

재난관리체계( $M_{(i,j,k)}$ BCP) 제안과 석회석광산의 리스크 평가

이성민\*, 김선명, 이연희

Introduction of the  $M_{(i,j,k)}$ BCP and Risk Assessment of Underground Limestone Mine

Seong Min Lee\*, Sun-Myung Kim, Yeon Hee Lee

**Abstract** This study introduces  $M_{(i,j,k)}$ BCP (Mining Business Continuity Planning) which is the smart management system of mine disasters to achieve the safe and eco-friendly mining. Where, 'i' is mine kinds, 'j' is mining processes, and 'k' is risks at process respectively. By specifically setting 'i=1=limestone mine', this study also suggests that  $M_{(1,j,k)}$ BCP is the smart management system of limestone mine. Mining risks used in this study were obtained from professional survey and literature review. This study classified these risks by five different mining processes and reduced risk numbers approximately 60 to 26. And they were all allocated into  $M_{(1,j,k)}$ BCP and assessed. To do assess risks, this study used four risk indexes which are probability, casualty, facility loss, and discontinuity respectively. By the results of the assessment of risks, results could be four specific groups based on their causes and impacts. In addition, one of the results showed that the most possible risks at limestone mine was the roof-fall and rock-fall in digging process. This result means that  $M_{(1,2,1)}$ BCP should be established as a first priority at limestone mine.

**Key words** Risk assessment, MBCP, Limestone mine, Mine disaster, Rock-fall

**초 록** 본 연구에서는 안전하고 친환경적인 광산관리를 위해 스마트 광산재난관리체계인  $M_{(i,j,k)}$ BCP(Mining Business Continuity Planning)를 제안하였다. 여기서 'i'는 광산의 종류, 'j'는 광산의 업무과정, 그리고 'k'는 공정별 리스크 이다. 특히, 본 연구는 'i=1=석회석 광산'으로 규정하고 석회석광산의 재난관리체계를  $M_{(1,j,k)}$ BCP로 제안하였다. 본 논문에 사용된 광산 리스크들은 문헌자료와 전문가 의견 분석을 통하여 얻었으며, 이러한 리스크들을 석회석 광산의 5대 공정에 맞도록 분류하여 그 수를 약 60개에서 26개로 줄였다. 줄여진 리스크들은  $M_{(1,j,k)}$ BCP에 할당되고 평가되었다. 본 연구에서 리스크 평가에 사용한 척도는 1회 이상 발생빈도, 인명피해, 시설물피해, 업무중단시간 등 4가지이다. 리스크 평가 결과에 의하면, 리스크들은 4개의 특화된 군으로 분리될 수 있었다. 또한, 석회석 광산에서는 '채광 중 갱내 낙반 또는 붕락 발생 리스크'의 발생가능성과 위험도가 가장 높은 것으로 나타났다. 이 리스크에 대한 재난관리체계는 ' $M_{(1,2,1)}$ BCP'이다. 이는 석회석광산 개발시  $M_{(1,2,1)}$ BCP가 최우선적으로 수립되어야 함을 의미한다.

**핵심어** 리스크 평가, 스마트 광산재난관리체계, 석회석광산, 광산재해, 낙반

Received: Sep. 17, 2012

Revised: Oct. 26, 2012

Accepted: Oct. 26, 2012

\*Corresponding Author: Seong Min Lee

Tel) +82437401172, Fax) +82437401169

E-Mail) sm-lee@youngdong.ac.kr

Department of Civil and Environmental Eng., Youngdong University, Seolgye-ri, Yeongdong-eup, Yeongdong-gun, Chungcheongbuk-do, SEOUL 370-701 Rep. of KOREA

## 1. 서론

일반적으로 석회석 광산은 갱내채광에 비해 경제성, 효율성, 안정성의 장점이 있는 노천채광을 채택해 왔으나, 광산 개발 중 지속적으로 발생하는 비산, 먼지, 진동 등의 환경 유해요소와 산림 훼손 등 문제점이 끊임없이 제기되어 왔다. 최근에는 이러한 환경문제를 해소하

고 친환경 녹색 성장이라는 사회적 추세에 부응하기 위하여 갱내 채광 또는 시설물 갱내화를 통해 친환경 녹색광산개발로의 전환을 꾀하고 있다. 그러나 이러한 전환을 시도함에 있어서 갱내 대형 지하공간생성 및 시설물의 갱내화에 따른 시공성, 장기적인 안정성 확보, 갱내 지하 채광장의 갱도 안정성 유지 등 안전에 관한 새로운 문제가 대두되고 있다. 석회석광산 분야에서의 기 연구는 갱도 안정성 평가에 대한 논문발표(선우춘 외, 2005, 구청모 외, 2008, Rao K.U.M. et al, 2003, 윤용균 외, 2007)가 보고된 바 있었으나, 새롭게 대두되는 다양한 문제점에 대한 구체적인 연구는 없는 실정이다.

한편 예기치 않은 사고는 직접적인 인적, 물적 손실은 물론이고 재난 발생 이전의 원상태로 회복이 불가능하거나 정상업무 재개까지 오랜 시간이 소요되는 등 막대한 유·무형의 연쇄적인 이차 피해를 직·간접적으로 유발시킨다. 예를 들어 석회석 광산에 사고적 재난이 발생할 경우 인명피해, 재산 손실 등 직접적인 일차 피해뿐만 아니라 대외 신뢰도 저하, 광산의 정상 업무 재개까지 생산손실, 유류장비 발생 등 유·무형의 2차 피해가 연쇄적으로 확산되어 피해 규모는 점점 증가하게 될 것이다.

이처럼 국내 석회석 광산은 갱내 대단면 갱도 개발 및 시설물 갱내화에 따른 구체적인 재난관리 기술이 미흡한 상황이므로 재난 발생 시 직·간접적 파급 효과까지 고려한 통합재난관리기술개발의 필요성이 제기되었다.

이에 본 연구에서는 석회석광산의 갱내화에 따른 재난 및 재해 발생을 예방하고, 재난 발생 시 업무 연속성이 유지되기 위한 「스마트 광산재난관리체계」를 제시하고자 한다. 특히 석회석 광산의 재난관리(Limestone Mine Business Continuity Planning, 석회석광산업무연속성 계획)에 필수적인 광산 리스크를 도출하여 이에 대한 평가를 실시하였다.

## 2. 광산재난 문헌자료 검토

국내·외 광산재난 관리 현황 파악을 위하여 국내·외에서 발표된 광산 재난관련 통계자료, 광산 개발에 따른 안정성 검토 논문 및 보고서, 재난관리 사례 및 대응 매뉴얼 등 각종 문헌 자료 검토를 실시하였다.

재난연감(소방방재청, 2010, 2011)에서 전체 광산을 대상으로 집계한 광산사고 발생 건수 및 인명피해 현황 통계를 살펴보면, 2000년 172건, 189명에서 2010년 34건, 34명으로 대체로 꾸준한 감소세를 나타내고 있다. 인명피해 중 사망피해는 2001년 21명에서 2006년 1명

으로 감소세를 나타내다가, 이후 2010년까지 증감을 반복하는 추세이다.

국내 광산에서의 유형별 재해 현황을 살펴보면, 추락·전도·전석 사고 3건, 낙반·붕락 사고 2건, 운반 및 기계·전기 사고 각 1건, 기타 2건으로 총 9건이었다(지경부, 2008). 또한 2010년 집계된 총 34건의 광산사고를 발생 원인별로 분류하면 본인 부주의 26건, 관리소홀 5건, 기타 3건 인 것으로 나타났다(소방방재청, 2011). 재해발생 장소별로는 갱내 채광막장에서 3인, 갱외 운반도로에서 1인의 사망자가 발생한 것으로 나타났다(지경부, 2008).

국의 사례로 미국 광산안전보건청(Mine Safety and Health Administration, MSHA)의 발표자료에 의하면, 광산 전체의 사망사고 발생 빈도는 운반작업(haulage), 기계작업(machinery), 작업원과 자재의 미끄러짐(slip/fall of person & material), 낙반(fall of roof or back), 전기작업(electrial) 순으로 나타났다(The Mine Safety and Health Administration, 2011). 갱내채굴에서는 낙반(fall of roof or back), 운반작업(haulage), 자재 미끄러짐(fall/slide material), 기계작업(machinery), 작업원의 미끄러짐(slip/fall of person), 발파 및 파쇄작업(Exp & breaking agents) 순으로 사망사고 발생 빈도가 높은 것으로 나타났다.

## 3. 스마트 광산재난관리체계

지구환경 변화와 다양한 사회적 요인들로 인해 재난 발생 빈도와 피해 정도는 점점 증가하는 추세이다. 일례로 작년 한 해 동안 국내·외에서 발생한 각종 재난 사례와 피해 정도를 보면, 2011년 3월 동일본 대지진, 4월 농협 전산망마비, 9월 대정전, 10월 태국 홍수 등의 재난이 발생했으며 이로 인한 직·간접적인 피해와 사회 전반에 끼친 피해규모는 실로 막대하다.

최근 사회적 화두는 산업 기술의 발달과 지속성, 상생 발전을 위한 위기관리 또는 재난관리이다.

그러나 이 같은 재난 예방 및 대응에 대한 사회적 인식 변화 속에서도 열악한 환경과 조건을 가진 광업 분야에서의 재난관리는 타 산업에 비해 상대적으로 체계적인 정립이 미흡한 상태이다. 특히 국내·외를 통틀어 광산에서 재난예방 및 재난 발생 시 업무 연속성 계획을 수립한 광산재난관리 적용사례 보고나 관련 기술개발은 전혀 없는 실정이다.

현재 국내에서 금융권을 중심으로 재난관리체계 구축에 적극 이용하고 있는 프로세스 체계 중 하나인 BCP는 자연, 인간, 기술에 관련된 각종 요인으로 인해 발생

하는 사고 또는 긴급사태로 비즈니스 운영상에 문제가 생길 경우, 적정 시간 내에 순차적인 업무 연속성 회복을 위한 계획을 수립하는 것이다((사)한국BCP협회, 2011). BCP 구성요소로는 비즈니스적 관점에서 전반적인 위기관리를 기반으로 한 리스크 평가, 업무 영향력 평가, 리스크 관리, 안전과 보안, 상시운영계획, 대응 및 복구 활동, 위기전달, 훈련 및 학습 등이 포함된다. 9.11테러 당시 미국의 대형 투자은행인 모건스탠리(Morgan Stanley)사의 위기관리는 성공적인 재난 대응사례로 인용되는데 이때 적용된 위기관리시스템이 BCP개념과 일맥상통하는 것이다.

재난관리체계 구축의 목적은 철저한 예방을 통해 재난 발생을 사전에 대비하고, 재난이 발생할 경우 그에 따른 피해를 최소화하여 업무 연속성을 확보하기 위함이다. 따라서 본 연구에서는 BCP를 이용하여 광산 개발 전주기에 걸쳐 재난 또는 재해 예방 및 업무 연속성을 확보하기 위한 「스마트 광산재난관리체계」를 다음과 같이 제안한다.

**3.1 광산재난관리체계  $M_{(i,j,k)}$ BCP 제안**

본 연구에서는 광산의 스마트한 재난관리체계를 MBCP (Mining Business Continuity Planning)로 제안한다. MBCP는 광산재난을 뜻하는 Mining Disaster와 재난 관리 및 업무운영 연속성 유지를 위한 방법론의 하나인 Business Continuity Planning(업무연속성계획)를 합성하여 표현한 것이다.

본 연구에서는 우선 운용중인 광산에서 발생 가능한 재난 예방 및 연속성 확보 전략에 주안점을 두고, 광산 재난관리통합시스템구축과 실질적인 광산재난관리의 현장적용에 초점을 둔다. 즉, 체계적인 구성을 가질 수 있도록  $i$ 는 광산의 종류,  $j$ 는 광산에서의 업무공정,  $k$ 는 광산에서의 위험요인으로 정의하여, 일목요연하고 접근성 쉬운  $M_{(i,j,k)}$ BCP로 구현하고자 한다(Table 1).

예를 들어, 금광산( $i=3$ )에서 채광 업무공정( $j=1$ ) 중 낙반사고( $k=1$ ) 발생에 대한 재난 예방 및 업무 연속성 확보 전략을 확인하고자 할 경우,  $M_{(3,1,1)}$ BCP를 참고하

면 된다. 이러한 구분과 정의는 광산 업무 연속성 확보를 위한 MBCP 뿐만 아니라 타 산업의 특성에 따라  $X_{(i,j,k)}$ BCP와 같이 주석으로 표기하여 시스템적인 분류가 가능하므로 다양한 활용성을 가질 것으로 판단된다.

$M_{(i,j,k)}$ BCP는 광산전반에 대한 개요 파악을 시작으로 리스크 분석, 리스크 평가, 리스크 취약성 및 위험도 분석, 재난시 업무 우선 복구 순위, 손실정도 파악을 위한 업무 영향성 분석, 구체적인 표준운영계획(SOP), 비상운영계획(EOP) 등 재난 예방과 재난 발생시 업무 연속성 유지를 위한 대응에 꼭 필요한 실무전략들을 포함한다.

**3.2 석회석광산 재난관리체계  $M_{(1,j,k)}$ BCP**

모든 종류의 광산 재난관리체계를 Table 1과 같이 단일 표현하기에는 서로 다른 광산 각각의 작업공정, 발생 가능한 리스크 종류 등 방대한 양의 정보들 상호간 개연성이 복잡하게 구현된다.

따라서 본 연구에서는 여러 광산 중 'i(kind)=1'인 석회석광산의 재난관리체계에 주안점을 두었다. 갱내 채광 및 시설물 갱내화로 인하여 석회석광산이 대단면화 되어감에 따라 효율적인 재난관리는 반드시 필요하기 때문이다.

이에 본 연구에서는 석회석 광산을 대상으로 발생 가능한 재난 예방, 재난 발생 시 업무 연속성 확보 전략 수립 등 재난관리정보들의 체계적인 구축을 위하여  $M_{(1,j,k)}$ BCP로 구체화하여 나타냈다. 예를 들어  $M_{(1,2,1)}$ BCP는 석회석광산에서 두 번째 업무공정( $j=2$ ) 중 첫 번째 리스크( $k=1$ )에 대한 재난관리계획을 의미한다. 이러한 구분과 정의는 석회석광산 재난관리체계를 구축함에 있어서 현장 실무자들이 보다 쉽게 접근하고 간편하게 사용할 수 있는 현장중심형 재난관리기술이 될 수 있을 것으로 예상된다.

한편 본 연구에서는  $M_{(1,j,k)}$ BCP 구성 요소 중 리스크 평가부분에 대해 LMRA(Limestone Mine Risk Assessment)라 칭하였다.  $M_{(1,j,k)}$ BCP와 동일한  $j, k$ 를 의미하는  $LM_{(j,k)}$ RA 형태로 구현하여 광산재난관리의 실

**Table 1.** MBCP Formation

구분	$M_{(i,j,k)}$ BCP		
	i (kind)	j (process)	k (risk)
1	Limestone	Process 1	Risk 1
2	Coal	Process 2	Risk 2
3	Gold	Process 3	Risk 3
:	:	:	:

예)  $M_{(1,2,1)}$ BCP,  $M_{(2,1,6)}$ BCP ...

질적인 현장적용이 이루어질 수 있도록 간편화 하였다.

본 연구에서는 M<sub>(i,j,k)</sub>BCP, LM<sub>(i,j,k)</sub>RA 구성요소 중 각 업무 공정 분류, 위험요인 분석, 위험요인에 대한 리스크 평가, 취약성 및 위험도 분석을 실시했다.

4. 리스크 분석 및 평가 척도

4.1 리스크 분석

재난 예방의 중요성을 강조하는 하인리히 법칙에서 대부분의 재난(대형사고)은 300개의 사소한 잠재적 위험요소가 발견되고, 29건의 작은 사고들이 발생함에도 이를 간과한 결과 1건의 대형 재난이 발생한다고 말하고 있다(Herbert William Heinrich, 1931). 실질적이고 효율적인 재난 예방 및 대응을 위해서는 재난발생 위험요인(리스크)에 대한 명확한 규명이 가장 기본적이고 중요한 업무임을 나타낸 것이다. 이에 본 연구에서는 상기 2절의 국내외 광산재난관련문헌 검토 분석과 현장 실무진의 의견수렴을 통하여 스마트 광산재난관리를 위한 리스크분석 및 업무공정 분류를 실시하였다.

일차적으로 문헌 검토 분석을 토대로 하여 석회석광산에서 발생 가능한 재난 유형 약 60여개를 도출하였다. 그리고 석회석 광산의 리스크와 업무 연관성 분석

을 위하여 광산 갱내 업무 공정 흐름에 따라 이차 분류를 실시했다. 또한 리스크의 체계적인 이차 분류를 위하여 먼저 석회석광산의 갱내 업무 공정을 분류하였다.

여러 문헌 자료들에서 다양하게 분류하고 있는 석회석광산의 갱내 업무 공정을 작업의 연속성 또는 유사성을 고려하여 ① 발파 및 천공 ② 채광 ③ 적재 및 운반 ④ 파분쇄 및 분립선별 ⑤ 유지관리의 5가지 공정으로 분류하였다. 이 중 유지관리의 경우 광산개발에 있어서 하나의 업무 공정으로 구분함에 다소 이견이 있을 수 있으나, 앞서 분류한 4가지 공정에 포함되지 않는 업무들을 통칭하여 분류하고자 했다. 이렇게 분류된 5가지 업무 공정에 따라 앞서 일차적으로 분류한 약 60여개의 재난 유형을 선별, 재분류하여 최종적으로 26개의 리스크를 도출하여 j(process), k(risk) 분류에 따라 Table 2에 나타냈다.

4.2 리스크 평가 척도

재난발생에 취약하거나 재난 발생 시 위험성이 높은 리스크에 대한 평가를 실시하여 재난 발생에 대한 예방 및 대비 전략 수립의 우선순위를 선정할 수 있다(유종기, 2008). Table 2에서 선별 분류된 26개 리스크에 대한 우선순위를 선정하기 위하여 이들에 대한 평가 척도

Table 2. M<sub>(i,j,k)</sub>BCP Notation

i (kind) = 1	j (process)		k (risk)	
석회석광산	1	발파 및 천공	1	안전조치 미비로 인한 사고
			2	천공 장약 동시작업으로 인한 폭발사고
			3	불발 잔류공에 의한 폭발사고
			4	발파 지연시 부주의로 인한 사고
			5	발파진동에 의한 낙반 사고
			:	
	2	채광	1	채광중 낙반 및 붕괴사고
			2	적절한 광주 미확보에 의한 붕괴사고
			3	과채굴에 의한 지표침하 사고
			4	지하수 또는 지표수 유입에 따른 붕괴사고
			:	
	3	적재 및 운반	1	안전조치 미비로 인한 사고
			2	급격한 장비조작 및 정비작업으로 인한 사고
			3	작업자 부주의로 인한 추락사고
			:	:
	4	파분쇄 및 분립선별	1	안전수칙 준수 불이행으로 사고
			2	파분쇄기에서 튀긴 광석으로 인한 사고
			3	자동화시스템 오류에 의한 사고
			:	:
	5	유지관리	1	작업환경 불량으로 인한 건강상의 위협
2			화재 발생시 피해 확산 위협	
3			전기배선의 상태불량 등으로 인한 전기사고	
:			:	

**Table 3.** Risk assessment index

구분척도 척도 수준	정량적 평가				정성적 평가(영향력)			
	1회이상 발생빈도	시설물 피해	업무중단 시간	인명피해	1회이상 발생빈도	시설물 피해	업무중단 시간	인명피해
1	6년~	0~1천만 미만	0~4시간 미만	피해없음	낮음	낮음	낮음	낮음
2	4~6년 미만	1~5천만 미만	4~8시간 미만	부상자 1~29명	낮음	보통	보통	보통
3	2~4년 미만	5천만~1억 미만	8~24시간 미만	부상자 30~49명	낮음	보통	보통	높음
4	1~2년 미만	1~5억 미만	1~3일 미만	부상자 50명 이상	보통	높음	높음	높음
5	6개월~1년 미만	5~10억 미만	3~5일 미만	사망자 1~5명	보통	높음	높음	높음
6	3~6 개월 미만	10~20억 미만	5~7일 미만	사망자 6~10명	높음	높음	높음	높음
7	1~3 개월 미만	20억 이상	7일 이상	사망자 11명 이상	높음	높음	높음	높음

기준 설정이 우선적으로 요구되었다. 앞서 검토한 국내·외 광산 관련 문헌 자료들의 재난 재해 통계자료의 발생빈도와 피해 규모를 분석하고 관련 분야 전문가들의 의견을 수렴하여 평가 기준을 설정하여 Table 3에 나타냈다.

Table 3은 본 연구에서 제안하고 적용한 리스크 평가 척도 기준이다. Table 3에 나타낸 바와 같이 리스크 평가에 있어서 네 가지 척도에 따른 정량적 리스크 평가와 함께 리스크 발생에 대한 각 척도별 영향력의 정성적인 평가도 함께 제안하였다. 각 척도마다 일곱 가지의 수준으로 구분되는 리스크 평가는 총 2,401(7×7×7×7) 종류의 평가 조합이 도출될 수 있다. 각각의 리스크 평가 척도 수준 7가지의 구분은 광산재해 발생 통계 분석 결과를 참고해 구분하였으며, 업무 중단 시간 등의 일부 척도기준은 실제 현장 업무에서의 근무 주기 등을 기준으로 구분하였다. 이러한 리스크 평가 척도 및 수준에 의한 평가 결과는 각 리스크들 간의 상대적인 위험도 분포 뿐만 아니라 리스크 위험도 군(Group)으로도 분류하여 분석할 수 있다.

## 5. 리스크 평가

### 5.1 전문가 설문조사를 통한 리스크 평가

리스크 분석에서 도출한 26개 최종 리스크에 대한 현장 반영 적절성을 확인하고, 앞서 제안한 평가척도에 따라 26개 리스크에 대한 평가를 실시하여 신뢰성과 실용성을 확보하고자 전문가 의견 조사를 실시하였다. 의견 수렴은 광산 현장 기술자 및 관리자, 관련 분야 박사,

기술사 등 광산분야 전문가들을 대상으로 설문 조사를 실시하였고, 총 61명의 광산 전문가들이 설문에 응답해 주었다. 본 연구에서 도출한 리스크 분석이 현실적인 위험 유형을 잘 반영하였는지, 혹은 설문자들의 경험을 반영한 추가적인 위험요인이 있는지에 대한 의견수렴도 실시하였으나, 대체로 본 연구의 리스크 분석이 현장성을 잘 반영하였다는 의견을 나타냈다.

### 5.2 리스크 평가결과

리스크 평가척도에 대한 전문가 설문조사 결과를 분석해 보면, 대체로 4이내의 수준으로 리스크 위험도를 평가하고 있다. 이러한 결과는 리스크 유형별 위험도 평가가 아니라 각각 세분화한 광산 업무 공정별로 분류된 리스크에 대한 평가가 이루어졌기 때문에 리스크 유형에 대한 위험도가 각각의 업무 공정별 리스크로 분산되어 나타난 것으로 해석된다. 또한 전문가 설문결과는 상대적인 평가수준을 나타내는 것으로 해당 리스크에 의한 재난 발생 위험성 유무를 의미하지는 않는다.

리스크 평가 결과를 이용하여 리스크 분포 유형 분석 및 리스크 군(Group)분류를 위하여 네 가지 리스크 평가 척도(1회 이상 발생빈도, 인명피해, 재산피해, 업무중단시간)를 리스크 발생가능성(빈도)와 리스크 발생시 피해규모로 재분류하였다. 리스크 발생시 피해규모는 세 가지 평가 척도 즉, 인명피해, 재산피해, 업무중단시간 평가 수준의 평균을 사용하였다. 총 26개 리스크 각각의 발생 가능성에 대한 상대적인 피해규모 분포를 나타낸 것이 Fig. 1이다.

리스크 발생가능성 및 피해 규모 평균은 최대 수준 3

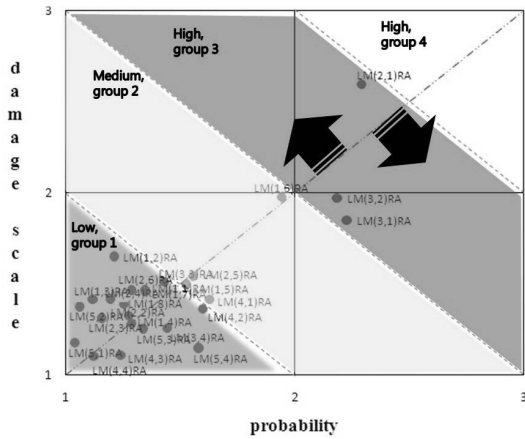


Fig. 1. Risks distribution of damage scale vs. probability

이내의 분포를 나타냈다. Fig. 1에 나타난 바와 같이 리스크 평가 결과를 발생가능성 대 피해규모 척도를 1:1 기준으로 하여, 총 4개 리스크 군으로 분류하였다 (점선).

Group 1~4의 리스크 군(Group) 분류에 따르면, 설문 평가 대상 26개 리스크 중에서는 ①상대적으로 리스크 발생에 대한 영향력과 리스크 발생 가능성이 높고 피해 규모도 큰 Group 4 또는 그 이상의 Group에 해당하는 리스크는 없으며, ②상대적으로 리스크 발생에 대한 영향력은 높으나 리스크 발생 가능성과 피해 규모가 점차 작아지는 Group 3에 해당하는 리스크는 3개(전체의 약 12%), ③ 리스크 발생에 대한 상대적 영향력이 보통이고, 리스크 발생가능성과 피해규모가 작아진 Group 2에는 4개의 리스크(전체의 약 15%), ④리스크 발생에

대한 영향력 뿐만 아니라 리스크 발생가능성과 피해규모가 상대적으로 모두 낮은 Group 1에는 19개(전체의 약 73%)의 리스크가 분포하는 것으로 나타났다.

상대적으로 낮은 평가수준의 Group 1에 다수의 리스크가 분포하게 된 결과가 석회석 광산에서 리스크에 의한 재난 발생 가능성이 없거나 리스크로 인한 위험성이 없는 것을 나타내는 것은 아니다. 리스크 규명과 도출에 있어 실제 현장에서 발생한 재난·재해 유형 및 피해 현황 자료들을 토대로 분석하였고, 이렇게 도출된 리스크에 대하여 광산분야 전문가들의 설문 의견 수렴에서도 현장상황을 반영한 리스크 분석으로 평가되었음을 이를 뒷받침한다. 그러므로 위와 같은 리스크 평가 결과로 보아, 석회석 광산에서의 재난은 잦은 빈도로 막대한 피해를 유발하는 대형 재난이 아니라 광산내 재난 발생 위험 리스크들 가운데 상대적으로 조금 잦은 빈도와 상대적으로 큰 피해를 유발하는 몇몇 특정 리스크에 의한 재난 발생이 예상되는 것으로 유추해 볼 수 있다. 또한 현재 국내에서 갱내 채광 및 시설물 갱내화를 통한 석회석 광산 개발 사례가 많지 않은 상황이므로 보다 많은 경험 사례가 미흡한 현실적인 부분도 일부 반영된 것으로 해석해 볼 수 있다.

Fig. 1의 리스크 분포를 발생가능성과 피해규모의 상대적 비교에 따라 분류해 보면(화살표 윗부분 vs 화살표 아랫부분), 재난 발생가능성에 비해 상대적으로 피해규모가 큰 리스크들은 14개(전체의 약 54%)이고 상대적으로 피해규모가 작은 리스크는 12개(전체의 약 46%)인 것으로 나타났다. Table 4는 리스크 평가 결과에 대한 분석결과를 나타낸 것이다.

Fig. 1과 Table 4에서 나타난 4가지 리스크 군(Group) 분류 외에, 동일한 리스크 군(Group)에 속하는 리스크

Table 4. Risk analysis

리스크 발생 영향력	구 분			
	낮음	보통	높음	높음
리스크 군	Group 1	Group 2	Group 3	Group 4
발생가능성에 비해 피해규모가 큰 경우	LM <sub>(1,2)</sub> RA, LM <sub>(3,3)</sub> RA, LM <sub>(2,6)</sub> RA, LM <sub>(1,1)</sub> RA, LM <sub>(1,7)</sub> RA, LM <sub>(1,3)</sub> RA, LM <sub>(2,4)</sub> RA, LM <sub>(5,2)</sub> RA, LM <sub>(2,2)</sub> RA, LM <sub>(1,8)</sub> RA, LM <sub>(2,3)</sub> RA, LM <sub>(5,1)</sub> RA	LM <sub>(1,6)</sub> RA	LM <sub>(2,1)</sub> RA	-
발생가능성에 비해 피해규모가 작은 경우	LM <sub>(4,2)</sub> RA, LM <sub>(5,4)</sub> RA, LM <sub>(3,4)</sub> RA, LM <sub>(5,3)</sub> RA, LM <sub>(1,4)</sub> RA, LM <sub>(4,3)</sub> RA, LM <sub>(4,4)</sub> RA	LM <sub>(2,5)</sub> RA, LM <sub>(1,5)</sub> RA, LM <sub>(4,1)</sub> RA	LM <sub>(3,2)</sub> RA, LM <sub>(3,1)</sub> RA,	-
리스크 합계	19개 (약 73%)	4개 (약 15%)	3개 (약 12%)	0개

14개  
(약 54%)

12개  
(약 46%)

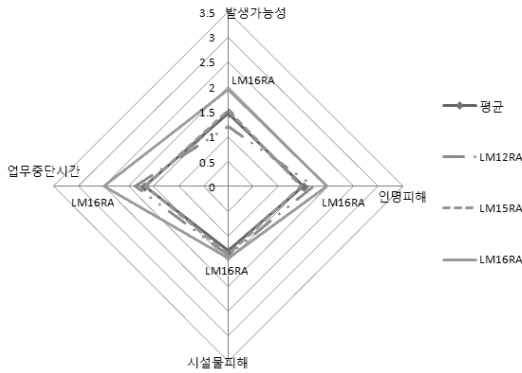


Fig. 2. Comparison 3 risks of process 1 with average

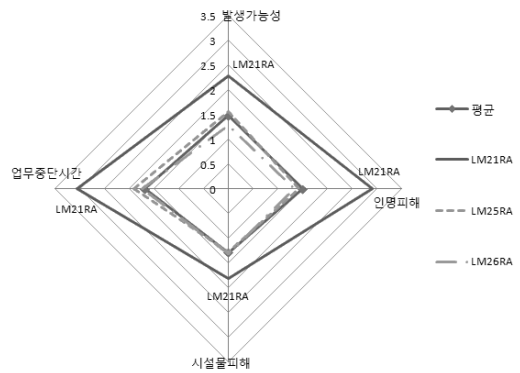


Fig. 3. Comparison 3 risks of process 2 with average

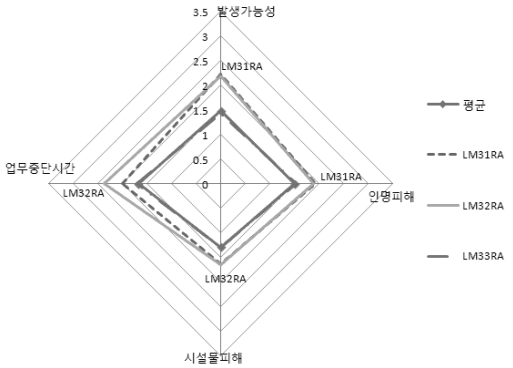


Fig. 4. Comparison 3 risks of process 3 with average

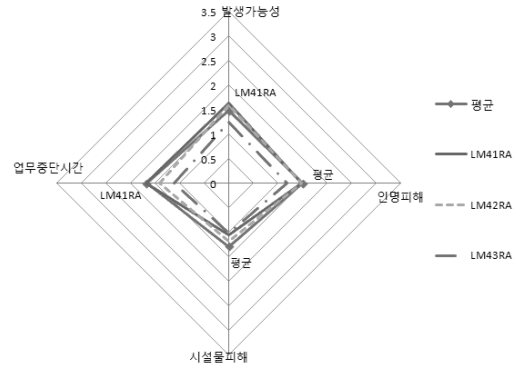


Fig. 5. Comparison 3 risks of process 4 with average

들 사이의 우선 순위를 선정하기 위해서는 각각의 현장 상황에 대한 충분한 고려와 반영이 병행되어야 한다.

Fig. 2~6은 전체 리스크의 위험도 평균치에 대하여 각 업무 공정별로 상위 3개의 리스크 평가 수준 분포를 나타낸 것이다.

발파 및 천공 업무(process j=1, 이하 process 생략)의 위험도 평가 수준 상위 3개 리스크와 전체 리스크의 평균 위험도를 비교한 Fig. 2를 살펴보면, 리스크 위험도는 전체 평균 위험도와 유사한 분포경향을 나타낸다. 특히, 발파 후 부석처리 미흡으로 인한 낙반 사고(risk k=6, 이하 risk 생략) 리스크는 평균 위험도를 상회하면서 해당 업무 공정 중에서 가장 취약한(위험도 높은) 것으로 평가되었다. 네 가지 리스크 평가 척도에 대한 리스크 위험도 평가는 업무 중단시간, 인명피해, 발생가능성(1회 이상 발생빈도), 시설물 피해 척도 순으로 평가 수준이 낮아지는 경향을 나타냈다. 이는 해당 공정 중 리스크에 의한 재난 발생 시 업무 연속성에 가장 취약하고, 다음으로 인명피해 발생 위험에 취약한 것으로 해석할 수 있다. 즉, 광산 분야 전문가들은 발파 및 천

공 업무 공정의 리스크 수준을 1~3 이내로 평가한 것으로 미루어 보아 재난 발생 가능성이 매우 높거나 상존해 있는 것으로 판단하지는 않았다. 그러나 리스크에 의한 재난 발생시 업무를 지속할 수 없으며 시설물 피해보다는 인명피해 가능성이 높다고 판단함을 알 수 있다.

Fig. 3은 채광 업무(j=2)의 위험도 평가 수준 상위 3개 리스크와 리스크 평균 위험도를 비교하여 나타낸 것이다. 상대적으로 높은 평가 수준을 나타내는 갱내 낙반 및 붕락 리스크(k=1)를 제외한 다른 리스크들은 대체로 평균적인 위험도 분포 경향을 나타냈다. 가장 높은 평가 수준을 나타내는 갱내 광주, 천반, 측벽 등에서의 낙반 및 붕락 리스크(k=1)는 본 업무 공정 뿐만 아니라 전체 리스크 중에서도 가장 위험도 높은 것으로 평가되었다. 평가 척도에 대한 경향성을 살펴보면, 갱내 낙반 및 붕락 리스크(k=1)에 의한 재난 발생시 업무 연속성 확보에 가장 취약하며 재난 발생 빈도에 비하여 발생시 인명 피해가 높은 것으로 평가되었다.

적재 및 운반 업무(j=3)의 상위 리스크와 전체 리스크

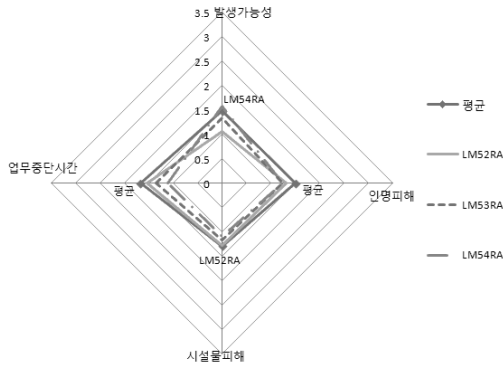


Fig. 6. Comparison 3 risks of process 5 with average

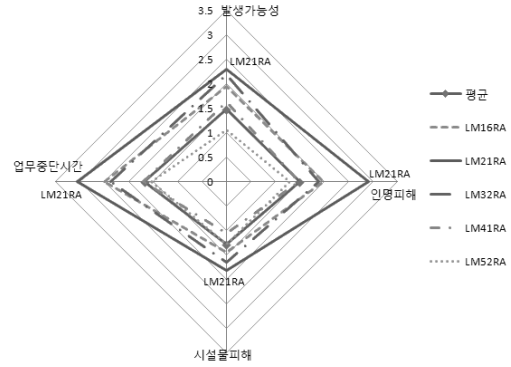


Fig. 7. Comparison risk of each process with average

평균 위험도를 비교한 Fig. 4는 작업 중인 장비에 대한 선부른 조작에 의한 인명 및 시설물 피해(k=2)와 작업 반경내 안전조치 미비로 인한 인명피해(k=1)리스크가 유사한 위험도 분포를 나타내며 평균적인 위험도 보다 높게 나타낸다. 리스크 평가 척도에 대한 경향성은 적재 및 운반 업무, 파분쇄 및 분립선별, 유지관리 세 공정 모두 재난 발생시 가장 우선적으로 업무 연속성을 유지할 수 없고, 재난 발생에 따른 인명 및 재산 피해보다 재난 발생가능성이 더 높은 것으로 평가되었다. 즉, 재난 발생 가능성(빈도)이 높는데 비해 피해정도는 상대적으로 적을 것으로 유추해 볼 수 있다.

Fig. 5, Fig. 6을 보면 파분쇄 및 분립선별(j=4)과 유지관리(j=5) 공정의 해당 리스크들은 전체 리스크 평균과 유사한 위험도 분포를 나타낸다. 각 공정별로 높은 위험도를 나타낸 리스크는 기계시설 작동과 관련한 안전수칙 불이행으로 인한 사고(k=1, 2)와 갱내 화재 발생시 피해 확산(k=2)인 것으로 나타났다. 공정별 몇몇 리스크는 상대적으로 리스크 평균 위험도 보다 낮은 위험도를 가지는 것으로 평가되기도 했다.

Fig. 7은 각 업무 공정에서 위험도 높은 리스크를 하나씩 추출하여 업무 공정들 간의 위험도 분포를 비교하여 나타낸 것이다. 여기서는 채광 업무공정(j=2)이 상대적으로 다른 업무 공정에 비해 높은 위험도를 나타내고, 적재 및 운반 공정(j=3), 발파 및 천공 공정(j=1), 파분쇄 및 분립선별 공정(j=4), 유지관리 공정(j=5) 순으로 낮은 위험도 경향을 나타낸다.

지금까지 전문가 설문을 통한 리스크 평가를 분석한 결과, 석회석 광산의 26개 리스크들에 대한 위험도 및 취약성 평가는 채광 중 갱내의 광주나 천반, 측벽부 등에서 발생하는 낙반 및 붕락 리스크가 가장 높은 우선순위를 나타냈다. 해당 리스크에 대한 재난관리체계는 M<sub>(1,2,1)</sub>BCP, 리스크 평가 결과는 LM<sub>(2,1)</sub>RA로 나타

낸다.

이와 같은 리스크 평가 결과는 현재 국내 석회석 광산의 개발 실정과 설문 응답자인 관련분야 전문가들의 경험이 복합적으로 반영되어 나타난 것으로 판단된다. 그러므로 전문가 설문조사를 통한 리스크 평가 분석이 정확한 현실 반영 결과라는 맹신보다는 국외의 유사사례 비교 분석 뿐만 아니라 타 공학 분야 또는 경영학 분야 등 다양한 관점에서의 분석을 병행할 필요가 있을 것으로 판단된다.

## 6. 고찰

본 연구에서는 석회석광산의 스마트 재난 관리체계를 제시하고 이를 위한 리스크 분석 및 리스크 평가를 실시하였다. 석회석광산의 업무공정을 크게 5가지 분류하고, 리스크 분석을 실시하여 최종적으로 26개의 리스크를 도출하였다. 리스크들에 대한 재난관리 우선순위 선정을 위하여 리스크 평가척도를 제안하였다. 관련 분야 전문가들을 대상으로 설문조사를 실시하여 리스크의 타당성과 신뢰성을 검증하고, 각 리스크별 위험도 우선순위를 선정하였다. 본 연구에서 제안한 석회석 광산 재난관리체계와 리스크 평가 분석 결과는 다음과 같다.

1. 석회석 광산에서 발생 가능한 재난 예방 및 재난 발생시 업무연속성확보전략 등의 재난관리체계를 M<sub>(1,j,k)</sub>BCP(Limestone Mine Business Continuity Planning)라 제안하였다. 석회석광산의 업무 공정별(j, process), 리스크별(k, risk)로 간편하게 구분하여 j, k로 표현되는 하위 개념으로 구현하여 분석 평가를 실시하였다. 이러한 광산재난관리체계는 M<sub>(i,j,k)</sub>BCP로 표현하여 석회석광산 뿐만 아니라 모든 광산에 적용 가능하며



- 이때 하위 개념 i는 광산의 종류(kind)를 뜻한다.
2. 5개 업무 공정으로 분류한 26개 리스크들에 대하여 광산전문가들을 대상으로 리스크 평가 설문을 실시한 결과 대부분의 리스크 위험도가 4수준을 넘지 않는 것으로 평가되었다. 전체 리스크의 약 73%는 상대적으로 리스크 발생 가능성과 피해규모가 작은 Group 1에 분류되었다. 리스크 발생 가능성과 피해 규모가 상대적으로 커지는 Group 2에는 약 15%, Group 3에는 약 12%의 리스크가 분포하였다.
  3. 발생가능성 대 피해규모에 대한 리스크 분포를 보면, 재난 발생 가능성이 상대적으로 적은데 비해 재난 발생 시 피해 규모가 큰 리스크는 전체의 약 54%인 14개이고, 상대적으로 재난 발생 가능성이 큰 반면 재난 발생으로 인한 피해규모가 크지 않은 리스크는 전체의 약 46%인 12개인 것으로 나타났다.
  4. 석회석 광산에서 가장 위험도 높고 우선적으로 재난 관리가 필요한 위험요인은 채광 중 광주, 천반, 측벽 부 등 갱내에서 낙반 또는 붕괴 발생 리스크이며 이에 대한 재난관리체계는  $M_{(1,2,1)}BCP$  이다.

## 감사의 글

본 연구는 한국에너지기술평가원의 에너지자원융합 원천기술개발사업(2011-T100200108)지원으로 수행되었으며, 이에 깊은 감사를 드립니다.

## 참고문헌

1. Choon Sunwoo and Young-Bok Jung, 2005, Stability Assessment of Underground Limestone Mine Openings by Stability Graph Method, Tunnel and Underground Space, 15.5, 369-377.
2. Chung-Mo koo, Seok-Won jeon, In-Woo Lee, 2008, Underground Mine Design and Stability Analysis at a Limestone Mine, Tunnel and Underground Space, 18.4, 243-251.
3. Rao K.U.M., C Sunwoo, S Chung, S Choi, Y Jeon, 2003, A Suggestion of Rock Mass Classification Systems for Stability of Underground Limestone Mines-A Case Study, Tunnel and Underground Space, 13.6, 421-433.
4. Yong-Kyun Yoon and Hong-Woo Lee, 2007, Evaluating the Stability of Large-scale Gangways Mined in a Limestone Mine Using Rock Classification Schemes, Tunnel and Underground Space, 17.6, 503-510.
5. The National emergency management agency (NEMA), 2011, Disaster Yearbook.
6. The National emergency management agency (NEMA), 2010, Disaster Yearbook.
7. The Ministry of Knowledge Economy of Korea (MKE), 2008, Mine disaster statistics.
8. The Mine Safety and Health Administration, 2011, Metal/nonmetal fatality report, <http://www.msha.gov/stats/charts/mnmdaily.asp>, accessed on December 16, 2011.
9. Korea Business Continuity Planning Association Inc, 2011, Textbook for Advanced Course of Disaster Management, 31-80.
10. Korea Business Continuity Planning Association Inc, 2011, Textbook II for Basic Course of Disaster Management, 403-486.
11. Herbert William heinrich, 1931, Industrial Accident Prevention: A Scientific Approach.
12. Yoo, J.K., 2008, Business Continuity Management a Practical Guide, FKI media, 105-129.

1. Choon Sunwoo and Young-Bok Jung, 2005, Stability



### 이성민

1987년 인하대학교 공과대학 자원공학과 공학사  
 1989년 미국 West Virginia University 공학석사  
 1993년 미국 University of Alabama 공학박사  
 Tel: 043-740-1172  
 E-mail: sm-lee@yd.ac.kr  
 현재 영동대학교 토목환경공학과 교수



### 김선명

1995년 인하대학교 공과대학 자원공학과 공학사  
 1997년 인하대학교 공과대학 자원공학과 공학석사  
 2002년 인하대학교 공과대학 자원공학과 공학박사  
 Tel: 031-860-1472  
 E-mail: sunmkim@hanbuk.ac.kr  
 현재 한북대학교 에너지 자원학과 교수



### 이연희

2000년 인하대학교 공과대학 자원공학과 공학사  
 2002년 인하대학교 공과대학 자원공학과 공학석사  
 Tel: 043-740-1458  
 E-mail: golyh@yd.ac.kr  
 현재 영동대학교 산학협력단 연구원