論 文

분사주조한 Al기지 입자강화 복합재료의 마모특성

배차헌† · 최학규* · 방국수

Characterization of Wear Resistance of Particle Reinforced Al Matrix Composite Manufactured by Centrifugal Spray Casting

Cha-Hurn Bae†, Hak-Kyu Choi* and Kuk-Soo Bang

Abstract

Al_2O_3, SiC reinforced Al matrix composites were fabricated by centrifugal spray casting method and their wear resistance characteristics have been studied. Particles are generally uniformly distributed in the microstructure of as-cast specimens. In order to investigate the effect of secondary deformation, hot rolling was performed for each specimen of pure Al matrix composites with a reduction of 10, 20, 30, 40 and 50% at 400~500°C, respectively. Microstructure of specimen showed that particle distribution density and hardness increased because of increasing of reduction ratio. Wear test with a various sliding velocity of 1.98, 2.38, 2.88 and 3.53 m/sec showed that the wear resistance characterization of composite improved remarkably compared to the normal alloy and preforms without reinforced particles. Microstructural observation for the worn surface of pure Al specimens without particles showed that a change in wear mechanism seemed to separate layer by surface fatigue. In other case of Al composite reinforced with Al_2O_3 and SiC, the grinder type of wear mechanism was shown.

Key words : Wear resistance characterization, Al matrix composites, Centrifugal Spray Casting microstructure, Reinforced particles

(Received March 2, 2004 ; Accepted April 15, 2004)

1. 서 론

알루미늄합금기 복합재료는 가볍고 주조성, 열전도성, 내식 및 내마모성 등이 양호할 뿐 아니라, 비강도가 높으며 고온특성이 기존의 알루미늄보다 우수하여 기계부품의 경량화에 적합한 재료로 특히 자동차 등 실린더블록의 기능성재료로 사용되거나 사용을 고려하고 있다.

입자강화 복합재료는 섬유나 whisker강화복합재료에 비하여 이방성이 적고 소성가공성이 양호하며 제조비도 저렴할 뿐만 아니라 우수한 내열, 내마모 특성을 나타낸다고 보고되고 있다[1-3].

그 제조법은 크게 분말야금법과 주조법으로 대별되며 이 중 분말야금법은 제조공정이 복잡하고 제조단가가 높지만 제조온도가 낮은 관계로 기공의 최소화와 양호한 보강재/기지계면을 얻을 수 있는 특징이 있다.

한편 주조법은 경제적이면서 비교적 간단한 제조방법으로 등방성, 제조단가, 재활용면에서 섬유 및 whisker강화 복합재료에 비해 유리하다.

또한 분말야금법과 같은 보강재 입자의 균일한 분산을 얻는 것이 가능하며, Near-net shape의 복합재료 부품을 직접 주조할 수 있다는 장점이 있다.

주조법 중 원심분사 주조법은 원심력에 의한 기계적 방법(centrifugal atomization)으로 용융금속을 분무화하면 미세한 액적(droplet)들이 분사되어 기판(substrate) 위에 고속으로 충돌하여 매우 얇은 판상으로 적층이 되고 계속되는 액적의 충돌로 적층 응고에 의해 성형체를 형성하는 금속소재 가공기술이다. 그 결과 급속응고와 성형을 동시에 얻을 수 있고 편석이 없는 미세조직을 갖는 특징이 있으며 열간 또는 냉간가공 등의

부경대학교 재료공학과(Dept. of Materials Science and Engineering Pukyong National University, Pusan, 608-080, Korea)
*창원기능대학교(Dept. Materials Engineering Chang-Won Polytechnic College, Gyungnam 641-843)
†E-mail : baecha@pknu.ac.kr

2차가공이 용이하다[4-6].

본 연구는 순Al 금속 기지를 바탕으로 하여 입자강화제인 Al_2O_3p와 SiCp 입자를 각각 동시분사주조하여 시편을 제조하였고 이들 시편을 열간압연하여 마멸시험을 하였다. 이들 각 시편에 대해 기지금속별 주방상태와 압연상태 하에 대한 시편을 미세조직과 경도 시험 및 마멸시험을 하여 Al 기지 입자강화 복합재료의 마모특성을 고찰하였다.

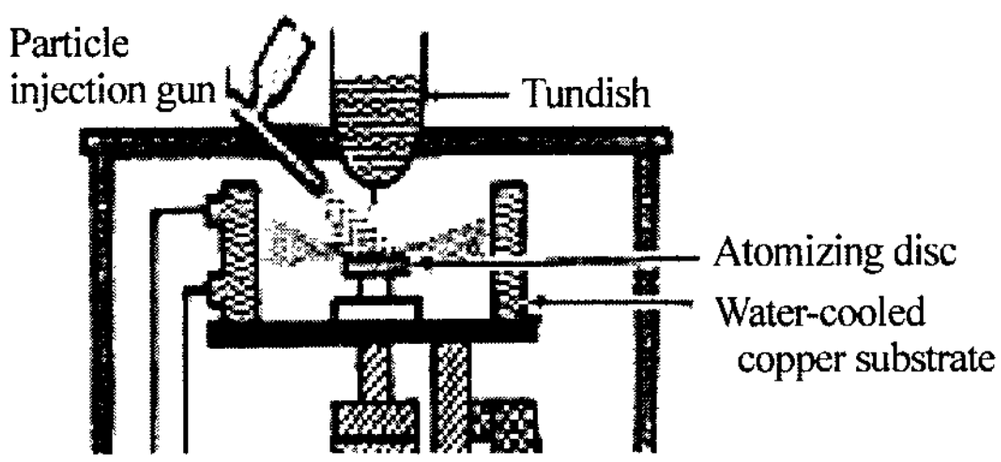


Fig. 1. Schematic diagram of centrifugal spray casting machine.

2. 실험 방법

2.1. 시편제조

본 연구에 사용된 시편은 강화재가 첨가되지 않은 순Al의 시편을 원심분사주조하였고, 강화재가 첨가된 시편은 순Al 기지에 각각 Al_2O_3p와 SiCp입자를 사용하여 원심분사주조 시 동시분사하여 복합재료시편을 제조하였다.

각각의 시료들은 750°C로 유도전기로에서 용해한 후 3000 rpm으로 회전하고 있는 분사원반 위에 낙하시켰으며 이때의 용탕 공급속도는 0.06 kg/sec, 용탕온도는 약 700°C로 하였다. 입자강화 복합재료를 제조하기 위하여 동일한 제조기와 동일한 조건에서 각각의 용탕공급과 동시에 Al_2O_3p와 SiCp 강화입자를 분사기를 통하여 2 kg/cm^{3}로 분사하여 시편을 제조하였다.

분사실내에는 분사되는 미소액적들의 산화를 방지하기 위하여 Argon가스 분위기를 형성하였다.

Table 1은 사용된 시편의 화학성분을 분석한 것이다. Fig. 1은 시편제조를 위한 원심분사 주조기의 개략도를 나타낸다.

Fig. 2는 원심분사주조로 원통상의 수냉되는 구리 기판에 분사적층되어 만들어진 적층성형체를 사진으로 나타냈으며 외경 400 mm, 최대폭 50 mm, 두께 20 mm의 원통형이고 성형체의 시편무게는 각각 3.3~3.5 kg 정도이었다.

Table 1. Chemical composition of Al alloy used(wt.%).

Specimen	Cu	Fe	Al	Al_2O_3p size(μm)	SiCp size(μm)
Pure Al	0.02	0.2	bal.	-	-
Al-Al_2O_3	0.02	0.2.	bal.	1~3	-
Al-SiC	0.02	0.2	bal.	-	3~7

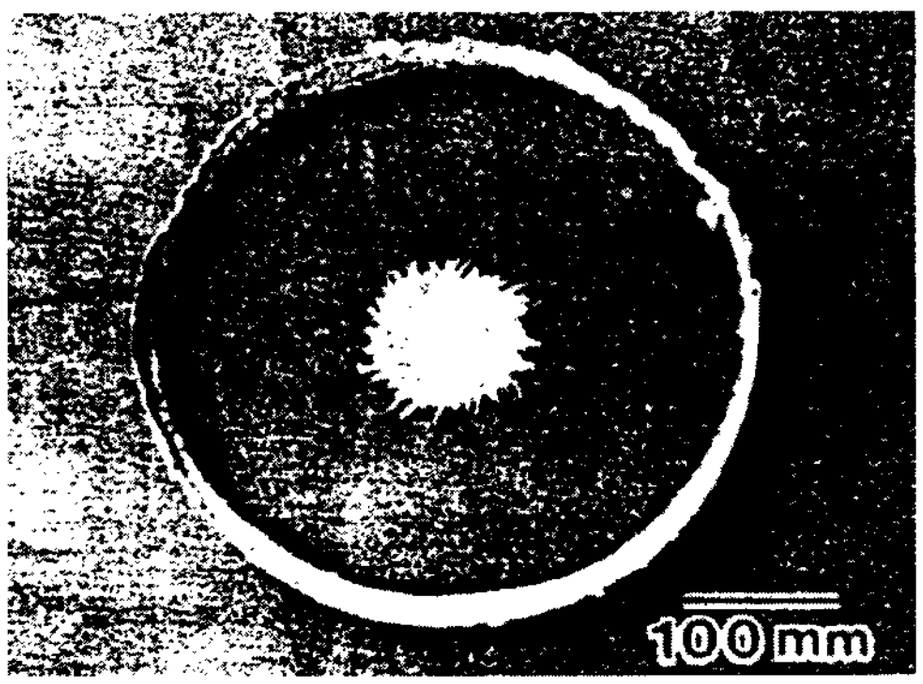


Fig. 2. Macrograph of Al MMC preform manufactured by centrifugal spray casting.

2.2 열간압연

원심분사주조한 순Al 시편과 순Al기지에 각각 1~3 μm 크기의 Al_2O_3와 3~7 μm 크기의 SiC입자를 첨가한 복합재료의 시편을 치밀한 내부조직을 얻기 위하여 열간압연하였다. 압연전 시편의 압연할 면에 평활하게하기 위하여 milling작업하여 수평의 면으로 가공하였다.

전기로에서 온도 400~450°C에서 시편을 장입하여 40분간 유지하여 압연하였으며 압연비는 각 시편당 10, 20, 30, 40 및 50%까지 정밀열간압연하였다.

2.3 미세조직관찰

원심분사주조한 순Al과 Al기지에 각각 Al_2O_3p와 SiCp입자를 동시분사하여 제조한 원심분사주조 복합재료 시편의 as cast상태를 밀링가공한 면과 400~450°C에서 각각 10, 20, 30, 40 및 50%비율로 열간압연한 시편에 대한 강화입자 분포형태와 그 크기 등 미세조직을 광학현미경과 SEM으로 관찰하였다. 부식액은 Dix-Keller 시약을 사용하였다.

2.4 경도 시험

각 시편별로 macro적인 경도값을 얻기 위하여 개량형 로크웰경도기(Wilson Co.)로 측정하였다. Al기지 시편은 주방상태와 압연상태를 측정하였다. 측정하중은 60 kg, 1/16" steel ball을 사용하여 F scale로 하였으며 각 시편당 임의의 점을 10회씩 반복 측정하여 그 평균값을 취하여 평가하였다.

2.5 마멸시험

마멸시험은 pin on disk형 고속마멸시험장치(동경시험기제작소, OAT-U)를 사용하여 상온에서 건식조건으로 시험하였다. 상대재료는 SM45C를 표면경화 처리하여 경도는 Hv 675로 하였으며 Fig. 3과 같이 고정되어 있는 시편에 상대마멸재료를 수직으로 접촉시켜 비마멸량을 측정하였다. 시편과 상대재료는 표면거칠기의 영향을 최소화하기위해 emery paper #1000까지 연마하여 사용하였다.

마멸시험은 하중 3.2 kg, 마멸거리 500 m로 일정하게 유지한 후 마멸속도를 1.93~3.65 m/sec로 변화시키면서 시험하였으며 시험완료 후 각 시편에 대한 평균 비마멸량 측정과 마모시편의 표면을 주사전자현미경으로 비교 관찰하였다.

본 연구에서 마모시험은 일정한 접촉압력, 마찰속도에서 시험편을 마찰시키고 구해진 비마멸량(Ws)의 식은 다음과 같다.

$$W_S = \frac{1.5W}{P_O L_O} \ (\mathrm{m^2/kg}) \qquad (1)$$

여기서,

W_s: 비마멸량, W: 마멸량, P_O: 하중(kg), L_O: 마멸거리(m) 이다.

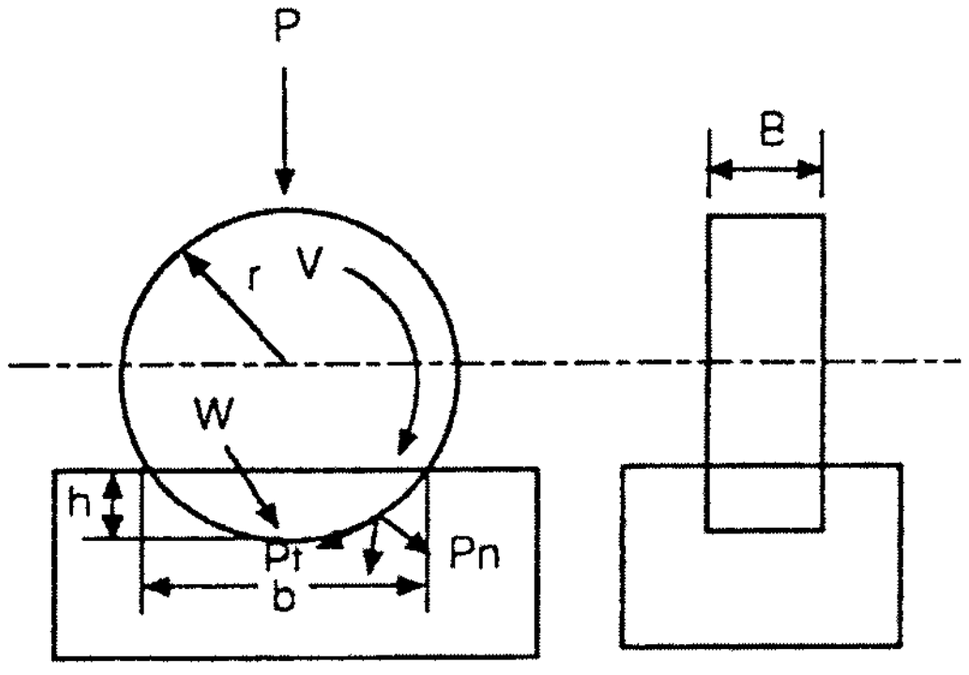


Fig. 3. Schematic diagram of wear test.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 열간압연과 열처리 후 미세조직

원심분사주조법으로 만들어진 as cast상태의 Al기지 복합재료 시편에 대한 미세조직 사진을 Fig. 4에 나타내었다. 순Al 미복합 시편에서는 입자 강화분말이 첨가되지 않아 기공 외는 보이지 않고 Al-Al_2O_3와 Al-SiC에서 강화입자가 첨가된 시편에서는 이들 강화입자가 일부 응집되기도 하지만 대체로 고르게 분포되어 있다. 이는 분사적층조직이 비교적 입자분사기에 의해 고르게 분사됨과 함께 냉각속도가 빠르게 이루어짐으로써 편석이 완화된 것으로 판단된다.

Fig. 4의 (a) (b) (c)는 광학현미경 조직사진으로 400배 시야이며, (d)와 (e)는 복합 입자의 크기를 SEM으로 관찰한 것으로 Al_2O_3와 SiC입자의 크기는 각각 1~3 및 3~7 μm였으며 기지 조직에는 미세기공이 존재하는 것도 관찰된다.

Fig. 5는 Al기지 시편의 열간압연한 조직을 나타낸 것으로, Al-Al_2O_3 및 Al-SiC 복합재료의 경우 압연비 20%까지는 강화입자들의 분포가 불규칙하고 각 입자들의 거리가 떨어져 기지조직에 대한 강화입자의 점유율과 부피분율이 상대적으로 낮으며 미세기공도 관찰되었다. 압연비 50%의 압연조직에서는 강화입자간의 거리가 감소됨을 관찰할 수 있으며 압연비가 증가할수록 상당량의 미세기공은 소멸되었으며 일부 미세기공은 압착되어 타원형의 긴 warm hole 형태로 나타나고 있다. 사진에서 검은점으로 나타난 것은 폴리싱 과정에서 복합재료인 Al_2O_3 및 SiC 입자가 빠져나간 자리로 사료된다.

3.3 열간압연 시 경도 영향

원심분사주조한 Al기지 복합재료의 재질별 as cast상태와 압연비 10, 20, 30, 40, 50%에 대한 측정한 경도치를 Fig. 6에 나타내었다.

순 Al시편보다 Al-Al_2O_3와 Al-SiC의 복합재료의 경도가 훨씬 높았으며 같은 세라믹 분말에서도 Al_2O_3가 사용된 시편보다는 SiC가 사용된 시편이 약간 더 높았다.

이는 압연비가 증가할수록 경도값이 증가하는 것은

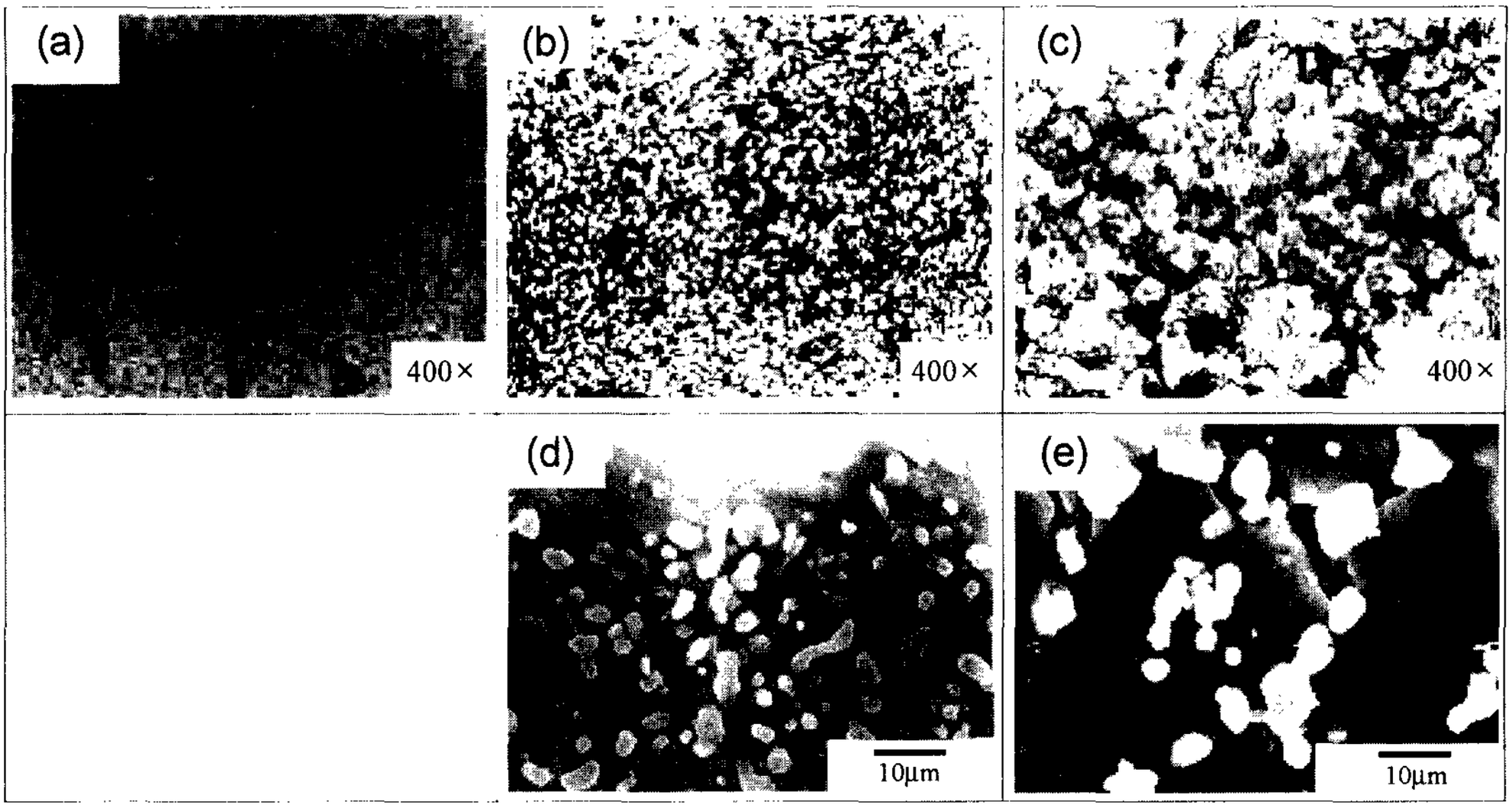


Fig. 4. Microstructures of as-cast Al matrix composites. (a) Pure Al, (b) and (d) Al-Al_2O_3, (c) and (e) Al-SiC

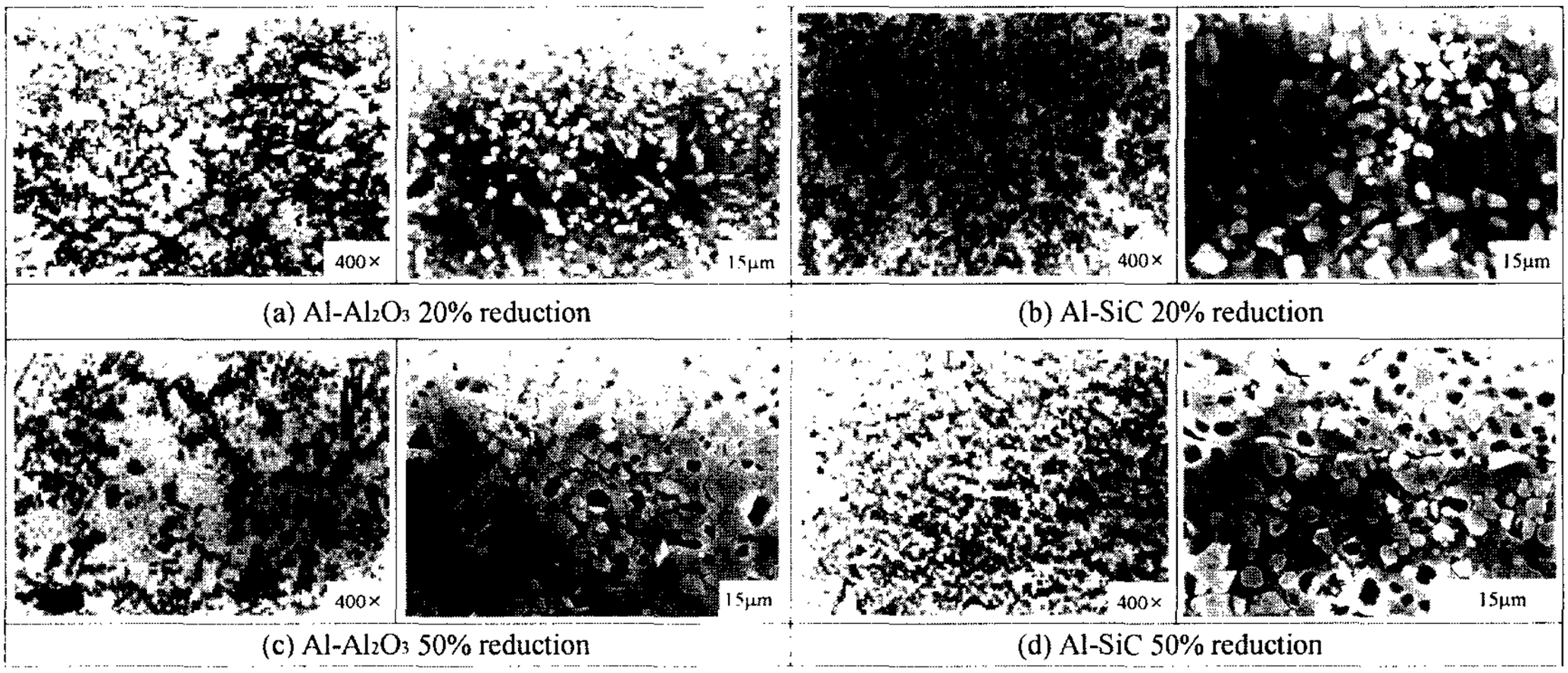


Fig. 5. Microstructures of as-rolled Al matrix composites.

미세조직에서 설명한 바와 같이 압연비가 증가할수록 기지상의 강화입자의 거리가 짧아지고 부피분율이 커지면서 조밀해지기 때문인 것으로 사료된다.

3.4 마모 특성

Fig. 7은 원심분사주조한 순Al과 강화입자를 각각 동시분사하여 원심분사주조한 Al-Al_2O_3와 Al-SiC 복합재료의 as cast상태 시편에 대한 마멸시험을 한 후 마멸속도에 따른 비마멸량을 측정한 결과를 나타내었다. 시험한 각 시편은 마멸속도가 증가함에 따라 비마멸량이 증가하는 일반적인 경향을 보이고 있다. 마멸속도 1.98, 2.38, 2.88 및 3.53 m/sec에 따라 동일한 조건으로 각각의 시편을 시험하였을 경우 강화입자가 복합화되어 분사주조된 시편이 순 Al보다 비마멸량이 작게 나타나 마멸저항성이 우수함을 알 수 있었다.

강화입자가 첨가된 Al-Al_2O_3와 Al-SiC의 경우 마멸속도가 증가함에 따라 비마멸량은 약간 증가하였으나 마멸속도의 전 구간에서 SiC입자가 첨가된 시편이

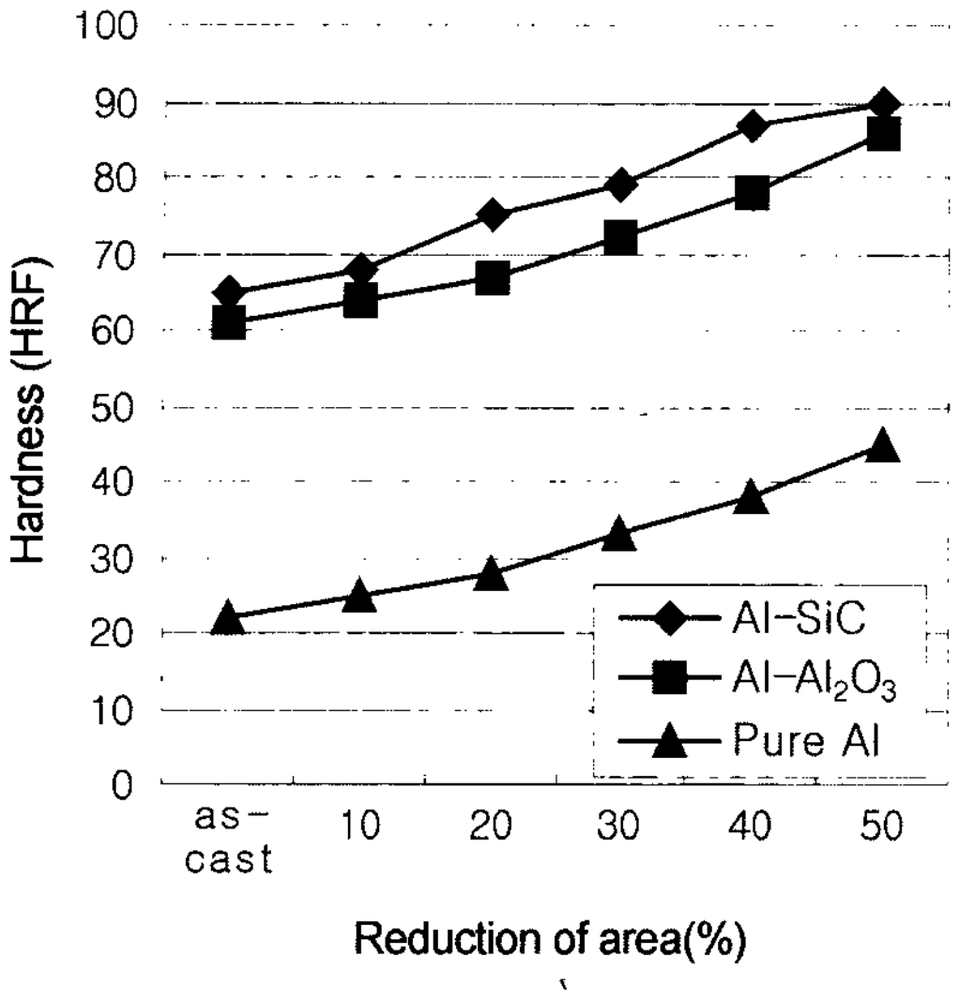


Fig. 6. Variation of hardness for as-cast and as-rolled Al matrix composites with reduction of area.

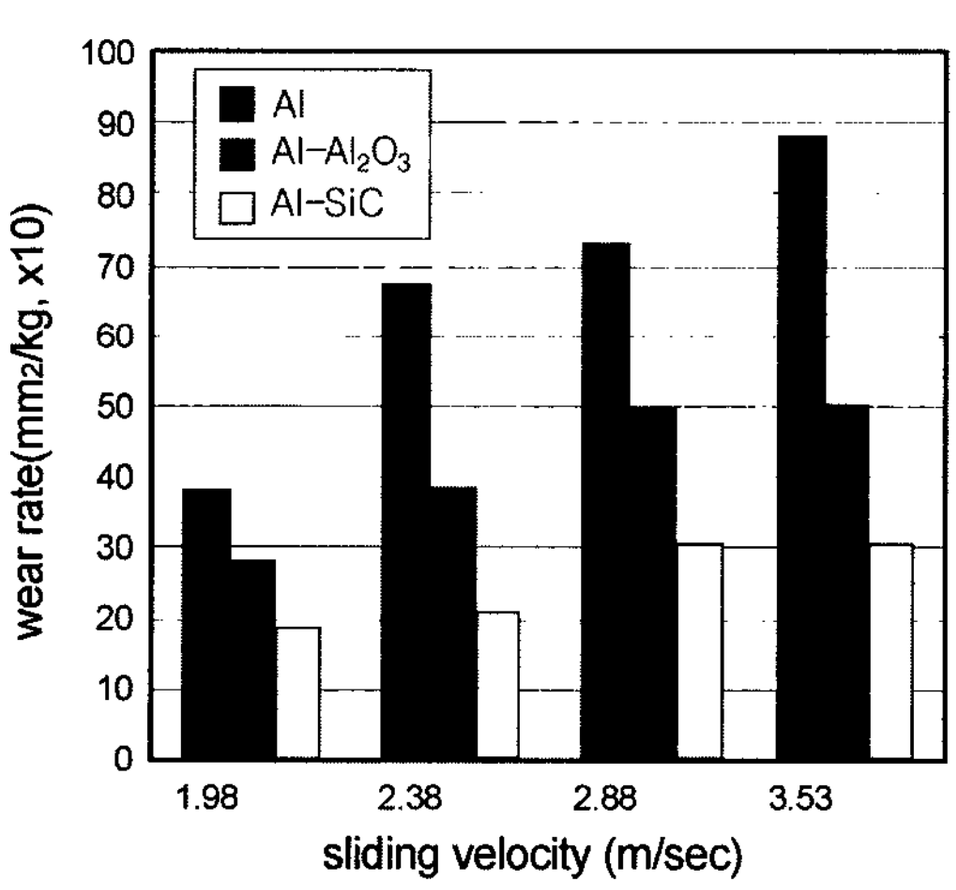
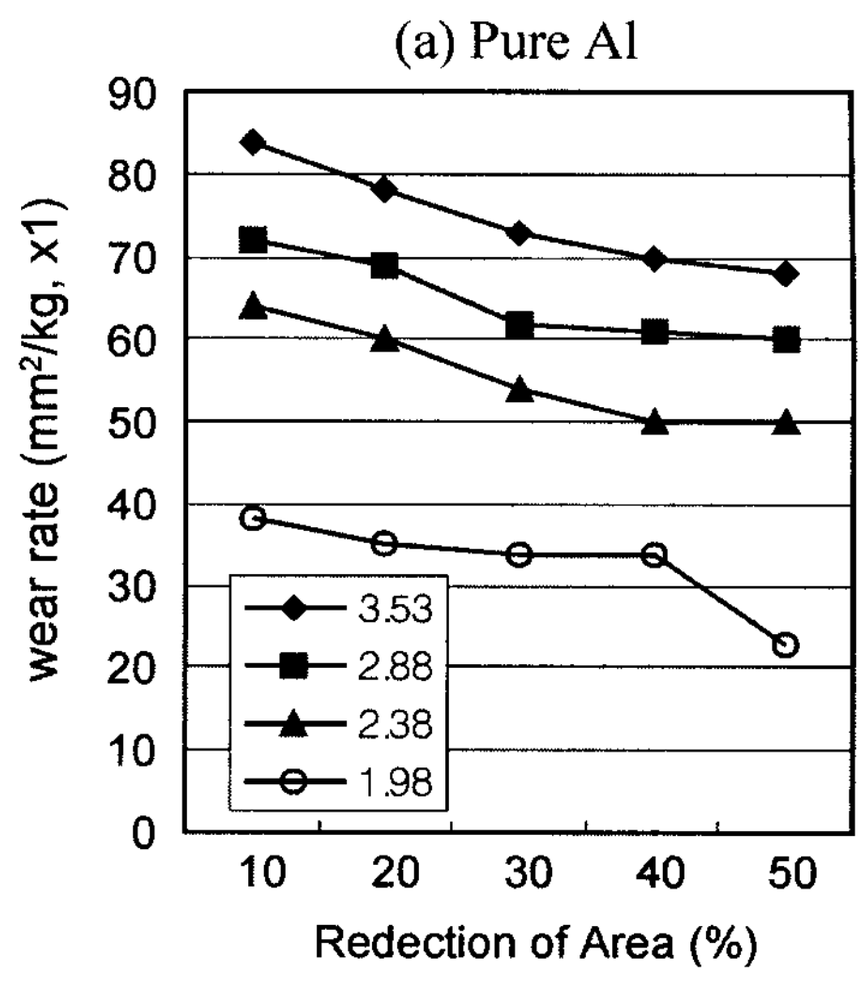


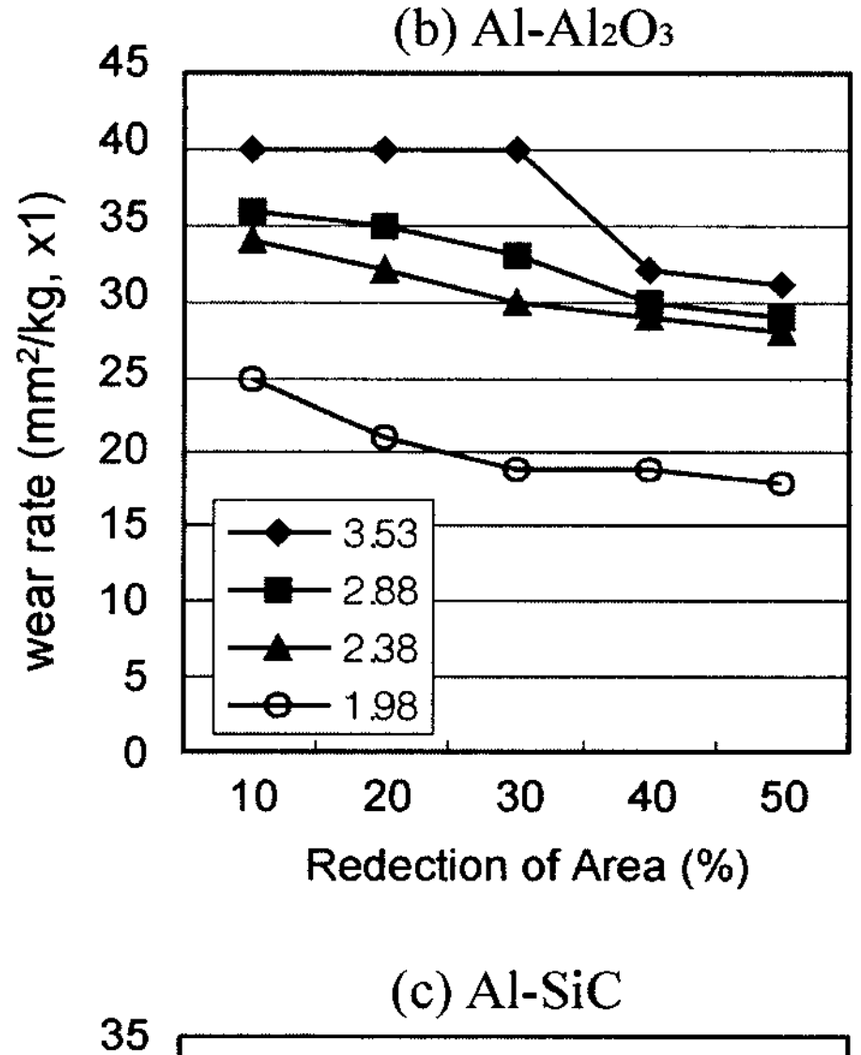
Fig. 7. Variation of specific wear rate for as-cast Al matrix composites with sliding velocity.

Al_2O_3이 첨가된 시편보다 내마모성이 우수한 것으로 나타났다. 따라서 본 실험한 Al기지에서의 각각 시편의 마멸 속도에 따른 비마멸량에서 대체로 순 Al < Al-Al_2O_3 < Al-SiC의 순으로 내마모성이 우수하였다.

Fig. 8은 이들 각 시편을 압연비 10, 20, 30, 40 및 50%에 대한 마멸속도 1.98, 2.38, 2.88 및 3.53m/sec에 대한 비마멸량을 측정한 결과를 나타내었다.

순Al 분사주조재 시편의 비마멸량은 마멸속도의 증





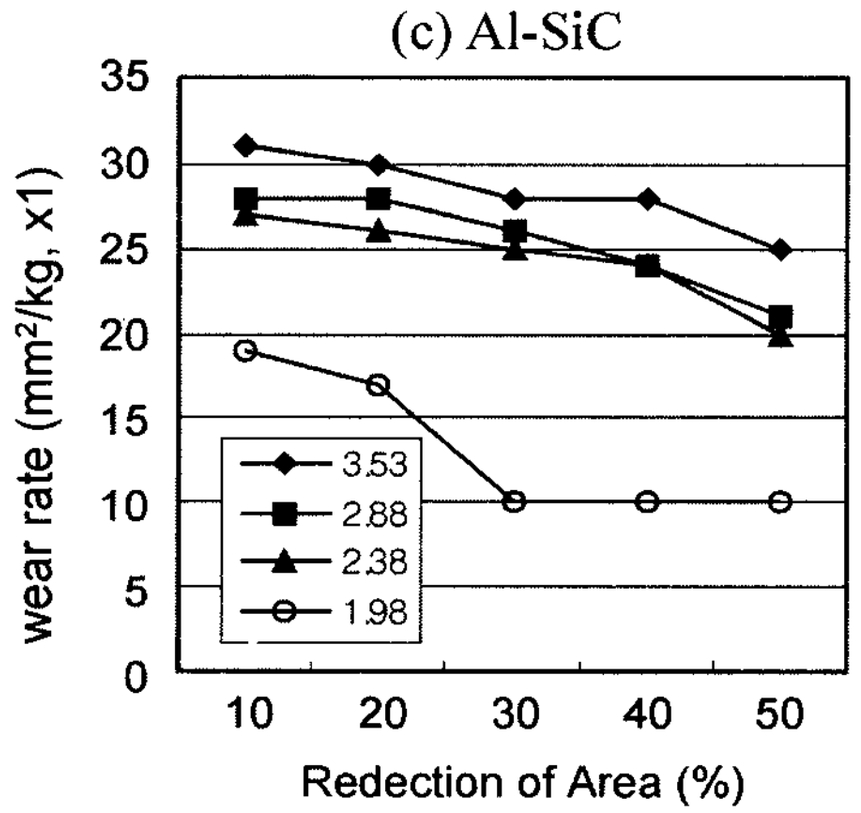


Fig. 8. Variation of specific wear rate of as-rolled Al matrix composites with reduction of area and sliding velocity.

가에 따라 현저하게 증가하고 있으며, 압연율의 증가에 따라 비마멸량은 감소하는 경향을 나타내고 있다.

특히 저속(1.98m/sec)이 될수록 10% 압연한 시편의 비마멸량은 50% 압연한 시편이 약 50%정도 낮았다.

한편 Al-Al_2O_3와 Al-SiC 복합재료의 마멸속도의 증가에 따라 비마멸량은 증가하는 경향을 보였으나 압연비가 증가할수록 비마멸량의 감소는 순Al 시편보다 각 마멸속도에 따라 1/3정도로 적게 나타나고 있다.

Fig. 9의 SEM 사진은 분사주조한 순Al, Al-Al_2O_3 및 Al-SiC의 시편에 대하여 각각 마멸속도 1.98, 2.38, 2.88 및 3.53 m/sec에 대한 마모시험을 한 시편의 마모면을 주사전자현미경으로 관찰한 결과를 나타

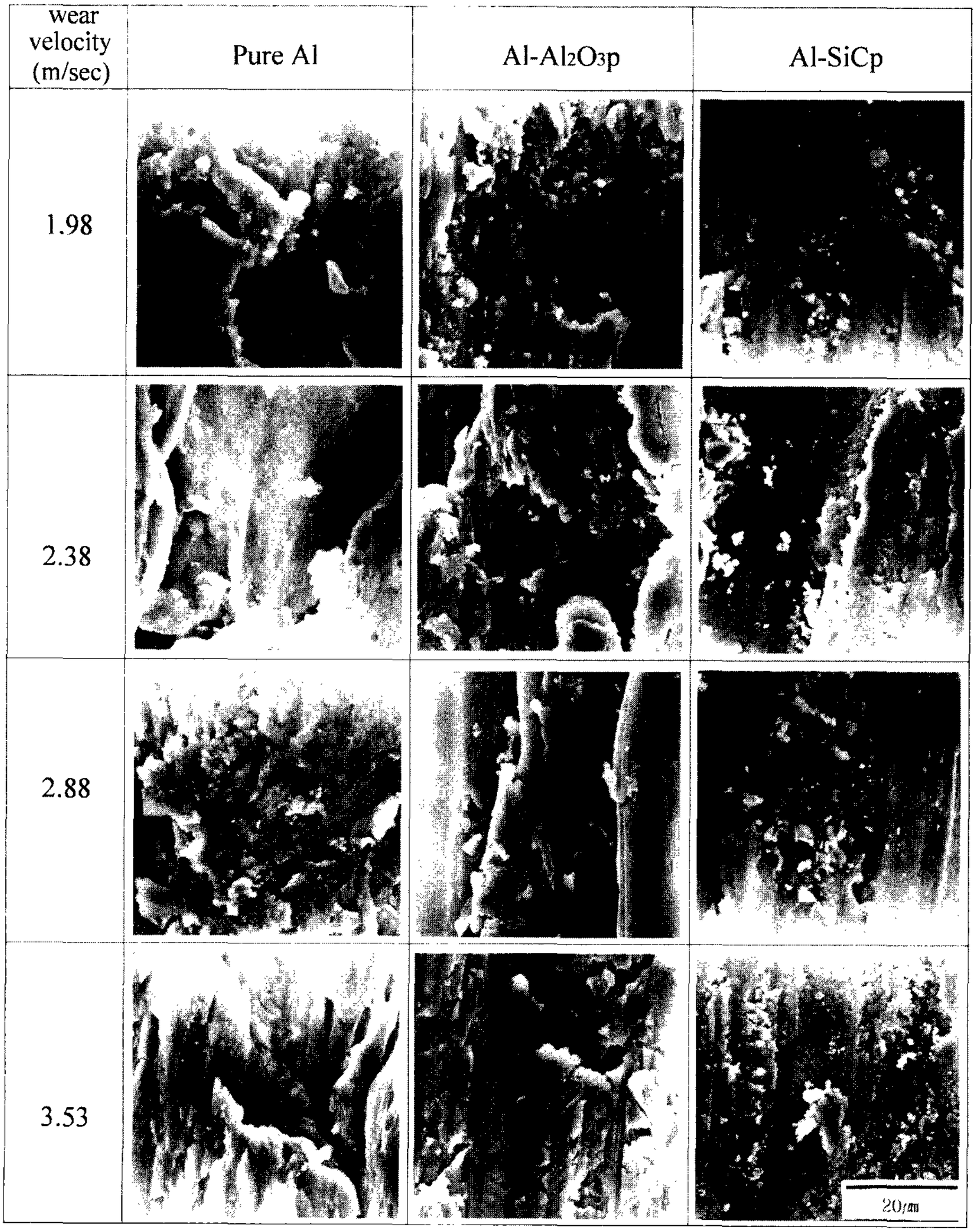


Fig. 9. SEM micrographs of worn surfaces of Al matrix composites.

내었다.

강화재가 첨가되지 않은 순Al 시편은 마멸속도가 증가함에 따라 마멸속도 1.98 m/sec에서는 연삭마멸, 2.38과 2.88 m/sec에서는 피로에 의한 층분리 현상이 관찰되고 3.53 m/sec에서는 응착마멸양상이 전개되어 심하게 훼손된 것이 관찰되고 있다.

Al-Al_2O_3와 Al-SiC 시편의 마멸표면에서는 연삭마멸에 의해 드러난 마멸입자와 함께 강화입자를 볼 수 있고, 강화입자가 마모에 대한 저항성을 증가하였기 때문에 기지표면의 손상을 훨씬 감소한 것으로 나타났으며, 국부적으로 표면피로가 Al기지에서 발생되고 있음이 관찰된다.

결론적으로 동일한 기지의 시편에서 압연하지 않은 시편보다 압연비가 50% 증가함에 따라 비마멸량이 약 20~25% 감소되므로 내마모성이 향상됨을 알 수 있었다.

또한 각 시편의 압연량 증가와 마멸속도에 따른 비마멸량에 의해서 나타난 결과 순Al < Al-Al_2O_3 < Al-SiC의 순으로 내마모성이 우수함을 알 수 있었다.

4. 결　론

본 연구는 순Al과 이 금속 기지를 바탕으로 Al_2O_3p와 SiCp 입자강화제를 각각 동시분사주조하여 시편을 제조하였고 이들 각 시편에 대해 기지금속별 주조 및 압연상태의 시편을 미세조직 관찰, 경도시험 및 마멸시험을 하여 Al 기지 입자강화 복합재료의 마모특성을 조사한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. Al_2O_3p와 SiCp 입자를 동시분사주조한 시편 조직은 기지조직 내 강화입자들이 일부 응집되는 양상이 관찰되나 대체로 균일한 분포를 나타내고 있다.

2. 순 Al기지 복합재료는 가공성이 있으며 열간압연을 통하여 조직이 치밀해졌고 압연비 증가와 함께 강화입자의 밀도도 증가하였으며 기계적 특성에서 압연율이 클수록 경도와 내마모성이 증가하였다.

3. 비마멸량의 측정에 의한 내마모성 시험 결과에서 마멸속도가 증가함에 따라 시편 모두가 비마멸량이 감소하는 일반적인 경향을 나타내고 있다. 동일한 마멸속도로 시험한 경우 강화입자가 첨가된 복합재료가 미복합재료에 비해 월등히 큰 마모저항성을 나타내며 순Al < Al-Al_2O_3 < Al-SiC의 순으로 내마모성이 우수함을 알 수 있었다.

4. 마모형태의 조직관찰에서 순 Al 시편은 마멸속도의 증가에 따라 연삭마멸부터 층분리현상 그리고 응착마멸로 발전하는 과정이 관찰되었다. 입자강화재가 첨가된 복합재인 경우 주로 연삭마멸이 나타나고 있으며 첨가된 강화입자에 의한 마멸저항성을 증가시킴으로써 시료의 마모저항성이 향상된 것으로 사료된다.

후　기

본 연구는 부경대학교의 1997년도 중점연구소 지원사업에 의해서 수행되었기에 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

[1] J.-C. Kim and H.-M. Kwon: Journal of the Korean Foundrymen's Society, "Influence of Solidification Condition on the Segregation of SiC Particles in the Al-Si/SiCp Composite", JuJo,. 17(2), (1997. 4) 180-187.

[2] C.-S. Park, J.-K. Lee and M.-H. Kim: Journal of the Korean Foundrymen's Society, "Fabrication of Lower Thermal Expansion Aluminium Alloys by Spray-casting Process", JuJo, 17(3), (1997. 6) 292-301.

[3] D.-S. Shin and E.-p. Yoon: Journal of the Korean Foundrymen's Society, "A Study on the Creation of Porosity in Al Alloy(AA2014) Large Rod Preforms by Spray Forming", JuJo, 17(5), (1997. 10) 494-501 .

[4] Y.-H. Seo and C.-G. Kang: Journal of the Korean Foundrymen's Society, "Microstructure and Mechanical Properties of SiCp/6061 Al Comosites Fabricated by Indirect Squeeze Casting", JuJo, 18(4), (1998. 8) 373-382.

[5] S.-W. Kim, W.-K. Kim, K.-D. Woo and Haeng-Keun Ahn: Journal of the Korean Foundrymen's Society, "Heat and Wear Resistance Characterization of SiCp Reinforced Al Matrix Composites", JuJo, 20(6), (2000. 12) 377-385.

[6] S.-W. Kim, J.-S. Park and K. Ogi: Journal of the Korean Foundrymen's Society, "Wear Characteristics of Al/SiCp Compsites", JuJo, 22(4), (2002. 8) 184-191.