

타이어 성형 공정에서의 활석 노출수준 평가 및 재해예방 사업 사례

김은영* · 곽현석 · 정승우 · 나수민 · 유동현 · 김대호

근로복지공단 직업환경연구원

Evaluation of Talc Exposure for Molding Process Workers and Case of Disaster Prevention Project

Eun Young Kim* · Hyunseok Kwak · Seungwoo Jeong · Soomin Na · Yoo Dong-Hyun · Deaho Kim

Department of Research for Occupational Health, Institute of Occupation and Environment

ABSTRACT

Objectives: Talc is widely used as a release agent in various industries, including rubber product manufacturing. However, talc may contain as an impurity, a human carcinogen known related to lung cancer. Despite this potential risk, the focus of occupational environmental assessments has predominantly been on talc dust rather than crystalline silica exposure. Therefore, this study aims to evaluate levels of crystalline silica exposure among workers in workplaces where talc is used as a release agent. Additionally, it seeks to present a case study on the implementation of improvement measures based on these evaluations, providing fundamental data for managing crystalline silica exposure in such environments.


Methods: The assessment of talc exposure was conducted by distinguishing between total dust and respirable dust. The evaluation targeted workers involved in the molding process where release agents are used, as well as those performing packaging tasks for molded products. Additionally, the crystalline silica content in the release agent was analyzed twice. The first analysis was conducted during the air quality assessment, while the second was performed after implementing workplace disaster prevention project.


Results: The total dust exposure levels for the two molding workers were evaluated at 6.119 and 12.562 mg/m³, with respirable dust levels at 0.177 and 0.458 mg/m³, and crystalline silica concentrations at 0.028 and 0.063 mg/m³, respectively. For the box packaging worker, total dust was measured at 0.086 mg/m³, respirable dust at 0.046 mg/m³, and crystalline silica was not detected. The plastic bag packaging worker was found to have total dust levels of 0.033 mg/m³, respirable talc dust at 0.046 mg/m³, and a low crystalline silica concentration of 0.009 mg/m³. Analysis of the crystalline silica content in the release agent revealed approximately 11% silica during the initial air quality assessment. After the disaster prevention project, the replaced release agent contained 2% crystalline silica.


Conclusions: It was confirmed that exposure to crystalline silica is possible in workplaces where talc is used. Notably, higher crystalline silica content in talc products can lead to increased airborne exposure levels. Therefore, it is essential to analyze the composition of products during occupational environmental assessments, and crystalline silica should be included as a target substance in exposure evaluations.


Key words: tube tire building process, crystalline silica, quartz


*Corresponding author: Eun Young Kim, Tel: 032-540-4973, E-mail: qksksk777@comwel.or.kr
478, Munemi-ro, Bupyeong-gu, Incheon, 2F Incheon Labor & Welfare Complex
Received: October 23, 2024, Revised: November 10, 2024, Accepted: December 9, 2024


 Eun Young Kim <http://orcid.org/0000-0003-4881-1470>

 Seungwoo Jeong <http://orcid.org/0000-0003-1906-9625>

 Yoo Dong-Hyun <http://orcid.org/0009-0000-6525-1423>

 Hyunseok Kwak <http://orcid.org/0000-0002-6893-3208>

 Soomin Na <http://orcid.org/0009-0002-9105-7952>

 Deaho Kim <http://orcid.org/0000-0003-3551-0804>

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

I. 조사개요

활석(talc)은 생성기원에 따라 초염기성암(사문암)의 열수변질작용에 의해 생성된 것과 백운암과 같이 마그네슘 탄산염암의 열변성작용에 의해 생성된 것으로 구분되며, 국내에는 불순물 함량이 많은 것으로 알려진 초염기성암 기원의 활석이 대부분을 차지하고 있다(Kim et al., 2004).

사문암 계열이 지질 변성 작용에 의해 백석면, 트레몰라이트, 안소필라이트가 혼입될 수 있는 것은 잘 알려진 사실이다. 반면, 활석 내 결정형 유리규산인 석영 또한 지질 변성 작용 중 포함될 수 있는데, 국내 활석광산의 모암 및 활석화 과정에 따라 구분 1)사문석→활석, 2)백운석→활석, 3)백운석질석회암→석회규산염광물→활석하여 성분을 확인한 결과, 백운암(dolomite)이 석회규산염광물을 생성한 후 이들 광물이 다시 변질작용에 의해 활석화된 활석 광산에서 석영이 미량 함유되어 있었으며, 그 함량이 0.1-2.3% 정도로 보고한 바 있다(Sin, 2009). 그 외 국외에서는 시중에 판매되고 있는 활석 파우더 21종에 대해 성분 분석을 실시하였고, 8개 제품에서 석영(quartz)이 검출되었고, 세부적으로 검출된 석영의 함량은 7개 제품에서 2-5%, 1개 제품에서 35% 함유되어 있는 것으로 확인되었다(Rohl, 1976). Poirier et al(2019)이 가봉 지역의 활석 광산에서 2개의 시료를 채취하여 성분을 분석하였고, 석영이 각각 7.9%, 29.3% 함유되어 있었다. Pi-Puig et al(2020)이 멕시코 오악사카(Oaxaca) 및 푸에블라(Puebla) 지역의 광산에서 채취된 활석(talc) 2종 및 시중에 화장품 성분으로 사용되는 활석 9종에 대해 입수하여 성분 분석을 실시한 결과, 광산에서 채취한 활석에서는 석영 함량이 2.6-5.3%, 시중에 판매되는 활석 9종에서는 4.1-23.6% 함유되어 있었다.

국내외 선행연구들에 확인된 바와 같이 활석화 경로에 따라 폐암 발암물질인 결정형 유리규산이 함유될 가능성이 있으며, 특히 채광 산지에 따라 함량에 상당히 차이가 있을 수 있다.

사업장에서 활석을 이형제로 사용할 경우 물에 용해시킨 상태로도 사용하지만 건식 방법으로도 사용하는 경우가 많은데, 이러한 경우 결정형 유리규산이 함유되어 있을 가능성이 있는 활석 분진에 그대로 노출될 수 있다.

그럼에도 불구하고, 활석 내 석면에 대한 노출은 잘

알려져 있지만 결정형 유리규산 노출에 대한 정보가 부족하여 작업환경측정 시 주로 활석 분진에 대한 호흡성 분진 노출수준만 보고되고 있다.

따라서 본 연구에서는 파우더 이형제(활석)를 사용하고 있는 타이어 성형 공정에서의 활석 분진 및 결정형 유리규산 노출수준 평가하고, 평가 결과를 토대로 실시한 재해예방 사업 사례를 소개하고자 한다.

II. 조사방법

1. 작업환경평가 대상

2022년 9월 1일 튜브 타이어를 생산하는 A 사업장을 방문하여 사업장 조사 및 이형제(활석)를 입수하였다. 2022년 12월 21일 성형 공정 작업자 2명, 포장 작업자 2명을 대상으로 작업환경평가를 실시하였다.

1) 공기 중 활석

공기 중 활석에 대한 평가는 총 분진과 호흡성 분진으로 구분하여 평가를 실시하였다. 총 분진 및 호흡성 분진은 미국국립산업안전보건연구원(National Institute for Occupational Safety & Health, NIOSH) method 0500 및 0600 참고하여 평가하였다. 총 분진의 경우 여과지는 직경 37 mm, 공극 5μm인 PVC(polyvinylchloride) 여과지를 3단 카세트에 조립하여 1.5 L/min 유량으로 평가하였다. 호흡성 분진의 경우 PVC 여과지를 3단 카세트에 조립 후 상단을 제거한 상태에서 알루미늄 사이클론과 연결하여 2.5 L/min 유량을 적용하여 개인시료 채취기(personal air sampler, Casella Apex2, TSI inc, USA)을 이용하여 평가하였다.

2) 결정형 유리규산 함량 분석

결정형 유리규산은 호흡성 분진과 bulk 시료인 이형제를 대상으로 실시하였다.

호흡성 분진 내 결정형 유리규산 평가는 호흡성 분진 중량 분석 후 NIOSH method 7500을 참고하여 은막 여과지(Ag membrane filter)에 재침착(redposition)하여 최종 분석 시료로 사용하였다.

벌크(bulk) 시료인 활석은 일정량을 분취하여 이소프로필 알코올이 담긴 비이커에 옮겨 담은 후 시료의 균질화를 위해 초음파 처리하였다. 전처리 시액은 은막여과지에 재침착(redposition)하여 최종 분석 시료로 활용하였다.

기기 분석은 X-선 회절분석기(X-ray Diffraction,

D8 ADVANCE, Bruker, Germany)를 사용하였으며, step size 0.02°/10 sec로 scan 후 결정형 유리규산(석영)의 2-theta인 26.66°와 20.85°에서 피크(peak)를 확인하였다.

2. 재해예방사업 방문 사업장 결정

재해예방사업이란 기관에서 작업환경 노출평가를 통해 사업장의 작업환경평가 결과를 논의하는 과정에서 필요한 경우 사업장을 방문하여 결과를 안내하고 개선을 권고하는 활동이다. A 사업장의 경우 이형제에 불순물로 함유될 수 있는 결정형 유리규산의 함량이 높고, 노출수준도 일부 기준을 초과할 수 있는 상황임을 확인하게 되었다. 이에 해당 공정의 결정형 유리규산 노출을 저감할 필요성을 인식하고 재해예방지원 활동을 결정하여 2023년 5월 8일 사업장을 방문하여 안전환경

담당자 3인을 포함하여 작업환경평가 결과에 대한 설명회를 개최하였다.

III. 조사결과

1. 작업 공정

원재료가 정련부터 압출 과정을 거쳐 고무 튜브 형태로 만들어지면 컨베이어벨트를 통해 이동하면서 냉각(물) → 건조 → 인쇄 및 편칭 → 이형제 도포 → 절단을 거쳐 적재되고, 적재된 시트는 대차에 실려서 성형 공정으로 운반된다. 튜브 성형 공정은 이형제가 도포된 상태의 튜브가 입고되면, 작업자가 성형기를 이용하여 양쪽 끝을 접합하는 작업이다. 성형 작업자가 튜브를 성형기에 올리면 자동으로 양 끝단이 절단된 후 압력에 의해 접합되는데, 접합을 위해 압력이 가해지는 시간은 13초 정도 소요된다



Figure 1. Tube tire molding process (top) and packaging process (bottom)

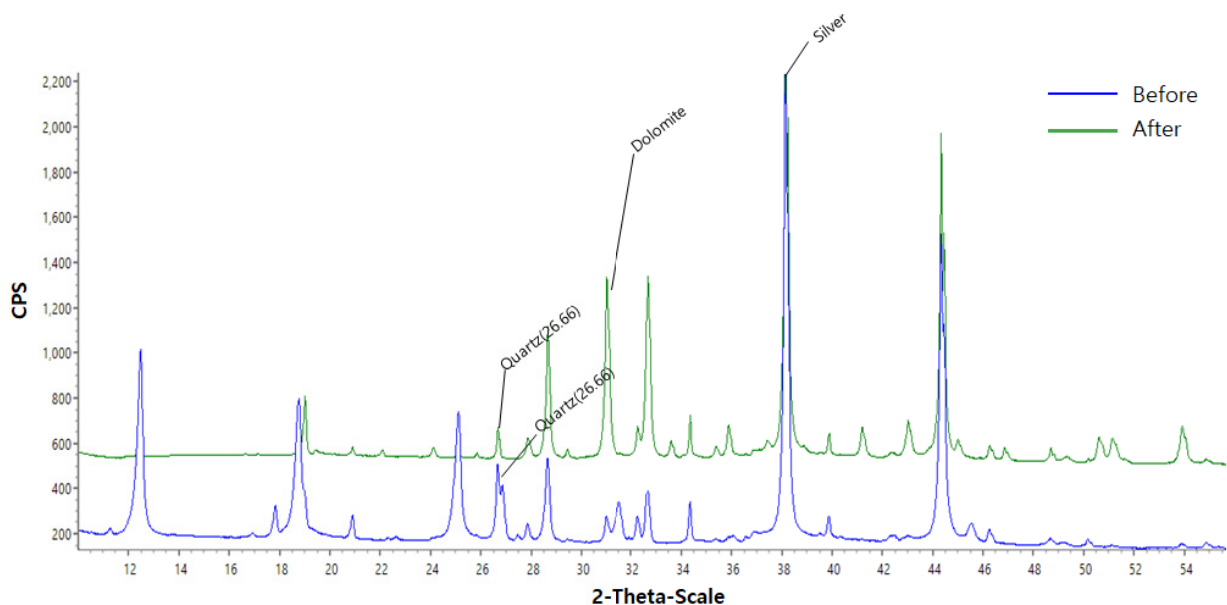


Figure 2. Analysis results before and after the improvement of the release agent used in the molding process

(Figure 1). 접합을 할 때 필요한 경우 접착제를 추가로 사용하는데, 작은 타이어는 접착제로 톨루엔을 추가로 사용한다. 각 성형 테이블에는 측면 하단에는 국소배기장치가 설치되어 있고, 후드 면속도를 측정했을 때, 0.23 m/s로 확인되었지만 실제 작업자가 작업을 하는 위치에서는 기류가 감지되지 않았다.

A 사업장에 이러한 성형기는 총 34대가 설치되어 있으며, 조사 당시에는 14대가 동시 가동되고 있었다.

튜브 타이어 포장 공정은 4개 라인으로 운영되고 있으며, 1개 라인은 컨베이어벨트에 가황된 튜브를 올리는 상차 작업을 시작으로 인쇄, 접기, 비닐 포장지에 담기, 박스 포장으로 순으로 이루어진다. 성형 및 포장 공정에는 각각 20명의 작업자가 배치되어 있다.

2. 이형제 (활석) 중 결정형 유리규산 함량 분석 결과

성형 공정에서 사용하는 활석 이형제에 대한 일평균 사용량은 약 350 kg 정도이다. 해당 활석에 대한 성분 분석을 실시하기 전 A사업장에서 사용하고 있는 활석의 물질안전보건자료를 검토하였다. 검토결과, 활석-비석면형(카스번호 14807-96-6)이 100%인 것으로 확인되었다.

성형 공정에서 사용하고 있는 이형제를 X-선 회절분석기를 이용하여 분석한 결과, 결정형 유리규산인 석영(quartz)이 약 11% 함유 되어 있는 것으로 확인되었다.

3. 공정별 총 분진 및 호흡성 분진, 결정형 유리규산 노출수준

성형 작업자 두 명의 총 분진은 6.119 및 12.562 mg

Table 1. Results on talc dust and quartz in the molding and packaging processes

Process	Job	Work quantity (ea)	Type	Total dust (mg/m ³)	Respirable dust (mg/m ³)	Crystalline silica (mg/m ³)
Molding	Passenger car tire	860	Personal	6.119	0.177	0.028
			Area	2.180	0.201	0.008
	Light truck tire	590	Area	9.787	0.446	0.044
			Personal	12.562	0.458	0.063
Packaging	Heavy-duty truck tire	420	Area	5.491	0.398	0.018
	Box	-	Personal	0.086	0.046	불검출
	Plastic bag	-	Personal	0.033	0.046	0.009
Control	Indoor	-	Area	0.021	0.006	불검출

Table 2. Result of the work environment measurement report for the molding process (2016–2020)

Process	Substance	8-TWA*	N	GM(GSD)	Min	Max
Molding	Talc (containing no asbestos fibers) – respirable	1.6 mg/m ³	27	0.581(1.844)	0.117	1.844
	Toluene	40 ppm	19	0.717(5.697)	0.005	10.582

*: In cases of irregular operations, a correction factor (RF) is calculated to adjust the exposure standard. In the work environment measurement report, an RF (correction factor) of 0.8 was applied to adjust the exposure standard.

/m³, 호흡성 분진 0.177 및 0.458 mg/m³, 결정형 유리규산 0.028 및 0.063 mg/m³로 평가되었다. 활석(호흡성) 분진의 경우 고용노동부 노출기준인 2 mg/m³보다 훨씬 낮은 수준인 반면, 결정형 유리규산의 경우 고용노동부 노출기준인 0.05 mg/m³의 50%를 수준이거나 초과하는 수준이다(Table 1).

박스 포장 작업자의 경우 총 분진 0.086 mg/m³, 호흡성 분진 0.046 mg/m³, 결정형 유리규산 불검출로 평가되었다. 비닐 포장 작업자는 총 분진 0.033 mg/m³, 호흡성 활석 분진 0.046 mg/m³, 결정형 유리규산이 0.009 mg/m³로 낮은 수준으로 검출되었다.

4. 기존 작업환경측정결과보고서 검토

A사업장에서 2016년부터 2020년까지 실시한 작업환경측정결과보고서를 검토하였다. 성형 공정에서는 이형제인 활석(석면 불포함) 및 접착제로 사용하고 있는 톨루엔에 대해 평가를 실시한 것으로 확인된다. 활석(석면불포함) 시료의 경우 27개 시료에서 모두 검출된 반면, 톨루엔은 총 25개 시료 중 19개(76%) 시료에서 검출되었다. 일반적으로 불검출 시료의 경우 1/2 LOD 또는 1/√2 LOD를 적용한 후 기하평균을 산출하지만, 작업환경측정 결과보고서 내에서는 분석 당시 LOD를 확인할 수 없다. 따라서 통계적인 오류를 최소화하기 위해 톨루엔의 경우 불검출 시료를 제외하고 검출된 19개 시료를 대상으로 기하평균을 산출하였다.

성형 공정의 작업 시간이 10시간(600분)이기 때문에 노출기준을 조정한 값으로 평가가 진행되었고, 활석(석면 불포함) 기하평균 농도(N=27) 0.581 mg/m³(0.117–1.844 mg/m³), 톨루엔(N=19) 0.717 ppm(불검출–10.582 ppm) 수준으로 검출되었다. 반면, 포장 공정에서는 분진에 대한 평가는 실시되지 않았다(Table 2).

5. 재해예방 사업 결과

A 사업장에 대한 작업환경평가 결과, 현재 사용하고 있는 활석 이형제 제품에서 폐암 발암물질로 알려진 결

정형 유리규산이 약 11% 함유되어 있었으며, 실제 공기 중 평가 결과에서도 호흡성 분진 내에서 석영이 고용노동부 노출기준인 0.05 mg/m³의 50% 이상이거나 초과하는 것으로 확인되었다.

그럼에도 불구하고 사업장에서는 물질안전보건자료 내 성분이 활석(비석면)으로만 표기되어 있어 결정형 유리규산이 포함되어 있는지에 대해서는 모르는 상태였고, 기존 작업환경측정결과에서 활석 분진에 대한 측정 결과가 고용노동부 노출기준 이하였기 때문에 관리의 문제점을 인지하지 못하는 상태였다.

우선적으로 이형제의 결정형 유리규산 함량 관리에 대한 권고를 실시하였다. 사업장에서는 작업환경평가 결과를 통해 사용제품에 대한 유해성을 인지하여 제품 교체를 실시하였고, 기존 결정형 유리규산이 11% 함유된 제품에서 2% 함유된 제품으로 교체 작업을 진행하였다.

두 번째로 국소배기장치에 대한 개선을 권고하였다. 해당 사업장에 설치된 후드는 외부식 하향흡입형으로 사업장 조사 당시 확인한 결과 0.23 m/s로 고용노동부 권고제어속도인 1 m/s 못 미치는 수준으로 확인되었다. 성형 작업대에 설치된 하향식 후드의 경우 튜브에 도포된 이형제의 양을 조절하는 과정에서 작업대 위에 잔류하고 있는 과량의 이형제를 제거하는 용도 사용하고 있기에 작업자의 노출을 예방하기 위한 국소배기장치는 아니라고 판단된다. 이에 추후 국소배기장치 개선(면속도 변화 및 전문적인 환기 컨설팅을 통한 문제점 파악 및 개선)을 권고하였다.

세 번째로 작업환경측정 실시 시 평가대상 유해인자에 결정형 유리규산이 포함하여 지속적인 노출수준을 관리할 필요성에 대해 논의하였고, 이후 작업환경측정 시 사업장에서는 평가 항목에 결정형 유리규산을 포함시킨 것으로 확인된다.

IV. 고찰 및 결론

튜브 타이어 성형 작업에서 사용하는 활석 이형제의

성분을 X-선 회절분석기로 분석한 결과 약 11% 함유되어 있는 것으로 확인되었다. 성형 공정에서 실제 공기 중으로 발생하는 호흡성 분진 및 결정형 유리규산의 노출수준을 확인한 결과, 호흡성 활석 분진이 0.177 및 0.458 mg/m³로 고용노동부 노출기준보다는 낮은 수준이었다. 반면, 결정형 유리규산이 0.028 및 0.063 mg/m³로 노출기준의 50% 이상으로 높게 검출되었다. 비록 각 공정별 한 개씩의 시료이지만 튜브 사이즈가 큰 성형기에서 호흡성 활석 분진 및 결정형 유리규산 검출량이 작은 타이어보다 높은 수준으로 검출되었는데, 이는 생산 제품의 사이즈가 클수록 도포되는 이형제의 양이 상대적으로 많기 때문인 것으로 판단된다. 또한 성형 작업의 특성상 튜브 타이어를 탈면서 원형이 되게 접합하기 때문에 사이즈가 클수록 원형을 만들기 위한 동작이 커짐에 따라 공기 중으로 비산되는 활석 분진이 많을 것으로 판단된다.

포장 공정의 비닐 포장 작업자의 경우 낮은 수준의 호흡성 분진 및 결정형 유리규산이 검출되었지만, 포장의 마지막 단계인 박스 포장 작업자에서는 결정형 유리규산이 검출되지 않았다. 이는 비닐 포장 작업자는 가황된 튜브 자체를 취급하기 때문에 가황 후에도 튜브에 잔류에 하고 있는 호흡성 활석 분진 및 결정형 유리규산에 낮은 수준으로 노출되었을 것으로 판단된다. 반면 박스 포장 작업자는 이미 비닐포장이 된 튜브를 박스에 담은 작업이기 때문에 결정형 유리규산이 검출되지 않은 것으로 판단된다.

활석은 암석의 활석화 과정 중 불순물로 결정형 유리규산이 함유될 수 있다는 점을 고려하면 활석을 취급하는 사업장들에서는 작업환경측정 시 활석 분진뿐만 아니라 결정형 유리규산에 대한 모니터링도 포함되어야 할 것으로 판단된다.

한편, 본 연구에서는 연구결과를 토대로 사업장과 작업환경개선에 대한 논의를 실시하였다. 위험성 감소 대책은 제거/대체/공학적 대책/행정적 대책/개인보호구 사용이 있는데, 해당 사업장에서는 이형제를 사용하지 않는 것이 불가능하기 때문에 기존 높은 11% 이상 결정형 유리규산이 포함된 제품에서 2% 함유된 제품으로 대체하는 방식을 선택하였다. 더불어, 사업장에서는 지속적인 시험을 통해 결정형 유리규산 함량을 낮추는 방향으로 개선 노력을 하겠다고 하였다. 이는 위험성 감

소의 효과가 높은 '제거' 방법은 아니지만, 충분한 사업자의 개선 의지에 따라 '대체'라는 방법을 통해서도 공정의 위험성을 감소시키는 것이 가능하다는 것을 보여주는 사례였다.

그 외 공학적 대책으로 국소배기장치에 대한 개선 및 정기적인 작업환경측정 시 대상 유해인자로 결정형 유리규산을 포함을 권고하였고, 사업장에서 긍정적으로 검토하였다.

비록 빠르고 즉각적인 작업환경개선이 이루어진 것은 아니지만, 산업보건 측면에서 단순히 유해인자에 대한 노출수준을 평가한 것에 그치지 않고, 문제를 인식하고 사업장과 협의하여 개선을 이끌어냈다는 점에서 작업환경평가의 모범사례로 판단된다.

References

- Kim GY, Kim SJ, Koh YK, Bae DS. Mineralogical characteristics and genesis of phlogopite in the talc deposits of the Chungnam area, Korea. *Journal of the Mineralogical Society of Korea* 2004;17(3): 221-233
- Pi-Puig T, Animas-Torices DY, Solé J. Mineralogical and geochemical characterization of talc from two mexican ore deposits (Oaxaca and Puebla) and nine talcs marketed in Mexico: Evaluation of Its Cosmetic Uses. *Minerals* 2020;10(5):388 <https://doi.org/10.3390/min10050388>
- Poirier M, Boulingui JE, Martin F, Mbina Mounguengui M, Nkoumbou C et al. Mineralogical and crystal-chemical characterization of the talc ore deposit of Minzanzala, Gabon. *Clay Minerals* 2019;54(3):245-254 <https://doi.org/10.1180/clm.2019.30>
- Rohl AN, Langer AM, Selikoff IJ, Tordini A, Klimentidis R et al. Consumer talcums and powders: Mineral and chemical characterization. *Journal of Toxicology and Environmental Health* 1976;2(2):255-284 <https://doi.org/10.1080/15287397609529432>
- Sin DB. Distribution and type-specific characteristics of talc deposits in Korea. *Mineral science and industry* 2009;22(1):12-21

<저자정보>

김은영(책임연구원), 곽현석(책임연구원), 정승우(전임연구원), 나수민(전임연구원), 유동현(전임연구원), 김대호(연구위원)