불량뇌관 저항 수동측정 중 폭발사고(KOSHA-MIA-202107)

본 OPL은 국내에서 발생한 화학사고에 대하여 안전보건공단에서 동종사고의 재발방지를 위하여 관련 사업장에 무료로 배포하고 있으며, 금번 발생한 사고사례는 동종재해 예방을 위하여 적시에 배부하오니 근로자에게 충분히 교육하여 동종사고가 발생하지 않도록 만전을 기하여 주시기 바랍니다.

불량뇌관 저항 수동측정 중 폭발 사고

< 재해개요 >

2020년 6월 ○○○사업장의 전기뇌관 제조공정에서 저항측정치 불량으로 자동분류된 전기뇌관을 저항계를 사용하여 재측정하는 과정에서 전기뇌관이 폭발하여 비산된 파편에 작업자 4명이 부상한 사고임.

[사고발생 장소 전경]

레인지	최대측정범위	측정정확도	측정전류	개방전압
3mΩ	3.5000mΩ	0.100 + 0.200 (0.100 + 0.020)	1 A	5.5 Vₘₐₓ
30mΩ	35.000mΩ	0.100 + 0.020 (0.100 + 0.010)		
300mΩ	350.00mΩ	0.100 + 0.010 (0.100 + 0.010)	300 mA	
		0.020 + 0.020 (0.020 + 0.010)	100 mA	
3Ω	3.5000Ω	0.020 + 0.007 (0.020 + 0.007)		
30Ω	35.000Ω	0.020 + 0.007 (0.020 + 0.007)	10 mA	
300Ω	350.00Ω	0.020 + 0.007 (0.020 + 0.007)	1 mA	
3kΩ	3.5000kΩ	0.020 + 0.007		
30kΩ	35.000kΩ	0.020 + 0.007	100 µA	
300kΩ	350.00kΩ	0.040 + 0.007	5 µA	
3MΩ	3.5000MΩ	0.200 + 0.007	500 nA	

[저항측정에 사용된 저항계(RM3548) 및 레인지별 측정전류(매뉴얼)]

1 사고발생 공정 및 물질

❍ (사고발생공정) 저항 재측정 공정

- 점식식사 전인 11:54분경 재해자 4명(A, B, C, D)이 모여 있는 상황에서 A와 B가 저항계[RM3548]의 전원(ON/OFF)스위치 및 AUTO버튼을 누르고 설정치를 임의로 조정하는 과정에서 저항계를 정상화함.
- 저항치 재확인을 위해 저항계에 불량품으로 분류된 전기뇌관을 저항계와 연결함과 동시에 폭발하여 비산된 파편에 작업자 4명이 부상당함.

❍ (사고발생물질) : 전기뇌관 구성물질

- 제조사에서 제공하는 Safety Data Sheet(SDS)에 따르면, 전기뇌관 물질은 P.E.T.N., Hexogen, Lead(Ⅱ,Ⅳ) oxide 등의 혼합물로 구성되어 있음.

명 칭	Elemented Detonators	분자식	- (혼합물)
상 태	고체	성 상	고체(무취)
그림문자		제조사	Orica Sweden AB
반응성	폭발성 (충격, 마찰, 화재 또는 기타 점화원으로 인해 폭발 위험)	안정성	실온에서 화학적으로 안정

주요 포함 물질	물질명	CAS No.	유해성·위험성	중량비(%)
	P.E.T.N. (사질산 펜타에리트리톨)	78-11-5	폭발성, 급성 독성	6.0
	Hexogen (시클로나이트)	121-82-4	폭발성, 급성 독성, 특정표적장기 독성	6.5
	Lead(Ⅱ,Ⅳ) oxide (이산화납)	1314-41-6	생식세포 변이원성, 발암성, 생식독성, 특정표적장기 독성	1.5

② 사고발생원인

❍ 장비 신규 도입 및 공정변경에 따른 위험성검토 미흡

- 신규로 도입하는 저항계[RM-3548]의 매뉴얼을 제대로 검토하지 않아 저항계의 레인지 설정에 따라 측정전류가 점화옥의 기폭전류를 초과할 수 있다는 사실을 인지하지 못하는 등 계측기에 대한 위험성 검토가 미흡하였음.
- 사내 PSM 지침에 따라 변경관리 절차 등 후속조치를 이행하였으나, 공정변경으로 인해 발생하는 수동 저항 재측정 공정에 대한 위험성평가가 누락되어 해당 공정에서 발생할 수 있는 전기뇌관의 폭발위험이 발굴·검토되지 않음.

불량뇌관 저항 수동측정 중 폭발사고(KOSHA-MIA-202107)

❍ 기인물인 전기뇌관의 기폭전류

- 전기뇌관의 부분품인 점화옥의 제조사 기술데이터 상 기폭전류는 1.0 A로 명시되어 있으나, 사내 시험실에서 기폭시험(2020.6.3.) 결과 전류 0.80 A에서 샘플 10개중 8개만 기폭(기폭률 80 %)되었고, 전류 0.83 A이상에서는 샘플 10개 모두 기폭됨.

※ 점화옥 제작시 사용되는 백금 등의 함유량 및 모양에 따라 기폭 전류가 제품별로 차이가 발생할 수 있음.

❍ 저항계 측정전류에 따른 전기뇌관 기폭 시험

- 재해 당일 재해자들이 사용했던 저항계에 전기뇌관을 연결하여 측정 레인지(3 MΩ~3 mΩ)에 따른 전기뇌관의 기폭 여부를 시험한 결과, 레인지 30 mΩ 및 3 mΩ에서는 전기뇌관이 기폭됨.
- 레인지 30 mΩ 및 3 mΩ에서 저항계의 측정 전류를 확인한 결과, 전류 0.85 A가 도통되는 것을 계산으로 확인할 수 있음.

※ 저항계를 통해 전기뇌관(4.5 m)에 흐르는 전류를 측정하기 위해 저항계, 전기뇌관(4.5 m), 전류계를 직렬로 연결하여 전류를 측정함.

❍ 안전운전절차서 작성 및 작업관리 미흡

- 수거된 불량품의 수동 저항 재측정 공정에서 발생할 수 있는 폭발 위험성에 대비하여 작업 공간을 프로텍트가 설치된 포장 작업대로 제한하고, 저항계의 특성을 고려하여 절차를 수립하는 등 이러한 내용을 안전운전절차서 등에 명시하고 작업을 관리하여야 하나 미실시함.
- 위험성 평가에서 수동 저항 재측정 공정에서 발생할 수 있는 폭발 위험성을 발굴하였다면 기존 포장 작업대(A/B) 활용 외에 추가적인 작업대 설치를 고려할 필요가 있었음.

❍ 근로자 교육 미흡

- 폭발의 가능성이 있는 전기뇌관은 반드시 프로텍트가 설치된 안전한 공간에서만 취급할 수 있도록 해당 작업 근로자에 대한 교육을 철저히 했어야 하나 교육을 제대로 실시하지 않았음.
- 또한, 신규로 도입한 계측기에 대해 해당 근로자를 대상으로 사용법 및 유의사항에 대한 교육을 실시하지 않았음.

※ 정기안전보건교육, 특별안전보건교육 등 법정안전교육은 실시한 것으로 확인됨.

3 동종사고 예방대책

❍ 장비 신규 도입 및 공정변경에 따른 위험성검토 철저

- 신규로 도입하는 장비(계측기 등)는 매뉴얼 및 사용조건(작업상황 등)을 기반으로 해당 작업에 사용시 발생할 수 있는 위험성을 철저히 검토해야 함.
- 공정변경시에는 공정 및 작업별로 구분하여 잠재적인 유해·위험성을 구체적으로 발굴·검토하는 것이 바람직하며, 위험성평가 검토대상에서 특정작업이나 공정이 누락되지 않도록 하여야 함.

❍ 안전운전(작업)절차서 등 사내 표준문서 개정 및 작업관리 철저

- 불량품에 대한 수동 저항 재측정 공정에서 발생할 수 있는 폭발 위험성에 대비하여 작업 공간을 프로텍트가 설치된 포장 작업대로 제한하고, 저항계 특성을 고려하여 조작 절차를 수립하는 등 이러한 내용을 안전운전절차서 등 사내 표준문서에 명시하고 근로자가 정해진 공간에서 안전작업 절차에 따라 작업할 수 있도록 철저히 관리하여야 함.
- 또한, 수동 저항 재측정 공정의 작업 안전성을 한층 강화하기 위해서는 포장 작업대와 별개로 추가적인 작업대 설치를 고려하거나,
- 저항불량 전기뇌관의 취급을 일반 근로자가 아닌 사내 폐화약류처리지침에 명시된 폐기 책임자(화약관련면허소지자)로 제한하는 것을 검토할 필요가 있음.

❍ 근로자 교육 철저

- 폭발의 가능성이 있는 전기뇌관은 반드시 프로텍트가 설치된 안전한 공간에서만 취급할 수 있도록 해당 작업 근로자에 대한 교육을 철저히 하여야 하며,
- 신규로 장비(계측기 등)를 도입할 경우 해당 근로자를 대상으로 장비 사용법 및 유의사항 등 안전에 관한 사항에 대해 교육을 실시하여야 함.