

터널작업자 보건관리 강화를 위한 작업환경측정 개선에 관한 연구 - 유해위험물질 발굴 중심 -

박승민*, 김용구**, 유민*, 고수민***

*세명대학교 보건안전공학과 학사과정

**세명대학교 보건안전학과 교수

***세명대학교 보건안전학과 학사과정

e-mail : johnykim@semyung.ac.kr

A Study on Improvement of Work Environment Measurement to strengthen Health Management for Tunnel Workers - Focus on discovering hazardous substances -

Seung-Min Park*, Yong Gu kim**, Min Yu*, Su-Min Ko***

*Dept. of Health and Safety Engineering, Semyung University, BA course

**Dept. of Health and Safety, Semyung University, Professor

***Dept. of Health and Safety, Semyung University, BA course

요약

본 연구는 터널공사 작업에서 발생하는 유해물질에 대한 측정항목을 추가적으로 발굴함으로써 유해위험물질의 상세화와 해당 물질의 노출기준 및 측정 기준치를 선정하기 위한 국외 기준을 제시한다. 이는 터널작업자의 보건측면의 작업환경 개선을 도모하고 결국 터널작업자의 보건관리를 강화하기 위한 환경조성을 하기 위함이다. 이를 위해 본 연구에서는 공중별 터널공사 투입 작업자를 파악하고 작업종류와 형태를 분석하여 위험유해물질의 종류를 확인하고 분류하며 작업자의 건강에 미치는 영향을 분석한다. 이를 통해 향후 작업환경측정 시 측정 유해인자로 지정할 수 있도록 측정기준치와 함께 제시한다. 이때 국내에서 측정항목별 측정기준치가 존재하지 않은 경우 해외의 기준치를 함께 제시하여 향후 법적 기준치 마련 시 활용하도록 한다. 본 연구의 주요 결과로 작업자 보건관리측면의 작업환경 개선을 위한 상세 측정이 가능하도록 하고 측정항목에 따라 추적관리와 모니터링을 통한 장기적 관점의 건강관리의 기초자료로 활용할 수 있는 기반을 마련하였다.

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

건설업에서 있어서 터널 공사는 대표적인 밀폐공간 작업 중 하나이며 따라서 고위험작업 중 하나이다. 터널공사의 특징은 공사 진행에 따라 다양한 유해물질이 발생되면 특히, 발과 공중으로 인한 폭파 분진과 대규모 밀폐공간의로 인한 환기의 문제로 인한 미세먼지를 통한 유해물질의 인체 작업자의 건강에 심각한 위험을 초래할 수 있다. 특히, 굴착 과정에서 발생하는 먼지, 유독가스, 중금속 등은 장기적으로 호흡기 질환과 암을 유발할 수 있다. 주요 유해물질로는 결정형 석영, 석면, 디젤 배기가스, 미세먼지 등이 있으며, 이들은 작업자의 건강에 악영향을 미칠 수 있다. 그러나 이러한 유해물질에 대한 연구와 관리가 부족하여, 작업자 보호 대책 마련에 한계가 있다. 본 연구에서는 터널 공사 현장에서 발생하는 유해물질

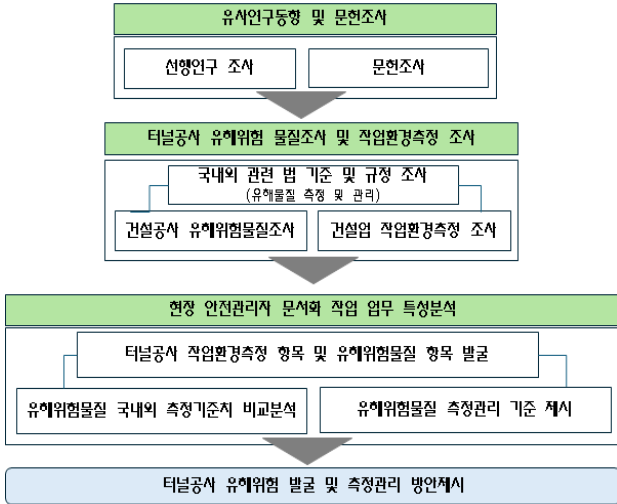
을 추가 발굴하고, 그 영향과 안전 대책을 제시하는 것을 목적으로 한다.

1.2 연구방법 및 절차

본 연구에서는 건설업 터널공사의 보건관리 측면의 유해위험물질 발굴과 관리를 위한 항목과 관리 방안을 제시하고자 관련 선행연구 자료 수집 및 분석과 기존 건설업에서 관리되고 있는 유해위험물질을 조사하고 이를 MSDS로 관리하고 있는 기준에 대한 현황을 분석함으로써 관리수준을 확인할 수 있었다. 특히, 터널공사에서 발생 가능한 유해위험물질에 대한 현황과 관리기준에 대하여 조사하고 터널공사에 부합한 유해위험물질을 추가 발굴하고 이를 측정 유해위험물질로 제시한다. 또한, 발굴된 물질별 국내외 법적 근거와 유해정도 파악을 위한 측정기준치에 대해서 비교분석함으로써 국내 기준 제시에 활용하도록 제공한다.

이를 통해서 작업환경측정 항목으로 관리할 수 있는 기반을 조성한다. 더불어, 터널작업자 보건관리 강화를 위한 유해물질 영향요소와 건강관리를 위한 방안도 제시한다. 이를 위한 연구수행을 아래 [그림 1]과 같이 단계별 연구절차를 수립하여 진행하였다.

[그림 1] 단계별 연구절차 및 주요 연구내용



2. 선행연구 동향 및 문헌조사

본 연구에서는 건설업 작업자 보건관리를 강화하고 이를 개선하기 위해 현재 실시하고 있는 작업환경 측정에 대한 실상을 파악하고 특히, 대표적인 토목 시설물 중 하나인 터널공사를 대상으로 유해위험물질 조사와 터널 내 발파작업, 버럭운반, 지보공, 라이닝공 등 터널 건설공사 중의 발생하는 유해물질의 종류와 구성을 중심으로 건강한 작업자 작업환경 조성이 가능하도록 개선사항을 찾고자 관련 유사 연구동향 파악과 문헌조사를 실시하였으며 본 연구와 관련된 선행연구내용은 아래 [표1]과 같다.

2.1 국내 작업환경 측정 목적, 실시대상 및 절차

국내 작업환경측정 목적은 소음, 분진 유기용제, 중금속 등 작업시 발생하는 유해인자에 의해 작업자가 노출정도를 측정·평가하여 결과에 따라 시설 및 설비 등을 개선하여 쾌적한 작업 환경을 조성하기 위한 목표를 가지고 있다.

주요 실시대상은 규모에 상관없이 근로자 1명 이상을 고용한 사업장으로 작업환경 측정대상 유해인자에 노출되는 근로자가 있는 작업장을 대상으로 실시한다.

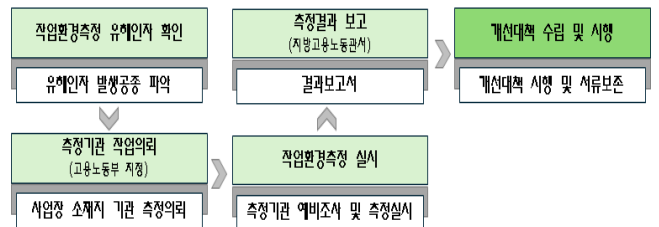
또한, 작업환경 측정 실시 및 보고절차는 다음 [그림2]과 같이 수행하며 최종 측정결과는 작업환경측정기관이 산업안전보건공단에 전산으로 측정결과를 제출하거나 사업주가 관할

지방 고용노동관서에 측정결과를 보고하여야 한다. 더불어 측정결과가 노출기준을 초과한 경우에는 개선 후 개선결과 또는 개선계획을 별도로 제출한다.

[표 1] 유사 연구동향 분석

저자	제목	주요 연구내용
최상준 (2008)	작업환경측정제도 운영실태에 관한 고찰	·현행 작업환경측정제도의 운영 실태와 문제점 ·작업환경측정제도 문제의 원인 ·작업환경 측정 개선방안
유예지 외 3인 (2023)	NATM 공법에 의한 고속도로 터널 공사 중 라돈 노출 평가	·터널 공기 중 라돈농도 측정 ·직종별 라돈흡입 추정량 측정 ·측정위치별 라돈농도
박현희 외 1인 (2023)	건설업 직종별 노출 가능 유해인자 및 노출강도에 관한 평가	·건설업 직종별 노출가능 유해인자 평가 ·직종별 유해인자 노출위험 평가 ·건설업 직업성 질병 발생 분석
황정숙 (2023)	건설 현장의 진폐증 발생 현황 및 예방을 위한 작업환경관리에 관한 연구	·진폐증 예방을 작업환경관리 ·건설 현장 진폐증 예방을 위한 작업환경관리의 문제점 및 개선 ·해외 진폐증 사례
이동훈 외 2인 (2002)	건설현장 근로자의 건강진단에 따른 보건관리 개선방안	·건설근로자 건강진단 현황 ·건설근로자 건강진단 결과분석 ·건설근로자 건강진단 개선방안
배길원 (2021)	건설현장 평탄화 작업 분출 분진 농도 및 안전의식 조사	·구역별 분진농도 측정 결과 ·건설현장 분진 발생 작업 근로자 인식

[그림 2] 국내 작업환경측정 절차



2.2 국내 측정 유해인자 종류

국내 작업환경측정 대상 유해인자 목록은 [표 2]와 같이 화학적 인자, 물리적 인자, 분진으로 분류하고 매 6월에 1회 정기적으로 측정하고 있으며 측정대상은 유해인자 190종을 사용하고 있는 작업장이다. 특히, 분진과 미세먼지의 경우 다양한 물질을 함유하고 있으므로 상기 표에서 보듯이 현재의 측정항목 구분의 상세 유해물질의 종류와 측정항목 및 방식, 작업자 노출정도 즉 노출시간, 노출량에 대한 구체적인 사항에 대해서 세분화를 위한 제도적 보완이 필요하다. 또한, 측정결과에 따른 조치사항은 크게 노출기준 미만, 노출기준 초과가능, 노출기준 초과 등으로 구분하고 있으며 조치

사항은 초과 시 시설·설비 등 작업방법 점검 후 개선 및 적정 보호구 지급 수준으로 단기적 관점의 일회성 대책 보다는 장기적 관점의 적극적 대책을 수립하고 현장에서 이행되어야 한다. 현행 국내 작업환경측정은 형식적인 수준으로 기계적 측정 수준으로 작업자의 위험관리 수준에는 못 미치는 실정으로 영국을 포함한 유럽국가에서는 일찍이 작업환경측정제도가 아닌 위험성평가제도의 형태를 제안하고 즉시 개선할 수 있는 조치가 이루어지도록 하고 있다. 이러한 변화는 작업환경측정의 결과는 실제 작업환경에 대한 사정예방대책을 수립하려는 적극적인 리스크 관리를 위한 수단으로 활용하고 있다는 것이다, 국내 제도는 측정결과가 노출기준을 초과하지 않는 경우 어떠한 행정적 조치도 요구하지 않기 때문에 측정만 실시하기만 하면 되는 현실로 원래 취지에 부합한 변화가 시급히 필요하다.

[표 2] 국내 측정 유해인자 항목 : 190종(출처: 산안법 시행규칙 별표11의3)

유해인자 분류		종 류
화학적인자	유기화합물	113종
	금속류	23종
	산 및 알칼리류	17종
	가스상 물질류	15종
	시행령 제30조 규정에 의한 허가대상 유해물질	13종
	금속가공유	1종
물리적인자	8시간 가중평균 80dB이상의 소음	1종
	보건규칙 제7장 규정에 의한 고열	1종
분진	광물성분진, 곡물분진, 먼분진, 목분진, 용접흄, 유리섬유	6종
그밖에 노동부장관이 정하여 고시하는 인체에 해로운 유해인자	-	-

3. 터널공사 발생 위험물질 측정항목 및 측정기준치 비교

터널공사에서 발생하는 국내외 유해위험물질에 대한 분석 결과 [표 4]와 같이 주요 발생 물질 종류와 유해기준치, 해당 국내외 관련법으로 규정하고 있다는 결과를 분석할 수 있었다. 그 특징을 분석하면 해외 터널 공사에서 유해물질 측정기준은 각국의 안전 규제에 따라 다양하지만, 작업자의 건강과 안전을 보호하기 위해 엄격한 기준이 적용된다. 주요 유해물질로는 분진(PM10, PM2.5), 질소산화물(NOx), 일산화탄소(CO), 이산화탄소(CO2), 휘발성 유기화합물(VOCs), 석면 및 중금속이 있으며, 이들 물질에 대한 노출 기준은 작업자의 건강에 심각한 영향을 미칠 수 있기 때문에 엄격하게 관리되고 있었다. 반면에 일부 유해위험물질 중 건설업의 측정되는 실

리카(SiO2)의 경우 대표적인 폐암 유발물질로 국내에서는 측정기준치는 정하고 있지 않고 있으며 터널공사에서의 발생하는 유리규산의 경우는 유리규산의 함유량에 따라 총 분진을 제 1,2,3종 분진으로 분류하여 허용농도를 달리 정하였으며, 호흡성 분진으로서 결정형 유리규산의 경우 석영 0.01 mg/m³, 트리디마이트와 크리스토팔라이트를 0.05 mg/m³로 따로 규정했었으나 개정되어 현재 3종류 모두 결정형 유리규산으로 포함되어 노출기준 0.05 mg/m³으로 정하고 있으며, 미국 정부산업위생전문가협회(American Conference of Governmental Industrial Hygienist, ACGIH)는 0.025 mg/m³로 정하고 있으나 업종별 노출수준과 이력은 없다.

[표 3] 터널공사 발생 유해물질 종류 및 국내외 측정기준치 비교

유해물질명	측정기준치		관련법	
	국내	해외	국내	해외
질소산화물 (NOx)	일산화질소: 25ppm/8hr 이산화질소: 3ppm/8hr 5ppm/15min	이산화질소: 5ppm/8hr (미국) 0.5ppm/8hr (유럽연합)	산업안전 보건법	OSHA EU
일산화탄소 (CO)	10ppm/8hr	50ppm/8hr (미국) 35ppm/8hr (미국)	산업안전 보건법	OSHA NIOSH
이산화탄소 (CO2)	5000ppm/8hr 15000ppm/15min	5,000ppm/8hr (미국) 3,000ppm/8hr (미국)	산업안전 보건법	OSHA NIOSH
휘발성 유기화합물 (VOCs)	벤젠: 1ppm/8hr 5ppm/15min 포름알데히드: 0.5ppm/8hr 1ppm/15min	벤젠: 0.1ppm/8hr (미국) 포름알데히드: 0.75ppm/8hr 2ppm/15min (미국) 0.3ppm/8hr 0.6ppm/15min (유럽연합)	산업안전 보건법	OSHA NIOSH EU
실리카 (SiO2)	무	이산화 규소: 50	무	OSHA
중금속	납: 0,015mg/m ³ /8hr 수은: 0,025mg/m ³ /8hr 크롬: 0,05mg/m ³ /8hr	납: 0,015mg/m ³ /8hr 수은: 0,015mg/m ³ /8hr 크롬: 0,005mg/m ³ /8hr	산업안전 보건법	OSHA
디젤 (DPM)	무	160µg/m ³	무	MSHA

또한, 라돈의 경우 미국 OSHA에서는 작업장의 공기 중 측정방법과 허용기준(30 pCi/ℓ)을 제정하여 관리하고 있으며 미국 환경부(EPA)의 경우도 4 pCi/ℓ으로 정하고 있는 반면에 국내에는 규정이 마련되고 있지 않다. 그 외 터널공사의 암발파시 광물질에 함유되어 있는 발암성이 알려진 금속인 Pb, Cd, Be, Ni, Cr, Cr(VI)을 비롯하여 터널 작업환경의 주요 발생 금속이라 예측된 Fe, Cu에 대한 측정이 가능하도록 유해인자 항목으로 지정하고 측정되어야 한다.

더불어 터널 공사에서 발생하는 분진은 주로 암석, 토양, 콘크리트 등의 작업 과정에서 발생하며, 그 중에서도 미세먼지(PM10, PM2.5)는 작업자의 호흡기 건강에 큰 영향을 미친다. PM10은 폐와 기관지에 침착될 수 있으며, PM2.5는 폐포(폐의 호흡세기관지와 연결된 작은 주머니 모양으로 많은 수의 모세혈관과 접하여 산소와 이산화탄소의 가스교환을 하는 부분)까지 도달해 심혈관계 및 호흡기 질환을 유발할 수 있다. 분진에 대한 미국 OSHA의 작업장 측정기준은 PM10에 대한 권장 노출 한도를 5mg/m³, 총 먼지에 대한 한도를 15mg/m³로 설정하고 있으며, WHO는 PM2.5의 하루 평균 노출 기준을 25μg/m³로 제시하고 있어 기준이 상이하다.

3. 터널공사 작업환경측정 개선방안

터널 공사 현장에서 발생하는 유해물질의 관리는 작업자의 단기적·장기적 측면에서 건강을 보장하기 위한 가장 중요한 요소 중 하나이다. 특히, 터널공사의 특성인 밀폐된 작업 환경에서 발생하는 분진, 유독가스, 중금속, 광물질 등의 유해물질은 작업자의 건강에 직접적으로 심각한 위험을 초래할 수 있으며, 장기적으로 호흡기 질환, 심혈관 질환, 암 등의 중대한 질병을 유발할 수 있다.

이러한 위험을 최소화하기 위한 작업환경 개선을 방을 본 연구의 결과로 제시한다.

첫째, 작업환경측정에서 측정된 항목과 결과치를 지속적으로 모니터링할 수 있는 종합적인 체계가 구축되어야 하며 측정의 객관성과 신뢰성을 확보하기 위해서는 측정성과관리를 위한 평가를 제안한다.

둘째, 또한, 작업자의 형태 및 작업공중에 다른 작업방식의 특성에 따라 작업환경 측정항목과 측정방법을 달리하여야 한다. 예를 들어 슛크리트공의 경우 혼합시멘트를 터널벽면에 분사하면서 콘크리트 페이스트 분사물이 피부에 접촉하거나 공기중에 분진이 발생할 수 있으며 작업 위치가 터널 하부, 중앙부 등 위치에 따라 위험요소의 측정범위와 위험강도가 달라지므로 측정방식과 측정위치에 의한 측정치의 차이가 있으므로 기존방식의 측정보다는 좀더 상세화 할 필요가 있다.

셋째, 터널에서 발생하는 분진의 경우는 복합물질로 규정하

여 기존 측정 후 구성물에 대해서 상세분석을 통한 개별 유해물질로 구분하고 영향요인을 별도로 분석하여 제시하여야 한다. 더불어 터널 내 부유하고 있는 미세먼지나 분진을 가라앉기 위한 이동식 분무기 및 워터커튼을 사용 시 물로 인해서 유해물질이 가라앉게 되어 오염수가 생기게 되므로 오염수에 대한 측정과 분석으로 영향정도 파악이 필요하므로 작업환경 측정 추가항목으로 제시한다.

넷째, 측정 후 작업자들에게는 측정결과치를 공유하여 건강한 작업이 이루어질 수 있도록 하며 사업주에게는 보건관리를 위한 중요한 기준으로 제공하기 하고 위험성평가를 실시하여 터널작업자의 건강보호를 위한 다양한 방안을 마련할 수 있도록 대책을 현행화 한다.

다섯째, 작업자의 정기적인 건강 검진과 사후 관리를 위한 기본자료로 유해위험물질 노출에 대한 측정결과값을 근간으로 질병 예방과 선제적 예방치료를 강화하는 계기를 마련하도록 작업환경측정 관리를 강화한다. 이를 위해 제도적 기준 개선과 관리를 확대하기 위한 수행매뉴얼을 구축하며 관리자와 작업자에게 관련사항에 대해 지속적인 교육을 실시한다.

4. 결론

현재 작업환경 측정의 목적은 근로자 보건관리 유지를 위한 유해위험을 발굴과 측정으로 유해위험 정도를 파악하는 것을 궁극적인 목적으로 두고 1981년 법 제정 이후 현재 까지 유지되고 있다. 대부분 작업환경 측정결과에 대해서는 관리는 '작업환경측정 및 정도관리규정'을 노동부고시로 제정하여 정도관리 및 측정을 위한 기준으로 관리를 받고 있으나 측정항목의 다양화 및 상세화와 함께 측정방식, 측정위치, 측정결과에 따른 예방 대책수립과 현장 이행은 매우 부족한 실정으로 개선이 필요하다.

본 연구에서는 현행 작업환경측정항목 조사분석을 통해서 건설업 터널공사의 측정항목의 확대와 함께 국외 측정기준도 비교하여 국내 기준마련의 필요성을 제시하였다. 또한, 측정항목에서도 터널공사에서 발생하는 분진의 경우 복합물질의 성격을 나타내고 있으므로 측정한 후 이를 상세 물질로 분석할 수 있도록 분리를 제안하고 상세 물질은 측정항목으로 추가 제시하였다.

더불어 제시한 개선방안의 실행력을 높이기 위해서는 건설업의 보건관리에 대한 인식수준 향상과 함께 체계적인 관리를 위한 제도적 개선과 활성화를 위한 정책적 지원이 뒷받침되어야 한다. 이를 위해 다양한 개선 방안을 통해 터널 공사 현장의 유해물질 관리 수준을 향상시키고, 작업자의 건강과 안전을 최우선으로 고려한 작업 환경을 조성하는 것이 필요하다.

참고문헌

- [1] 유장진 외 2명, “건설업 고위험 작업근로자의 유해요인 노출실태 및 작업환경관리방안(터널건설작업을 대상으로)”, 산업안전보건 연구원 연구실, 1월, 2003년
- [2] 연동은 외 1명, “국내업종별 결정형 유리규산 노출평가”, 대구가톨릭대학교 산업보건학과, 4월, 2017년
- [3] 권지운 외 3명, “결정형 산화규소의 측정분석 신뢰성 확보 방안 연구”, 안전보건공단 산업안전보건 연구원, 11월, 2017년
- [4] 최상준, “작업환경측정제도 운영실태에 관한 고찰”, 한국산업위생학회지, 제18권 제4호, 2008년 12월
- [5] 유예지외 3인, “NATM공법에 의한 고속도로 터널공사 중 라돈노출평가”, 한국산업보건학회지, 제33권 제2호, 2023년
- [6] 박현희외 1인, 건설업 직종별 노출 가능 유해인자 및 노출 강도에 관한 평가, 한국산업보건학회지, 제33권 제3호, 2023년
- [7] 산업안전보건공단 KOSHA GUIDE, 터널공사(NATM 공법) 안전보건작업 지침, 2012
- [8] 산업안전보건공단 KOSHA GUIDE, 작업환경 측정분석에 대한 일반 기술지침, 2020.10
- [9] OSHA, Occupational Safety and Health Standards, 2024년
- [10] EU-OSHA. Occupational Exposure Limits in Europe, 2024년
- [11] NIOSH, Pocket Guide to Chemical Hazards, 2024
- [12] Health monitoring for exposure to hazardous chemicals, NORTHERN TERRITOR, 9월, 2018