

용융 열처리한 PMMA/Alumina 복합체의 기계 특성

김동준* · 류수착**†

*부산대학교 나노융합기술학과, **부산대학교 나노메카트로닉스공학과

Mechanical Properties of PMMA / Alumina Composites Fused by Heat Treatment

D.J. Kim*, S.C. Ryu**†

*Department of Nano Fusion Technology, Pusan National University, Busan 627-706, Korea

**Department of Nanomechatronics Engineering, Pusan National University, Busan 627-706, Korea

Abstract The PMMA composited material mixed with alumina studied to find the optimal condition, the adequate ratio of mixing, for the associated mechanical properties such as anti-corrosive, weatherproof performance. The 80% of hardness and 52% of scratch coefficient improved according to increasing ratio of alumina, which is mostly 3 times higher than that of pure PMMA, on other hand 16% of tensile strength and 35% of flexural strength has lost while alumina was adding in. The most proper ratio, having the best availability in substantial production, of composite between pure PMMA and alumina is determined as 93 wt. % vs 7 wt. %. Results of related five properties had estimated by using of a pentagram.

(Received April 25, 2018; Revised May 3, 2018; Accepted May 10, 2018)

Key words : Composite, PMMA, Alumina, Mechanical property

1. 서 론

PMMA(Poly methyl methacrylate)는 경량, 내약품성, 표면 광택 및 내후성을 갖는 고분자 물질이다[1]. 또한 PMMA는 열과 햇빛에 의해 변색되지 않으며 강한 무기산, 강한 알칼리 및 염분에 의해 부식되지 않는다. 게다가 연화점이 80~90°C이므로 열처리, 성형 및 제조에 적합하다. 이러한 이유로, PMMA는 건축 자재 및 도료에 사용되고 있다[2, 3]. PMMA는 금속 및 세라믹에 비해 기계적 특성이 좋지 않다. 이러한 이유 때문에, 금속 및 세라믹 분말과 함께 PMMA 복합체를 제조하는 것이 좋다[4, 5]. 본 연구에서, 우수한 기계적 특성과 낮은 반응성을 가진 순백의 Alumina 분말을 PMMA 매트릭스에 첨가하여 복합체를 제조 하였다. Alumina는 세라믹 산업 및 복합 첨가물에 사용되며 다양한 산업에 적용된다[6]. 복합체 원료를 만들기 위해, Alumina는 입자 크기 조절하고, 용융과정의 유무 및 비드화를 통하여

PMMA를 준비하였다. 복합체의 물리적 특성의 향상을 확인하고, Alumina 함량에 따른 최적의 혼합조건을 확립하고자 하였다.

2. 실험방법

2.1 재료

본 연구에서는 복합체 제작을 위하여 PMMA (IH830, LG MMA Corporation, Korea)와 Alumina (32015-1250, Junsei, JAPAN)를 사용 하였다. Alumina는 Attrition mill을 이용하여 500 rpm으로 60 초 동안 건식 분쇄 후, PARTICLE SIZE ANALYZER(ELS-Z2, OTSUKA ELECTRONICS CORPORATION, JAPAN)를 사용하여 평균 입자 크기가 1800 nm임을 확인하였다(Fig. 1).

2.2 시료 준비

PMMA 60 g을 스테인리스 도가니에서 담고,

†Corresponding author. E-mail : scryu@pusan.ac.kr
Copyright © The Korean Society for Heat Treatment

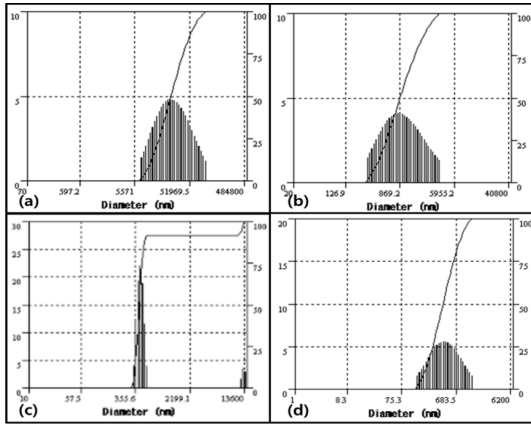


Fig. 1. Particle size of alumina. (a) alumina (JUNSEI, JAPAN) (b) alumina (by using grinder) (c) aluminasol (d) alumina powder (by freezing dry).



Fig. 2. Sample of PMMA/Alumina.

350°C에서 35분 동안 가열 후, 건식 분쇄로 가공된 Alumina 분말(PMMA 함량의 1~9 중량 %)을 첨가하였다. 교반기를 사용하여 150 rpm으로 90초간 혼합하고, 생성된 혼합물을 실온에서 냉각시켰다. 냉각된 복합재를 18,000 rpm으로 90초 건식 분쇄하였다. 파쇄된 복합분말을 18 mesh(≤ 1.00 nm)를 이용하여 입도 분리 하였다. 마운팅 프레스(FM-32, 페어웍스, Korea)를 이용하여 240°C, 80 bar, 가열 시간 25분, 냉각 시간 7분의 조건에서 원통형 시료를 제조 하였다.

2.2.1 시험편 준비

마운팅 프레스를 이용하여 제작된 원기둥 형태의 시험편은 각각의 규정에 맞는 시험편으로 제작하였다. 각 시험편은 다이아몬드 커팅 머신(Low Speed Saw, Buehler, USA)기를 이용하여 제작했다. 먼저, ASTM D 695 규정에 따라 가로 12.7 mm, 세로 12.7 mm,

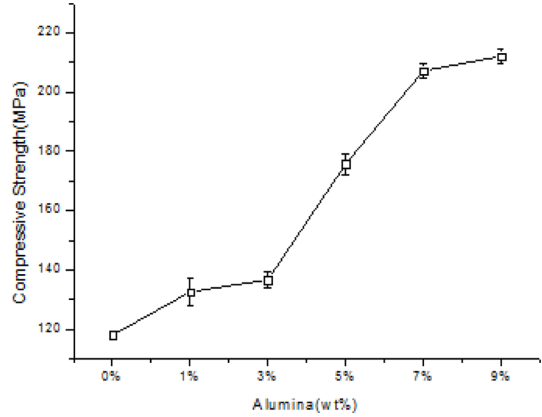


Fig. 3. Compressive strength of PMMA/Alumina composite.

높이 25.4 mm의 압축 강도 시험편을 제작 하였다. 두 번째로, 인장 강도 시험편은 플라스틱-인장성의 측정(KS M ISO 527-2:2013(1BB))기준에 따라 전체 길이 ≥ 30 mm, 가운데 좁은 평행부의 길이 $12 \text{ mm} \pm 0.5$, 반지름 ≥ 12 mm, 양쪽 넓은 부분 거리 $23 \text{ mm} \pm 2$, 끝부분의 폭 $4 \text{ mm} \pm 0.2$, 가운데 좁은 부분의 폭 $2 \text{ mm} \pm 0.2$, 시험편의 두께 ≥ 2 mm, 게이지 길이 $10 \text{ mm} \pm 0.2$ 로 제작을 하였다. 세 번째로, 곡강도 시험편은 길이 $20 \text{ mm} \pm 2.0$, 너비 $10 \text{ mm} \pm 0.2$, 두께 $2.0 \text{ mm} \pm 0.2$ 로 제작하였다. 마지막으로, 경도 측정 시험편은 높이 5 mm 및 지름 $\phi 32$ mm 디스크 형태의 시험편을 제작했다. 압축강도, 인장강도, 곡강도는 만능재료시험기(SMtester, SMB-001-5T, Korea)로 경도는 마이크로 비커스 경도 시험기(FM-700, Future Tech, JAPAN)를 이용하여 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 PMMA/Alumina 복합 재료의 압축 강도와 경도

Fig. 3는 PMMA/Alumina 복합체의 압축 강도 측정 결과를 나타내고 있다. Alumina 첨가량에 따라 각 10회씩 측정하여 평균값을 결정하였다. 순수한 PMMA의 압축 강도는 1500 kgf/cm^2 로 측정되었다. 5%에서 압축 강도는 급격한 증가를 보였다. 7%의 경우, Alumina에서 측정된 압축 강도는 2667 kgf/cm^2 였다. 이 결과는 순수한 PMMA보다 80% 더

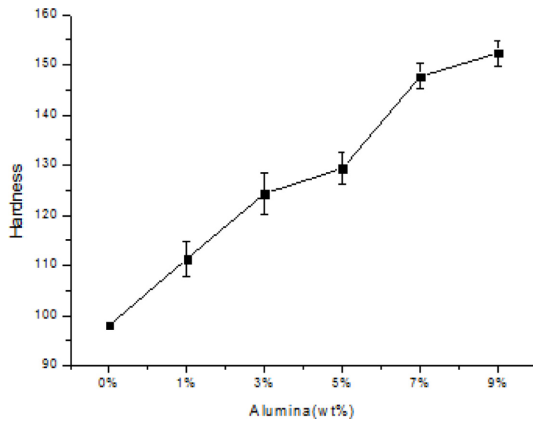


Fig. 4. Hardness of the PMMA/Alumina composite.

높다. 9% Alumina에서, 측정된 압축 강도는 2735 kgf/cm^2 였다. 즉, PMMA 내부에 적절하게 분산되어 PMMA 사슬 간의 결합력을 강화 시키고 외력에 의한 변형에 안정적으로 대처하기 위해서는 건식 분쇄를 이용하여 가공된 Alumina 분말 입자크기가 최적의 입자크기라 사료된다.

Fig. 4은 PMMA/Alumina 복합체의 경도 측정 결과를 나타내고 있다. Alumina 첨가량에 따라 각 10회씩 측정하여 평균값을 결정하였다. 순수한 PMMA의 경우 측정된 경도는 96.7 HV였다. Alumina 첨가량이 3~5%일 때 124.8 HV, 129.3 HV로 증가하는 경향을 보였으며, 첨가량이 7~9%일 때 148.2 HV, 152.1 HV 증가하는 경향을 나타내었다.

상기결과, PMMA/Alumina 복합체의 압축 강도와 경도는 Alumina 함량이 증가함에 따라 증가하는 경향을 나타내었고, 이는 PMMA에 분산된 Alumina로 인하여 압축 강도 80% 및 경도의 기계적 특성을 52% 증가 시킨 것으로 사료된다.

3.2 PMMA/Alumina 복합 재료의 인장 강도 및 굴곡 강도

Fig. 5는 PMMA/Alumina 복합체의 인장 강도 측정 결과를 나타내고 있다. Alumina 첨가량에 따라 각 10회씩 측정하여 평균값을 결정하였다. Alumina 함량이 증가함에 따라 인장 강도는 감소 경향을 나타내었다. 1~5%의 Alumina를 사용하여 측정된 인장 강도는 순수한 PMMA 매트릭스보다 1~6% 정도 감소하였으며 특히, Alumina의 첨가량이 7%인

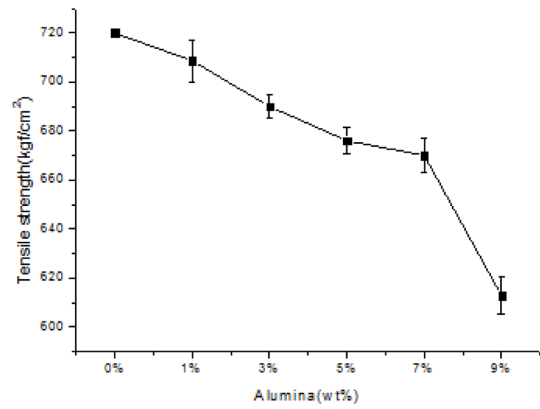


Fig. 5. Tensile strength of the PMMA/Alumina composite.

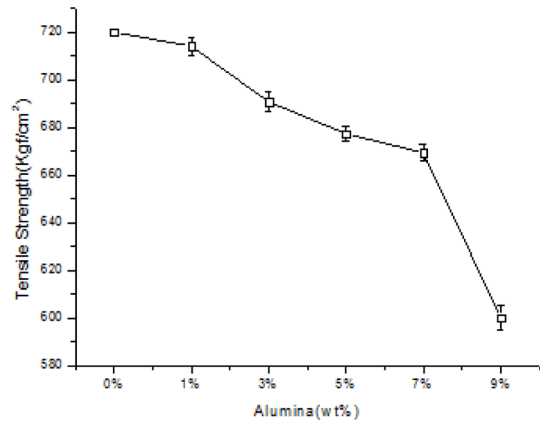


Fig. 6. Flexural strength of the PMMA/Alumina composite.

경우 순수 PMMA의 인장강도인 720 kgf/cm^2 에서 약 7% 감소된 668 kgf/cm^2 으로 측정되었으며, 9%인 경우, 순수 PMMA보다 약 16% 감소된 610 kgf/cm^2 으로 측정되었다.

Fig. 6는 복합 재료의 곡강도 측정 결과를 나타내고 있다. Alumina 첨가량에 따라 각 10회씩 측정하여 평균값을 결정하였다. 곡강도에서도 Alumina 첨가량이 7%일 때 순수 PMMA의 곡강도인 1380 kgf/cm^2 보다 약 10% 감소된 1255 kgf/cm^2 으로 측정되었으며, 첨가량이 9%일 때 순수 PMMA보다 약 35% 감소된 887 kgf/cm^2 으로 측정되었다. 전반적으로 인장 강도와 곡강도는 Alumina 함량이 증가함에 따라 감소하는 경향을 나타내었으며, 이는 PMMA에 Alumina 분말의 첨가량이 증가함에 따라 PMMA 고분자의 체인의 파괴를 유발하여 복합체 구조내의

모노머 체인의 파괴로 인한 감소현상으로 사료되며 또한, 이러한 측정 결과는 Alumina 입자 크기가 중요한 요인이 될 수 있을 것으로 사료된다. 따라서 더 나은 PMMA/Alumina 복합체를 제조하려면 Alumina 입자 크기가 1 μm 미만 이어야 하며, 구조의 미세 기공을 제거하는 것이 유리한 것으로 사료된다.

3.3 PMMA/Alumina 복합 재료의 스크래치 계수 측정

Fig. 7은 PMMA/Alumina 복합체의 내 마모도 측정 결과를 나타내고 있다. Alumina 첨가량에 따라 각 10회씩 측정하여 평균값을 결정하였다. 3 mm Alumina 불을 이용하여 회전하는 디스크 표면을 긁게 되면 표면은 변형이 일어나게 되며, 이러한 표면의 변형으로 인해 표면의 마모도가 증가된다. Alumina 첨가량이 증가함에 따라 표면의 변형으로 인한 마찰저항이 증가하게 되며, Alumina 첨가량이

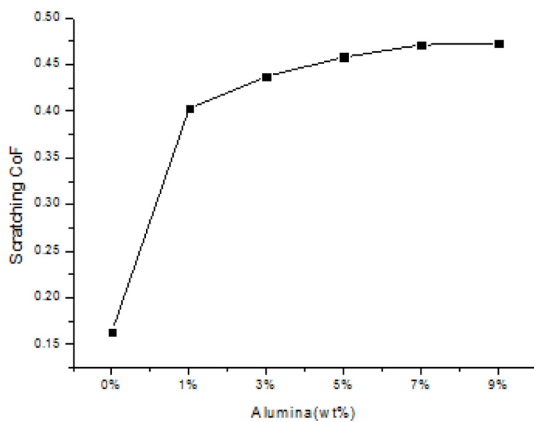


Fig. 7. Scratch coefficient of PMMA/Alumina composite.

9%인 경우, 순수한 PMMA 매트릭스의 스크래치 계수 0.15보다 3배 더 높은 0.46의 마찰저항을 나타냈다. 이는 고경도의 Alumina 분말로 인한 현상으로 사료되며 따라서, 전반적으로 PMMA/Alumina 복합체는 일반적으로 PMMA 매트릭스에 비해 우수한 스크래치 계수를 나타내는 것으로 사료된다.

3.4 최적 첨가 조건

기계적 강도 측정결과를 기초로 최적의 조건을 분석하기 위하여 총 결과는 Table 1 및 방사형 특성 그래프를 사용하여 도식화 하였다(Fig. 8). Alumina 함량이 PMMA의 무게 비 7%의 용융 열처리로 제조된 복합체 원료를 사용하여 복합체를 제작하였을 때 가장 우수한 물성을 갖는 것으로 확인 되었다. 이렇게 제조된 PMMA/Alumina 복합체를 이용할 경우 곡강도 및 인장강도는 PMMA 매트릭스 보다 7~10% 감소하나 경도는 52% 압축강도는 최대 80%까지 증가하였으며, 마모도는 최대 3배 증가하는 경향을 보였으며 총괄적 결과에서 우수한 기계적 특성

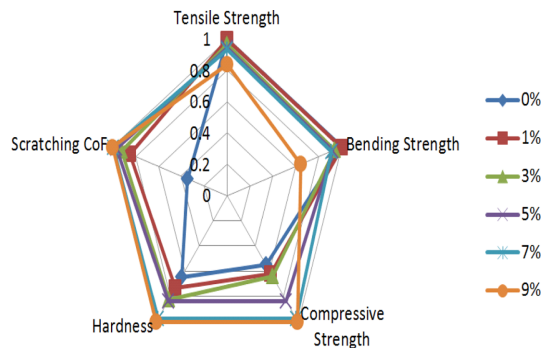


Fig. 8. Pentagram of all mechanical properties of the PMMA/Alumina composite.

Table 1. Mechanical properties of PMMA/Alumina composite

	Compressive strength (kgf/cm ²)	Hardness (HV)	Tensile strength (kgf/cm ²)	Flexural strength (kgf/cm ²)	Scratch coefficient
0%	1500	96.7	720	1380	0.15
1%	1614	110.8	709	1345	0.40
3%	1653	124.5	689	1310	0.42
5%	2128	129.3	673	1275	0.45
7%	2667	148.2	668	1255	0.46
9%	2735	152.1	610	887	0.46



Fig. 9. The manufacture of the PMMA/Alumina composite sample containing 7 wt. % alumina.

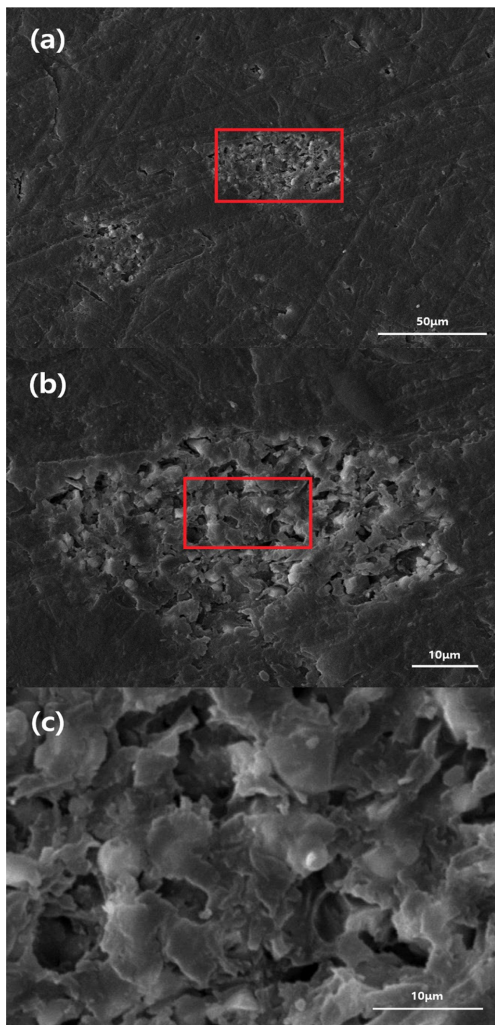


Fig. 10. (a) $\times 1000$ composite surface (b) $\times 3000$ composite surface (c) $\times 10000$ composite surface.

을 가질 수 있다. 따라서, Alumina 함량이 PMMA의 무게비 7%인 원통형 복합체를 CNC 기계로 가공하여 볼트 너트를 제작 하였다(Fig. 8). 이 볼트 너트

는 금속에 비해 무게가 70%로 낮으며 내식성이 우수하다.

3.5 Alumina 7 wt% 표면 SEM 측정

Fig. 10에서 (a), (b) 및 (c)는 Alumina의 함량이 PMMA의 무게 비 7%일 때의 SEM 측정결과이다. (a)의 경우 표면이 매끄럽긴 하지만 특정 영역에 기공이 관찰되었으며, (b)와 (c)는 (a)의 특정 영역의 확대 해본 결과이며, 많은 기공과 Alumina 입자의 분포가 관찰 되었다. 이는 Alumina의 분산이 최적화 되지 못함을 나타내며 이로 인해 부분적 기공이 발생하고 이러한 기공 및 미세구조로 인해 인장 강도 및 곡강도에 영향을 미치는 것으로 사료된다.

4. 결 론

본 연구에서는 우수한 기계적 특성을 갖는 고강도 소재를 제조하기 위하여 PMMA와 Alumina를 사용하여 복합체를 제조하고, 기계적 특성을 측정하고 분석하였다. 이때 평균 입경 1800 nm의 건조 분쇄 Alumina 분말을 PMMA 무게비 1~9% 사용 하였다. 용융 열처리된 복합분말을 제조하고 이를 이용하여 복합체를 제조함으로써 분산도를 높였으며, PMMA/Alumina 복합체의 치밀도를 높였다. 실험 결과 7% Alumina를 사용한 복합체의 기계적 강도는 압축 강도 2667 kgf/cm², 경도 148.2 HV, 인장 강도 673 kgf/cm², 곡강도 1255 kgf/cm²로 결과를 나타내었다. 이는 PMMA 매트릭스보다 곡강도 및 인장 강도는 7~10% 감소하는 경향을 보였다. 이는 PMMA에 Alumina 분말의 첨가량이 증가함에 따라 PMMA 고분자의 체인의 파괴를 유발하여 복합체 구조내의 모노머 체인의 파괴로 인한 감소현상으로 사료되며, 인장강도는 Alumina의 첨가량이 7%를 초과하는 경우 급격한 감소를 보였다. PMMA 매트릭스에 비해 7% 감소된 673 kgf/cm²을 나타내었으며, 첨가량이 9%일 때 16% 감소하여 605 kgf/cm²을 나타내었다. 굴곡강도 역시 동일한 경향을 나타내었다. 첨가량이 7%일 때 PMMA 매트릭스에 비해 10% 감소된 1255 kgf/cm²을 보였으며, 9%일 때 35% 감소된 888 kgf/cm²을 나타내었다. 경도는 52% 증가된 148.2 HV을 보였으며, 압축강도는 최대

80% 증가된 2677 kgf/cm²을 나타내었다. 마모도는 최대 3배 증가하는 경향을 보였으며, 상기 결과에 의하여 제조된 PMMA/Alumina 복합체를 이용할 경우 우수한 기계적 특성을 갖는 부품으로 응용 가능할 것이라 생각된다.

References

1. Dong Shaosheng, Wei Yuezhen and Zhang Zhiqian : Journal of Applied Polymer Science, **72** (1999) 1335-1339.
2. S. M. El-Bashir and A. Hendi : Polymer-Plastics Technology and Engineering, **49** (2010) 78-92.
3. Masakazu Hosoda, Tetsuo Hino and Noriyuki Kuramoto : Polym Int, **56** (2007) 1448-1455.
4. Jonathan N. Coleman, Umar Khana, Werner J. Blau and Yurii K. : Gun'kob. Small but strong: Carbon, **44** (2006) 1624-1652.
5. K. E. Gonsalves, G. Carlson, S. P. Rangarajan, M. Benaissa and M. José-Yacamán : J. Mater. Chem., **6** (1996) 1451-1453.
6. Dudley S. Finch, Tammy Oreskovic, Krishna Ramadurai, Cari F. Herrmann, Steven M. George and Roop L. Mahajan : Journal of Biomedical Materials Research Part A, **87A** (2008) 100-106.
7. Fengqiu Tang, Hiroshi Fudouzi, Tetsuo Uchikoshi and Yoshio Sakka : Journal of the European Ceramic Society, **24** (2004) 341-344.
8. Andrei Y. Khodakov, Anne Griboval-Constant, Rafel Bechara and Françoise Villain : J. Phys. Chem. B **105** (2001) 9805-9811.
9. Susmita Bose, Jens Darsell, Martha Kintner, Howard Hosick and Amit Bandyopadhyay : Materials Science and Engineering C, **23** (2003) 479-486.
10. Asit Kumar Gain, H. -Y. Song and B. -T. Lee : Scripta Materialia, **54** (2006) 2081-2085.