

국내 폐광산 분포현황과 폐갱도특성

The Distribution of Abandoned Mines and the Characteristics of Mine tunnel

신희순¹⁾, Hee-Soon Shin

¹⁾ 한국자원연구소 책임연구원, Principal Research Scientist, Korea Institute of Geology, Mining & Materials.

1. 서론

국내 광업은 80년대 중반까지는 비교적 활발히 개발되었으나 이후 생산원가의 상승에 따른 경쟁력 약화로 가행광산이 점차 감소하여왔다. 1970년대말 전국적으로 1,500여개에 달하던 석탄 및 금속광산이 80년대 후반부터 급속히 감소하였고 비금속 광산은 어려운 여건속에 생산을 지속해오고 있다. 특히 석탄의 경우 1973년과 1979년 두차례의 “석유위기”때는 에너지 안정 및 수입대체에도 큰 역할을 하였으나 80년대 이후 국제유가의 안정, 국민소득향상에 따른 청정에너지 선호 등으로 인하여 석탄수요가 감소하게 되었고, 인건비 상승에 따른 석탄생산원가마저 증가하여 탄광의 운영이 악화되었다. 1989년 석탄산업 합리화정책으로 89년부터 97년까지 총 351개의 탄광이 폐광되었으며 현재는 11개 탄광만이 남아있다.

이와같이 많은 광산들이 폐쇄됨에 따라 채굴적으로 인한 지표침하발생, 산성의 갱내지하수 유출로 인한 지하수 오염, 강우로 인한 폐석유실 등 환경적인 면에서 많은 문제점이 노출되고 있다. 폐광산의 폐갱도 및 채굴적 그리고 침하지역 등에 많은 갱내수가 직접되어 있다가 이지역에서 터널 등 토목구조물 공사시 단층면, 균열, 절리, 불연속면 등을 통하여 유입됨으로 대량출수로 인한 재해를 가져올 수 있으며 폐갱도내 가스 역시 큰 재해를 가져올 수 있다. 국내의 석탄생산방식은 충전식이 아닌 봉락식 채탄법이 주로 채용되었기 때문에 지반침하의 유발 소지도 매우 크다. 지반침하 및 함몰현상은 이와같이 지하채굴외에도 지하수추출, 석회암공동의 용식 등에 의하여 발생하는데 국내에서는 지하채굴 및 채굴적에 의한 지반침하 및 함몰이 점차 삼척탄전지대에서 증가하고 있으며 경북 문경, 강원도 태백시 화전지역에서는 석회암 용식동굴에 의한 침하가 발생하고 있다.

국내 기존 채굴공동은 주로 채수율(Recovery)의 향상을 목표로 개발하였기 때문에 현재 휴·폐광된 대부분의 광산은 부분적인 봉락과 침수되어 있는 상태이다. 광산갱도는 채광작업이 완료될 때까지 한시적으로 운영되기 때문에 영구적으로 운영되는 토목터널 및 대규모 지하공간과는 달리 암반보강에 비용을 많이 소비하지 않게되며 유지관리가 대체로 부실하고 또한 발파형태는 발파진동 제어가 완전히 배제된 상태에서 과장약발파가 이루어지기 때문에 갱도 주변 암석과 주벽면은 발파진동으로 많은 손상을 받게되어 균열층이 발달되어 있을 뿐 아니라 이완영역이 확산되어 있는 것이 특징이다.

본 고에서는 이와같은 광산지역에서 터널굴착시 폐갱도나 공동을 조우하게 되는 데 광산지역에서 토목공사를 하는 경우 사전에 이해하여야 할 사항들 즉 폐광산의 분포현황과 폐갱도 규격 등 특성에 대하여 주로 탄광지대의 경우에 중심으로 기술하고자 한다.

2. 국내탄전지질

2.1 개요

무연탄의 생성시대는 세계적으로 고생대 석탄기인데 국내에 부존하는 주요탄전인 태백산지역 탄전은 석탄기 다음시대인 페름기로서 약 3억년전에 생성된 것으로 추측되는 외국무연탄전보다 약 4천만년이 늦은 약 2억6천만년전에 생성된 것으로 보고 있다. 남한지역의 무연탄지층은 고생대외에 중생대지층에도 일부 부존하며 중생대 쥐라기의 지층인 대동계지층의 무연탄은 약 2억년전에 생성된 것으로 본다. 주요탄전의 함탄층은 대부분 고생대 지층인 평안계의 寺洞統 지층내에 부존하는 데 이에는 대체로 3개의 무연탄층이 부존하며 지역에 따라서는 4개가 나타나기도 하는 데 주로 가행되는 층은 위에서 두 번째의 탄층(中炭層이라함)이다. 이들 탄층은 대체로 4회의 침강과 융기로 이루어진 4개의 윤회지층에 1매씩 들어있고 얇은 호수바닥에 식물군이 쌓여 생성된 것으로 보고 있으며, 주로 쥐라기에 일어난 강력한 지각운동으로 발생한 높은 열과 압력이 유연탄에 작용하여 심한 탄화작용을 일으킴으로써 무연탄화 된 것으로 보고 있다.

우리나라에는 대표적인 탄전인 삼척탄전을 비롯하여 영월탄전, 정선탄전, 평창탄전, 강릉탄전, 단양탄전, 보은탄전, 문경탄전, 충남탄전, 호남탄전 등이 있으며 함탄지층은 충남탄전과 문경탄전 북부와 단양탄전의 일부가 중생대의 大同系지층이고 그외는 거의 전부 고생대의 평안계중 사동통지층이다. 대동계 지층은 평안계 지층에 비하면 그 분포가 크게 협소하며 일부지역외는 탄층발달 상태도 빈약하다. 삼척탄전, 문경탄전, 호남탄전 등이 탄층부존 상태와 탄질이 양호하여 대부분의 석탄이 여기서 생산되었고 여타탄전은 매장량이 풍부함에도 탄층발달상태가 불량하고 열량이 낮아 대부분 소규모로 가행되어왔다.

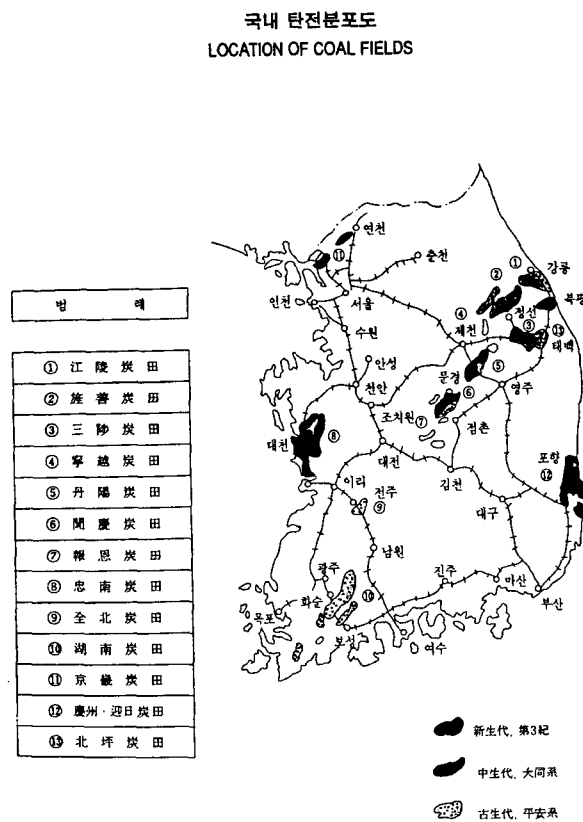


그림 1 국내 탄전분포도

3. 국내폐광산현황

전체적인 가행광산의 수는 1977년 1,500여개에 달하였으나 80년대 후반부터 석탄 및 금속광은 급속히 감소하는 추세이다. 반대로 비금속광산은 어려운 여건속에서 생산을 지속해 오고 있다. 1994년말을 기준으로 비교적 생산규모가 큰 가행광산의 수는 매출액 10억원을 기준할 때 석탄광산은 7개, 금속광산은 6개, 비금속광산은 68개,이다. 비금속광산 69개의 내역은 석회석광산이 34개, 규속 10개, 규사 5개, 납석 5개, 고령토 및 장석 각각 4개, 기타 6개이다. 채굴방식을 고려할 때 석탄광 및 금속광은 재부분이 지하채굴이고 비금속광은 노천채굴이다. 연도별 가행광산의 수를 보면 표 4와 같다. 석탄광의 경우에는 석탄산업 합리화정책으로 89년부터 95년까지 총 335개의 탄광이 폐광되었으며 현재는 11개 탄광만이 남아있다.

표 4. 연도별 가행광산 수

연도 \ 구분	석탄광	금속광	비금속광	합 계
'83	356	90	651	1,097
'84	347	151	702	1,200
'85	370	115	706	1,191
'86	370	115	706	1,191
'87	373	101	683	1,157
'88	354	83	649	1,086
'89	339	92	657	1,088
'90	223	61	584	868
'91	170	34	560	764
'92	117	36	583	736
'93	70	34	650	754
'94	45	29	582	627
'95	27	29	592	648
'96	11	33	572	616
'97	11	31	564	606

주) 자료: 광업요람(1998, 대한광업진흥공사, p.19)

지역별 폐광산은 표 7에서 보는 바와 같다.

표 5. 연도별 폐광산현황

'89	'90	'91	'92	'93	'94	'95	계
130	47	46	50	30	15	17	335

표 6. 지역별 폐광산

지역 \ 년도	년도						
	'89	'90	'91	'92	'93	'94	'95
석 공	-	-	-	-	1	1	-
강 원	74	24	20	20	16	2	8
태 백	16	8	6	4	8	-	1
도 계	3	-	3	2	-	-	1
영 동	22	6	5	5	4	1	3
고한·사북	16	6	4	2	2	-	-
영월·정선	17	4	2	8	2	1	3
충 북	7	1	3	5	3	1	1
충 남	22	15	10	11	5	7	4
전 북	1	-	-	-	-	2	-
전 남	5	2	3	4	1	2	-
경 북	21	5	10	9	4	2	3
계	130	47	46	50	30	15	16

삼척탄전지대는 강원도 정선군 신동면 함백으로부터 삼척군 도계읍 고사리에 이르는 광범위한 지역으로 함탄층 분포면적이 424km²에 이르고 있다. 탄전에 발달한 함백산 대단층을 중심으로 서부지구와 동부지구로 나뉜다. 동부는 황지지구, 황지 남부지구, 도계지구로 나뉘며 약 30년간 지속적인 개발로 지상탄은 거의 채진된 상태이고 대부분의 채탄이 심부에서 이루어졌다. 정부의 석탄산업합리화 사업으로 본 탄전내의 40여개의 탄광은 거의 폐광되어 현재는 대한석탄공사 장성, 도계광업소와 (주)동원, (주)삼탄, (주)한보에너지, (주)경동, 태백광업소(구. 어룡탄광)등 일부 민영탄광만 가행되고 있다.

표 7. 지역별 탄광수

지역 \ 년도	석 공	강 원	충 북	충 남	전 남	전 북	경 북	경 기	계
'87	7	176	21	73	25	-	60	1	363
'88	7	166	24	75	18	-	57	-	347
'89	7	61	22	71	26	-	55	-	332
'90	6	89	22	50	22	1	36	-	215
'91	5	64	18	43	9	-	31	-	170
'92	5	42	11	31	6	-	19	1	115
'93	5	31	5	14	3	-	11	1	70
'94	4	17	4	11	2	-	6	1	45
'95	3	14	2	2	-	-	5	1	27
'96	3	6	1	-	-	-	1	-	11
'97	3	6	1	-	-	-	1	-	11

표 8. 주요 탄광별 생산규모

구 분	도 별	탄광명	생산량		인원수	
			'96	'97	'96	'97
석탄공사	강 원	장성	890	780	2,552	2,245
		도계	458	427	1,413	1,346
	전 남	화순	429	386	1,066	965
	소 계		1,777	1,599	5,031	4,556
민영탄광	강 원	태백지역				
		태 서	193	192	326	275
		한 보	448	380	796	781
		도계지역				
		경 동	1,000	1,000	1,732	1,678
		고한.사북지역				
	동 원	716	645	1,506	1,256	
	삼 탄	564	451	851	682	
	영월지역					
	영 월	49	39	104	92	
충 북	마 로	62	66	140	163	
경 북	(주)홍진	142	142	239	240	
	민영소계	3,174	2,915	5,694	5,167	
	합 계	4,951	4,514	10,725	9,723	

주) 자료: 광업요람, 1998, 대한광업진흥공사, p.28

3. 폐갱도 특성

국내 폐갱도의 종류는 크게 석탄광산용, 금속광산용 및 비금속광산용으로 구분되며 다음 표9와 같은 특성이 있다.

표 9. 국내 폐갱도의 특성¹⁾

구 분	상 태
석탄광산의 갱도	갱도는 협소하며, 갱도주변의 암석은 사암 또는 셰일이 대부분이며 단층 및 습곡작용에 의하여 많은 절 리가 발달되어 갱도유지가 어려워 많은 부분이 붕락되어 있다. 지표수 및 갱내수의 유입으로 폐광된 광산의 배수수준 하부갱도는 거의 침수되어 있다.
금속광산의 갱도	갱도가 협소하나 갱도주변의 암반이 견고하여 일부를 제외하고는 유지되어 있다. 배수수준 하부는 거의 침수되어 있다.
비금속광산의 갱도	대부분이 노천채굴법을 채택하고 있으나 최근개발되고 있는 석회석 광산 등은 Rampway system 에 의한 갱내채굴을 실시하고 있으며 이들 갱도가 대부분이 광체중에 굴착되어 무지주 또는 간단한 록볼트 만으로 유지가 가능하다.

지난 '76~'96년도간 국내석탄광 및 일반광에서 갱도굴진한 경향을 표 10에 나타내었다. 이들 굴착된 갱도는 광산이 폐광됨에 따라 전량 폐기되었다.

표 10. 년도별 갱도굴진

(단위:m)

년도	석탄광		일반광		합 계		
	광산수	시공량	광산수	시공량	광산수	시공량	광산당
'76	54	18,539	67	33,628	121	52,167	431.1
'77	58	12,997	87	34,060	139	47,057	338.5
'78	78	9,968	69	35,643	147	45,611	310.3
'79	89	15,079	80	29,252	169	44,331	262.3
'80	87	16,205	71	27,987	158	44,192	279.7
'81	113	19,352	68	32,401	181	51,753	285.9
'82	142	22,641	83	32,416	225	55,057	244.7
'83	126	22,922	120	32,616	246	55,538	225.8
'84	112	23,079	114	33,847	226	56,926	251.9
'85	119	25,878	99	32,674	218	58,552	268.6
'86	125	25,336	89	32,612	214	57,952	270.8
'87	83	17,902	76	32,380	159	50,282	316.2
'88	71	14,982	81	31,902	152	46,884	308.4
'89	47	12,687	85	32,305	132	44,992	340.8
'90	47	11,646	58	19,570	105	31,216	297.3
'91	41	10,142	43	19,127	84	29,269	348.4
'92	21	8,415	37	17,758	58	26,173	451.3
'93	11	3,080	36	14,393	48	17,473	364.0
'94	20	14,290	25	15,220	45	29,510	655.8
'95	9	11,040	27	13,076	36	24,116	669.9
'96	11	7,351	22	13,228	33	20,579	623.6
'97	11	6,370	21	12,020	32	18,390	575.0

3.1 석탄광산의 갱도

국내석탄은 고생대말부터 중생대초기까지 생성된 것으로 중생대말에 있었던 심한 지각변동으로 크게 교란되어진 상태이다. 이에따라 지층의 경사에 따라 지하심부로 채탄이 진행되었으며 주된 채탄방법으로는 탄층이 경사를 이용한 위경사승 봉락식 채탄법으로서 화약발파를 시행하면서 경사를 따라 운반갱도를 집적시키는 방법이 많이 활용되어 왔다. 일반적으로 운반갱도는 봉락의 위험성이 적은 함백산층과 장성층의 사암구간에 설치하며 중반갱은 장성층내의 사암이 우세한 구간에 설치하고 그 구간의 채탄이 끝나면 오래지 않아 봉락된다. 승갱도 설치시 투입된 목재가 부식하지 않으면 비교적 오랜시간 갱도가 유지되지만 탄층의 수평연장이 길면 그렇지 못하다.

갱도의 규격은 갱도의 용도, 갱도의 개착과 보강, 갱도와 이용상의 안전과 효율 그리고 종합적으로 경제성의 측면에서 만족되도록 과대, 과소하지 않은 적정규격으로 정하고 있다.

운반갱도의 용도는 각종 시설, 장비의 설치와 운행, 석탄.경석 의 운반, 인원의 수송과 통행, 통기와 배수, 그리고 동력선과 통신선 등의 배관 시설 등이다. 국내 탄광의 년평균 심도증가율은 최대 30m 이고 평균치는 25m 이다. 수평갱도의 간격은 최대 100m, 75m 의 경우도 있으나 대부분 50m 로 되어 있다. 상하 level 간의 수직고차 50m를 기준으로 하면 국내 탄광의 1개 생산 level의 수명은 최소 2년, 평균 2~4년으로 된다. 수평갱도의 수명은 2~10년의 범위이고 평균 4년이다.

석탄광의 갱도의 종류들은 다음과 같다.

(1) 주요 운반갱도

탄층과 일정한 간격을 두고 나란히 굴착하는 수평갱도로서 운반, 통기, 배수, 통로 등 가장 중요한 용도로 이용되는 데 탄층 하반쪽에 개착하는 것이 보통이며 탄층과의 거리는 보통 50~200m 간격을

유지한다. 수직갱이나 사갱에서 출발하여 탄층에 평행으로 굴착한다.

(2) Cross 갱도

주요 운반갱도와 탄층을 직각으로 연결해주는 갱도로서 이 갱도에 의해서 채탄이 가능하게 되며 Cross 간의 간격은 탄층 부존여건이나 채탄조건에 의해 달라지는 데 50-200m가 보통이다. 채굴된 후에는 폐쇄하는 것이 일반적이다.

(3) 중반갱도

주요 운반갱도와 탄층사이에 당해 구역 채탄을 목적으로 개착하는 일시적 갱도로서 이 갱도 역시 탄층과 나란하게 개설하며 운반, 통기, 배수 등의 용도로 이용된다. 보통은 당해구역 채탄이 끝나면 폐쇄되는 데 탄층 부존여건이 좋은 대규모 탄광에서 개설하는 것이 보통이다.

(4) 암석승

채탄을 목적으로 주요 운반갱도, 중반갱, 크로스갱도 등에서 35도~45도 경사로 탄층에 착탄을 시키거나 또는 상부암석갱도와 관통시키는 경사승 갱도를 말하는 데 후자의 경우는 암석승에서 일정한 수직간격으로 중단갱도를 개설하여 착탄시켜 채탄하게 된다.

(5) 사갱(incline)

인원 및 석탄, 버력, 자재를 운반할 목적으로 개설하였으며 180내외의 경사로 굴착하였으며 Cable winch와 탄차, 궤도차량 또는 conveyor를 운반수단으로 한다.

(6) 수직갱(shaft)

인원 및 석탄, 버력, 자재를 운반하기 위한 갱도로서 일반적으로 직경 4~6m의 수직으로 굴착한 갱이며 엘리베이터(Skip 또는 Cage)를 설치, 운영한다.

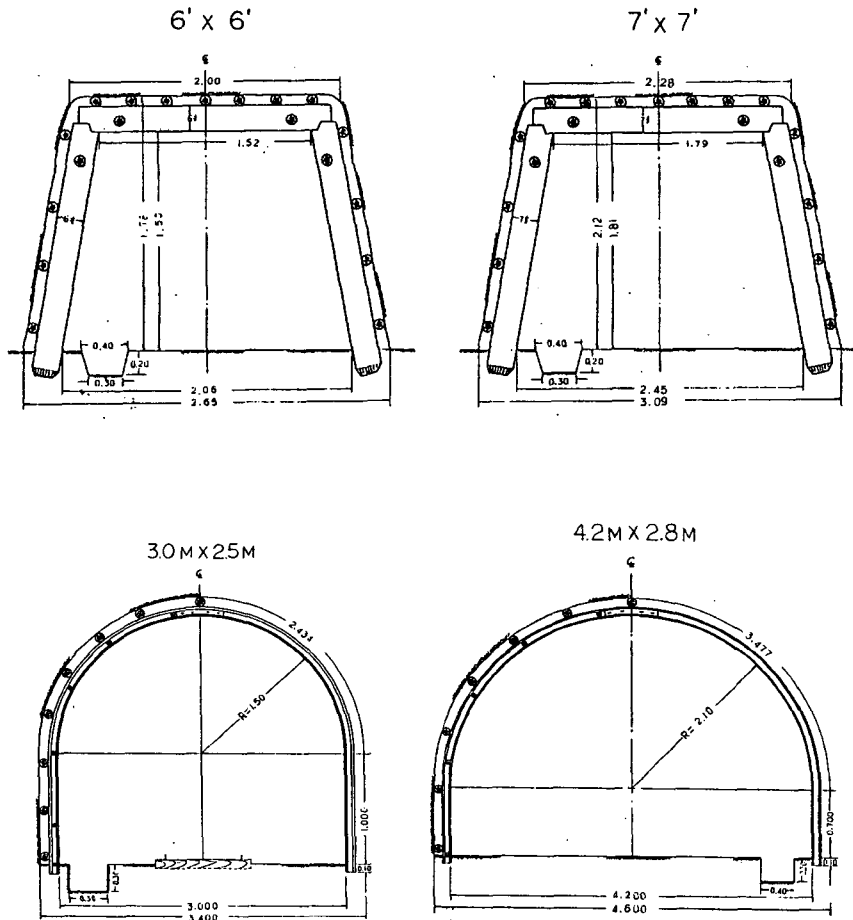


그림 3 국내 석탄광의 대표적인 갱도규격

합리화정책에 의하여 현재는 11개 광산이 가행되고 있으나 향후 10미만의 광산이 가행될 전망이다. 이들 석탄광산의 갱도크기는 대부분 1.8 × 1.8m ~ 2.1 × 2.1m로 협소하며, 현재 가행중인 일부 대규모 광산의 갱도는 3.0 × 2.5m ~ 3.8 × 2.8m로 비교적 넓은 편이다. 갱도주변의 암석은 사암 또는 세일이 대부분이며 단층 및 습곡 작용에 의하여 많은 절리가 발달하고 있다. 지주재로 목재 또는 철재지주로 갱도를 유지하고 있으나 반압 및 반팽이 심하여 갱도를 보수하지 않으면 1개월이상 유지하기 힘들다. 특히 절리등 균열을 통하여 지표수 및 갱내수가 유입되어 폐광된 광산의배수수준 하부 갱도는 거의 침수된 상태이다.

한편 갱도의 심도는 광산에 따라 다르지만 대체로 수평갱도에서 지표하부 수백m 에 이르기도 한다. 석탄광산의 갱도현황의 예는 표 12와 같다. 광차운반과 갱내 출수의 배수를 목적으로 수평갱도를 완전 수평으로 굴착하지 않고 약간의 경사를 주어 시공한다. 주요 운반갱도에서는 1/200 ~ 1/330 , 중반갱이나 크로스갱도에서는 1/100 ~ 1/200 로 시공한다.

표 12. 갱도규격예

규격	굴착단면적(m ²)	유효단면적(m ²)	비 고
7' × 7'	5.762	3.831	단선, 목재지보
2.8 × 2.1	6.349	5.037	단선, 중반갱,cross, 철재지보
'7 × 8'	6.761	4.537	단선, cross, 목재지보
3.0 × 2.3	6.997	5.695	단선, 중반갱,cross, 철재지보
3.0 × 2.4	7.719	6.363	단선, 중반갱,cross, 철재지보
3.0 × 2.7	8.739	7.134	단선, 하반갱,진차갱,cross, 철재지보
4.2 × 2.9	12.107	10.285	전차, 복선, 권 립, 철재지보
4.6 × 3.05	13.562	11.755	전차, 복선, 전차갱, 철재지보

석탄광산에서 사용되는 지보재는 갱도의 사용목적과 암반의 상태에 따라 주로 결정된다. 국내탄광의 주요지보재는 철재지보와 목재지보가 대부분이며 갱도의 사용목적에 따라 콘크리트, PSC, 록볼트가 사용되고 있다. 표 13은 국내 석공탄광의 암석유지 갱도의 지보현황을 나타낸 것으로 철재지보와 목재지보가 전체의 약 88%를 차지하고 있으며 민영탄광보다 석공의 경우 철재지보를 더 많이 사용하고 있다.

표 13. 석공 수평운반갱도의 지보종류(1991)

구분	장성		도계		합백		화순		은성		합계	
	연장(m)	%	연장(m)	%	연장(m)	%	연장(m)	%	연장(m)	%	연장(m)	%
철재지보	157,091	81.96	96,718	89.99	47,220	86.65	12,689	40.76	5,410	27.39	319,128	78.88
목재지보	23,610	12.32	7,304	6.80	2,522	4.63	1,329	4.27	1,882	9.53	36,647	9.06
무지보	7,240	3.78	2,668	2.48	4,528	8.31	16,815	54.01	12,077	61.15	43,328	10.71
콘크리트 라이닝	2,213	1.15	101	0.09	225	0.41	301	0.96	95	0.48	2,935	0.72
콘크리트 지보	979	0.51	685	0.64	-	-	-	-	171	0.87	1,835	0.45
기타	532	0.28	-	-	-	-	-	-	116	0.58	648	0.16
합계	191,665	100	107,476	100	54,495	100	31,134	100	19,751	100	404,521	100

주) 자료: 홍지상외, 1991, 적정갱도규격에 관한 연구, 자원연 보고서 KR-90-8C-1, pp.3~124.

표 14. 주요석탄광산의 갱도현황(광진, 1995)

지역	광산명	암종	갱도규격(m)	지보재	연장	심도	비고
강릉,명주	강릉외	사암,세일	1.8×1.8m ~2.1×2.1	목재	수백m	-300m	폐광
강릉,도계	태원외 경동	" 사암	" 3.8×2.8m ~4.8×3.5	" 철재	" 수십 km	" -500m	" 가행중
태백	강원	사암,세일	3.0×2.5m ~4.8×3.5	"	"	-800m	폐광
	함태	"	2.1×2.1m ~3.0×2.5	목재,철재	"	-500m	폐광
	한보	"	3.0×2.5m ~4.8×3.5	철재	"	-300m	가행중
고한	삼척	"	3.0×2.5m ~5.0×5.0	철재,록볼트	"	-500m	가행중
	세원 등	"	1.8×1.8m ~2.1×2.1	목재	수백 m	수평	폐광
사북	동원	"	3.0×2.5m ~4.2×2.8	철재	수십 km	-400m	가행중
정선	대성 등	"	1.8×1.8m ~2.1×2.1	목재	수백 m	-300m	폐광
영월	옥동 등	"	2.1×2.1m ~3.0×2.5	철재	수 km	-300m	폐광
충북,단양	단양 등	"	1.8×1.8m ~3.0×2.5	목재	수 km	-100m	폐광
보은	보은,제일 등	"	1.8×1.8m ~2.1×2.1	목재	수백 m	-100m	폐광
경북,문경	봉명	"	1.8×1.8m ~3.0×2.5	목재,철재	수십 km	-600m	폐광
	문경	"	3.0×2.5m ~2.1×2.1	철재	수십 km	-300m	폐광
	태백 등	"	1.8×1.8m ~2.1×2.1	목재	수백 m	-100m	폐광
충남,대천	신성 등	"	1.8×1.8m ~2.1×2.1	목재	수십 km	-300m	폐광
전남화순	호남동	"	1.8×1.8m ~3.0×2.5	목재,철재	수 km	-200m	폐광

3.2 금속광산의 갱도

국내의 금속광은 크게 금은광, 연·아연광, 동광, 철광, 중석, 모리브덴광 등이 있으며 그동안 표 15와 같이 광산이 가행되어 왔으나 현재에는 10여개의 광산이 가행되고 있다. 금속광의 갱도는 대부분 갱도 규격 2.0 × 2.0m 내외로 협소하며 이를 대규모 광산의 갱도도 2.4 × 2.1m 정도이다. 신예미광산은 5.0 × 5.0 m 규격으로 개발하고 있다¹⁾. 갱도주변의 암석은 광종에 따라 다르나 대부분 견고한 암석으로 되어 있어 일부 광산 또는 지역을 제외하고는 지보시공이 없이 갱도가 유지되고 있다. 갱도의 심도는 수평갱도에서 지표 하부 수백 m에 이르는 갱도도 있다.

표 15. 주요금속광산의 갱도

지역	광산명	암종	갱도규격(m)	지보재	연장	심도	비고
경북 봉화	연화(연,아연)	석회암 등	2.4×2.1	무지보	수십 km	-800m	폐광
	금호(연,아연)	"	2.1×2.1(5.0×5.0)	"	십여 km	-300m	가행중
강원,영월	상동(중석)	"	4.0×3.0	무지보, 록볼트	수십 km	-600m	폐광, 석회석개발중
양양	양양(철광)	편마암	2.4×2.1	무지보	십여 km	-400m	폐광
정선	신예미(철광)	석회암 등	5.0×5.0×25m	"	수 km	-200m	가행중 Ramp way개발중
경기 연천	연천(철광)	편암 등	4.5×4.5	"	수 km	수평	가행중
경기 화성	삼보(연,아연)	편마암 등	2.1×2.1	"	수십 km	-300m	폐광
충북,음성	무극(금,은)	흑운모화강암	2.1×2.1	"	십여 km	-500m	가행중

3.3 비금속광산의 갱도

국내 비금속광산은 대부분 노천개발 방식에 의하여 개발하고 있다. 갱내개발을 하고 있는 석회석 등 광산은 대형장비를 이용한 무궤도개발방식을 채택하고 있다, 갱도규격이 5.0×5.0×5.0m 이상이며 채광작업을 병행하고 있는 갱도는 폭이 10m 이상되는 넓은 갱내공간을 확보하고 있다¹⁾. 갱도는 광체중에 굴착하므로 석회석광산의 경우 균열대가 아닌 지역은 무지주로 갱도를 유지하고 있으며, 납석광산의 경우는 암반이 비교적 연약하여 록볼트 등에 의하여 갱도를 부강하고 있다. 갱도의 심도는 현재 대부분 수평갱도에서 작업중이며, 점차로 작업장이 하부로 이동될 것으로 판단된다.

표 16. 주요 비금속광의 갱내개발현황

지역	광산명	암종	갱도규격(m)	지보재	연장	심도	비고
강원, 정선	청수,성신,정선 등	석회암 등	(5.0×25.0)~(15.0×27.0)	무지보	500~1,000m	수평	room & pillar
	에미	석회암등	10.0×6.0	"	300m	"	
삼척	삼도	석회암	13.0×5.5	"	600m	"	
충북,제천	장자,제천,청립 등	석회암 등	5.0×5.0~10.0×10.0	"	500m	"	sublevel stoping
단양	백광	석회암	9.0×6.0	"	600m	"	room & pillar
충주	동양활석	돌로마이트	?	"	50여km	-638m	sublevel stoping shrinkage
전남,해남	부곡	납석	(5.0×4.5)×15m높이	록볼트	1,500m	수평~-50m	room & pillar
완도	노화	납석	(6.0×5.0)×11m 높이	록볼트	1,000m	-50m	
경기,가평	고려	규석		록볼트	500m	수평	갱도굴진중

5. 탄광지대에서 토목공사시 주의할 사항

광산지대에서 터널 등 토목공사를 할 경우에는 석탄층, 탄질세일과 지하수로 인하여 지반이 팽창하거나 굴착작업으로 인하여 생긴 공동에서 천반이나 측벽 또는 작업면으로부터 암석이나 석탄이 낙하 또는 붕락하는 현상이 자주 일어나게 된다. 발파에 의하여 생긴 이완된 지반이나 균열로 인하여 터널 막장 유지가 어려워 지는 경우가 많다. 탄광지역에서의 폐광산에 따른 문제점으로는 다음과 같은 것들이 있다.

1) 폐광산에 의한 출수재해.

폐광산하부에 터널 등 토목공사를 하게 되면 폐광산 구갱도 및 채굴적 그리고 침하지역 등에 직접되어 있던 많은 지하수가 단층면, 균열, 절리, 불연속면 등을 통하여 유입됨으로 출수 재해의 직접적인 원인이 된다.

2) 폐석방치

폐광으로 인한 산지의 경사면이나 계곡, 평지 등에 폐석을 방치하는 것은 우수기나 해빙기때에 산사태를 초래하며 폐석의 유실은 도로차단, 수로차단 및 변경, 가옥의 파괴 등 광해를 일으키며 넓은 지역에 방치되어 있는 폐석은 공기와 물등을 오염시키며 산림을 초토화 시키게 된다.

3) 산성폐수

갱내 산성폐수는 수질을 오염시키며 하천을 오염시켜 자연경관을 해치며 슛크리트, 콘크리트 라이닝 등 지보재에 피해를 준다. 탄광의 산성폐수는 장기간 지속되는 광해중의 하나이다.

4) 지반침하

석탄개발에 따른 채굴적, 폐갱도 등을 충전하지 않을 경우 지반침하의 원인으로 작용하여 교량, 도로, 수도 그리고 지상 구조물 등의 파괴를 가져오게 된다.

5) Gas 분포

삼척탄전의 경우에 현재 가행중인 탄광으로는 석공 도계광업소와 경동탄광은 갑종탄광인데 갑종탄광은 ① 주용배기갱도의 기류중에서 가연성가스의 함유율이 0.25% 이상인 것, ② 채탄작업장의 기류중에서의 가연성가스의 함유율이 1%이상인 것, ③ 통기시설의 운전을 3시간 정지한 경우에 함유율 3% 이상의 가연성가스가 통행갱도 또는 채탄작업장에서 검출되는 것, ④ 갱내에서 가연성가스가 폭발 또는 연소한 사고가 있었고, 다시 폭발 또는 연소할 우려가 있는 것일 경우 광산보안사무소장이 지정한다. 갑종탄광에서 가연성가스와 관련된 규정중 중요한 것을 들면 갱내보안계원은 갱내작업장 또는 배기공기중에 가연성 가스의 함유율이 1.5%를 초과할 때에는 즉시 그곳에 대한 송전을 정지시켜 응급조치를 취하여야 하며 그 위험상태가 계속될 때에는 광산종업원을 그 위험구역외로 대피시키고 일정한 경계표시를 한 후 전기보안계원에게 통보하여야 한다. 다만, 전기설비가 없고 계속하여 가연성가스를 검사할 경우에는 가스함유율이 2%를 초과하지 아니하는 경우에는 작업을 할 수 있다. 또한 갑종탄광에서는 도화선발파를 행할 수 없으며 가연성가스의 함유율이 0.5% 이상인 장소에서는 점화작업을 할 수 없다. 다만 그 함유율이 1% 이하의 장소에서 전기점화법(지발전기뇌관 또는 전기도화선을 사용하는 경우를 제외한다)에 의할 때는 예외로 한다. 터널 시공시 가스에 대한 재해를 미리 방지하기 위하여 노선내에 위치한 함탄층의 가스배출 유무를 파악하기 위하여 선진천공을 통하여 미리 가스측정을 실시하여야한다. 탄광에서 폭발가스라 부르는 것은 가연성 혹은 폭발성이 있는 가스를 말하는 것으로 보통 가연성 가스라고 부른다. 따라서 가연폭발성이 있으면 성분이 무엇이든지 관계없으나 탄광내의 폭발가스의 주성분은 메탄이기 때문에 가연성가스를 부를 때는 메탄가스 자체를 가리키는 수가 많다. 탄광에서 메탄가스 농도별 처치사항에 대한 광산보안법을 요약하면 표 19와 같다.

표 17 가연성가스 농도별 처치사항

가연성가스 농도	규정 및 처치사항	비 고
0.25% 이상	<ul style="list-style-type: none"> · 주용배기 기류중 0.25%이상 가연성가스 발견시 사무소장에게 보고, 동시에 가스검정을 강화하며 동기대책 강구 · 채탄작업장 또는 채굴한 자리의 배기중 가연성가스가 0.25%이상 일 때 그 배기를 다른 작업장에 통과시키지 못한다 	광산보안법시행규칙 제59조 및 제 53조
0.5% 이상	<ul style="list-style-type: none"> · 점화작업을 할 수 없다. · 함유율이 1% 이하의 장소에서는 전기점화법(지발전기뇌관 또는 전기도화선을 사용하는 경우를 제외한다)에 의할 때는 예외로 한다. 	광산보안법시행규칙 제73조
1.0% 이상	<ul style="list-style-type: none"> · 채탄작업장의 기류중 1.0%이상 가연성가스 발견시 사무소장에게 보고, 동시에 가스검정을 강화하며 동기대책 강구 · 전기공작물을 설치하지 못한다 	광산보안법시행규칙 제 59조 및 제76조
1.5% 이상	<ul style="list-style-type: none"> · 즉시 송전을 중지한다. · 위험상태를 고칠 수 없을 경우 광산종업원을 그 구역에서 대피시킨 후 경계표식을 하고 전기보안계원에게 통보 · 도화선발파는 물론 전기발파도 금지한다. · 전기공작물 시설이 없는 경우 계속하여 가연성가스를 검정할 때에 한하여 2%까지는 작업을 할 수 있다. 	광산보안법시행규칙 제62조①항
2.0% 이상	<ul style="list-style-type: none"> · 전기공작물의 유무에 불구하고 광산종업원을 위험구역으로부터 대피시킨 후 책위 기타 방법으로 통행을 완전히 차단하고 일정한 경계표식을 한 후 지체없이 보안관리자에게 보고 	광산보안법시행규칙 제62조②항

메탄가스는 5%이하일 경우 화원의 주위에서 파란 불꽃으로 연소하지만 다른 부분으로 연소가 전파되지는 않는다. 메탄가스의 농도가 5~15%일 때는 점화하면 연소가 타부분으로 전파하는데 메탄가스의 농도와 존재상태 여하에 따라 연소상태도 되고 폭발상태도 되는데 이때 최대폭발은 9.5%일 때 발생한다.

터널을 굴착할 때 함탄층을 통과할 경우에는 메탄가스의 배출이 예상된다. 따라서, 터널시공 작업시에는 메탄가스 폭발재해 방지를 위하여 선진천공(Lead-Boring) 등의 방법으로 함탄층에 대한 가스량 조사는 물론 광산재해(가스폭발, 가스돌출 등)발생사례를 조사하여 대비할 것이며 가스발생이 예상되는 구간은 가스함유량 측정을 철저히 시행하며 발파 및 작업장의 통기망 구축에 만전을 기하고 터널내 장비도 방폭형 장비를 사용하여 가스에 대한 피해를 없앨 것이다.

표 18은 '75~'97 유형별 재해통계로 낙반, 측벽 붕괴로 인한 사고발생이 가장 큰 비율임을 나타내고 있으며 표 19는 중대재해 발생사례를 보여주고 있다. 광산지역에서는 따라서 낙반, 측벽붕괴, 출수, 가스폭발에 의하여 많은 재해가 발생하고 있음을 알수 있다.

표 18 유형별 재해통계('75~'97)

구분	유형별	총 계				점유비율(%)			
		사망	중상	경상	계	사망	중상	경상	계
갱내	낙반, 측벽붕괴	1,974	12,309	13,724	28,007	55.2	28.1	23.8	26.6
	가스, 탄진폭발	74	93	137	304	2.1	0.2	0.2	0.3
	가스중독	129	52	94	275	3.6	0.1	0.2	0.3
	발파화약	184	822	499	1,505	5.1	1.9	0.9	1.4
	운반장치(광차탈선, 체인, 로우프, 기타)	399	10,427	12,879	23,705	11.2	23.8	22.3	22.5
	출수	166	112	185	463	4.6	0.3	0.3	0.4
	화재	73	85	209	367	2.0	0.2	0.4	0.3
	기계	27	881	725	1,633	0.8	2.0	1.3	1.6
	전기	20	88	165	273	0.6	0.2	0.3	0.8
	전석	33	3,764	4,822	8,619	0.9	8.6	8.3	8.2
	추락·전도	107	1,944	2,480	4,531	3.0	4.4	4.3	4.3
	기타	62	6,299	11,956	18,317	1.7	14.4	20.7	17.4
	소계	3,248	36,877	47,875	88,000	90.8	84.2	82.9	83.7
갱외	암반붕괴, 발파화약, 화재, 풍수해, 운반, 기계, 전기, 추락·전도, 기타	328	6,939	9,881	17,148	9.2	15.8	17.1	16.3
합 계		3,576	43,816	57,756	105,148	100.0	100.0	100.0	100.0

표 19. 대재해 발생

년월일	광산명	소재지	재해원인	재해자수 (사망)
'80. 9.25	삼척탄좌	강원도 정선군 사북읍 고한리	출 수	4
'81. 1. 6	은 성	경북 문경군 가은읍 왕릉리	출 수	8
'81. 7. 1	정 동	강원도 정선군	가스폭발	7
'82. 1. 3	합 태	강원도 태백시	가스폭발	9
'83.10. 1	풍 전	"	붕 락	4
'83.12.22	봉 명	경북, 문경	가스질식	9
'84.11. 3	덕 수	충남, 대천	가스폭발	6
'85. 5.10	삼척탄좌	강원도 정선군 사북읍 고한리	붕 락	3
'85. 6.19	합 태	강원도 태백시	가스폭발	4
'85.12.14	장 성	강원도 태백시 장성동	출 수	10
'86. 1. 7	어 룡	강원도 태백시	가스폭발	6
'86. 9. 1	대성탄좌	경북 점촌시 불정동	낙 반	4
'86.11. 1	합 태	강원, 태백시	출 수	3
'87. 1. 7	덕 일	강원, 영월	붕 락	3
'87. 5. 1	단 양	충북, 단양	붕 락	3
'87. 5.18	도 계	강원, 삼척	가스폭발	4
'88.11.22	정 선	강원, 정선	출 수	7
'90. 1. 9	합 태	강원, 태백시	붕 락	3
'90. 7.17	봉 명	경북 문경군 마석면 외어리	가스질식	3
'91. 1.10	어 룡	강원, 태백시	가스질식	3
'91.12.20	강 원	강원도 태백시 철암동	출 수	4
'92. 5.25	경 동	강원도 삼척군 도계읍 상덕리	가스연소	3
'92. 9. 8	동원탄좌	강원도 정선군 사북읍 사북5리	붕 락	3
'92. 9.22	정 동	강원, 정선군	출 수	7
'92.12.10	장 성	강원도 태백시 장성동	붕 락	3
'93. 4. 2	삼척탄좌	강원도 정선군 사북읍 고한리	가스폭발	7
'93. 7.29	삼척탄좌	"	붕 락	3
'93. 8.13	한 보	강원도, 태백시	출 수	5
'94.10. 6	장 성	강원도 태백시 장성동	가스질식	10
'95. 9.20	한 보	강원도 태백시	붕 락	4
'96.12.11	한 보	"	출 수	15
'97.10.21	장 성	강원도 태백시 장성동	가스연소	6

주) 자료: 광업요람, 1998, 대한광업진흥공사, pp.53

6. 결 론

많은 광산들이 폐쇄됨에 따라 채굴적으로 인한 지표침하발생, 산성의 갱내지하수 유출로 인한 지하수 오염, 강우로 인한 폐석유실 등 환경적인 면에서 많은 문제점이 노출되고 있다. 폐광산의 폐갱도 및 채굴적 그리고 침하지역 등에 많은 갱내수가 직접되어 있다가 이지역에서 터널 등 토목구조물 공사시 단층면, 균열, 절리, 불연속면 등을 통하여 유입됨으로 대량출수로 인한 재해를 가져올 수 있으며 폐갱도내 가스 역시 큰 재해를 가져올 수 있다. 가스발생이 예상되는 구간은 가스함유량 측정을 철저히 시행하며 발파 및 작업장의 통기망 구축에 만전을 기하고 터널내 장비도 방폭형 장비를 사용하여 가스에 대한 피해를 없애야 한다. 국내의 석탄생산방식은 충전식이 아닌 봉락식 채탄법이 주로 채용되었기 때문에 지반침하의 유발 소지도 매우 크다. 현재 휴·폐광된 대부분의 광산은 부분적인 봉락과 침수되어 있는 상태이다. 이와같은 광산지역에서의 터널굴착시에는 폐갱도나 폐공동을 조우하는 경우를 대비하여 공사대책이 사전에 수립되어야 한다.

참고문헌

1. 대한광업진흥공사(1995), “국내 폐광갱도(대규격) 활용에 관한 연구”, 광진 95-18, 323p
2. 대한광업진흥공사(1991), “석탄광 현대화장비에 의한 개발기술연구”, 91-지도-2, 288p.
3. 대한광업진흥공사(1998), “광업요람”, pp.400.
4. 산업자원부, 석탄산업합리화사업단(1998), “석탄통계연보”, 294p.
5. 석탄산업합리화사업단(1995), “석탄광폐광지원백서”, 업무총서 95-01, 371p.