

내추럴 켈쯔와 화산암재 스크리아의 기능성 마그네타이징 처리

소대화* · 소현준** · 배두안*** · 김정희****

Functional Magnetizing Treatment of Natural Quartz and Volcanic Lava Scoria

Dea Wha Soh* · Hyun Jun Soh** · Du Ahn Bae*** · Jung Hoi Kim****

요약: 비자성이며 비전도성의 물리적 성질을 갖는 자연산 켈쯔(quartz)와 제주도 삼방산 근처에서 채취한 화산 용암석 스크리아를 대상으로 자성화(magnetization) 처리를 하여 특성을 분석하였다. 마그네타이징(magnetizing) 처리를 위하여 강력한 기계화학적 분쇄 반응을 시켰으며, 분쇄 반응시 알코올계의 솔벤트를 반응용매로 사용하였다. 켈쯔와 스크리아의 마그네타이징 처리에서 비중이 작은 스크리아와 비교적 비중이 큰 켈쯔의 경우에서도 분쇄반응 후 분말이 수면 위에 떠있는 부유특성이 있음을 확인하였고, 친유성(oleophilic)으로 기름에 대한 흡착성이 우수함을 확인하였다.

실험과정에서 자연산 켈쯔와 함께 스크리아를 바탕물질로 기계-화학적 반응(MCR) 기술로 고 분산성 흡착 반응에 의한 고분자 물질을 생성, 유도하여 켈쯔-나노복합체(quartz nanocomposite)를 제조하였다. 부착성 융합복합물질의 특징으로부터 시그니타마그네틱스(Segnetomagnetism)로 분류되는 합성분말은 특히 유류성분에 대하여 높은 흡착성을 가지며, 강한 자기적 성질을 띄는 10~50 nm 두께의 하나 또는 그 이상의 이질적 융합화합물 층이 석영이나 수정체의 표면에 형성되어 특유의 자기적, 전기적 성질을 나타냄이 확인되었다. 따라서 켈쯔에 비하여 제주도를 비롯한 화산지역에 널리 분포되어있는 양질의 저렴한 화산암재 스크리아를 활용하여 자성화 양산체제를 갖춘다면, 최근에 빈발하고 있는 해양 선박사고를 비롯하여 내수면 선박사고 등으로 수면 상에 유출된 회수관람성 저밀도 유류물질을 연속적으로 흡착, 제거할 수 있는 흡유성자기유류 회수용 기능성 재료로의 응용개발 가능성과 함께 유용한 산업용 기능성 신소재로의 활용성에서 환경복원용 신기능성 신소재, 국민보건 향상과 건강산업 육성발전을 위한 건강용품 개발 및 목재 등의 식물성 유기재료의 자성화 처리를 위한 응용기술로의 활용가능성면에서도 기대되는 바가 크다.

주요어: 마그네타이징, 자연산 켈쯔, 스크리아, 기계-화학적반응, 자기적 성질

Abstract : The non-magnetic materials with non-conductive showing high structure dispersity were developed on the base of natural quartz and lava-scoria which was collected from Je-ju island in Korea, and treated by mechano-chemical technology those were obtained novel properties of magnetization through the analyzing. Depending on the processing conditions and subsequent applications the materials produced by strong mechano-chemical reaction (MCR) in alcohol solution showed concurrently magnetic, dielectric and electrical properties. The obtained magnetic-electrical powders classified by aggregate complex of their features as segnetomagnetism, containing a dielectric material as a carrying nucleus, particularly the quartz on that surface one or more layers of different compounds were synthesized having thickness up to 10-50 nm and showing magnetic, electrical and other properties.

It was confirmed in magnetizing process that powders of quartz and lava-scoria produced by MCR were better oil adsorbent as of oleophilic and floating matter on water surface although their specific gravities are comparably more than 1 in quartz or less than unity, as that of water, in lava-scoria. Therefore, it will be possible and very useful to remove low density and light gravity oil spillage in difficult recovery from sea and inland water contamination spread on water surface, by marine accident and ship sinking accident occurring frequently in recent years, by way of magnetic adsorbent conveyer system in continuous, if it could be built up the mass production system of water-floating magnetizable oleophilic adsorbent materials with use of low cost and good quality lava-scoria spread on volcano district in Je-ju island. And, there will also be urgent advent of necessity with strong possibility to develop useful applications of various magnetic functional materials include oleophilic adsorbent for removal of sea oil-contaminants and maritime pollutants, and other kinds of various utilities in industrial applications and practical uses of novel functional materials in the fields of environments and health care applications with in deep expectation.

key word : Magnetizing, Natural Quartz, Scoria, Mechano-chemical Reaction, Magnetic Property

* 명지대학교 전자공학과

** (주)만도 중앙연구소

*** 화산동굴연구소

**** 한국과총연합회

I. 서론

자연산 퀴즈와 함께 화산암재 스킨리아를 대상으로 자기적 성질을 띠는 자성화(magnetization)를 유도하기 위하여 기계-화학적 반응(mechano-chemical reaction : MCR) 기법이 새롭게 이용된다. 유전성과 자기적 특성을 동시에 나타내는 복합재료는 특별한 트랜스듀서, 변조기, 전자기-음향스핀과 발생기뿐만 아니라 정보의 기억이나 저장 소자를 개발하기 위한 목적으로 마이크로 일렉트로닉스 분야에서 중요한 위치를 차지하고 있으며, 이러한 재료를 구분하여 시그니토마그네틱스(segnetomagnetism)라고 분류한다.

이러한 물질들의 응용성을 결정짓는 중요한 요소들을 고려해 보면 다음과 같다.

- 1) 전자계하에서 분극의 가역성
- 2) 자계하에서 자화의 가역성
- 3) 이중 광 반사와 흡수
- 4) 인가자계하의 스핀과 공진주파수 의존성
- 5) 밀리미터파 또는 적외선 대역폭 내에서 동작의 안정성

이 시대의 다양한 산업사회에서 요구되는 특수한 성질을 갖는 시그니토마그네틱스 물질 개발을 위하여 가장 신뢰할 수 있고 효과적인 방법 중의 하나는 고용액과 함께 표면층에 나노복합구조를 갖는 재료의 합성기술이다¹⁾. 위에서 언급한 표면층은 전기특성, 유전특성, 자기특성 등을 포함하는 매우 광범위한 영역에서 변화되는 특징을 갖는 결정질, 비정질, 유기금속 조직의 계층화된 순서에 의해 이루어진다.

강력한 분쇄기 내에서 자연산 퀴즈(quartz)나 자수정(rock crystal)과 같은 물질을 강제 분산시키면 완전한 마이크로 구조적 형태를 갖는 물질로 변형시킬 수 있다. 연마과정에서 입자 부피가 증가하는 유용한 형태의 결합과 경계영역의 구

조적 분쇄, 입자표면영역의 증가, 표면층 상태 등의 변형이 일어난다²⁾.

따라서 이러한 표면 구조와 형태의 변화 외에도 형성된 물질의 성질과 특성의 차별성을 확보하기 위한 방법으로 바탕물질을 반응물질과의 기계-화학적 반응을 통하여 융합반응 합성에 의한 신 기능성 나노복합체를 합성하였다.

또한, 가까운 화산지역 주변에서 무제한으로 쉽게 얻을 수 있는 자연산 용암석의 일종인 화산암재 스킨리아(Lava Scoria)를 대상으로 기계-화학적 반응 기법을 적용하여 스킨리아의 자성화를 유도하기 위한 기술적 시도의 기초적 연구를 수행하여, 다공질의 경량 토석재료에 대한 인공적 마그네타이징(magnetizing) 처리기술을 확보하여 그 응용 가능성을 제안하였다.

II. 처리방법

기계-화학적 반응기법을 이용하여 분말복합체를 제조하기 위한 기술적 접근을 시도하였다. 기계 역학적으로 분말화를 시킬 수 있는 장치를 이용하여 입자를 강력한 힘으로 강제 분산시킬 때 분말로 분쇄되는 과정에서 물질의 계면 사이에서 새로운 화학반응이 일어난다. 사전에 적절한 조성으로 조절된 복합 분말혼합물의 기계적 처리를 위한 별도의 선택 조건은 입자의 층과 층 사이에서 이루어지는 상 조성구 조 및 특성의 변화현상을 얻을 수 있다. 기계-화학적 합성의 잠재성은 무한하며, 시그니토마그네틱스로 구분 짓는 분말 입자들을 포함하여 고분산성에 적합한 입자들 사이에 구조적 특성의 다양한 결합을 이루는 물질 합성이 가능하다.

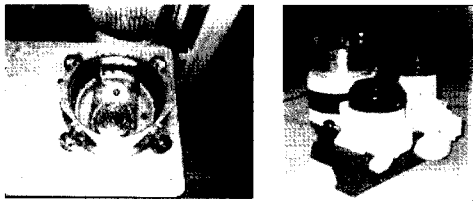
본 연구와 관련하여 구조적으로 고분산성을 갖는 재료들은 자연산 퀴즈를 바탕으로 개발하였으며, 용암석 스킨리아에 적용하기 위한 시도

로 그림 1과 같은 원심연동회전연마장치(centrifugal planetary mill)를 비롯한 강력한 분쇄장치를 통하여 기계-화학적 처리기술로 제조하였다.

처리된 시료분말 팽창률의 비교측정 값은 원심 연동장치의 기계적 활성화 전후에서 다음 식으로부터 온도와 시편의 크기에 따른 변화를 측정하여 얻을 수 있다.

$$\Delta L/L = f(T^{\circ}\text{C})$$

처리조건과 이후의 응용 방법에 따라서, 위에서 언급한 기계화학적 합성 물질은 바탕물질 본래의 성질과는 전혀 다른 전기-자기적 성질과 유전 특성을 동시에 나타낸다.



(그림 1) 원심연동회전 연마장치 a) 제품, b) 상용제품 (centrifugal planetary ball mill : a) self-prepared, b) commercial AGO-2)

III. 결과 및 고찰

기계-화학적 반응으로 처리된 자기-전기적 특성을 갖는 분말은 그 물질의 원자핵을 갖는 유전성 물질이다. 바탕물질인 석영의 표면에는 최소한 하나 또는 그 이상의 층상 구조를 이루면서 형성되는 두께가 10~50 nm 정도의 새로운 물질이 합성되어 자기적, 전기적 또는 그 이외의 다른 특성을 갖는 물질이 합성된다. 이 물질은 그 외형의 집합적 복합체에 의해서 시그니토마그네티스로 분류된다.

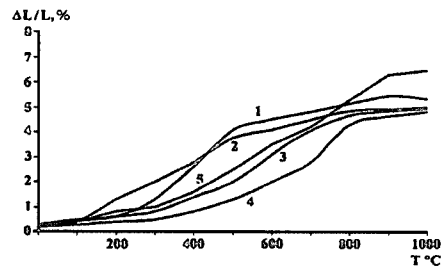
원심연동회전 연마장치로 처리된 석영 분말의 팽창곡선은 특별한 특징을 나타내고 몇 가지

의 열팽창 선형계수(LTDC : Linear of Thermal Dilatation Coefficient)를 갖는 세 부분으로 구성된다. 그림 2는 원심연동회전연마장치를 이용하여 석영분말을 처리한 경우, 석영의 열-물리적 특성이 처리 분위기의 노출시간과 열처리 시간에 따라 여러 가지 서로 다른 형태로 변화되어 나타남을 보여준다.

기계적으로 일정 시간(13~18분) 동안 처리된 석영은 특별한 특징을 나타내는데, 500°C에서의 팽창 곡선은 팽창과 압축 변화의 주기적 교차현상(alternation)을 보인다.

원심연동회전연마장치에서 3분 이상의 분쇄 과정을 거치고 나면 강도나 열팽창 현상이 감소하여 나타난다. 석영 입자의 표면층에 합성된 층상구조물은 천이금속 염을 포함하는 다양한 유기화합물과 할로젠화합물 반응을 일으킨다.

얻어진 물질의 특성은 사용된 용액 처리제와 기계화학적 처리조건에 의해 결정된다. 원심연동회전연마장치로 석영을 분산 처리할 때, 연마장치의 지지대 회전축은 700 rpm까지 그리고 연마장치 회전축에 연동된 분쇄용기의 회전속도는 1200 rpm 까지 조정하여 회전시키면서 여러 가지의 알코올계 솔벤트와 금속염화물 혼합처리제를 사용하여 강자성(ferromagnetic property)을 나타내는 석영분말 자성체를 제작하였다.



(그림 2) 원심연동회전 연마장치 내에서 활성화된 석영 분말의 팽창곡선, (1) 초기 활성화상태, (2) 10분경과 후, (3) 15분경과 후, (4) 20분경과 후, (5) 30분경과 후

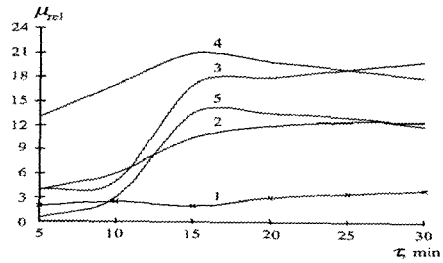
석영 분말에 유기 된 강자성을 조사하기 위하여 시료 분말을 1.4~1.5 g/cm 밀도를 갖는 치밀성 타블렛으로 압착한 후 비투자율(μ_{rel})의 유효지수 변화를 측정하여 분석하였으며, 이때 피 측정 시료를 처리한 후 5분의 경과 시간이 지난 뒤에 기록하여 정리하였다.

그림 3은 처리시간에 따른 석영의 자기투자율의 변화를 측정하여 나타낸 것이다. 처리시간을 5분부터 30분까지 변화시켰을 때, 제작된 분말의 자기투자율 변화는 측정곡선 1부터 4에 이르기까지 다양한 변화를 보이며 증가하여 나타났다. 특히 곡선 1은 다른 측정곡선들의 변화에도 불구하고 거의 일정한 값을 나타내고 있으며, 이것은 다른 측정곡선의 경우와 달리 원심연동회전면장치의 처리과정에서 처리제를 혼합하지 않고 석영 자체만을 처리한 경우의 처리시료를 측정한 결과이다.

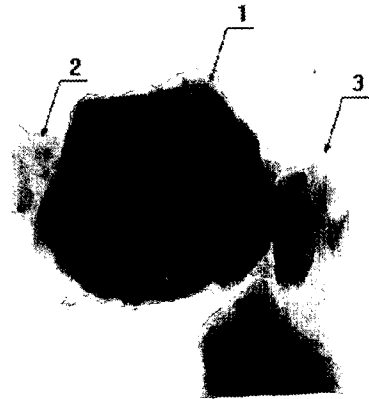
이에 반하여 반응 혼합물에 5% 알코올(에탄올)을 첨가하여 처리한 시료의 경우, 측정곡선 2에서 30분 동안 밀링 처리하였을 때 비투자율이 4에서 12로 증가하였다.

분산처리 대상물질의 입자표면 변형에 효과적인 혼합첨가제로 알려진 부탄올을 사용하였을 때, 제작한 시료물질의 자기 비투자율은 30분의 동일한 처리과정을 거친 후에도 계속 증가하여 나타나는 것을 측정곡선 3으로부터 확인할 수 있다. 유기첨가제로 에틸렌글리콜을 사용하였을 경우, 5분의 처리 과정만으로도 석영분말에 강자성의 특성을 나타냈으며, 이때 비투자율 값은 13까지 증가하였고, 계속 15분 이상 처리 과정을 연장시킨 후에 측정한 비투자율 값은 21까지 증가한 것으로 관찰되었으나, 이후 증가 추세가 반전되어 오히려 그 값이 17 근처까지 감소하였다.

변성반응 합성 첨가제로 금속염화물을 사용한 경우에 대해서도 비교 조사하였다. 금속염화



[그림 3] 작용시간, 알콜, 첨가제에 따른 자기투자율 의존성, (1) 석영, (2) 석영 + 5% 에탄올, (3) 석영 + 부탄올, (4) 석영 + 에틸렌글리콜, (5) 석영 + 금속염

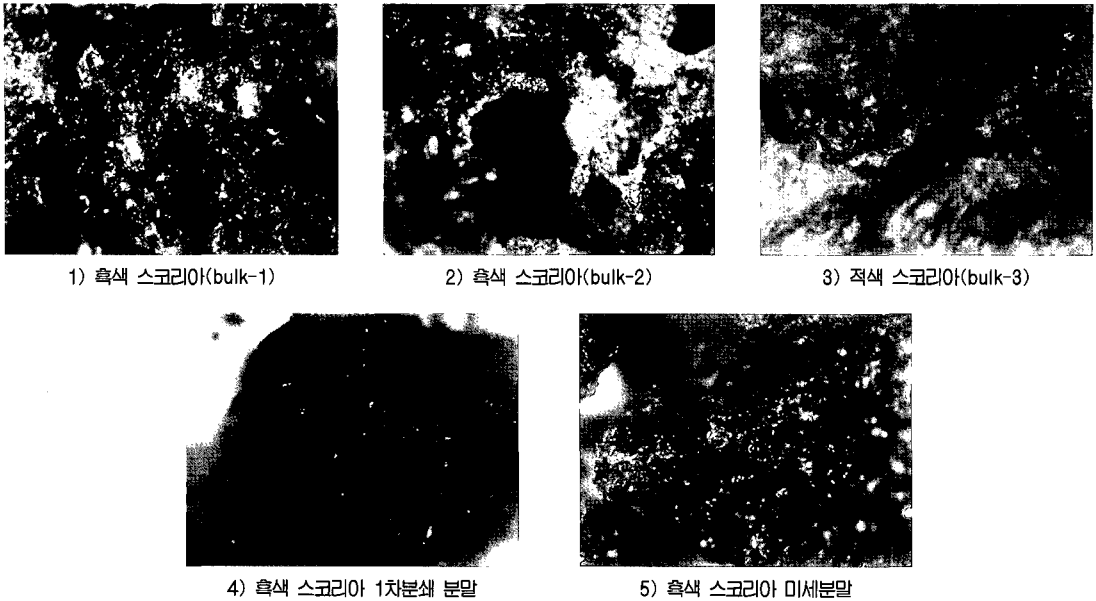


[그림 4] 제작된 석영입자의 전자현미경 사진, (1) 입자표면에 부착된 polymer, (2) 및 (3) homopolymer

물을 혼합하여 처리하였을 때, 자기 비투자율은 시간에 관계없이 14를 초과하지 못하였다. 변형된 분말의 자기적 정렬 상태는 collective spin과 함께 하전 입자(정공)의 중심으로 구성되는 결합 구조의 형성에 의해서 결정된다고 알려져 있다³⁾. 이 관계에서, 중요한 역할은 표면 층 구조를 형성하는 주된 물질은 주로 알코올 혼합 처리제에 의해서 이루어진다는 사실이다.

강력한 기계적 처리조건(국부적 고온, 고압)에서 유기화합물의 파괴적 분해와 활성적 변형 중심으로 이루어지는 이들의 상호작용들이 석영분말의 표면에 효과적인 변화를 일으킨다고 알려져 있다⁴⁾.

이것은 실리레닉(=Si*)과 실록산(=SiOSi=) 반



(그림 5) 스킨리아 채취석(bulk 1-3 : 배율 30) 및 1차 분쇄분말과 미세분말(4-5 : 배율 120)

응 중심에 유기복합물이 접목된 형태로 입자표면이 수정되어 나타나는 결과로서 일어난다. 예를 들어, 알코올을 사용한 경우 하이드록실(hydroxyl)과 메탁실(metaxyl)군이 존재한다.

천이금속은 금속-폴리머를 형성하여 고체표면에 중합반응을 촉진한다. 스펙트럼 분석을 통한 결과에서, 기계화학적 처리를 통한 석영의 강자성화는 불안정하게 정렬된 구조의 형성과 여러 가지의 알코올류(에탄올, 부탄올, 에틸렌글리콜)와 염화 제2철 중에서 강력하게 분산된 입자 표면의 폴리머 매트릭스 내에 철을 포함하는 폴리머 클러스터의 형성에 기인되는 결과이다.

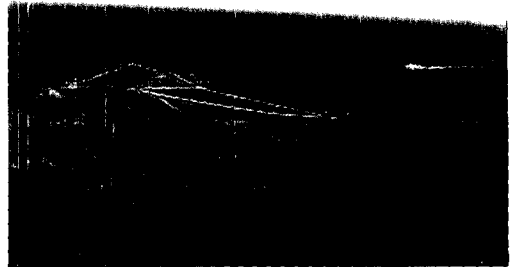
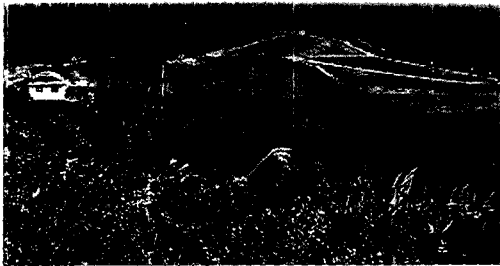
수행된 실험결과로부터, 원심연동회전장치와 같은 기계적 방법으로 강력히 처리된 결과에서 고상의 석영입자가 자기특성을 나타내는 금속-폴리머 나노구조물에 의해 둘러싸여 캡슐링되는, 예를 들면, 소위 클러스폴(cluspol) 형태가 이루어지는 가능성이 확인되었다. 클러스폴 형태의 금속폴리머는 동공(cavity)내에 금속 클러스터를 갖는 폴리머 매트릭스의 일종이다⁵⁾.

본 연구 수행을 통해 얻어진 결과에서, 원심연동회전장치에 의한 기계화학적 방법으로 합성한 석영분말 입자를 전자현미경으로 관찰하여 위에서 분석한 클러스폴 형태의 부착반응 폴리머를 촬영하여 그림 4에 나타내었다.

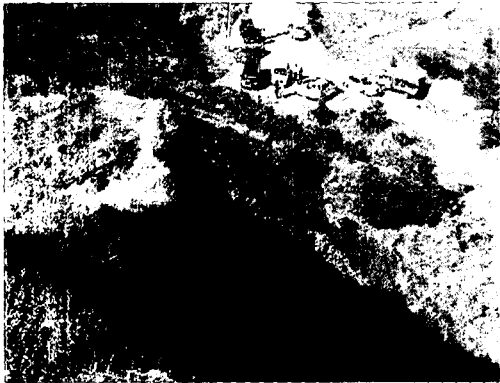
결과적으로, 기계화학적 반응에 의한 합성법으로 얻어진 새로운 물질은 켈쯔 본래의 특성과 전혀 다른 특이한 전기적, 물리적 및 자기적 특성을 나타내며, 이들이 갖는 광대역 특성은 폴리머 매트릭스와 상호작용을 이루는 금속 나노입자들이 형성하는 다상 구조에 의하여 나타나는 것으로 판단된다.

위의 관찰 내용과 함께 화산암재 스킨리아에 대한 자성화 시도를 위하여 제주도 서쪽 남단에 있는 송악산에서 채취한 화산암재를 1차 분쇄한 다음, 금속염화물 중에서 2차 분쇄, 건조 후 자성화 현상을 분석하여 켈쯔의 마그네타이징 현상과 비교하였다⁶⁾⁷⁾⁸⁾⁹⁾.

1차 분쇄된 화산암재 스킨리아의 거친 분말은 내부에 많은 기공들을 포함하고 있기 때문에 낮



a) 제주도 송악산 위에서 본 주변 경관



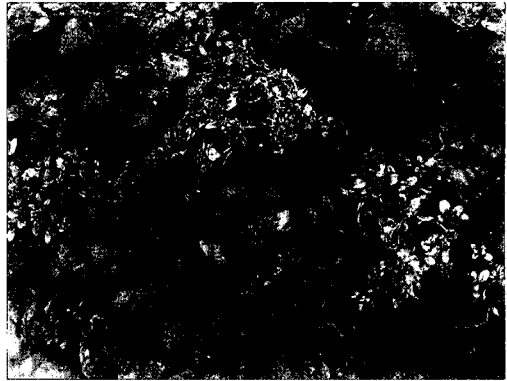
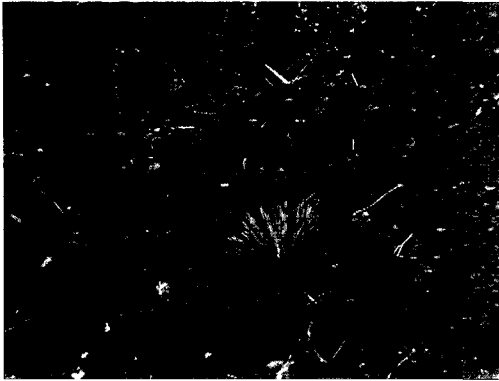
b) 화산암재 스코리아 채취 현장

그림 6. 제주도 송악산 주변 경관과 스코리아 채취 현장

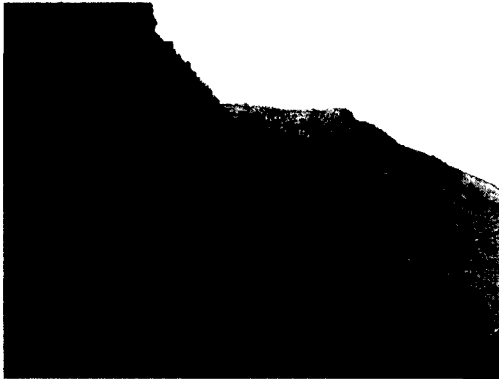
은 비중으로 인하여 물의 표면에서 떠 있지만, 분쇄된 미세분말은 그 과정에서 내부 기공의 표면이 공기 중에 노출되어 제거됨으로 이에 따른 분말재료의 밀도증가 현상으로 물에 띄우면 물 표면에서 거의 뜨지 못하고 가라앉게 된다. 하지만 아직도 미세한 기공들의 모습을 내부에 지니고 있으며(그림5의 4, 5), 자성화 처리결과에서도 미세분말은 수면 상에서의 부유정도가 감소되지만, 분쇄와 연마로 인하여 미립화한 분말재료는 오히려 표면적이 증가하고 물 점성과의 상대적 관계 때문에 물에 대한 부유 상태가 유지되어 나타났다. 따라서 자성화 부유분말을 위한 분말 크기와 기공 함유율 사이의 최적조건 설정이 요구되며, 미세분말의 밀도와 부유 상태의 유지를 위해서는 화산암재 스코리아의 기공 상태에 따

른 분말의 크기와 기공 함유율 관계가 적정 상태로 유지되어야 하는 상대 조건이 요구된다.

따라서 스코리아의 기공분포를 적절히 지닌 상태 즉, 아주 미세한 분말상태가 아닌 어느 정도의 크기(직경 약 2~3mm)를 갖는 스코리아의 작은 덩어리 상태에서 자성화가 이루어지도록 별도의 처리 기법이 필요하며, 이 경우는 기계-화학적 처리 방법이 아닌 디핑 후 열처리 기법에 의한 표면 자성화 처리방식이 양산에 적합하고, 수표면상의 부유 상태를 유지시키려는 본래의 목적 달성에 보다 더 효과적이고 유리한 방법이 될 수 있다. 이 실험결과에서 디핑 처리와 유사하게 금속염화물 중에서 분쇄하여 건조 후 자성 처리한 분말 입자들은 수면위에서 부유 상태를 유지하였고, 주위에서 자장을 가하였을 때



a) 제주도 송악산 지표면에 널리 분포되어있는 화산암재 스코리아



b) 송악산 증턱에서 스코리아 시료를 채취하는 모습

그림 7. 제주도 송악산 지표면의 화산암재 스코리아와 시료채취 모습

쉽게 끌려 이동하였으며, 표면의 흡착성에 의하여 수면위의 기름을 흡착한 상태에서도 주위 자장에 의해 용이하게 끌려 이동함을 확인하였다. 앞에서 기술한 켈쯔 마그네타이징 현상과의 정량적 비교 설명을 위한 작업이 현재 진행 중에 있으므로, 여기서 얻어지는 결과들이 보다 더 정확한 비교 자료를 제공해 줄 수 있을 것이지만, 우선 현상적으로 얻어진 결과를 적용하더라도 수면상의 유류부유물을 자성화처리 분말로 흡착하여 적절히 이동시키면 마치 긴 면포를 끌어 올리듯 자석식켄베이어로 연속 흡인 처리하는 효과적인 수거방법을 제공할 수 있을 것이다.

따라서 켈쯔에 비하여 제주도를 비롯한 화산 지역에 널리 분포되어있는 양질의 저렴한 화산암재 스코리아를 활용하여 자성화 양산체제를

갖춘다면, 최근에 빈발하고 있는 해양사고를 비롯하여 내수면 선박사고 등으로 수면 상에 유출된 회수곤란성 저밀도 유류물질을 연속적으로 흡착, 제거할 수 있는 흡유성 유류회수용 자성 기능재료로의 높은 응용개발 가능성 확인과 함께 수거 후 적절한 열처리 과정을 통하여 1차 사용한 자성 기능재료를 반복적으로 사용할 수 있는 에너지-자원의 절감효과를 위한 재활용성을 동시에 확인하였고, 이와 함께 유용한 산업용 기능성 신소재로의 활용성에서 환경복원용 신 기능성 신소재, 국민보건 향상과 건강산업 육성 발전을 위한 건강용품 개발 및 목재 등의 식물성 유기재료의 자성화 처리를 위한 응용기술로의 활용가능성면에서도 기대되는 바가 크다.

V. 결론

기계-화학적 반응 처리를 통한 석영 입자의 표면 층 구조와 나노 구조의 클러스플 물질의 유사성은 석영이 나타내는 강자기적 특성이 반응 처리가 완전히 끝난 뒤의 시간에 따른 변화를 나타낸다는 사실에서도 확인될 수 있다.

시편의 자기 투자율은 처음 두 달 동안의 시간 경과에서 15~20%가 감소되는 것으로 나타났으나, 이후 다시 안정된 상태를 보였다. 이 변화의 관찰은 입자의 결합구조, 탄성적 스트레스의 완화, 변형 영역에서의 전자밀도와 자기모멘트의 변화 등과 관련되어 나타나는 것으로 분석된다. 이러한 시간 경시적 변화특성은 안정화를 위한 열처리 결과로부터 100~150℃의 비교적 낮은 온도 하에서 짧은 시간 동안 어닐링 처리하여 특성을 다시 강화 회복시켜 재사용할 수 있다.

우리나라 제주지역에서 채취한 화산암재 스코리아 시료분말의 자성화처리 시도 결과, 켈즈의 자성화처리 경우와 유사한 과정으로 자성화처리 된 양호한 분말을 얻을 수 있으나, 스코리아 분말이 미세하게 가공된 경우에는 스코리아 자체에 포함되어있는 작은 내부기공들이 분말 가공과정에서 대부분 파괴되어 상실됨으로 스코리아가 지니고 있는 저밀도 특성의 이점을 살려 수면 상에서 부유 상태를 유도하여 수표면에 떠 있는 상태를 지속시키려는 본래의 목적을 벗어나 특별한 의미를 찾을 수 없었다.

따라서 스코리아의 기공분포를 적절히 지닌 상태 즉, 아주 미세한 분말상태가 아닌 어느 정도의 크기(직경 약 2~3mm)를 갖는 스코리아의 작은 덩어리 상태에서 자성화가 이루어지도록 별도의 처리 기법이 필요하며, 이 경우는 기계-화학적 처리 방법이 아닌 디핑 후 열처리 기법에 의한 표면 자성화 처리방식이 양산에 적합하고,

수표면상의 부유 상태를 유지시키려는 본래의 목적 달성에 보다 더 효과적이고 유리한 방법이며, 이 결과를 적용하면 수면상의 유류부유물을 자성화분말로 흡착하여 마치 긴 면포를 끌어 올리듯 자석식컨베이어로 연속 흡인 처리하는 효과적인 녹색환경기술의 수거방법이 가능하다.

註

- 1) Mofa N.N., Keteghenov T.A., Riabikin Yu. A., Cherviakov O.V., Ksandopulo G.I. "Megnetism of iron containing particles in quartz matrix after their mechano-chemical materials, Vol. 18, No. 2, p. 1, 2002
- 2) E.G. Avvakumoy. The mechanical methods of chemical process activation, Novosibirsk: Nauka, p. 290, 1986.
- 3) Zirianov V.V. "Model of reaction zone in mechanical loading of the powders in planetary mill", Non-organic materials, Vol. 34, No. 12, p. 1525, 1998
- 4) Hainix G. Tribochemistry. M., Mir, p. 584, 1987
- 5) Gubin S.P., Kozinkin A.V., Afanassov M.I., Popova N.A., Sever O.V., Shuvaev A.T. Tsirlin A.M. "Ckasters in polymer matrix. III. Composition and structure of Fe-containing nanoparticles in ceramics forming organo-silicon polymers", Non-organic materials, Vol. 35, No. 2, p. 237, 1999.
- 6) Soh Deawha, George Ksandopulo, Lim Byongjae, Tlek Ketegenov, "환경오염방지 유출오일 회수용 자기흡착제의 재생회복 특성", KIEEME, 추계논문집, pp. 296-299, 2001.
- 7) Soh Deawha, Lim Byoungjae, Soh Hyunjun, Mofa N.N., Ketegenov T.A., Mansurov Z.A., "MAGNETISM OF INSULATING NANOCOMPOSITE QUARTZ POWDER BY USE OF MECHANOCHEMICAL REACTION", 2nd Int'l Conf. on ICMEP, China, pp. 531-533, 2003.
- 8) 소대화, 조용준, 소현준, 정종현, N.N. Mofa, T.A. Keteguenov, Z.A. Mansurov, "유류흡착용 친유성 나노복합체 신소재 제조", KIMICS, 춘계논문집, pp. 769-772, 2003.
- 9) N.N. Mofa, T.A. Ketegenov, Z.A. Mansurov, D.W. Soh, "Nanocomposite Magnetic Powder Materials using Mechano-chemical Synthesis", Trans. on EEM, Vol. 5, No. 1, pp. 29-33, 2004.