

슬레이트 지붕 노후화에 따른 석면 섬유 방출량

김현욱^{1*} · 박계영² · 한진구³ · 한영선³ · 황범구⁴ · 이준혁²

¹가톨릭대학교 의과대학 예방의학교실, ²가톨릭대학교 보건대학원
³성모병원 산업의학센터, ⁴한국화학시험연구원

Releasing of asbestos fibers from the weathered asbestos cement slate roofing

Hyunwook Kim^{1*} · Gye-Young Park² · Jin-Gu Han³ · Young-Sun Han³ · Bum-Gu Hwang⁴ · Jun-Hyuk Lee²

¹Dept. of Prev. Med., College of Medicine, The Catholic University of Korea

²Graduate School of Public Health, The Catholic University of Korea

³Catholic Institute of Industrial Medicine Center, St. Mary Hospital, ⁴Korea Testing & Research Institute

To confirm and quantify asbestos fibers released from the asbestos-cement slate roofs due to weathering, three houses, selected based on the year of built - 60's, 70, and 80's, were investigated. All of them were located in the downtown of Seoul. Rain or snow-melt water was collected from the roof in a 3.5 liter plastic bottle. A known amount of collected water was filtered on the 37 mm membrane filter, ashed in a muffle furnace, and subsequently treated with HCl to remove organic material. The treated remaining was refiltered on a 25mm membrane filter for PLM and PCM analyses. The NIOSH 7400 method was utilized for PCM counting. In addition, SEM/EDX was used to confirm the asbestos types.

The results of this study showed that chrysotile fibers were confirmed by PLM in all samples analyzed. A significant amount of asbestos fibers were found in the water samples. The

ranges of asbestos fibers counted from the samples collected in the 60's, 70's, and 80's were; 10,406.3~55,575.6 f/L, 5,218.8~38,126.2 f/L, and 2,906.3~7,798.6 f/L, respectively. As anticipated, concentrations of asbestos fibers increased with time of installment of the roofing material.

We conclude that weathering can be a significant factor on the release of asbestos fibers from the asbestos cement products. Since asbestos fibers released into environment can be a source of significant health hazard, countermeasures, such as replacement, removal, and encapsulation of weathered asbestos slate, should be initiated immediately.

Key Words: asbestos, slate, roofing, weathering, rain water

접수일: 2009년 10월 19일, 채택일: 2010년 6월 16일

✉ 교신저자: 김현욱(137-701 서울 서초구 반포동 505번지 가톨릭대학교 의과대학 예방의학교실,
Tel:02-2258-7363, Fax:02-590-3820 E-mail: hwkim@catholic.ac.kr)

I. 연구 배경 및 목적

석면은 60년말 정부의 경제개발계획에 따라 사용이 증가하기 시작하였으며, 1970년대부터는 새마을 운동의 일환으로 전국에 있는 초가지붕을 개량하면서 석면이 함유된 슬레이트 지붕으로 대폭 교체하였고(새마을운동중앙회, 2005), 이때부터 사용량이 급증하기 시작하였다. 이 당시 우리나라에 수입된 석면은 전부 백석면이었으며 60년대부터 수입하여 92년 9만5천톤 수입을 정점으로 그 후에는 수입량이 급감하기 시작하였고(김현욱, 2006), 2009년도부터는 전면 수입, 사용이 금지되었다(노동부, 2009). 지금까지 수입된 양은 약 200만톤으로 추산되며, 수입된 대부분의 석면은 슬레이트 등 건축자재를 생산하는데 80% 이상이 사용되었다.

우리나라에서 슬레이트의 생산은 일제시대에 용산에 위치하였던 아사노 슬레이트 공장에서 생산하였다는 기록을 시초로 70년이 넘는 역사를 가지고 있다(최정근 등, 1998).

석면 슬레이트는 시멘트 80~90%에 백석면을 10~20%를 첨가하여 생산하는데(한국산업안전보건공단, 2009), 한국에서는 한국슬레이트와 금강 두 회사에서 대부분을 공급하였다. 농촌 지붕개량 사업으로 사용된 슬레이트의 양은 정확히 파악할 수 없으나, 당시 보도 자료에 의하면 73년부터 76년까지 연간 3,500만매가 판매되었고, 77년 3,200만매, 78년 3,000만매 등으로 서서히 감소하다가 80년대에 1,800만매가 판매되었다고 한다(매일경제, 1981).

현재에도 전국적으로 주택과 공장, 축사 등에 당시에 사용되었던 슬레이트가 많이 남아 있으며 점차 노후화되어 가고 있다. 우리나라에 슬레이트 지붕을 가진 주택이 몇 호인지는 정확한 자료가 없어 파악할 수 없지만, 최근에 실시된 농가 건물에 대한 지붕재 종류별 분포 현황을 조사한 자료에 의하면 전국 단위로 조사한 981호중 슬레이트 지붕이 372호로 약 38%를 차지하고 있어 가장 많은 비율을 보였다(한국화학시험연구원, 2008).

슬레이트는 주 성분이 시멘트와 백석면으로 시멘트는 시간이 경과함에 따라 풍화작용을 받아 부식이 진행된다고 한다. 슬레이트는 시멘트가 주 성분이고 시멘트의 구성성분인 수산화칼슘(Calcium hydroxide)은(은) 물에 녹으며(Zivica and Bajza 2001; Xie et al 2004; Beddoe and Domer 2005), 시간이 경과하면서 슬레이트에 함유된 석면 섬유가 주변 환경으로 방출되고 있으며(Bornemann and Hildebrandt, 1986), 특히 산성비에 용해도가 더 증가하는 것으로 알려져 있다(Dyczek, 2006). 이렇게 노후화된 슬레이트 지붕을 가진 건물 주위에서 대기 중 농도를 측정했을 때 농도는 1 f/L 정도로 높게 측정되었다(Spurny, 1989).

그러나 우리나라에서는 아직 석면 슬레이트를 가진 주택

수나, 지역별 분포, 공장이나 축사에 사용된 양에 대한 실태 자료는 없으며, 더구나 지붕의 노후화 정도와 이로 인하여 발생할 수 있는 석면 비산에 대한 연구는 전혀 없다. 이에 본 연구는 석면슬레이트의 노후화에 따른 석면 방출여부를 알기 위하여, 지붕 설치 연도별로 노후화를 구분하고, 비나 눈 등 강우량에 따른 석면 섬유 발생량을 조사하여 방출 실태를 조사하였다.

II. 연구 방법

1) 대상

연구대상으로는 서울시 용산구에 석면 슬레이트 지붕이 많이 분포한 한 지역을 선정하였다. 해당 지역에서 지붕이 설치된 연도를 대상으로 60년대, 70년대, 80년대 건물을 2채씩 임의로 선정하였다.

2) 시료 포집 및 전처리

해상 건물에서 눈이나 비가 오는 날에 지붕에서 흘러내리는 빗물을 홈통에서 3.5리터 크기의 플라스틱 통에 받았다. 강우량에 관한 자료는 해당 일의 기상청 자료를 이용하였다. 받은 시료중 일정량(1리터)을 취하여 37 mm 필터(MCE)에 진공펌프를 이용하여 걸러낸 다음, 회화로(muffle furnace)에서 450 °C로 회화 처리하여 유기물을 제거하였다. 회화 처리된 시료를 1몰 염산으로 산 처리한 다음 25 mm 필터에 다시 올리고, 하루 동안 건조용 오븐에서(70~80 °C 건조시켜 분석하였다.

3) 분석

석면 동정은 편광현미경을 이용하여 미국 EPA Bulk asbestos 분석방법(Perkins and Harvey, 1993)에 따라 분산염색 방법으로 분석하였고, 섬유 정량은 위상차현미경을 이용하여 미국 NOISH 7400 "A" 방법으로 계수하였다. 석면 섬유 여부를 확인하기 위하여 주사전자현미경(SEM)과 에너지분산 엑스선회절(EDXA)을 이용하였다.

4) 자료분석

석면 섬유농도는 기술통계량으로 평균, 표준편차, 그리고 기하평균 기하표준편차로 나타내었고, 연도별 농도차이는 ANOVA와 Duncan's multiple range test로 분석하였고, 강우량별 차이는 단순회귀분석을 하였다. 모든 통계처리는 유의수준 $\alpha=0.05$ 에서 실시하였다.

III. 연구결과

슬레이트 지붕이 설치된 연도에 따라 60년대, 70년대, 80년

Table 1. Asbestos fiber concentrations in water by year of roof installment

Unit: (f/l)

Measurement \ Year	1960' s	1970' s	1980' s
1st (n=2)	55575.57	38126.17	2733.22
	43222.01	22015.07	7798.56
2nd (n=2)	16234.78	6781.25	4031.25
	10406.25	5218.75	2906.25
3rd (n=2)	44796.34	25093.78	24848.67
	50763.97	31647.41	21567.63
GM(GSD) (n=6)	31202.40(2.01)	16935.08(2.31)	7152.01(2.68)

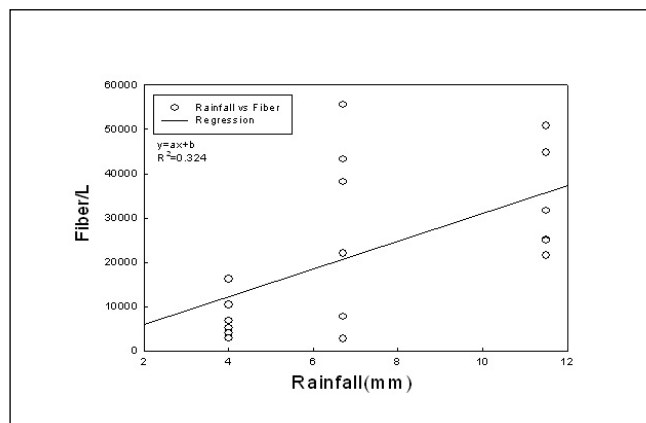
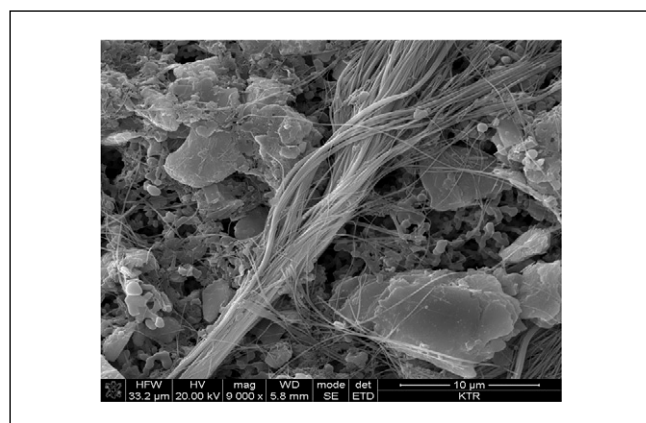


Fig. 1 Relationship between fiber concentrations and amount of precipitation

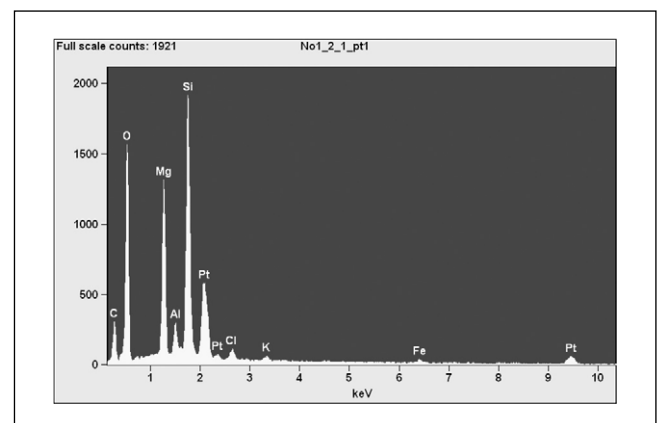
대 순으로 구분하고, 시료 포집은 비가 오거나 눈이 온 후 눈이 녹아 흘러내릴 때 실시하였다. 시료를 전처리하고 위상차 현미경으로 정량 분석한 결과를 표 1에 요약하였다. 예상한 대로 가장 높은 농도는 60년대에 지어진 건물에서 통계적으로 유의하게 높은 기하평균 31,202 f/L로 나왔으며($p<0.05$), 이어 70년대, 80년대가 뒤따랐다. 석면 섬유 농도를 연도별로 다시 그래프로 나타내면 그림 1과 같다. ANOVA와 Duncan's 분석을 하였을 때 석면농도는 60년대와 70년대 간에는 차이가 없었고, 80년대가 유의하게 낮았으며, 70년대와 80년대간 차이가 없고, 60년대가 통계적으로 유의하게 높았다.

그림 1에는 석면 섬유 농도와 강우량과의 관련성을 단순회귀 분석한 결과이다. 분석 결과, 강우량과 석면 농도사이에는 통계적으로 유의한 양(+)의 상관관계를 나타내었으며, $R^2=0.324$ 이었다.

그림 2 (a)는 슬레이트에서 분리되어 나온 백석면의 형상



(a) SEM image



(a) SEM image

Fig. 2 SEM/EDXA images of chrysotile fibers detached from asbestos cement slate

을 9,000배로 확대한 모습을 보여주고 있으며, (b)는 EDXA 스펙트럼으로 백석면의 특징적인 원소 구성을 보여주고 있다.

IV. 고 찰

석면은 물리화학적으로 안정적인 특징 때문에 3000여종 이상의 제품에 사용되어 왔으며, 우리나라에서는 수입된 석면의 80%가 석면 시멘트 제품과 같은 건축재료를 생산하는데 사용되어 왔다. 건축 재료 중에서도 많이 사용된 것이 석면 슬레이트이다. 특히 우리나라는 70년대 새마을 운동의 일환으로 지붕개량 사업을 하면서 정부에서 보조금을 지급하거나 교체를 강제한 경우도 있어 더욱 전국적으로 퍼져 있는 상황이다. 새마을운동 관련 자료(새마을운동중앙회, 2005)를 보면 71-80년 에 주택개량(이 수치에는 부엌개량도 포함되었음)이 이루어진 곳이 225,000 동이며, 이는 목표치 544,000 동의 42%에 해당한다.

국내 건축물 현황 통계자료 (국토해양부, 2005)에 의하면, 주거용 건축물은 426만호인데, 이 중에서 몇 채가 슬레이트 지붕인지는 정확한 통계자료가 없어 추정이 곤란하다. 그러나 한국화학시험연구원의 표본 조사 결과 조사 대상의 38%가 슬레이트 지붕 (한국화학시험연구원, 2008)인 결과를 적용해 본다면, 약 163만 채가 슬레이트 지붕으로 추정되고, 주택 당 지붕면적을 평균 100 m²로 한다면 슬레이트의 총 면적이 1.6x10⁸ m²로 상당한 분량이 된다. 또 그 외에 공장이나 농장, 축사 등을 감안한다면 그 규모는 훨씬 늘어날 것이다. 외국에서도 석면 슬레이트는 지붕재로 사용되어 왔는데, 독일에서는 사용된 전체 면적이 1x10⁹ m²(Spurny, 1989), 이탈리아는 2.5x10⁹ m² (Marabini et al, 2002), 서유럽에서는 1010 m²로 알려져 있다(Spurny, 1989)

석면 시멘트에는 화학적인 구성이 규산칼슘 하이드레이트(calcium silicate hydrates) (60~80%), 수산화칼슘 (10~12%), 칼슘알루미늄 하이드레이트(calcium aluminate hydrates) (3~10%), 황산칼슘알루미늄 하이드레이트 (Calcium aluminate sulfate hydrates) (0~5%), 그리고 반응하지 않은 시멘트로 구성되어 있다(Dyczek, 2006). 석면 슬레이트 지붕이 설치된 기간이 오래되었거나 비, 바람, 햇빛, 서리 등 기후 변화로 표면이 풍화되거나 손상이 되면 대기중으로 석면 섬유를 방출한다는 연구가 발표되었다(Bornemann and Hildebrandt, 1986). 수산화칼슘은 물에 녹으며, 특히 산성비에 용해도가 더 증가하는 것으로 알려져 있다(Dyczek, 2006). 오염된 대기중 존재하는 황산이나 질산은 공기중 수분과 결합하여 산성비가 되며, 이들이 시멘트 내에 있는 칼슘과 알루미늄 성분을 용해시킨다. 약한 규산(silicic acid)를 대치하여 물에 용해되지 않는 규산칼

슘을 물에 용해되는 황산칼슘 (calcium sulfate) 또는 질산칼슘 (calcium nitrate)으로 변형시키기 때문으로 알려져 있다 (Zivica and Bajza 2001; Xie et al 2004; Beddoe and Domer 2005).

따라서 슬레이트는 산성비, 햇빛, 바람, 서리 등에 영향을 받아 표면이 부식되며, 부식되는 정도는 1년에 약 0.01~0.024 mm/년으로 알려져 있다(Spurny, 1989). Bornemann and Hildebrandt (1986)는 풍화 손상된 석면 슬레이트에서 방출되는 평균 석면 양은 연간 3 g/m² 정도로 추산하였다. 이 수치를 우리나라 슬레이트 추정 면적 1.6x10⁸ m²에 대입해보면 연간 450톤 정도의 석면이 방출된다고 볼 수 있다. 부식되는 표면에서 발생하는 석면은 80%가 대부분 빗물에 씻겨 내려가는 것으로 보이며, 20% 정도가 대기 중으로 방출된다고 하지만 (Meyer, 1986; Spurny, 1989), 아직까지 그 비율이 확인된 바는 없다.

슬레이트에서 방출된 석면 섬유가 환경 중으로 어느 정도 방출되는지 알기 위하여 대기중 농도를 측정한 연구에 의하면, 부식이 진행된 석면 시멘트 슬레이트가 사용된 건물 근처에서 측정한 공기중 석면 농도는 멀리 떨어진 곳보다 높았으며, 대략 1000 fibers/m³(=1 f/L) 정도였다 (Spurny, 1989).

또 다른 연구 (Campopiano et. al., 2009)에서 측정한 바에 의하면, 석면 슬레이트 지붕을 가진 곳 근처에서 측정한 대기중 농도는 도심지에 대한 WHO의 권고 수치정도로 나타났다. 즉, 측정한 평균 농도범위는 0.0~0.6 f/L이었는데, 신뢰 상한값을 가지고 분석하면, 9%가 검출한계 미만이었고, 43%가 1 f/L 정도, 48%가 1 f/L 이상이였다. WHO에서 언급한 농도는 오염이 없는 시골지역에서 대기중 석면농도는 0.1 f/L 이하이며, 오염이 심한 도심지의 석면 농도는 0.1 f/L 이하 ~ 1 f/L 정도이다. 아직 우리나라에서는 슬레이트 지붕을 가진 건물 부근에서 대기중 석면농도를 측정한 자료는 없다.

대기 중 방출보다는 빗물로 방출되는 석면이 훨씬 높다는 점을 감안한다면 (Spurny, 1986), 위에서 언급한 연구에서 발표된 석면 슬레이트 지붕을 가진 건물 주변에서 측정한 농도는 실제로 슬레이트에서 방출되는 양보다 낮게 측정되고 있는 것으로 볼 수 있다. 즉, 80% 정도가 빗물로 씻겨 내려가므로 빗물 중에 농도가 대기중보다 훨씬 높을 것으로 보인다. 빗물은 또 마르고 난 다음 바람이나 인간의 활동 등으로 토양으로 흘러간 석면 섬유가 대기 중으로 재 비산된다면, 건물 주변에서 이차 오염이 발생할 우려가 높다고 사료된다.

반면에 슬레이트 표면에 균열이나 부식이 생기면 시멘트와 물이 접촉하는 시간이 길어지고, 이끼나 곰팡이 등 유기물질이나 식물이 자랄 수 있는 환경이 조성되는데, 이로써 표면이 더 심하게 손상되는 결과를 초래하기도 하지만, 최근의 논문에서는 이끼가 표면을 보호해주는 역할(Favero-Longo et al 2006)이 발표되었고, 이끼의 대사산물이 석면 섬유의 화

학적 성분을 변환시켜 비활성화하여 무해한 물질로 변환하게 할 수 있다는 연구가 제시되었다(Turci et al. 2007).

이렇게 방출된 석면 섬유로 인한 건강상 영향을 정확하게 파악할 수 있는 방법은 아직 없지만, 우리나라에서 석면과 관련된 직업력이 전혀 없고 별도의 환경적인 노출이 없지만 석면슬레이트 지붕을 가진 집에 살았던 사람에서 악성중피종이 발생한 사례가 10여건 있다(김형렬, 2009). 이처럼 몇몇 사례가 중피종 감시체계에서 인지되었지만, 슬레이트에서 방출된 석면으로 인한 것인지의 연관성을 구체화하기 위한 연구가 필요하다. 현재 우리나라의 폐암 사망률이 높아지고 있지만, 많은 경우에 석면 기인성으로 정확히 진단되고 있지 않는 실정을 감안해보면 폐질환 중에서 슬레이트로 인한 수치는 더욱 많을 것으로 사료된다.

우리나라는 2009년 1월부터 석면 수입, 제조, 사용 등이 전면 금지되었기 때문에(노동부, 2009), 향후 석면으로 발생할 문제는 지금까지 사용되어온 석면 함유 건축자재나 물질 등을 어떻게 관리하는가가 될 것으로 보인다. 따라서 전국적으로 광범위하게 분포하고 있는 석면 슬레이트 지붕을 관리하는 것이 중요한 일이며, 점차 노후화가 진행되고 있는 시점에서는 더욱 관리의 중요성이 부각될 것이다. 또 하나의 문제는 이미 생산된 슬레이트 재고를 어떻게 처리하는가 하는 점이다. 이 재고가 시중으로 흘러들어가 또 다른 문제를 야기하지 않도록 관리할 필요가 있다.

이렇게 노후화된 석면 슬레이트는 본 연구에서 밝혀진 것처럼 석면 섬유를 방출하고 있기 때문에 근본적으로 제거가 제일 좋은 방법이지만 현실적으로 수많은 지붕을 전면 교체하기는 어려우므로 노후화에 따라 단계적으로 보완책을 적용해 나가는 것이 적절할 것으로 본다. 노후화에 대한 판단으로는 단순히 지붕이 설치된 연한이나 슬레이트가 생산된 연도를 기준으로 구분할 수도 있고, 직접적으로 공기중으로 비산하는 정도를 측정하거나(Spurny, 1989), 적외선 영상을 이용하여 손상 정도를 파악하는 방법(Bassani et al. 2007), 테이프를 이용한 pull-up test와 알고리즘을 이용한 점수제(Campopiano, 2009) 등 다양한 기법을 활용할 수 있을 것이다.

본 연구의 제한점으로는 채취한 시료 수가 많지 않고, 다양한 분포의 강수량에 대하여 연구하지 못했기 때문에 자료의 신뢰성에 차이가 있을 것으로 예상되며, 석면 섬유 방출에 영향을 줄 수 있는 빗물중 산성도나 슬레이트의 시멘트 함량 등 변수를 감안하지 못해 이들의 영향을 밝히지 못한 점이 있지만, 현재 우리나라에서 광범위하게 분포된 석면 슬레이트의 노후화로 인한 석면 방출문제를 최초로 다루었다는 점에서 의의가 있다고 보며, 이들 건물에서 방출되는 발암물질인 석면을 신속하게 관리할 조치가 마련되어야 할 것이다.

V. 결 론

본 연구 결과, 슬레이트에서 흘러내리는 빗물에서 채취한 모든 시료에서 편광 현미경으로 분석하였을 때 백석면 섬유를 확인하였으며, 최종적으로 SEM/EDXA로 석면 여부를 확인할 수 있었다. 방출되는 섬유 농도는 7,152 f/L~31,202 f/L 범위로 발견되었고, 슬레이트 설치 연한이 오래 되었을수록 증가하였으며, 강우량이 증가할수록 증가하였다. 이것은 방출되는 석면 섬유의 수가 많아 오염된 빗물이 흘러 주변 환경으로 가게 되면 오염이 확산될 수 있으며, 빗물이 증발하게 되면 남은 섬유가 다시 대기중으로 비산되는 이차오염도 예상되므로 시급히 슬레이트 지붕에 대한 조치가 필요하다. 따라서 한시라도 빨리 슬레이트 지붕의 표면상태를 조사하여 손상 정도에 따라 덧칠, 밀봉 등의 관리 조치를 해야 하고 궁극적으로는 제거해야 할 것이다.

REFERENCES

- 국토해양부, 주택보급률(유형별 주택현황). 2005
http://www.mltm.go.kr/USR/statistics/m_53/mng.jsp
- 김현옥. 백석면의 국내 사용실태 조사 연구보고서. 환경부 2006
- 김형렬. 중피종감시체계에서의 사례 분석. Personal communication, 2009
- 노동부. 석면함유제품 제조, 수입, 양도, 제공 또는 사용 금지 고시. 고시 제 2007-26호, 2007
- 노동부. 보도자료, 근로자건강보호과. 2009. 1. 15
- 매일경제. 슬레이트 대체품에 밀려 사양화. 기사(뉴스) 1981.12.19
- 최정근, 백도명, 백남원. 우리나라의 석면 생산과 사용 및 근로자 수와 노출농도의 비교. 한국산업위생학회지 1998; 8(2): 242-53
- 새마을운동중앙회. 주요 새마을사업 추진현황, 한국의 새마을운동. 2005
- 한국산업안전보건공단. 석면함유제품DB, 석면관련정보제공, 석면작업관리 http://www.kosha.or.kr/health/business12/info_378901.jsp
- 한국화학시험연구원. 농가건물 석면함유물질 사용 실태 조사 연구보고서. 환경부 2008
- Bassani C, Cavalli RM, Cavalcante F, Cuomo V, Palombo A, Pascucci S, Pignatti S. Deterioration status of asbestos-cement roofing sheets assessed by analyzing hyperspectral data. Remote Sensing of Environment. 2007;109: 361-78

- Beddoe RE, Dornier HW. Modelling acid attack on concrete: part I. The essential mechanisms. *Cement Concrete Res.* 2005; 35: 2333-9
- Bornemann P, Hildebrandt U. On the problem of environmental pollution by weathering products of asbestos cement. *Staub Reinhalt. Luft* 1986; 46(11): 487-9
- Campopiano A, Ramires D, Zakrzewska AM, Ferri R, D'annibale A, Pizzutelli G. Risk assessment of the decay of asbestos cement roofs. *Ann Occup Hyg* 2009; 1-12
- Dyczek J. Surface of Asbestos-Cement(AC) Roof Sheets and Assessment of the Risk of Asbestos Release, Krakow, Poland, 2006
- Favero-Longo SE, Castelli D, Fubini B, Piervittori R. Lichens on asbestos-cement roofs: Bioweathering and biocovering effects. *J. Haz. Mtrl.* 2009;162:1300-8
- Marabini A, Fonda A, and Plescia P. Amianto manuale tecnico e operativo. In *Consiglio Nazionale delle Ricerche (Eds)* 2001; 18-25 Rome (Italy)
- Meyer E. Examination of the importance of weathering asbestos cement planes for the concentration of asbestos fibers in the environment. *Staub Reinhalt. Luft* 1986; 46(11): 482-4
- Perkins RL, Harvey BW. Method for the determination of asbestos in bulk building material. US EPA EPA/600/R-93/116. Office of Research and Development, Washington, DC.
- Spurny KR. On the release of asbestos fibers from weathered and corroded asbestos cement products. *Environmental Research* 1989;48:100-16
- Turci F, Favero-Longo SE, Tomatis M, Martra G, Castelli D, Piervittori R, Fubini B. A biomimetic approach to the chemical inactivation of chrysotile fibres by lichen metabolites. *Chem Eur J* 2007;13:4081-93
- Xie S, Qi L, Zhou D. Investigation of the effects of acid rain on the deterioration of cement concrete using accelerated tests established in laboratory. *Atmos Environ* 2004;38:4457-66
- Zivica V, Bajza A. Acidic attack of cement based materials - a review. Part 1. Principle of acidic attack. *Const. Bdlg Mtrl* 2001;15:331-40