

실내 콘크리트 절단 및 천공시 습식 작업에서 노출 평가 및 개선 연구

가톨릭대의대 예방의학교실·보건대학원 / 김 현 옥

출처: Indoor Wet Concrete Cutting and Coring Exposure Evaluation Applied
Occupational and Environmental Hygiene 16(12):1097-1100, 2001

저자: Mary Ellen Flanagan, Carrie Loewenherz, Greg Kuhn

서론

건설업에서 콘크리트는 매우 흔히 볼 수 있는 재료이다. 이 콘크리트를 건식으로 절단할 경우 높은 농도의 분진과 유리규산에 노출된다. 이런 고농도 노출을 기준치 이하로 낮추기 위해서 습식 작업으로 변환하면 분진을 제어할 수 있다고 알려져 있으며, 여러 연구에서 그 효과를 입증하였다. 그러나 습식 작업에서 노출을 측정된 경우를 조사한 결과, 대부분의 경우 노출을 허용기준 이하로 낮추었으나 항상 그렇지 못하였다. 이 연구는 이런 절단 작업에 사용되는 장비를 선정하여 제어 효과를 계량화 하였다. 특히 물 공급량에 따른 제어 효과와 인근 보조 작업자에 대한 영향을 제시하였기에 우리나라 실정에 적절할 것으로 판단되어 검토하였다.

이 연구는 10개의 건설 현장에서 수행되었는데, 선정 기준은 분진노출이 심할 것으로 판단되는 건물 내부나 밀폐된 공간에서 작업으로 근처에서 분진이 발생하는 행위가 일어나지 않는 곳이었다. 대부분의 작업은 하루 종일 수행되는 것을 선정했는데 장시간 측정할 수 있고, 분석시 검출 한계를 넘을 수 있도록 배려한 것이다.

장비 선정

성능 평가에는 슬라브 절단 톱으로 자동식(Walk-behind)과 수동식(Handheld) 2종, 천공(core drill), 벽 절단(wall saw)용 기기 등 4종류 장비가 선정되었다. 선정된 장비 모두 습식 절단을 하도록 되어 있는데, 습식의 주 목적은 고가의 다이아몬드 날이 마모되는 것을 보호하기 위한 것이었다. 슬라브 절단용 자동식 톱(그림 1)은 운전자가 밀

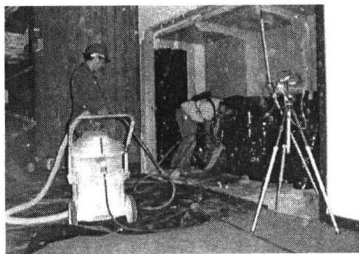


〈그림 1〉 슬라브 절단용 톱(walk-behind)

거나 뒤에 서서 앞으로 전진하는 것을 유도하는 형태이다. 이 작업자는 절단 작업시 톱날이 정확히 지나는지를 보기 위해 앞으로 숙인 자세와 옆으로 트는 자세를 유지하였다. 대부분의 톱은 장비를 유도하기 위해 설치된 손잡이를 가지고 있지만 작업자는 정확성을 기하기 위해 굽히고 선 자세를 선호하였다. 이처럼 무거운 장비를 전진시키는 동안 상체를 숙이고 트는 자세는 근골격계 위험성을 내포하고 있었다. 이 장비의 톱날은 14-24인치로 14-18인치 크기가 가장 흔히 사용되고

있으며, 톱날의 회전수는 분당 2,000-2,200회였다.

장비 운전자에게 평소 사용했던 물 양을 설정하도록 하였고, 설정된 상태에서 연결 호스를 빼내 30초 동안 1갤런 통에 물을 담아 공급량을 측정하였다. 이 물 공급량은 작업 중 톱날에서 절단선이 보이는 동시에, 분진을 제어할 수 있는 최적의 물 투입량으로 여겨지는 양이며, 제작사에서는 분진을 제어하면서 톱날을 식힐 수 있을 정도의 물만 공급하도록 권고하였다. 제작사에 물 공급량에 대한 조사 결과, 대부분은 특정한 양을 명시하지 않았으며 일부에서는 분당 3-10갤런을 권고하고 있었다. 이렇게 물 양을 지정한 회사에서도 장비에 물 흐름을 측정하는 유량계가 설치되어 있지 않았다. 이 연구에 선정된 작업들은 건물 내에서 이루어졌으며, 이때 사용된 물이 다른 작업을 방해하거나 피해를 줄 수 있기 때문에 보조 작업자가 진공청소기를 이용해 슬러리를 제거하였다.



〈그림 2〉 수동식 슬라브 절단용 톱 및 보조 작업자

수동 유압식 톱은 작업자가 장비 위에서 손으로 들고 유도하였다. 이 장비〈그림 2〉는 그 자체가 작기 때문에 자동식보다 작업자가 톱날 작동점에 더 근접하게 위치하였다. 실험에는 22인치 톱날이 사용되었다.

천공 드릴은 벽과 슬라브에 모두 사용되는데 드릴에는 2, 4, 6-인치 코어 비트가 사용되었다. 슬라브 천공 시에는 코어 드릴이 구멍 위에 위치한 버킷에

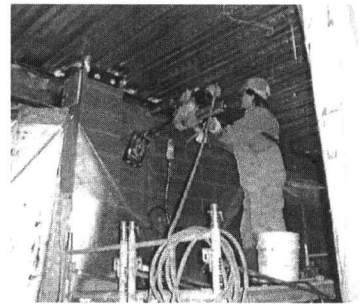
올려져 있었고, 벽체 절단 시는 드릴 앞에 발판을 마련하고 서서 작업하였다. 벽체 천공 시는 벽에 부착된 지그에 드릴을 고정시켰다. 벽체 절단용 톱은 콘크리트 볼트로 벽에 고정시킨 트랙을 따라 유도되도록 적재되었다. 절단 작업자는 보통 톱의 뒤편에 서 있는데 경험이 적은 작업자는 톱날이 전전하는 것은 자주 들여다보았으며 이때 호흡 영역이 분진이 비산되는 영역에 있게 되었다. 경험이 많은 작업자는 트랙 유도를 많이 사용하면서 분진 비산 영역에서 벗어나 있었다.



〈그림 3〉 벽체 절단용 톱

노출 평가

현장 실험 시료는 SKC 알루미늄 사이클론을 이용해 2.5lpm 유속으로 PVC 필터에 포집하였고, 노동부 관련 시료는 MSA 나일론 사이클론에 1.7lpm 유속으로 PVC 필터에 포집하였다. 호흡성 분진은 NIOSH 0600 방법 중량법으로 분석하였으며, 결정형 규산은 NIOSH 7602 방법 FTIR로 분석하였다. 각 장비 운전자는 현장에서 전 작업시간 동안 관찰하였는데, 그 중 한명만 다른 현장으로 이동하여 작업한 일이 있었다. 시료는 8시간 시간가중 평균 농도를 계산하였다. 작업 보조자와 4군데 지역시료도 8시간 동안 측정하였다. 각 장비마다 품명, 모델, 톱날 크기, 회전수 등 장비관련 자료를 수집하였고, 물 공급량, 절단 속도, 절단 깊이, 총 절단 시간 등 작업 특성, 방해기류, 방해물, 작업장 크기, 밀폐 정도 등 현장 환경자료 등도 수집하였다.



〈그림 4〉 벽 천공용 드릴

결과

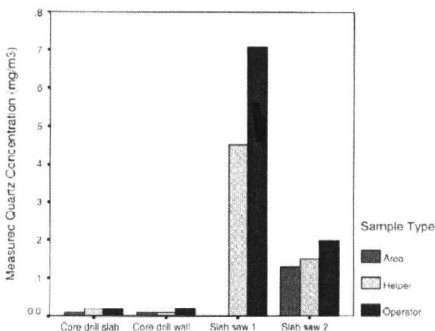
4종류의 장비에 대한 작업자의 유리규산 노출 범위는 0.05에서 0.71mg/m³이었다 (표 1). 실내에서 수동식과 자동식 장비로 슬라브를 절단할 때 가장 많은 노출이 발생하였다. 반면, 실외 슬라브 절단시 노출은 실내에서 작업할 때의 12% 정도밖에 되지 않았다. 벽체 절단은 3건 중 한건만 노출이 증가하였고, 천공 작업은 호흡성 분진 노출이 낮았다.

〈표 1〉 장비 운전자의 작업 중 호흡성 석영 노출

장비	시료(개)	평균 농도(mg/m ³)	범위(mg/m ³)	평균포집시간(분)
슬라브 절단용/자동식(실내)	4	0.34	0.13-0.71	297
슬라브 절단용/자동식(실외)	2	0.04	0.05 - <LOD	240
슬라브 절단용/수동식(실내)	2	0.25	0.24-0.26	130
벽체 절단(실내)	3	0.13	0.06-0.22	294
콘크리트 천공(실내)	2	0.02	0.02	261

13개 시료에 대해 8시간 노출을 석영의 허용기준인 0.1mg/m³과 비교했을 때, 5건에서 기준초과가 발생하였는데, 3건이 실내 슬라브 절단(300%, 350%, 110%), 실내에서 자동과 수동식 절단을 같이 했을 때 1건(100%), 그리고 실내 벽체 절단 1건(167%)이었다.

작업자, 보조 작업자, 지역시료에서 측정된 농도는 〈그림 5〉와 같다. 보조 작업자와 지역시료 결과는 비슷하며, 농도는 작업자보다는 약간 낮았다. 이 결과에서 보면 분진



〈그림 5〉 장비 운전자, 보조 작업자, 지역 시료에서 측정된 농도

발생을 낮추기 위해 습식 작업을 하더라도 근처에서 작업하는 다른 직종 근로자가 유리규산에 과다 노출될 수 있음을 알 수 있다. 지역시료 및 보조 작업자의 노출이 작업자의 노출과 비슷하다는 것은 주요 노출 원인이 슬러리에서 발생된 입자에 의한 직접 노출이 아니고 밀폐된 공간 내에서 호흡성 분진이 축적된 것으로 여겨진다. 이동식 국소배기 장치나 창문을 열어놓는 등 전체

〈표 2〉 슬라브 절단 작업시 장비 운전자 노출비교

실험	측정농도 (mg/m ³)	포집시간 (분)	8시간 TWA (mg/m ³)	절단면적 (ft ²)	물 공급량 (갤런/분)	톱 규격 (인치)	제품
1-실내	0.71	235	0.35	93	0.5	14	Meco
2-실내	0.33	437	0.30	83	0.5	14-24	cc6500
3-실내	0.20	275	0.11	100	2.0	14-18	Meco

환기를 통해 노출을 줄일 수 있을 것으로 본다.

슬라브 절단 작업을 더 분석해 보면〈표 2〉, 3건의 경우 톱날 크기와 절단 면적이 비슷하더라도, 물 공급량이 분당 2갤런이었을 때가 분당 0.5갤런이었을 때보다 노출이 1/4로 줄었다. 〈표 2〉에서 실험 1과 2는 비교적 크고 개방된 공간에서 수행된 반면, 실험 3은 좀 더 밀폐된 공간에서 수행되었다. 따라서 실험 3 결과가 노출이 더 심할 것으로 예상되었지만, 이 농도는 상대적으로 낮았다. 이는 앞서 언급한 바와 같이 물 사용량이 많았던 것 때문으로 보인다.

제언

이상의 결과를 종합하여 장비에 대한 개선 안을 제시하였는데, 톱날에 공급되는 물의 양이 실리카 노출을 감소시키는 것으로 보이므로, 표준 측정 방법을 이용해 적정 물 공급 범위를 정하고, 유량 측정계를 설치하며, 적절한 물 공급량을 장비에 부착하도록 하는 것과, 자동식 절단기에 향상된 조향 및 유도장치를 설치하여 작업자가 절단 선을 볼 필요 없이 바로 서서 작업하고 분진비산 영역에서 벗어나 작업하도록 하며, 슬러리를 톱날 동작점에서 바로 수거하도록 하면 슬러리에서 발생하는 실리카를 제어할 수 있다고 하였다. 한 제작사에서는 슬러리를 수거할 수 있는 진공청소 부착기를 선택사양으로 제시하고 있는데, 이 장치가 호흡성 분진 크기에 대해서도 효율이 있는지를 점검하여야 할 것으로 제안하였다.

또 습식 콘크리트 절단 작업시에 현장에서 지켜야 할 사항으로 천공 작업에서 물은 분진 제어에 매우 유용한 것으로 사료되지만, 실내에서 벽체 및 슬라브 절단시 물 분사는 밀폐된 공간이므로 실리카에 과다 노출될 우려가 있고, 보조 작업자와 지역시료 결과에서 보듯이, 실내에서 습식 작업을 하는 경우 인근의 다른 직종 작업자들이 실리카

에 노출될 위험이 있음을 알아야 하며, 실내에서 콘크리트를 절단할 때 분진 제어 목적으로 물을 사용하는 경우, 절단기 운전자와 인근에 있는 작업자는 호흡 보호구를 착용하도록 하는 등의 권고 안을 제시하고 있다.

우리나라에서도 콘크리트 절단 작업시 습식 작업으로 전환하도록 하여야 하며, 장비 제작사에서는 앞서 언급된 문제점들을 장비 제작시 참고하도록 하고, 현장에서는 습식 작업을 채택하더라도 작업자와 주변 다른 작업자들이 실리카에 과다 노출될 수 있음을 감안하여 전체 환기나 국소배기장치, 호흡보호구 착용 등 적절한 조치를 취하도록 하여야 할 것이다. 🍀