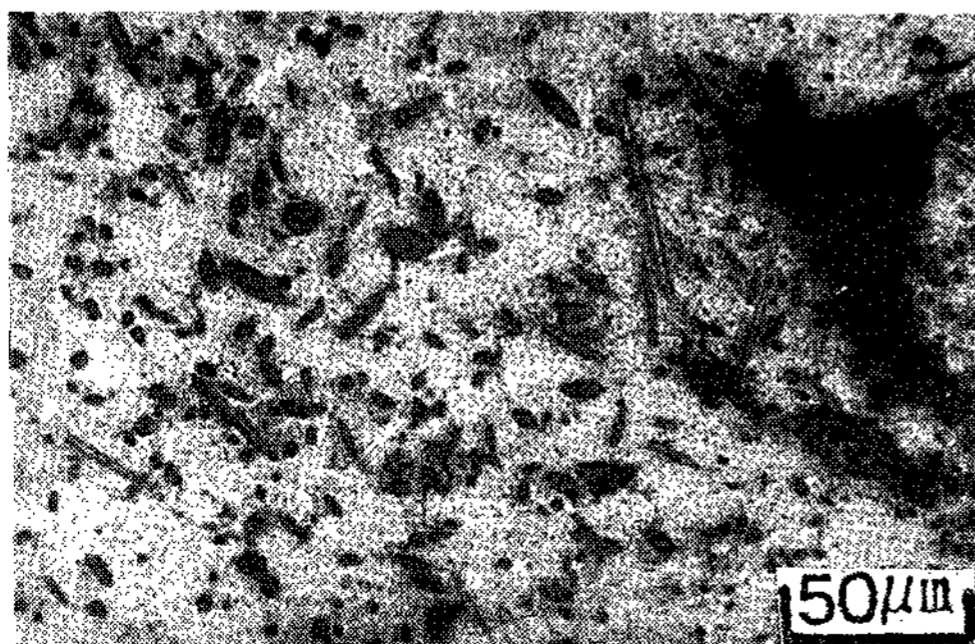


Photo 2. Optical micrographs of the composite reinforced with 10 vol% Al₂O₃ fibers after rheo-compocasting.

현상은 다음과 같이 설명할 수 있다. Slurry에 섬유를 첨가하면 열확산도(heat diffusivity)⁽¹⁰⁾가 낮은 섬유들은 응고가 늦은 초정(α)사이의 액상부에 존재하므로⁽⁹⁾, slurry를 그대로 응고시키면 첨가한 섬유들의 편석은 매우 심하게 나타난다. 그러나 섬유가 첨가된 slurry를 액상선 이상의 온도에서 재용해한 후 응고시키면 섬유의 낮은 열확산도에 의하여 초정의 핵생성은 첨가된 섬유사이의 구역에서 일어나 섬유 방향으로 성장한다. 그 결과 응고후의 결정립은 미세하게 나타나며, 결정입계에 존재하는 섬유들은 비교적 균일하게 분산되어 나타난다.

Photo 3은 섬유를 5vol% 첨가하여 rheo-compocasting한 복합재료에서 시편의 위치에 따른 섬유의 분산상태를 나타낸 것으로, (a) 및 (b)는 각각 시편의 중앙부와 표면부이다. 시편의 중앙부와 표면부에서 섬유의 분산상태는 그다지 큰

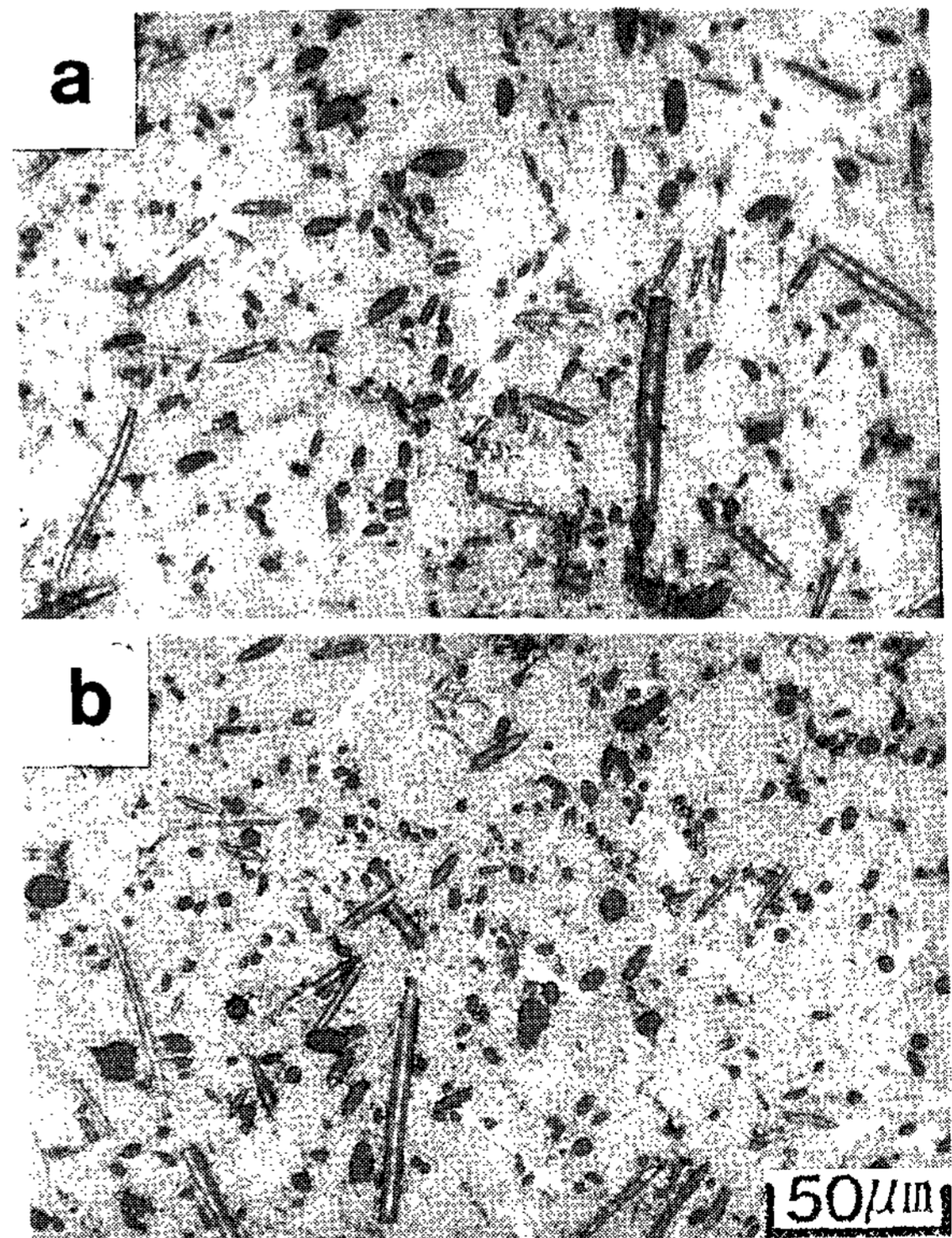


Photo 3. Optical micrographs of the transverse section of the composite reinforced with 5 vol% Al₂O₃ fibers after rheo-compocasting:(a)center region and (b) outer surface region.

차이가 없다. 섬유가 첨가된 slurry를 교반이 중지된 상태에서 서냉응고시키면 기지금속과 섬유의 밀도차이에 의하여 섬유가 부상하거나 침강한다. 따라서 시편의 상, 하부에서 섬유의 분산상태는 균일하지 않으며, 또한 응고가 진행됨에 따라 첨가된 섬유들은 잔류액상부로 밀려나게되어 시편의 중앙부와 표면부에서 섬유의 분산상태는 균일하지 않게 된다. 본 실험에서는 섬유가 첨가된 slurry를 응고 직전까지 교반하면서 급냉 응고시킨 경우 (rheo-compocasting)이므로 섬유와 기지금속의 밀도 및 열확산도의 차이가 무시되어서 시편의 위치에 따른 섬유의 분산상태는 그다지 큰 차이가 없다고 사료된다.

3.2 열간압출시 기지금속 및 섬유의 거동

Photo 4는 열간압출시 기지금속의 유동현상을 나타낸 것이며, (a)는 기지금속의 주조상태이고, (b) 및 (c)는 각각 기지금속이 압출다이에 유입되기 직전 및 직후의 경우이며, (d)는 기지금속이 압출다이로부터 유출되기 직전의 경우이다. 주조상태의 기지금속을 압출하면 다이에 유입되기 전에는 구상의 결정립(주조상태)이 압출방향과 거의 직각방향으로 변형되어 있으나, 다이에 유입되면 압출방향으로 회전하면서 더욱 변형된다. 그리고 압출이 더욱 진행되면 결정립은 거의 압출방향으로 길게 변형된다. 압출에 의하여 금속재료가 변형될때 결정립은 부하압력에 대하여 저항력을

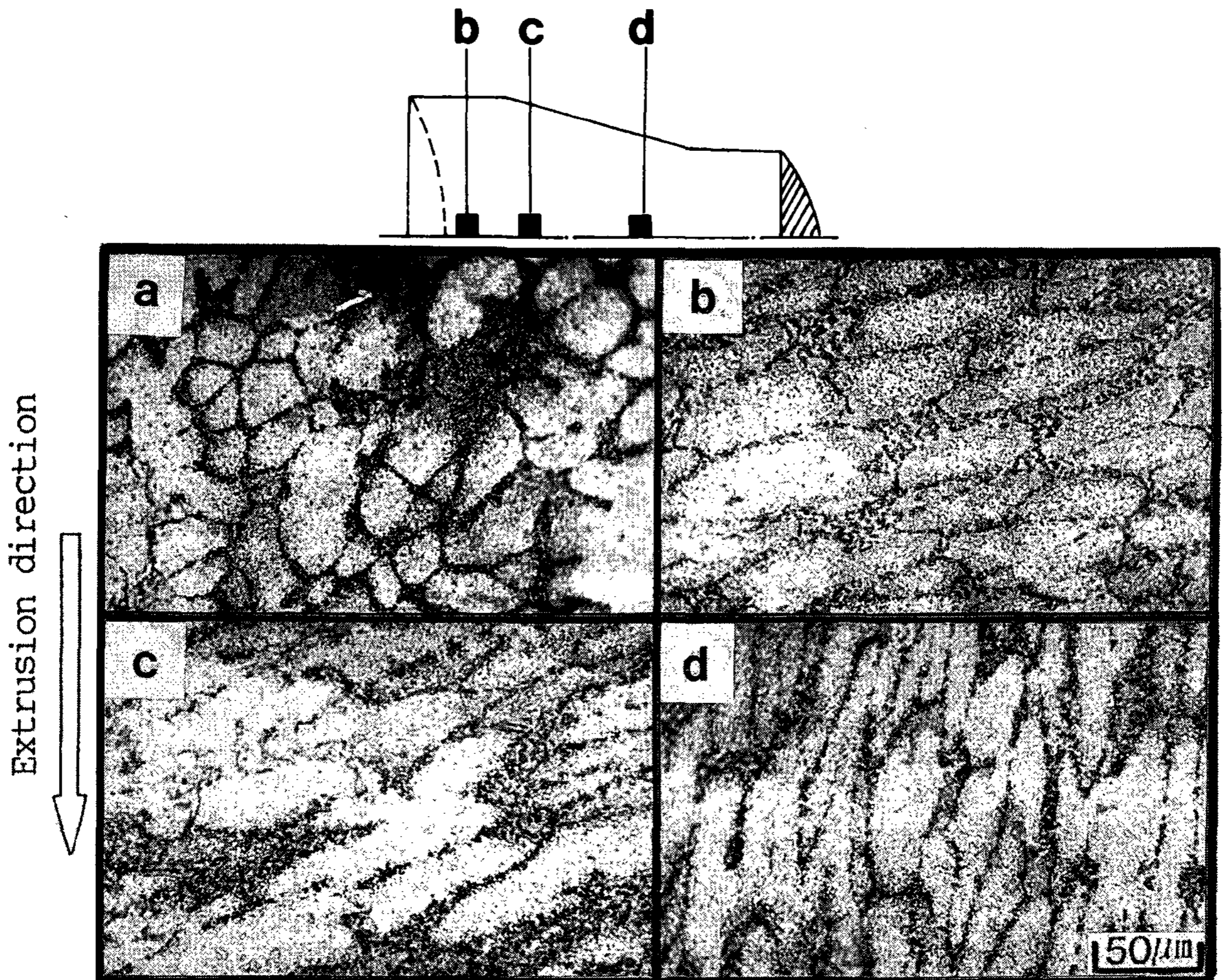


Photo 4. Optical micrographs of the longitudinal section of the extruded matrix alloy: (a) as cast, (b) before flow into the extrusion die, (c) after flow into the extrusion die, and (d) before flow out of the extrusion die.

크게하기 위한 방향으로 변형을 하므로, 다이에 유입되기전에는 압출ram에 의한 수직압력에 대하여, 다이에 유입된 후에는 다이벽면으로부터 받는 압력에 대하여 저항력을 크게하기 위한 방향으로 변형된 결과라 사료된다.

Photo 5는 열간압출시 섬유 첨가량이 15 vol%인 복합재료내에 존재하는 섬유의 거동을 나타낸 것으로, A, B 및 C는 각각 압출다이의 입구부, 중앙부 및 출구부의 미세조직을 나타낸다. 입구부의 섬유들은 압출방향과 거의 직각을 이루는 2차원적인 배향성을 가지고 있으며 파단도 그다지 심하지 않으나, 중앙부의 섬유들은 압출방향으로의 회전에 의하여 심하게 파단되어 있다. 그리고 출구부에서는 심하게 파단된 섬유들이 압출방향과 평행한 배향성을 가지고 있다. 이와같은 섬유의 거동은 Photo 4에서 살펴본 기지금속의 유동현상과 일치하므로 압출시, 기지금속내에 존재하는 섬유는 기지금속과 함께 거동함을 알 수 있고, 기지금속의 변형 및 회전에 의하여 취성인 섬유에 많은 응력이 가해져서 섬유가 심하게 파단하

게 됨을 알 수 있다.

Photo 6은 열간압출시, 섬유의 첨가량이 15vol%인 복합재료에서 시편의 위치에 따른 섬유의 거동을 나타낸 것이며, (a) 및 (b)는 각각 시편의 중앙부와 표면부의 경우이다. 표면부에 존재하는 섬유들은 중앙부의 경우에 비해 섬유의 길이가 길며 배향성도 양호하다. 압출시 콘테이너 및 다이벽면의 마찰 때문에 표면부의 기지금속은 변형속도가 작아서 층류를 나타내지만 중심부의 경우에는 표면부에 비하여 변형속도가 커서 난류를 나타낸다.⁽¹¹⁾ 따라서 층류에 의한 섬유의 배향성이 난류에 의한 배향성 보다 양호하므로 표면부의 섬유가 중앙부에 비하여 양호한 배향성을 가진다고 사료된다. 또한 표면부의 섬유는 콘테이너로부터 받는 수평압력에 의하여 압출방향과 평행한 배향성을 가지며 층류를 나타내므로 압출시 섬유는 기지금속으로부터 그다지 큰 굽힘응력은 받지 않는다.

그러나 중앙부의 섬유는 압출 ram으로부터 받는 수직압력에 의하여 압출방향과 거의 직각인 배

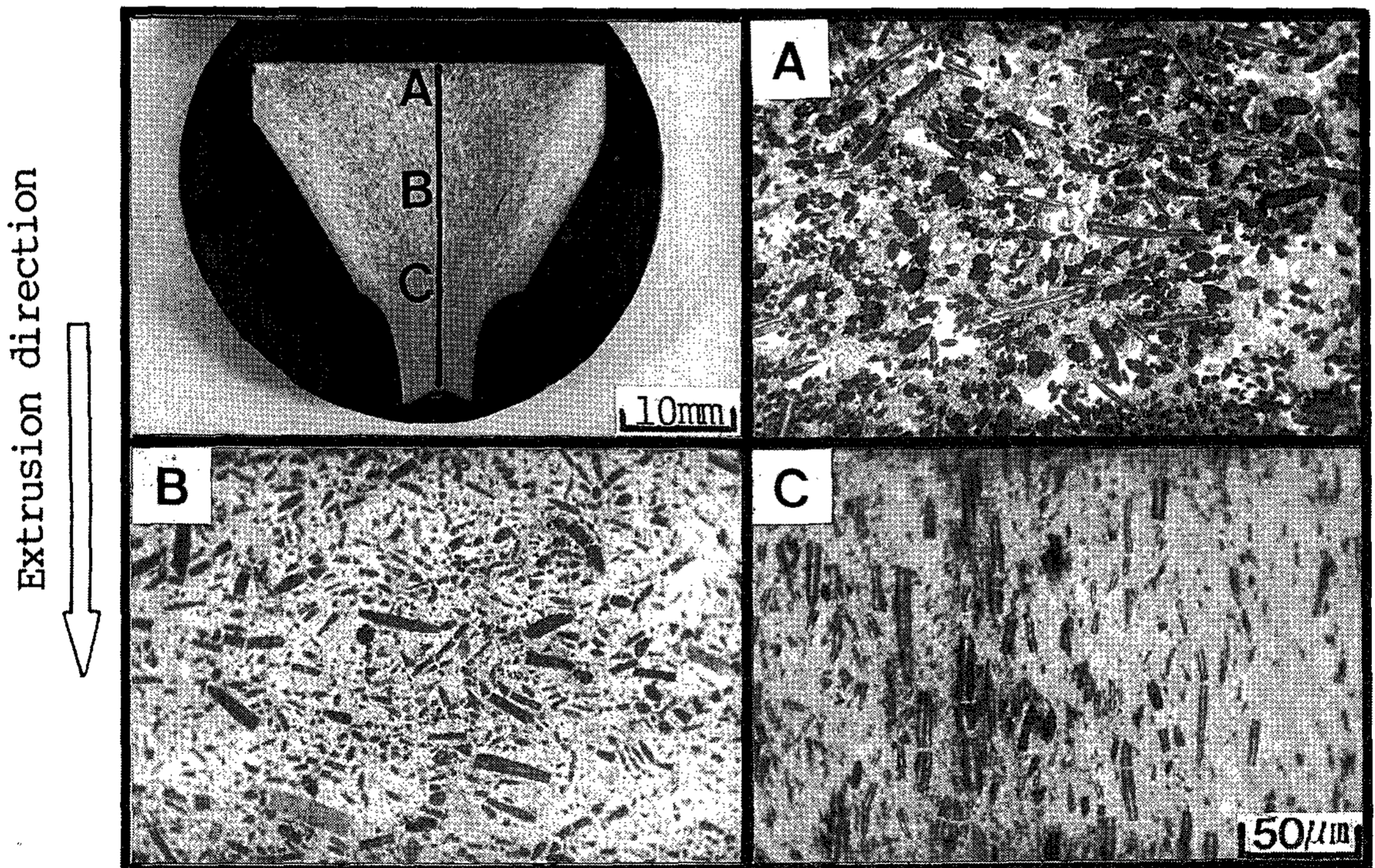


Photo 5. Optical macro and micrographs of the longitudinal section of the composite reinforced with 15 vol% Al₂O₃ fibers extruded at 560°C

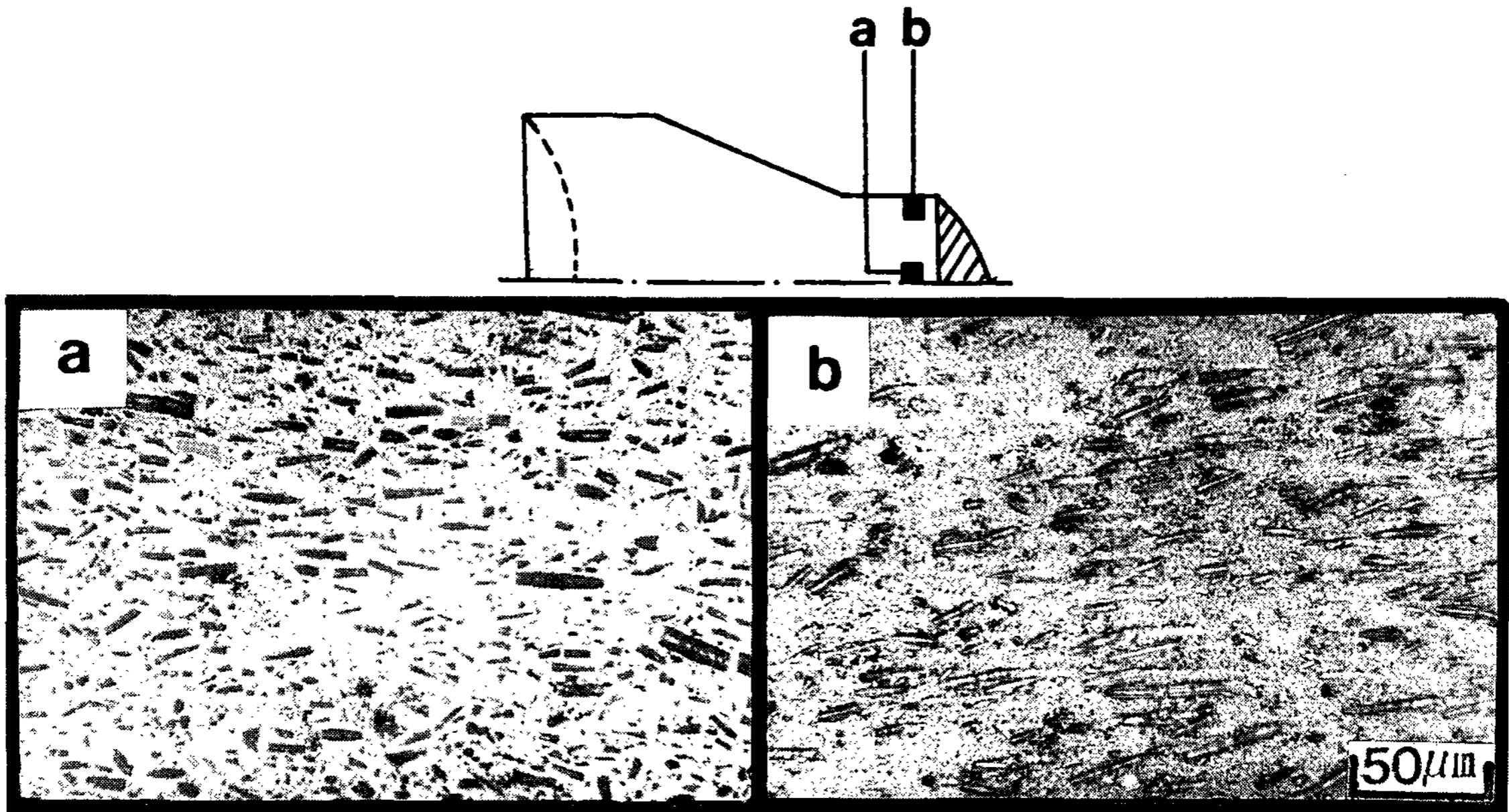


Photo 6. Optical micrographs of the composite reinforced with 15 vol% Al₂O₃ fibers after rheo-compcasting and hot extrusion:
 (a)center region and (b)other surface region.

향성을 가지며 기지금속이 난류를 기지금속이 난류를 나타내므로, 압출시 섬유는 기지금속으로부터 많은 굽힘응력을 받게되어 취성인 섬유는 심하게 파단되고 섬유의 길이는 짧아진다. 따라서 Photo 5 및 6으로부터 압출시 기지금속의 유동상태가 복합재료내에 존재하는 섬유의 배향성 및 길이에 큰 영향을 미친다는 것을 알 수 있다.

Photo 7은 섬유의 첨가량이 5, 10 및 15vol% 인 복합재료의 압출조직이며, (a) 및 (b)는 각각 시편의 종단면 및 횡단면의 조직사진이다. 이것을 Photo 2의 주조한 경우와 비교하면 섬유들은 첨가량에 관계없이 거의 압출방향과 평행한 배향성을 가지며, 기공이 없는 양호한 조직을 나타낸다. 그러나 섬유의 첨가량이 증가할수록 분산성은 개선되지만 섬유의 길이가 짧아지며 배향성도 감소한다. 이것은 Photo 2에서 살펴본 바와 같이 복합재료가 응고할때 섬유사이의 구역에서 먼저 응고가 일어나므로 섬유의 첨가량이 증가할수록 섬유의 분산성은 개선되며 압출시에도 개선된 분산성이 그대로 유지된 결과로 생각된다. 또한 섬유의 첨가량이 증가할수록 다이벽면으로부터 받는

마찰력이 증가하여 중심부와의 변형 속도차이가 커지므로 변형속도차이에 의한 난류의 발생이 증가하고, 첨가된 섬유의 상호작용의 증가에 의해 섬유에 많은 응력이 가해져서, 섬유의 배향성이 감소하고 섬유의 길이가 짧게 된다고 생각된다. 시료내의 기공감소는 압출시 가압력에 의한 기지금속의 유동현상으로 인하여 기공내로 기지금속이 밀려 들어간 결과로 생각된다.

Kelly⁽¹²⁾ 등의 단섬유강화복합재료의 강화이론에 의하면 복합재료의 강도는 섬유와 기지금속사이의 계면에서의 전단응력, 섬유의 강도 및 섬유의 aspect ratio에 의하여 결정되며, 섬유의 임계길이(l_c)는 다음과 같이 정의된다.

$$l_c/d = \sigma_f / 2\tau \text{ 또는 } l_c = (\sigma_f / 2\tau) \cdot d$$

여기서 d 는 섬유의 직경, σ_f 는 섬유의 인장강도, τ 는 섬유와 기지금속사이의 계면에서의 전단응력이며, 이 전단응력은 기지금속의 항복응력(σ_y)의 1/2과 거의 같다.⁽¹²⁾ 복합재료내에 존재하는 섬유의 aspect ratio가 임계 aspect ratio 보다 작으면 복합재료의 강도는 기지금속의 소성유

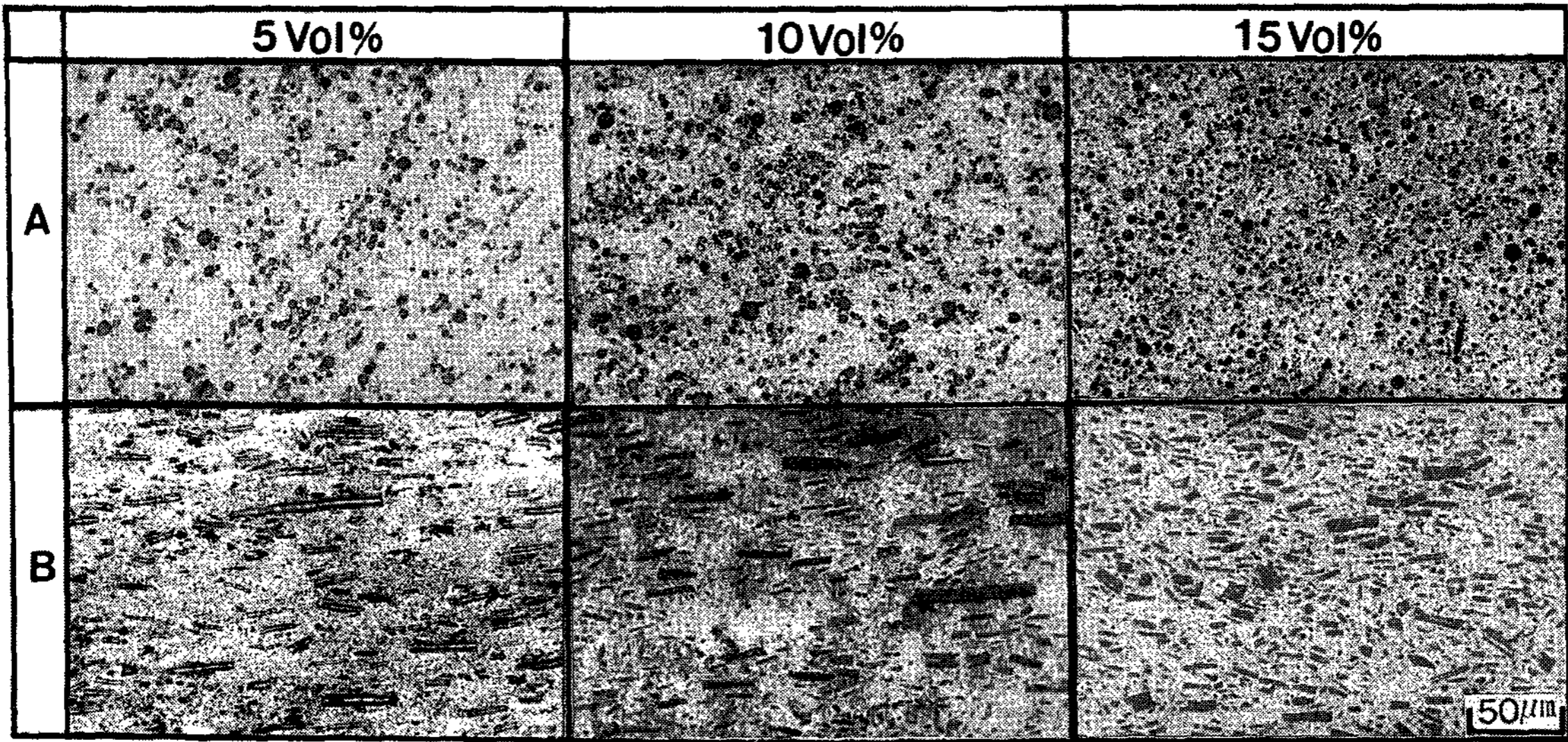


Photo 7. Optical micrographs of the composite after rheo-compocasting and hot extrusion: (a)transverse section and (b)longitudinal section.

동에 의하여 파단되고 섬유들의 aspect ratio가 임계 aspect ratio보다 크면 섬유들의 파단이 복합재료의 파단을 지배하므로(4) 섬유강화효과를 기대하기 위해서는 복합재료내에 존재하는 섬유들의 aspect ratio가 임계 aspect ratio보다 커야 한다.

본 실험에서도 압출한 복합재료내에 존재하는 섬유들의 aspect ratio를 조사하기 위하여 섬유들의 직경 및 첨가량에 따른 섬유들의 길이를 측정하고, 그 결과를 Fig.1에 나타냈다. 섬유들의 길이와 섬유들의 직경 및 첨가량 사이에는 직선관계가 성립하며, 섬유들의 직경이 클수록 섬유들의 길이는 길게 나타나고, 첨가량이 증가할수록 섬유들의 길이는 짧게 나타난다. Table 1로부터 본 실험에 사용한 섬유들의 aspect ratio는 약 23정도이나, 섬유들의 첨가량이 5, 10 및 15 vol%일때 이들 직선의 기울기로부터 구한 섬유들의 aspect ratio는 각각 5.4, 3.8 및 2.9 정도이다. 후술(Fig.4)하는 인장시험의 결과로부터 $\tau \approx \sigma_y / 2 = 13.5 \text{Kg/mm}^2$ 이므로 윗식에 의하여 임계 aspect ratio를 구하면 약 5.7정도이다. 따라서 본 실험에서 압출한 복합재료내의 섬유들의 aspect ratio는 임계 aspect ratio보다 작으므로 섬유강화효과는 거의 기대할 수 없으나, 섬유첨가로 인한 분산강화효과는 기대된다.

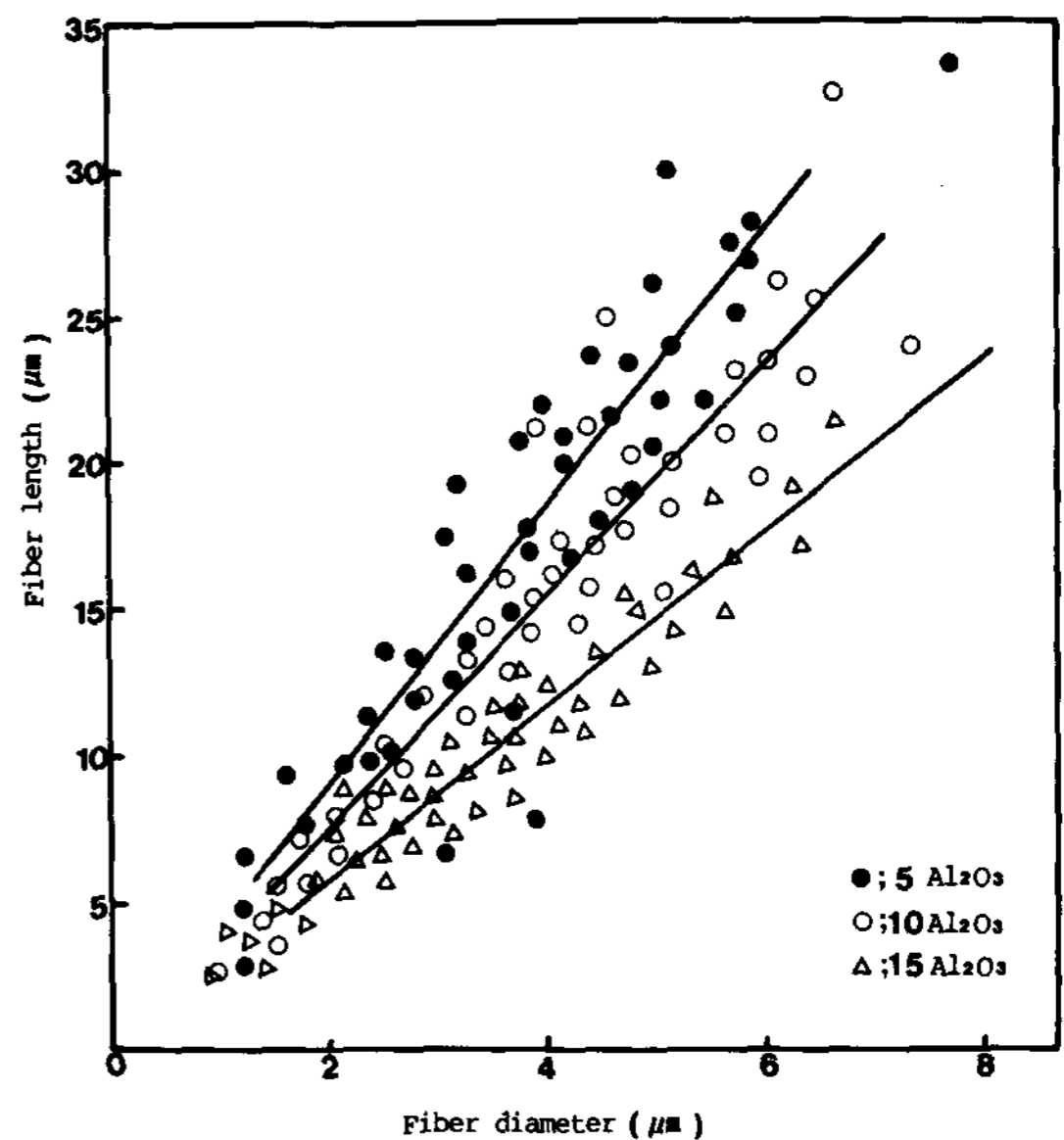


Fig. 1. Relation between fiber length and fiber diameter in rheo-compocast and hot extruded composites reinforced with various Al₂O₃ fiber contents.

3.3 섬유와 기지금속사이의 계면반응

Photo 8은 제조된 복합재료에서 섬유와 기지

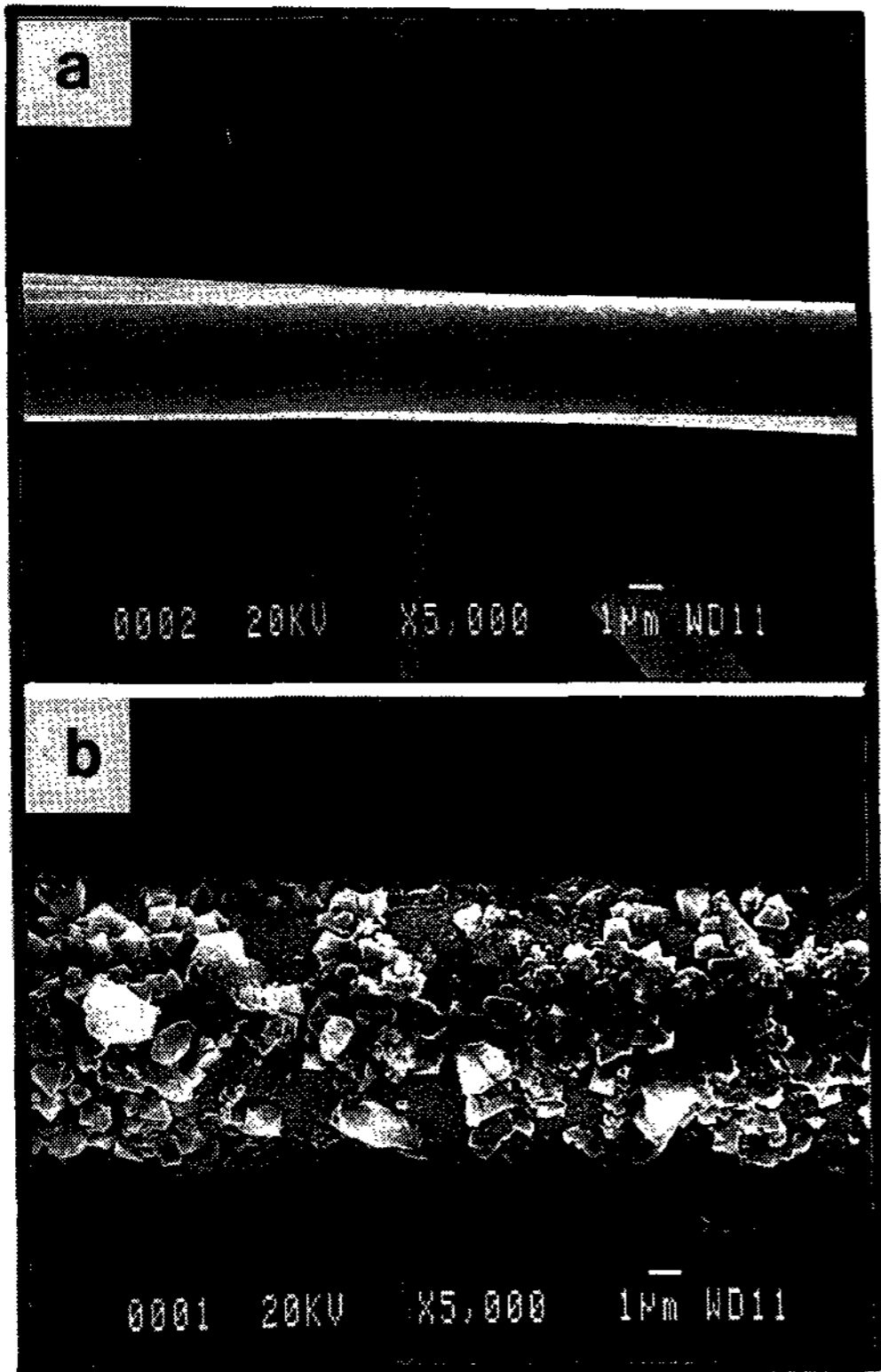


Photo 8. SEM microphotographs fo Al₂O₃ fiber surface:
 (a) as received Al₂O₃ fiber and (b) as extracted Al₂O₃ fiber from the composite.

금속사이의 계면반응을 확인하기 위하여 기지금속으로부터 추출한 섬유를 SEM으로 관찰한 것이며, (a) 및 (b)는 복합재료의 제조전 및 후의 경우이다. 기지금속으로부터 추출한 섬유는 제조전의 섬유에 비하여 섬유표면에 많은 반응생성물의 존재를 관찰할 수 있다. 그리고 이러한 반응생성물을 조사하기 위하여 X-선 회절시험을 행하였으며, 그 결과를 Fig.2에 나타냈다. X-선 회절분석결과, 섬유의 구성성분인 Al₂O₃ 및 SiO₂ peak 이외에 Mg(Al,Fe)₂O₄, MgAl₂O₄, MgSi₂O₃ 등으로 사료되는 peak가 검출되어서 Levi⁽¹³⁾, Munitz⁽¹⁴⁾ 등이 Al-Mg 합금계에서 보고한 Mg, Al, Si 등이 혼합된 산화물들이 본 실험에서 제조한 복합재료의 계면에도 형성되어 있음을 확인할 수 있었다. 또한 섬유의 낮은 열확산도에 의하여 섬유주위의 응고가 가장 늦으므로 섬유가 공정 Si의 핵발생 및 성장을 위한 적절한 substrate로 작용하여⁽³⁾ 섬유표면에 공정 Si이 정출되며 그 결과 Si peak가 검출된다고 사료된다.

3.4 압출한 복합재료의 기계적 성질

Fig.3은 압출한 복합재료에서 섬유의 첨가량에 대한 경도의 변화를 나타낸 것이다. 섬유의 첨가량이 증가함에 따라 경도는 향상되며, 15vol%의 경우에는 기지금속에 비하여 경도가 약 300%정도 향상되었다. 그리고 섬유와 직각방향의 경도가

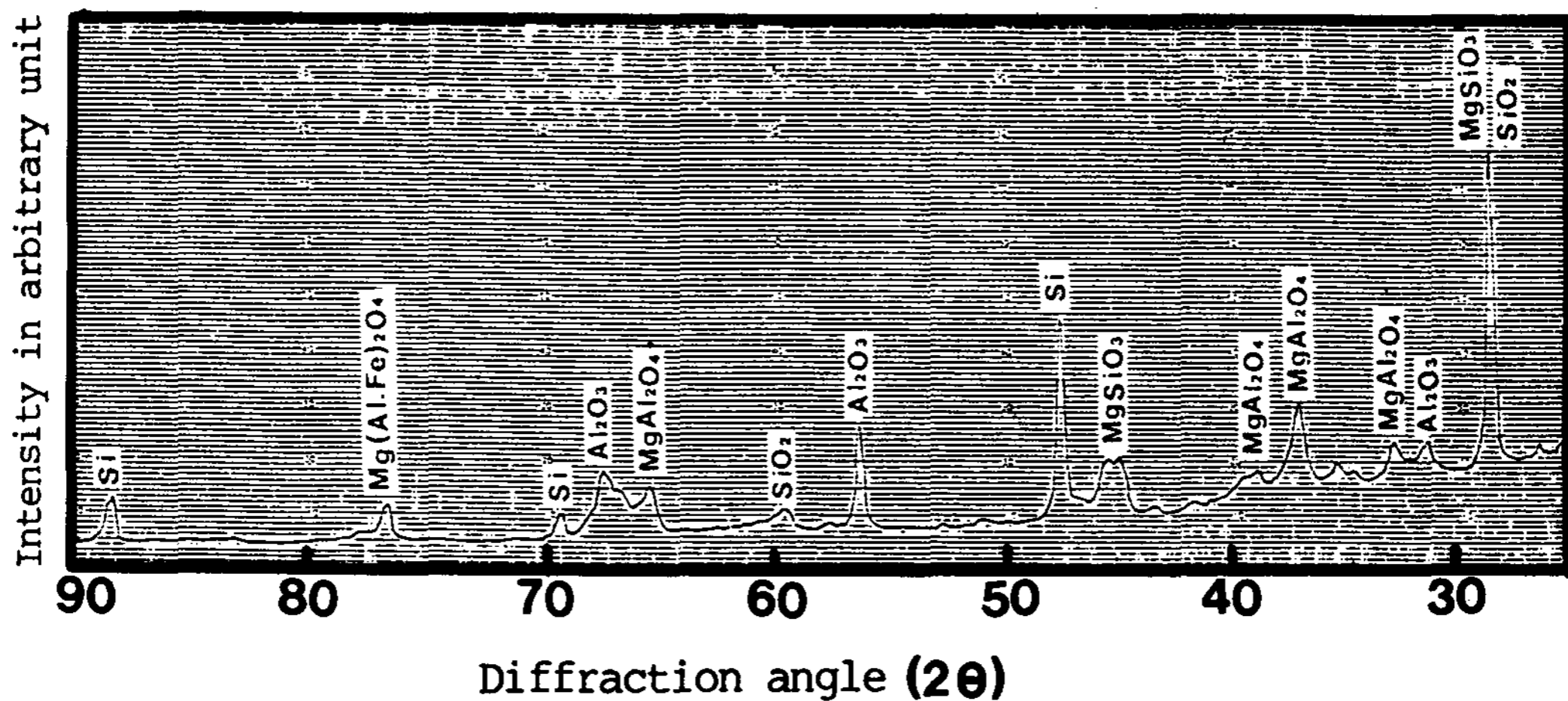


Fig. 2. X-ray diffraction pattern of Al₂O₃ fiber extracted from the composite.

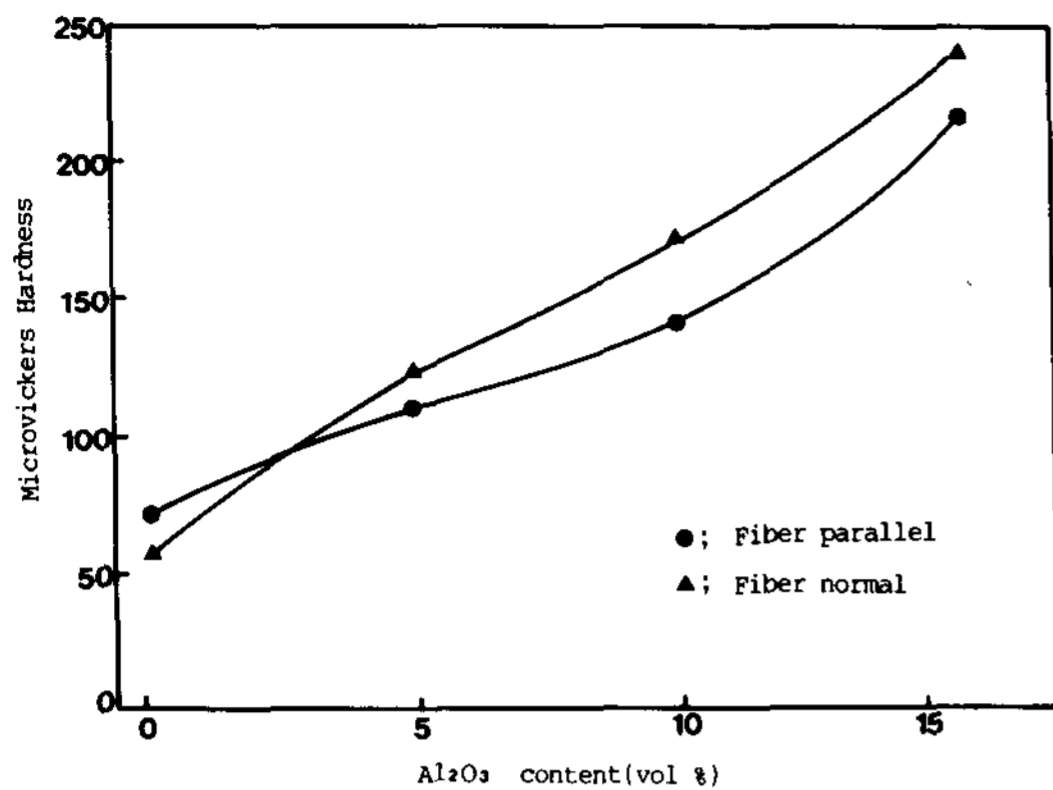


Fig. 3. Effect of fiber content on hardness of the composite.

섬유와 평행한 방향의 경우보다도 증가의 경향이 더 컸다. 이러한 정도의 증가현상은 첨가된 섬유 자신의 정도에 의한 강화효과와 복합재료 제조시 섬유와 기지금속의 열팽창계수차이에 의한 전위 밀도 증가 및 섬유와 기지금속사이의 계면에 생성된 반응화합물의 존재에 기인한다고 생각되며, 또한 섬유는 압출방향과 평행한 1차원 배향성을 가지므로 섬유와 직각방향의 경우가 섬유와 평행한 경우보다 섬유의 면분율이 커서 부하하중에 대한 저항력이 크게되어 정도의 증가경향이 더 크다고 사료된다.

Fig.4는 압출한 복합재료에서 섬유의 첨가량 및 시험온도에 따른 인장시험의 결과를 나타낸 것이다. 상온 및 200°C의 경우에는 섬유의 첨가량이 증가함에 따라 강도가 증가하나 증가의 경향은 그다지 현저하지 않다. 그러나 인장강도에 비하여 항복강도의 증가경향이 약간 더 큼을 알 수 있다. 300°C의 경우에는 섬유의 첨가량이 5vol%까지는 강도가 약간 증가하지만 그 후에는 거의 일정한 강도값을 나타낸다. 이와같은 현상은 Fig.1에서 살펴본 바와 같이 압출한 복합재료내에 존재하는 섬유의 aspect ratio가 임계 aspect ratio보다 작기 때문에 효과적인 섬유강화효과는 나타나지 않고, 단지 첨가된 섬유의 분산 강화 효과에 의한 기지금속의 강화 때문이라 사료된다. 300°C의 경우에는 첨가된 섬유의 분산강화효과가 일부 나타나지만 기지금속의 연화에 따른 섬유의 pull-out 현상으로 인하여 분산강화효과의 영향도 그다지 크게 나타나지 않고 있음을 알 수 있다.

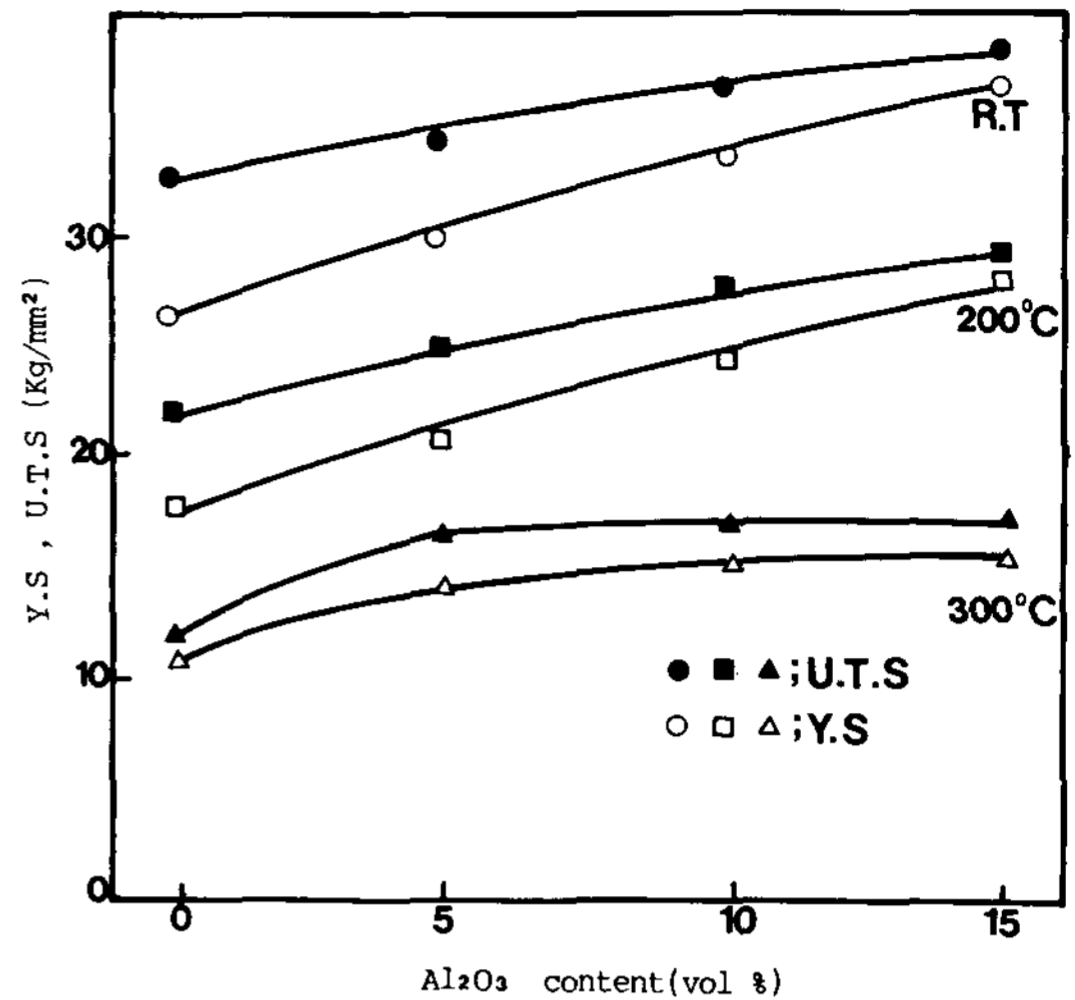


Fig. 4. Effect of fiber content on ultimate tensile strength and yield strength, tested at various temperatures.

Photo.9는 섬유의 첨가량이 15vol%인 복합재료를 인장시험한 후 파면을 SEM으로 관찰한 것이며, (a), (b) 및 (c)는 각각 상온, 200°C 및 300°C의 경우이다. 상온 및 200°C에서는 파면이 주로 dimple형상을 나타내지만 dimple중심에는 파단된 섬유가 거의 관찰되지 않는다. 300°C 경우에는 기지금속의 연화에 따른 섬유의 pull-out 현상이 관찰된다. 따라서 섬유강화효과 보다는 분산 강화효과에 의하여 기지금속이 강화된 것을 확인할 수 있으므로, Fig.3, 4의 결과들을 뒷받침할 수 있다.

4. 결 론

Rheo-compocasting 및 열간압출에 의하여 Al₂O₃ 단섬유강화복합재료를 제조하고 그 특성을 조사 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. Rheo-compocasting으로 주조한 복합재료에서 첨가된 섬유는 시편의 위치에 관계없이 균일하게 분산되었다.
2. 압출에 의하여 복합재료내의 섬유들은 일차원적으로 배향되었으나 섬유의 파단이 심하며 섬유의 직경이 작을수록, 섬유의 첨가량이 많을수록, 시편의 중앙부에 가까울수록 파단의 경향이 심하였다.
3. 섬유와 기지금속간의 계면에는 MgAl₂O₄,

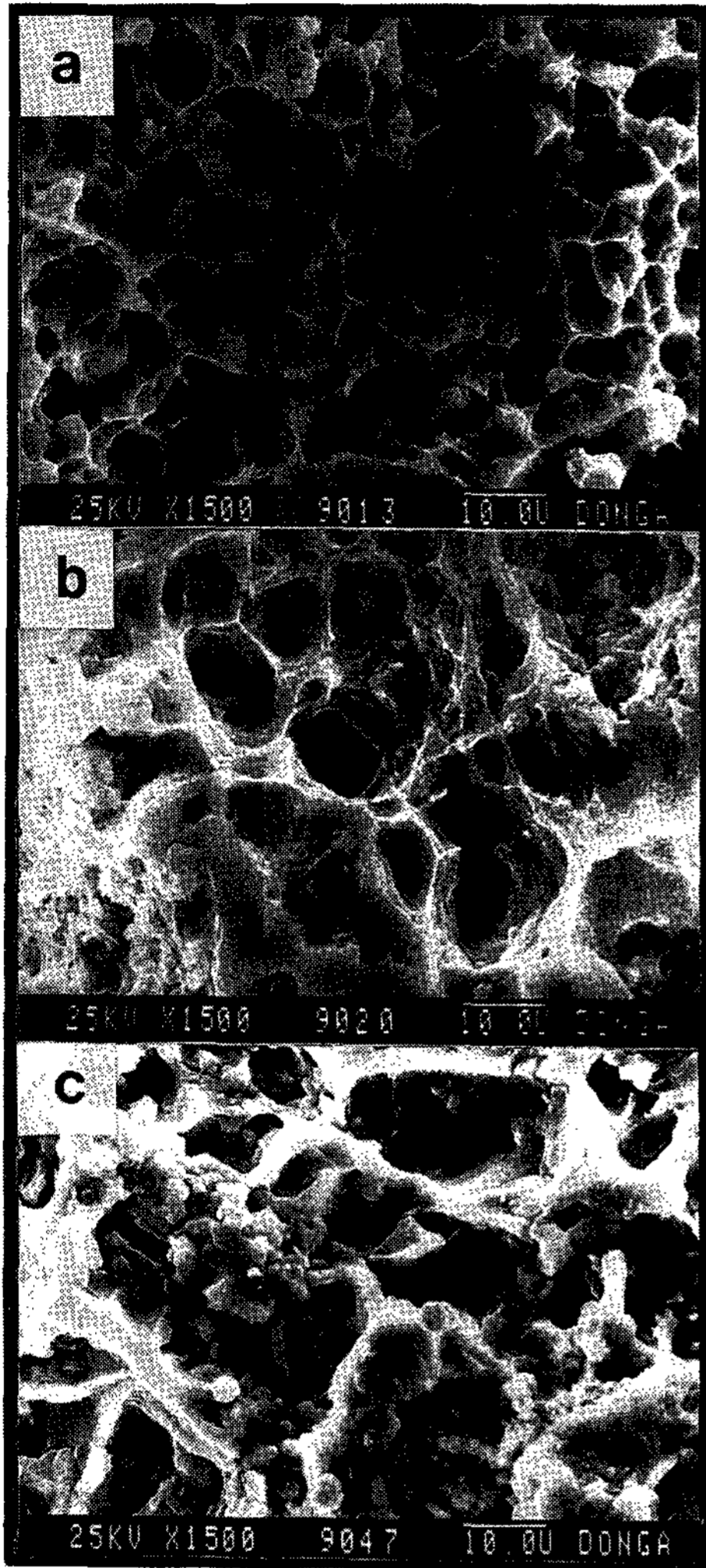


Photo 9. SEM microphotographs of the tensile-fractured surface of the composite reinforced with 15 vol% Al₂O₃ fibers, tested at various temperatures: (a) room temperature, (b) 200° C, and (c) 300° C.

Mg(Al,Fe)₂O₄ 및 Si등이 형성되어 양호한 계면결합상태를 나타냈다.

4. 섬유의 첨가량이 증가할수록 경도 및 강도가 향상되었으며, 강도에 비하여 경도의 증가경향이 더욱 현저하였다.
5. 압출한 복합재료에서 섬유는 섬유강화효과를 나타내지 못하고 분산강화효과를 나타냈다.
6. 압출한 단섬유강화복합재료에서 큰 강화효과를 얻기 위해서는 기지금속의 유동현상을 고려한 최적의 압출조건이 필요하다.

참 고 문 헌

1. Hasson D.F., Hoover S.M. and Growe C. R., :J.of Mat. Sci., 20, (1985) 4147
2. 福水秀春, 小松俊作:日本機械學會 論文集, C-49, (1983) 235
3. C. Milliere, M.Suery:Materials Science and Technology, 4 (1988) 41
4. B.F.Quigley, G.J.Abbaschian, R.Wunderlin and R.Mehrabian:Metall. Trans., 13A (1982) 93
5. R.M.K.Yong, T.W.Clyne:J.of Mat. Sci., 21 (1986) 1057
6. 小原嗣朗, 淺田修司:輕金屬, 37, 7 (1987) 483
7. C.M.Friend:J.of Mat. Sci., 22 (1987) 3005
8. 土屋通世, 秋元久雄:輕金屬, 37, 11 (1982) 762
9. 이 학주, 광 현만, 홍 준표:주조, 11, 2 (1991) 126
10. 이 상준, 이 승원, 권 혁무:대한금속학회지, 29, 1 (1991) 40
11. 奥宮正洋, 恒川好樹, 新美格, 尾崎勤:輕金屬, 37, 4 (1987) 285
12. A.Kelly and W.R.Tyson:J.Mech.Phys. Solids, 13 (1986) 329
13. C.G.Levi, G.J.Abbaschian and R. Mehrabian:Metall. Trans., 9A (1987) 697
14. A.Munitz, M.Metzger and R.Mehrabian:Metall. Trans., 10A (1979) 1491