

연구보고서

# 연마제의 사용 실태조사를 통한 위험성 관리방안 연구

함승헌, 강성규, 최원준, 김부욱, 전태성, 조민환

산업재해예방

안전보건공단

산업안전보건연구원





# 제 출 문

산업안전보건연구원장 귀하

본 보고서를 “연마제의 사용 실태조사를 통한 위험성 관리 방안 연구”의 최종 보고서로 제출합니다.

2024년 11월

## 연구진

연구기관 : 가천대학교 산학협력단  
연구책임자 : 함승현(가천대학교 의과대학 교수)  
연구원 : 강성규(가천대 길병원 교수)  
연구원 : 최원준(가천대학교 의과대학 교수)  
연구원 : 김부욱(대한산업보건협회 국장)  
연구원 : 전태성(인천대학교 기계공학과 교수)  
연구원 : 조민환(가천대학교 산학협력단 연구원)



# 요약문

- 연구기간 2024년 4월 - 2024년 11월
- 핵심단어 결정체 산화규소, 연마제, 노출기준
- 연구과제명 연마제의 사용 실태조사를 통한 위험성 관리방안 연구

## 1. 연구배경

다양한 산업에서 연마제 사용은 광범위하게 이루어지고 있지만, 그 실태와 위험성에 대한 체계적인 조사는 부족하다. 특히 스테인리스 식기류 제조 공정 중 연마공정에서 발생하는 분진 노출로 인해 급성 규폐증으로 사망하는 사례까지 발생하면서, 연마제 사용의 위험성에 대한 사회적 관심이 높아지고 있다. 또한, 연마제 성분과 그로 인한 위험성에 대한 정보가 부족하고, 이를 관리할 수 있는 체계 또한 미흡한 실정이다. 이러한 문제들을 해결하기 위해, 연마제 사용 실태를 조사하고, 위험성을 분석하여 실질적인 관리 방안을 도출하는 것이 필요하다.

## 2. 주요 연구내용

### 1) 연구결과

연마공정에 사용하는 다양한 연마제의 종류와 성분을 분석한 결과, 알루미늄/크롬 기반 광약, 규조토 등 다양한 연마제가 사용되고 있음을 확인했다. 또한 일부 연마제에서는 결정체 산화규소(석영)가 약 30%의 높은 비율로 함유되어 있는 것을 확인했다. 작업환경측정 분석 결과, 결정체 산화규소가 포

함된 구조토를 사용하는 공정에서 결정체 산화규소의 노출기준을 초과하는 상황이 발생하였다. 물질안전보건자료(MSDS) 및 관련 법규 검토 결과, 성분 표기가 불명확하고, 관리 기준 또한 미비한 점들이 확인되었다.

## 2) 시사점

연마제에 포함된 결정체 산화규소 노출은 규폐증, 폐암과 같은 심각한 건강 위험을 초래할 수 있으나 현재의 법규와 관리 체계로는 연마제 사용으로 인한 건강 위험을 효과적으로 관리하기 어렵다는 점을 확인하였다. 따라서 연마제 성분 정보의 정확성 향상과 필요한 사람에게 올바르게 전달 될 수 있도록 하는 제도 마련이 필요하다.

## 3. 연구 활용방안

### 1) 개선방안 또는 정책방안

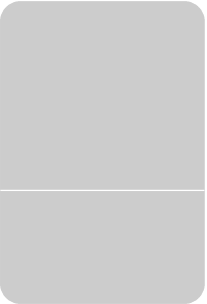
연마제 제품의 성분 표기를 개선하고 표준화하여 사용자에게 정확한 정보를 제공해야 한다. 연마공정에 대한 작업환경측정을 정확하게 진행하여 연마제 노출 위험이 있는 작업자의 건강을 적극적으로 관리해야 한다. 결정체 산화규소에 대한 측정대상 선정 여부를 결정할 때 작업환경측정기관의 적극적인 노력이 필요하며 결정체 산화규소가 포함될 가능성이 높은 구조토의 경우 노출기준을 재검토하고 관리 지침을 수립해야 한다. MSDS 작성 기준을 강화하여 MSDS의 신뢰성을 높여야 한다. 연마제 사용 사업장에 대한 주기적인 모니터링을 강화하여 위험 요인을 조기에 파악하고 관리해야 한다.

## 2) 활용방안

연마제 관련 작업자 안전보건 교육 자료로 활용하여 작업자들의 안전 의식을 높이고 올바른 작업 방법을 교육하는 데 기여할 수 있다. 관련 법규 및 정책 개선을 위한 근거 자료로 활용하여 보다 효과적인 법규 및 정책을 수립할 수 있다.

## 4. 연락처

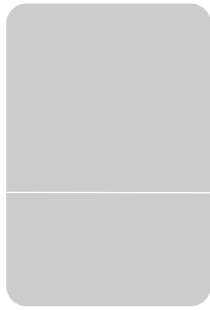
- 연구책임자 : 가천대학교 의과대학 직업환경의학과 교수 함승현
- 연구상대역 : 산업안전보건연구원 직업환경연구실 연구위원 조지훈
  - ☎ 052) 703. 0884
  - E-mail lmalone@kosha.or.kr



# 목 차

<b>I. 서 론</b> .....	<b>1</b>
1. 연구배경과 필요성 .....	1
2. 연구목적 .....	4
<b>II. 연구 방법</b> .....	<b>7</b>
1. 연마제 관련 문헌 조사 .....	7
2. 연마 관련 근로자 노출 및 산업 조사 .....	7
3. 연마제 결정체 산화규소 등 주요 구성성분 파악 .....	8
4. 주요 작업형태 및 위험성 조사 .....	9
5. 국내외 관련 제도 검토 .....	10
6. 물질 대체 및 작업환경개선 등 위험성 관리방안 마련 .....	10

<b>III. 연구결과</b> .....	<b>13</b>
1. 연마제 관련 문헌 조사 .....	13
2. 연마 관련 근로자 노출 현황 및 산업 조사 .....	28
3. 연마제 내 결정체 산화규소 등 주요 구성성분 파악 .....	56
4. 주요 작업형태 및 위험성 조사 .....	64
5. 국내외 관련 제도 검토 .....	75
6. 물질 대체 및 작업환경개선 등 위험성 관리방안 마련 .....	92
<b>IV. 고찰 및 결론</b> .....	<b>96</b>
<b>참고문헌</b> .....	<b>100</b>



# 목 차

**Abstract** ..... 105

**부록** ..... 108

1. XRD 분석결과 ..... 108

2. FE-SEM 분석결과 ..... 121

3. 규조토 MSDS ..... 129

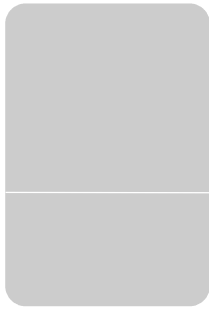
연마제의 사용 실태조사를 통한 위험성 관리방안 연구



## 표 목차

〈표 1〉 공기 중 시료 채취 현황 .....	9
〈표 2〉 산화규소와 관련된 유해물질의 고용노동부 노출기준 .....	27
〈표 3〉 유해인자별 노출기준 초과 현황 .....	29
〈표 4〉 작업환경측정 결과 분석에 사용된 유해인자 코드와 물질명 .....	31
〈표 5〉 연마공정 보유 사업장 현황(2017년-2023년) .....	32
〈표 6〉 연마공정 보유 사업장 전체 근로자 현황(연마공정 보유 사업장 전체 근로자) .....	32
〈표 7〉 표준산업분류에 따른 연마공정 보유 작업환경측정 사업장 현황 .....	34
〈표 8〉 연마공정 보유 사업장의 연도별, 반기별, 작업환경측정 대상물질 현황	36
〈표 9〉 연마공정 보유 사업장의 연도별, 반기별, 작업환경측정 대상물질 측정 결과 노출기준 초과 현황 .....	38
〈표 10〉 초록누리 DB를 통해 확인한 석영이 포함된 생활화학제품 (13종) ...	40
〈표 11〉 초록누리 DB를 통해 확인한 규조토가 포함된 생활화학제품 (43종)	44
〈표 12〉 Bulk 시료의 특성 .....	56
〈표 13〉 연마제 Bulk 시료의 분석 결과 .....	58
〈표 14〉 FE-SEM을 이용한 연마제 입자의 반정성 분석 결과 .....	60
〈표 15〉 일부 확보된 규조토의 MSDS 주요 기재내용 .....	63
〈표 16〉 공기 중 시료 채취 현황 .....	66
〈표 17〉 결정체 산화규소의 공기 중 측정 결과 .....	69
〈표 18〉 금속류의 공기 중 측정 결과 .....	70
〈표 19〉 산업안전보건법 내 산화규소 형태별 관리 및 규제 현황 .....	77
〈표 20〉 산화규소의 형태별 노출기준 .....	78

〈표 21〉 산화규소 형태별 화평법/화관법 상 관리 및 규제 현황 ..... 80  
〈표 22〉 산화규소의 다양한 CAS No.의 구성(IARC) ..... 85



## 그림목차

[그림 1] 연마의 계통도 .....	1
[그림 2] 스테인리스 연마 사업장에서의 작업환경 .....	2
[그림 3] MSDS 대신 연마업체에서 받는 성분 분석표 .....	3
[그림 4] 연마의 원리 .....	18
[그림 5] 산화규소의 상변화 과정 .....	22
[그림 6] MSDS 대신 업체에서 받는 성분 분석표(미국산) .....	55
[그림 7] 국내 규조토 광산의 현황(단위: 광산의 갯 수) .....	62
[그림 8] 연마공정에서 규조토를 사용하는 현장 .....	64
[그림 9] 측정을 수행한 사업장의 공정 도면 및 측정 위치(A: 지역시료, P: 개인시료) .....	67

# I. 서론





# I. 서론

## 1. 연구배경과 필요성

연마(Polishing 또는 Abrasion, 研磨)는 고체의 표면을 다른 고체의 모서리나 표면으로 문질러 매끈하게 하는 것으로 정의되며, 연마제를 사용하여 연마의 효과를 높일 수 있다. 연마의 개념은 광범위하며, 주로 연마와 연삭으로 구분된다. 연마에는 그라인더, 버프(빠우), 전해 연마 등이 있고, 연삭에는 평면, 성형, 원통, 로타리 연삭 등이 있다. 특히 버프연마는 금속 제품의 고급스러운 외관을 만들 때 주로 사용을 하며, 식기류, 귀금속, 의료기기 등에 활용된다. 이 과정에서 근로자가 직접 연마 작업을 수행하는 경우가 많아 연마공정에서 발생하는 분진에 노출될 가능성이 높다.



[그림 1] 연마의 계통도.

우리나라는 다른 나라에 비해 금속 식기류 및 금속 기계류에 대한 수요가 많아 제품 생산과정에서 근로자가 연마제에 더 많이 노출될 가능성이 높다. 하지만 지금까지 연마과정에서의 근로자 노출이나 연마제 성분에 대한 실태 파악이 충분히 이루어지지 않았다. 최근 스테인리스 식기류 제조 공정에서 버프연마를 하는 공정에서 연마제 분진에 장기간 노출된 근로자가 급성 규폐증으로 사망한 사례가 보고되었다. 2019년 한국산업보건학회지에 실린 <급성 규폐증이 발생한 구조토 분말 취급 작업장의 결정체 실리카 노출평가: 역학조사 사례>에 따르면, 해당 사망 사례의 근로자는 광택이 마무리된 식기를 구조토 분말을 이용하여 용기 내부를 닦아내는 작업을 했고, 국소배기장치가 있었으나 분말이 작업장에 흩날렸다고 한다. 사업장에서는 해당 분말은 인체에 무해한 분말로 알고 사용하였다. 그러나 직업환경연구원 조사 결과, 해당 분말에는 결정체 산화규소인 석영과 크리스토팔라이트가 각각 12%, 9% 함유되어 있었다. 이처럼 연마제에 대한 정보 누락과 사용자의 낮은 위험성 인지가 사고의 주된 원인이라 하겠다. 이에 따라 연마제 사용에 따른 근로자 건강 위험을 예방하고 관리하기 위한 연구의 필요성이 대두되고 있다.



[그림 2] 스테인리스 연마 사업장에서의 작업환경.

연구진의 예비 조사에서 확보한 연마공정의 규조토 성분 분석표에는 SiO<sub>2</sub>가 약 73% 함유되어 있었으나, 결정체 여부는 명시되어 있지 않았다. 해당 물질의 물질안전보건자료(MSDS)를 사업주조차 입수하지 못한 상황이었으며, 성분 분석표를 바탕으로 작업환경측정을 수행한 기관에서는 단순히 기타 광물성분진으로 측정을 진행했다. 그 이유는 분석표에 결정체 석영으로 명확히 표시되어 있지 않았기 때문이다. 이는 사용 중인 화학물질에 대한 정보가 정확하고 투명하게 전달되지 않는 문제점을 보여준다. 결과적으로 이러한 정보 부족과 소통의 부재로 인해 작업환경 관리가 제대로 이루어지지 않았을 것으로 추정된다.

### CERTIFICATE OF ANALYSIS

1.COMMODITY : Diatomite Powder

2.GRADE : 규조토 325#

3.DATE : 2012.12.04

#### 1) PHYSICAL PROPERTIES

PROPERTIES	SPEC	RESULTS	REFERENCE
Wet screen residue 325 mesh(%)	Max 7.0	4.80	
Moisture (%)	Max 20.0	15.70	

#### 2) CHEMICAL COMPOSITION

PROPERTIES	SPEC	RESULTS	REFERENCE
SiO <sub>2</sub> (%)	min 75.0	73.15	
CaO (%)	Max 1.0	0.80	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	7-15	12.30	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Max 3.0	1.30	
Ig-Loss (%)	Max 7.0	5.50	

[그림 3] MSDS 대신 연마업체에서 받는 성분 분석표.

이처럼 현재 연마공정에서 사용되는 연마제를 포함한 유해 물질의 관리 체계는 부족한 실정이다. 연마제에 포함된 결정체 산화규소 등 유해 물질의 정확한 함량 및 위험성에 대한 정보가 부족하다. 또한 관리를 위한 법적 규제, 기준, 모니터링 체계 등이 필요한 시점이다.

시중에 유통되는 연마제와 관련 화학물질들은 석영, 규조토 등 다양한 형태로 결정체 산화규소에 노출될 가능성이 있다. 일부 제품의 물질안전보건자료(MSDS)에는 석영(Quartz)이 15-40% 포함되어 있다고 표기되어 있으나, 산업보건 분야에서 통용되는 '결정체 산화규소' 또는 '석영'이라는 국문명으로 명시되어 있지 않아 작업환경측정에서 누락될 가능성이 높다.

더욱이 MSDS에 석영으로 명기되어 있음에도 실제로는 다른 물질이 존재하는 경우와, 반대로 MSDS에는 기재되지 않았지만 분석 결과 석영이 검출되는 사례가 발생하고 있다. 이러한 상황은 주요 별크시료에 대한 철저하고 정확한 확인의 필요성을 높이고 있다.

## 2. 연구목적

이 연구의 최종 목표는 국내 사업장에서 사용되는 연마제의 사용 및 결정체 산화규소 함유 실태를 조사하고 그 관리방안을 도출하는 것이다.

이를 위해 연마제의 종류와 관련 시장 및 산업을 조사하고, 국내외 관련 제도를 검토하는 한편, 결정체 산화규소 등 주요 유해 구성 성분의 파악 및 연마제 사용의 주요 작업 형태 조사를 통해, 물질 대체 및 작업 환경 개선 등 노출로 인한 위험을 최소화하기 위한 위험성 관리 방안을 마련하는 것이다.

## II. 연구방법





## II. 연구 방법

### 1. 연마제 관련 문헌 조사

#### 1) 연마제 정의와 종류

연마제의 정의, 종류를 조사하기 위해서 문헌조사를 실시하였다. 문헌조사에는 Pubmed, Google Scholar 등에서 얻은 정보를 포함하였다.

#### 2) 건강영향

연마공정에서 사용되는 화학물질에 의한 건강영향에 대해서 문헌조사를 실시하고, 전문가 자문을 통해 확인하였다.

### 2. 연마 관련 근로자 노출 및 산업 조사

#### 1) 근로자 노출 관련 조사

##### (1) 작업환경측정 자료

고용노동부에서 발간한 2022년도 작업환경측정 실시 결과를 분석하여, 유해인자별 노출기준 초과현황, 노출가능 대상 업체 수, 근로자 수 등에 대한 정보를 파악하였다.

##### (2) 연마제 함유 생활화학제품 조사

환경부에서 관리하고 있는 생활화학제품 내에도 다양한 형태의 연마제(석영, 이산화규소( $\text{SiO}_2$ ), 크리스토파라이트, 규조토)가 포함되어 있어 초록누리 DB에서 검색하여 잠재적 근로자 노출 가능성이 있는 연마제 함유 제품을 조사를 하였다.

### (3) 현장조사

실제 연마제가 유통되는 구조를 이해하기 위하여 도소매 업체를 방문하여 인터뷰 하였고, 실제 유통되는 과정에서 MSDS 또는 화학물질을 식별할 수 있는 문서에 대해 조사 하였다.

## 3. 연마제 결정체 산화규소 등 주요 구성성분 파악

### 1) 주요 연마제 구성성분 분석

#### (1) 온라인 및 오프라인 판매처 방문을 통한 제품 현황 파악

연마제의 시중 유통 현황을 파악하기 위하여 온라인 및 오프라인 판매처 방문을 통하여 제품에 대한 현황을 파악하였다. 또한 실제 연마제를 사용하는 사업장에 직접 방문하여 제품의 현황을 파악하였다.

#### (2) Bulk 시료의 XRD 분석

시중에 판매중인 연마제와 구조토, 그리고 생활화학제품에 대한 XRD 분석을 하였다. 전처리하는 분말의 경우 분말 자체를, 고체인 경우 분쇄하여 시편을 제작하였고, 액체의 경우에는 동결건조를 한 후 분쇄하여 시편을 제작하였다. 분석은 XRD(X-ray Diffraction, D8 Advance, Bruker, Germany)를 이용하여 결정체 산화규소류에 대한 정성분석을 하였다.

#### (3) Bulk 시료의 FE-SEM 분석

시중에 판매중인 연마제와 구조토에 대해 전자현미경(Field Emission-Scanning Electron Microscope, GeminiSEM 560, ZEISS, Germany) 분석을 하였다. 전처리하는 백금코팅을 하여, 입자의 형태, 구성성

분을 반정성분석을 통해 확인하였다.

#### 4. 주요 작업형태 및 위험성 조사

##### 1) 연마공정 사업장 작업 형태 및 위험성 조사

연마공정 작업의 형태에 대해서는 현장에 방문하여 조사 및 연마 전문가를 통한 자문을 받았다. 또한 실제 작업현장에서 사용하는 화학물질의 MSDS 현황을 파악하고 위험성을 조사하기 위하여 작업환경측정을 직접 실시하였다.

작업환경측정은 공기 중에서 결정체 산화규소와 금속류를 측정하였고, 각각 총 13개의 시료(개인: 4개, 지역 9개)를 채취하였다.

〈표 1〉 공기 중 시료 채취 현황

개인/지역	번호	공정	측정물질
개인(P)	1	버핑연마	산화규소, Al, Fe, Mn, Ni, Cr <sup>3+</sup>
	2	버핑연마	
	3	버핑연마	
	4	버핑연마	
지역(A)	1	구조토세척	
	2	구조토세척	
	3	버핑연마	
	4	스폿용접	
	5	스폿용접	
	6	스폿용접	
	7	프레스	
	8	프레스	
	9	프레스	

## 5. 국내외 관련 제도 검토

### 1) 국내외 법, 제도 검토

국내 관련제도는 산업안전보건법, 화학물질관리법, 화학물질의 등록 및 평가 등에 관한 법률을 검토 하였다. 국외 관련제도는 미국 OSHA 1926.1153 - Respirable crystalline silica, 영국 HSE Silica - Cancer and construction, EU REACH를 검토하였다.

## 6. 물질 대체 및 작업환경개선 등 위험성 관리방안 마련

물질의 대체에 대해서는 연마제를 사용하는 현장에서 생산담당자와 면담을 통해 조사를 실시하였다. 작업환경개선과 관련해서는 현장 근로자 면담, 문헌 조사, 전문가 자문을 통하여 위험성 관리방안에 대하여 제안하였다.

### Ⅲ. 연구결과





## III. 연구결과

### 1. 연마제 관련 문헌 조사

#### 1) 연마제 정의와 종류

##### (1) 연마제의 정의

연마제란 돌이나 쇠붙이 따위를 갈고 닦는 작업을 하는 데에 쓰는 매우 단단한 물질로 영어로는 abrasive 혹은 polisher로 표현된다.

##### 가) 연마제의 물리적/화학적 특성

연마제로 주로 사용되는 물질은 알루미나(alumina), 석영(Quartz), 콜로이드 실리카(colloidal silica), 탄화규소(SiC), 다이아몬드(diamond), 규조토가 주로 사용된다. 물리적 특성은 대부분이 높은 경도를 가지고 있다. 또 입자가 날카로운 절단부를 많이 포함하고 있으며, 사용 중 더 작은 입자로 분해되어 새로운 절삭날을 지속적으로 공급할 수 있는 부서짐성이 좋다.

연마제의 화학적 특성은 대부분 높은 화학적 안정성과 낮은 반응성을 공통적으로 가지고 있다. 독성에 대해서는 차이가 있는데, 알루미나나 다이아몬드는 무독성인 반면, 석영이나 콜로이드 실리카의 대부분을 차지하는 산화규소(SiO<sub>2</sub>)의 경우 인체에 유해한 세포독성을 가지고 있다. 특히 나노입자는 그 입자 크기에 따라 독성이 심해질 수 있다.

##### 나) 연마제와 유사한 개념

연삭과 연마 비교를 해보면 연삭(grinding)과 연마(polishing)은 입자 가공(abrasive machining)의 일종으로, 비슷한 재료를 사용하고 재료를 소량

씩 제거하는 공통점을 가지고 있으나 그 목적이 다르다. 연삭은 연삭휠을 이용하여 다른 가공에 비해 빠른 속도로 가공물의 표면에서 물질을 제거하여 표면을 깨끗하게 하는 목적으로 진행된다. 반면 연마는 느린 속도로 진행되며, 부드러운 천이나 패드를 이용하여 매끄럽고 광택을 가진 표면을 얻고자 하는 목적으로 진행된다. 그렇기에 광택을 목적으로 하는 연마제는 연삭재보다 더 낮은 입자 크기를 갖고 있다. 절삭과 연마를 비교를 해보면 절삭은 연삭과 비슷하게 표면의 재료를 제거하는 목적을 가졌으나, 명확한 기하학적인 형상을 가진 절삭공구에 의해 진행이 된다는 차이점이 있다. 따라서 절삭재는 절삭 가공에 사용되는 재료로, 연마제와 비슷한 특성을 가지고 있으나 가공 시 고온 상태에 있기 때문에 고온 경도가 요구되고, 연마제에 비해 높은 인성(내구성)이 요구된다.

## (2) 연마제 사용 목적

### 가) 산업별 연마제 사용 목적

금속 가공 시에는 금속 표면의 광택을 내기 위해 연마제를 사용한다. 이러한 표면 품질의 향상을 통해 부식 저항성을 더 높일 수 있고, 손상에 대한 저항이 증가하여 제품 표면의 손상을 방지하는 역할을 할 수 있다. 또한, 산화층을 제거함으로써 피로 강도를 향상시킬 수 있다.

광학 부품은 높은 표면 품질과 낮은 표면 결함을 요구하는 분야로 1nm 표면 거칠기를 요구하는 분야이다. 광학 부품은 나노미터 혹은 피코미터 정도의 높은 가공 정확도를 요구하고, 높은 표면 거칠기에 의한 광산란으로 오류가 발생할 수 있다. 이에 따라 높은 표면 품질을 달성하기 위하여 연마제가 사용된다.

반도체 공정에 꼭 필요한 실리콘(Si) 웨이퍼의 표면 품질은 소자 선폭 성능, 수율, 처리량 등에 직접적인 영향을 미치는 인자로 반도체 제작에서 연마는 필수적인 과정이다. 반도체의 성능을 향상시키기 위해서는 초정밀 표면 품질

과 평탄도를 요구하기 때문에 연마제가 사용된다.

#### 나) 연마제를 사용한 표면 처리의 중요성

연마제를 사용하여 표면 품질이 향상될 때 가공품에 가해지는 손상이 연마제를 사용하지 않았을 때 보다 더욱 감소할 수 있다. 연마제를 드릴링에 적용하여 연마 워터젯으로 가공한 볼트 조인트의 경우, 일반 드릴링보다 손상이 최소 20% 감소하고, 피로 강도는 증가된다는 연구가 보고되었다.

표면 거칠기는 연마제의 종류에 따라서도 달라질 수 있고, 표면 거칠기가 높을 때 부식에 더 취약하기 때문에 적절한 연마 방법과 연마제의 선택이 중요하다.

### (3) 연마제의 종류 및 분류

#### 가) 연마제의 재료별 분류

산화규소( $\text{SiO}_2$ )는 석영, 콜로이달 실리카 등을 재료로 하는 연마제로 정밀한 미세회로 부품 등을 연마하는데 사용된다. 석영은 천연 연마제로 가루 등의 형태로 이용되고, 콜로이달 실리카의 경우 주로 슬러리(slurry) 형태로 이용된다.

알루미나는 합성 연마제로 1980년대 이후 천연 연마제를 대체하며 가장 일반적으로 쓰이고 있다. 화학적 혹은 열처리를 통하여 화학적 조성이나 미세구조의 제어가 쉬워 특정 분야에 맞게 연마제로서의 특징을 조절할 수 있다는 장점이 있다. 1990년대, 초미세의 입자와 고순도를 가진 알루미나 연마제가 개발되었고, 이 연마제는 매우 단단하고 높은 경도로 기존의 알루미나 연마제에 비하여 높은 연마 성능을 나타낸다.

탄화규소는 알루미나와 마찬가지로 다양한 합금 요소를 통해 요구되는 물

성을 가진 연마제이다. 알루미나와 더불어 일반적으로 사용되는 연마제로 녹색, 검정색의 색으로 구분되는 연마제가 주로 사용되고 있다. 각각의 늑(knoop)경도는 27.9, 26.3으로 알루미나 계열 연마제에 비해 높은 경도를 가지고 있다.

다이아몬드를 재료로 한 연마제는 알루미나나, 탄화규소 연마제보다 더욱 단단하고 탄화물 연삭에도 유리하다. 따라서 다이아몬드 연마제는 초정밀가공에 주로 이용된다. 다이아몬드는 대표적 천연 연마제였으나, 다이아몬드 합성이 개발되면서 인공 연마제로도 개발되어 슬러리나 휠 형태로 활발히 사용되고 있다.

#### 나) 연마제의 입도 크기에 따른 분류

연마제는 입자의 크기에 따라 굵은 입자( $> 50 \mu\text{m}$ ) 연마제와 미세 입자( $< 50 \mu\text{m}$ ) 연마제로 나눌 수 있다. 미세 입자의 연마제를 사용할 경우 연마제의 입자 크기의 감소에 따라 연마 속도가 감소하는 반면, 굵은 입자 연마제에서는 연마제의 입자 크기에 따른 연마 속도에 큰 차이가 나타나지 않는다.

연마제의 입자 크기에 따라 재료 제거율이 변화하며 가공품과 연마제의 재료에 따라 최적화된 연마제의 입자 크기가 존재한다. 또한 입자 크기 범위에 따라 경향이 달라진다. 화학연마에서 콜로이드 실리카의 크기에 따른 연마율을 조사한 연구에서 80 nm의 입자 크기를 가질 때 가장 연마율이 좋으며, 입자 크기가 감소함에 따라 연마율의 감소가 보고되었다. 또한 구리의 화학 연마공정에 실리카 기반 슬러리 연마제의 입자 크기 영향이 연구되었다 재료 제거율은 40-60 nm 사이에는 입자 크기가 증가함에 따라 재료 제거율이 증가하지만, 60-120 nm 사이에는 입자 크기가 증가함에 따라 재료 제거율이 감소하는 결과가 보고되었다.

#### 다) 연마제의 형상 및 구조에 따른 분류

연마제의 형태는 크게 세 가지 종류로 나눌 수 있다. 결합(bonded), 코팅(coated) 그리고 자유(loose) 구조로 정의된다.

결합(Bonded)구조 연마제: 휠, 핀, 슷돌 등의 형상을 가진 연마제에 해당하는 방식으로, 결합재와 연마제로 구성되어 있다. 주로 연삭, 호닝, super-finishing에 이용되는 도구들이 결합 구조 연마제로 이루어져 있다.

코팅(Coated)구조 연마제: 일반적으로 벨트, 디스크, 슬리브, 연마지, 연마천 등의 형태를 가진 연마제에 이용된다. 연마제의 유연성, 빠른 도구 교체, 높은 재료 제거율을 요구하는 경우에 코팅 구조 연마제가 이용된다.

자유(Loose)구조 연마제: 파우더, 페이스트, 슬러리, 연마액 등의 형태를 가진 연마제의 분류로 래핑, 폴리싱, AFM(abrasive flow machining) 등 다양한 연마 가공에 이용된다.

### (4) 연마공정

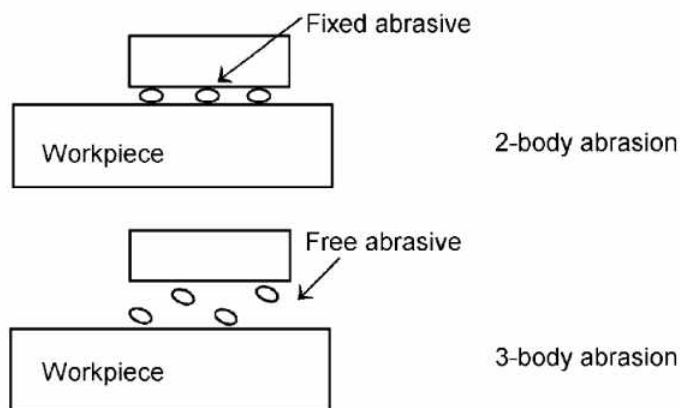
#### 가) 연마공정의 원리 및 메커니즘

연마공정의 원리는 미세한 연마 입자가 표면에 탄력적, 소성적으로 작용하며, 작업 표면을 미세하게 긁게 된다. 이 공정 속에서 기계적 작용에 의해 공작물과 공구가 압력을 가하여 미끄럼 마찰되면서 연마제의 미세 입자에 의해 미세한 칩의 형성으로 작업 면이 가공된다. 이의 효과로 표면의 먼지나 불순물이 제거 되고 표면이 매끄러워진다. 연마제의 화학성분은 반응 생성물의 용해 및 생성 작용을 통해 기계적 작용을 돕거나 저해함으로 연마공정을 조절한다.

연마 마모의 메커니즘은 4가지이다. 각 메커니즘은 개별적으로 발생하고, 연속적 혹은 동시에 발생한다. Surface fatigue는 변화하는 힘에 의해 가공품과 공구의 표면 근처 영역에서 균열, 균열의 성장과 마모 입자의 분리의 발

생을 통해 나타난다. Abrasion은 반복된 충돌로 인한 fatigue와 공구의 단단한 입자에 의한 가공품의 파손에서 초래된다. Adhesion은 보호 표면층이 파괴된 후 가공물과 공구 사이의 미세 접촉에서 원자의 결합 형성으로 나타난다. 이 결합의 강도가 가공물 표면의 결합 강도보다 강하다면, 재료가 표면에서 분리되어 공구 쪽으로 이동하며 가공물 표면에서 제거된다. 마지막으로 tribochemical reaction은 하중을 받는 표면 근처 영역이 마찰로 인해 활성화되면, 공구 혹은 가공품의 요소가 화학적으로 반응하는 것으로 나타난다. 이때 생성된 반응 생성물은 변화된 특성을 나타내고, 임계 두께에 도달하면 부서지기 쉬운 칩이 형성 되거나, 마찰/마모의 감소를 나타낼 수도 있다.

연마 가공 과정의 두 가지 주요 원리는 이체연마(2-body abrasion)와 삼체연마(3-body abrasion)이다. 이체연마는 연마 입자가 도구에 고정되어 있는 경우를 말하며, 이는 보다 정밀하고 예측 가능한 가공 결과를 제공한다. 반면, 삼체연마는 연마 입자가 자유롭게 움직일 수 있는 상태로, 이는 본 연구의 주요 관심사이다. 삼체연마는 더 복잡하고, 때로는 더 균일한 표면 처리를 가능하게 한다. 이번 연구에서는 특히 삼체연마 메커니즘에 초점을 맞추었다.



[그림 4] 연마의 원리

#### 나) 연마공정의 종류

배럴 연마(barrel polishing): 배럴 연마기에 부품, 연마제, 물 등을 넣고 기계를 돌려 버(burr) 및 날카로운 부분을 제거하고 표면 광택을 내는 처리로 주로 프레스 부품이나 다이캐스트 부품 등 작은 부품의 연마에 이용한다.

브러시 연마(brush finishing): 연마제를 넣은 선재를 묶어 만든 휠 혹은 캡형 브러시를 고속으로 회전시키는 방식으로 안정된 표면 품질 유지가 가능하고, 버의 영향을 제거하고, 좁은 슬릿이나 구멍의 마무리에도 이용이 가능하다.

버핑(buffing) 또는 싸우 연마: 고속으로 회전하는 원형의 버프에 연마제를 바르면서 부품에 눌러 대어 마찰로 연마하는 방식으로 주로 거울같은 표면을 만드는 mirror polishing에 사용된다. 광택감, 평활성이 향상되고, 용접 비드, 스크래치, 피트, 불순물, 버 제거에 용이하며, 전해 연마나 화학 연마의 이전 공정으로도 이용된다.

벨트 연마(belt polishing): 고속 회전하는 벨트에 연마제를 뿌리고 부품을 눌러 마찰로 연마하는 방식으로, 수도꼭지 등 자유 곡선을 가진 부품의 연마에 이용된다.

롤러 버니싱(roller burnishing): 절삭 가공된 금속 부품의 표면을 롤러로 눌러 표면의 마무리를 하는 방법으로 소성 가공의 일종이다. 짧은 시간 안에 경면(유리와 같이 반짝거리는 면)으로 가공이 가능하며, 가공 경화에 의해 내마모성과 피로강도를 향상 시킬 수 있다.

전해 연마/화학 연마(electro polishing/chemical polishing): 부품을 연마액에 담근 다음 표면을 연마하는 방법으로 화학연마와 달리 전해연마는 전류를 흘려 전기분해를 하는 과정이 포함된다. 금속 표면의 미세한 요철을 용해시켜 평평한 광택면을 얻을 수 있다. 해당 방식을 통해서도 복잡한 표면의 부품 연마가 가능하다.

레이저 연마(laser polishing): 표면에 레이저를 조사하여 얇게 표면층을 용융시키는 방식으로 녹은 표면은 표면장력에 의해 안쪽으로 이동시키면서 표면을 매끄럽게 만든다. 연마제를 사용하지 않는 연마의 일종으로 주로 수동으로 연마하던 분야에 적용이 가능하다.

호닝(honing): 호닝은 저속 연마공정으로 높은 표면 마무리를 제공하고, 가공물의 뒤틀림을 교정할 수 있는 가공 방식이다. 이 공정은 연마 슷돌을 이용하여 진행되며, 회전운동과 왕복운동의 동시 작용으로 표면을 마무리하는 공정이다.

## (5) 연마 작업

### 가) 연마 작업의 단계

연마는 조연마(grinding), 증연마(polishing), 광연마(buffing) 순으로 진행된다. 조연마는 면을 깎는데 사용하는 접착(bonded) 형태의 연마제를 이용하는 단계로 가공품에서 재료를 제거하거나, 표면에서 버를 제거하여 평평하게 만드는 단계이다. 증연마는 조연마에서 발생한 연마 흠을 완전히 제거하여 광택을 내는 과정이다. 광연마(버핑연마)는 증연마보다 미세한 연마 단계로, 연마할 면을 깎지 않고 광택을 증가시켜 표면 조도를 높이는 과정이다.

### 나) 연마제 경도와 활용

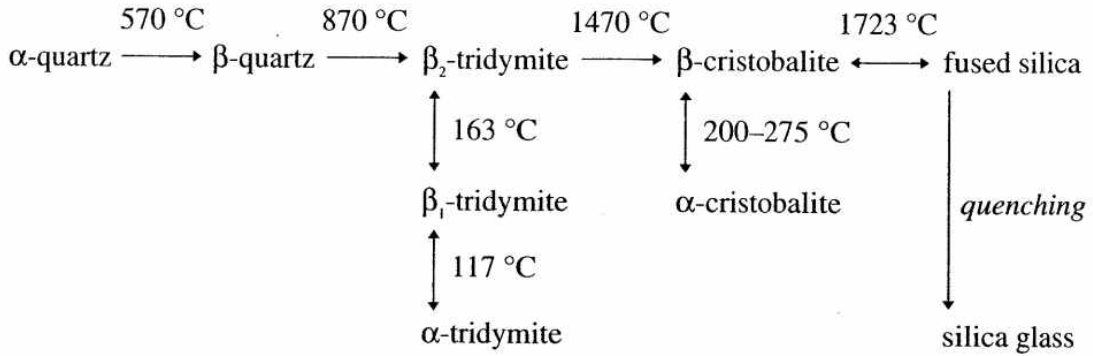
연마제의 사용은 효과적인 표면 가공을 위해 필수적이다. 이는 모스 경도 척도를 통해 그 중요성을 이해할 수 있다. 일반적으로 스테인리스 스틸은 모스 경도 6-7 정도의 경도를 가지고 있어, 효과적인 연마를 위해서는 이보다 높은 경도의 연마제가 필요하다. 특히 식기류에 주로 사용되는 304 또는 316 등급의 스테인리스 스틸은 모스 경도 4-5 정도로, 이를 효과적으로 연마하기 위해서는 더 높은 경도의 연마제가 요구된다. 시중에 사용되고 있는 연마제들

은 모스 경도 5에서 9까지 다양한 범위를 보여주고 있어, 스테인리스 스틸 표면 처리에 적합한 선택지를 제공한다. 이러한 경도 차이를 이용한 연마 과정은 스테인리스 스틸 제품의 표면 품질 향상과 원하는 마감 처리를 달성하는데 중요한 역할을 한다. 알루미늄 기반의 광약은 경도 5, 철 기반의 광약은 경도 6, 크롬 기반의 광약은 경도 9까지의 특성을 가지고 있고 주로 알루미늄 기반의 백광약을 사용하고 있다. 이때 해당 광약들은 유분을 함유하고 있기 때문에 연마가 끝나고 나서는 반드시 유분을 제거해줘야 한다. 이때 주로 사용하는 것이 규조토이다. 규조토는 미세한 다공성 물질로 유분을 제거하는데도 도움이 되며, 연마제로서도 고정밀 연마 작업에 주로 사용(창문, 그릇, 타일, 반도체 전자 부품, 광학기기 등)되고, 금속, 유리, 목재 등의 표면을 다듬는데 사용되고 있다. 제조업에서는 자동차, 항공기 부품, 웨이퍼 가공, 금속 가공에 사용하고, 건설업에서는 건축자재 가공(타일, 유리, 세라믹), 건축물 마감작업에 사용한다.

#### 다) 규조토 내의 산화규소

규조토에는 결정체 산화규소가 자연적으로 포함이 되어있고 1% 내외라고 알려져 있다. 이를 소성(하소)하게 되면 비결정이었던 산화규소가 국제암연구소(IARC)에서 분류하고 있는 1군(Group 1) 발암물질, 고용노동부에서 분류하고 있는 발암성 1A인 결정체 산화규소로 변화된다.

## 2) 산화규소의 특성



[그림 5] 산화규소의 상변화 과정

위 그림은 산화규소의 상변화 과정을 설명한다. 산화규소는 온도 변화에 따라 여러 결정 구조로 전이하며, 이 과정은 각 상의 독특한 물리적 특성과 구조적 특징을 반영한다. 먼저,  $\alpha$ -Quartz는  $570^\circ\text{C}$ 에서  $\beta$ -Quartz로 상전이하며 결정 구조가 변화한다. 이후  $870^\circ\text{C}$ 에서  $\beta$ -Quartz는  $\beta_2$ -Tridymite로 전환되고,  $\beta_2$ -Tridymite는 온도가 내려감에 따라  $163^\circ\text{C}$ 에서  $\beta_1$ -Tridymite로, 다시  $117^\circ\text{C}$ 에서  $\alpha$ -Tridymite로 변화한다.

$1470^\circ\text{C}$ 에서는  $\beta_2$ -Tridymite가  $\beta$ -Cristobalite로 전환되며,  $\beta$ -Cristobalite는 온도가  $200\text{--}275^\circ\text{C}$ 로 내려가면  $\alpha$ -Cristobalite로 상전이가 된다. 마지막으로  $1723^\circ\text{C}$ 에서 실리카는 켄칭(빠른 냉각) 과정을 통해 비정질 상태인 실리카 글라스(fused silica)로 변환된다.

이와 같은 상변화 과정은 실리카의 열적 안정성과 고온 환경에서의 물리적 특성을 이해하는 데 중요하다. 산화규소(석영)[ $\alpha$ -Quartz,  $\beta$ -Quartz], 산화규소(트리디마이트)[ $\alpha$ -Tridymite,  $\beta_1$ -Tridymite,  $\beta_2$ -Tridymite], 산화규소(크리스토파라이트)[ $\alpha$ -Cristobalite,  $\beta$ -Cristobalite]는 노출기준이 정해져 있다. 이들 각각은 온도에 따라 서로 다른 구조적 안정성을 가지며, 특정 온

도 범위에서 안정적인 상태를 유지한다. 예를 들어,  $\alpha$ -Quartz는 낮은 온도에서 안정하며,  $\beta$ -Quartz는 고온에서 안정성을 가지는 구조이다. Tridymite와 Cristobalite 또한  $\alpha$ 와  $\beta$ 의 두 가지 형태로 존재하며,  $\alpha$  형태는 낮은 온도에서,  $\beta$  형태는 높은 온도에서 안정적이다. Fused Silica(Silica Glass)는 빠른 냉각 과정을 통해 형성되는 비결정체(amorphous form)이다.

### 3) 건강 영향

#### (1) 연마제의 건강상 영향

국제암연구소(IARC)에서는 실리콘 카바이드(SiC, 탄화규소)의 발암성에 대하여 인체에 발암 가능성이 있는 물질로 분류하였다. 실리콘 카바이드 중에서도 섬유상 실리콘 카바이드를 2B군(Group 2B), 실리콘 카바이드 위스커를 2A군(Group 2A)로 분류하였다. 우리나라 고용노동부 화학물질의 노출기준에서는 실리콘 카바이드섬유상(수염형태 결정 포함) 물질에 한정하여 발암성 1B로 규정하고 있다. 일반적으로 연마제로 사용되는 실리콘 카바이드의 형태는 섬유상이 아닌 입자상 분말 등으로 사용되고 있다. 따라서 IARC에서 분류된 발암성이 있는 탄화규소의 형태와는 거리가 있으나, 실리콘 카바이드는 암 이외에도 분진의 형태로 흡입될 시 호흡기 자극, 기관지염 등을 일으킬 수 있다.

알루미나 연마제의 발암성은 확인되지 않았으나 관련하여 일부 연구가 수행되었다. 1987년 연마제 제조 공장 근무자를 대상으로 한 코호트 연구가 시행되었다. 탄화규소와 산화알루미늄을 포함한 연마제에 노출되었으며 암 사망률에 유의미한 증가가 없음을 확인하였다. 하지만 알루미나의 발암성에 대해서는 아직 관련 연구가 부족한 상황이다. 분진에 노출될 경우 진폐증이 발생할 수 있다.

## (2) 결정체 산화규소의 호흡기계 건강 영향

연마제 중에서는 산화규소를 주성분으로 하는 제품들이 다양하게 사용되고 있다. 산화규소는 결정체와 비결정체로 나뉘며, 석영과 크리스토팔라이트 등이 대표적인 결정체 산화규소이다. 결정체와 비결정체 중에서 결정체 산화규소가 인체에 중요한 건강 영향을 미치게 된다. 연마과정 중 발생하여 흡입된 결정체 산화규소의 분진은 호흡기계에 침착되며 폐의 대식세포에 의해 탐식되고 염증인자 분비되며 해당 과정이 반복된다. 이에 따라 폐의 손상과 섬유화가 진행되며 규폐증, 폐암, 만성폐쇄성폐질환 등 다양한 호흡기 질환을 유발하게 된다.

규폐증은 진폐증의 일종으로 10  $\mu\text{m}$  이하의 결정체 산화규소 분진이 폐포와 세기관지 말단에 침착되어 발생하는 간질성 폐질환이다. 규폐증은 급성 규폐증과 만성 규폐증으로 분류된다. 급성 규폐증은 고농도의 결정체 산화규소에 수 주-수 년간 노출되어 발생한다. 급성 규폐증은 질병의 진행 및 경과가 매우 빠르며 예후가 좋지 않다. 만성 규폐증은 상대적으로 낮은 산화규소 농도에 노출되고 작업 종사 10-30년 경과 후 발생하게 된다. 폐에 1-3 g의 결정체 산화규소가 침착되면 만성 규폐증이 발생하기에 충분하다고 알려져 있으며, 노출이 중단된 이후에도 병리적인 변화가 계속될 수 있다.

규폐증의 발생 과정에서 폐의 대식세포 기능 손상 등 면역 반응에 영향을 주어 폐결핵 및 마이코박테리아 감염, 진균 감염 등 호흡기계 감염성 질환의 위험도가 증가하게 된다. 2021년 수행된 메타분석에서도 공동 상대 위험도 (pooled relative risk, RR) 4.01 (95% 신뢰구간 2.88-5.58)로 규폐증 환자에서 결핵의 위험이 증가함을 확인하였다. 규폐증의 합병증으로 발생한 결핵의 위험성은 결정체 산화규소의 노출 기간 및 용량에 비례하여 증가하게 된다.

규폐증의 호흡기계 외 합병증으로는 규폐증의 진행으로 인한 폐심장증(Cor pulmonale)이 있다. 또한 폐 외의 장기에서의 규폐성 결절이 발생할 수 있

다. 폐외 규폐성 결절은 분진이 호흡기계를 넘어 혈액이나 림프를 통해 간, 비장, 췌장 등으로 운반되거나 면역 반응을 통해 관여하는 것으로 추정된다.

국제암연구소(IARC)에서는 결정체 산화규소 분진을 1997년 인체에 발암성이 있는 1군(Group 1) 발암물질로 분류하였으며, 이후 폐를 표적 기관으로 지정하였다. 결정체 산화규소는 비소세포암과 소세포암을 포함한 암종을 유발할 수 있다. 산화규소로 인한 폐암은 규폐증에 이환되지 않은 상태에서도 발생할 수 있다. 2009년 수행된 메타분석에서도 산화규소에 의해 폐암의 위험도가 증가함과 양-반응 관계가 존재함을 확인하였다.

결정체 산화규소로 발생할 수 있는 이외의 호흡기 질환으로는 만성폐쇄성 폐질환, 폐기종, 기관지염, 기관지확장증, 기흉이 있다. 이는 규폐증의 진행에 따라 폐에 구조적 변화가 발생하여 이환될 수도 있으나 결정체 산화규소 자체로 인한 염증 반응으로 인해 발생할 수 있다.

### (3) 결정체 산화규소의 호흡기계 외 건강 영향

연마작업을 통해 생성된 결정체 산화규소의 분진은 호흡기를 통해서도 인체에 유입될 수 있으나 소화기계를 통한 유입도 가능할 것으로 추정된다. Lee 등은 체계적 문헌 고찰 및 메타분석을 통해 2014년 12월까지 발표된 9개의 환자-대조군 연구와 20편의 코호트 연구를 포함한 29개의 문헌을 분석하였다. 결정체 산화규소의 직업적 노출과 위암은 유의미한 연관성이 있음을 확인하였으며 메타-효과크기(Meta-effect size) 1.25 (95% 신뢰구간 1.18-1.34)로 확인되었다.

결정체 산화규소의 직업적 노출은 류마티스 관절염, 전신성 경화증 등의 자가면역 질환과 연관이 있는 것으로 확인된다. 민감성이 있는 사람이 결정체 산화규소 입자에 호흡기를 통해 노출되면 ANA (anti-nuclear antibody), ANCA (anti-neutrophil cytoplasmic antibody)와 같은 자가항체가 유발되며 이에 따라 자가면역 질환이 발생할 수 있다.

결정체 산화규소의 노출이 사구체 신염, 간질성 신염, 신부전 등 신장 질환과 관련이 있다는 연구가 다수 보고되어 있다. 산화규소에 노출되는 세라믹 근로자들에 대한 연구에서 신장질환 사망률 표준화사망비(standardized mortality, SMR) 3.21 (95% 신뢰구간 1.17-6.98)로 높음을 확인하였다. 또한 Stratta 등이 수행한 연구에서는 이전의 산화규소와 신질환의 관련성을 다룬 연구들을 검토하였다. 해당 연구에서 실리카에 노출되는 경우에 신부전의 비례사망비(proportional mortality ratio, PMR)는 1.46-3.81로 증가하였으며 사구체 신염 발생의 비차비(odds ratio, OR)는 4.27로 위험이 증가하였음을 확인하였다.

산화규소에 의한 만성 신장 질환은 노출 후 잠복기가 3-27년으로 다양하게 보고되고 있으며, 면역 기전에 의한 효과와 산화규소가 신장에 축적되어 산화적 스트레스를 유발하는 직접 독성 기전에 의해 발생할 수 있을 것으로 설명된다.

#### 4) 산화규소의 노출기준

우리나라 고용노동부는 네 가지 형태의 산화규소를 발암성 1A로 지정하고 있다. 산화규소(결정체 석영), 산화규소(결정체 크리스토파라이트), 산화규소(결정체 트리디마이트), 산화규소(결정체 트리폴리)가 이에 해당한다.

〈표 2〉 산화규소와 관련된 유해물질의 고용노동부 노출기준

유해물질의 명칭		노출기준		비고 (CAS번호 등)
국문표기	영문표기	TWA ppm mg/m <sup>3</sup>	STEL ppm mg/m <sup>3</sup>	
산화규소 (결정체 석영)	Silica (Crystalline Quartz) (Respirable fraction)	- 0.05	- -	[14808-60-7] 발암성 1A, 호흡성
산화규소 (결정체 크리스토파라이트)	Silica (Crystalline cristobalite) (Respirable fraction)	- 0.05	- -	[14464-46-1] 발암성 1A, 호흡성
산화규소 (결정체 트리디마이트)	Silica (Crystalline tridymite) (Respirable fraction)	- 0.05	- -	[15468-32-3] 발암성 1A, 호흡성
산화규소 (결정체 트리폴리)	Silica (Crystalline tripoli) (Respirable fraction)	- 0.1	- -	[1317-95-9] 발암성 1A, 호흡성
산화규소 (비결정체 규소, 용융된)	Silica (Amorphous silica, fused) (Respirable fraction)	- 0.1	- -	[60676-86-0] 호흡성
산화규소 (비결정체 규조토)	Silica (Amorphous diatomaceous earth)	- 10	- -	[61790-53-2]
산화규소 (비결정체 침전된 규소)	Silica (Amorphous precipitated silica)	- 10	- -	[112926-00-8]
산화규소(비결정체 실리카겔)	Silica (Amorphous silicagel)	- 10	- -	[112926-00-8]
규조토	Diatomaceous earth	- 10	- -	-

## 2. 연마 관련 근로자 노출 현황 및 산업 조사

### 1) 연마제 관련 근로자 노출 조사

#### (1) 작업환경측정자료를 분석한 연마공정 현황

고용노동부에서 발간한 2022년도 작업환경측정 실시 결과를 분석 해보면 유해인자별 노출기준 초과현황을 보면 노출기준 초과가 가장 많이 이루어진 유해인자는 소음이며 그 다음 순으로 유기화합물, 분진 순으로 나타났다.

고용노동부에서는 한 사업장에서 여러 개의 물질을 사용할 수 있기에 물질별 사업장 합계와 실 사업장 합계의 차이가 있어 실제 사업장 수를 실 사업장 수로 칭하고 있다.

〈표 3〉 유해인자별 노출기준 초과 현황

구 분		실 사업장수	소 음	분 진	유기 화합물	산· 알칼리	금속	허가 물질	고열	금속 가공유	가스상 물질	기타
2018	실시사업장수	71,143	53,574	33,413	33,332	13,051	40,566	472	3,487	14,981	5,936	12,290
	초과사업장수	8,119	7,852	146	208	4	62	1	64	6	4	37
	초과율(%)	(11.4)	(14.7)	(0.4)	(0.6)	(0.1)	(0.2)	(0.2)	(1.8)	(0.1)	(0.1)	(0.3)
2019	실시사업장수	75,001	55,714	36,205	34,915	13,585	43,263	468	3,793	15,764	6,491	13,668
	초과사업장수	8,137	7,850	162	220	3	63	0	43	11	5	40
	초과율(%)	(10.8)	(14.1)	(0.4)	(0.6)	(0.0)	(0.1)	(0.0)	(1.1)	(0.1)	(0.1)	(0.3)
2020	실시사업장수	75,468	55,366	36,978	34,869	13,770	43,975	471	3,818	15,977	7,170	14,971
	초과사업장수	8,400	8,184	160	163	1	48	1	38	4	3	36
	초과율(%)	(11.1)	(14.8)	(0.4)	(0.5)	(0.0)	(0.1)	(0.2)	(1.0)	(0.0)	(0.0)	(0.2)
2021	실시사업장수	75,377	54,780	37,444	34,797	14,023	44,101	471	3,874	15,553	7,358	16,167
	초과사업장수	7,978	7,785	130	142	4	46	-	48	6	6	42
	초과율(%)	(10.6)	(14.2)	(0.3)	(0.4)	(0.0)	(0.1)	(0.0)	(1.2)	(0.0)	(0.1)	(0.3)
2022	실시사업장수	79,530	58,157	40,670	36,414	14,721	46,487	514	4,042	15,957	7,987	18,251
	초과사업장수	8,371	8,148	171	176	5	59	0	58	5	3	42
	초과율(%)	(10.5)	(14.0)	(0.4)	(0.5)	(0.0)	(0.1)	(0.0)	(1.4)	(0.0)	(0.0)	(0.2)

산화규소 계열의 물질 및 그 밖에 연마작업 시 노출 가능성이 있는 물질을 대상으로 작업환경측정결과 자료(2017년-2023년)를 수집하여 분석하였다.

연마공정으로 분류되어 있는 공정명과 취급하고 있는 연마공정에서 사용하고 있는 화학물질을 중심으로 분석을 실시하였다. 작업환경측정 결과 분석에 사용된 유해인자 코드와 물질명으로 작업환경측정 결과를 분석해보면 유해물질의 노출기준에 표기되어있는 명칭과 다름을 알 수 있다. 규산(석영), 규산(크리스토티바라이트), 규산(트리디마이트), 그리고 산화규소-결정체-트리폴리가 이에 해당한다. 작업환경측정 결과를 분석한 결과 일부 물질이 서로 다른 유해인자코드로 중복 지정되어 있었다. 예를 들어, 규산(석영)은 유해인자코드 41001과 51498로 각각 지정되어 있으나, 이는 동일한 물질이다. 마찬가지로 규산(크리스토티바라이트)도 41002와 51484라는 두 개의 코드로 지정되어 있다. 이러한 중복 지정은 행정적인 이유나 물질의 다양한 용도 및 형태를 고려한 것으로 보이나, 실제로는 같은 물질을 나타내고 있다. 이에 대하여는 작업환경에서의 유해인자 관리와 향후 통계분석을 할 때 누락되지 않도록 하는 것이 필요하다.

반면, 비결정체 실리카 형태인 용융된 산화규소, 규조토, 침전된 규소, 실리카겔 등은 현재 발암성 1A로 지정되어 있지 않다. 그러나 이들 물질 중 일부, 특히 규조토의 경우 결정체 산화규소를 포함할 수 있어 주의가 필요하다.

산화규소( $\text{SiO}_2$ ) 30% 이상의 분진 개념은 2009년까지 사용하던 개념으로 2010년에 개정이 되었지만 일부 작업환경측정기관에서 유해인자 코드로 사용하여 이번 자료 분석 때 함께 포함되었다.

〈표 4〉 작업환경측정 결과 분석에 사용된 유해인자 코드와 물질명

유해인자코드	물질명(영문)	물질명(국문)	CAS No.	비고
41001	Silica(Quartz)	규산(석영)	14808-60-7	발암성 1A
41002	Silica(Cristobalite)	규산(크리스토파라이트)	14464-46-1	발암성 1A
41003	Silica(Trydimite)	규산(트리디마이트)	15468-32-3	발암성 1A
51166	Silica-Crystalline Tripoli	산화규소-결정체-트리폴리	1317-95-9	발암성 1A
51167	Silica-Amorphous Silica, fused	산화규소-비결정체-용융된 것	60676-86-0	
51168	Silica-Amorphous - Diatomaceous earth	산화규소-비결정체-규조토	61790-53-2	
51169	Silica-Amorphous - Precipitated silica	산화규소-비결정체-침전된 규소	112926-00-8	
51170	Silica-Amorphous Silica gel	산화규소-비결정체-실리카 겔	112926-00-8	
51484	Silica-Crystalline Cristobalite	크리스토파라이트	14464-46-1	발암성 1A
51498	Silica-Crystalline Quartz	석영	14808-60-7	발암성 1A
51512	Silica gel	실리카겔	112926-00-8	
41007	Silicates(Talc, non-asbestiform)	규산염(활석)	14807-96-6	
41008	Silicates(Graphite)	규산염(흑연)	7782-42-5	
41009	Particulates	기타광물성분진		
41010		산화규소(SiO <sub>2</sub> ) 30% 이상의 분진 <sup>1)</sup>		발암성 1A
41011		산화규소(SiO <sub>2</sub> ) 30% 미만의 광물성분진		
47001		기타분진		
51240	Emery	에머리	1302-74-5	

1) 고용노동부고시 제2010-44호 화학물질 및 물리적인자의 노출기준(고용노동부고시 제 2009-38호) 일부를 다음과 같이 개정 때 총분진 개념에서 개정되었으나 일부 측정기관에서 사용. 고시번호가 서로 다름.

연마공정에 대하여 상세하게 <표 5>에서 살펴보면, 연마작업을 보유한 공정의 사업장 현황은 2017년 이후 점차 증가하는 추세이다. 2017년 상반기 156개 사업장에서 2023년 하반기 368개 사업장으로, 측정 대상 사업장 개수가 지속해서 증가했다. 7년간의 데이터를 볼 때, 연마공정 보유 사업장 수는 2017년 대비 2023년에 2배 이상 증가했다.

**<표 5> 연마공정 보유 사업장 현황(2017년-2023년)**

	2017년	2018년	2019년	2020년	2021년	2022년	2023년
상반기	156	262	364	441	427	461	468
하반기	172	294	377	347	357	379	368

사업장 수가 증가하면서 작업환경측정 대상 사업장에 근무하는 전체 근로자 수도 함께 증가하는 추세였다<표 6>. 하지만 이는 연마공정에 근무하는 근로자 수가 아니라 해당 사업장의 전체 근로자 수이기 때문에 해석 시 주의해야 한다. 그럼에도 연마작업 노출 근로자수를 추정하기 위하여 분석하였다.

연마공정 보유 사업장의 전체 근로자 수는 2017년부터 2023년까지 지속적으로 증가하는 추세를 보였다. 2017년 상반기 14,332명이었던 근로자 수는 2023년 하반기에 85,581명으로 크게 증가했다.

**<표 6> 연마공정 보유 사업장 전체 근로자 현황(연마공정 보유 사업장 전체 근로자)**

	2017년	2018년	2019년	2020년	2021년	2022년	2023년
상반기	14,332	17,702	35,595	44,499	43,137	39,192	85,064
하반기	14,119	17,721	34,619	41,043	45,690	49,708	85,581

연마공정은 제조업에서 흔히 있는 공정이다. 작업환경측정 결과에 기재된 표준산업분류 세세분류에 따라 연마공정을 보유한 사업장 현황을 확인해볼 수 있다. 주형 및 금형 제조업에서 66개의 사업장이 취급하여 가장 많았으며, 도금업(64개)과 기타 금속 가공업(62개)이 뒤를 이었다. 자동차 산업 관련 업종에서는 자동차용 신품 부품 제조업(48개), 자동차 종합 수리업(43개), 자동차 차체용 신품 부품 제조업(19개)이 조사되었다. 기타 석제품 제조업(44개)과 일반 목적용 기계 제조업(40개) 사업장도 상당수를 차지했다. 전자 산업 분야에서는 기타 전자 부품 제조업(32개), 의료 분야에서는 치과용 기기 제조업(31개) 사업장이 확인되었다. 이 외에도 달리 분류되지 않은 제품 제조업(31개), 분류 안된 금속 가공제품 제조업(25개), 목재 가구 제조업(37개), 수동식 식품 가공 기기 및 금속 주방용기 제조업(25개), 도장 및 기타 피막 처리업(24개), 기타 플라스틱 제품 제조업(19개)이 연마공정을 보유하고 있었다.

〈표 7〉 표준산업분류에 따른 연마공정 보유 작업환경측정 사업장 현황

표준산업분류(세세분류)	사업장 수
주형 및 금형 제조업	66
도금업	64
그 외 기타 금속 가공업	62
그 외 자동차용 신품 부품 제조업	48
기타 석제품 제조업	44
자동차 종합 수리업	43
그 외 기타 일반 목적용 기계 제조업	40
기타 목재 가구 제조업	37
그 외 기타 전자 부품 제조업	32
그 외 기타 달리 분류되지 않은 제품 제조업	31
치과용 기기 제조업	31
그 외 기타 분류 안된 금속 가공제품 제조업	25
수동식 식품 가공 기기 및 금속 주방용기 제조업	25
도장 및 기타 피막 처리업	24
그 외 기타 플라스틱 제품 제조업	19
자동차 차체용 신품 부품 제조업	19

연마공정에서의 연도별, 반기별 작업환경측정 대상물질 현황을 분석한 결과, 2017년부터 2023년까지 총 10,331건의 측정이 이루어졌다. 이 중 가장 높은 비중을 차지한 물질은 기타광물성분진으로, 전체의 72.6%인 7,496건을 차지했다. 규산(석영)과 석영이 그 뒤를 이어 각각 1,173건(11.4%)과 1,150건(11.1%)으로 높은 빈도를 보였다. 이 두 물질은 합쳐서 전체 측정의 약 22.5%를 차지했다. 실제로 두 가지는 같은 물질이지만, 현재 작업환경측정기관에서 두 가지를 혼용하여 사용하기 때문에 통계 분석을 할 때는 분리하여 진행하였다. 규산(크리스토프라이트)는 172건(1.7%), 규산염(활석)은 105건(1.0%)으로 측정되어 앞선 물질들에 비해 상대적으로 낮은 빈도를 나타냈다.

대부분의 물질들은 연도별로 증가하는 추세를 보였다. 특히 기타광물성분진의 경우, 2017년 상반기 172건에서 2023년 하반기 636건으로 크게 증가했다. 석영 역시 2017년 상반기 22건에서 2023년 하반기 126건으로 상당한 증가세를 보였다.

산화규소( $\text{SiO}_2$ ) 30% 이상의 분진과 같은 일부 물질들은 전체 기간 동안 단 5건(0.05%)만 측정되어 매우 낮은 빈도를 보였다. 반면, 에머리는 매 반기마다 2건씩 일정하게 측정되어 총 28건(0.3%)을 기록했다. 전반적으로 측정 대상 물질의 측정 건수가 증가했다. 2017년 상반기 296건이었던 총 측정 건수는 2023년 하반기에 862건으로 약 3배 가량 증가했다.

〈표 8〉 연마공정 보유 사업장의 연도별, 반기별, 작업환경측정 대상물질 현황

유해물질명	연도 반기 물질 코드	2017년		2018년		2019년		2020년		2021년		2022년		2023년		총계
		상	하	상	하	상	하	상	하	상	하	상	하			
		규산(석영)	41001	61	67	74	76	112	1	89	109	71	102	64	91	
석영	51498	22	27	46	52	76	70	82	71	95	101	142	116	124	126	1,150
규산(크리스토티바라이트)	41002	7	10	11	13	24	19	17	10	11	6	14	12	12	6	172
규산염(활석)	41007	16	1	13	3	9	4	9	3	11	5	13	1	12	5	105
규산염(흑연)	41008	0	9	5	5	2	2	2	2	2	3	2	2	2	2	40
기타광물성분진	41009	172	193	357	437	553	579	707	556	685	568	725	584	744	636	7,496
산화규소(SiO <sub>2</sub> )30% 이상의 분진	41010	1	0	0	0	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	5
기타분진	47001	14	11	5	7	10	5	9	8	4	7	11	13	12	6	122
산화규소-비결정체-규조토	51168	1	0	0	0	4	2	0	0	2	2	2	4	4	4	25
산화규소-비결정체-실리카겔	51170	0	1	6	0	2	2	1	0	1	0	1	0	1	0	15
에머리	51240	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	28
총계		296	321	519	595	796	805	9	761	884	796	976	825	975	862	10,331

연도별, 반기별 작업환경측정 대상물질의 측정 결과 노출기준 초과 현황을 분석한 결과, 2017년부터 2023년까지 총 14건의 초과 사례가 발생했다. 이 중 대부분은 석영에 의한 것이었으며, 규산(석영)과 기타광물성분진에서도 각각 1건씩의 초과 사례가 있었다.

2017년에는 건설용 석재 채굴 및 쇄석 생산업의 기타가공 공정에서 규산(석영)이 노출기준을 초과했다. 2019년에는 기타 비철금속 주조업의 연마 부서에서 기타광물성분진의 노출 수준이 높게 측정되어 기준을 초과했다.

주목할 만한 점은 2021년부터 2023년까지 특정 사업장에서 지속적으로 노출기준 초과가 발생했다는 것이었다. 탭, 밸브 및 유사 장치 제조업의 쇼트 및 연마부에서 석영의 노출 수준이 계속해서 기준치를 초과했다. 추가로 2023년에는 기타 석제품 제조업의 재단기/연마기 부서에서도 석영의 노출 수준이 기준치를 일부 초과했다.

발암성 1A로 지정된 규산(석영)에 대한 노출기준 초과가 발생했다는 점과 한 사업장에서 지속적으로 초과가 발생했다는 점이 주요한 특징으로 나타났다.

〈표 9〉 연마공정 보유 사업장의 연도별, 반기별, 작업환경측정 대상물질 측정 결과 노출기준 초과 현황

유해물질명	연도 반기 물질 코드	2017년		2018년		2019년		2020년		2021년		2022년		2023년		총계
		상	하	상	하	상	하	상	하	상	하	상	하	상	하	
규산(석영)	41001	1														1
석영	51498									2	2	2		2	4	12
규산(크리스토타바라이트)	41002															
규산염(활석)	41007															
규산염(흑연)	41008															
기타광물성분진	41009					1										1
산화규소(SiO <sub>2</sub> )30% 이상의 분진	41010															
기타분진	47001															
산화규소-비결정체-규조토	51168															
산화규소-비결정체-실리카겔	51170															
에머리	51240															
총계																14

## (2) 연마제 함유 생활화학제품 조사를 통한 잠재적 근로자 노출 조사

근로자가 연마제에 노출 될 수 있는 다른 방법으로는 연마제(석영 등)이 포함된 광택제, 세정제 등 생활화학제품으로 판매가 되고 있는 광택제나 세정제를 직업적으로 제조 또는 사용하면서 노출될 수 있다.

주요 조사대상은 석영, 이산화규소( $\text{SiO}_2$ ), 크리스토파라이트, 규조토가 주요물질 또는 기타물질에 있는 제품을 조사하였다. 자료의 출처는 환경부에서 제공하는 초록누리 DB에서 검색하여 조사하였다.

석영이 주요 물질로 포함된 제품은 13종으로 조사되었다. 조사 결과, 다양한 생활화학제품에서 이러한 물질들이 사용되고 있음이 확인되었다. 세정제 제품과 코팅제품이 주를 이루었으며, 특히 세정제 카테고리에서 석영 또는 이산화규소를 포함한 제품이 많았다. 이들 제품은 주로 일반용 세정제로, 오븐, 렌지후드, 욕실, 변기, 싱크대, 타일, 조리대, 금속 표면 등을 대상으로 다양한 용도로 사용되고 있었다. 제품 제형은 비분사형이 대부분이었으며, 에멀션형(페이스트형 포함)과 액체형이 주를 이루었다. 일부 코팅제품의 경우 분사형-분무기형 제품도 있었다. 조사된 제품 중 상당수가 수입 제품이었으나, 국산 제품도 여러 종 포함되어 있었다. 특히 자동차용 코팅제 중 일부는 국산 제품이었다. 주요물질 목록을 살펴보면, 석영(이산화규소)이 가장 빈번하게 등장했다. 이 물질은 다양한 세정제와 코팅제에서 주요 성분으로 사용되고 있었다. 일부 제품에서는 석영이 다른 화학물질들과 함께 사용되고 있었는데, 이는 제품의 특성과 용도에 따라 다양한 조합이 이루어지고 있음을 알 수 있었다. 자동차용 제품에서도 석영(이산화규소)이 사용되고 있었는데, 특히 외부용 코팅제에서 이 물질이 발견되었다. 이는 석영의 내구성과 광택 특성이 자동차 외장 관리에 활용되고 있음을 보여주었다.

〈표 10〉 초록누리 DB를 통해 확인한 석영이 포함된 생활화학제품 (13종)

품목군	품목	제품제형	제품용도	주요물질	수입/국산
세정제품	세정제	비분사형-에멀션형(페이스트형)	일반용-오븐용, 일반용-렌지후드용, 일반용-욕실용, 일반용-변기용, 일반용-기타표면세정용-싱크대용, 타일용, 조리대용, 후드용, 세면대용, 금속용, 가스레인지용, 전기레인지용	석영(이산화규소), 알코올(C12-C15)에톡실레이트, 염화 디데실디메틸암모늄, 지방산, 팜유, 소듐 염, 지방산, 팜핵-유, 소듐 염	수입
세정제품	세정제	비분사형-에멀션형(페이스트형)	일반용-기타표면세정용-금속용	석영(SiO <sub>2</sub> ), 정제수	수입
세정제품	세정제	비분사형-에멀션형	일반용-기타표면세정용-전기레인지클리너	석영(SiO <sub>2</sub> ), 정제수, 폴리프로필렌 글리콜 에틸렌	수입
세정제품	세정제	비분사형-에멀션형	일반용-오븐용, 일반용-렌지후드용, 일반용-욕실용, 일반용-변기용, 일반용-기타표면세정용-싱크대용, 가스레인지용, 전자레인지용	글리세롤, 물, 석영(이산화규소)	국산

품목군	품목	제품제형	제품용도	주요물질	수입/국산
세정제품	세정제	비분사형-에멀션형	일반용-오븐용, 일반용-렌지후드용, 일반용-욕실용, 일반용-변기용, 일반용-기타표면세정용-싱크대용, 가스레인지용, 전자레인지용	글리세롤, 물, 석영(이산화규소)	국산
세정제품	세정제	비분사형-액체형	일반용-오븐용, 일반용-렌지후드용, 일반용-욕실용	석영, 이산화규소	수입
세정제품	세정제	비분사형-액체형	자동차용-외부용	나프탈렌설펜산 중합체 및 포름알데히드나트륨 염, 석영(이산화규소), 정제수	수입
세정제품	세정제	비분사형-액체형(페이스트형)	일반용-기타표면세정용-싱크대, 인덕션	(Z)-9-옥타데칸 산 소듐 염, 물, 석영(SiO <sub>2</sub> )	수입
세정제품	세정제	비분사형-액체형(페이스트형)	일반용-기타표면세정용-싱크대, 인덕션	(Z)-9-옥타데칸 산 소듐 염, 물, 석영(SiO <sub>2</sub> )	수입
세정제품	세정제	비분사형-액체형(에멀션형)	일반용-기타표면세정용-금속용	석영, 정제수	수입

품목군	품목	제품제형	제품용도	주요물질	수입/국산
코팅제품	광택코팅제, 특수목적 코팅제	분사형-분무기형	자동차용-외부용	$\alpha$ -도데실- $\omega$ -하이드록시-폴리(옥시-1,2-에탄디일), 물, 석영(이산화규소), 실록세인과 실리콘, 3-[(2-아미노에틸)아미노]프로필 메틸, 다이-메틸	국산
코팅제품	특수목적코팅제	비분사형-액체형	자동차용-외부용	석영(이산화규소), 크실렌	국산
코팅제품	광택 코팅제	비분사형-에멀션형	일반용-금속용	석영(SiO <sub>2</sub> ), 정제수	수입

초록누리 DB를 통하여 43종의 생활화학제품을 분석한 결과, 다양한 제품에서 규조토가 사용되고 있음이 확인되었다. 규조토 내에 결정체 산화규소(석영)이 포함되어 있을 가능성이 있었다. 조사된 제품들 중 상당수가 세정제품과 코팅제품이었으며, 특히 자동차용 외부 코팅제와 일반 가정용 세정제에서 규조토의 사용이 두드러졌다. 제품 형태는 주로 비분사형으로, 에멀션형(페이스트형 포함)과 액체형이 대부분이었다. 오븐, 렌지후드, 욕실, 변기, 금속 표면, 자동차 외부 등 광범위한 영역에서 규조토를 포함한 제품들이 사용되고 있었다. 이는 규조토의 연마 및 흡착 특성이 다양한 청소 및 코팅 용도에 적합하기 때문으로 보였다. 대부분의 조사된 제품들이 국산이었다는 점도 주목할 만했다. 이는 국내 제조업체들이 규조토의 특성을 활용한 제품 개발에 적극임을 알 수 있었다.

〈표 11〉 초록누리 DB를 통해 확인한 규조토가 포함된 생활화학제품 (43종)

품목군	품목	제품제형	제품용도	주요물질	기타물질	수입/ 국산
세정제품	세정제	비분사형- 티슈형	자동차용-외부용	마그네슘 실리콘 소듐 플로라이드 하이드록사이드 옥사이드, 셀룰로즈, 재생 / 부직포, 실리콘 카바이드, 아나타제, 용제-칼신화 규조토	실리콘 카바이드	수입
코팅제품, 세정제품	광택코팅제, 제거제	비분사형- 액체형	자동차용-외부용	규조토, 정제수, 파라핀왁스	정보없음	국산
코팅제품	광택코팅제	비분사형- 에멀션형	자동차용-외부용	수소처리된 중질 나프타, 용제-하소된 규조토, 정제수	1,2-벤즈아이소티아졸-3(2H)-온, 보존제(1,2-벤즈아이소티아졸-3(2 H)-온 등), 수산화 나트륨	국산
코팅제품	광택코팅제	비분사형- 에멀션형	자동차용-외부용	수소처리된 중질 나프타, 용제-하소된 규조토, 정제수	1,2-벤즈아이소티아졸-3(2H)-온, 보존제(1,2-벤즈아이소티아졸-3(2 H)-온 등), 수산화 나트륨	국산
코팅제품	광택코팅제	비분사형- 에멀션형	자동차용-외부용	수소처리된 중질 나프타, 용제-하소된 규조토, 정제수	1,2-벤즈아이소티아졸-3(2H)-온, 보존제(1,2-벤즈아이소티아졸-3(2 H)-온 등), 사이클로헥산, 수산화 나트륨	국산

품목군	품목	제품제형	제품용도	주요물질	기타물질	수입/ 국산
코팅제품	광택코팅제	비분사형-액체형 (에멀션형)	자동차용-외부용	수소처리된 중질 나프타, 용제-하소된 규조토, 정제수	1,2-벤즈아이소티아졸-3(2H)-온, 보존제(1,2-벤즈아이소티아졸-3(2H)-온 등), 수산화 나트륨	국산
세정제품	세정제	비분사형-에멀션형	일반용-오븐용, 일반용-렌지후드용, 일반용-기타표면세정용-스테인리스용, 녹, 그을음, 찌든때	규조토, 정제수	정보없음	국산
세정제품	세정제	비분사형-분말형	일반용-기타표면세정용-싱크볼용, 가스레인지용, 바닥용 등	규조토	정보없음	국산
세정제품	세정제	비분사형-에멀션형	일반용-오븐용, 일반용-렌지후드용, 일반용-기타표면세정용-스테인리스용, 녹, 그을음, 찌든때	규조토, 정제수	정보없음	국산

품목군	품목	제품제형	제품용도	주요물질	기타물질	수입/국산
세정제품	세정제	비분사형-에멀션형	일반용-기타표면세정용-유리용, 자동차용-외부용	규조토	정보없음	국산
코팅제품	광택코팅제	비분사형-에멀션형	일반용-금속용	규조토, 물, 연마제(카올린 등)	정보없음	국산
코팅제품	광택코팅제	비분사형-액체형	일반용-금속용	규조토, 물	1,3,4,6,7,8-헥사하이드로-4,6,6,7,8,8-헥사메틸사이클로펜타 [g]-2-벤조피란, 리모넨, 석영(이산화규소)	국산
코팅제품	광택 코팅제	비분사형-액체형	일반용-금속용	규조토, 물	1,3,4,6,7,8-헥사하이드로-4,6,6,7,8,8-헥사메틸사이클로펜타 [g]-2-벤조피란, 리모넨, 석영(이산화규소)	국산
세정제품	세정제	비분사형-에멀션형	일반용-오븐용, 일반용-렌지후드용, 일반용-기타표면세정용-스테인리스용, 녹, 그을음, 찌든때	규조토, 소듐코코일알라니네이트	정보없음	국산

품목군	품목	제품제형	제품용도	주요물질	기타물질	수입/ 국산
세정제품, 코팅제품	세정제, 특수 목적코팅제, 제거제	비분사형- 에멀션형 (페이스트 형)	일반용-악기용, 일반 용-변기용, 일반용- 욕실용, 일반용-오븐 용, 자동차용-외부용, 일반용-김서림 방지용-(거울용), 일 반용-오염 방지용, 일반용-얼룩 제거용, 일반용-기타 제거용-기름때제거 용, 요석제거용, 그을 음제거용)	2인산칼륨, 규조토, 물, 아크릴산 중합체·나트륨염	정보없음	국산
코팅제품	광택 코팅제	비분사형- 액체형	일반용-금속용	규조토, 물	1,3,4,6,7,8- 헥사하이드로 -4,6,6,7,8,8- 헥사메틸사이클로펜타 [g]-2- 벤조피란, 리모넨, 석영(이산화규소)	국산

품목군	품목	제품제형	제품용도	주요물질	기타물질	수입/ 국산
세정제품	세정제	비분사형- 에멀션형	일반용-오븐용, 일반용-렌지후드용, 일반용-기타표면세 정용-스테인리스용, 녹, 그을음, 찌든때	규조토, 정제수	정보없음	국산
코팅제품	광택 코팅제	비분사형- 액체형	일반용-금속용	규조토, 물	1,3,4,6,7,8- 헥사하이드로 -4,6,6,7,8,8- 헥사메틸사이클로펜타 [g]-2- 벤조피란, 리모넨, 석영(이산화규소)	국산
세정제품	세정제	비분사형- 에멀션형	일반용-오븐용, 일반용-렌지후드용, 일반용-기타표면세 정용-스테인리스용, 녹, 그을음, 찌든때	규조토, 정제수	정보없음	국산

품목군	품목	제품제형	제품용도	주요물질	기타물질	수입/ 국산
코팅제품, 세정제품	광택 코팅제, 제거 제	비분사형- 에멀션형 (페이스트 형)	일반용-금속용, 자동 차용-외부용, 일반용-기타제거용- 흡집제거용, 자동차용-외부용-흡 집제거용	광물성 스피릿, 용제-하소된 규조토, 정제수	정보없음	국산
세정제품	세정제	비분사형- 에멀션형	일반용-오븐용, 일반용-렌지후드용, 일반용-기타표면세 정용-스테인리스용, 녹, 그을음, 찌든때	규조토, 소듐코코일알라니네이트	정보없음	국산
세정제품	세정제	비분사형- 에멀션형	일반용-오븐용, 일반용-렌지후드용, 일반용-기타표면세 정용-스테인리스용, 녹, 그을음, 찌든때	규조토, 소듐코코일알라니네이트	정보없음	국산

품목군	품목	제품제형	제품용도	주요물질	기타물질	수입/ 국산
세정제품	세정제	비분사형- 에멀션형	일반용-오븐용, 일반용-렌지후드용, 일반용-욕실용, 일반용-기타표면세 정용-운동화표면용	규조토, 에톡시레이티드알코올, 정제수	1,2-벤즈아이소티아졸-3(2H)-온	국산
코팅제품	광택 코팅제	비분사형- 에멀션형	일반용-금속용,자동 차용-외부용	광물성 스피릿, 용제-하소된 규조토	정보없음	국산
코팅제품, 세정제품	광택 코팅제,제거 제	비분사형- 액체형	일반용-금속용, 일반용-가죽용, 일반용-플라스틱용, 일반용-고무용,자동 차용-외부용	다이메틸폴리실록산, 정제수, 칼산화규조토	정보없음	국산
코팅제품	광택 코팅제	비분사형- 에멀션형( 페이스트 형)	일반용-금속용, 자동차용-외부용	광물성 스피릿, 용제-하소된 규조토, 정제수	정보없음	국산
코팅제품	광택 코팅제	비분사형- 에멀션형	일반용-금속용, 자동차용-외부용	광물성 스피릿, 용제-하소된 규조토	정보없음	국산

품목군	품목	제품제형	제품용도	주요물질	기타물질	수입/ 국산
코팅제품	광택 코팅제	비분사형- 에멀션형	일반용-금속용, 자동차용-외부용	광물성 스피릿, 용제-하소된 규조토	정보없음	국산
세정제품	세정제	비분사형- 액체형	일반용-변기용, 일반용-기타표면세 정용-(주방조리대, 샤워기, 싱크대, 크롬장식류, 스테인리스용), 자동차용-외부용	규조토, 글리세린, 붕사, 소듐라우릴설페이트, 정제수, 탄산 칼슘, 탄산마그네슘, 향료(레몬오일)	정보없음	국산
코팅제품	광택 코팅제	비분사형- 에멀션형	일반용-금속용,자동 차용-외부용	광물성 스피릿, 용제-하소된 규조토	정보없음	국산
코팅제품	광택 코팅제	비분사형- 액체형	자동차용-외부용	규조토, 부틸카비톨, 정제수	정보없음	국산
코팅제품, 세정제품	광택 코팅제, 제거 제	비분사형- 액체형	일반용-금속용, 일반 용-얼룩제거용	규조토, 정제수	5-클로로-2-메틸-3(2H)-이소티아 졸리논, 2-메틸-3(2H)-이소티아졸리논의 합	국산

품목군	품목	제품제형	제품용도	주요물질	기타물질	수입/ 국산
세정제품	세정제	비분사형-에멀션형(페이스트형)	일반용-오븐용, 일반용-기타표면세정용-주방설비, 일반용-기타표면세정용-도자기류	산화알루미늄, 용제-칼신화 규조토, 이산화규소, 정제수, 크리스토팔라이트	이산화규소	국산
세정제품	세정제	비분사형-에멀션형	일반용-오븐용, 일반용-렌지후드용, 일반용-기타표면세정용-인덕션,하이라이트	3-아미노-N-(카르복시메틸)-N,N-다이메틸 1-프로판아미늄 N-코코넛아실 유도체, 수산화물, 산화규소(비결정체규조토), 알코올, C12-14, 에톡실레이트	정보없음	국산
코팅제품	광택 코팅제	비분사형-액체형(에멀션형)	일반용-금속용, 자동차용-외부용	수소처리된 중질 나프타, 용제-하소된 규조토, 정제수	보존제(1,2-벤즈아이소티아졸-3(2H)-온 등), 수산화나트륨	국산
코팅제품, 세정제품	광택 코팅제, 제거제	비분사형-액체형	일반용-금속용, 일반용-얼룩제거용	규조토, 정제수	5-클로로-2-메틸-3(2H)-이소티아졸리논, 2-메틸-3(2H)-이소티아졸리논의 합	국산

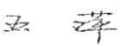
품목군	품목	제품제형	제품용도	주요물질	기타물질	수입/국산
코팅제품, 세정제품	광택 코팅제, 제거제	비분사형-액체형	일반용-금속용, 일반용-얼룩제거용	규조토, 정제수	5-클로로-2-메틸-4-이소티아졸린-3-온, 2-메틸-4-이소티아졸린-3-온	국산
코팅제품	광택 코팅제	비분사형-액체형(에멀션형)	일반용-금속용, 자동차용-외부용	수소처리된 중질 나프타, 용제-하소된 규조토, 정제수	보존제(1,2-벤즈아이소티아졸-3(2H)-온 등), 수산화나트륨	국산
코팅제품	광택 코팅제	비분사형-액체형(에멀션형)	일반용-금속용, 자동차용-외부용	수소처리된 중질 나프타, 용제-하소된 규조토, 정제수	보존제(1,2-벤즈아이소티아졸-3(2H)-온 등), 사이클로헥산, 수산화나트륨	국산
코팅제품	광택 코팅제	비분사형-액체형	자동차용-외부용	규조토, 정제수	벤톤34	국산
세정제품, 코팅제품	세정제, 특수목적코팅제	비분사형-액체형(페이스트)	일반용-오븐용, 일반용-욕실용, 일반용-변기용, 일반용-악기용, 자동차용-외부용, 일반용-오염 방지용, 일반용-김서림 방지용-유리용	규조토, 물, 아크릴산 중합체-나트륨염, 제2인산칼륨	정보없음	국산

품목군	품목	제품제형	제품용도	주요물질	기타물질	수입/국산
코팅제품	광택 코팅제	비분사형-액체형	일반용-금속용	규조토, 물	갈락솔라이드, 리모넨, 벤통34	국산
세정제품, 코팅제품	세정제, 특수목적코팅제	비분사형-액체형(페이스트)	일반용-오븐용, 일반용-육식용, 일반용-변기용, 일반용-악기용, 자동차용-외부용, 일반용-오염 방지용, 일반용-김서림 방지용-유리용	규조토, 물, 아크릴산 중합체·나트륨염, 제2인산칼륨	정보없음	국산

(3) 현장 조사

연마 및 광택 관련 업계의 현황을 파악하기 위해 스테인리스 연마제 수입 및 판매상 2개소를 방문하여 인터뷰를 진행하였다. 서울과 인천 지역의 도매상들은 주로 광약과 규조토를 판매하고 있었다. 광약의 경우, 기성품과 원료를 구매하여 사업장에서 직접 제조 및 사용하는 두 가지 방식이 있음을 확인하였다. 직접 제조 및 사용하는 사업장에서는 알루미늄 파우더에 스테아린산을 혼합하여 연마제를 만들어 사포 용도의 형질에 맞춰 사용하고 있었다.

규조토는 연마공정에서 사용된 광약의 기름 때(스테아린산 및 금속가공유)를 제거하는 용도로 활용되어 세정 기능이지만 연마공정으로 분류하여 사용되며 목적에 따라 연마제로도 사용되고 있다. 20 kg 단위로 국산, 중국산, 미국산 제품이 판매되고 있었다. 주목할 만한 점은 국산의 경우 MSDS가 아닌 성분 분석표[그림 3]가 유통되고 있었고 중국산 제품의 경우 MSDS(물질안전보건자료) 확보가 어려웠던 반면, 미국산 제품은 MSDS와 성분표를 동시에 제공하고 있었다는 것이다. 특히 미국산 규조토 제품의 MSDS를 통해 해당 제품이 크리스토파라이트와 결정체 산화규소를 포함하고 있음을 확인할 수 있었다.

Certificate of Analysis								
Customer Name:	Korea IMKL			Product Type:	CK			
Order Number:	18953			Lot#.Production Code:	128-150515/150517; 129-150816/150818			
Customer PO No.:								
Date of issue:	27-Aug-15							
Supplier Test Methods	Min	Max	Method	Result				Units
Permeability	1.70	7.00	CC-101-003	150515	150517	150816	150818	Darcy
150-mesh sieve retains	0	25	CC-101-005	6.9	8.2	9.2	5.5	%
Centrifuged wet density	--	0.42	CC-101-004	0.39	0.39	0.38	0.38	g/ml
Food Grade: Meet requirements of KFDA								
Regards,								
Ping Wang				The Quality System of this facility is ISO 9001:2008 Registered by CQC				
Quality Control Manager								

[그림 6] MSDS 대신 업체에서 받는 성분 분석표(미국산).

### 3. 연마제 내 결정체 산화규소 등 주요 구성성분 파악

#### 1) 성분확인 대상 Bulk 시료

〈표 12〉 Bulk 시료의 특성

연번	종류	모델명	비고
1	규조토	-	사업장에서 수집한 규조토
2	백광약	WO1000	Al-based
3	백광약	WO1500	Al-based
4	청광약	O8000	Cr-Based
5	청광약	O12000	Cr-Based
6	백광약	NO1500	Al-based
7	백광약	NO4000	Al-based
8	백광약	NO8000	Al-based
9	세정제 (금속)	Copper Cream	금속광택
10	세정제 (구리황동용)	BAC	금속광택
11	세정제 (전기레인지)	CC	인덕션 등 주방 연마
12	세정제	KS	인덕션 등 주방 연마
13	광택코팅제 (금속용)	EG	금속광택
14	세정제	SS	인덕션 등 주방 연마

결정체 산화규소 함유여부 등 주요 구성성분 파악을 위해 시중에서 구할 수 있는 연마제 총 8개의 Bulk 시료에 대한 분석을 실시하였다. 분석 대상은 스테인리스 연마작업을 하는 사업장에서 직접 수집한 구조토 1종과 다양한 종류의 광약 제품 7종이었다. 백광약은 5종으로 모두 알루미늄 기반(Al-based)이었으며, 청광약은 2종으로 크롬 기반(Cr-Based)이었다. 구조토는 주로 비결정질 실리카로 구성되어 있으나, 일부 결정질 실리카를 포함할 가능성이 있어 주의가 필요하다. 백광약과 청광약의 경우도 주요 성분은 각각 알루미늄과 크롬 계열이지만, 소량의 결정질 실리카가 포함되어 있을 가능성을 배제할 수 없다.

생활화학제품으로 분류되어 사용되는 제품 중 연마제에 대해서도 성분을 확인하였다. 총 6종의 제품이었고, 5개의 세정제, 1개의 광택코팅제였는데 주로 금속에 광택을 내거나 인덕션 등의 표면을 연마하여 세정하거나 광택을 내는 제품들이었다. 제품성분에는 Quartz, 석영 등으로 표기가 되어 있었다.

## 2) XRD를 이용한 연마제 입자의 정성 및 정량 분석

〈표 13〉 연마제 Bulk 시료의 분석 결과

연번	종류	모델명	기초성분 및 용도	분석결과
1	규조토	-		산화규소(결정체 석영) 약 30%
2	백광약	WO1000	Al-based	Al 70%
3	백광약	WO1500	Al-based	Al 35%
4	청광약	O8000	Cr-Based	Cr 66%
5	청광약	O12000	Cr-Based	Cr 17%
6	백광약	NO1500	Al-based	Al
7	백광약	NO4000	Al-based	Al 35%
8	백광약	NO8000	Al-based	Al 80%
9	세정제 (금속)	Copper Cream	금속광택	산화규소
10	세정제 (구리황동용)	BAC	금속광택	산화규소, Al
11	세정제 (전기레인지)	CC	인덕션 등 주방 연마	산화규소
12	세정제	KS	인덕션 등 주방 연마	산화규소
13	광택코팅제 (금속용)	EG	금속광택	산화규소(크리스토타라이트)
14	세정제	SS	인덕션 등 주방 연마	산화규소 불검출

연마 및 광택 공정에 사용되는 다양한 제품에 대한 성분 분석을 실시하였다. 총 8개의 시료를 분석한 결과, 각 제품의 주요 성분과 함량을 확인할 수 있었다.

규조토 제품(20 kg)에서는 산화규소(석영)가 약 30% 함유되어 매우 높은 비율을 차지하고 있었다.

백광약 제품들(WO1000, WO1500, NO1500, NO4000, NO8000)은 모두 알루미늄 기반으로, 알루미늄 함량이 35%에서 80%까지 다양하게 나타났다. 특히 WO1000과 NO8000 모델은 70% 이상의 높은 알루미늄 함량을 보였다.

청광약 제품들(O8000, O12000)은 크롬 기반으로, 8000 모델에서는 크롬 함량이 66%로 높게 나타났지만, 12000 모델에서는 17%로 상대적으로 낮았다. 이러한 함량 차이는 제품의 용도나 성능 특성과 관련이 있을 것으로 추정된다.

추가로 생활화학제품으로도 사용되는 연마제에 대하여 분석을 하였다. 총 6종의 제품이었고, 4개의 세정제, 1개의 광택코팅제 총 5개 제품에서 결정체 산화규소가 검출되었다. 1개의 제품에는 산화규소가 포함되어 있다고 표기되어 있으나 기타물질로서 미량 포함되어 있었으나 XRD 분석에서는 불검출되었다. XRD 결과는 부록에 수록하였다.

생활화학제품은 일반인이 사용할 수도 있고 근로자가 사용할 수도 있기 때문에 결정체 산화규소가 검출된 만큼 원자재부터 생산, 사용, 폐기까지 과정에 대한 연구가 필요하다고 할 수 있다.

### 3) FE-SEM을 이용한 연마제 입자의 반정성 분석

FE-SEM을 이용하여 입자의 형태, 그리고 반정성분석을 한 결과, 제품의 주요 성분과 함량을 확인할 수 있었다. 규조토는 Si와 O가 가장 많이 함유되어 있었고, Al 기반의 광약에서는 Al이 함유되었으며, Cr기반의 광약에서는 Cr이 함유되어 있음을 알 수 있었다. 전자현미경 사진은 부록에 수록하였다.

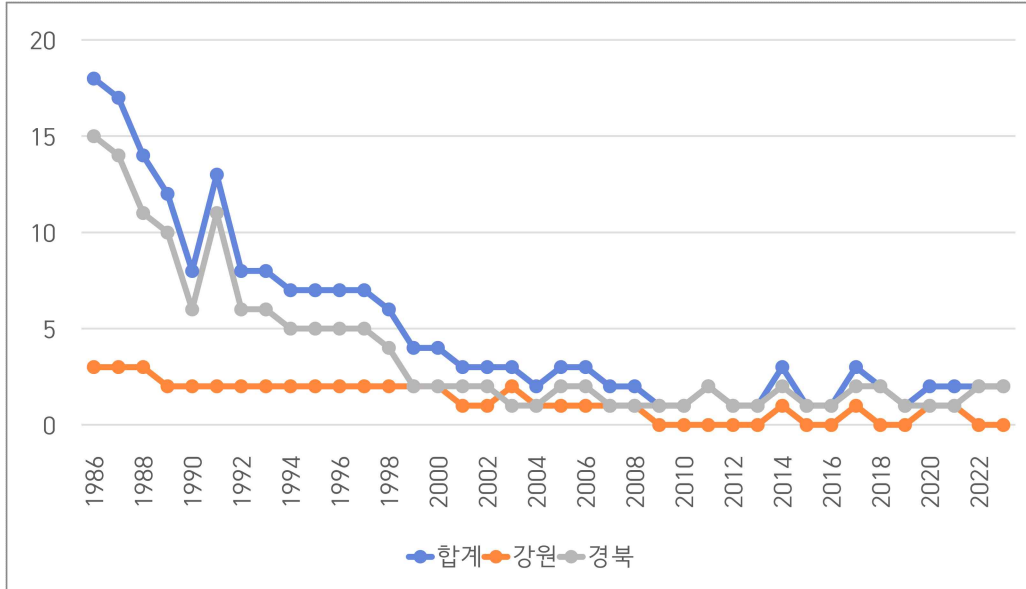
〈표 14〉 FE-SEM을 이용한 연마제 입자의 반정성 분석 결과

연번	종류	모델명	기초성분	반정성 분석 결과 주요 성분
1	규조토	-	-	SiO <sub>2</sub>
2	백광약	WO1000	Al-based	Al
3	백광약	WO1500	Al-based	Al
4	청광약	O8000	Cr-Based	Cr
5	청광약	O12000	Cr-Based	Cr
6	백광약	NO1500	Al-based	Al
7	백광약	NO4000	Al-based	Al
8	백광약	NO8000	Al-based	Al

#### 4) 규조토 내 결정체 산화규소

규조토 내에 결정체 산화규소가 포함되는 것은 자연적인 현상이다. 특히 소성(하소)된 규조토의 경우 비결정체 산화규소도 결정체 산화규소로 바뀔 수 있는 가능성을 높인다. 일반 소성(Calcined)의 경우 섭씨 약 1000도 까지 올라갈 수 있고, 플럭스소성(Flux-Calcined)의 경우 탄산나트륨과 같은 용제를 추가하여 더 높은 온도에서 소성을 하게 되면 더 많은 결정체 산화규소 함량이 증가할 수 있다.

국내 광산에서 채취하여 가공 및 사용하는 경우도 있고, 외국(미국, 일본, 중국 등)에서 수입하는 경우도 있다. 우리나라에서는 2023년 규조토 광산이 경북에 2개 있는 것으로 조사되었다(광물자원통계포털, 2024). 1986년에는 총 18개의 광산이 강원도와 경상북도에 있었다. 포항 영일만 일대에 여전히 규조토가 340만톤 가량 매장되어 있는 것으로 알려져 있어 앞으로도 다양한 분야에 활용 될 수 있으며, 최근에는 규조토를 이용한 생활용품(발매트, 각종 생활용품 등), 세척제 등으로 사용되고 있어 국내에서 규조토를 사용하는 근로자 및 일반 소비자에 대한 지속적으로 관리가 필요한 상황이다.



[그림 7] 국내 규조토 광산의 현황(단위: 광산의 갯수).

유통되고 있는 규조토의 MSDS를 살펴보면 일관성이 보이지 않는다. 실제로 같은 회사 제품 중(2024년 기준) 결정체 산화규소의 일종인 크리스토포바라이트가 공통적으로 함유되어 있음에도 불구하고 유해/위험문구 표기에 있어서 발암성이 일부만 표기되거나, 노출기준을 일부만 표기하거나, 결정체 산화규소가 포함되어 있을 수 있다고 표기하고 나서도 노출기준이나 발암성을 자료없음 또는 표기하지 않는 경우가 있어서 개정시기에 관계없이 관리가 되지 않고 있다는 것을 알 수 있었다. 물론 현재 시점(2024년 10월 기준)에서는 10톤 미만의 연간 제조, 수입을 하는 제품인 경우는 산업안전보건법에 따라 화학물질 또는 이를 함유한 혼합물을 제조하거나 수입하려는 자는 MSDS를 작성하여 고용노동부장관에게 제출하지 않아도 되기 때문일 수도 있지만 1번 규조토의 경우 MSDS 번호를 부여받았음에도 불구하고 독성에 관한 정보나 유해/위험문구가 미흡하게 작성되어 있다는 것은 MSDS의 미흡함을 현재 제도에서는 정부에서 확인하기 어렵다는 부분이 있음을 시사한다. MSDS를 정확하게 생산해야 하는 업체에서는 정확한 정보를 기재할 필요가 있고 안전보

건공단에서는 제출했을 때 확인하는 절차가 없으므로 이러한 부분이 미흡하게 작성되는 것을 방지하기 위한 제도적 보완이 필요하다.

〈표 15〉 일부 확보된 규조토의 MSDS 주요 기재내용

제품명	1번	2번	3번
	용제 하소된 규조토	용제 하소된 규조토	용제 하소된 규조토
결정체 산화규소 포함 표기 여부	결정체 크리스토바라이트 (<35%), 석영(<3%) 표기	결정체 크리스토바라이트 (<70%), 석영(<2.5%) 표기	결정체 크리스토바라이트 (<35%) 표기
유해/위험문구	발암문구 없음	발암문구 없음	발암문구 있음 H350 암을 일으킬 수 있음
노출기준 표기	결정체 산화규소 0.05 mg/m <sup>3</sup>	규조토 10 mg/m <sup>3</sup>	규조토 10 mg/m <sup>3</sup>
독성에 관한정보	발암성 고용노동부 자료가 있음에도 자료 없음 표기하고 IARC 기준 표기	발암성 고용노동부 자료가 있음에도 자료 없음 표기하고 IARC 기준 표기	발암성 고용노동부 자료가 있음에도 자료 없음 표기하고 IARC 기준 표기
기타	결정성 실리카에 대한 규폐증 정보 수록	-	-
개정일자	2024.2.	2019.2.	2017.9.

## 4. 주요 작업형태 및 위험성 조사

### 1) 사업장조사 결과

#### (1) 현장 개요

스테인리스 스틸로 식기류를 만드는 1개 사업장에 방문하여 현장에 대한 조사를 하였다. 업종은 그 외 기타 금속 가공제품 제조업으로 되어 있고, 규모는 근로자 전체 62명 중 연마작업 인원 17명이었다. 주요 생산품은 스테인리스 스틸 식기류이다.

공정은 원자재가 입고되면, 프레스를 통해 식기 모양을 1차적으로 만들고 1차 세척을 진행하고 절곡을 한 이후 연마를 한 후 구조토로 세척을 한다. 그 후 제품에 따라 스폿용접을 하여 손잡이를 붙이고 뚜껑 등을 조립하여 출하하는 사업장이다.

원자재 입고 → 프레스 → 세척 → 절곡 → 연마 → 구조토 세척 → 스폿용접 → 조립 → 출하

연마과정 속에 사용하는 연마제(광약)와 유분을 제거할 때 사용하는 구조토에 결정체 산화규소가 포함되어 있을 가능성이 있었다.



[그림 8] 연마공정에서 구조토를 사용하는 현장

## (2) 과거 연마공정 작업환경측정 결과

### 가) MSDS 관리현황

현장에서 사용하는 연마제 및 구조토의 제조사 및 유통과정에서 확보를 할 수 없어서 MSDS는 확인할 수 없었고, 구조토의 경우에는 성분 분석표에 SiO<sub>2</sub>가 함유되어 있다고 표기되어 있었으나 결정체, 비결정체의 구분이 없었다.

### 나) 과거 작업환경측정 결과

작업환경측정기관과 면담결과 MSDS는 확보할 수 없어서 성분 분석표에 표기된 SiO<sub>2</sub>를 측정물질로 설정하여 결정체 표기가 없으므로 기타광물성분진으로 측정을 하였다. 그동안 노출기준 초과 건수는 없었다.

2023년 하반기 기타광물성분진 3.529 mg/m<sup>3</sup> (보정 노출기준 7.4 mg/m<sup>3</sup> 대비 47.7% 수준), 2024 상반기 기타광물성분진 2.850 mg/m<sup>3</sup> (보정 노출기준 7.4 mg/m<sup>3</sup> 대비 38.5% 수준)였다.

## (3) 작업환경측정 계획

### 가) 사업장 공기중 측정 방법

- 결정체 산화규소: PVC 필터(37 mm)+Cyclone, FT-IR분석
- 금속: MCE 필터, ICP분석
- 전자현미경: Open faced Polycarbonate filter, FE-SEM 분석

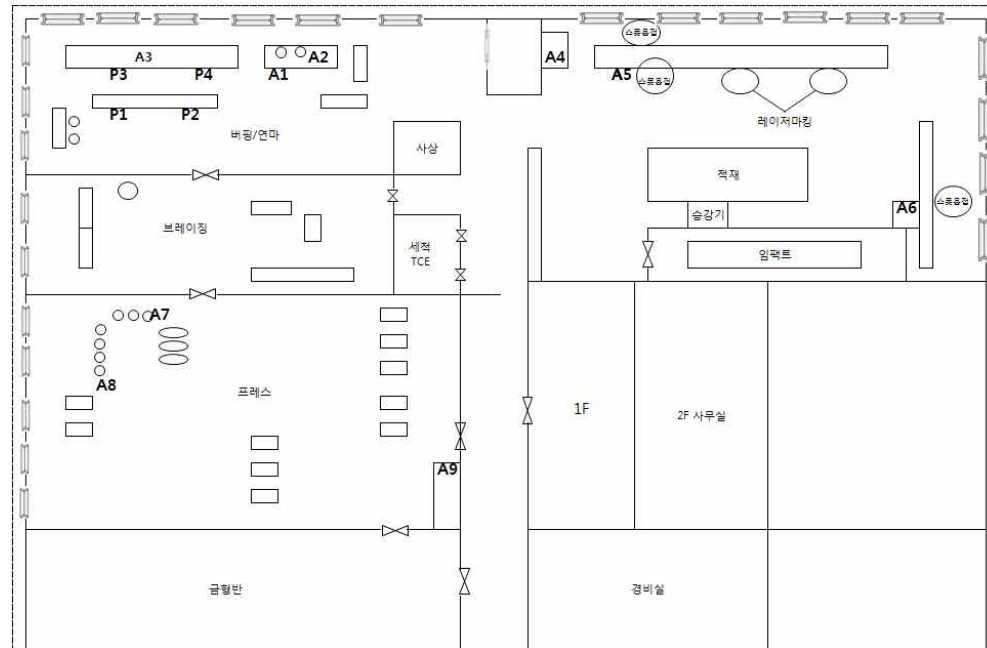
나) 시료채취현황

총 13개의 시료를 채취하였다. 개인시료는 4개를 채취하였고 지역시료는 9개를 채취 하였다. 개인시료는 버핑연마공정에서 측정을 하였고, 구조토세척을 하는 근로자 2인은 개인시료 채취를 거부하여 부득이하게 지역시료로 채취하였다. 버핑연마 공정에서 지역시료를 1개 채취하였고, 스폿용접과 프레스 공정에서는 공기중 시료를 각 3개씩 채취하였다. 스폿용접과 프레스 공정에서는 결정체 산화규소를 사용하지 않으나 완전한 벽으로 구분되어 있지 않은 공간에서 작업을 하기 때문에 확인을 위하여 시료채취를 하였다.

〈표 16〉 공기 중 시료 채취 현황

개인/지역	번호	공정	측정물질
개인(P)	1	버핑연마	산화규소, Al, Fe, Mn, Ni, Cr <sup>3+</sup>
	2	버핑연마	
	3	버핑연마	
	4	버핑연마	
지역(A)	1	구조토세척	
	2	구조토세척	
	3	버핑연마	
	4	스폿용접	
	5	스폿용접	
	6	스폿용접	
	7	프레스	
	8	프레스	
	9	프레스	

(4) 현장도면 및 측정위치



[그림 9] 측정을 수행한 사업장의 공정 도면 및 측정 위치(A: 지역시료, P: 개인시료).

#### (5) 결정체 산화규소 측정 결과

측정 결과 총 13건 중 지역 시료 2건이 결정체 산화규소(석영) 노출기준을 초과하였으며 각각  $0.063 \text{ mg/m}^3$ (노출기준 대비 126%),  $0.084 \text{ mg/m}^3$ (노출기준 대비 168%)으로 평가되었다. 구조토를 직접 취급하는 작업자는 장비 착용을 거부하여 인근 작업자를 대상으로 개인측정을 실시 하였으며 측정 결과 결정체 산화규소가 초과된 지역시료(A1), 지역시료(A2)의 경우 구조토를 직접 취급하는 근로자 주변의 시료로 개인시료측정을 하였다면 개인시료에서도 노출기준의 초과 가능성이 있을 것으로 추정된다.

〈표 17〉 결정체 산화규소의 공기 중 측정 결과

유해인자	공정 구분	측정값(mg/m <sup>3</sup> )	산술평균+표준편차	범위 (최솟값-최댓값)	노출기준	노출기준대비 평가 배수(%)
결정체 산화규소	연마 개인1	0.015	0.014 ± 0.003	0.010 - 0.017	0.05 mg/m <sup>3</sup>	20 - 34
	연마 개인2	0.010				
	연마 개인3	0.015				
	연마 개인4	0.017				
	규조토 세척 지역1	0.063*	0.006 ± 0.034	0.018 - 0.084		36 - 168
	규조토 세척 지역2	0.084*				
	연마 지역3	0.018	-	검출한계 미만		-
	스폿용접 지역1	검출한계 미만				
	스폿용접 지역2	검출한계 미만				
	스폿용접 지역3	검출한계 미만	-	검출한계 미만		-
	프레스 지역1	검출한계 미만				
	프레스 지역2	검출한계 미만				
	프레스 지역3	검출한계 미만				

\*노출기준 초과

(6) 금속류 측정 결과

〈표 18〉 금속류의 공기 중 측정 결과

유해인자	공정 구분	측정값(mg/m <sup>3</sup> )	산술평균 ± 표준편차	범위 (최솟값-최댓값)	노출기준	노출기준대비 평가 배수(%)
알루미늄 및 그 화합물 (금속분진)	연마 개인1	0.0023	0.0026 ± 0.0013	0.0009 - 0.0039	10 mg/m <sup>3</sup>	0.009 - 0.039
	연마 개인2	0.0031				
	연마 개인3	0.0039				
	연마 개인4	0.0009				
	규조토 세척 지역1	0.0060	0.0070 ± 0.0034	0.0042 - 0.0108		0.042 - 0.108
	규조토 세척 지역2	0.0108				
	연마 지역3	0.0042				
	스폿용접 지역1	N.D.	0.0001 ± 0.0002	N.D.- 0.0004		0 - 0.004
	스폿용접 지역2	N.D.				
	스폿용접 지역3	0.0004				
	프레스 지역1	N.D.	N.D.	N.D.		-
	프레스 지역2	N.D.				
	프레스 지역3	N.D.				

유해인자	공정 구분	측정값(mg/m <sup>3</sup> )	산술평균 ± 표준편차	범위 (최솟값-최댓값)	노출기준	노출기준대비 평가 배수(%)
산화철 분진 과 흡	연마 개인1	0.0153	0.0547 ± 0.0499	0.0084 - 0.1044	5 mg/m <sup>3</sup>	0.168 - 2.088
	연마 개인2	0.1044				
	연마 개인3	0.0908				
	연마 개인4	0.0084				
	규조토 세척 지역1	0.0149	0.0237 ± 0.0151	0.0149 - 0.0411		0.298 - 0.822
	규조토 세척 지역2	0.0151				
	연마 지역3	0.0411	0.0087 ± 0.0115	N.D.- 0.0260		0 - 0.52
	스폿용접 지역1	0.0001				
	스폿용접 지역2	N.D.				
	스폿용접 지역3	0.0260	0.0003 ± 0.0003	N.D.- 0.0005		0 - 0.1
	프레스 지역1	0.0003				
	프레스 지역2	0.0005				
	프레스 지역3	N.D.				

유해인자	공정 구분	측정값(mg/m <sup>3</sup> )	산술평균 ± 표준편차	범위 (최솟값-최댓값)	노출기준	노출기준대비 평가 배수(%)
망간 및 그 무기화합물	연마 개인1	0.0002	0.0003 ± 0.0002	N.D.- 0.0005	1 mg/m <sup>3</sup>	0 - 0.05
	연마 개인2	0.0004				
	연마 개인3	0.0005				
	연마 개인4	N.D.				
	규조토 세척 지역1	0.0002	0.0001 ± 0.0001	검출한계 미만 - 0.0002		0 - 0.02
	규조토 세척 지역2	0.0002				
	연마 지역3	검출한계 미만				
	스폿용접 지역1	N.D.	N.D.	N.D.		-
	스폿용접 지역2	N.D.				
	스폿용접 지역3	N.D.				
	프레스 지역1	N.D.	N.D.	N.D.		-
	프레스 지역2	N.D.				
	프레스 지역3	N.D.				

유해인자	공정 구분	측정값(mg/m <sup>3</sup> )	산술평균 ± 표준편차	범위 (최솟값-최댓값)	노출기준	노출기준대비 평가 배수(%)
니켈(금속)	연마 개인1	0.0011	0.0050 ± 0.0048	0.0008 - 0.0103	1 mg/m <sup>3</sup>	0.08 - 1.03
	연마 개인2	0.0103				
	연마 개인3	0.0076				
	연마 개인4	0.0008				
	규조토 세척 지역1	0.0025	0.0041 ± 0.0020	0.0025 - 0.0064		0.25 - 0.64
	규조토 세척 지역2	0.0064				
	연마 지역3	0.0034				
	스폿용접 지역1	N.D.	0.0012 ± 0.0014	N.D. - 0.0027		0 - 0.27
	스폿용접 지역2	0.0008				
	스폿용접 지역3	0.0027				
	프레스 지역1	N.D.	N.D.	N.D.		-
	프레스 지역2	N.D.				
	프레스 지역3	N.D.				

유해인자	공정 구분	측정값(mg/m <sup>3</sup> )	산술평균 ± 표준편차	범위 (최솟값-최댓값)	노출기준	노출기준대비 평가 배수(%)			
크롬(3가 화합물)	연마 개인1	0.0021	0.0045 ± 0.0036	0.0009 - 0.0080	0.5 mg/m <sup>3</sup>	0.18 - 1.6			
	연마 개인2	0.0080							
	연마 개인3	0.0071							
	연마 개인4	0.0009							
	규조토 세척 지역1	0.0017	0.0035 ± 0.0017	0.0017 - 0.0051		0.5 mg/m <sup>3</sup>	0.34 - 1.02		
	규조토 세척 지역2	0.0051							
	연마 지역3	0.0038							
	스폿용접 지역1	N.D.	N.D.	N.D.			0.5 mg/m <sup>3</sup>	-	
	스폿용접 지역2	N.D.							
	스폿용접 지역3	N.D.							
	프레스 지역1	검출한계 미만	-	N.D. - 검출한계 미만				0.5 mg/m <sup>3</sup>	-
	프레스 지역2	N.D.							
	프레스 지역3	N.D.							

## 5. 국내외 관련 제도 검토

### 1) 국내 관련 제도

국내 관련 제도에 대한 검토 결과, 연마 및 광택 공정과 관련된 법규와 제도는 주로 산업안전보건법과 그 시행령, 시행규칙을 중심으로 구성되어 있음을 확인하였다. 또한 환경부의 관련 법령도 검토하였다.

#### (1) 산업안전보건법

산업안전보건법 제139조에서는 유해하거나 위험한 작업에 대한 근로시간 제한을 규정하고 있으며, 특히 시행령 제99조에서는 유리, 흙, 돌, 광물의 먼지가 심하게 날리는 장소에서 하는 작업을 유해하거나 위험한 작업으로 명시하고 있다. 이는 연마 및 광택 공정과 직접적으로 관련이 있어, 해당 작업에 종사하는 근로자들의 근로시간 관리와 건강 보호 조치가 필요함을 시사한다.

또한, 산업안전보건법 제137조와 시행규칙 제214조에서는 건강관리카드 발급에 대해 규정하고 있다. 특히 옥내에서 동력을 사용하여 암석, 광물 또는 금속을 연마, 주물 또는 추출하거나 금속을 재단하는 작업에 3년 이상 종사한 사람 중 진폐증이 인정되는 경우 건강관리카드를 발급받을 수 있어, 장기적인 건강 모니터링의 중요성을 강조하고 있다(별표 25. 7의 사.).

작업환경 측정과 관련하여, 산업안전보건법 시행규칙 별표 21에서는 결정체 산화규소 중 석영, 크리스토팔라이트, 트리디마이트를 측정 대상 유해인자로 규정하고 있다. 그러나 그 외의 광물성 분진은 총 분진 개념으로 측정하도록 하고 있어, MSDS상의 명확한 결정체 표기가 없다면 결정체 산화규소에 대한 측정이 이루어지지 못할 것이고 그렇다면 일부 유해 물질에 대한 구체적인 관리가 미흡할 수 있는 여지가 있다. 산화규소 결정체(트리폴리)의 경우 발

암성 1A, 호흡성 위험이 있음에도 불구하고 작업환경측정 및 특수건강진단 대상으로 명시되어 있지 않은 점은 개선할 필요가 있다고 판단된다.

산업안전보건기준에 관한 규칙에서는 산화규소 관련 물질들이 관리대상 유해물질로 지정되어 있지 않아, 법적 강제성을 가진 관리가 이루어지지 않고 있다. 그러나 이들 물질의 유해성(발암성)을 고려할 때, 관리대상 유해물질에 준하는 수준의 관리가 필요할 것으로 판단된다. 산업안전보건기준에 관한 규칙 제72조에서는 사업주는 인체에 해로운 분진을 배출하기 위하여 설치하는 국소배기장치의 후드가 다음 각호에 맞도록 하여야 한다라고 하고 있다. 1. 유해물질이 발생하는 곳마다 설치할 것, 2. 유해인자의 발생형태와 비중, 작업방법 등을 고려하여 해당 분진등의 발산원(發散源)을 제어할 수 있는 구조로 설치할 것, 3. 후드(hood) 형식은 가능하면 포위식 또는 부스식 후드를 설치할 것, 4. 외부식 또는 리시버식 후드는 해당 분진등의 발산원에 가장 가까운 위치에 설치할 것.

산업안전보건기준에 관한 규칙 제607조에 따라 연마제의 분사에 의하여 연마하는 장소나 연마제 또는 동력을 사용하여 암석·광물 또는 금속을 연마·주물 또는 재단하는 장소에서의 작업(화염을 이용한 작업은 제외한다)에서는 국소배기장치를 설치하도록 하고 있다.

고용노동부 고시(화학물질 및 물리적 인자의 노출기준)에 따르면, 결정체 산화규소(석영, 크리스토파라이트, 트리디마이트)와 일부 비결정체 산화규소에 대해 노출기준이 설정되어 있다. 그러나 일부 비결정체 산화규소(비결정체 침전된 규소, 비결정체 실리카겔, 비결정체 규조토)에 대해서는 노출기준을 기타 분진과 동일하게 다루고 있고, 이에 대한 추가적인 연구와 기준 설정이 필요할 것으로 보인다. 특히 규조토에 대해서는 결정체 석영, 크리스토파라이트, 트리디마이트, 트리폴리 등이 포함되어 있는지 확인을 할 수 있도록 하는 것이 필요하다.

종합적으로, 현행 법규와 제도는 연마 및 광택 공정에서 발생할 수 있는 유

해 물질에 대한 기본적인 관리체계를 제공하고 있으나, 일부 물질에 대한 구체적인 관리 기준이 미비한 상황이다. 따라서, 산화규소 관련 물질들에 대한 더욱 세밀한 관리 기준의 수립과 함께, 작업환경 측정 및 특수건강진단 대상의 확대, 그리고 노출기준이 설정되지 않은 물질들에 대한 추가 연구가 필요할 것으로 판단된다. 현재 산화규소(결정체 석영, 크리스토파라이트, 트리디마이트)의 경우 고용노동부에서 발암성 1A로 관리를 하고 있고 작업환경측정과 특수건강진단 물질로 지정되어 있으나, 산화규소(결정체 트리폴리)의 경우 발암성 1A임에도 불구하고 작업환경측정 및 특수건강진단 대상으로 분류되어 있지 않아 다른 비결정체 산화규소와 같이 기타광물성분진으로 관리가 되고 있어 산화규소(결정체 트리폴리)에 대한 관리가 필요하다.

〈표 19〉 산업안전보건법 내 산화규소 형태별 관리 및 규제 현황

유해물질의 명칭	노출기준	허용기준	작업환경 측정물질	특수건강 진단물질
산화규소 (결정체 석영)	○	×	○	○
산화규소 (결정체 크리스토파라이트)	○	×	○	○
산화규소 (결정체 트리디마이트)	○	×	○	○
산화규소 (결정체 트리폴리)	○	×	△	△
산화규소 (비결정체 규소, 용융된)	○	×	△	△
산화규소 (비결정체 규조토)	○	×	△	△
산화규소 (비결정체 침전된 규소)	○	×	△	△
산화규소 (비결정체 실리카겔)	○	×	△	△

〈표 20〉 산화규소의 형태별 노출기준

유해물질의 명칭		노출기준		비고 (CAS번호 등)	
국문표기	영문표기	TWA	STEL		
		ppm	mg/m <sup>3</sup>		
산화규소 (결정체 석영)	Silica(Crystalline Quartz) (Respirable fraction)	-	0.05	-	[14808-60-7] 발암성 1A, 호흡성
산화규소 (결정체 크리스토바라이트)	Silica(Crystalline cristobalite) (Respirable fraction)	-	0.05	-	[14464-46-1] 발암성 1A, 호흡성
산화규소 (결정체 트리디마이트)	Silica(Crystalline tridymite) (Respirable fraction)	-	0.05	-	[15468-32-3] 발암성 1A, 호흡성
산화규소 (결정체 트리폴리)	Silica(Crystalline tripoli) (Respirable fraction)	-	0.1	-	[1317-95-9] 발암성 1A, 호흡성
산화규소 (비결정체 규소, 용융된)	Silica(Amorphous silica, fused) (Respirable fraction)	-	0.1	-	[60676-86-0] 호흡성
산화규소 (비결정체 규조토)	Silica (Amorphous diatomaceous earth)	-	10	-	[61790-53-2]
산화규소 (비결정체 침전된 규소)	Silica (Amorphous precipitated silica)	-	10	-	[112926-00-8]
산화규소 (비결정체 실리카겔)	Silica(Amorphous silicagel)	-	10	-	[112926-00-8]

## (2) 화학물질의 등록 및 평가 등에 관한 법률과 화학물질관리법

환경부의 화학물질의 등록 및 평가 등에 관한 법률(이하 화평법)“은 화학물질의 등록 및 신고 절차에서 유해성과 위해성에 관한 심사를 규정하며, ”화학물질관리법(이하 화관법)은 화학물질의 체계적 관리와 화학사고 예방을 목표로 하고 있다.

화평법 및 화관법은 유해성이 있는 화학물질인 유독물질을 지정하여 관리하고 있다. 약 1,200종 이상의 유독물질을 지정하고 있으며 CAS No. 기준으로 화합물(compounds), 해당 물질의 염류(salts), 특정 함량 이상의 혼합물(mixtures)을 모두 유독물질로 간주하고 있다. 산화규소의 경우 화관법 및 화평법에서 분류하는 유독물질에는 해당하지 않는다.

화관법에서 관리하는 내용을 화학물질 안전원의 화학물질 종합정보시스템(<https://icis.me.go.kr>)을 통하여 아래 표의 물질들은 확인한 결과 화학사고 관리계획 지역사회 고지, 사고현황사례, 배출량조사, 통계조사, 위해관리계획 지역사회 고지 등의 해당사항은 확인되지 않고 있다.

또한 화학물질 정보처리시스템(<https://kreach.me.go.kr>)을 통하여 확인한 결과 모두 기본적인 화학물질정보(KISCHEM)는 존재하며, 유독물질, 사고대비물질, 제한/금지/허가물질, 중점관리물질, 등록대상물질여부를 확인하였다. 특히 중점관리물질(유해성이 있다고 우려되는 화학물질로서 이를 함유한 제품의 생산, 수입 이전에 신고 필요)로 지정한 별표-450에는 Quartz (SiO<sub>2</sub>)(CAS No. 14808-60-7)(석영 또는 크리스토팔라이트 형태의 결정질로서 Silica dust에 한함)가 CMR로 규정되어 있으나 크리스토팔라이트 [14464-46-1] 로 검색한 결과는 중점관리상물질 대상으로 확인되지 않고 있다. 이는 현장에서 판단에 혼선이 있을 수 있는 부분으로 판단된다.

〈표 21〉 산화규소 형태별 화평법/화관법 상 관리 및 규제 현황

유해물질명칭 [CAS No.]	기존 화학 물질	유독 물질	사고 대비 물질	제한, 금지, 허가 물질	중점 관리 물질*	등록 대상
산화규소 (결정체 석영) [14808-60-7]	KE-29 983	X	X	X	별표-45 0	등록 유예기간 없음
산화규소 (결정체 크리스토타라이트) [14464-46-1]	KE-09 017	X	X	X	X	X
산화규소 (결정체 트리디마이트) [15468-32-3]	KE-34 193	X	X	X	X	X
산화규소 (결정체 트리폴리) [1317-95-9]	KE-30 954	X	X	X	X	X
산화규소 (비결정체 규소, 용융된) [60676-86-0]	KE-30 959	X	X	X	X	X
산화규소 (비결정체 규조토) [61790-53-2]	KE-21 794	X	X	X	X	X
산화규소 (비결정체 침전된 규소) [112926-00-8]	KE-32 733	X	X	X	X	X
산화규소 (비결정체 실리카겔) [112926-00-8]						

## (3) 우리나라 MSDS상 개선 필요성

## 가) 위험의 확인 문제

우리나라의 산업보건의 일선에서는 고용노동부 지정 전문기관의 역할이 중요하다. 이 기관들이 사업장과 소통하는 방법은 사업장 담당자, 근로자, 사업주와의 면담과 서류이다. 가장 자주 확인하는 서류는 MSDS인데 특히 화학적 인자의 경우 대부분 MSDS에 의존하고 있다.

2021년 우리나라 고용노동부와 안전보건공단에서는 MSDS제도를 개편하면서 기존 MSDS의 미흡한 점을 개선하는데 노력을 하였다. 그럼에도 불구하고 아직 현장에서는 MSDS 구성성분 표기의 문제(비공개, 포괄적인 CAS No. 기재 등), 반응 등 생성물에 대해서는 아직 제도적으로 뒷받침되기가 어려운 상황이다.

실제로 연마공정에서 사용되는 구조토의 경우에도 시중에 매우 다양한 제품이 유통되고 있고, 동일 MSDS 내에 각기 다른 표기 방법과 '유해성·위험성', '노출기준', '독성에 관한 정보'가 일관적이지 않음을 알 수 있었다.

MSDS로부터 산화규소 관련 정보 확인을 해보면 2항의 유해성·위험성 분류로부터 결정체 산화규소의 분류 적용 여부를 확인할 수 있고, 3항에서는 구성성분의 명칭 및 함유량을, 8항에서는 노출기준 및 보호구 관련사항을 알 수 있다. 11항 독성에 관한 정보에서는 구성성분별 독성정보 확인, 특히 산화규소(결정체)의 발암성 정보유무와 15항 법적규제에서는 작업환경측정 및 특검대상 유해인자 표기내용을 확인할 수 있다.

본 연구를 통해 하소 처리되지 않은 일반 구조토에서도 석영이 함유된 것으로 확인되었다. 실제 MSDS를 확인해 보면, 특히 구조토를 하소 처리하게 되면 비결정체 산화규소가 석영 등 결정체 산화규소로 변환될 가능성이 높아지게 된다(아래 MSDS). 그러나 H372는 "장기간 또는 반복 노출 시 특정 표적 장기에 손상을 일으킴"을 의미하는 유해위험문구로 이는 널리 알려진 결정체 산화규소의 유해성인 발암성과는 차이가 있다.

발암성은 H350, H351의 유해위험문구로 표기된다. 따라서 해당 MSDS의 2항 유해성·위험성 항목에서 발암성 확인이 되지 않아 측정 등 보건관리와 이어지기 어렵다.

## 2. 유해성 위험성

가) 유해성·위험성 분류                      특정표적장기 독성(반복 노출) : 구분 1-호흡기계자극

나) 예방조치문구를 포함한 경고표지 항목

그림문자



신호어  
유해·위험문구

위험  
**H372 장기간 또는 반복노출 되면 폐에 손상을 일으킴**

예방조치문구

예방

P260: 분진을 흡입하지 마시오.  
P285: 환기가 잘 되지 않는 곳에서는 호흡기 보호구를 착용하십시오.

대응

P314: 불편함을 느끼면 의학적인 조치·조언을 구하십시오.

저장

P405 밀봉하여 저장하십시오.

폐기

P501 (관련법규에 명시된 내용에 따라) 내용물·용기를 폐기하십시오.

다) 유해·위험성 분류기준에 포함되지 않는 기타 유해·위험성(NFPA)

보건	1
화재	0
반응성	0

3항을 검토해보면 작업환경측정기관에서는 위에서 언급했듯이 MSDS에 기반하여 작업환경측정을 실시하고 있다. 아래 물질의 CAS 번호는 노출기준에도 검색이 되지 않기 때문에 기타 분진 또는 기타 광물성분진으로 분류될 가능성이 있다. 이 경우는 MSDS 작성을 할 때 명확하게 3개 물질로 분류했어야 한다고 생각된다.

## 3. 구성성분의 명칭 및 함유량

물질명

응제-하소된 규조토(Flux-Calcined Diatomaceous Earth)  
※하기 결정체 실리카 성분이 최대 72.5%까지 함유될 수 있음  
결정체 크리스토파라이트(14464-46-1) ≤ 70%  
결정체 석영(14808-60-7) ≤ 2.5%

이명(관용명)

실리카(Silica)

CAS 번호

68855-54-9

함유량(%)

100

8항을 검토한 결과 노출기준을 구조도로 하고 10 mg/m<sup>3</sup> 판단 한 것은 3항과 모순된다. 함유될 수 있다고 판단이 되면 이는 산화규소(크리스토틀라이트, 석영)에 준하여 표기되어 있어야 된다. 하지만 기타 분진으로 분류가 되어 있다.

**8. 노출방지 및 개인보호구**

가) 화학물질의 노출기준, 생물학적 노출기준 등	
국내기준	구조도 TWA - 10mg/m <sup>3</sup>
ACGIH 규정	자료없음
생물학적 노출기준	자료없음
나) 적절한 공학적 관리	밀폐설비 또는 국소배기장치를 설치하시오. 작업공정이 노동부 허용기준 및 노출기준에 적합한 지 확인하시오.
다) 개인보호구	
호흡기 보호	한국산업안전보건공단의 인증을 필한 호흡용 보호구를 착용하시오.
눈 보호	비산물로부터 눈을 보호하기 위하여 보안경을 착용하시오.
손 보호	일반적으로 필요치 않음
신체 보호	해당없음

11항을 검토한 결과 발암성에 대하여 결정체 크리스토틀라이트 및 석영을 1군으로 표기한 것은 적절하나 발암성, 산업안전보건법, 노동부 고시에 자료없음으로 표기한 것은 위의 자료와 잘 맞지 않다고 판단된다. 향후 MSDS 제출을 할 때에는 발암물질에 대해서는 확인 강화가 이루어져야 한다고 판단된다. 독성에 대한 내용도 발암성 Group 1로 되어 있는데 앞서 살펴본 대로 2항의 유해성·위험성 정보에는 발암성에 대한 내용이 전혀 기술되어 있지 않다.

### 11. 독성에 관한 정보

가	가능성이 높은 노출 경로에 관한 정보	흡입 시 목과 코에 자극이 있을 수 있고, 고농도에서 울혈증이 발생할 수 있음, 눈 접촉시 자극증을 일으킬 수 있음
나	건강 유해성 정보	
	급성독성	
	경구	해당없음
	경피	해당없음
	흡입	해당없음
	피부 부식성 또는 자극성	사람에서 자극을 일으키지 않음
	심한 눈손상 또는 자극성	사람에서 약한 자극을 일으킴
	호흡기 과민성	해당없음
	피부과민성	해당없음
	발암성	자료없음
	산업안전보건법	자료없음
	노동부고시	자료없음
	IARC	윤제하소된 규조토 Group 3 결정체 크리스토바라이트 및 석영 Group 1
	OSHA	자료없음
	ACGIH	자료없음
	NTP	자료없음
	생식세포변이원성	해당없음
	생식독성	해당없음
	특정 표적장기독성(1 회 노출)	흡입 시 기도를 자극함
	특정 표적장기 독성(반복 노출)	장기간 또는 반복 노출되면 폐에 손상을 일으킴
	흡인유해성	자료없음

나) IARC 문서 검토를 통한 제도 비교

국제암연구소(IARC)에서는 규소를 다양한 CAS 번호로 구성하고 있으나, 용제하소된 규조토(Flux-calcined diatomaceous earth)의 경우에는 결정체 산화규소가 함유될 가능성이 높음에도 우리나라 제도에서는 현재 사각지대에 있다고 볼 수 있다.

〈표 22〉 산화규소의 다양한 CAS No.의 구성(IARC)

Type of silica	CAS Reg. No.
Silica	7631-86-9;
	deleted CAS Nos, 179046-03-8; 152787-33-2; 122985-48-2; 1340-09-6;
	145686-91-5; 155575-05-6; 155552-25-3; 50813-13-3; 139074-73-0;
	136881-80-6; 126879-30-9; 126879-14-9; 89493-21-0; 127689-16-1;
	1133384-41-1; 62655-73-6; 83652-92-0; 55599-33-2; 97709-14-3;
	108727-71-5; 87501-59-5; 39336-66-8; 83589-56-4; 70563-35-8;
	97343-62-9; 78207-17-7; 70536-23-1; 12765-74-1; 12125-13-2;
	56645-27-3; 53468-64-7; 50926-93-7; 61673-46-9; 67167-16-2;
	52350-43-3; 60572-11-4; 51542-58-6; 51542-57-5; 50935-83-6;
	56731-06-7; 39372-58-2; 39409-25-1; 37241-25-1; 12774-28-6; 9049-77-8;
11139-72-3; 11139-73-4; 12737-36-9; 12753-63-8; 37220-24-9;	
37334-65-9; 37340-45-7; 37380-93-1; 39443-40-8; 39456-81-0	
<b>Crystalline silica</b>	
Cristobalite	14464-46-1
Quartz	14808-60-7
Tripoli	1317-95-9; deleted CAS No., 12421-13-5
Tridymite	15468-32-3; deleted CAS No., 12414-70-9; 1317-94-8
<b>Amorphous silica</b>	
Pyrogenic (fumed) amorphous silica	112945-52-5 (previously included under 7631-86-9)
Precipitated silica, including silica gel	112926-00-8 (previously included under 7631-86-9); deleted CAS No., 112945-53-6
Diatomaceous earth (uncalcined)	61790-53-2;
	deleted CAS Nos, 53571-43-0; 77108-41-9; 61970-41-0; 37337-67-0;
	56748-40-4; 54990-62-4; 54990-61-3; 57692-84-9; 81988-94-5;
	67417-47-4; 39455-02-2; 54511-18-1; 37264-95-2; 50814-24-9;
73158-38-0; 12623-98-2; 55839-10-6; 51109-72-9; 68368-75-2;	
67016-73-3; 12750-99-1; 64060-29-3; 39421-62-0; 37328-66-8;	
11139-66-5; 57126-63-3; 29847-98-1	
Vitreous silica, Quartz glass, fused silica	60676-86-0;
Flux-calcined diatomaceous earth	deleted CAS No., 55126-05-1; 1119573-97-6; 37224-35-4; 37224-34-3 68855-54-9

## 2) 국외 관련제도

### (1) 미국 OSHA 1926.1153 - Respirable crystalline silica

미국 산업안전보건청(OSHA)의 규정 29 CFR 1926.1153은 건설 업종에서의 결정체 산화규소(Respirable Crystalline Silica, RCS) 노출에 대한 포괄적이고 세부적인 관리 기준을 제시하고 있다. 이 규정의 적용 범위는 근로자의 RCS 노출이 8시간 시간가중평균(TWA) 기준  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$  이상일 것으로 예상되는 모든 건설 작업장으로, 광범위한 작업 환경을 포함하고 있다.

OSHA는 RCS의 허용노출기준(PEL)을 8시간 TWA 기준  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 설정하였다. 규정은 18개의 특정 건설 작업에 대한 상세한 노출 제어 방법을 제시하고 있다. 각 작업별로 요구되는 공학적 제어, 작업 방법, 호흡기 보호 조치가 명시되어 있으며, 작업시간에 따른 호흡기 보호구 착용 기준도 포함되어 있다.

고용주는 명시되어 있는 조치를 완전히 이행하거나, 대안적 노출 제어 방법을 통해 근로자의 노출을 PEL 이하로 유지해야 한다. 대안적 방법을 선택할 경우, 사업주는 노출 평가를 실시해야 한다. 작업(공정)기반 평가는 사업주가 모든 작업 조건에서 근로자의 노출을 정확히 특정할 수 있는 데이터를 사용하는 방법이며, 주기적 모니터링은 초기 및 주기적인 개인 샘플링을 통해 노출을 평가하는 방법이다.

만약 측정결과 노출이 PEL을 초과하는 경우, 고용주는 공학적 제어와 작업 방법을 우선적으로 적용하여 노출을 줄여야 한다. 이러한 조치에는 습식 작업 방법, 국소 배기 장치, 격리된 작업 공간 사용 등이 포함될 수 있다. 이러한 조치만으로 충분하지 않을 경우, 호흡보호구를 보완적으로 사용해야 한다. 호흡기 보호구 사용 시에는 OSHA의 호흡기 보호 표준(29 CFR 1910.134)을 준수해야 한다.

규정은 또한 모든 사업주가 서면 노출 관리 계획을 수립하고 이행할 것을 요구하고 있다. 이 계획에는 RCS 노출이 있는 작업의 설명, 노출 관리 방법, 사업장 청소 방법, 작업장 접근 제한 절차 등이 포함되어야 한다. 사업주는 이 계획의 효과를 매년 평가하고 필요시 업데이트해야 하며, 근로자들이 쉽게 열람할 수 있도록 해야 한다.

의학적 감시는 연간 30일 이상 호흡기 보호구를 착용해야 하는 근로자에게 제공되어야 한다. 초기 검진은 업무 배정 후 30일 이내에 실시되어야 하며, 이후 최소 3년마다 주기적 검진을 실시해야 한다. 검진 항목에는 작업 이력, 흉부 X선 검사, 폐기능 검사, 결핵 검사 등이 포함된다. 의사는 근로자에게 검진 결과를 설명하고, 사업주에게는 제한된 정보만을 제공해야 한다.

결정체 산화규소의 위험성에 대한 근로자 교육은 필수적이며, 건강위험, 특정 작업장 노출 가능성, 보호 조치, 의학적 감시 프로그램 등에 대한 내용을 포함해야 한다. 사업주는 근로자들이 이러한 정보를 이해하고 있음을 확인해야 한다. 또한, 사업주는 노출 측정 데이터, 의학적 감시 기록 등을 유지하고 관리해야 한다. 이러한 기록은 일정 기간 동안 보관되어야 하며, 근로자, 그 대리인, OSHA가 접근할 수 있어야 한다.

이러한 OSHA의 포괄적인 규정은 건설 업종에서의 결정체 산화규소 노출로 인한 건강 위험을 체계적으로 관리하고, 근로자의 안전과 건강을 보호하기 위한 종합적인 접근 방식을 제시하고 있다. 이 규정의 철저한 이행은 규폐증, 만성 폐쇄성 폐질환, 폐암 등 RCS 노출과 관련된 심각한 건강 문제를 예방하는 데 중요한 역할을 하고 있다.

## (2) 영국 HSE Silica - Cancer and construction

결정체 산화규소(Respirable Crystalline Silica, RCS)는 산업 환경에서 중대한 직업적 위험 요인으로 인식되고 있다. 영국 보건안전청(HSE)의 지침에 따르면, 결정체 산화규소는 자연계에 광범위하게 분포하며, 특히 건설 자

재와 다양한 산업 공정에서 사용되는 암석, 모래, 점토 등에 함유되어 있다. RCS의 위험성은 주로 미세 입자 형태로 공기 중에 부유하여 호흡기를 통해 인체에 유입될 때 발생하며, 이는 다양한 작업 과정에서 생성된다.

RCS 노출은 건설업, 채석업, 도자기 제조, 주조업, 내화물 생산, 콘크리트 제품 제조, 석재 가공 등 광범위한 산업 분야에서 발생한다. 특히 연마, 드릴링, 절단, 샌딩, 폭파 등의 고위험 작업 과정에서 RCS 분진 발생 가능성이 높다. 이러한 작업 환경에서는 분진의 생성, 축적, 재비산 등 다양한 경로를 통해 근로자들이 RCS에 노출될 수 있어 체계적인 관리가 필요하다.

장기간 RCS 노출로 인한 건강 영향은 심각하며, 주로 호흡기 질환의 형태로 나타난다. 대표적인 질병으로는 규폐증, 만성 폐쇄성 폐질환(COPD), 폐암 등이 있다. 규폐증은 폐 조직의 섬유화를 유발하여 폐 기능을 저하시키는 비가역적 질환으로, 일반적으로 10년 이상의 노출 후에 발생하며 초기에는 증상이 없어 조기 진단이 어렵다. COPD는 기관지염과 폐기종을 포함하는 질병군으로, 심각한 호흡 곤란과 만성적인 장애를 유발할 수 있다. 또한, RCS에 대한 장기간의 고농도 노출은 폐암 발생 위험을 증가시키는 것으로 알려져 있다.

이러한 건강 위험을 예방하기 위해, 영국의 유해물질관리규정(COSHH)은 사업주에게 엄격한 의무를 부과하고 있다. 이는 종합적인 위험성 평가 실시, 적절한 공학적 제어 조치, 개인보호구 제공, 근로자 교육 및 훈련, 노출 평가, 건강 관리 프로그램 운영 등을 포함한다. 특히 RCS에 대한 작업장 노출 한계(Workplace Exposure Limit, WEL)는 8시간 시간가중평균(TWA) 기준  $0.1 \text{ mg/m}^3$ 로 설정되어 있어, 이를 초과하지 않도록 철저한 관리가 요구된다.

노출 관리 방법으로는 우선적으로 대체 물질 사용, 공정 변경 등의 근본적인 접근이 고려되어야 하며, 이것이 불가능한 경우 국소배기장치(Local Exhaust Ventilation, LEV) 등의 공학적 제어 수단이 적용되어야 한다. 개인보호구, 특히 호흡보호구(Respiratory Protective Equipment, RPE)의

사용은 마지막 수단으로 고려되어야 하며, 올바른 선택, 착용, 관리가 중요하다.

근로자 교육 또한 중요한 요소로, RCS의 위험성, 안전한 작업 방법, 제어 장치의 올바른 사용법, RPE의 적절한 착용 및 관리 방법 등에 대한 포괄적인 교육이 제공되어야 한다. 특히 건식 청소 대신 습식 청소나 적절한 등급의 진공청소기 사용, 압축 공기를 이용한 분진 제거 금지 등 구체적인 작업 지침의 준수가 강조하고 있다.

또한, 정기적인 건강검진을 통해 RCS 노출로 인한 건강 영향을 조기에 발견하고 관리하는 것이 중요하다. 이는 설문조사, 폐기능 검사, 흉부 X-선 검사 등을 포함할 수 있으며, 산업보건 전문가의 자문을 받아 적절한 프로그램을 구성해야 한다.

결론적으로, RCS 노출로 인한 건강 위험은 체계적이고 종합적인 관리 접근을 통해 상당 부분 예방이 가능하다. 이를 위해서는 사업주의 적극적인 관리 의지, 근로자의 안전 의식 제고, 그리고 관련 규정의 철저한 준수가 필수적이다. 또한, 지속적인 연구를 통해 RCS의 건강 영향에 대한 이해를 넓히고, 더욱 효과적인 제어 기술을 개발하는 것이 장기적으로 중요하다.

### (3) EU REACH

REACH(Registration, Evaluation, Authorization and Restriction of Chemicals)는 유럽연합(EU)의 포괄적인 화학물질 관리 제도로, 화학물질의 등록, 평가, 허가, 제한에 관한 체계적인 절차를 규정하고 있다. 이 제도의 핵심 목표는 인체 건강과 환경 보호를 강화하는 동시에 EU 화학 산업의 혁신과 경쟁력을 유지하는 것이다.

REACH 규정 내에서 특히 살펴봐야 하는 부분은 SVHC(Substances of Very High Concern) 관리 체계이다. SVHC는 발암성, 생식독성, 환경 잔류성 등 심각한 위험을 지닌 물질로 정의되며, 이러한 물질들은 엄격한 관리 대

상이 된다. SVHC로 지정된 물질은 후보물질목록(Candidate List)에 등재되며, 이는 REACH 규정의 Article 59(10)에 따라 공식적으로 고시된다.

현재까지 결정체 산화규소는 SVHC로 지정되어 있지 않다. 그러나 화학물질의 위험성에 대한 지속적인 평가와 새로운 과학적 증거에 따라 SVHC 목록은 계속 업데이트되고 있으며, 후보물질목록에 등재된 물질은 추후 더욱 엄격한 규제가 적용되는 허가물질목록(Authorisation List)에 추가될 수 있다.

SVHC 후보물질목록에 등재된 물질을 사용하는 기업들에게는 여러 가지 법적 의무가 부과된다. 주요 의무 사항은 다음과 같다:

물질 신고 및 정보 공유측면에서 EU 또는 EEA 내 공급업체는 SVHC가 0.1% w/w 이상 포함된 제품에 대해 안전한 사용 정보를 고객에게 제공해야 한다. 소비자 요청 시 45일 이내에 관련 정보를 제공해야 한다. 제품 내 SVHC 함량이 0.1% w/w 이상이며 연간 1톤 이상 사용되는 경우, EU 및 EEA 제조업체 또는 수입업체는 ECHA(European Chemicals Agency)에 이를 신고해야 한다. ECHA의 SCIP(Substances of Concern In articles as such or in complex objects (Products)) 데이터베이스에 관련 정보를 제출해야 한다.

물질안전보건자료(SDS) 제공의 경우 SVHC를 포함한 물질 또는 혼합물의 공급업체는 고객에게 안전 데이터 시트를 제공해야 한다. 기존 SDS의 섹션 15는 해당 물질이 SVHC로 식별되었음을 반영하여 업데이트해야 한다. 위험물로 분류되지 않은 혼합물이라도 SVHC가 0.1% w/w 이상 포함된 경우, 요청 시 SDS를 제공해야 한다.

노출 최소화는 PBT(Persistent, Bioaccumulative and Toxic) 및 vPvB(very Persistent and very Bioaccumulative) 기준을 만족하는 물질의 경우, 제조업체와 수입업체는 화학물질안전성보고서(CSR)의 정보를 바탕으로 인체 및 환경에 대한 노출과 배출을 최소화하기 위한 위험 관리 조치를 이행해야 한다. 또한, 하위 사용자들에게도 적절한 위험 관리 조치를 적용하

도록 권고해야 한다.

이러한 REACH의 SVHC 관리 체계는 고위험성 화학물질의 사용을 점진적으로 줄이고, 더 안전한 대체 물질의 개발을 촉진하는 것을 목표로 한다. 동시에 이 제도는 화학물질 관련 정보의 투명성을 높이고, 공급망 전체에 걸친 의사소통을 강화하여 화학물질 안전 관리의 효율성을 제고하고 있다.

결정체 산화규소가 현재 SVHC로 지정되어 있지 않다는 사실은 앞으로 잠재적 위험성을 고려할 때, 향후 규제 동향을 주의 깊게 모니터링하고, 자발적인 노출 저감 노력을 기울이는 것이 바람직할 것이다. 또한, 결정체 산화규소를 포함한 모든 화학물질에 대해 REACH 규정의 기본 원칙인 '무데이터, 무시장(No data, No market)' 원칙을 준수하며, 지속적인 안전성 평가와 정보 공유를 통해 책임 있는 화학물질 관리를 수행해야 한다고 판단된다.

## 6. 물질 대체 및 작업환경개선 등 위험성 관리방안 마련

### 1) 구조토 대체 및 공정 관리 방안

현재 사업장 연마공정에서 사용하는 결정체 산화규소가 함유된 구조토를 독성이 낮은 물질로 대체하는 방안을 검토해야 한다. 밀가루와 같은 대체 흡습제는 뭉침 현상 등의 문제로 현실적인 대안이 되지 못하고 있다.

물질의 대체가 어려운 경우, 해당 공정을 일부 밀폐하여 관리하는 방안이 필요하다. 이를 위해 포위형 후드와 하방 그릴형 배기를 설치하여 연마제와 구조토의 퇴적물을 효과적으로 관리할 수 있도록 해야 한다. 작업대를 밀폐할 때 투명 재질을 사용해 작업자의 시야를 확보하고 작업 편의성을 높이는 것이 중요하다.

### 2) 결정체 산화규소 관리의 필요성

연마공정에서 사용하는 구조토 내 결정체 산화규소가 확인된 만큼, 해당 공정을 타 공정과 분리하고 별도의 고성능 국소배기장치 설치와 같은 공학적 개선을 통하여 작업 환경 내 유해 물질 농도를 최소화해야 한다.

### 3) 근로자 인식 개선 및 보호구 착용 지도

근로자들이 구조토를 단순한 황토와 동일시하며 유해성을 인식하지 못하고 있었다. 이에 따라 물질안전보건자료(MSDS)를 활용한 교육을 강화하고, 호흡보호구 지급 및 착용 지도를 철저히 시행해야 한다. 또한 호흡보호구의 밀착도를 검사하여 노출이 이루어지지 않도록 해야 한다.

MSDS 작성 시 결정체 산화규소의 함유 여부와 비율을 명확히 기술하도록

제도를 개선해야 하며, 이를 기반으로 근로자 교육과 작업 환경 관리를 체계적으로 수행해야 한다.

#### 4) 작업환경측정 제도 개선

측정기관은 사업주로부터 제공받은 MSDS를 기반으로 측정 대상 물질을 판단하지만, MSDS에 결정체 산화규소 관련 정보가 명확히 기재되지 않은 경우 기타 광물성 분진으로 분류되는 문제가 있다. 따라서 MSDS 작성을 강화하고 결정체 산화규소 함유 여부를 반드시 명시하도록 해야 한다. 작업환경측정 제도에서 최초 산화규소의 형태를 파악하여 결정체 여부를 확인하고, 결정체 산화규소인 경우 그에 맞는 작업환경측정을 실시하는 등의 작업환경측정 제도를 개선할 필요가 있다.

#### 5) 향후 연구 및 제도 개선 필요성

인조대리석, 엔지니어드 스톤, 싱크대 상판 광택 작업 등에서 결정체 산화규소 노출 가능성이 증가하고 있는 만큼, 이에 대한 추가 연구가 필요하다. 세라믹 분말 등 다양한 광물 분말의 MSDS 작성 기준을 강화하고, 결정체 산화규소 함유량에 대한 정보를 명확히 기재하도록 제도 개선이 요구된다.

## IV. 고찰 및 결론





## IV. 고찰 및 결론

이번 연구를 통하여 연마공정에서 다양한 형태 및 종류의 연마제가 광범위하게 사용되고 있으며, 특히 연마제로는 규조토와 알루미늄, 크롬 기반의 광약 제품이 주로 사용되고 있음을 확인했다. 일부 연마공정에서 사용하고 있는 규조토 제품에는 결정체 산화규소(고용노동부 발암성 1A)가 높은 비율로 포함되어 있어, 작업자의 건강에 잠재적 위험을 초래할 수 있다는 점이 드러났다. 현장에서 백광약이라 부르며 사용하는 규조토의 경우 식기(냄비, 텀블러, 수저, 젓가락, 포크 등) 및 SUS 재질의 부품을 광택 연마하는 과정에서 발생된 표면의 유분과 연마제를 제거하는 목적으로 사용하고 있는 것으로 파악되었다. 연마공정에 있어서 반드시 필요한 공정으로 이렇게 제거하지 않은 경우에는 다음 공정에 영향을 줄 수 있기 때문에 표면을 연마하는 사업장에서는 필수적인 공정이라고 할 수 있다.

연마제 또는 규조토를 도입할 때 MSDS가 제공되지 않는 경우가 있었다. 주로 성분 분석표라는 이름하에 MSDS가 아닌 유사 MSDS가 유통되고 있는 것이 확인되었다. 또한 MSDS가 지급된다 하더라도 정확한 정보가 아닌 경우가 있었다. MSDS 상의 정보 불일치, 물질 분류의 모호성 등으로 인해 적절한 위험성 평가와 관리가 어려운 상황이다. 특히 용제 하소된 규조토의 경우 MSDS가 각 제품별로 다른데 내용을 보면 유해/위험문구와 독성에 관한 정보, 노출기준 등이 잘못 표기되어 있는 경우가 많았다. 사용하고 있는 규조토에 대한 소성(하소)처리 여부를 조사한 결과 노출평가가 이루어졌던 사업장에서는 소성과정을 거치지 않고 건조하여 체로 거르는 방식으로 미세하게 처리된 규조토를 사용하였고, 유통 과정을 조사하는 과정에서 소성과정 또는 용제 소성된 규조토들이 제조, 사용되고 있음을 알 수 있었다. 이는 목적에 따라 다르기 때문에 산업보건관리 관점에서는 최초로 규조토에는 결정체 산화규소가 포함되어 있다라고 가정하고 관리를 하는 것이 바람직하고, 실제로 조사

결과 해당 사업장 공정에서 사용되는 연마제, 구조토에 결정체 산화규소가 포함되어 있지 않고 공정 중에서도 결정체로 변하여 공기중에 노출 될 가능성이 없다고 판단되면 그 때 구조토 또는 기타 광물성 분진에 준하여 측정을 해도 좋다고 판단된다. 구조토의 노출기준 재검토가 필요하다. 현재 노출기준에는 구조토와 구조토(비결정체)가 구분되어 있는데 둘 다 노출기준이 10 mg/m<sup>3</sup>으로 지정되어 있다. 개정을 하거나 구분을 하지 않도록 하는 것이 필요하다고 생각한다.

노출평가가 이루어졌던 금속 식기류 제조업종의 경우 제품의 종류 및 크기가 다양하여 자동 생산방식으로 공정 변경이 현실적으로 어렵다. 따라서 현재 사용하는 구조토를 독성이 낮은 흡수제 등으로 대체하거나, 전 단계에서 발생한 유분과 연마제를 다른 방법으로 제거 (예를 들어 형겔 또는 유분 흡수 PAPER를 이용하여 닦아내는 방식)하는 방안이 고려되어야 할 것을 사업장에 권고하였으나 곡물의 가루와 같은 다른 흡습제의 경우 뭉침 현상이 있어서 구조토 외에는 대체 할 수 있는 입자상 물질이 없다고 하였다.

작업 방식 및 구조토의 대체가 불가할 경우 해당 공정을 일부 밀폐하여 관리하는 방안을 권고한다. 6면 또는 5면 포위형 후드, 하방 그릴형으로 배기하여 퇴적된 연마제와 구조토를 관리할 수 있도록 한다. 작업자가 육안상 확인이 가능하도록 작업대의 포위는 투명 재질을 사용하여 작업 편의성을 높이도록 할 수 있다. 또한 해당 공정에서 사용하는 물질 내 결정체 산화규소가 확인되는바 타 공정과 분리하여 별도의 국소배기시스템으로 관리가 필요하다.

공기정화장치의 성능 또한 고성능 집진 장치 사용이 요구된다. 무엇보다 취급 근로자 및 관리자의 의식개선이 시급하다. 현장 조사 및 인터뷰 중 근로자들의 인식은 다음과 같았다. ‘이 물질은 그냥 황토 흙과 동일하다. 황토는 몸에 좋은 것 아니냐? 이걸 그렇게 위험한 물질이 아니다.’ 등의 인식을 가지고 있었다. 해당물질의 유해 위험성을 알리고 적합한 보호구를 지급 및 착용 지도하는 등의 MSDS 교육, 보호구 착용 지도 등의 현행 산업안전보건법상의 관리 방안이 현장에서 제대로 작동되지 않음을 여실히 보여주고 있다.

노출평가를 진행한 사업장의 경우 구조토의 성분 분석표를 MSDS라고 생각하고 비치하고 있었다. 해당 물질에 대한 정확한 정보 인식이 없었던 것이다. MSDS 상 정확한 정보 표기와 1-16번 각 항목의 적절한 작성, 산업안전보건법상 해당 물질의 분류 및 작업환경측정, 특수건강진단 등 기본적인 관리방안 내 포함하여 관리 될 수 있도록 개선할 필요가 있다.

이러한 문제점들을 해결하기 위해, 연마공정에서 사용하는 연마제 제품의 성분 표기를 더욱 명확하고 상세하게 하여 결정체 산화규소의 함유 여부와 비율을 정확히 파악할 수 있도록 개선해야 한다. 또한, 작업환경측정 및 특수건강진단 대상을 확대하여 모든 형태의 산화규소를 포함시켜 주기적인 모니터링을 강화할 필요가 있다고 생각한다. 또한 건강관리수첩 발급 대상에 구체적으로 결정체 산화규소에 대한 내용을 포함할 필요가 있다. 현재 상당 수의 측정기관은 측정대상 결정체 석영, 크리스토프라이트, 트리디마이트의 경우를 제외하고는 그 밖의 광물성분진으로 측정 및 특수건강진단 대상을 안내할 것으로 판단된다. 작업환경측정기관에서는 일반적으로 예비조사를 할 때 사업주로부터 MSDS를 제공 받고 이를 기반으로 측정대상 물질 여부를 판단하게 된다. 이때 산화규소의 경우에는 MSDS에 명확하게 기술되어 있는 경우를 제외하고 결정체 여부를 판단하는 것은 불가능하다. MSDS에 명확하게 표시가 되어 있으면 결정체 석영, 크리스토프라이트, 트리디마이트 등으로 구분하여 측정 계획을 세우고 측정을 하지만 표기가 되어 있지 않거나 모호한 경우에는 그밖의 광물성 분진으로 분류되어 기타 분진에 준하여 관리가 되고 있는 실정인 것이다. 또한 인조대리석, 엔지니어드 스톤과 같이 결정체 산화규소를 사용하는 사업장이나 최근 증가하고 있는 싱크대 상판 광택, 자동차 광택 작업을 하는 근로자도 결정체 산화규소에 노출될 가능성이 있기 때문에 향후 연구가 필요하다.

각종 광물 분말, 세라믹 분말의 MSDS 작성을 강화하고, MSDS 작성 시에는 결정체 산화규소 함유, 함유량에 대한 정보를 반드시 명시할 수 있도록 제도 개선을 하여야 한다.

구조토를 포함한 생활화학제품의 광범위한 사용은 해당 물질의 유용성을 보여주는 동시에, 잠재적 위험성에 대한 주의를 요구하고 있었다. 향후 이들 제품의 안전한 사용을 위해 제조업체의 품질관리와 함께 소비자들의 적절한 사용법 준수가 중요할 것으로 보인다. 이 자료를 통해서 연마와 관련되어 해당 제품들이 사업장 또는 일반 생활 중에 사용하여 노출 가능성이 있다는 점, 그리고 해당 제품을 생산하면서 근로자들이 노출 될 수 있다는 점을 파악할 수 있었다.

향후 연구 방향으로는, 연마제 사용 현장에서의 실제 노출 수준과 건강 영향에 대한 장기적이고 체계적인 연구가 필요하며, 비결정체 산화규소의 잠재적 위험성에 대한 추가 연구와 함께 더 안전한 대체 물질 개발에 대한 연구도 병행되어야 할 것이다.

연마공정에서 근로자에게 노출 될 수 있는 결정체 산화규소에 장기간 노출 될 경우 규폐증, 만성 폐쇄성 폐질환, 폐암 등 심각한 호흡기 질환을 유발할 수 있다. 작업환경측정자료를 분석해 본 결과 대부분의 사업장에서 작업환경 측정 결과 노출기준을 초과하지 않고 있으나, 이번 연구에서 직접 연마공정에서 노출평가를 실시한 사업장을 포함하여 일부 사업장에서 지속적인 노출기준 초과가 확인되어 반드시 확인 및 주의가 필요한 상황이다.

결론적으로, 연마제 사용으로 인한 결정체 산화규소 노출은 심각한 건강 위험을 초래할 수 있으므로, 이에 대한 인식 제고와 함께 더욱 체계적이고 엄격한 관리 방안이 시급히 마련되어야 한다. 또한, 지속적인 연구와 모니터링을 통해 관련 정책과 규제를 지속적으로 개선해 나가야 할 것이다.

## 참고문헌

- 권호영 외. (2004). 금속표면처리공학개론. 도서출판 골드, 고양.
- 김기웅, 임종한, 박신구, 김환철, 이동훈, 이승준, 허용석, 전성환. (2011). 결정형 유리규산에 의한 직업성 폐암. 대한직업환경의학회 학술대회 논문집, 대전.
- 김부욱, 김대호, 김형렬, 최병순. (2019). 급성 규폐증이 발생한 구조토 분말 취급 작업장의 결정형 실리카 노출평가: 역학조사 사례. 한국산업보건학회지, 29(3), 271-277.
- 김부욱, 이종성, 이경명, 신재훈, 송한수, 최병순. 도기제조 원료 중 결정형 유리규산 함량 및 공정별 결정형 유리규산 농도. 대한직업환경의학회 학술대회 논문집.
- 김학동 외. (1999). 연마제의 종류와 그 특성. 한국표면공학회지, 32(5), 625-631.
- 대한직업환경의학회. (2022). 직업환경의학. 계축문화사. p.395.
- 조범석, 김부욱, 이지원, 김형렬. (2015). 결정형 유리규산 노출과 폐암 외 암종 발생의 관련성. 대한직업환경의학회 학술대회 논문집.
- 조영승, 김경연, 윤형규, 구정완. (2012). 결정형 유리규산에 노출된 석공에서 발생한 사르코이드증. 대한직업환경의학회, 24(2), 189-194.
- 유재영. (2000). 구조토와 그 응용. 한국광물학회지 (광물과 산업), 13(1), 39-50.

- 이건이 외. (2014). 기계재료가공법. 시그마프레스, 서울.
- 고용노동부. (2024). 산업안전보건법 [시행 2024. 5. 17.], 법률 제19591호.
- 고용노동부. (2024). 중대재해 처벌 등에 관한 법률 시행령 (약칭: 중대재해처벌법 시행령) [시행 2022. 12. 8.], 대통령령 제33023호.
- 고용노동부고시 제2010-44호 화학물질 및 물리적인자의 노출기준(고용노동부고시 제2009-38호) 일부를 다음과 같이 개정 때 충분진 개념에서 개정되었으나 일부 측정기관에서 사용.
- 환경부. (2024). 화학물질관리법 [시행 2024. 2. 6.], 법률 제20231호.
- 환경부. (2024). 화학물질의 등록 및 평가 등에 관한 법률 (약칭: 화학물질등록평가법) [시행 2024. 7. 10.], 법률 제19964호.
- KOSHA. (2007). 화학물질 유통사용 실태조사 결과보고서: 유리규산.
- Azarhoushang, B. et al. (2021). Tribology and Fundamentals of Abrasive Machining Processes. William Andrew, New York.
- Bergna, H. E. et al. (2005). Colloidal Silica: Fundamentals and Applications. CRC Press, Florida.
- Birada, P. R. et al. (2018). Optimization Process Parameters in Honing Process-A Review Paper. CiiT International Journal of Data Mining and Knowledge Engineering, 10, 128-132.
- CIRP-The International Academy for Production Engineering. (2019). CIRP Encyclopedia of Production Engineering Volume 1. Springer Berlin Heidelberg, Berlin.
- Davis, K. (2010). Material Review: Alumina Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. School of

Doctoral Studies (European Union) Journal, 2, 109-114.

Delstar metal finishing, Inc. "Mechanical Polishing". Delstar metal finishing, 2024. <https://www.delstar.com/mechanical-polishing>.

Edling, C. et al. (1987). Mortality and cancer incidence among workers in an abrasive manufacturing industry. *Occupational and Environmental Medicine*, 44(1), 57-59.

Ehrlich, R. et al. (2021). The association between silica exposure, silicosis and tuberculosis: a systematic review and meta-analysis. *BMC Public Health*, 21(1), 953.

Huang, J. et al. (2021). Effect of ball milling process on the mechanical and thermal properties of the nanodiamond/2024 Al composites. *Micron*, 148, 103104.

Huang, Y. et al. (2022). Silica nanoparticles: Biomedical applications and toxicity. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 151, 113053.

Jacobs, F. B. (1928). *The abrasive handbook*. The Penton Publishing Company, London.

Kalpajian, S. et al. (2021). *Manufacturing Processes for Engineering Materials*. 6th edition, Pearson, London.

Li, X. P. S. et al. (2022). Resource, Characteristic, Purification and Application of Quartz: A Review. *Minerals Engineering*, 183, 107600.

Marinescu, L. D. et al. (2012). *Tribology of Abrasive Machining*

- Processes. Elsevier Science & Technology, Amsterdam.
- Microtrac. (2024). Abrasives – particle size and shape analysis of abrasive grains with Dynamic Image Analysis. <https://www.microtrac.com/files/79679/abrasives.pdf>.
- Occupational Safety and Health Administration (OSHA). 1926.1153 - Respirable crystalline silica [Internet]. Available from: <https://www.osha.gov/laws-regs/regulations/standardnumber/1926/1926.1153>.
- Park, Y. H. et al. (2013). Effect of the size and surface charge of silica nanoparticles on cutaneous toxicity. *Molecular & Cellular Toxicology*, 9, 67-74.
- Pham, D. H. et al. (2016). Use of Zebrafish Larvae as a Multi-Endpoint Platform to Characterize the Toxicity Profile of Silica Nanoparticles. *Scientific Reports*, 6, 37145.
- Saleem, M. et al. (2015). Role of the surface quality on the mechanical behavior of CFRP bolted composite joints. *International Journal of Fatigue*, 80, 246-256.
- Searle, A. B. (1922). *The Manufacture and Uses of Abrasive Materials*. Sir I. Pitman & Sons, Limited, London.
- Shekhar, M. et al. (2020). Diamond abrasive based cutting tool for processing of advanced engineering materials: a review. *Materials Today: Proceedings*, 22, 3126-3135.
- Slavin, R. E. et al. (1985). Extrapulmonary silicosis: A clinical,

morphologic, and ultrastructural study. *Human Pathology*, 16(4), 393-412.

Stephen, M. et al. (2009). *Grinding Technology Theory and Applications of Machining With Abrasives 2/E*. Industrial Press, New York.

Thakare, M. R. et al. (2012). Effect of abrasive particle size and the influence of microstructure on the wear mechanisms in wear-resistant materials. *Wear*, 276-277, 16-28.

Xia, Z. et al. (2020). Advances in polishing of optical freeform surfaces: A review. *Journal of Materials Processing Technology*, 286, 116828.

Xie, M. et al. (2022). Review on Surface Polishing Methods of Optical Parts. *Advances in Materials Science and Engineering*, 8723269.

Zhong, Z. W. (2020). Advanced polishing, grinding and finishing processes for various manufacturing applications: a review. *Materials and Manufacturing Processes*, 35, 408-411.



## Abstract

# A Study on Risk Management Strategies Through Investigation of Polisher and Abrasive Usage Practices

**Objectives:** This study aims to investigate the use of abrasives in domestic workplaces, focusing on the presence and risks of crystalline silica (Quartz) exposure, and to propose management strategies to minimize associated health hazards. Acute silicosis fatalities in stainless steel manufacturing highlight the urgent need for systematic analysis of abrasive compositions and their use. The study's ultimate goal is to develop comprehensive risk management solutions, including material substitution, improved labeling, regulatory enhancements, and safer workplace practices.

**Method:** A detailed analysis was conducted on the types, compositions, and industrial applications of abrasives, with a particular focus on diatomaceous earth and aluminum- or chromium-based polishing agents. Korean exposure levels were compared against international standards, and crystalline silica content in abrasives was measured, revealing significant Quartz concentrations in some products (up to 30%). Workplace exposure monitoring data and MSDS reviews were analyzed to identify gaps in current regulatory and management

practices. Surveys and interviews with industry stakeholders provided additional insights into exposure risks and operational challenges.

**Results:** The analysis of abrasive products used in domestic workplaces identified a wide range of materials, including diatomaceous earth and aluminum- or chromium-based polishing agents. Among these, diatomaceous earth was found to contain crystalline silica (Quartz) in concentrations exceeding 30%. Additionally, crystalline silica was detected in certain consumer chemical products under the jurisdiction of the Ministry of Environment, which highlights the need for cross-sectoral management and regulation. Workplace exposure monitoring data revealed that while most environments adhered to permissible exposure limits, consistent exceedances were observed in specific facilities, emphasizing the necessity for enhanced monitoring and stricter controls. A review of Material Safety Data Sheets (MSDS) uncovered issues such as unclear labeling and insufficient information regarding hazardous components, posing significant challenges to effective risk management. Interviews and surveys with industry stakeholders further confirmed the severe health risks associated with prolonged crystalline silica exposure, including silicosis, chronic obstructive pulmonary disease (COPD), and lung cancer. These findings underscore the urgent need for stricter regulatory standards, accurate labeling, comprehensive monitoring, and improved management systems to address these critical safety concerns.

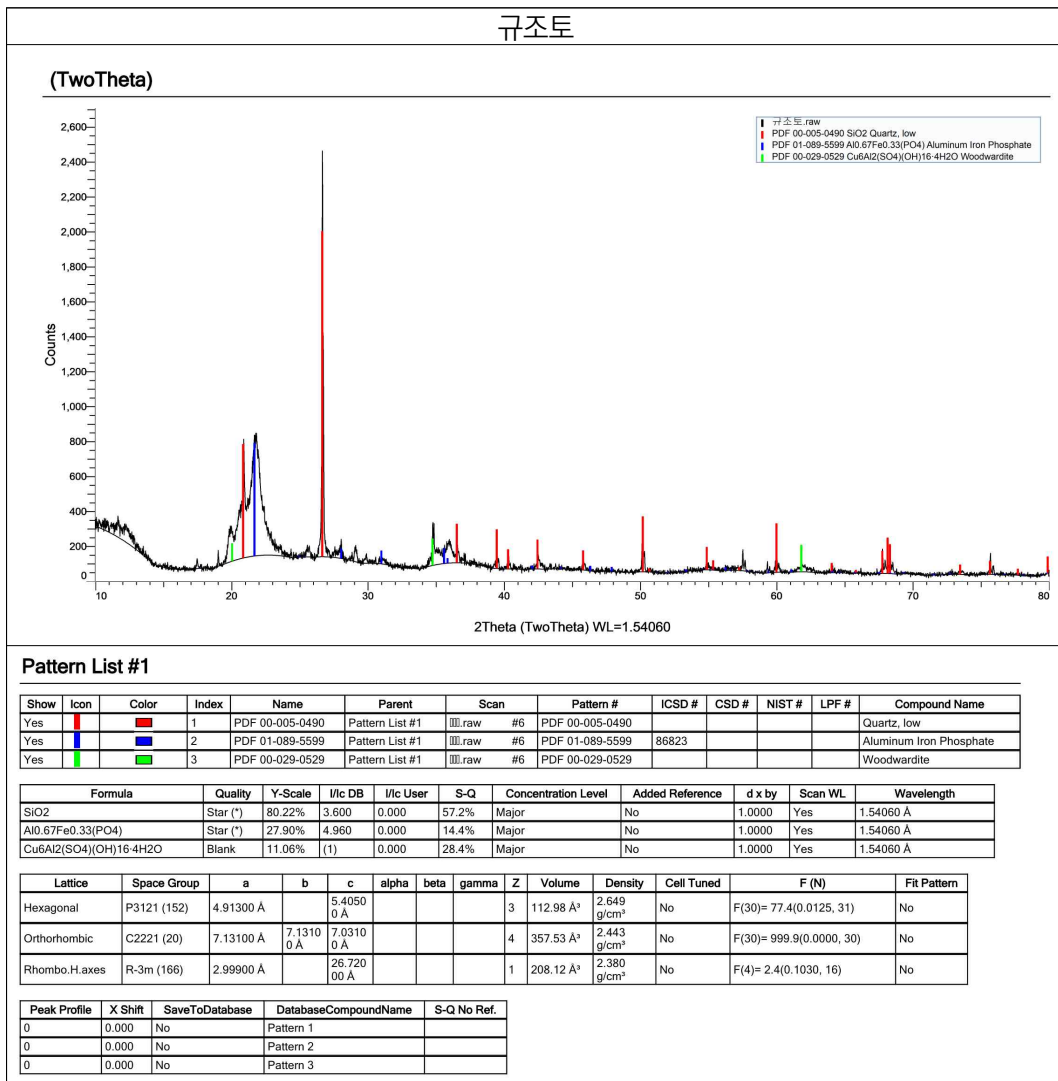
**Conclusion:** This study highlights the critical health risks associated with abrasive usage in domestic workplaces and the urgent need for a systematic approach to risk management. By addressing gaps in

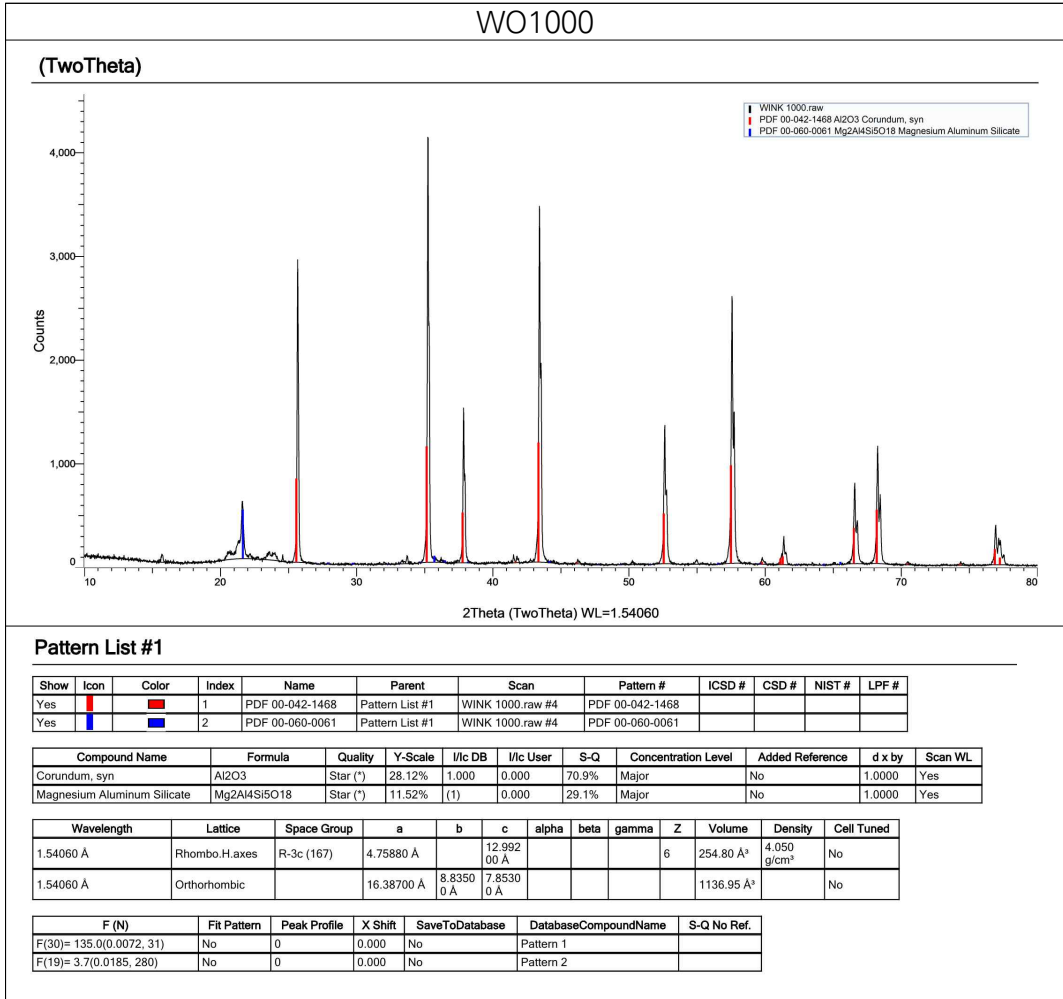
composition transparency, regulatory standards, and workplace practices, the proposed measures aim to significantly reduce silica exposure and enhance worker safety. Future research should focus on long-term health impacts, safer material development, and ongoing policy refinement to maintain relevance with global safety trends.

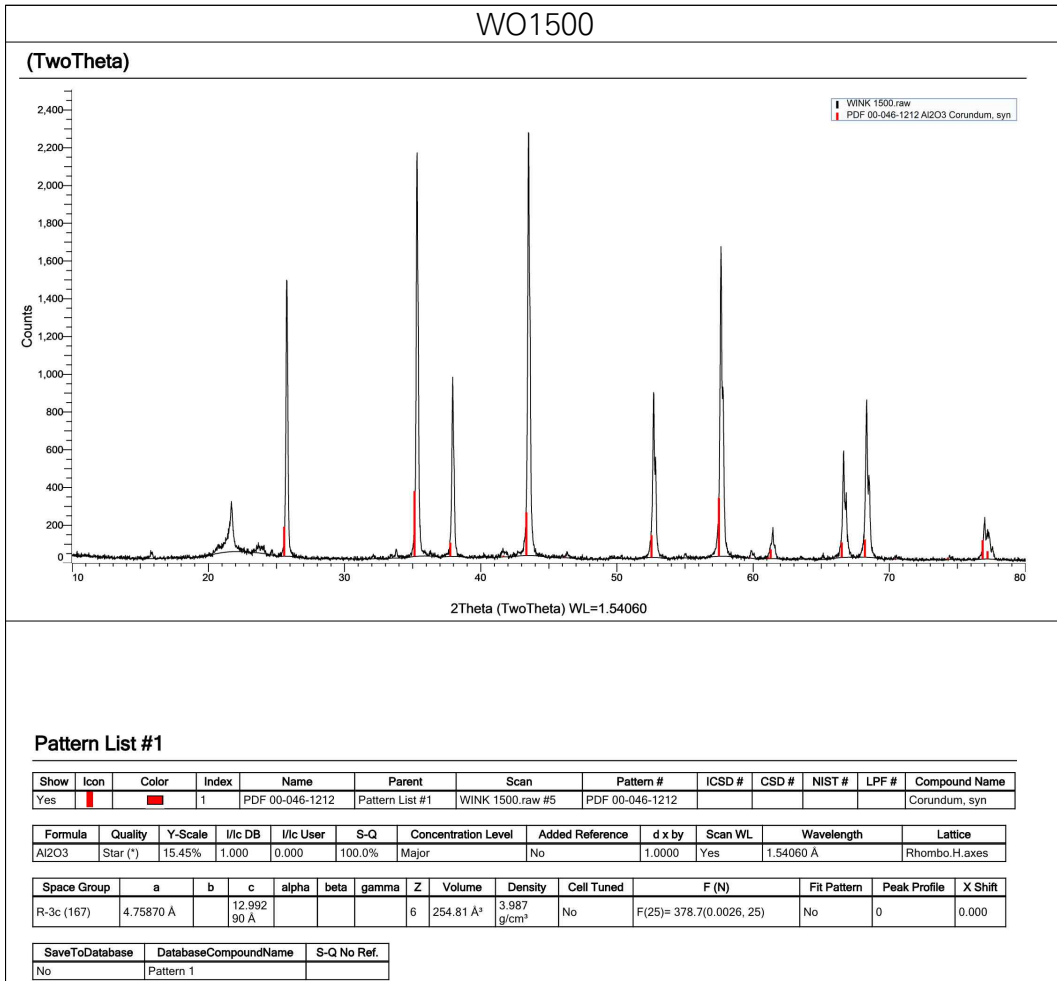
**Key words:** Polisher and Abrasive usage, Crystalline silica, Risk management, Workplace health

# 부록

## 1. XRD 분석결과

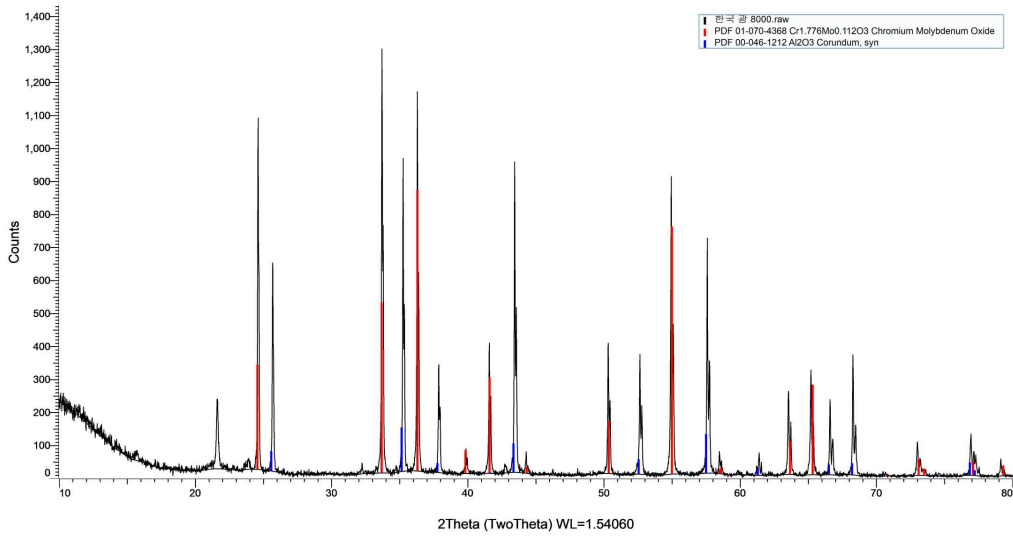






O8000

(TwoTheta)



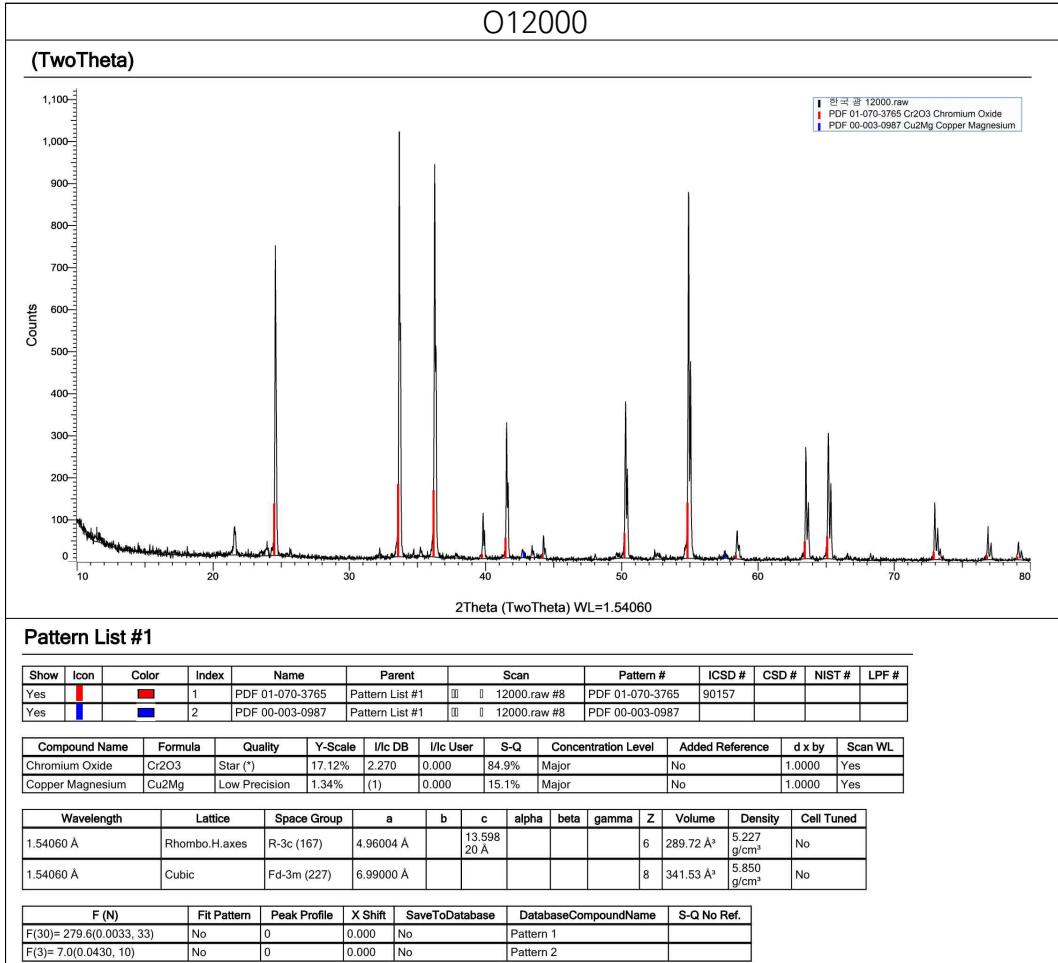
Pattern List #1

Show	Icon	Color	Index	Name	Parent	Scan	Pattern #	ICSD #	CSD #	NIST #	LPF #
Yes	[Red Icon]	[Red]	1	PDF 01-070-4368	Pattern List #1	8000.raw #7	PDF 01-070-4368	90814			
Yes	[Blue Icon]	[Blue]	2	PDF 00-046-1212	Pattern List #1	8000.raw #7	PDF 00-046-1212				

Compound Name	Formula	Quality	Y-Scale	I/Ic DB	I/Ic User	S-Q	Concentration Level	Added Reference	d x by	Scan WL
Chromium Molybdenum Oxide	Cr1.776Mo0.112O3	Blank	66.19%	1.830	0.000	77.7%	Major	No	1.0000	Yes
Corundum, syn	Al2O3	Star (*)	10.36%	1.000	0.000	22.3%	Major	No	1.0000	Yes

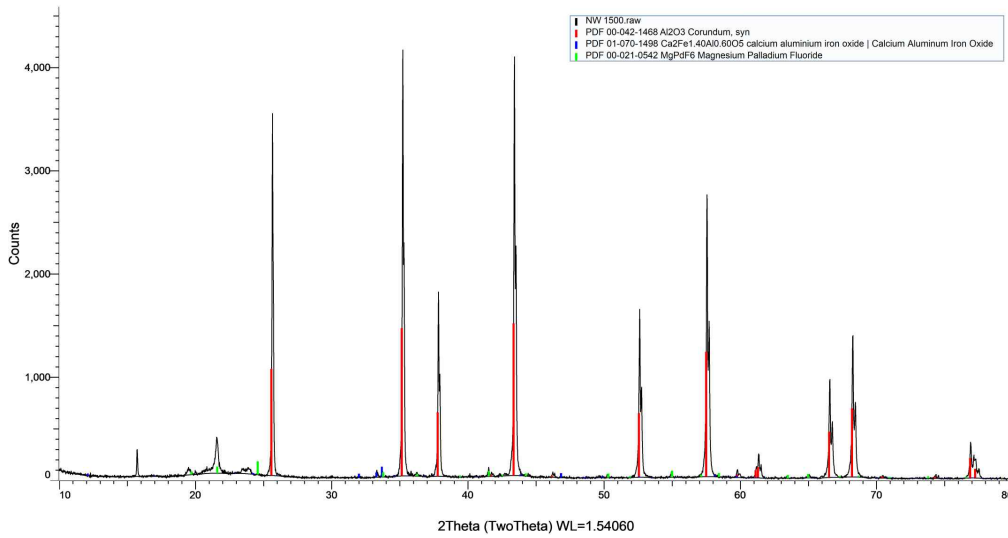
Wavelength	Lattice	Space Group	a	b	c	alpha	beta	gamma	Z	Volume	Density	Cell Tuned
1.54060 Å	Rhombo.H.axes	R-3c (167)	4.94400 Å		13.56900 Å				6	287.23 Å³	5.241 g/cm³	No
1.54060 Å	Rhombo.H.axes	R-3c (167)	4.75870 Å		12.99290 Å				6	254.81 Å³	3.987 g/cm³	No

F (N)	Fit Pattern	Peak Profile	X Shift	SaveToDatabase	DatabaseCompoundName	S-Q No Ref.
F(30)= 302.6(0.0031, 32)	No	0	0.000	No	Pattern 1	
F(25)= 378.7(0.0026, 25)	No	0	0.000	No	Pattern 2	



NO1500

(TwoTheta)



2Theta (TwoTheta) WL=1.54060

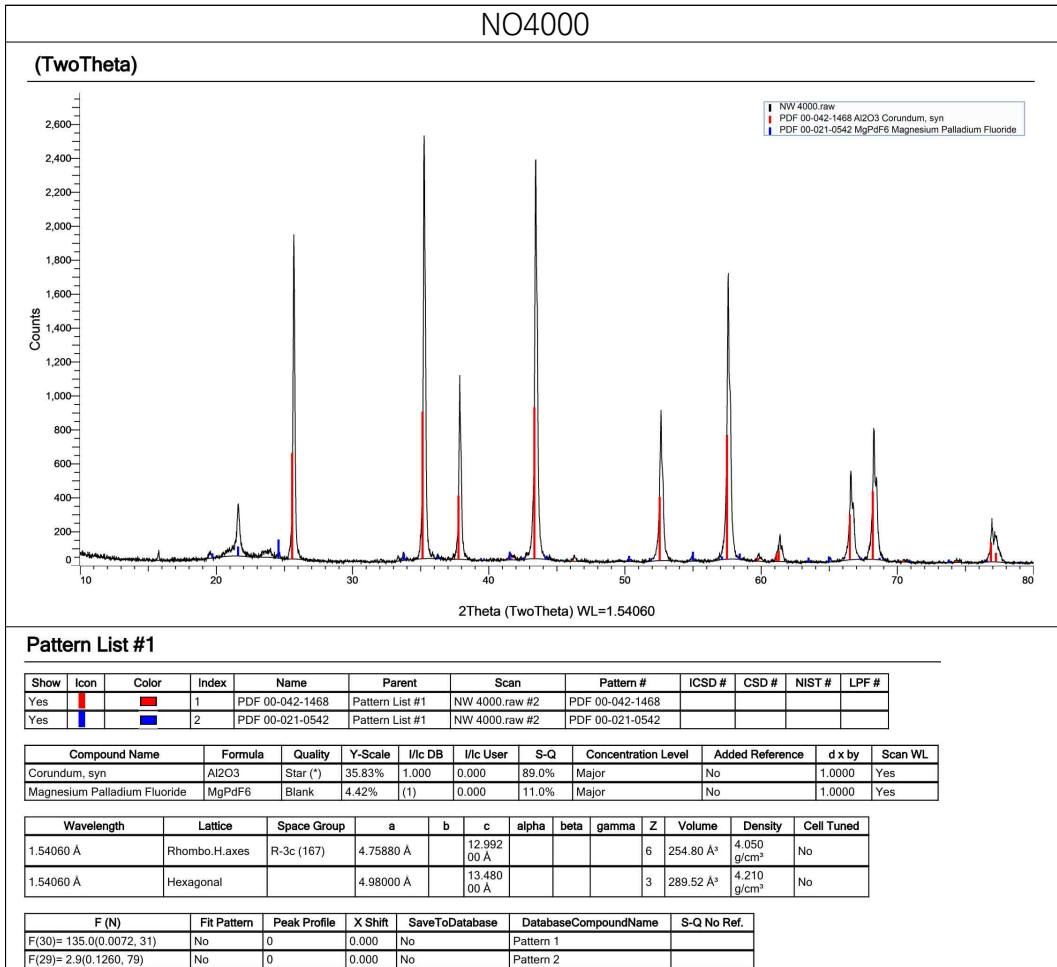
Pattern List #1

Show	Icon	Color	Index	Name	Parent	Scan	Pattern #	ICSD #	CSD #	NIST #	LPF #
Yes			1	PDF 00-042-1468	Pattern List #1	NW 1500.raw #1	PDF 00-042-1468				
Yes			2	PDF 01-070-1498	Pattern List #1	NW 1500.raw #1	PDF 01-070-1498	2841			
Yes			3	PDF 00-021-0542	Pattern List #1	NW 1500.raw #1	PDF 00-021-0542				

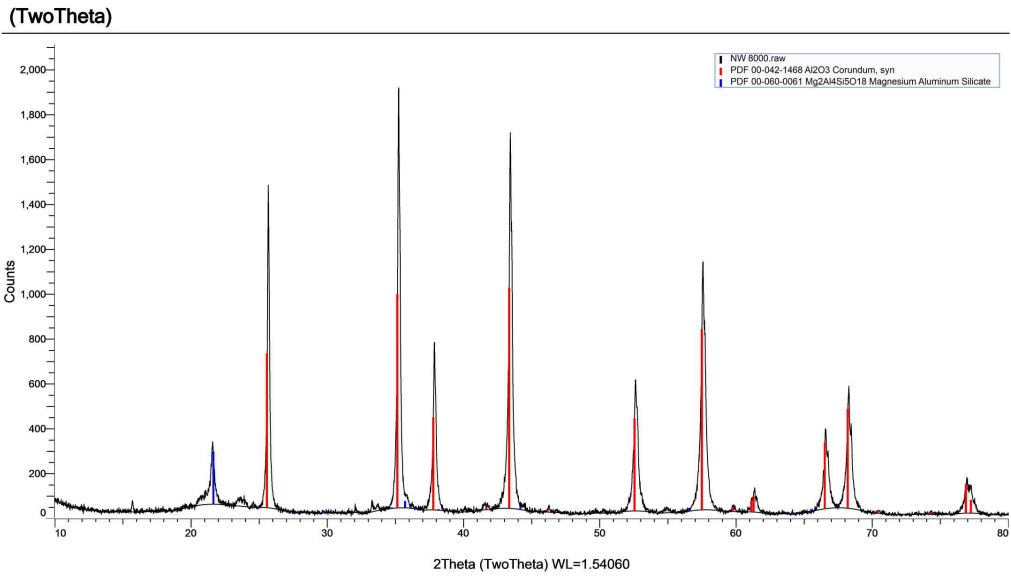
Compound Name	Formula	Quality	Y-Scale	I/Ic DB	I/Ic User	S-Q	Concentration Level
Corundum, syn	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Star (*)	35.74%	1.000	0.000	89.5%	Major
calcium aluminium iron oxide   Calcium Aluminum Iron Oxide	Ca <sub>2</sub> Fe <sub>1.40</sub> Al <sub>0.60</sub> O <sub>5</sub>	Indexed	2.43%	2.270	0.000	2.7%	Minor
Magnesium Palladium Fluoride	MgPdF <sub>6</sub>	Blank	3.13%	(1)	0.000	7.8%	Major

Added Reference	d x by	Scan WL	Wavelength	Lattice	Space Group	a	b	c	alpha	beta	gamma	Z	Volume
No	1.0000	Yes	1.54060 Å	Rhombo.H.axes	R-3c (167)	4.75880 Å		12.99200 Å				6	254.80 Å <sup>3</sup>
No	1.0000	Yes	1.54060 Å	Orthorhombic	Ibm2 (46)	5.58800 Å	14.61000 Å	5.38000 Å				4	439.23 Å <sup>3</sup>
No	1.0000	Yes	1.54060 Å	Hexagonal		4.98000 Å		13.48000 Å				3	289.52 Å <sup>3</sup>

Density	Cell Tuned	F (N)	Fit Pattern	Peak Profile	X Shift	SaveToDatabase	DatabaseCompoundName	S-Q No Ref.
4.050 g/cm <sup>3</sup>	No	F(30)= 135.0(0.0072, 31)	No	0	0.000	No	Pattern 1	
3.849 g/cm <sup>3</sup>	No	F(30)= 356.6(0.0025, 33)	No	0	0.000	No	Pattern 2	
4.210 g/cm <sup>3</sup>	No	F(29)= 2.9(0.1260, 79)	No	0	0.000	No	Pattern 3	



NO8000



Pattern List #1

Show	Icon	Color	Index	Name	Parent	Scan	Pattern #	ICSD #	CSD #	NIST #	LPF #
Yes		■	1	PDF 00-042-1468	Pattern List #1	NW 8000.raw #3	PDF 00-042-1468				
Yes		■	2	PDF 00-060-0061	Pattern List #1	NW 8000.raw #3	PDF 00-060-0061				

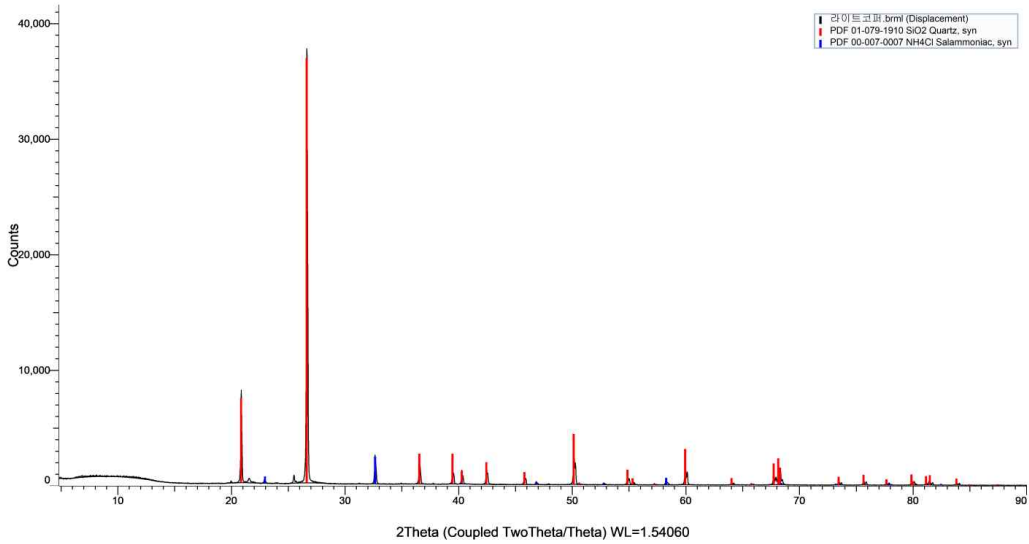
Compound Name	Formula	Quality	Y-Scale	I/Ic DB	I/Ic User	S-Q	Concentration Level	Added Reference	d x by	Scan WL
Corundum, syn	Al2O3	Star (*)	52.47%	1.000	0.000	80.8%	Major	No	1.0000	Yes
Magnesium Aluminum Silicate	Mg2Al4Si5O18	Star (*)	12.48%	(1)	0.000	19.2%	Major	No	1.0000	Yes

Wavelength	Lattice	Space Group	a	b	c	alpha	beta	gamma	Z	Volume	Density	Cell Tuned
1.54060 Å	Rhombo.H.axes	R-3c (167)	4.75880 Å		12.99200 Å				6	254.80 Å³	4.050 g/cm³	No
1.54060 Å	Orthorhombic		16.38700 Å	8.83500 Å	7.85300 Å					1136.95 Å³		No

F (N)	Fit Pattern	Peak Profile	X Shift	SaveToDatabase	DatabaseCompoundName	S-Q No Ref.
F(30)= 135.0(0.0072, 31)	No	0	0.000	No	Pattern 1	
F(19)= 3.7(0.0185, 280)	No	0	0.000	No	Pattern 2	

### Copper Cream

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



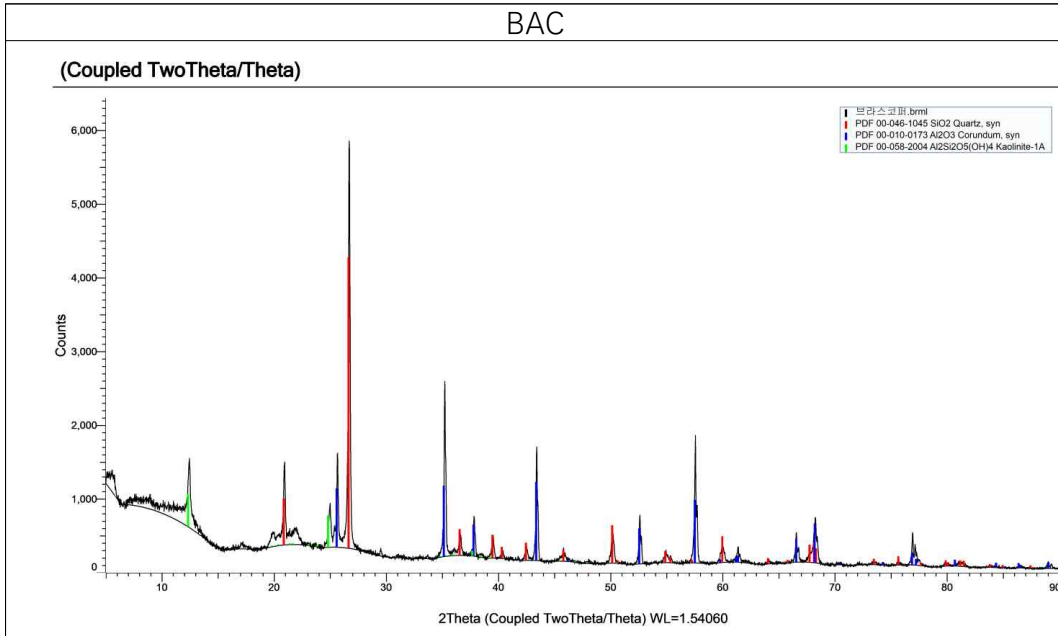
#### Pattern List #1

Show	Icon	Color	Index	Name	Parent	Scan	Pattern #	ICSD #	CSD #	NIST #	LPF #
Yes		Red	1	PDF 01-079-1910	Pattern List #1	라인 트로프.brml (Displacement) #1	PDF 01-079-1910	67121			
Yes		Blue	2	PDF 00-007-0007	Pattern List #1	라인 트로프.brml (Displacement) #1	PDF 00-007-0007				

Compound Name	Formula	Quality	Y-Scale	I/c DB	I/c User	S-Q	Concentration Level	Added Reference	d x by	Scan WL	Wavelength
Quartz, syn	SiO2	Star (*)	97.79%	3.070	0.000	96.7%	Major	No	1.0000	Yes	1.54060 Å
Salammoniac, syn	NH4Cl	Indexed	6.25%	5.800	0.000	3.3%	Minor	No	1.0000	Yes	1.54060 Å

Lattice	Space Group	a	b	c	alpha	beta	gamma	Z	Volume	Density	Cell Tuned	F (N)	Fit Pattern	Peak Profile
Hexagonal	P3121 (152)	4.91400 Å		5.4060 0 Å				3	113.05 Å³	2.648 g/cm³	No	F(30)= 999.9(0.0000, 30)	No	0
Cubic	Pm-3m (221)	3.87560 Å						1	58.21 Å³	1.532 g/cm³	No	F(21)= 48.2(0.0210, 21)	No	0

X Shift	SaveToDatabase	DatabaseCompoundName	S-Q No Ref.
0.000	No	Pattern 1	
0.000	No	Pattern 2	



Pattern List #1

Show	Icon	Color	Index	Name	Parent	Scan	Pattern #	ICSD #	CSD #	NIST #	LPF #	Compound Name
Yes		Red	1	PDF 00-046-1045	Pattern List #1	0000.brml #2	PDF 00-046-1045					Quartz, syn
Yes		Blue	2	PDF 00-010-0173	Pattern List #1	0000.brml #2	PDF 00-010-0173					Corundum, syn
Yes		Green	3	PDF 00-058-2004	Pattern List #1	0000.brml #2	PDF 00-058-2004					Kaolinite-1A

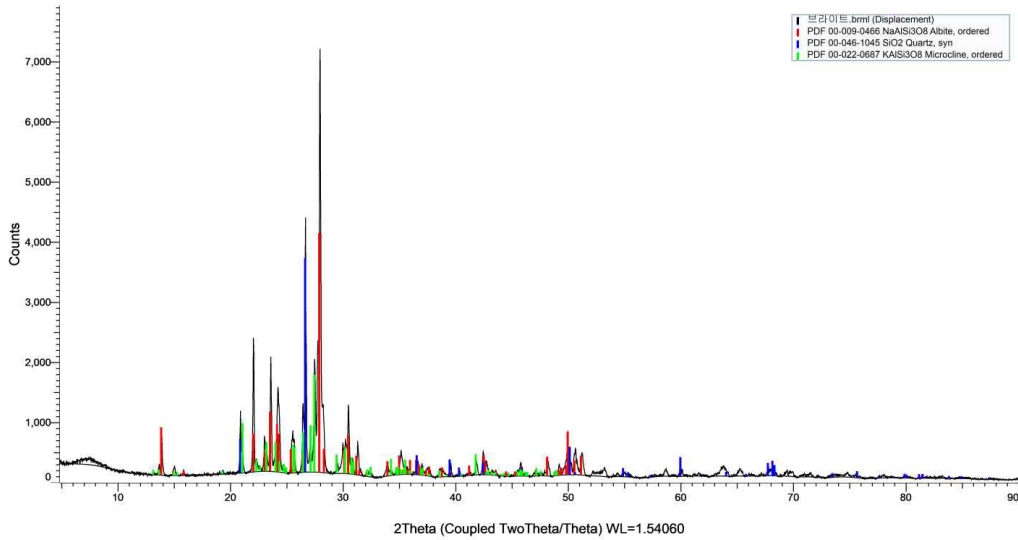
Formula	Quality	Y-Scale	I/Ic DB	I/Ic User	S-Q	Concentration Level	Added Reference	d x by	Scan WL	Wavelength
SiO2	Star (*)	71.46%	3.410	0.000	43.4%	Major	No	1.0000	Yes	1.54060 Å
Al2O3	Indexed	19.33%	1.000	0.000	40.0%	Major	No	1.0000	Yes	1.54060 Å
Al2Si2O5(OH)4	Indexed	8.04%	(1)	0.000	16.6%	Major	No	1.0000	Yes	1.54060 Å

Lattice	Space Group	a	b	c	alpha	beta	gamma	Z	Volume	Density	Cell Tuned	F (N)	Fit Pattern
Hexagonal	P3221 (154)	4.91344 Å		5.40524 Å				3	113.01 Å³	2.660 g/cm³	No	F(30)= 558.3(0.0017, 31)	No
Rhombo.H.axes	R-3c (167)	4.75800 Å		12.99100 Å				6	254.70 Å³	4.050 g/cm³	No	F(30)= 49.8(0.0188, 32)	No
Triclinic	C1 (1)	5.14710 Å	8.95630 Å	7.40220 Å	91.828 °	104.591 °	89.821 °	2	165.03 Å³	2.599 g/cm³	No	F(17)= 7.2(0.0450, 52)	No

Peak Profile	X Shift	SaveToDatabase	DatabaseCompoundName	S-Q No Ref.
0	0.000	No	Pattern 1	
0	0.000	No	Pattern 2	
0	0.000	No	Pattern 3	

CC

(Coupled TwoTheta/Theta)



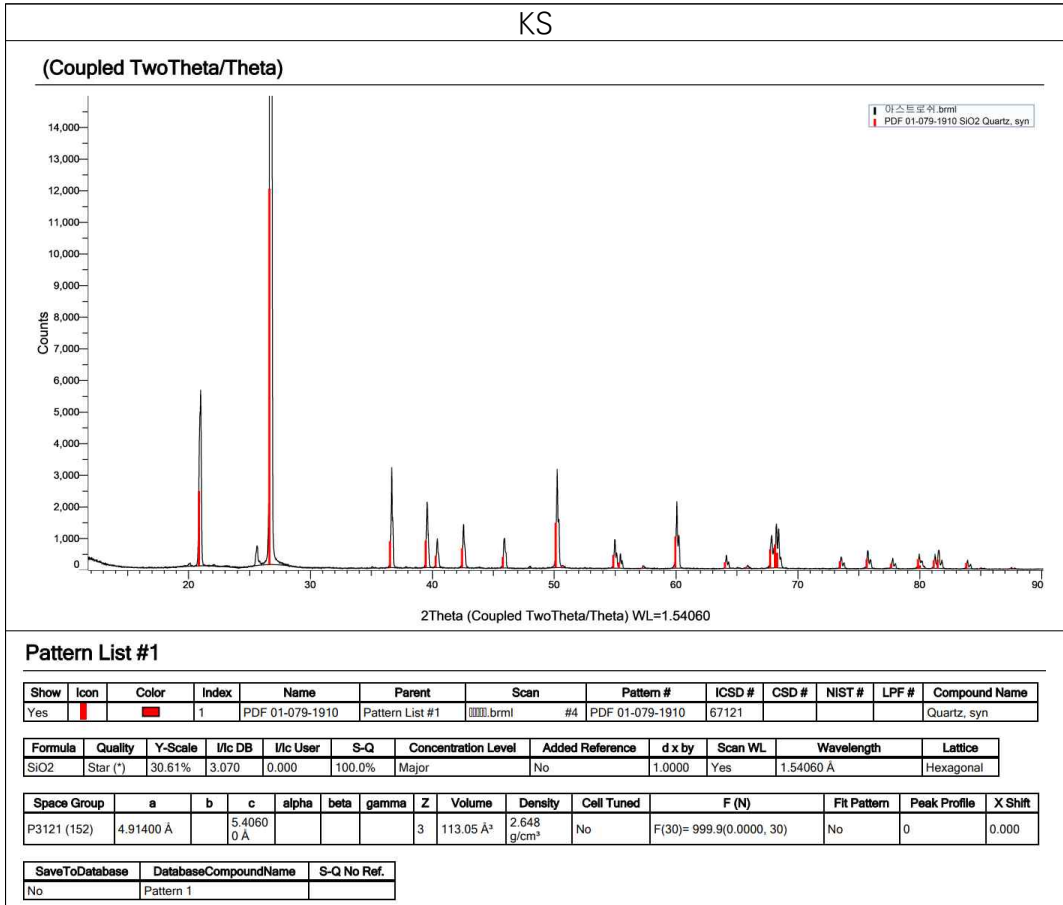
Pattern List #1

Show	Icon	Color	Index	Name	Parent	Scan	Pattern #	ICSD #	CSD #	NIST #	LPF #
Yes		Red	1	PDF 00-009-0466	Pattern List #1	III brml (Displacement) #3	PDF 00-009-0466				
Yes		Blue	2	PDF 00-046-1045	Pattern List #1	III brml (Displacement) #3	PDF 00-046-1045				
Yes		Green	3	PDF 00-022-0687	Pattern List #1	III brml (Displacement) #3	PDF 00-022-0687				

Compound Name	Formula	Quality	Y-Scale	I/c DB	I/c User	S-Q	Concentration Level	Added Reference	d x by	Scan WL
Albite, ordered	NaAlSi3O8	Star (*)	56.52%	2.100	0.000	41.5%	Major	No	1.0000	Yes
Quartz, syn	SiO2	Star (*)	50.53%	3.410	0.000	22.9%	Major	No	1.0000	Yes
Microcline, ordered	KAlSi3O8	Calculated	23.06%	(1)	0.000	35.6%	Major	No	1.0000	Yes

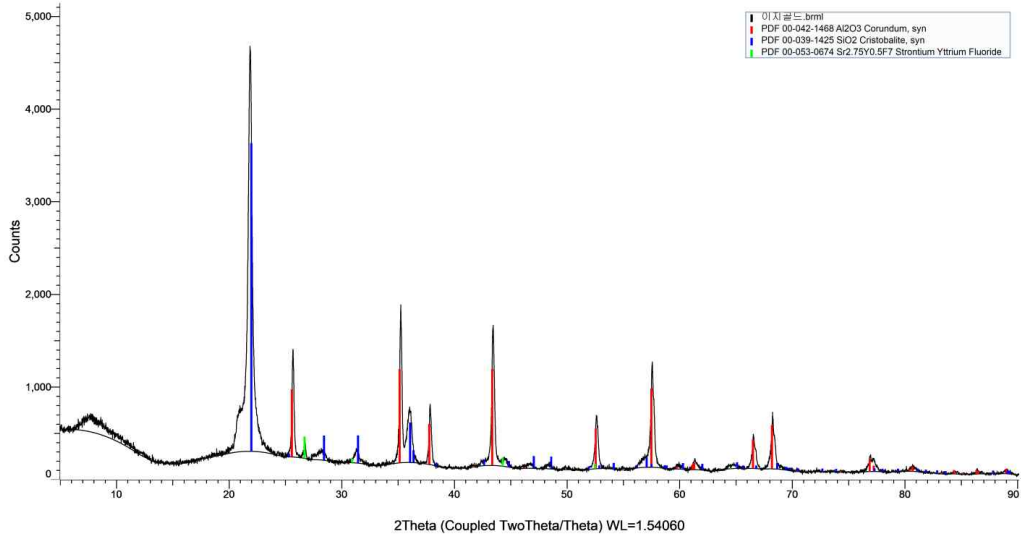
Wavelength	Lattice	Space Group	a	b	c	alpha	beta	gamma	Z	Volume	Density	Cell Tuned
1.54060 Å	Triclinic	C-1 (2)	8.14400 Å	12.78700 Å	7.16000 Å	94.260 °	116.600 °	87.670 °	4	332.42 Å³	2.605 g/cm³	No
1.54060 Å	Hexagonal	P3221 (154)	4.91344 Å		5.40524 Å				3	113.01 Å³	2.660 g/cm³	No
1.54060 Å	Triclinic	C-1 (2)	8.56000 Å	12.96400 Å	7.21500 Å	90.650 °	115.830 °	87.700 °	4	360.04 Å³	2.567 g/cm³	No

F (N)	Fit Pattern	Peak Profile	X Shift	SaveToDatabase	DatabaseCompoundName	S-Q No Ref.
F(30)= 36.1(0.0139, 60)	No	0	0.000	No	Pattern 1	
F(30)= 558.3(0.0017, 31)	No	0	0.000	No	Pattern 2	
F(30)= 66.3(0.0094, 48)	No	0	0.000	No	Pattern 3	



EG

(Coupled TwoTheta/Theta)



Pattern List #1

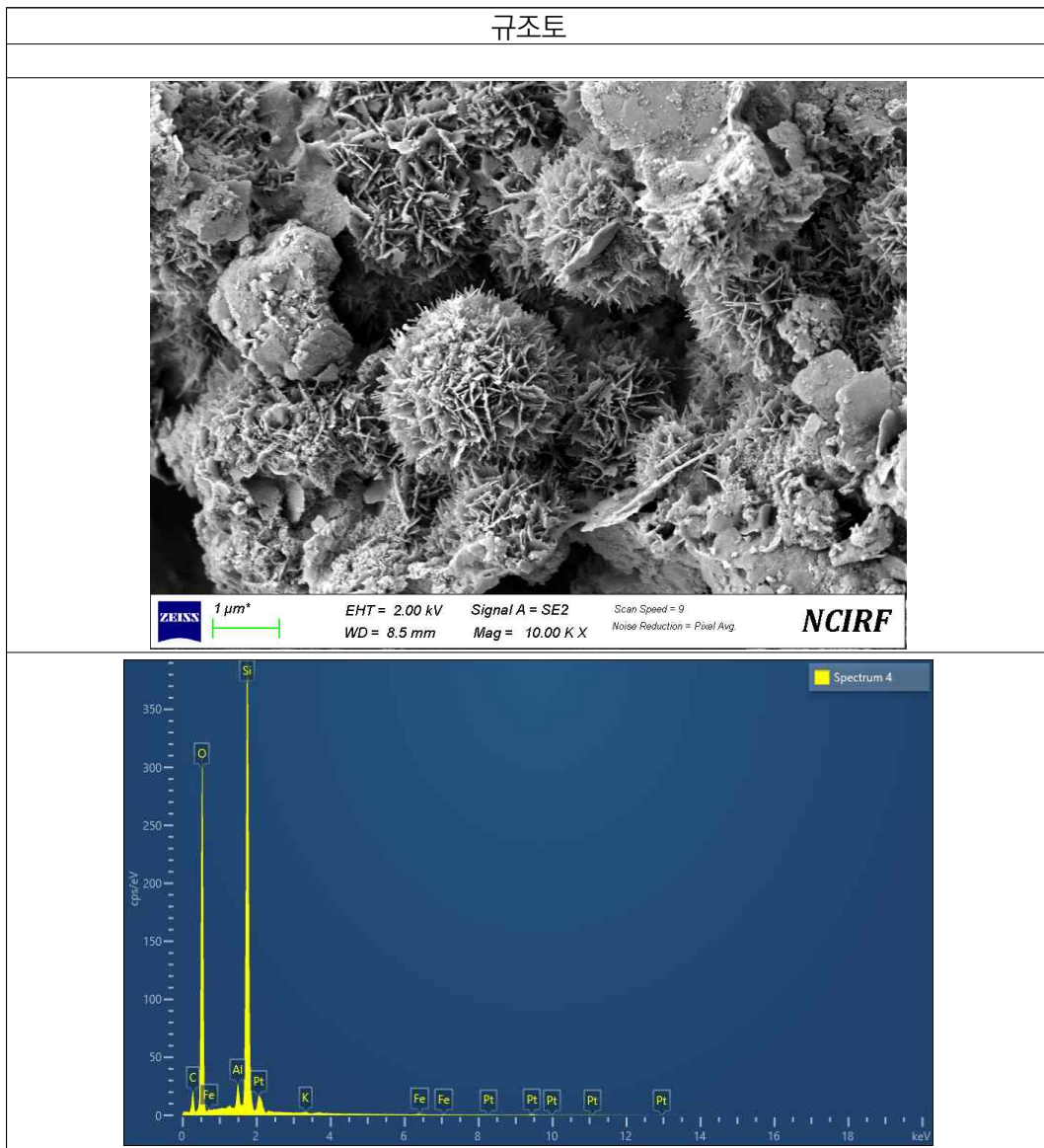
Show	Icon	Color	Index	Name	Parent	Scan	Pattern #	ICSD #	CSD #	NIST #	LPF #
Yes			1	PDF 00-042-1468	Pattern List #1	brml #5	PDF 00-042-1468				
Yes			2	PDF 00-039-1425	Pattern List #1	brml #5	PDF 00-039-1425				
Yes			3	PDF 00-053-0674	Pattern List #1	brml #5	PDF 00-053-0674				

Compound Name	Formula	Quality	Y-Scale	I/Ic DB	I/Ic User	S-Q	Concentration Level	Added Reference	d x by	Scan WL
Corundum, syn	Al2O3	Star (*)	23.79%	1.000	0.000	22.6%	Major	No	1.0000	Yes
Cristobalite, syn	SiO2	Star (*)	76.07%	(1)	0.000	72.3%	Major	No	1.0000	Yes
Strontium Yttrium Fluoride	Sr2.75Y10.5F17	Star (*)	5.37%	(1)	0.000	5.1%	Major	No	1.0000	Yes

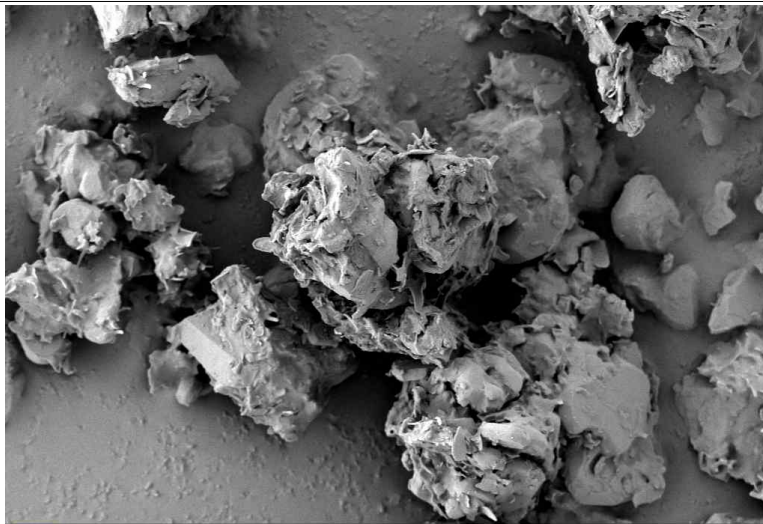
Wavelength	Lattice	Space Group	a	b	c	alpha	beta	gamma	Z	Volume	Density	Cell Tuned
1.54060 Å	Rhombo.H.axes	R-3c (167)	4.75880 Å		12.99200 Å				6	254.80 Å³	4.050 g/cm³	No
1.54060 Å	Tetragonal	P41212 (92)	4.97320 Å		6.92360 Å				4	171.24 Å³	2.331 g/cm³	No
1.54060 Å	Cubic	F (0)	5.77600 Å						1	192.70 Å³	3.605 g/cm³	No

F (N)	Fit Pattern	Peak Profile	X Shift	SaveToDatabase	DatabaseCompoundName	S-Q No Ref.
F(30)= 135.0(0.0072, 31)	No	0	0.000	No	Pattern 1	
F(30)= 83.3(0.0100, 36)	No	0	0.000	No	Pattern 2	
F(6)= 96.8(0.0103, 6)	No	0	0.000	No	Pattern 3	

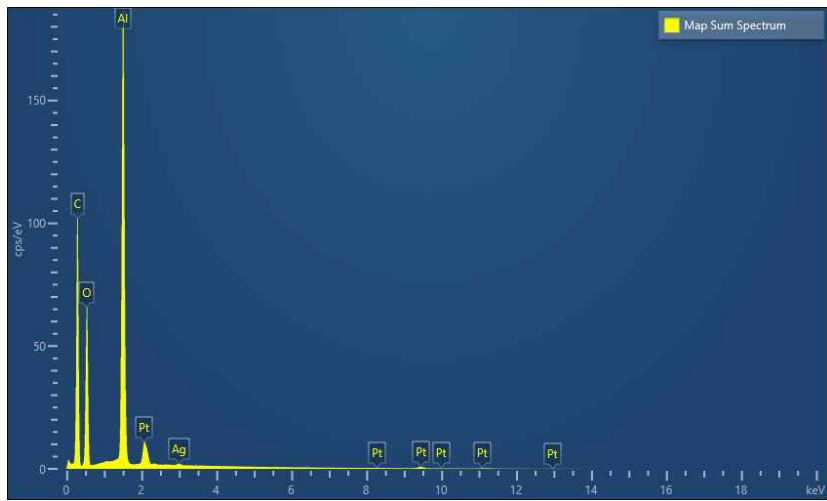
## 2. FE-SEM 분석결과



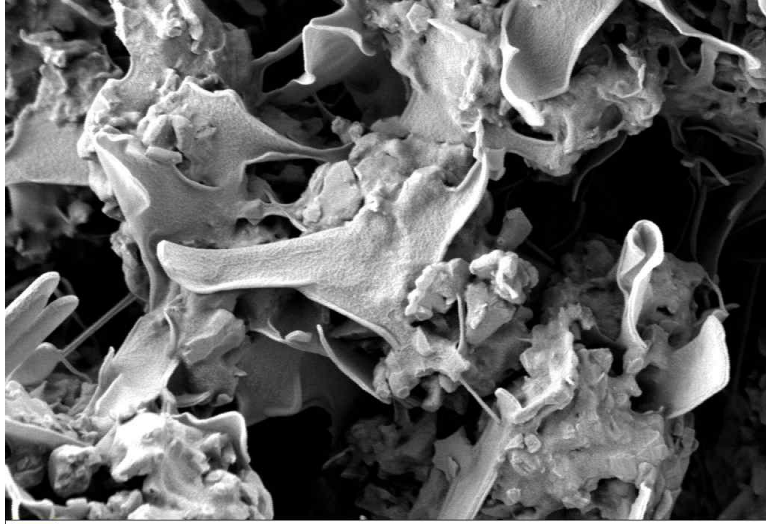
WO1000



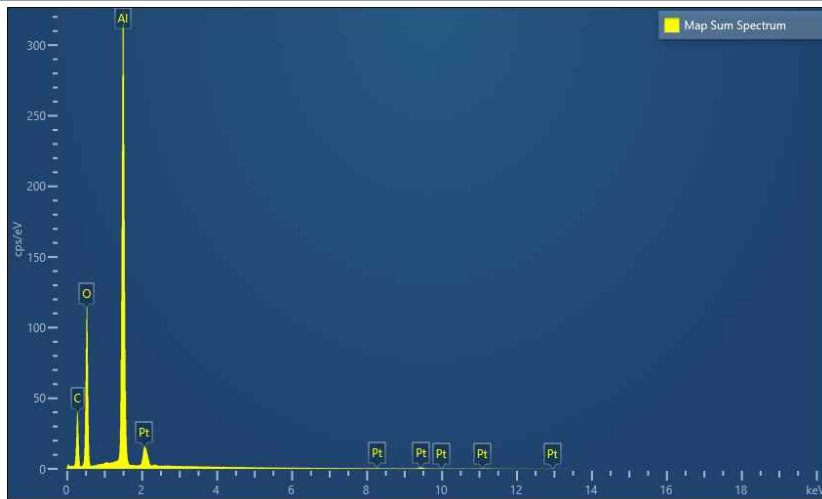
ZEISS 3  $\mu\text{m}^*$  EHT = 2.00 kV Signal A = SE2 Scan Speed = 9  
WD = 8.4 mm Mag = 3.00 K X Noise Reduction = Pixel Avg. NCIRF

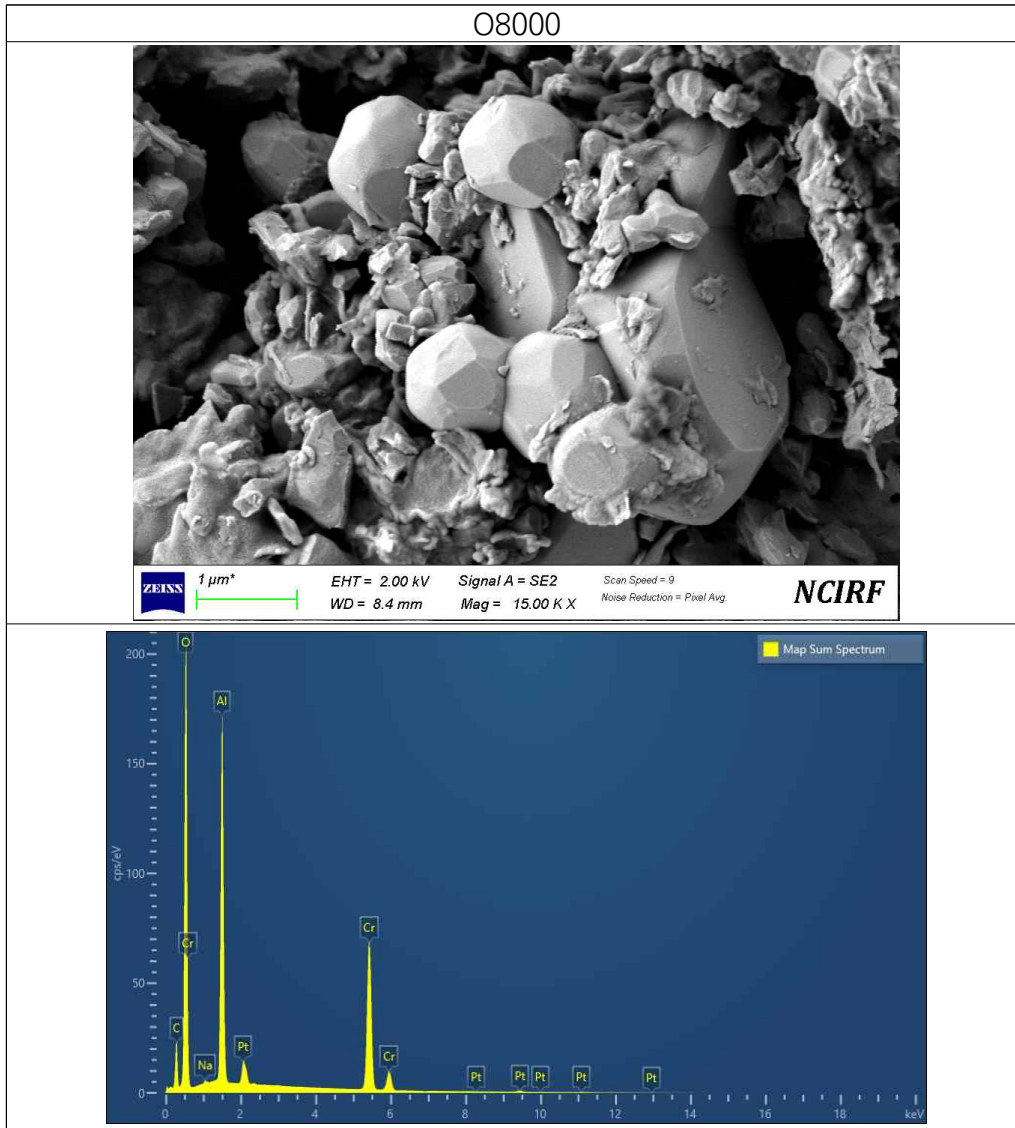


WO1500

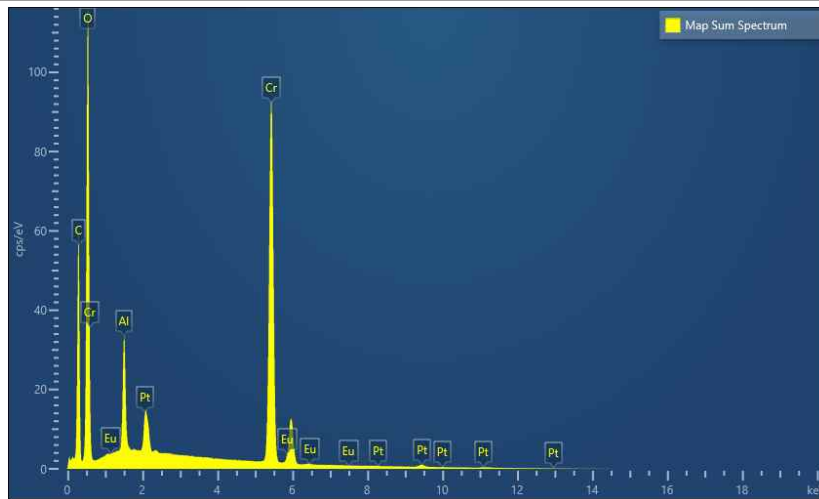
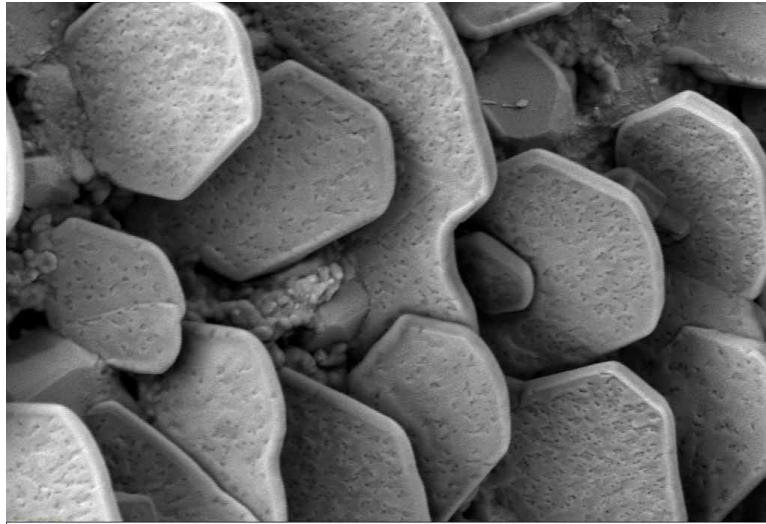


ZEISS 1  $\mu\text{m}^*$  EHT = 2.00 kV Signal A = SE2 Scan Speed = 9  
WD = 8.4 mm Mag = 15.00 K X Noise Reduction = Pixel Avg. NCIRF

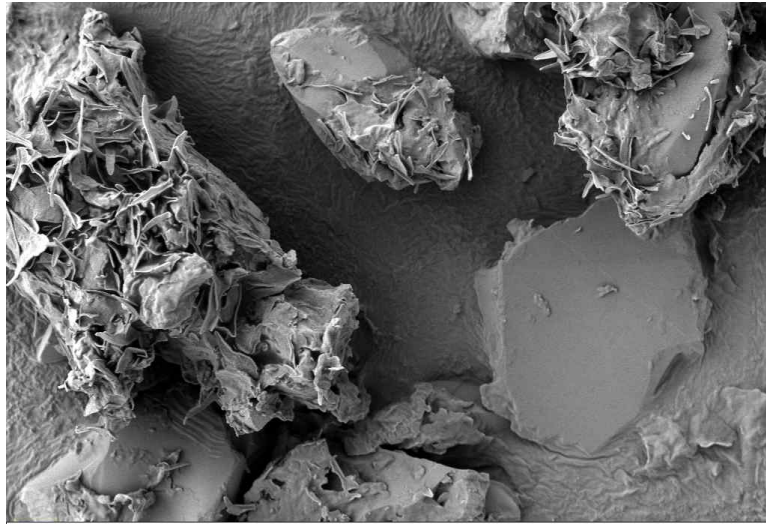




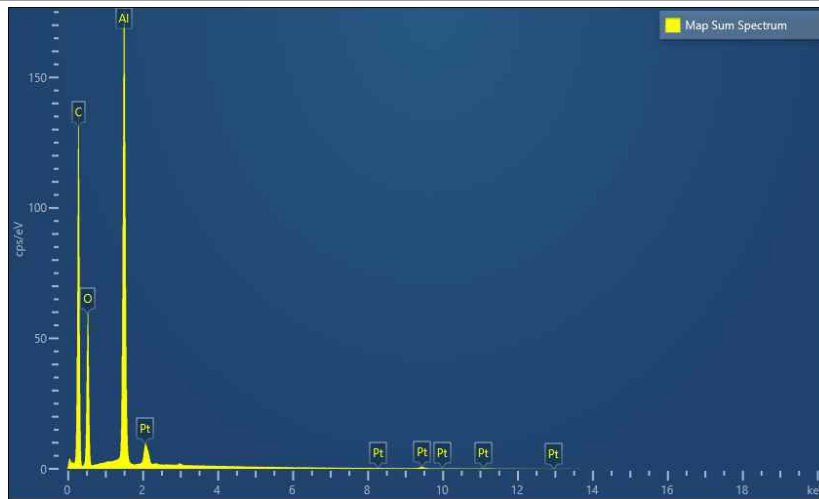
O12000



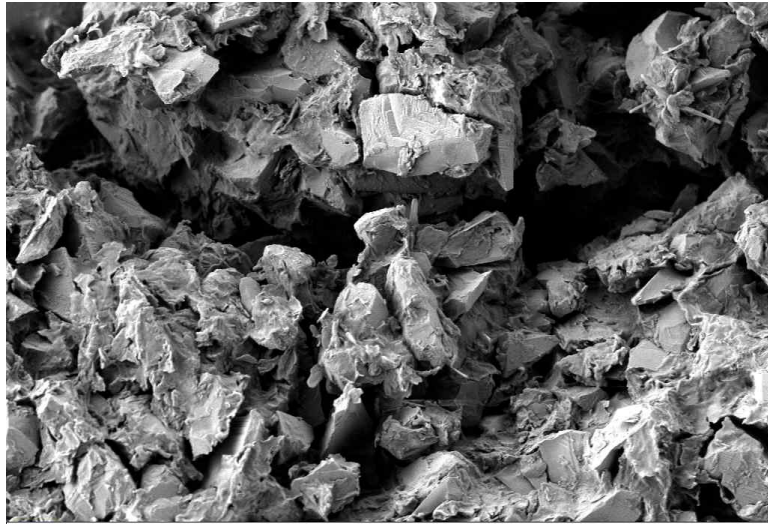
NO1500



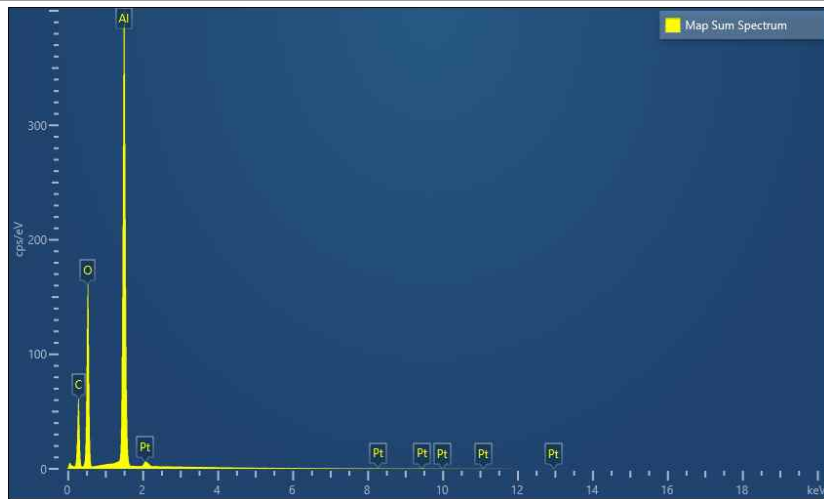
ZEISS 3  $\mu\text{m}^*$  EHT = 2.00 kV Signal A = SE2 Scan Speed = 9  
WD = 8.3 mm Mag = 3.00 K X Noise Reduction = Pixel Avg. NCIRF



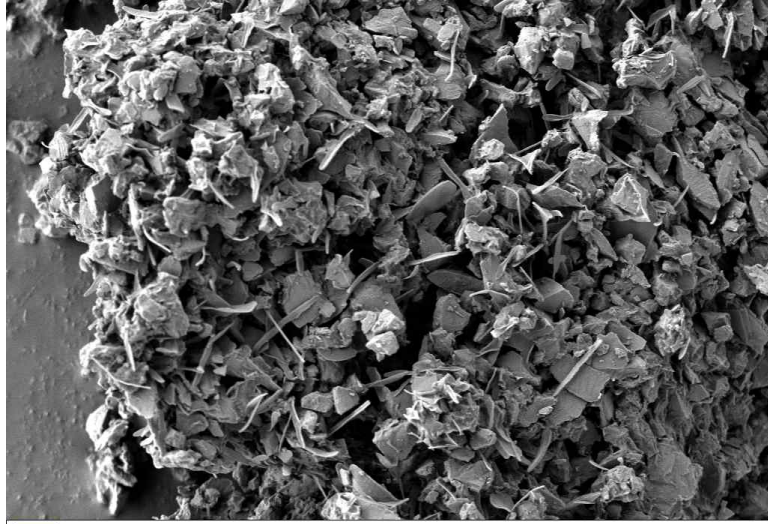
NO4000



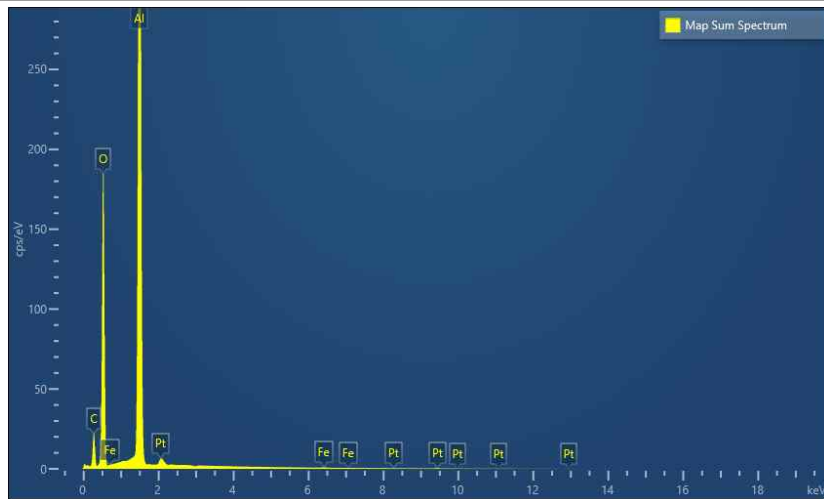
ZEISS 3  $\mu\text{m}^*$  EHT = 2.00 kV Signal A = SE2 Scan Speed = 9  
WD = 8.4 mm Mag = 3.00 K X Noise Reduction = Pixel Avg. NCIRF



NO8000




ZEISS 3  $\mu\text{m}^*$  EHT = 2.00 kV Signal A = SE2 Scan Speed = 9  
WD = 8.4 mm Mag = 3.00 K X Noise Reduction = Pixel Avg. NCIRF



### 3. 구조토 MSDS


#### 1) 1번 제품

동의어	용제 하소된 구조토.																							
CAS 번호	68855-54-9																							
<b>나. 제품의 권고 용도와 사용상의 제한</b>																								
권고 용도	기능성 여과 및 다양한 여과조제품용으로 사용																							
제한이 권고되는 용도	자료 없음																							
사용상의 제한	자료 없음																							
																								
신호어	위험																							
<b>유해/위험 문구</b>																								
H372 - 장기간 또는 반복노출 되면 장기에 손상을 일으킴																								
<b>예방조치문구 - 예방</b>																								
P260 - 분진/흙/가스/미스트/증기/스프레이를(을) 흡입하지 마시오																								
P264 - 취급 후에는 얼굴과 손, 노출된 피부 부위를 철저히 씻으시오																								
P270 - 이 제품을 사용할 때에는 먹거나, 마시거나 흡연하지 마시오																								
<b>예방조치문구 - 대응</b>																								
P314 - 불편함을 느끼면 의학적인 조치/조언을 받으시오																								
<b>예방조치문구 - 폐기</b>																								
P501 - 폐기물 관련 법령에 따라 내용물/용기를 폐기하십시오																								
<b>다. 유해성, 위험성 분류기준에 포함되지 않는 기타 유해성, 위험성</b>																								
자료 없음.																								
동의어	용제 하소된 구조토.																							
<table border="1"> <thead> <tr> <th>화학물질명</th> <th>일반명 및 이명</th> <th>CAS No.</th> <th>함유량(%)</th> <th>기타 식별 번호</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>용제 하소된 구조토</td> <td>자료 없음</td> <td>68855-54-9</td> <td>100</td> <td>KE-21796</td> </tr> <tr> <td>산화규소 (결정체 크리스토타라이트)</td> <td>자료 없음</td> <td>14464-46-1</td> <td>&lt;35</td> <td>KE-09017</td> </tr> <tr> <td>산화규소 (결정체 석영)</td> <td>자료 없음</td> <td>14808-60-7</td> <td>&lt;3</td> <td>KE-29983</td> </tr> </tbody> </table>					화학물질명	일반명 및 이명	CAS No.	함유량(%)	기타 식별 번호	용제 하소된 구조토	자료 없음	68855-54-9	100	KE-21796	산화규소 (결정체 크리스토타라이트)	자료 없음	14464-46-1	<35	KE-09017	산화규소 (결정체 석영)	자료 없음	14808-60-7	<3	KE-29983
화학물질명	일반명 및 이명	CAS No.	함유량(%)	기타 식별 번호																				
용제 하소된 구조토	자료 없음	68855-54-9	100	KE-21796																				
산화규소 (결정체 크리스토타라이트)	자료 없음	14464-46-1	<35	KE-09017																				
산화규소 (결정체 석영)	자료 없음	14808-60-7	<3	KE-29983																				
<b>Composition Comments</b>																								
<p>이 제품은 REACH 와 CLP 규정에 의거 "화학물질명 및 CAS No.로 확인할 수 없는 물질로써, 다수의 성분이 포함되어있으면서 그 조성이 가변적인 물질 혹은 생물학적 원천에서 얻어지는 물질 (UVCB, Type 4)" 입니다. 이 제품은 소량의 호흡 가능한 결정성 실리카 성분이 포함되어 있습니다. (석영 및 크리스토타라이트)</p> <p>호흡 가능한 결정성 실리카의 노출수준은 해당 제품을 사용 및 처리과정에서 취해지는 행동에 따라 달라집니다. 다량의 제품을 분석하는 것만으로는 제품에 대한 노출수준을 판단할 수 없기 때문에, 따라서 노출수준은 제품사용 중 관련 작업노출제한기준에 따라서 측정되어야 합니다.</p>																								



결정성 실리카 성분이 존재함을 반드시 작업자에게 고지해야하며, 관련 규정에 따라 해당제품의 적절한 사용 및 취급방법이 교육되어야합니다. 결정성 실리카는 치명적인 폐질환으로 발전할 수 있는 규폐증을 유발 할 수 있습니다. 호흡성 결정성 실리카를 포함하고 있는 분진의 대규모 및 장기간의 노출은 폐의 결정성 실리카 미세입자 축적에 따른 규폐증 및 결정성 폐섬유증을 유발할 수 있습니다. a. 1997년IARC (국제암연구소) 는 작업환경에서의 결정성 실리카 호흡이 사람의 폐암을 발병을 야기 할 수 있다고 결론을 내렸습니다. 하지만 이는 모든 산업환경과 모든 결정성 실리카 종류에서 비롯되지는 않는다고 지적하였습니다. (인체에 대한 화학물질, 실리카, 규산염 먼지 및 유기 섬유의 발암성 위험 평가에 관한 IARC 논문, 1997, Vol. 68, IARC, 프랑스 리옹). 2003년 6월, SCOEL (직업적 노출 한계에 관한 EU 과학위원회) 은 호흡성 결정성 실리카를 호흡하는 것으로 규폐증이 유발될 수 있다고 결론내렸습니다. 규폐증을 앓는 사람의 폐암 발병확률이 상대적으로 증가할 위험이 있다는 충분한 정보가 있습니다. (당연하게도, 실리카 분진에 노출되는 규폐증에 걸리지않은 채석장과 세라믹산업 종사자에게서는 나타나지않습니다.) 따라서 규폐증의 발현을 예방하는 것으로 폐암의 발병확률을 줄일 수 있습니다. (SCOEL SUM Doc 94 결승전, 2003년 6월) 2009년단행본 100 시리즈를 통해 IARC는 결정성 실리카 분진을 석영이나 크로스토파라이트 형태로 확정했습니다. (IARC 논문, 100C권, 2012) IARC는 최종평가를 내리면서, 연구된 산업환경내에서 인체에 대한 발암성의 인과관계를 발견해내지 못했음을 명시했습니다. 따라서, 이는 암의 위험성 증가는 이미 규폐증을 앓고 있는 사람에게만 한정된다는 명확한 증거입니다. 관련 작업노출제한 규정을 준수하고 필요에따라 추가적인 위기관리 방안을 시행하는 것으로 작업자의 규폐증을 예방하여야 합니다.

## 2) 2번 제품

나) 제품의 권고 용도와 사용상의 제한	
제품의 권고 용도	제한없음
제품의 사용상의 제한	제품을 먹거나 분진을 흡입하지 마십시오.
	
신호어	위험
유해.위험문구	H372 장기간 또는 반복노출 되면 폐에 손상을 일으킴
예방조치문구	
예방	P260: 분진을 흡입하지 마시오. P285: 환기가 잘 되지 않는 곳에서는 호흡기 보호구를 착용하십시오.
대응	P314: 불편함을 느끼면 의학적인 조치.조언을 구하십시오.
<b>3. 구성성분의 명칭 및 함유량</b>	
물질명	용제-하소된 규조토(Flux-Calcined Diatomaceous Earth) ※하기 결정체 실리카 성분이 최대 72.5%까지 함유될 수 있음 결정체 크리스토파라이트(14464-46-1) < 70% 결정체 석영(14808-60-7) < 2.5%
이명(관용명)	실리카(Silica)
CAS 번호	68855-54-9
함유량(%)	100
<b>8. 노출방지 및 개인보호구</b>	
가) 화학물질의 노출기준, 생물학적 노출기준 등	
국내기준	규조토 TWA - 10mg/m <sup>3</sup>
ACGIH 규정	자료없음
생물학적 노출기준	자료없음

**11. 독성에 관한 정보**

가 가능성이 높은 노출 경로에 관한 정보 흡입 시 목과 코에 자극이 있을 수 있고, 고농도에 노출에서 울혈증이 발생할 수 있음, 눈 접촉시 자극 또는 염증을 일으킬 수 있음

**나 건강 유해성 정보****급성독성**

경구 해당없음

경피 해당없음

흡입 해당없음

피부 부식성 또는 자극성 사람에서 자극을 일으키지 않음

심한 눈손상 또는 자극성 사람에서 약한 자극을 일으킴

호흡기 과민성 해당없음

피부과민성 해당없음

발암성 자료없음

산업안전보건법 자료없음

노동부고시 자료없음

IARC 용제하소된 구조토 Group 3

OSHA 결정체 크리스토파라이트 및 석영 Group 1

ACGIH 자료없음

ACGIH 자료없음

**15. 법적 규제 현황**

가 산업안전보건법에 의한 규제 노출기준설정물질

나 화학물질관리법에 의한 규제 해당없음

다 위험물안전관리법에 의한 규제 해당없음

제

### 3) 3번 제품

1. 화학제품과 회사에 관한 정보															
가. 제품명	용제-하소된 규조토														
나. 제품의 권고 용도와 사용상의 제한	자료없음														
제품의 권고 용도	자료없음														
제품의 사용상의 제한	자료없음														
다. 공급자 정보(수입품의 경우 긴급 연락 가능한 국내 공급자 정보 기재)															
2. 유해성·위험성															
가. 유해성·위험성 분류	발암성 : 구분1A														
나. 예방조치문구를 포함한 경고표지 항목	그림문자														
															
신호어	위험														
유해-위험문구	H317 알레르기성 피부 반응을 일으킬 수 있음 H335 호흡기계 자극을 일으킬 수 있음 H350 암을 일으킬 수 있음														
3. 구성성분의 명칭 및 함유량															
<table border="1"> <thead> <tr> <th>물질명</th> <th>이명(관용명)</th> <th>CAS번호</th> <th>함유량(%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>산화규소(결정체 크리스토티바라이트)</td> <td></td> <td>14464-46-1</td> <td>35</td> </tr> <tr> <td>용제-하소된 규조토(FLUX-CALCINED DIATOMACEOUS EARTH)</td> <td>실리카(SILICA):</td> <td>68855-54-9</td> <td>65</td> </tr> </tbody> </table>				물질명	이명(관용명)	CAS번호	함유량(%)	산화규소(결정체 크리스토티바라이트)		14464-46-1	35	용제-하소된 규조토(FLUX-CALCINED DIATOMACEOUS EARTH)	실리카(SILICA):	68855-54-9	65
물질명	이명(관용명)	CAS번호	함유량(%)												
산화규소(결정체 크리스토티바라이트)		14464-46-1	35												
용제-하소된 규조토(FLUX-CALCINED DIATOMACEOUS EARTH)	실리카(SILICA):	68855-54-9	65												
산화규소(결정체 크리스토티바라이트)															
보건	자료없음														
화재	자료없음														
반응성	자료없음														
용제-하소된 규조토(FLUX-CALCINED DIATOMACEOUS EARTH)															
보건	1														
화재	0														
반응성	0														
8. 노출방지 및 개인보호구															
가. 화학물질의 노출기준, 생물학적 노출기준 등															
국내규정	TWA - 10mg/m3 규조토														
ACGIH 규정	자료없음														
생물학적 노출기준	자료없음														
발암성															
산업안전보건법	자료없음														
고용노동부고시	자료없음														
IARC	Group 1														
용제-하소된 규조토(FLUX-CALCINED DIATOMACEOUS EARTH)	Group 1														
15. 법적규제 현황															
가. 산업안전보건법에 의한 규제															
노출기준설정물질															
나. 화학물질관리법에 의한 규제															
자료없음															

## 연구진

연구기관: 가천대학교 산학협력단

연구책임자: 함승헌 (교수, 가천대학교)

연구원: 강성규 (교수, 가천대 길병원)

연구원: 최원준 (교수, 가천대학교)

연구원: 전태성 (교수, 인천대학교)

연구원: 김부욱 (국장, 대한산업보건협회)

연구원: 조민환 (연구원, 가천대 산학협력단)

연구보조원: 강지현 (실장, 가천대 길병원)

연구보조원: 염치원 (연구원, 가천대 길병원)

연구보조원: 권현준 (연구원, 가천대 길병원)

연구보조원: 최영진 (연구원, 가천대 길병원)

연구보조원: 이연희 (연구원, 가천대 길병원)

연구보조원: 이지웅 (연구원, 가천대 길병원)

연구보조원: 신연아 (연구원, 가천대 산학협력단)

연구보조원: 이은이 (연구원, 가천대 산학협력단)

연구상대역: 조지훈 (연구위원, 직업환경연구실)

## 연구기간

2024. 4. 12. - 2024. 11. 30.

본 연구는 산업안전보건연구원의 2024년도 위탁연구 용역사업에 의한 것임

본 연구보고서의 내용은 연구책임자의 개인적 견해이며,  
우리 연구원의 공식견해와 다를 수도 있음을 알려드립니다.

산업안전보건연구원장

**연마제의 사용 실태조사를 통한 위험성 관리방안 연구  
(2024-산업안전보건연구원-685)**

**발행일** : 2024년 11월 30일

**발행인** : 산업안전보건연구원 원장 박승현

**연구책임자** : 가천대학교 교수 함승헌

**발행처** : 안전보건공단 산업안전보건연구원

**주소** : (44429) 울산광역시 중구 종가로 400

**전화** : 052-703-0884

**팩스** : 052-703-0337

**Homepage** : <http://oshri.kosha.or.kr>

**I S B N** : 979-11-94453-41-3

**공공안심글꼴** : 무료글꼴, 한국출판인회의, Kopub바탕체/돋움체