

입자 저감 및 pH가 ATO (안티몬도핑 산화주석)의 분산 특성에 미치는 영향

김진훈 · 정의경 · 이상현* · 한원희* · 이영석[†]

충남대학교 공과대학 정밀응용화학과, *(주)마이크로글로브
(2010년 2월 2일 접수, 2010년 3월 19일 채택)

The Effects of Size Reduction and pH on Dispersion Characteristics of ATO (Antimony-Doped Tin Oxide)

Jin Hoon Kim, Euigyung Jeong, Sang Hun Lee*, Won-Hee Han*, and Young-Seak Lee[†]

Department of Fine Chemical Engineering and Applied Chemistry, BK21-E2M, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

*Microglobe Corporation, 1328 Gwanpyeong-dong Yuseong-gu, Daejeon 305-509, Korea

(Received February 2, 2010; Accepted March 19, 2010)

본 연구는 높은 분산 안정성을 유지하는 antimony-doped tin oxide (ATO) 분산액을 제조하기 위하여, 습식 볼밀법으로 분쇄시간에 따른 ATO의 입자크기, 입도분포, 분산성의 변화를 고찰하였다. 또한 각각의 습식 볼밀 처리된 ATO 분산액의 pH를 변화시켜 ATO 분산액의 분산 특성을 고찰하였다. 습식 볼밀 분쇄 조건에 의하여 ATO의 입자크기 및 입도 분포 변화는 레이저회절 입도분석기와 주사전자현미경을 이용하여 평가하였고, 습식 볼밀 분쇄 시간 및 pH조건에 따른 ATO 입자의 분산성은 제타전위 측정법과 다중광산란(multiple light scattering)법을 이용하여 평가하였다. 분쇄 조건 중 60 min 동안 처리된 ATO 입자 크기는 30% 이하로 작아지고, 1~35 μm 에서 0.1~5 μm 로 입도분포를 갖는 균일한 입자를 얻을 수 있었다. 그러나 분쇄조건을 60 min 이상 처리한 것은 역분쇄 및 재응집 현상의 발생으로 인하여 한계 분쇄 시간이 나타나는 것을 알 수 있었다. 이러한 결과로부터 ATO 분산액은 습식 볼밀 분쇄 시간을 증가시킬수록 입자 크기가 감소하고 표면 에너지가 증가하여 입자간의 반발력이 커지게 됨을 알 수 있었고, 또한 용액의 pH를 증가시킬수록 입자의 표면 이온화도가 커짐으로 인하여 ATO 분산액의 분산성이 향상되는 것을 알 수 있었다.

This study aimed to prepare antimony-doped tin oxide (ATO) dispersion with high stability. The methods to achieve this goal were sought by investigating the changes of ATO particle size, size distribution, dispersion property as wet ball milling treatment time increased. And the changes of wet ball milled ATO dispersion property were also investigated, as pH increased. The changes of ATO particle size and size distribution, according to wet ball milling treatment time were evaluated with laser diffraction particle size analyzer and scanning electron microscope (SEM). The changes of ATO dispersion property, as wet ball milling treatment time and pH increased, were evaluated with zeta potential analysis and Turbiscan. By 60 min wet ball milling treatment time, ATO particle size decreased and size distribution became narrower, as the treatment time increased. After 60 min milling, the ATO particle size decreased to less than 30% of the initial size and the size distribution was narrowed to 0.1~5 μm from 1~35 μm . However, more than 60 min milling, ATO particles aggregated and the particle size increased. ATO dispersion stability also increased as the treatment time and pH increased because the reduced particle size increased particle surface energy and repulsion between particles and the increased pH enhanced particle surface ionization. Hence, after proper length of wet ball milling treatment, highly stable ATO dispersion can be prepared, as increasing pH of the dispersion.

Keywords: antimony-doped tin oxide, wet-ball-milling, dispersion, zeta potential

1. 서 론

현재 사용되는 대다수의 플라스틱 제품은 부도체 특성을 갖고 있지만 마찰에 의한 정전기가 쉽게 발생한다. 이렇게 발생한 플라스틱의 정전기로 인하여 전자기기, 반도체, 정밀기계의 기능장애 및 손실을

초래하여 경제적 피해가 발생하고 있다. 따라서 정전기 발생을 낮추는 대전방지 소재에 대한 연구가 여러 분야에서 진행되고 있다[1-3].

대전방지 소재는 일반적으로 전기 전도성 금속산화물 또는 무기물 재료를 플라스틱, 유기 포장재, 섬유 등에 혼합하여 제조된다. 그 중에서도 금속산화물이 많이 사용되고 있었으나 무게가 무겁고 분산성이 떨어지는 단점이 있어서 비금속산화물로 대체하는 연구가 진행되고 있다[4]. 대표적인 비금속 대전방지 소재인 indium tin oxide (ITO)는

[†] 교신저자(e-mail: youngslee@cnu.ac.kr)

인듐산화물과 주석산화물로부터 합성된 물질로서 전도막, 전도성 입자로 폭넓게 사용되고 있다. 이 ITO는 가시광 영역에서 높은 투과율과 낮은 전기 비저항을 갖는 전기적인 특성을 지니고 있지만 주요 원료인 인듐산화물의 매장량이 적어서 가격이 비싸고 공급이 부족한 단점을 지니고 있어서 대전방지 소재 및 전도막의 생산 원가를 높이는 결과를 가져왔다. 주석산화물에 안티몬산화물이 코팅된 antimony-doped tin oxide (ATO)는 인듐산화물보다 안티몬산화물의 매장량이 풍부하여 가격이 싸고 투명성과 도전성이 우수한 장점을 갖고 있어서, ITO를 ATO로 대체하는 연구가 진행 중이다[5,6].

소량의 ATO로 대전방지 성능을 향상시키기 위해서 높은 전도성을 갖는 침상형 TiO_2 또는 SiO_2 입자에 ATO를 코팅하는 방법이 이용된다. ATO 코팅하는 방법에는 공침법, 수열법, 졸겔법, 알콕사이드법 등 [7-9]의 방법이 있으며, 이 중에서 공침법이 대표적으로 사용되고 있다. 공침법은 각각의 원료 분말을 용매와 반응하여 낮은 온도에서 반응입자 표면에 기능성을 부여하는 공정이다. 공침법은 일반적으로 화학적 측면에서는 고순도화, 화학 조성의 균질화, 그리고 물리적 측면에서는 입자의 미세화, 입도 분포의 균일화를 도모할 수 있다는 장점 때문에 많이 이용되고 있다[10,11]. 이러한 장점에도 불구하고 실제 공정에서 입자 크기가 크거나, 분산성이 나쁘고, 입도가 불균일한 분말을 사용하면 코팅된 입도가 불균일하여 물리화학적 성질에 영향을 미치게 되는 단점을 가지고 있다. 따라서, 공침법으로 ATO를 코팅시키는 경우에는, 입자 크기가 작고 입도가 균일한 ATO 분말을 사용하고, 주로 사용되는 용매인 물에 대한 분산성을 향상시키는 것이 중요하다.

이러한 문제점을 해결하기 위하여 입자 크기 및 입도 분포를 균일하게 처리하는 방법으로는 콘크러셔, 커터밀, 디스크밀, 롤러분쇄기, 제트분쇄기, 볼밀 등이 있고, 입자를 용매에 혼합시켜서 분산성을 향상시키는 방법으로는 자석 교반기, 임펠러 교반기, 원통형 교반기, 패들 교반기 등으로 사용되고 있다[12-14]. 앞에서 연구되고 있는 방법들 중 입도감소, 입도 균일화, 분산성 향상의 세 가지 공정을 동시에 처리할 수 있는 방법으로는 습식 볼밀법이 있는데, 이 습식 볼밀법의 장점은 공정의 단순화, 비용절감, 시간 단축 등의 경제적 효과와 입자 기능성을 향상시키는 효과를 가지고 있다[15]. 한편, 이렇게 기계적 혼합 및 분쇄에 의한 분산성 향상 방법 외에도 화학적 처리 방법으로 분산액의 pH조건에 따라 분산 안정성을 높이는 연구가 시도되고 있다[16].

따라서, 본 연구는 높은 분산 안정성을 유지하며 입자간 응집현상이 적고 균일한 입도를 가지는 ATO 분산액을 제조하기 위하여, 습식 볼밀법을 이용하여 분쇄 시간에 따른 ATO의 입자크기, 입도분포, 분산성의 변화를 고찰하였다. 또한 각각 습식 볼밀 처리된 ATO 분산액의 pH에 변화에 따른 분산 특성을 고찰하였다.

2. 실험

2.1. 실험 재료

본 실험에서 ATO (Microglobe Co., Sn : Sb = 80 : 20~95 : 5)는 밀도가 $1.8 \sim 2.2 \text{ g/cm}^3$ 이고, 입도는 $5 \sim 10 \mu\text{m}$ 인 것을 사용하였다. ATO 입자를 혼합시키는 용매로 증류수를 사용하였으며, 분산액의 pH 조절을 위해서 0.1 N-염산용액(WAKO, 7647-01-0)과 0.1 N-수산화나트륨(WAKO, 1310-73-2)을 사용하였다.

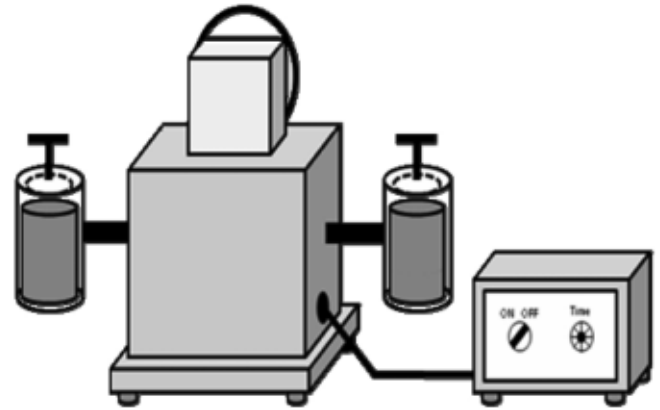


Figure 1. Schematic of wet-ball mill (paint shaker).

Table 1. Sample Name of ATO Particles

Treatment time (min)	Sample name
0	BM0-ATO
20	BM20-ATO
40	BM40-ATO
60	BM60-ATO

ATO : antimony-doped tin oxide

2.2. 실험 장치

ATO 입자를 분쇄 및 혼합하기 위하여 습식 볼밀 분쇄기(오션과학사, 페인트 셰이커(COAD-1114))를 사용하였다. 습식 볼밀 분쇄기의 개략도를 Figure 1에 나타내었다. ATO 수계 분산액은 습식 볼밀 분쇄기 양옆에 고정된 스테인레스 비커 내에서 전후좌우 진동으로 반응이 이루어진다. 본 연구에서 사용된 분쇄매체는 내마모성, 내식성이 높은 스테인레스 볼(stainless steel, 직경 = $1.0 \pm 0.1 \text{ mm}$, 밀도 = 7.8 g/cm^3)이며, 표준망체 32 mesh (체눈의 크기, $500 \mu\text{m}$)를 이용하여 시료와 볼을 분리하였다.

2.3. 실험 방법

2.3.1. ATO 입자의 분쇄 실험

볼밀에 의한 분쇄실험 조건으로는 분쇄 매체의 볼의 크기 및 충전율, 슬러리의 농도 및 양 그리고 분쇄시간 등을 고려할 수 있다. 본 실험에서는 예비실험을 통하여 다음과 같은 조건들을 일정하게 유지하였다. 즉, 볼의 재질은 첨가될 불순물을 고려하여 스테인레스 볼을 선택하였고, 크기는 1 mm로 하였다. 직경이 10 cm이고 용적이 1 L인 스테인레스 재질의 비커를 분쇄용기로 사용하였다. 볼 200 g (25.6 cm^3), 물 120 g (120 cm^3), ATO 80 g (40 cm^3)으로 총 무게 400 g (부피 185.6 cm^3)를 혼합하여 반응 시켰다. 회전수는 기계의 기본 속도로 600 rpm으로 고정하였고 습식 볼밀 처리 시간은 0, 20, 40, 60 min으로 달리 하였다. 이렇게 제조된 시료는 처리 시간에 따라 BM0-ATO, BM20-ATO, BM40-ATO, BM60-ATO로 각각 명명하여 Table 1에 나타내었다.

2.3.2. 습식 볼밀 분쇄된 ATO 입자의 표면 및 입도 분석

분쇄시간에 따른 ATO 입자의 표면 관찰은 주사전자현미경(JEOL Co., JSM-7000F)을, 입도 분석에는 레이저 회절 입도분석기(Sympatec GmbH Co., HELOS/RODOS)를 사용하였다.

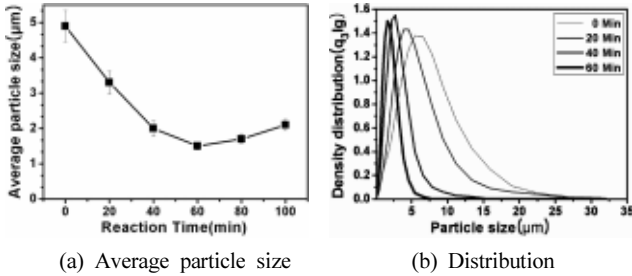


Figure 2. Particle size analysis of ATO; (a) average particle size and (b) distribution.

2.3.3. 제타전위 측정

분쇄된 ATO의 제타전위는 제타전위측정기(Otasuka Electronics Co., ELS-8000)로 측정하였다. 제타전위 측정 시에는 분쇄시간을 다르게 하여 제조된 각각의 ATO 분산액의 pH를 2, 4, 6, 8, 10으로 조절하여 측정하였다. 실험의 신뢰성을 높이기 위해서 같은 조건에서 처리된 시료를 3회 반복 제조하고, 측정 오차를 줄이기 위하여, 각 시료당 3회씩 측정을 실시하고, 각 평균값 측정결과로 하였다.

2.3.4. ATO 분산액의 분산안정성 평가

ATO 분산액의 분산안정성 평가를 위하여 다중광산란(multiple light scattering)법을 이용한 입도분산성측정기(Formulation, L'Union, Turbiscan)를 사용하였다. 터비스칸(turbiscan)은 다중광산란법을 통해서 적외선(880 nm)을 바닥 층에서부터 0.04 mm씩 올라가면서 각 층마다 투과율의 변화를 측정할 수 있으며[17], 본 실험에서는 높이가 100 mm, 용량이 20 mL인 측정 장비 내 원통형 유리관에 분산액을 70 mm 높이까지 채우고, 상온(25 °C)에서 60 min 동안 5 min에 1회씩 12회를 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 분쇄시간에 따른 ATO 입자의 크기 및 입도분포 변화

레이저회절 입도분석기를 이용하여 분석한 분쇄 시간에 따른 ATO 입자크기 및 입도분포의 변화를 Figure 2에 나타내었다. Figure 2(a)에서 알 수 있듯이, 평균입경이 약 5 μm였던 원료 ATO 입자 크기는 분쇄 시간이 길어질수록 감소하여, 60 min 처리 후에는 약 1.5 μm까지 감소하여 초기 입자경보다 30% 이하로 줄어든 입자를 얻을 수 있었다. 그리고 입도분포는 ATO 입자의 습식 볼밀 분쇄 시간이 증가할수록 균일해지는 현상이 나타났다(Figure 2(b)). 그러나 처리시간이 증가할수록 시간대미 입자크기 감소효과는 떨어지고, 80 min 이상의 시간 동안 습식 볼밀 처리를 하면 ATO 입자의 크기가 오히려 증가하는 현상이 나타났다. 이러한 현상은 시간이 경과 할수록 일정한 분쇄 시간이 경과하면 더 이상 분쇄가 진행되지 않고 오히려 분쇄된 입자들이 재응집 되는 것으로 여겨진다. 이것은 분쇄 에너지량에 따라 비례하게 크기가 작아지지 않고 한계 입자경이 발생한다는 Tanaka의 분쇄 한계선 이론이 적용되는 것으로 여겨진다[18]. 따라서, 본 연구에서는 80 min 이상 처리된 샘플의 분석은 무의미하다고 판단되어, 이후의 모든 분석은 분쇄시간을 60 min까지 한 샘플들로만 한정하였다.

3.2. ATO 입자의 분쇄형상

분쇄시간에 따른 ATO 입자의 형상을 주사전자현미경으로 관찰한 결과를 Figure 3에 나타내었다. 레이저회절 입도분석기를 통하여 얻어

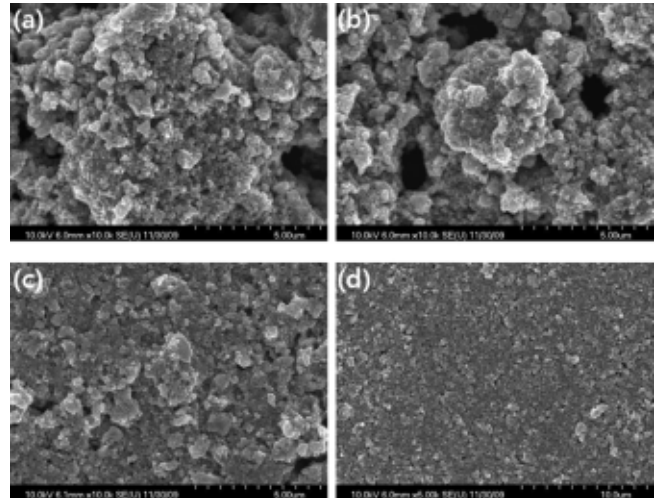


Figure 3. SEM of the sample; (a) BM0-ATO, (b) BM20-ATO, (c) BM40-ATO and (d) BM60-ATO.

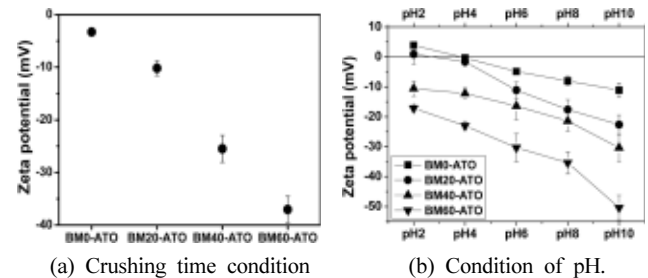


Figure 4. Zeta potential of ATO according to the (a) treatment time, and (b) pH.

진 결과와 같이 처리 전 ATO는 평균 50 nm 크기의 나노 입자들로 이루어진 약 5 μm의 클러스터 형태를 보여주고 있다. 그러나, 20 min 분쇄 후 약 3~4 μm, 40 min 분쇄 후 약 1~2 μm, 60 min 분쇄 후 0.5~1 μm로 분쇄시간의 증가에 따라 클러스터의 크기가 분쇄되어 작아지는 것을 확인할 수 있었다. 따라서, 레이저회절 입도분석기를 통해서 나타난 습식 볼밀 처리 시간에 따른 ATO 입자 크기 감소현상은 ATO 나노 입자들의 응집으로 형성된 클러스터가 분쇄되어 나타나는 것임을 알 수 있었다. 또한 분쇄시간을 증가시켜도 ATO 클러스터 입자를 완전히 분쇄하여 나노 입자로 분쇄하지는 못하고 단지 그 클러스터의 크기만 작게 만드는 현상이 일어난 것으로 판단된다. 이로 인한 입자크기의 감소는 무기물로서의 코팅시 표면 평활도 및 반응입자의 기능성 부여에 도움을 줄 것으로 기대된다.

3.3. 분쇄 시간 및 pH 조건에 따른 ATO 분산액의 제타전위

분쇄시간 및 pH에 따른 ATO 수계 분산액의 제타전위 변화 측정 결과를 Figure 4에 나타내었다. Figure 4(a)에서 알 수 있듯이, 증류수에 분산된 ATO 입자의 제타전위는 분쇄시간이 증가함에 따라 분쇄 전 -3.3 mV에서 60 min 분쇄 후에는 -37.2 mV까지 크게 증가하였다. 일반적으로 Table 2에 나타낸 바와 같이 제타전위 절대값이 30 mV 이상이면 안정한 분산성을 가지는 것으로 평가한다[19]. 본 실험에서 이러한 제타전위의 변화는 분쇄시간이 60 min이 되면 평균 입자크기가 약 1.5 μm의 콜로이드성 미세입자를 형성되어 ATO 분산액이 분산성이 나쁜 현탁액에서 좋은 콜로이드 용액으로 변화되어 나타나는 현

Table 2. Zeta Potential Distribution Based on Stability[19]

Zeta potential (mV)	Stability characteristic
from 0 to ± 5	rapid coagulation or flocculation
from ± 10 to ± 30	incipient instability
from ± 30 to ± 40	moderate stability
from ± 40 to ± 60	good stability
more than ± 61	excellent stability

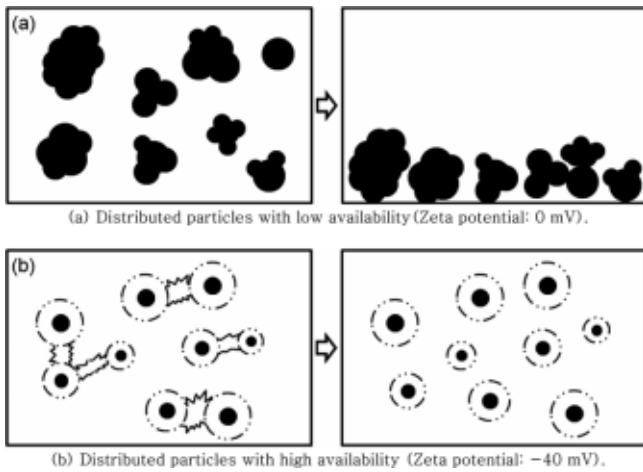
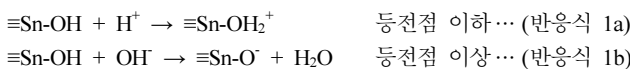


Figure 5. Impact of zeta potential on aggregation and dispersion of particles.

상으로 여겨진다. 그리고 분쇄 시간이 증가할수록 제타전위 절대값이 증가하였는데, 이는 ATO 입자의 특성에 따라 한계 분쇄시간에서 입경 크기가 감소되어 초기에는 에멀전 타입의 현탁액에서 분쇄시간이 증가함에 따라서 발생하는 미립화 효과로 콜로이드 성질을 갖는 용액으로 변화되는 것으로 판단된다[20].

또한, pH에 따른 각각의 입자에 대한 제타전위 측정 결과를 나타낸 Figure 4(b)에서와 같이 모든 시료에 대해서 ATO 분산액의 pH가 증가함에 따라 제타전위 절대값이 증가하는 현상이 나타났다. 특히, 60 min 간 분쇄된 ATO 분산액은 pH가 증가할수록, 제타전위 값이 급격히 증가하여, 원료 ATO의 -3.3 mV와 비교하면 pH 10일 때 -50.4 mV로 약 15배 정도 크게 증가하였다. 환원 pH에 따른 제타전위 측정 결과로부터 BM0-ATO분산액의 등전점(isoelectric point)은 pH 3.7에서 나타났고, BM20-ATO 분산액의 경우에는 pH 2.4에서 나타나는 것을 알 수 있었다. 이렇게 등전점이 낮아지는 현상은 ATO 분산액의 입경이 감소함에 따라 입자의 표면적이 증가하여 ATO 입자 표면에 노출된 작용기(≡Sn-OH)의 수가 증가하여 나타나는 현상으로 판단된다. Xiao Chuan은 등전점 전후에서 ATO 표면 작용기의 이온화 반응에 대한 반응식을 다음과 같이 나타내었다[21].



상기 기술한 것처럼 ATO의 등전점이 낮은 pH에서 존재할수록 등전점 이상에서는 이온화도가 증가하는 것으로 나타났다. 또한, 용액의 pH가 증가함에 따라 ATO 입자의 표면 이온화도가 증가하므로 인해 입자를 중심으로 형성된 전단층의 전하와 제타전위의 절대값 또한 커져서 ATO 입자의 물 분산성이 향상된 것으로 여겨진다.



Figure 6. Sedimentation of the treated ATO solutions after 1 h; (a) BM0-ATO, (b) BM20-ATO, (c) BM40-ATO, and (d) BM60-ATO.

상기 실험에서 나타난 이러한 현상을 제타전위에 따른 입자의 응집 및 분산거동으로 Figure 5에 표현하였다. Figure 5의 (a)처럼 입자 크기가 크고 입자간의 제타전위가 낮으면 브라운 운동으로 인하여 충돌하고 뭉쳐서 불안정한 상태가 되는 반면, (b)처럼 입자 크기가 작고, 표면 전위가 높으면 입자들간의 반발력으로 인해 입자들이 안정하게 분산되는 현상을 유지하는 것으로 여겨진다[22]. 따라서 원료 ATO를 60 min 동안 분쇄과정을 거친 ATO 입자는 안정한 수계 분산액을 얻을 수 있는 것으로 판단된다.

3.4. 다중광산란법을 이용한 ATO 입자의 분산 안정성 평가

일정시간 동안 입자의 침전 및 분산 정도를 알아보기 위하여 분석용 셀을 이용하였고 그 결과를 Figure 6에 나타내었다. 분석용 셀 내의 시료들은 분산 안정성에 따라 응집현상에 의해 분산상인 입자의 크기가 증가하거나 부유나 침강과 같은 분산상의 이동으로 시료의 상층과 하층의 국부적인 농도변화가 생겨 빛의 투과량(%)이 변하게 된다. 이러한 현상을 다중광산란법을 이용하여 ATO의 분산 안정성을 평가하였다. 다중광산란법은 분산상태 차이에 따라서 투과(transmission)된 빛의 투과량(%)을 측정하는 것으로 X축은 시료의 높이 Y축은 투과량(%)를 나타내며, 매시간마다 스캔 후 시료 전체 높이에 대하여 투과량(%)의 결과를 도출시키는 것이다[23]. 시료는 모두 10 wt%의 ATO로 하여 1 h 동안 분산 유지 시켰다. Figure 7의 (a)~(d)에서 분쇄시간이 증가함에 따라서 입자의 침전이 현상이 감소되는데, 이는 평균 입경이 5 μm인 ATO가 분쇄에 의하여 1.5 μm로 감소되어 콜로이드 특성이 향상되는 효과에 의해서 나타나는 것으로 여겨진다. Figure 7(a)는 검정시료로 사용한 증류수의 투과량(%) 변화를 나타낸 결과이며, 시료 높이 10 mm에서 70 mm까지는 투과량(%) 변화 없는 것으로 보아 매우 안정된 상태가 유지되는 것으로 판단된다. Figure 7(b)~(e)의 그

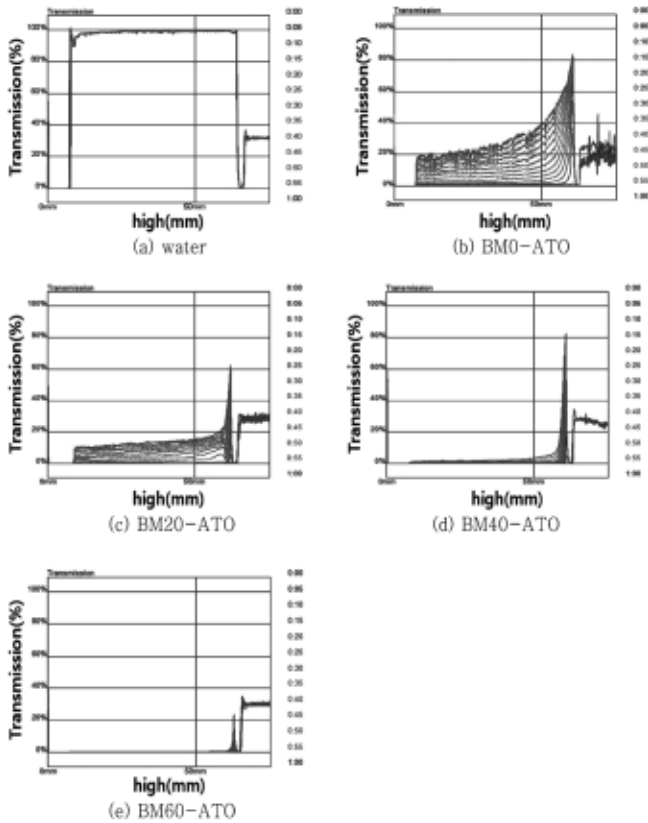


Figure 7. Turbiscan results of the ATO solutions with various treatment time; (a) water, (b) BM0-ATO, (c) BM20-ATO, (d) BM40-ATO, and (e) BM60-ATO.

래프에서 보여지는 바와 같이 분쇄시간에 따른 시료 높이 10~70 mm 사이에서의 투과량(%) 변화가 감소되는 것으로 나타났다. 이것은 제타전위 측정 결과에서 기술한 바와 같이, 원료 ATO를 습식 분쇄하여 콜로이드성 미세 입자가 형성됨에 따라 ATO 입자들 간의 표면 이온화도 증가로 인한 반발력의 영향으로 분산안정성이 향상된 것으로 여겨진다.

Figure 8은 BM60-ATO 분산액의 pH에 따른 분산안정성 변화를 나타내었다. Figure 8에서 pH가 증가함에 따라 투과량(%)의 변화가 감소되는 현상 나타났으며, pH 10에서는 투과량(%) 변화율이 거의 0%에 가까워 우수한 분산안정성을 가지는 ATO 분산액이 얻어진 것으로 여겨진다. 상기 결과를 앞 절에서 설명 하였듯이 제타전위 값은 -50.4 mV로 우수한 분산 특성을 가지는 것으로 평가되었던 것과 일치하였다. 따라서 ATO의 분쇄시간이 증가할수록, 분산액의 pH가 높아질수록, ATO 입자의 표면 전위가 커지게 되어 ATO의 물에 대한 분산안정성이 좋아지는 것으로 판단된다.

4. 결 론

ATO 원료 분말의 입도감소, 입도 균일화, 분산성을 향상시키기 위하여 습식 분쇄 장치를 사용하여 다음과 같은 결론을 얻었다. 습식 분쇄 시에는 평균입자의 크기는 분쇄 초기에 크게 감소하다가 60 min 이상으로 처리 하였을 경우에는 입자 크기가 줄어들지 않고 증가하는 현상이 나타났다. ATO는 습식 분쇄 처리 시간에 따라서 입경이 30%로 감소하고, 처리 시간이 증가함에 따라 입도분포가 1~35 μm에

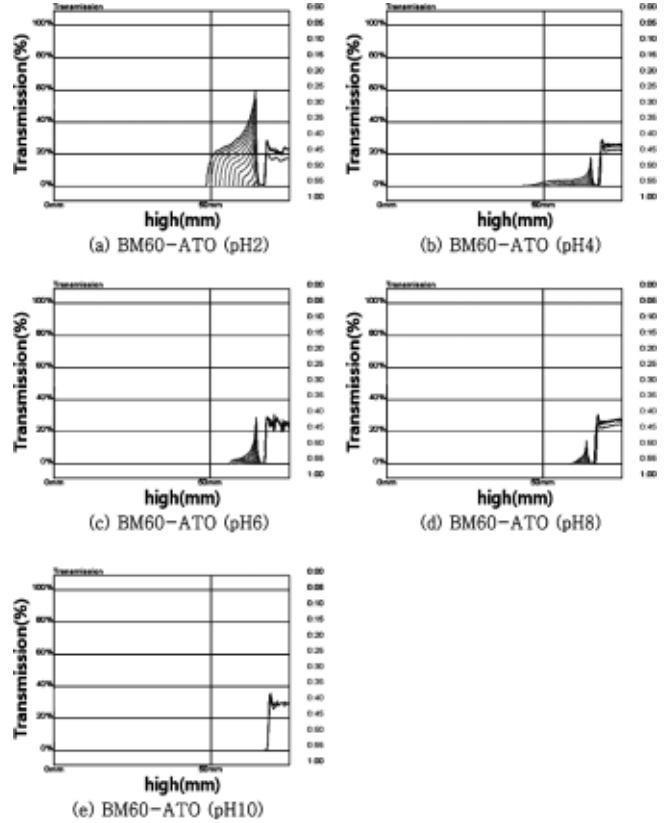


Figure 8. Turbiscan results of the ATO solutions with various pH; (a) BM60-ATO (pH2), (b) BM60-ATO (pH4), (c) BM60-ATO (pH6), (d) BM60-ATO (pH8), and (e) BM60-ATO (pH10).

서 0.1~5 μm로 균일해지는 것을 알 수 있었다. ATO 입자의 제타전위를 측정한 결과, 분쇄 분쇄 시간의 증가함에 따라서 입자 크기가 감소되어 입자의 표면 에너지가 증가되고, 입자간의 반발력이 발생하여 분산성이 향상되는 효과로 제타전위가 증가하는 결과를 얻었다. 또한 용액의 pH 변화에 따른 제타전위 측정 결과, pH가 증가함에 따라 제타전위가 (-)로 증가하여 분산성이 향상되는 것을 알 수 있었다. pH 10에서 BM60-ATO의 제타전위는 -50.4 mV로 가장 우수하였고, 다중광산란법을 이용한 평가에서도 분산안정성이 우수함을 확인하였다.

감 사

본 연구는 09년 중소기업청 기술혁신 과제 연구비(제2008-171호, S1058145)에 지원에 의해 수행된 것의 일부로서 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. L. P. Ning, L. Q. Jian, S. R. Yang, J. Q. Wang, J. F. Ren, and J. M. Wang, *Tribol. Int.*, **43**, 568 (2010).
2. J. Paasi, S. Nurmi, R. Vuorinen, S. Strengell, and P. Maijala, *J. Electrostr.*, **51**, 429 (2001).
3. M. Narkis, G. Lidor, A. Vaxman, and L. Zuri, *J. Electrostr.*, **47**, 201 (1999).
4. Y. H. Zheng, Z. A. Shen, C. J. Cai, S. L. Ma, and Y. H. Xing, *J. Hazard. Mater.*, **163**, 600 (2009).

5. Y. H. Kim, Y. S. Kim, and J. B. Gi, *J. Ind. Eng. Chem.*, **10**, 739 (2004).
6. W. C. Song, *J. KIEEME*, **17**, 1277 (2004).
7. M. S. Kim, E. H. Min, and J. G. Koh, *J. Kor. Magn. Soc.*, **18**, 120 (2008).
8. J. Sun, W. W. Gerberich and F. Francis, *J. Polym. Sci.*, **B41**, 1744 (2003).
9. J. Texter and M. Leleental, *Langmuir*, **15**, 654 (1999).
10. K. L. Chopra, S. Major, and D. K. Pandya, *Thin Solid Films*, **102**, 1 (1983).
11. C. N. Ma, Y. L. Chang, W. C. Ye, L. Y. Duan, and C. M. Wang, *J. Supercrit. Fluid.*, **45**, 112 (2008).
12. J. S. Kim, T. S. Byun, J. N. Kim, and J. Choi, *Theor. Appl. Chem. Eng.*, **8**, 5110 (2002).
13. J. H. Park, J. Kim, S. H. Cho, K. H. Han, C. K. Yi, and G. T. Jin, *J. Chem. Eng.*, **16**, 659 (1999).
14. Y. S. Lee and J. M. Lee, *J. Kor. Soc. Indust. Appl.*, **10**, 263 (2007).
15. P. Gregory, *High-Technology Applications of Organic Colorants*, Plenum Press, 759, New York (1991).
16. K. Y. Cho, J. H. Yim, J. K. Park, and K. S. Lee, *Kor. Polym. J.*, **32**, 246 (2008).
17. O. Mengual, G. Meunier, I. Cayré, K. Puech, and P. Snabre, *Talanta*, **50**, 445 (1999).
18. H. K. Choi and W. S. Choi, *Kor. J. Chem. Eng.*, **40**, 498 (2002).
19. ASTM Standard D 4187-82, Zeta potential of colloids in water and waste water, American Society for Testing and Materials (1985).
20. E. J. Bae, J. J. Lee, Y. H. Kim, K. H. Choi, and J. H. Yi, *J. Kor. Soc. Environ. Anal.*, **12**, 59 (2009).
21. X. C. Chen, *J. Sol-Gel Sci. Technol.*, **34**, 268 (2005).
22. F. Strubbe, F. Beunis, and K. Neyts, *J. Colloid Interf. Sci.*, **301**, 306 (2006).
23. C. Celia, E. Trapasso, D. Cosco, D. Paolino, and M. Fresta, *Colloid Surface.*, **72**, 155 (2009).