분무열분해 공정에 의한 주석산화물 나노분체 제조에 미치공기압력의 영향

유재근[†] · 김동희*

호서대학교 신소재공학과, *단국대학교 의과대학

Effects of Air Pressure on the Fabrication of Nano-Sized Tin Oxide Powder by Spray Pyrolysis Process

Jaekyun Yu[†] and Donghee Kim*

Department of Advanced Materials Engineering, Hoseo University, Asan 336-795, Korea

*Department of Anesthesiology, Dankook University, Cheonan 330-714, Korea

(2011년 10월 12일 접수 : 2011년 11월 16일 최종수정 : 2011년 11월 18일 채택)

Abstract In this study, nano-sized tin oxide powder with an average particle size of below 50 nm is prepared by the spray pyrolysis process. The influence of air pressure on the properties of the generated powder is examined. Along with the rise of air pressure from 0.1 kg/cm² to 3 kg/cm², the average size of the droplet-shaped particles decreases, while the particle size distribution becomes more regular. When the air pressure increases from 0.1 kg/cm² to 1 kg/cm², the average size of the droplet-shaped particles, which is around 30-50 nm, shows hardly any change. When the air pressure increases up to 3 kg/cm², the average size of the droplet-shaped particles decreases to 30 nm. For the independent generated particles, when the air pressure is at 0.1 kg/cm², the average particle size is approximately 100 nm; when the air pressure increases up to 0.5 kg/cm², the average particle size becomes more than 100 nm, and the surface structure becomes more compact; when the air pressure increases up to 1 kg/cm², the surface structure is almost the same as in the case of 0.5 kg/cm², and the average particle size is around 80-100 nm; when the air pressure increases up to 3 kg/cm², the surface structure becomes incompact compared to the cases of other air pressures, and the average particle size is around 80-100 nm. Along with the rise of air pressure from 0.1 kg/cm² to 0.5 kg/cm², the XRD peak intensity slightly decreases, and the specific surface area increases. When the air pressure increases up to 1 kg/cm² and 3 kg/cm², the XRD peak intensity increases, while the specific surface area also increases.

Key words nano-sized tin oxide powder, average particle size, spray pyrolysis, air pressure.

1. 서 론

일반적으로 고품위 기능성 분말을 제조하기 위해서는 구성 성분들을 용액 상태에서 균일하게 혼합하여 복합 산 용액을 제조한 다음 고온 반응로에서 고상화시키는 분무 열분해법¹⁻⁷⁾이 효과가 큰 것으로 알려져 있다. 이 방법은 금속산화물 용액을 특수 노즐을 이용하여 반응로 내부로 미립화된 상태로 분무시킴으로써 고온에서 순간적으로 반응이 완료되는 현상을 이용하여 직접적으로 금속 산화물을 제조하는 방법이다. 이 방법은 고상 분말들의 혼합과 하소에 의한 반응 및 이의 분쇄를 통한 분말 제조의 과정들을 생략시킬 수 있을 뿐 아니라 열분해 조건들에 의하여 입자 특성의 제어가 가능하고 불순물 혼입의 가능성이 적다는 공정상의 장점을 가지고 있다. 또한 고상

상태 보다는 용액 상태에서의 불순물 제거가 훨씬 용이하므로 고순도 원료분말을 제조하는데 적합한 공정 방법이다. 국내의 경우 분무열분해법에 의한 금속산화물 분말 제조는 포항제철 등에서 열연강판의 표면을 염산으로 산세 처리하는 과정에서 발생하는 폐산을 원료용액으로 사용하여 산화철(Fe₂O₃)을 제조하는 공정에만 응용되고 있으며 이들 분야를 제외하고는 다른 분야의 단일 산화물 분말 및 복합 산화물 분말제조에는 전혀 적용되고 있지 못한 상황이다. 반면 일본의 Scimarec, 독일의 Merck 및 미국의 SSC 등에서는 분무열분해법에 의하여 제조된 고품위 ceramic 분말들을 판매하고 있다. 또한 최근에는 분무열분해법에 의한 초미립의 금속산화물 분말의 제조에 관한 연구가 더욱 활발하게 이루어지고 있으며 응용 범위도 급속하게 확대되고 있는 상황이다. 한편 정보통신 분야의 급속한 발전으로 인하여 액정표시소자(LCD), 전계 발광 표시소자 및 전자발광 표시 소자(FED) 등의 평판표시소자(Flat Panel Display)들이 개발되었으며 이들

[†]Corresponding author
E-Mail : jkyou@hoseo.edu (J. Yu)

의 실용화가 TV, 휴대전화 및 사무기기 등의 다양한 영역으로 빠르게 진행되고 있다. 이들 평판 표시소자에는 가시광선 영역에서의 높은 투과도와 우수한 전도성을 가지면서 전자파 차폐기능이 우수한 투명 전극이 필수적으로 사용되고 있는데 주로 ITO (Indium Tin Oxide) 타겟으로부터 스퍼터링법으로 제조한 ITO 박막이 활용되고 있다. 이에 따라 ITO 박막 제조공정 및 투명전극으로서의 특성 향상을 위한 연구⁸⁻¹⁰⁾가 활발하게 진행되고 있다. 그러나 ITO를 구성하고 있는 평균입도가 50 nm 이하이면서 입도분포가 균일한 인듐 산화물¹¹⁾ 및 주석 산화물 분말의 대량제조 공정에 관련된 연구는 미미한 실정이다. 특히 주석 산화물의 나노 분말 제조에 관한 연구는 공정상의 어려움으로 인하여 거의 전무한 실정이다.

본 연구에서는 주석 염화물 용액을 원료로 하여 자체 기술에 의하여 제작한 분무열분해 반응장치를 이용하여 입도분포가 균일하고 평균입도가 50 nm 이하인 나노 주석 산화물 분말을 제조하였다. 또한 분위기 기체로 사용된 공기의 압력 변화에 따른 주석 산화물 분말의 특성을 파악하였다.

2. 실험 방법

본 연구에서는 평균입도 50 nm 이하의 주석 산화물 분체를 분무열분해 공정에 의하여 제조하기 위한 원료로 주석 성분들이 4가 이온 형태로 존재하는 주석 염화물 용액을 사용하였다. 우선 25% HCl 용액에 순도 99.9% 이상의 주석 분말을 용해시킴에 의하여 주석 성분의 농

도를 약 400 g/L로 조절하였다. 이 용액은 대부분의 주석 성분들이 2가 이온 형태로 존재하기 때문에 식 7)에 나타낸 바와 같이 열분해 반응에 의하여 고상의 주석 산화물을 형성시키기가 불가능하게 된다. 이에 따라 본 연구에서는 제조된 용액 내에 적정량의 과산화수소(H_2O_2) 성분을 첨가함으로써 용액 내에 2가 이온으로 존재하는 주석 성분들을 모두 4가 이온 상태로 산화시켰다. 주석 성분들이 4가 이온 형태로 존재하는 경우에는 식 14)에 나타낸 바와 같이 열분해 반응에 의하여 고상의 주석 산화물을 형성 시키기가 이론적으로 가능하게 됨을 알 수 있었다. 제조된 용액은 100°C 정도로 가열시킴에 의하여 용액 내의 주석 성분의 농도를 정밀하게 400 g/L로 조절 하였을 뿐 아니라 용액 내에 잔류하는 과산화수소 성분들을 제거하였다. 이 용액을 여과지로 3회 여과시킨 후 분무열분해 반응을 위한 최종 원료 용액으로 사용 하였다. 사용된 원료 용액 내에는 SiO_2 , P, Ca, Cr 및 Cu 성분들이 100 ppm 이하로 존재하고 있었다. 제조된 원료용액의 농도는 원료용액 내의 주석 성분의 농도가 150 g/L가 되도록 조절하였다.

본 연구에서는 주석 염화물 용액을 원료로 하여 분무열분해 공정에 의하여 입자형상 및 입도분포 등의 특성이 균일하며 평균입도가 50 nm 이하인 주석 산화물 나노 분말을 형성시키기 위하여 분무열분해 장치를 직접 설계 및 제작하였다. 즉 원료 용액을 미립화시킨 후 반응로 내로 분무시킬 수 있으며, 반응로 내부는 균일한 열분포를 이루어 열분해 반응이 완전하게 진행될 뿐 아니라, 생성된 분말을 bag filter 포집장치에서 효율적으로

Fig. 1. Schematic diagram of spray pyrolysis system.

포집할 수 있으며, 유해 생성가스를 청정시킬 수 있는 scrubber 장치까지 포함하는 분무열분해로 system을 제작하였으며 이를 Fig. 1에 나타내었다. 용액의 미립화 장치는 tip의 내경이 2 mm인 titanium 재질의 노즐을 사용하였다.

본 연구에서는 원료 용액을 노즐을 통하여 900°C로 유지되는 4단 반응로 내부로 미립화된 액적형태로 분무시킴으로써 분체 포집장치에서 평균입도가 50 nm 이하인 주석 산화물 분말을 제조하였다. 원료 용액을 정량 화학펌프를 통하여 20 ml/min의 유속으로 nozzle의 한쪽 입구를 통하여 공급하고, air compressor로부터 압축된 공기를 0.1~3 kg/cm²의 압력으로 nozzle의 다른 쪽 입구로 투입하여 용액을 미립화시킴으로써 분위기 기체인 공기의 압력 변화에 따른 생성 분말의 특성 변화를 파악하였다. 생성된 분말들의 특성 변화는 SEM (Quanta 200, FEI Ltd.), XRD (Max-2500V, Rigaku Ltd.) 및 비표면적 측정(ASAP 2020, micromeritics Ltd.)을 통하여 파악하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 열분해 반응에 대한 열역학적 고찰

원료 용액 내에 주석 성분들이 2가 이온 형태로 존재하는 경우 고상의 주석 산화물을 형성시키기 위한 열역학적 열분해 반응식은 다음의 과정들에 의하여 나타낼 수 있다.¹²⁾

식 (3)에서 식 (1)을 빼면 다음의 관계식을 얻을 수 있다.

식 (5)와 식 (2)의 결과로부터 열역학적 반응식 (6)을 나타낼 수 있다.

따라서 식 (4)와 식 (6)을 합하면 주석 성분들이 2가 이온 형태로 존재하는 경우에 대한 열역학적 반응식을 다음의 식 (7)에 나타낼 수 있다.

식 (7)에 대한 반응온도 800°C 및 1000°C에서의 표준 자유에너지 변화 값은 각각 25,721 J 및 19,662 J로서 모두 양의 값을 가지게 된다. 따라서 주석 성분들이 2가 이온 형태로 존재하는 경우에는 열분해 반응에 의하여 고상의 주석 산화물을 형성시키기는 불가능함을 확인할 수 있었다.

한편 원료 용액 내에 주석 성분들이 4가 이온 형태로 존재하는 경우 고상의 주석 산화물을 형성시키기 위한 열역학적 열분해 반응식은 다음의 과정들에 의하여 나타낼 수 있다.

식 (10)에서 식 (8)을 빼면 다음의 관계식을 얻을 수 있다.

식 (12)와 식 (9)의 결과로부터 열역학적 반응식 (13)을 나타낼 수 있다.

따라서 식 (13)과 식 (11)의 결과로부터 주석 성분들이 4가 이온 형태로 존재하는 경우에 대한 열역학적 반응식을 다음의 식 (14)에 나타낼 수 있다.

식 (14)에 대한 반응온도 800°C 및 1000°C에서의 표준 자유에너지 변화 값은 각각 -31,419 J 및 -46,847 J로서 모두 음의 값을 가지게 된다. 따라서 원료용액 내에 주석 성분들이 4가 이온 형태로 존재하는 경우에는 열분

Fig. 2. SEM photographs of produced powder according to air pressure at 900°C, raw material solution of 150 g/l Sn, 20 ml/min. inflow speed of the solution and 2 mm nozzle tip size. ($\times 30,000$) (a) 0.1 kg/cm², (b) 0.5 kg/cm², (c) 1 kg/cm² and (d) 3 kg/cm².

해 반응에 의하여 고상의 주석 산화물을 형성시키기가 가능함을 확인할 수 있었다.

3.2 생성된 분말의 특성에 미치는 분위기 기체 압력의 영향

Fig. 2는 열분해 반응온도가 900°C, 용액의 농도는 150 g/L, 용액의 유입속도는 20 ml/min., 노즐 tip의 크기는 2 mm로 유지되는 경우에 분위기 기체인 공기의 압력이 0.1 kg/cm²로부터 3 kg/cm²까지 변화함에 따라 나타나는 입자들의 특성 변화를 SEM에 의하여 30,000배로 확대하여 나타낸 결과이다. 또한 Fig. 3은 Fig. 2와 동일한 반응조건 하에서 형성된 분말들의 특성변화를 SEM에 의하여 200,000배로 확대하여 나타낸 결과이다.

공기압력이 0.1 kg/cm²로 매우 작은 경우에는 노즐에 의하여 미립화되는 액적의 크기가 크게 되어 열분해 반응이 진행됨에 따라 액적의 표면과 중심부분 사이에 압력 차가 심해질 뿐 아니라 반응온도도 비교적 높기 때문에 열분해 과정에서 심한 액적분열현상이 나타나게 된다.⁷⁾ 그 결과 Fig. 2의 (a)에 나타난 바와 같이 열분해 반응에 의하여 형성된 분말들은 대부분 초기 미립화된 액

적 형태를 유지하고 있지만 매우 불균일한 입도분포를 나타내고 있었다. 또한 Fig. 3의 (a) 결과로써 Fig. 2의 (a)에서 나타난 액적형태는 대부분 평균입도 30~50 nm 정도의 나노 입자들이 치밀하지 못한 응집된 형태를 나타내고 있었다. 반면 독립된 입자들의 비율은 낮게 나타나고 있었으며 평균입도는 100 nm 정도이며 비교적 치밀하지 못한 표면 상태를 나타내고 있었다. 이 결과들은 노즐에 의하여 미립화된 액적 크기가 큰 경우에는 액적 내의 용매의 증발에 상당한 시간이 소요되기 때문에 액적분열 후에 열분해 반응시간이 감소될 뿐 아니라 열분해 반응 후의 소결시간도 충분하지 못함에 기인하는 것으로 사료된다. 공기압력이 0.5 kg/cm²로 증가된 경우에는 액적 크기는 감소되고 열분해 과정에서의 액적분열도 감소됨으로써 분말들의 입도분포는 상대적으로 균일해지게 된다. Fig. 2의 (b)에 나타난 바와 같이 0.1 kg/cm²의 경우에 비하여 액적형태의 평균입도가 감소하였을 뿐 아니라 입도분포도 훨씬 균일함을 알 수 있었다. 또한 Fig. 3의 (b) 결과로부터 0.1 kg/cm²의 경우에 비하여 독립된 입자들의 비율이 증가하였으며 표면조직이 매우 치밀할 뿐 아니라 평균입도가 100 nm 이상인 다각형 형

Fig. 3. SEM photographs of produced powder according to air pressure at 900°C, raw material solution of 150 g/l Sn, 20 ml/min. inflow speed of the solution and 2 mm nozzle tip size. ($\times 200,000$) (a) 0.1 kg/cm², (b) 0.5 kg/cm², (c) 1 kg/cm² and (d) 3 kg/cm².

태를 나타내고 있었다. 이 결과는 공기압력이 0.5 kg/cm²으로 증가됨에 따라 액적의 크기가 감소됨으로써 액적의 증발에 소요된 시간이 감소되고 소결반응도 더욱 충분히 진행됨에 기인하는 것으로 사료된다. 특히 공기압력이 0.5 kg/cm²인 경우에는 공기압력이 비교적 낮아 초기 액적 크기도 비교적 클 뿐 아니라 액적분열도 0.1 kg/cm²인 경우에 비하여 크게 감소되기 때문에 독립된 입자들의 평균입도가 다른 공기압력의 경우에 비하여 크고 표면조직도 치밀하게 나타나고 있었다. 한편 Fig. 3의 (b)에서 액적 형태들은 대부분 평균입도 30~50 nm 정도의 나노 입자들이 치밀하지 못한 응집된 형태를 나타내고 있었다. 이 결과는 0.1 kg/cm²인 경우에 비하여 소결 시간이 증가되어 일부 독립된 입자들이 성장하고 치밀한 표면조직을 나타내고 있지만 대부분의 입자들을 성장 시키기에는 열분해 반응시간 및 소결시간이 충분하지 못함에 기인하는 것으로 사료된다. 공기압력이 1 kg/cm²로 증가되는 경우에는 액적 크기는 더욱 감소되고 열분해 과정에서의 액적분열도 현저히 감소됨으로써 분말의 입도분포는 상대적으로 더욱 균일해지게 된다. Fig. 2의 (c)에 나타낸 바와 같이 0.5 kg/cm²의 경우에 비하여 액적

형태의 평균입도가 감소하였을 뿐 아니라 입도분포도 더욱 균일함을 알 수 있었다. 그러나 Fig. 3의 (c) 결과로부터 0.5 kg/cm²의 경우에 비하여 독립된 입자들의 비율은 거의 차이가 없었고 표면조직의 치밀함도 현저한 변화는 나타나지 않는 반면 평균입도는 80~100 nm로 다각형 형태를 나타내고 있었다. 액적형태의 평균입도가 감소한 결과는 공기압력이 1 kg/cm²으로 증가됨에 따라 액적의 크기가 더욱 감소된 효과가 주된 인자로 작용한 것으로 사료된다. 반면 0.5 kg/cm²의 경우에 비하여 표면의 조직이 치밀하지 못한 결과는 공기압력의 증가에 따른 액적 크기의 감소에 의하여 액적의 증발에 소요된 시간이 감소되고 열분해 반응시간이 증가되며 소결 반응도 더욱 충분히 진행되는 효과가 나타 나지만 공기압력의 증가에 따른 반응로 내부온도의 감소효과도 복합적으로 작용함에 기인하는 것으로 사료된다. 한편 Fig. 3의 (c)에서 액적형태들은 공기압력 0.1 kg/cm² 및 0.5 kg/cm²의 경우와 마찬가지로 대부분 평균입도 30~50 nm 정도의 나노 입자들이 치밀하지 못한 응집된 형태를 나타내고 있었다. 이 결과는 공기압력이 1 kg/cm²의 경우에서도 대부분의 입자들을 성장시키기에는 열분해 반응시

간 및 소결시간이 충분하지 못함은 물론 공기압력의 증가에 따른 주위 온도의 감소 효과도 복합적으로 작용한 것으로 판단된다. 한편 공기압력이 3 kg/cm^2 로 증가하는 경우에는 Fig. 2의 (d)에서 나타낸 바와 같이 액적형태의 입도분포는 비교적 균일하지만 평균입도는 다른 공기압력의 경우보다 현저히 감소함을 알 수 있었다. 이 결과는 공기압력이 크게 증가됨에 따라 액적 크기는 더욱 감소되며 액적분열 현상도 현저히 감소됨에 기인하는 것으로 판단된다. Fig. 3의 (d) 결과로부터 1 kg/cm^2 의 경우에 비하여 독립된 입자들의 비율은 증가하였지만 표면 조적이 0.1 kg/cm^2 및 0.5 kg/cm^2 의 경우에 비하여 치밀하지 못하고 다각형 형태가 현저히 감소하였을 뿐 아니라 평균입도가 $80\sim 100 \text{ nm}$ 정도를 나타내고 있었다. 이 결과는 공기압력이 3 kg/cm^2 로 크게 증가됨에 따라 액적의 크기가 현저히 감소되고 액적의 증발에 소요된 시간이 감소되며 소결 반응도 더욱 충분히 진행되는 효과가 나타나지만 매우 높은 공기압력에 의한 반응으로 내부 온도의 감소 효과가 더욱 현저하게 작용함에 의하여 나타난 것으로 사료된다.

Fig. 4는 Fig. 2와 동일한 반응조건에서 XRD 분석에 의하여 각각의 공기압력 하에서 생성된 분말들의 상 및 각각의 피크에 해당되는 Miller 지수를 나타낸 결과이다. 공기압력이 가장 낮은 0.1 kg/cm^2 로부터 가장 높은 3 kg/cm^2 까지 공기압력의 변화에 관계없이 SnO_2 상만이 존재하고

Fig. 4. XRD patterns of produced powder according to air pressure at 900°C , raw material solution of 150 g/l Sn , 20 ml/min . inflow speed of the solution and 2 mm nozzle tip size. (a) 0.1 kg/cm^2 , (b) 0.5 kg/cm^2 , (c) 1 kg/cm^2 and (d) 3 kg/cm^2 .

있었으며, 주된 peak들에 해당되는 Miller 지수도 일정하게 유지됨을 알 수 있었다. 공기압력이 0.1 kg/cm^2 로부터 0.5 kg/cm^2 로 증가함에 따라 XRD의 1차, 2차 및 3차 피크들에 해당되는 Miller 지수는 각각 (110), (101) 및 (211)로 동일하게 나타나는 반면 우선 피크 뿐 아니라 2차, 3차 피크들의 강도가 약간 감소함을 알 수 있었다. 이 결과는 공기압력이 증가함에 따라 액적의 입도가 감소되는 효과가 액적의 분열이 감소되는 효과보다 더욱 현저하게 작용하여 Fig. 2의 (a) 및 (b)에서 나타낸 바와 같이 공기 압력이 0.5 kg/cm^2 로 증가됨에 따라 생성된 입자들의 평균입도가 약간 감소함에 기인하는 것으로 사료된다. 공기압력이 1 kg/cm^2 로 증가되는 경우에는 1차, 2차 및 3차 피크들에 해당되는 Miller 지수가 (110), (101) 및 (211)로 나타나고 있었으며 공기압력 0.5 kg/cm^2 의 경우에 비하여 XRD 피크가 다시 약간 증가하였다. 이 결과는 공기압력 증가에 따른 액적 입도의 감소 효과보다는 액적분열의 감소 효과가 약간 우세하게 작용하였을 뿐 아니라 공기압력 증가에 따라 더욱 충분한 양의 산소가 공급되어 입자들의 결정성이 증가하여 나타난 현상으로 사료된다. 한편 공기압력이 3 kg/cm^2 로 증가되는 경우에는 1차, 2차 및 3차 피크들에 해당되는 Miller 지수가 (101), (110) 및 (211)로 나타나고 있었으며 피크들의 강도가 1 kg/cm^2 의 경우에 비하여 크게 증가하였으며 특히 Miller 지수가 (101)인 우선 피크의 강도는 다른 공기압력의 경우에 비하여 현저하게 증가 하였음을 알 수 있었다. 이 결과는 Fig. 2 및 Fig. 3에서 나타낸 입자들의 평균입도의 영향보다는 분무열분해 과정에서 공기압력의 증가에 따라 더욱 충분한 양의 산소가 공급되어 열분해 과정의 결과 나타나는 주석 산화물 입자들의 결정성이 현저하게 증가하게 되는 사실에 기인하는 것으로 사료된다.

Fig. 5는 공기압력의 변화에 따른 생성된 분말들의 비표면적의 변화를 나타낸 결과이다. 공기압력이 0.1 kg/cm^2 로부터 0.5 kg/cm^2 로 증가함에 따라 비표면적은 약간 증가함을 알 수 있었다. 이 결과는 Fig. 2 및 Fig. 3에서 나타낸 바와 마찬가지로 공기압력이 증가함에 따라 액적들의 입도가 감소하게 되는 효과가 액적의 분열이 감소되는 효과보다 약간 우세하게 작용하여 나타나게 된 현상으로 사료된다. 한편 공기압력이 1 kg/cm^2 로 증가하는 경우에는 0.5 kg/cm^2 의 경우에 비하여 비표면적이 약간 증가하고 있음을 알 수 있었다. 이 결과도 공기압력의 증가에 따른 액적의 입도가 감소되는 효과가 액적의 분열이 감소되는 효과보다 더욱 현저하게 작용하여 나타난 것으로 사료된다. 공기압력이 3 kg/cm^2 로 증가하는 경우에는 비표면적이 1 kg/cm^2 의 경우에 비하여 현저히 증가하였으며 0.1 kg/cm^2 의 경우에 비하여서는 2배 이상의

Fig. 5. Specific surface areas of produced powder according to air pressure at 900°C, raw material solution of 150 g/l Sn, 20 ml/min. inflow speed of the solution and 2 mm nozzle tip size.

값을 나타내고 있었다. 이 결과는 공기압력이 3 kg/cm²로 크게 증가함에 따라 액적크기가 현저히 감소되며 반응로 내부 주위의 온도도 크게 감소되는 효과들이 복합적으로 작용하여 충분한 양의 산소공급에 의하여 입자들의 결정성이 크게 증가되었음에도 불구하고 비표면적이 크게 증가된 것으로 사료된다.

4. 결 론

본 연구에서는 주석 염화물 용액을 원료로 하여 분무 열분해 반응에 의하여 평균입도 50 nm 이하의 주석 산화물 분말을 제조하였으며 공기압력의 변화에 따른 입자들의 특성 변화를 파악하였다.

공기압력이 0.1 kg/cm²로부터 1 kg/cm²로 증가함에 따라

액적 형태를 나타내는 입자들의 평균입도는 30~50 nm로 거의 변하지 않았지만 3 kg/cm²인 경우 에는 약 30 nm 정도로 감소하였다. 반면 독립된 형태를 나타내는 입자들은 공기압력이 0.1 kg/cm²인 경우 평균입도는 약 100 nm이었으며 0.5 kg/cm²로 증가 함에 따라 표면조각이 더욱 치밀하였으며 평균입도는 100 nm 이상으로 증가 하였다. 공기압력이 3 kg/cm²로 증가하는 경우에는 다른 공기압력의 경우에 비하여 표면조각이 치밀하지 못하였으며 평균입도는 80~100 nm 정도를 나타내고 있었다. 공기압력이 0.1 kg/cm²로부터 0.5 kg/cm²로 증가함에 따라 XRD 피크들의 강도가 약간 감소하였으며 비표면적은 증가하였다. 공기압력이 1 kg/cm² 및 3 kg/cm²로 증가되는 경우에는 XRD 피크들의 강도는 증가하는 반면 비표면적은 증가하였다.

참 고 문 헌

1. J. K. Yu and D. H. Kim, Kor. J. Mater. Res., **21**(7), 396 (2011).
2. J. K. Yu, S. G. Kang, K. C. Jung, J. S. Han and D. H. Kim, Mater. Trans., **48**, 249 (2007).
3. J. K. Yu, G. H. Kim, T. S. Kim and J. Y. Kim, Mater. Trans., **46**, 1695 (2005).
4. M. A. A. Elmasry, A. Gaber and E. M. H. Khater, Powder Tech., **90**, 165 (1997).
5. D. Majumdar, T. A. Shefelbine, T. T. Kodas and H. D. Glicksman, J. Mater. Res., **11**, 2861 (1996).
6. T. C. Pluym, T. T. Kodas, L. -M. Wang and H. D. Glicksman, J. Mater. Res., **10**, 1661 (1995).
7. G. L. Messing, S. C. Zhang and G. V. Jayanthi, J. Am. Ceram. Soc., **76**, 2707 (1993).
8. A. Antony, M. Nisha, R. Manoj and M. K. Jayaraj, Appl. Surf. Sci., **225**, 294 (2004).
9. L. R. Cruz, C. Legnani, I. G. Matoso, C. L. Ferreira and H. R. Moutinho, Mater. Res. Bull., **39**, 993 (2004).
10. Y. Hu, X. Diao, C. Wang, W. Hao and T. Wang, Vacuum, **75**, 183 (2004).
11. J. K. Yu, S. Kang, J. Kim, J. Kim, J. Han, J. Yoo, S. Lee and Z. Ahn, Mater. Trans., **47**, 1838 (2006).
12. I. Barin, Thermochemical Data of Pure Substances, p. 1392-1404, VCH, Germany (1989).