

## 발파 관련 산업안전보건규칙 개선을 위한 연구

정호영<sup>1)</sup>, 진연호<sup>2)</sup>, 김식<sup>3)</sup>, 배용철<sup>4)</sup>, 조상호<sup>5)</sup>, 강성윤<sup>6)</sup>, 김광염<sup>7)\*</sup>

### Study on Improvement of Safety Standards for Blasting Operation

Hoyoung Jeong, Yeon-Ho Jin, Sik Kim, Yong Cheol Bae,  
Sangho Cho, Sungyun Kang, Kwangyeom Kim

**Abstract** The purpose of this study is to suggest amendments for the effective operation of safety and health regulations that stipulate safety standards for the prevention of industrial accidents in blasting and tunneling works. Because the regulations on Occupational Safety and Health Standards have not been revised for a long time, the regulations do not meet the requirements in site, and it is reported that it is difficult to implement the regulations at workplaces due to various deficiencies. Therefore, this study aims to abolish or improve unreasonable regulations that do not fit reality due to changes in the technology environment, or to modify low-operability regulations considering domestic conditions in blasting and tunneling workplaces. By comparing domestic laws and standards related to blasting and tunneling works with foreign ones, the improvement measures were suggested.

**Key words** Occupational safety and health act, Standard safety work guideline, Blasting, Tunneling

**초 록** 본 연구는 발파 및 터널작업의 산재예방에 관한 안전기준을 규정하고 있는 안전보건규칙의 실효적 작동을 위한 개선사항을 제안하기 위한 연구이다. 발파 및 터널작업의 산재예방에 관한 안전기준이 규정되어 있으나, 오랫동안 개정이 이루어지지 않아 현실을 반영하지 못하는 규정이 일부 있으며, 필요한 안전기준이 미비하여 사업장에서 해당 규정을 이행하는데 어려움이 있는 것으로 파악되고 있다. 이에 그동안 기술·환경의 변화로 현실에 맞지 않는 불합리한 규정을 개선하고, 작동성이 낮은 규정들을 국내 작업현장 여건에 맞도록 수정·보완하기 위한 것이다. 이를 위하여 국내외에서 제정되어있는 법령, 정책, 제도의 통합적인 비교·검토를 수행하였으며, 이를 통해 국내 안전보건규칙에 개선이 필요한 부분을 도출하고자 하였다.

**핵심어** 산업안전보건규칙, 표준안전작업지침, 발파, 터널

1) 국립부경대학교 에너지자원공학과

2) (주)한화

3) 엔케이기술사사무소

4) 에스에이치엠앤씨(주)

5) 전북대학교 자원·에너지공학과

6) 산업안전보건연구원 산업안전연구실

7) 한국해양대학교 에너지자원공학과

\* 교신저자: [kykim@kmou.ac.kr](mailto:kykim@kmou.ac.kr)

접 수 일 : 2024년 6월 10일

심사완료 : 2024년 6월 16일

게재승인 : 2024년 6월 18일

## 1. 서론

각종 토목 및 자원개발 공사에서 주요 굴착공법으로 활용되고 있는 발파공법은 화약을 이용하여 폭발압에 의해 암반 및 토사를 굴착하는 방법으로써 국내 화약류에 대한 전반적인 관리와 발파작업에 대한 규정은 총포·도검·화약류 등의 안전관리에 관한 법률에 의하여 관리되고 있으나, 세부적인 취급과 사용법에 대한 지침은 산업안전보건법에 의거한다. 또한 발파작업에서의 재해예방을 위하여 화약류의 취급, 운반, 저장, 사용 및 관리와 작업상의 안전에 관한 지침을 발파작업 표준안전작업지침에 따라 사업자에게 지도·권고하고 있다(Kim and Lee, 2014).

또한 산업안전보건기준에 대한 규칙(이하 안전보건규칙 이라 함) 제348~349조, 제350조~368조 등에는 발파 및 터널작업의 산재예방에 관한 안전기준이 규정되어 있다. 하지만 발파 작업과 관련된 조항 중에는 제정된 이후로 현재까지 한 번도 개정이 이루어지지 않은 조항들(제325조, 제348조, 제350조 등)이 많다. 이에 따라 현재 발파 작업과 관련된 안전보건규칙 조항들은 그동안의 기술·환경의 변화를 반영하지 못하고 있거나 현장에서 필요한 안전기준을 충분히 반영하지 못하고 있어, 사업장에서 이를 이행하는데 어려움이 있는 것으로 파악되고 있다.

발파 및 터널작업과 관련된 안전기준들은 안전보건규칙 뿐만 아니라 공사작업과 관련된 여러 기관(정부부처, 발주처, 관리기관 등)에서 별도로 제정하고 있는 기준들을 만족시켜야 하며, 각각의 법과 기준들은 각기 개정과 보완을 거쳐 서로 다른 내용들을 명시하고 있는 경우가 많아 사업장에서 안전관리기준을 이행하는데 애로사항이 되고 있다.

본 연구는 그동안 기술·환경의 변화로 현실에 맞지 않는 불합리한 규정은 폐지·개선하거나, 작동성이 낮은 규정들을 국내 작업현장 여건에 맞도록 수정·보완하는 것을 목표로 한다. 이를 위하여 국내외에서 제정되어있는 법령, 정책, 제도의 통합적인 비교·검토를 수행하였으며, 이를 통해 국내 안전보건규칙에 보완이 필요한 부분을 도출하고자 하였다.

아울러 발파 및 터널 작업에서의 안전과 관련한 국내 환경변화를 적극 반영하기 위하여 최근 10년간 건설업 산업재해 통계와 발파 및 터널작업 관련 중대재

해 조사의견서, 사회적 이슈 사고와 국토부 사고조사 위 조사 결과보고서 등을 상세히 분석하였으며, 이를 통해 안전보건규칙을 현실화하기 위한 개선방안을 도출하고자 하였다.

## 2. 국내외 발파관련 표준 안전작업지침 분석

### 2.1 국내 유관 지침 현황

발파작업의 표준 안전작업지침의 개선과 수행된 선행연구(Kim and Lee, 2014)를 살펴보면 화약류, 천공작업, 발파작업, 발파 후 처리, 발파공해 등의 각각의 공정별 전문적이고 표준화된 용어 정립이 필요하다고 하였으며, 특히 화약류에 대한 지침 중 국내외에서 일반적으로 사용되고 있는 특정 화약류·뇌관을 추가해야 한다고 언급한 바 있다. 작업지침 또한 화약류의 제조사별 특성을 반영하도록 보다 상세화될 필요가 있다고 제안한 바 있고, 이러한 내용들은 본 연구에서 목표하는 바와 같이 국내 기술 및 환경 변화, 국내 작업현장의 여건 등을 고려하여 법령 및 제도를 현실화하는 것을 의미한다.

최근 이러한 요구사항을 반영하기 위하여 관련 법령 및 제도의 개선이 이루어진 바 있다. 2023년 7월 ‘발파작업 표준안전 작업지침’이 전부 개정되었으며(고용노동부, 2023), ‘터널공사표준안전작업지침-NATM공법’과(고용노동부, 2023) ‘굴착공사표준안전작업지침’가(고용노동부, 2023) 일부 개정되었다. 주요 개정 방향에 대해 살펴보면, 발파작업 표준안전 작업지침의 경우에는 각종 조항의 현행화에 중점을 맞추었으며, 관련 법령·규칙간의 정합성을 제고하기 위한 개정이 이루어진 것으로 판단된다. 일부 개정된 터널공사 및 굴착공사 표준안전작업지침의 경우에도 관련 법령·규칙의 정합성을 제고하고자 하였으며, 체계를 정비하는데 초점을 맞춘 것으로 분석된다. 자세한 내용은 표 1에 요약된 바와 같다.

### 2.2 해외 법령과의 비교 분석

국내의 발파 및 터널작업 법령·제도의 개선점을 도출하기 위하여 해외의 법령과 제도를 심층적으로 분석하여 국내 법령과 제도에 마련되어 있지 못한 조항을 검토하고자 하였다. 본 연구에서는 미국과 일본을 중심으로 미국(Occupational Safety and Health

표 1. 국내 발파관련 표준 안전작업지침 개정 내용(고용노동부, 2023)

구분	주요 개정 내용 요약
발파 표준안전 작업지침	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 현행화</li> <li>- ‘도화선발파’는 2000년대 이후 생산 및 취급이 중단되어 현장에서 더 이상 쓰이지 않으므로, 관련 내용 삭제</li> <li>- ‘비전기발파’는 해당 작업 시 필요한 산업재해 예방 기술 등에 관한 표준안전 작업지침을 신설</li> <li>- ‘전자발파’는 해당 작업 시 필요한 산업재해 예방 기술 등에 관한 표준안전 작업지침을 신설</li> <li>▪ 관계 법령·규칙 등 정합성 제고</li> <li>- 진동 허용기준 관련, 현실과 맞지 않는 수치화된 현행 규정은 삭제하고, 「건설기술진흥법」에 따른 국토교통부 고시(건설공사 설계기준 및 표준시방서 등)를 준용</li> <li>- 관계 법령·규칙에서는 규정하고 있지 않은 ‘화공작업소’를 삭제하고, ‘화약류저장소’, ‘화약류취급소’ 등에 관한 규정은 「총포·도검·화약류 등의 안전관리에 관한 법률」 준용 및 현행화</li> </ul>
터널공사 표준안전 작업지침 -NATM공법	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 관계 법령·규칙 간 정합성 제고(안 제6조 및 제36조)</li> <li>- 암질판별 및 발파허용진동치 기준, 막장구간의 조도기준을 ‘건설기술 진흥법’제44조에 따라 제정된 터널 건설공사 설계기준 및 표준시방서 등의 규정 인용 및 기준 일치</li> <li>- ‘굴착공사표준안전작업지침’(고용노동부 고시)에 규정되어 있는 터널공사 관련 내용 신설(해당 지침에서 삭제 후 본 지침으로 이동)</li> <li>▪ 발파작업 표준안전 작업지침 전부개정 고시안’을 인용하고, 중복 규정은 삭제하여 간소화</li> </ul>
굴착공사 표준안전 작업지침	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 체계 정비</li> <li>- ‘작업순서 및 내용 등을 고려하여 본 조 제목을 ‘발파 준비’로 하고, ‘발파작업’에 관한 세부 규정 등 불필요한 규정 삭제</li> <li>- ‘터널공사표준안전작업지침-NATM공법’과의 정합성을 고려하여 일부 내용을 수정 및 삭제</li> <li>▪ 관계 법령·규칙 등 정합성 제고</li> <li>- 진동 허용기준 관련, 현실과 다르게 수치화된 현행 규정은 삭제하고, ‘건설기술진흥법’에 따른 국토교통부 고시(건설공사 설계기준 및 표준시방서 등)를 준용</li> <li>- ‘발파작업’에 관한 세부 규정을 모두 삭제하고, ‘발파작업 표준안전 작업지침 전부개정 고시안’의 내용을 준용토록 개정</li> </ul>

Administration (United states), 2023), 일본(Japan International Cooperation Agency, 2014)에 대한 법령 및 제도와의 비교분석이 수행되었다. 표 2와 표 3은 미국, 일본의 발파작업 표준안전지침과 비교하여 국내 지침의 개선이 필요한 주요 내용을 정리한 것이다.

미국 및 일본의 관련 규정과 비교하여 국내 규정의 개선이 필요한 주요 사항들을 살펴보면 다음과 같다. 먼저 일본에서는 국내 규정과 비교하여 발파작업과 관련된 작업자의 업무 범위를 비교적 상세하게 제시하고 있다. 엔지니어, 발파자, 화약류 기술자로 구분지어 각 작업자의 업무범위를 구분하고 있으며, 특히 발파작업을 지휘하는 책임자의 업무범위를 명시하고 있다. 국내에서는 이에 대한 내용이 규정에 반영되어 있지 않으므로 개정이 필요하다고 판단된다. 또한 국내에서는 화약류를 제외한 기타 발파제에 대한 규정이 전무한 실정이나, 일본에서는 화약류에는 속하지 않으면서 유사한 메커니즘을 통해 임반을 파쇄하는 공법에 대해서 작업 내용을 규정에 포함하고 있다. 국내에

서도 화약류로 분류되지 않는 플라즈마, 증기압 파압제, 미진동 파쇄제 등을 이용하여 암석을 굴착하는 공법이 활용되고 있으나, 국내 규정에서는 이에 대한 안전규칙이 전무한 상황이다. 이러한 파쇄제를 활용하는 작업에서도 발파과정에서 발생하는 위해요인(소음, 비산, 진동, 후가스)이 동일하게 발생한다. 진동은 화약류와 비교하여 작을 수 있으나 공발(Blown out)현상이나 비산, 소음의 위험은 화약류를 사용하는 경우보다 안전하다고 할 수 없고 금속산화물이 주로 포함된 제품의 경우에 후가스가 인체에 미치는 영향 또한 조사된 바 없다. 또한 이러한 작업에서 발생하는 사고가 국내에서 빈번하게 일어나고 있는 만큼 이에 대한 개정도 필요하다고 판단된다.

다음으로 미국의 규정에서는 국내에 비해 발파작업과 관련된 각종 안전관련 내용들이 상세하게 적시되어 있는 것이 특징이다. 특히 발파장소 인근에서 화재가 발생하는 경우 추가 폭발로 인한 화재사고를 방지하기 위하여 진화작업을 하지않고 즉시 대피하도록

표 2. 국내와 일본 발파관련 표준안전작업지침 비교

일본 지침과의 주요 차이점	국내지침 현황 및 개선 필요 사항
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 발파 작업자의 업무 범위 체계화</li> <li>- 엔지니어 (Engineer): 우리나라의 책임감리 업무, 발파자 (Shotfirer): 화약류관리보안책임자 및 화약취급원 업무, 화약류 기술자(Explosives Engineer): 화약류관리기술사 및 화약류관리기사의 업무를 수행하도록 규정되어 있음.</li> <li>- 일본의 규정에서는 발파작업 지휘자의 업무범위에 대하여 상세히 명시</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 발파 작업자의 업무 범위가 모호</li> <li>- 일본의 규정과 같이 직급에 따른 업무를 명확히 정의할 필요 있음.</li> <li>- 발파작업 지휘자의 업무범위를 상세히 명시할 필요 있음.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 화약류 외 발파제를 사용한 발파작업에 대한 규정 존재</li> <li>- 화약류에는 속하지 않으나 유사한 메커니즘을 통해 압반을 파쇄하는 콘크리트파쇄기 등에 대한 규정을 포함.</li> <li>- 화약류에 속하지 않는 발파제에 대한 규칙과 더불어 해당 작업 시 작업책임자의 역할과 책임범위가 명확히 규정.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 플라즈마, 증기압 파암제, 미진동파쇄제 등 급격한 반응을 이용하여 암석을 파괴하는 제품이 굴착공사 시 사용되고 있으나 이에 대한 규정이 전무함.</li> <li>- 화약류에는 속하지 않으나 유사한 메커니즘을 통해 압반을 파쇄하는 콘크리트파쇄기 등에 대한 규정이 필요.</li> <li>- 화약류에 속하지 않는 발파제 작업 시 작업책임자의 역할과 책임범위를 규정하는 규정이 필요.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 발파 작업계획 관련 규정 상세화</li> <li>- 작업계획서와 관련한 규정들이 상세히 명시되어 있음.</li> <li>- 발파계획을 사전에 알리고 안전조치를 취하기 위한 사항들이 명시되어 있음.</li> <li>- 작업지휘자의 발파계획 수립과 관련한 업무범위를 상세히 규정하고 있음.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 발파 작업계획 관련 규정 미비</li> <li>- 작업계획서와 관련한 규정들이 미비하여 국내 규정을 개선할 필요 있음.</li> <li>- 발파계획을 사전에 알리고 안전조치를 취하기 위한 사항들이 명시되어 있지 않으므로, 해당 내용을 규정에 반영할 필요가 있음.</li> <li>- 발파계획 수립과 관련한 작업지휘자의 업무범위가 제시되어 있지 않으므로 조항을 추가할 필요 있음</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 발파 소음에 대한 규정</li> <li>- 발파소음에 대한 관리기준, 규정 등을 명시</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 발파 소음에 대한 규정이 전무</li> <li>- 국내에서는 발파 소음에 대한 규정이 없어 이에 대한 개정이 필요.</li> </ul>

규정하고 있으며, 발파 작업시간은 일출과 일몰시간 사이로 제한하고 있다. 또한 발파 책임자의 자격요건을 자세히 명시하고 있으며, 발파작업 시 안전사고를 동반할 수 있는 점화작업, 불발장약공 등에 대해서도 작업지침을 통해 그 내용을 상세히 규정하고 있다. 또 하나의 특징적인 사항으로는 화약류의 운송, 저장, 관리 등에 대한 규정을 상세하고 명시적으로 제시하고 있다는 것이다. 따라서 국내에서도 미국과 같이 화약류의 지하운송과 관련된 조항, 화약류 저장소에 대한 명확한 정의를 안전작업지침에 포함하여야 할 것으로 판단된다. 또한 발파제 및 함수폭약의 혼합이 이루어지는 건물에 대한 규정들도 개정이 이루어져야 하는 부분으로 사료된다. 마지막으로 미국에서는 특수환경에서 이루어지는 발파작업에 대해서 안전규칙을 별도로 제시하고 있다. 수중발파, 도폭선발파, 압축 공기 하에서 굴착작업, 누설전류 고위험 시설 주변 발파 등에 대해서는 안전사고를 예방하기 위한 작업지침을 별도로 마련해놓고 있으므로 국내 규정에서도 이에 대한 고려가 필요할 것으로 판단된다.

### 3. 국내 중대재해사고 사례 분석을 통한 개선 방안 도출

본 연구에서 발파 작업관련 안전보건규칙의 개정 사항을 도출하는데 있어, 가장 중점을 두는 사항 중 하나는 안전보건규칙이 현장에서 실효적으로 작동하여 안전사고를 저감하는 데 기여하는 것이다. 따라서 본 연구에서는 국내에서 발생한 발파 및 터널 현장에서의 중대재해사고(중대재해보고서)를 수집하여 분석하고 이를 반영한 개선사항을 도출하고자 하였다. 수집된 중대재해보고서는 발파분야 18건, 터널분야 51건, TBM터널 2건으로 총 71건이며, 각각의 중대재해사고의 발생유형과 사고원인, 예방대책 등을 정리하고 분석하였다. 또한 정리된 내용을 취합하여 동일한 유형별로 정리하고 발파 및 터널 작업 중 발생한 사고의 발생원인, 사고유형, 분석된 예방대책 등의 통계치를 분석하였으며 그 결과는 다음과 같다.

그림 1은 발파현장에서 수집된 중대재해사고를 공종별, 사건유형별, 발생시간(낮/밤, 평일/휴일) 등으로

표 3. 국내와 미국 발파관련 표준안전작업지침 비교

미국 지침과의 주요 차이점	국내지침 현황 및 개선 필요 사항
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 발파작업 시 안전관련 규정 체계화</li> <li>- 발파장소 인근 및 화약류 취급장소 주변에서는 화재가 발생하는 경우 추가 폭발 등을 감안하여 진화작업을 하기보다는 즉시 대피할 수 있도록 명시함.</li> <li>- 지상에서의 발파 작업 시간은 일출과 일몰사이에 수행하도록 명시함.</li> <li>- 안전관리와 관련한 발파 책임자의 자격 요건에 대해서 상세히 규정하고 있음.</li> <li>- 발파 시 점화작업에 대한 규정이 상세.</li> <li>- 발파 후 검사와 관련하여 불발된 장약공 관리 등에 대한 규정이 상세.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 발파작업 시 안전관련 규정 개정 필요</li> <li>- 발파장소 인근 및 화약류 취급장소 주변에서 화재가 발생하는 경우에 대한 지침이 없음.</li> <li>- 지상발파 작업시간에 대한 규정이 없어 개정이 필요.</li> <li>- 발파 책임자의 자격 요건에 대해서 상세히 규정하고 있으므로 이에 대한 개정이 필요.</li> <li>- 발파 시 점화작업에 대한 규정이 필요.</li> <li>- 발파 후 검사와 관련하여 불발된 장약공 관리 등에 대한 규정이 필요.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 화약류의 운송, 저장, 관리에 대한 규정</li> <li>- 화약류의 관리와 관련된 조항들이 상세히 규정되어 있음.</li> <li>- 화약류의 지하 운송과 관련된 조항들이 상세히 규정되어 있음.</li> <li>- 화약류 저장소에 대한 명확한 정의와 더불어 이에 대한 관련조항들을 상세히 제시.</li> <li>- 발파제, 합수폭약 혼합에 사용되는 건물에 대한 규정을 상세히 제시.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 화약류의 운송, 저장, 관리에 대한 규정이 미비</li> <li>- 화약류의 관리에 필요한 사항들 중 미비한 부분에 대한 개정이 필요.</li> <li>- 화약류의 지하 운송과 관련된 조항들이 전무하므로 미국의 규정을 참고하여 국내 규정의 개정이 필요.</li> <li>- 국내 규정에서는 화약류 저장소에 대한 명확한 정의가 되어 있지 않고 관련 조항들이 없으므로 개정이 필요.</li> <li>- 발파제, 합수폭약 혼합에 사용되는 건물에 대한 규정이 전무하므로 이에 대한 고려가 필요.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 특수 환경에서의 발파에 대한 규정</li> <li>- 수중 발파에 대한 규정을 상세히 제시.</li> <li>- 압축 공기 하에서 굴착작업 중 발파에 대한 규정을 상세히 제시.</li> <li>- 도폭선 사용에 대한 상세한 규정을 제시.</li> <li>- 송전탑, 레이더 무선 송수신 시설 등 누설 전류의 위험이 있는 장소에서는 전기뇌관의 사용을 지양하고 비전기뇌관 또는 전자뇌관을 사용하도록 규정함.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 특수 환경에서의 발파에 대한 규정</li> <li>- 수중 발파에 대한 규정이 없으므로 이에 대한 규정이 필요.</li> <li>- 압축 공기 하에서 굴착작업 중 발파에 대한 규정이 없으므로 이에 대한 규정이 필요.</li> <li>- 도폭선 사용에 대한 규정이 없으므로 국내 규정에 반영이 필요.</li> <li>- 송전탑, 레이더 무선 송수신 시설 등 누설 전류의 위험이 있는 장소에서는 전기뇌관의 사용을 지양하고 비전기뇌관 또는 전자뇌관을 사용하도록 국내규정의 개정을 검토하여야 함.</li> </ul>

구분하여 사건발생 통계를 분석한 것이다. 중대재해가 발생한 주된 업종은 건설 및 광업분야였으며, 이에 따라 주로 도로공사현장 및 채석장에서의 사고가 다수 발생한 것으로 조사되었다. 중대재해는 주로 작업시간의 비율이 높은 낮과 평일에 많이 발생하여 시간에 따른 영향은 없는 것으로 판단되었다. 중대재해가 발생한 사고원인을 분석한 결과, 주로 비석 등에 의해 발생하는 ‘맞음’ 유형이 45%를 차지하여 이에 대한 추가적인 대책이 필요한 것으로 보인다.

그림 2는 터널현장에서 수집된 중대재해사고를 사건유형별, 발생시간(낮/밤)으로 구분하여 사건발생 통계를 분석한 것이다. 발파현장과 마찬가지로 중대재해는 주로 작업시간의 비율이 높은 낮에 많이 발생하였으며, 터널현장의 특성상 밤과 새벽에도 사고가 발생

하고 있으나, 절대적인 작업시간에 따른 사고 발생빈도를 고려하면 시간에 따른 영향은 없는 것으로 판단되었다. 중대재해가 발생한 사고원인을 분석한 결과, 주로 ‘떨어짐’, ‘넘어짐’, ‘부딪힘’과 같은 건설기계와 혹은 작업 구조체 등과 관련된 사고 유형이 70%를 차지하여 이에 대한 추가적인 대책이 필요한 것으로 보인다. 또한 본 연구에서 중대재해보고서를 분석한 결과 보고서에 기술된 예방대책들은 현장의 작업여건과 맞지 않거나 보완이 필요한 부분들이 있는 것으로 검토되었다. 표 4는 각각의 사고유형에 따라 개선이 필요한 예방대책을 정리한 것이다.

한편 표 5는 중대재해보고서에 보고된 이외에 본 연구에서 별도로 수집한 발파안전사고 현황을 정리한 것이다. 1990년부터 2022년까지의 사고사례를 수집하

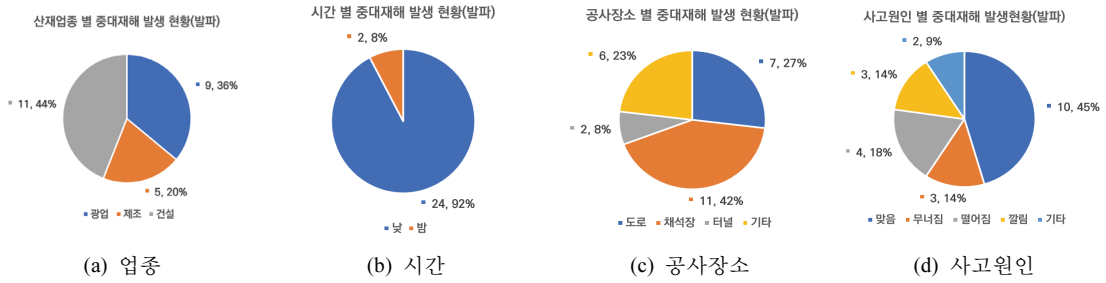


그림 1. 발파현장에서의 중대재해 발생 통계 현황.

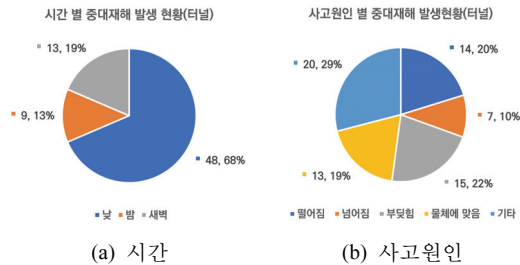


그림 2. 터널현장에서의 중대재해 발생 통계 현황.

여 분석하였으며, 중대재해보고서에서 보고되어 있는 사건사고 외 27건의 사고사례를 추가로 수집하였다. 추가로 조사된 국내 발파안전사고의 원인은 낙뢰(36%), 누설전류(24%), 안전거리미확보(15%), 정전기(12%), 기

타(12%)순으로 나타났으며, 이에 대한 방지대책을 사고원인별로 정리하면 표 6과 같이 요약할 수 있다.

#### 4. 산업안전보건규칙 개정 방향 제안

상술한 바와 같이 발파 및 터널작업과 관련한 현행의 산업안전보건규칙은 오랫동안 개정이 이루어지지 않아 현실을 반영하지 못하는 규정이 일부 있으며, 필요한 안전기준이 미비하여 사업장에서 해당 규정을 이행하는데 어려움이 있는 것으로 파악된다. 이에 본 연구에서는 국내외 법령 및 제도의 비교검토 내용, 국내 중대재해사고 시사점, 개정된 발파 표준안전작업지침과의 정합성 등을 고려하여 산업안전보건규칙의 개정(안)을 제시하고자 하였다. 발파와 터널작업과 관련

표 4. 중대재해 사고 유형에 따른 예방대책 개선방향

구분	비교 내용 요약
낙석 및 붕괴	<ul style="list-style-type: none"> <li>낙석 및 붕괴가 원인이 되는 사고는 자연재해와 유사하나 인위적인 굴착이 이루어진 사면에서 주로 발생함</li> <li>전문가가 아닌 일반인이 판단하여 결정할 수 있는 간략한 안전작업 매뉴얼이 필요함</li> <li>석산에도 지질관련 전담인력의 배치 또는 외부 안전용역업체의 관리가 필요함 (근거: 일본 노동안전규칙 제3절 채석작업)</li> </ul>
굴삭기 작업 관련 사고	<ul style="list-style-type: none"> <li>사면부에서 발파 후 버력을 제거하거나 집토작업, 보호매트 설치작업은 충분한 경험이 있는 굴삭기운전사가 실시하도록 하여야 함</li> <li>굴삭기가 위험한 작업을 실시하여야 할 경우 투입 전에 반드시 전담인력이 안전교육을 실시하고 장비유도원을 배치</li> <li>장비유도원은 안전한 장소에서 운전원과 어떠한 방식으로든 즉시 소통할 수 있도록 함</li> </ul>
안전시설 및 개인보호구	<ul style="list-style-type: none"> <li>위험구역에는 접근금지를 위한 안전시설물 설치</li> <li>개인 보호구 필수 착용</li> <li>대피거리에 따른 대피소 설치 기준 마련 필요</li> </ul>
발파석 비산방지 조치	<ul style="list-style-type: none"> <li>발파보호용 매트설치 기준이 필요함</li> <li>기준에는 발파매트가 반드시 필요한 경우를 제시할 필요 있음</li> </ul>
부적절한 작업지시	<ul style="list-style-type: none"> <li>발파현장에서 발파방법, 굴삭기 버력제거방법, 대피방법, 위험구역 설정 등 안전에 대한 고려는 작업의 시공성과 상충되는 부분이 존재</li> <li>따라서 안전에 우선해야할 안전담당자가 장비관리 및 현장관리를 할 경우 작업의 효율성을 우선하여 판단하는 경향이 있음</li> </ul>

표 5. 국내 발파안전사고 발생 현황

발생년월	사고내용	사고원인
'90.7월	터널 천공 및 장약 작업 후 전기 발파 준비 도중 낙뢰에 의한 폭발	낙뢰
'93.3월	터널 장약작업 중 누전에 의한 전기뇌관 및 폭약 폭발	누설전류
'93.3월	수직구 개착을 위한 폭약 장전 중 누설전류에 의한 폭발	누설전류
'93.5월	터널 굴착 중 암반제거를 위한 장약(전기발파) 작업 후 발파지역으로 이동 중 낙뢰에 의한 폭발	낙뢰
'93.6월	장약 작업 후 작업대 제거 순간 폭발	누설전류
'93.9월	장약 중 천공이 막히자 드릴로 폭약을 밀어넣는순간 폭발	정전기
'94.6월	폭약 장전과 동시에 이동식 투광등 전선을 철거하는 과정에서 누설전류 발생하여 폭발	누설전류
'94.12월	장약수가 들고 있던 전기뇌관이 갑자기 폭발	정전기
'95.8월	우천 장약작업 후 폭약에 뇌관 장착하던 중 낙뢰로 폭발	낙뢰
'00.6월	고속도로 터널공사 중 낙뢰로 인한 전류가 Water Pipe를 통해 터널로 유입되어 전기뇌관 기폭	낙뢰
'00.6월	낙뢰에 의한 전류가 수맥을 따라 유입되어 부분발파 발생	낙뢰
'01.1월	전북 순창 월정저수지용수터널 현장에서 천공 작업과 장약 작업 병행 중에 화약 폭발 사고 발생	정전기 (추정)
'01.6월	강원 영월 북면 가차리 영월광업소 갱도 입구에서 석탄채굴을 위해 발파작업 중 전기뇌관 폭발사고 발생	누설전류
'08.5월	결선작업 후 발파 카운트를 실시하는 도중 낙뢰로 인한 전류 유입되어 폭발	낙뢰
'09.6월	우천 상황에서 전기뇌관 사용 중 낙뢰 발생하여 부분발파	낙뢰
'11.7월	낙뢰로 인한 전기유입으로 전기뇌관 발파, 터널 붕괴	낙뢰
'13.5월	차징카작업대 위에 있던 전기뇌관에 외부전류 유입되어 기폭	누설전류
'13.7월	고속도로 현장에서 전기뇌관 결선 후 작업자 철수 중 낙뢰로 기폭	낙뢰
'13.11월	터널공사 현장에서 원인미상의 사유로 전기뇌관이 저절로 기폭	정전기
'16.12월	도담-영천 중앙선 복선전철11공구 터널공사 현장에서 발파 작업 중 근로자 부상사고	안전거리 미확보
'18.4월	강원 정선군 신동읍의 한덕철광에서 상부 갱도에서 발파를 진행하던 중 하부 갱도의 근로자 매몰사고 발생	안전거리 미확보
'18.8월	충북 제천 석회석 채굴업체의 지하 갱도안에서 작업하던 근로자가 머리에 암석 파편을 맞는 사고	안전거리 미확보
'19.11월	춘천 채석장에서 발파 작업 중 암석 파편에 근로자 상해	안전거리 미확보
'20.4월	수도권 제2순환도로 이천-오산간고속도로4공구 현장에서 터널 발파 공사 후 굴삭기를 이용해 부석 정리 작업 중 낙반에 의한 사고	발파 후 접근금지 미조치
'21.4월	석산 진입로 개설 현장에서 발파 작업을 하던 작업자가 발파 작업 중 40m 날아온 돌에 맞은 사고	안전거리 미확보
'21.4월	새만금고속도로 터널공사 현장에서 장약작업 완료 후 터널 상부의 낙반에 의한 사고	낙반제거 미실시
'22.1월	삼표산업골재채취현장에서 작업(천공/발파공정) 도중 상부 토사 붕괴로 인한 근로자 매몰	토사·구축물 등의 붕괴 예방 조치 미실시
'22.2월	석산에서 발파작업 전 화약류 임의 소각에 의한 폭발 사고 발생	화기사용금지 미조치
'22.4월	석회석 지하광산에서 발파 중 타 갱도에서 작업 중이던 근로자 질식	밀폐공간 출입 시 조치, 환기 등 보건 조치 미실시
'22.9월	봉천동 재개발 부지 터파기 중 불발된 화약류를 굴삭기가 충격하여 폭발 사고 발생, 비산석에 의해 인근 아파트 파손 및 주민 경상 발생	발파 후 불발 확인 및 제거 등 조치 미실시

표 6. 국내 기타 발파안전사고 원인 및 방지대책

구분	사고원인	방지대책
통제가능 사고원인	<ul style="list-style-type: none"> <li>미주전류(누설전류): 전색작업 시 각선 피복의 손상으로 누설전류 발생 가능</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>누설전류 측정 0.1A 초과 시 원인제거 후 작업</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>정전기: 천공장비 작동 중에 전기뇌관 관체 혹은 단락부로 유입 가능, 전폭약 포 제작 시 인체의 정전기로 발생 가능</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>뇌관 취급 시 면으로 된 옷과 도전화 착용, 정전기 제거 장치</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>무선전파에너지(RF에너지): 발파회로가 무선전파에 노출되면 전류가 유도되어 뇌관 발화 가능</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>전기적 위험성 없는 뇌관 사용 (비전기뇌관/전자뇌관)</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>고압송전선: 고압선에 의한 손상</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>고압송전선에 평행하게 발파모선 설치</li> <li>지면에 가깝고 Loop가 적게 유지</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>유도전류</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>전기적 위험성 없는 뇌관 사용 (비전기뇌관/전자뇌관)</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>불발 등 발파 후 처리 미흡</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>발파 후 불발된 화약류가 있는 경우에는 그 원인을 조사하고 대책을 수립</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>발파 후 접근금지 미조치</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>발파 전후 진동 및 파손의 위험이 있거나 작업장소가 붕괴, 낙석 등의 위험이 있는 경우에 관련 전문가의 검토를 받아 발파계획을 수립하고 작업을 진행</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>낙석제거, 비산방지 등의 조치 미실시</li> <li>토사·구축물 등의 붕괴예방 조치 미실시</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>발파보호용 매트설치</li> <li>발파 전후 진동 및 파손의 위험이 있거나 작업장소가 붕괴, 낙석 등의 위험이 있는 경우에 관련 전문가의 검토를 받아 발파계획을 수립하고 작업을 진행</li> </ul>
통제불가능 사고원인	<ul style="list-style-type: none"> <li>낙뢰, 분진, 눈보라 등</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>낙뢰 발생 시 일체 발파작업 중지, 대피</li> <li>피뢰침 및 Surge 설치</li> <li>낙뢰경보기 설치, 운용</li> <li>터널 내 전력원에 대한 누전차단기 설치</li> <li>누설전류 측정기에 의한 일상 점검 실시</li> <li>각종 배관 파이프의 비전도체화</li> </ul>

된 안전지침인 ‘발파표준안전작업지침’, ‘터널공사 표 준안전 작업지침-NATM’은 행정규칙(고용노동부고시)에 해당하여 강제성이 없기 때문에 해당 지침의 현장에서 실질적인 작동을 위해서 상위법령인 ‘산업안전보건기준에 관한 규칙(이하 안전보건규칙)’의 개정내용을 제시하고자 하는 것이다. 안전보건규칙 내 발파작업 및 화약과 관련한 조항들은 안전보건규칙 제38조(별표 4 포함), 제39조, 제325조, 제348조~제349조, 제350조~제368조, 제370조~제375조이다. 하지만 제350조~제368조는 발파작업 이외의 터널 공사의 전반적인 작업을 대상으로 작업지침을 규정하고 있으므로 이에 대해서는 추가적인 연구가 필요하며, 제370조~제375조의 경우에는 발파작업과 관련하여 개정이 필요하지 않은 것으로 검토되어 본 연구의 개정(안) 검토대상에서는 제외하였다. 이에 따라 본 연구에서 중점적으로 개정을 검토한 조항은 안전보건규칙 제38조

(별표4 포함), 제39조, 제325조, 제348조~349조이다. 표 7은 본 연구에서 제안한 안전보건규칙 개정(안)에서의 개정사항을 조항별로 개정근거와 함께 정리한 것이다.

## 5. 결론

본 연구에서는 발파 및 터널작업(본 연구에서는 ‘터널 발파굴착’ 작업에 한정함)의 산재예방에 관한 안전기준을 규정하고 있는 안전보건규칙의 실질적 작동을 위한 개정안을 마련하고자 하였다. 산업안전보건기준에 관한 규칙(이하 안전보건규칙 이하 함) 제348~349조, 제350조~368조에는 발파 및 터널작업의 산재예방에 관한 구체적인 안전기준이 규정되어 있으나, 오랫동안 개정이 이루어지지 않아 현실을 반영하지 못하는 규정이 일부 있으며, 필요한 안전기준이 미비하여 사업장에서 해당 규정을 이행하는데 어려움이 있었다. 이에 그동안



표 7. 산업안전보건기준에 관한 규칙 개정(안) 내용

산업안전보건기준에 관한 규칙 제38조				
개정 내용	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ (신설) 14. 그 외 분류되지 않는 화약류 또는 파쇄재를 이용한 발파작업</li> <li>▪ (수정) [별표 4] 작업명 ‘14. 그 외 분류되지 않는 화약류 또는 파쇄재를 이용한 발파작업’ 및 대응되는 작업계획서 내용 추가</li> </ul>			
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>작업명</th> <th>작업계획서 내용</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>14. 그 외 분류되지 않는 화약류 또는 파쇄재를 이용한 발파작업</td> <td>                     가. 발파 작업장소                      나. 발파방법 및 순서                      다. 적절한 인력 및 장비 투입계획 라. 비산, 진동 등의 제어대책                      마. 비산, 낙석, 붕괴에 대한 대피 및 통제 계획                 </td> </tr> </tbody> </table>	작업명	작업계획서 내용	14. 그 외 분류되지 않는 화약류 또는 파쇄재를 이용한 발파작업
작업명	작업계획서 내용			
14. 그 외 분류되지 않는 화약류 또는 파쇄재를 이용한 발파작업	가. 발파 작업장소 나. 발파방법 및 순서 다. 적절한 인력 및 장비 투입계획 라. 비산, 진동 등의 제어대책 마. 비산, 낙석, 붕괴에 대한 대피 및 통제 계획			
개정 근거	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 기존 조항에서는 화약류와 동일한 위해요소를 갖는 파쇄재에 대한 규정이 없어 이에 대한 안전규칙이 부재 (미국, 일본의 안전보건규칙에서는 파쇄재를 화약류와 동등한 수준의 위험물로 취급)</li> <li>▪ 화약류 또는 파쇄재를 사용하여 발파작업을 수행함에도 기존 조항에 해당되지 않아 현장에서 안전대책을 이행하지 않아도 되는 작업이 다수 존재함. 많은 안전사고들이 발생하고 있어 조항을 추가</li> </ul>			
기타	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 파쇄재(破砕材)란 암반이나 콘크리트 등 단단한 고체의 파쇄를 위하여 만들어진 재료로서 제품에 다른 물질을 물리적 화학적으로 첨가하여 조작할 필요가 없으며 기폭장치를 통하여 연소 또는 폭연반응이 발생하여 가스 또는 증기, 열팽창을 동반</li> </ul>			
산업안전보건기준에 관한 규칙 제39조				
개정 내용	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ (수정) 제38조 신설 및 변경에 따른 ①항 수정</li> <li>▪ ① 사업주는 제38조제1항제2호·제6호·제8호 및 제11호, 제14호의 작업계획서를 작성한 경우 작업지휘자를 지정하여 작업계획서에 따라 작업을 지휘하도록 하여야 한다. 다만, 제38조제1항제2호의 작업에 대하여 작업장소에 다른 근로자가 접근할 수 없거나 한 대의 차량계 하역 운반기계 등을 운전하는 작업으로서 주위에 근로자가 없어 충돌 위험이 없는 경우에는 작업지휘자를 지정하지 아니할 수 있다.</li> </ul>			
개정 근거	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 제38조에 신설(14. 그 외 분류되지 않는 화약류 또는 파쇄재를 이용한 발파 작업)된 작업 항목을 포함하도록 제39조 1항 수정</li> </ul>			
산업안전보건기준에 관한 규칙 제348조(발파의 작업기준)				
개정 내용	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ (변경) 제348조(발파의 작업기준) 사업주는 작업지휘자 및 발파작업에 종사하는 근로자에게 다음 각 호의 사항을 준수하도록 하여야 한다.</li> <li>▪ (변경) 5. 점화 후 장전된 화약류가 폭발하지 아니한 경우 또는 장전된 화약류의 폭발 여부를 확인하기 곤란한 경우에는 다음 각 목의 사항을 따를 것 → 10. 발파 후 불발된 화약류, 파쇄재가 있는 경우에는 그 원인을 조사하여 안전대책을 수립하고 필요한 조치를 한 후가 아니면 해당 장소에 사람의 접근을 금지할 것</li> </ul>			
개정 근거	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 사업주가 발파 작업을 위해 필수적으로 이행해야 할 사항을 명시함 (작업지휘자 명시)</li> </ul>			
개정 내용	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ (삭제) 1. 얼어붙은 다이너마이트는 화기에 접근시키거나 그 밖의 고열물에 직접 접촉시키는 등 위험한 방법으로 용해되지 않도록 할 것</li> <li>▪ (변경) 3. 장전구(裝填具)는 마찰·충격·정전기등에 의한 폭발의 위험이 없는 안전한 것을 사용할 것 → 5. 장약봉은 마찰, 충격, 정전기에 안전한 재료를 사용하고 장약과정에서 화약류에 충격을 가하지 않도록 할 것</li> </ul>			
개정 근거	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ (1항) 다이너마이트는 최근 사용빈도가 극히 적어 실효성이 낮으므로 삭제</li> <li>▪ (3항) 중대재해사고의 사고사례 중 의도치 않은 폭발 사례가 다수 있어 조항을 유지하여야 함, 용어와 내용을 이해하기 쉽도록 개정</li> </ul>			
개정 내용	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ (신설) 1. 작업장소에 화약류, 파쇄재취급자 또는 관계자가 아닌 사람의 출입을 금지할 것</li> <li>▪ (신설) 2. 발파 전후 진동 및 파손의 위험이 있거나 작업장소가 붕괴, 낙석 등의 위험이 있는 경우에 관련 전문가의 검토를 받아 발파계획을 수립하고 작업을 진행할 것</li> <li>▪ (신설) 3. 송전탑, 레이더 무선 송수신 시설, 누설전류의 위험이 있는 장소에서 전기뇌관의 사용을 지양하고 비전기뇌관 또는 전자뇌관을 사용할 것</li> </ul>			

개정 근거	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ (1항) 안전을 위한 출입통제 필요: 발파분야 중대재해사고 원인 1순위 ‘비산석’에 의한 사고를 예방하기 위한 대책</li> <li>▪ (2항) 사업주는 전문가의 검토를 받아 위험요인을 파악해야 함: 발파분야 중대재해사고 원인 2순위 ‘낙석 및 붕괴’에 의한 사고를 예방하기 위한 대책</li> <li>▪ (3항) 뇌관의 선택은 경제성과 연관되므로 전문가 또는 발파작업책임자의 의견을 검토하여 발주자 또는 상부자 결정하는 사항: 중대재해사고의 사고사례의 원인 1순위 ‘의도치 않은 폭발’을 예방하기 위한 대책</li> </ul>
산업안전보건기준에 관한 규칙 제348조(발파의 작업기준)	
개정 내용	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ (신설) 7. 수중발파 또는 고온공에서 발파하는 경우 화약류 및 파쇄기 제조업자의 자문을 받아 적합한 화약류를 선정하고 사용 방법을 준수할 것</li> <li>▪ (신설) 8. 기폭장소는 발파장소로부터 충분히 떨어져 있어야 하며, 비석이나 낙석 등에 대한 안전대책을 수립하고 필요한 조치를 할 것</li> <li>▪ (신설) 9. 위험구역 내 모든 근로자의 대피상태를 확인한 후 기폭을 실시할 것</li> </ul>
개정 근거	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ (7항) 사업주는 화약류 제조사 및 종류를 결정할 권한이 있으므로 필요한 경우에 제조사에 지도를 요청하여 안전하게 사용되도록 함 : 미국 및 일본의 규정에서는 수중발파 및 고온공에 대한 사항이 명시되어 있음, 중대재해사고의 사고사례의 원인 1순위 ‘의도치 않은 폭발’을 예방하기 위한 대책</li> <li>▪ (8항) 사업주는 발파작업책임자 또는 취급자의 안전을 위해 위험이 없는 장소를 마련해야 함: 발파분야 중대재해사고 원인 1순위 ‘비산석’에 의한 사고를 예방하기 위한 대책</li> <li>▪ (9항) 안전을 위한 통제 대책: 발파분야 중대재해사고 원인 1순위 ‘비산석’에 의한 사고를 예방하기 위한 대책</li> </ul>
산업안전보건기준에 관한 규칙 제349조(작업중지 및 피난)	
개정 내용	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ (변경) ① 사업주는 벼락이 떨어질 우려가 있는 경우 또는 화약류 인근에서 화재가 발생한 경우에는 화약 또는 폭약의 장전 작업을 중지하고 근로자들을 안전한 장소로 대피시켜야 한다.</li> </ul>
개정 근거	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 화재가 발생하는 경우 진화조치를 취하려 하지 말고 즉각적으로 대피하여 더 큰 피해를 방지하도록 함: 중대재해사고의 사고사례의 원인 1순위 ‘의도치 않은 폭발’을 예방하기 위한 대책</li> </ul>
산업안전보건기준에 관한 규칙 제325조(정전기로 인한 화재 폭발 등 방지)	
개정 내용	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ (변경) 9. 화약류 제조설비 → 화약류 제조·저장 설비</li> <li>▪ (삭제) 10. 발파공에 장전된 화약류를 점화시키는 경우에 사용하는 발파기(발파공을 막는 재료로 물을 사용하거나 갱도 발파를 하는 경우는 제외한다)</li> </ul>
개정 근거	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ (9항) 발파현장에서 화약류의 저장과 관련한 안전조치 이행이 잘 이루어지지 않고 있다는 의견을 반영하여 화약류 저장설비에 대한 문구를 추가</li> <li>▪ (10항) 발파기는 설비에 해당하지 않는 단순 발파기자체이며, 정전기에 대한 위험성이 매우 낮아 본 조항의 실효성이 매우 낮음</li> </ul>

기술·환경의 변화로 현실에 맞지 않는 불합리한 규정은 폐지·개선하거나, 작동성이 낮은 규정들을 국내 작업현장 여건에 맞도록 수정·보완하는 것을 목표로 하였다. 이를 위하여 국내외에서 제정되어있는 법령, 정책, 제도의 통합적인 비교·검토를 수행하였으며, 이를 통해 국내 안전보건규칙에 보완이 필요한 부분을 도출하여 안전보건규칙 개정(안)을 제시하였다.

발파 및 터널 작업에서의 안전과 관련한 국내 환경 변화를 적극 반영하기 위하여 최근 10년간 건설업 산업재해 통계와 발파 및 터널작업 관련 중대재해 조사 의견서, 사회적 이슈 사고 국토부 사고조사위 조사 결과보고서 등을 상세히 분석하였으며, 이를 통해 안전보건규

칙을 현실화하기 위한 개선방안을 도출하고자 하였다.

본 연구를 통해 도출된 안전보건규칙 개정(안)이 적용될 수 있는 경우 국내외 발파 및 터널작업 관련 최신 법제도의 도입으로 세계 수준의 안전보건규칙을 마련할 수 있을 것으로 기대되며, 국내 작업여건에 적합한 실효성 있는 안전보건규칙의 마련으로 발파를 적용한 각종 터널 및 공사현장에서의 안전사고 저감에 기여할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 국내 환경 변화 및 작업여건이 반영된 안전보건 규칙의 개정으로 발파 및 터널현장에서의 발주, 설계, 시공 단계별 효율적인 안전사고 예방대책 마련에 기여할 수 있을 것으로 기대한다.

## 감사의 글

본 연구는 산업안전보건연구원의 지원을 받아 산업안전보건연구원 2023년 위탁연구 용역사업에 의해 수행되었습니다. 연구지원에 감사드립니다.

## 참고문헌

1. 김희도, 이준원, 2014, 발파작업 표준 안전작업지침에 대한 개정 방안 연구, 화약발파, 32(1), pp. 23-30.
2. 고용노동부, 2023, 산업안전보건기준에 관한 규칙.
3. 고용노동부, 2023, 발파 표준안전 작업지침 고시(고용노동부 고시 제2023-34호).
4. 고용노동부, 2023, 터널공사 표준안전 작업지침-NATM 공법 고시(고용노동부 고시 제2023-36호).
5. 고용노동부, 굴착공사 표준안전 작업지침 고시(고용노동부 고시 제2023-35호).
6. Occupational Safety and Health Administration (United states), 2023, Occupational safety and health standards: Safety and Health Regulations for Construction (1926 Subpart U - Blasting and the Use of Explosives).
7. Japan International Cooperation Agency, 2014, The guidance for the management of safety for construction works in Japanese ODA projects.



**정 호 영**

국립부경대학교 에너지자원공학과 조교수

Tel: 051-629-6557

E-mail: hyjeong@pknu.ac.kr



**진 연 호**

(주)한화 글로벌부문 팀장

Tel: 02-729-1735

E-mail: jyh0924@hanwha.com



**김 식**

엔케이기술사사무소 대표

Tel: 063-228-4368

E-mail: hanbleks@naver.com



**배 용 철**

에스에이치엠씨(주) 이사

Tel: 032-623-0205

E-mail: blast@shmc.co.kr



**조 상 호**

전북대학교 공과대학  
토목/환경/자원에너지공학부 교수

Tel: 063-270-4636

E-mail: chosh@jbnu.ac.kr



**강 성 윤**

산업안전보건연구원 산업안전연구실 과장

Tel: 052-703-0852

E-mail: sungyun81@kosha.ot.kr



**김 광 엽**

한국해양대학교 에너지자원공학과 부교수

Tel: 051-410-4438

E-mail: kykim@kmou.ac.kr