

## 지하 채굴 폐공동의 활용 가능성 검토

임한욱<sup>1)</sup> · 백환조<sup>1)</sup> · 김치환<sup>2)</sup>

### Feasibility Study on the Utilization of Abandoned Underground Excavation Caverns

Han-Uk Lim, Hwanjo Baek and Chi-Hwan Kim

**ABSTRACT** According to the industrial restructuring in the late 1980's, most domestic mines have been shutdown or suspended in operation. The closed underground excavation caverns remain in their abandoned conditions, and they will potentially cause environmental hazards. To evaluate the feasibility of the utilization of the abandoned caverns, the foreign cases were studied. As a result, we proposed several possible examples including underground storage cavern for food products, underground compressed air energy system(CAES), and underground repository(or incineration plant) of industrial wastes. Among them, the underground waste repositories are most probable to be seen in Korea in the near future. For this, the study in rock engineering aspects should be conducted, which will include the establishment of support system and safety measure of the abandoned underground excavation caverns.

**Key words** : Abandoned excavation caverns, Environmental hazards, Underground storage cavern, Compressed air energy system(CAES), Repository of industrial wastes.

**초 록** 1980년대 말 이후 산업구조의 개편에 따라 국내 대부분의 광산은 폐·휴업 상태이며, 기존 채굴공동은 방치되고 있어 부분적으로 환경 저해요인으로 인식되고 있는 실정이다. 따라서, 이들 폐공동의 활용방안을 검토하기 위하여 1차적으로 외국의 활용 사례를 검토하였다. 그 결과 농·수·축산물의 지하저장, 압축공기의 저장시설, 산업 폐기물의 처리장으로서의 활용 예를 예시하였다. 그러나 국내에서 비교적 쉽게 활용할 수 있는 분야는 산업 폐기물의 처리장이라 할 수 있다. 이를 위해서는 채굴공동에 대한 보강 및 안전 대책의 수립은 물론 각 이용 목적에 따른 암반공학적인 연구가 선행되어야 한다.

**핵심어** : 채굴폐공동, 환경저해, 지하저장공동, 압축공기저장, 산업 폐기물 처리장.

### 1. 서 론

국내에서는 아직까지 채굴 종료 후 방치된 폐광 갱도의 활용에 대한 인식부족과, 관련 연구의 부족, 사회여건의 미성숙 등으로 버섯채배나 새우젓의 숙성 등 소규모 개인 단위의 활용을 제외하고는 폐갱도 및 채굴적이 거의 이용되지 못하고 방치되고 있는 실정이다.

따라서 외국에서의 폐갱도 활용 사례를 중심으로 폐광갱도 활용방안을 조사, 검토하여 그 가능성을 제시함으로써 관련업계의 관심을 불러모으고 나아가 이 방향의 활용을 촉진하고자 하는데 본 연구의 목적이 있다.

더욱이 기존의 채굴공동은 주로 채수율의 향상을 목표로 개발하였기 때문에 현재 휴·폐광된 대부분의 광산은

부분적인 붕락과 침수로 인하여 재개발이 대단히 어려울 수도 있다. 그러나, 현재 채굴중이거나 또는 앞으로 채굴할 광산만큼은 채굴공동의 활용방안을 고려하여 채굴 및 안전 조치를 취한다면 새로운 지하공간을 창출하는데 큰 역할을 담당할 수 있을 것으로 사료된다.

지하암반은 지상에 비하여 항온성, 안전성, 차단성, 기밀성 등 여러 가지 우수한 특성을 갖고 있어 외국에서는 지하공간이 널리 이용되고 있거니와, 국내에서도 부분적으로 활용되고 있다. 특히 우리나라와 같이 국토가 협소

1)정회원, 강원대학교 지구시스템공학과 교수

2)정회원, 우석대학교 토목공학과 교수

원고접수일 : 2000년 3월 24일

원고 심사 완료일 : 2000년 5월 20일

한 나라에서는 지하공간의 사용도가 더욱 활발해질 것으로 예상된다.

이와 같은 지하공간의 개발은 새로운 굴착을 통하여 확보할 수도 있지만 광석 채굴시 활용되었던 각종 폐광된 갱도 및 대규모 갱도를 활용할 수 있을 것으로 예상된다.

## 2. 주요 휴 · 폐광 광산의 갱도 현황

1970년대 말 전국적으로 1500여 개에 달하던 광산이 80년대 후반부터 석탄 및 금속광산은 급속히 감소하였고, 비금속광산 중 석회석 광산만이 어려운 여건 속에 생산을 지속하고 있다.<sup>1)</sup>

석탄광산의 갱도는 협소하며, 갱도 주변의 암석은 사암 또는 셰일이 대부분으로 단층 및 습곡작용에 의하여 많은 절리가 발달되어 갱도 유지가 어려워 많은 부분이 붕락되어 있다. 또한 지표수 및 갱내수의 유입으로 폐광된 광산의 배수수준 하부 갱도는 거의 침수되어 있다.

금속광산의 갱도 역시 협소하지만 갱도 주변의 암반이 견고하여 일부를 제외하고는 유지되어 있다. 그러나 이들 역시 배수수준 하부는 거의 침수되어 있고, 또한 단면의 형태가 다양하고, 안전조치의 미비 등으로 그대로는 활용이 어려운 상태이다.

비금속광산은 대부분이 노천채굴을 채택하고 있다. 그러나 최근 개발되고 있는 석회석광산 등은 무궤도운반방식(Ramp way system)에 의한 갱내채굴을 실시하고 있으며, 이들 갱도가 대부분이 광체중에 굴착되어 무지주 또는 간단한 록볼트만으로 유지가 가능하다. 따라서 채굴 후 이들 폐갱도의 활용목적과 구체적인 기준이 제시된다면 채굴단계에서 계획적으로 공간을 형성, 유지할 수 있어 채굴종료 후 활용 가능성이 대단히 높다.

다만 이들 광산의 대부분이 교통이 불편한 내륙산간 지방에 위치하고 있어 교통문제도 아울러 검토되어야 할 것이다.

## 3. 지하공간의 이용 사례

지하공간의 이용 사례는 선진국의 경우 상당한 수준에 도달하여 있다. 일반적인 이용 사례를 예시하면 다음과 같다.<sup>1-1)</sup>

### 3.1 농 · 수 · 축산물의 지하저장 사례<sup>3,5)</sup>

지하 저장 시설은 지하 암반의 단열성과 축열성, 항온 항습성 등을 활용할 수 있는 이점이 있어 미국, 스웨덴, 노르웨이, 일본 등에서는 농·수·축산물의 저장 목적으로 널리 이용하고 있다.

특히 미국, 미조리주 캔사스시의 석회암 채굴공동, 노르웨이 Bergen시 근교 화강 편마암내 건설된 G. C Rieber & Co. A/S회사, 일본의 경우 大谷石 석회석 채굴공동 등을 들 수 있다. 특히 大谷石 채굴공동은 자연현상과 공동의 특성을 고려하여 자연환기형, 암반내 빙축열형, 암반내 저습도, 암반내 냉동저장고 등으로 다양하게 활용하고 있다.

우리나라에서는 농어촌 개발공사에서 지하 냉장 저장에 관한 검토가 1983년 실시된 이래 농어촌 진흥공사, 선경건설 등 몇몇 기관에서 지하저장 시설의 실용화 가능성에 대한 연구를 검토한 후 실제로 곤지암 등 일부 지역에 저장고를 설치, 운영하고 있다.

### 3.2 에너지 관련 저장 시설의 이용 사례<sup>4,6)</sup>

지하공간은 에너지 관련 저장 시설로 다양하게 이용되고 있는데 첫째 석유 및 액화가스 저장시설, 지하 양수 발전소 등은 현재 국내에서도 활발하게 활용되고 있다.

둘째 압축공기 저장 사례로는 일본 가미오카 광산을 들 수 있다. 이 광산은 폐갱도를 활용하여 심야에 압축공기를 생산하고, 주간에 사용함으로써 원가절감을 실현하고 있는 것으로 알려지고 있다.

셋째 압축공기 저장 발전 시스템(CAES - G/T)으로 서독 Hunter에서 실용화하였으며, 미국, 룩셈부르크, 프랑스, 소련, 이태리, 일본 등에서 검토 또는 계획중이다.

넷째 초전도 에너지 저장(SMES)용 지하공동을 들 수 있다. 이 공동을 건설하기 위한 지질조건으로는 전자력을 장기적으로 지지할 수 있는 강도를 갖고, 변위가 적은 균질 등방성의 암반이 요구되는데 전 세계적으로 아직 실용시설은 없다.

다섯째 LNG 지하저장, 지하 원자력발전소 등은 부분적으로 이용되고 있거나 실증 실험을 위한 연구 단계라 할 수 있다.

위에 예시한 사례중 순수한 폐갱도 활용사례는 일본 가미오카 광산의 경우이다.

### 3.3 산업 폐기물 처분장<sup>4,7-9)</sup>

우리나라에서는 폐갱도를 이용하여 폐기물을 처리한 사례는 없으나 외국에서는 상당히 있는 것으로 알려지고

이다.

예를들면 일본의 하나오카(花岡)광산, 나카타쥬(中龍)광산, 야구키(新八莖)광산, 가미오카(神岡)광산 등이며, 독일의 경우 Essen의 Zollverein 탄광 등 9개 광산에서 폐기물의 갱내 처분이 실시되고 있다.

### 3.4 핵폐기물 처분장<sup>10)</sup>

핵폐기물의 지층 처분을 위한 지질 조건은 결정질 화강암과 퇴적연질 이암이 가장 적합한 것으로 알려지고 있다. 미국의 Yucca Mountain, Handford, WIPP와 스위스, 서독, 캐나다, 벨기에, 영국, 프랑스 등에서 활용되고 있거나 활발히 진행중이다.

### 3.5 관광 사업으로의 활용

국내에서도 폐갱도를 활용하여 관광지로 개발한 예로 화암동굴을 들 수 있다. 즉 정선군 동면 화암리 일대의 인근 천포광산의 폐갱도를 이용하여 화암동굴을 확충, 국민관광단지로 개발중이다. 일본의 아시베쓰시의 예가 있다.<sup>4,11)</sup>

### 3.6 각종 실험 및 연구시설의 활용

지하 폐공동의 활용 예로써 지하암반이 갖는 차폐, 내진, 격리, 고강도 및 화학적 안정성 등을 이용한 각종 물리실험, 암반공학 시험장을 들 수 있다.

첫째 무중력 실험 수갱으로의 이용 예로써 일본 砂川 탄광, 둘째 우주선 연구 센터로 이용되고 있는 일본 가미오카 광산이 있는데 동경대학 우주선 연구소가 뉴트리노(Neutrino)의 관측소로 이용하고 있다. 셋째 화약류 성능평가 실험실로 이용되는 예로써 일본 가미오카광산, 그리고 넷째 지하종합연구소로서 일본 가마이시(釜石)광산, 캐나다 마니토바주의 AECL(방사능 폐기물의 처리 처분 연구), 서더베리(sudbury)광산의 뉴트리노 관측시설, 핀란드 국립기술연구소의 지하연구소(VTT, FINLAND), 이외에도 스위스, 스웨덴, 이태리 등에서 이용 사례가 보고되고 있다.<sup>4)</sup>

## 4. 국내 폐갱도의 활용가능성

지금까지 국내외 사례를 중심으로 폐갱도의 활용 상황을 검토하였다. 국내의 경우 폐갱도 내 배기공기를 이용한 버섯 등 특용작물재배를 제외하고는 이 분야의 연구 및 이용 사례가 거의 없는 실정이다. 다만 일부 기관에

서 추진중인 농·수·축산물의 지하저장을 위한 구상(構想)과 새로운 지하암반을 굴착하고 유류 및 액화가스의 저장, 지하 양수발전소의 건설 등 일부 토목분야의 시공이 전부라 할 수 있다.

따라서 외국의 연구와 사례만을 중심으로 활용 방안을 제시하는 것도 많은 어려움이 따른다. 본고에서는 폐갱도 활용을 위한 검토요건을 제시하고, 그 중에서 가장 활용 가능성이 높은 한가지 분야만을 선정하여, 그 방안을 제시하기로 한다.

### 4.1 농·수·축산물의 저장<sup>3)</sup>

농수 축산물의 저장방법은 자연환기형 저온저장고, 저온저장고, 냉동저장고로 구분할 수 있는데, 방법을 결정하기에 앞서 저장품목의 선정, 저장에 따른 품질변화, 저장조건 및 방법 등에 관한 기초 연구가 선행되어야 한다.

그리고 농·수·축산물의 생산, 소비 즉, 수급현황과 소비패턴의 변화, 생산지에서 소비자에게 이르는 물류비용에 대한 분석이 요구된다. 우리 나라의 경우 대도시 인근, 즉 소비지 근처에 저장고를 설치하는게 보다 효율적일 것으로 생각된다. 소비자의 욕구에 신속히 대처할 수 있을 뿐만 아니라 전국 각 산지에서 다양한 품종이 다량 모이기 때문이다.

특히 농·수·축산물은 중량에 비해 부피가 큰 특성을 갖고 있으며 변질이 쉽기 때문에 수송비용 및 소요시간은 대단히 중요한 요소이다.

따라서 서울 인근의 폐갱도가 일차적으로 연구대상이 되지만 적절한 갱도가 없는 것으로 판단된다. 충주에 위치한 일신광산의 배수수준 상부 백운석 채굴적을 활용하는게 아주 타당한 것으로 판단된다. 물류비용, 저장식품의 집산량, 저장상품의 대상 등에 대한 사전 검토가 요구된다.

### 4.2 에너지 관련 저장시설

에너지 관련 저장시설 중 원유 및 액화가스의 암반내 지하저장, 지하 양수발전소 등의 건설이 비교적 활발하게 추진되고 있으나, 이들은 폐갱도가 아닌 처너지 암반에 개착, 사용되고 있다.

국내 폐갱도는 거의 소단면 장대(長大)갱도로 채굴 관계상 탄층 및 광맥을 따라 굴진되었고, 현재는 거의 침수, 붕괴된 것으로 추정되며, 공동의 기밀성, 고감도 고강성, 화학적 안정성 면에서 활용하기는 어려운 것으로 판단된다.

특히 원유 및 액화가스 저장고는 국제 수송이 가능한 해안지대에, 지하 양수발전소는 유효낙차가 큰 급경사 사면을 이용하는 자연조건을 고려할 때 더욱 그러하다.

그리고 값이 싼 심야전력을 이용하여 공기를 압축하고 이를 저장하는 압축공기 저장(air receiver)은 국내에서 활용이 가능하다. 그러나 많은 광산이 폐광되었고 또 최근에는 장비의 대형화, 현대화에 따라 주요한 압축공기 소요장비인 착암기가 점보로, 운반장비인 압축공기식 로우더가 디젤 등으로 전환되고 있어 향후 효용가치에 대한 면밀한 검토, 분석이 전제되어야 할 것이다.

이외에 압축공기 저장 발전시스템(CASE- G/T), 초전도 에너지저장(SMES), LNG저장, 지하발전소, 지하 원자력 발전소 건설을 위한 공동으로 폐광도를 활용하기는 어려울 것으로 판단된다. 왜냐하면 이상의 시설을 지하에 설치하기 위해서는 암반의 기밀성, 균질성, 안정성, 지하수의 상황 등이 우수해야 하기 때문이다. 또한 무엇보다 이들 시스템에 대한 기초 연구가 선행되어야 할 것이다.

#### 4.3 산업 폐기물 처분장

폐광도를 활용한 산업 폐기물 처분장 설치의 가장 가능성이 높은 분야이다.

쓰레기 처분장으로 활용시 가장 문제가 되는 점은 침출수관리와 지하수 오염방지, 발생 가스처리, 폐기물 운반 등이다. 따라서 태백지역 석탄광보다는 최근 석회석의 갱내 채굴을 실시하고 있는 제천지역의 공동이 활용될 수 있을 것으로 예상된다.

석탄광의 배수수준 상부는 침수되지는 않았으나 많은 부분이 봉락되어 있을 것으로 추정되며, 금속광산 역시 다수의 갱도굴착으로 침출수의 관리가 어렵기 때문이다.

#### 4.4 핵 폐기물 처분장

급격한 산업의 발전과 청정 에너지의 선호로 우리나라 전력 수요는 급격히 증가하고 있으며 그 중에서도 원자력에 의한 발전량이 증대되고 있다.

1978년 4월 고리 원자력 1호기가 가동되면서부터 발생되기 시작한 방사성 폐기물은 이미 일부 발전소에서는 자체 보관 능력을 초과하고 있는 것으로 알려지고 있다.

그러나 국내에서는 국민들의 원자력에 대한 이해 부족과 방사성 폐기물의 처리기술 및 그와 관련된 안전성에 대한 회의 그리고 지역 이기주의, 환경보호론자들의 반대로 인하여 방사성 폐기물의 영구 처분에 대한 국가 계획 추진이 지연되고 있다.

그 동안, 국내에서도 광산의 폐공동을 핵 폐기물 처분장으로 활용가능한지 기초연구가 이루어졌으나 다음과 같은 사유로 활용이 어려운 것으로 알려지고 있다.<sup>12)</sup>

즉 대부분의 폐광 지역이 내륙 산간 지방에 위치하고 있어 운반상의 문제와, 부대 시설을 위한 부지면적 확보가 어려울 뿐만 아니라 기존의 갱도와 채굴 공동은 협소하며, 특히 금속광산은 대부분 단층이나 파쇄대를 따라 형성되었기 때문에 지질 및 공동의 조건이 처분장 부지조건과는 차이를 보이기 때문이다.

#### 4.5 관광 산업 시설

폐광도를 이용한 관광시설로는 현재 추진중인 화암동굴 관광지 개발사업<sup>11)</sup>이 우리 나라에서는 최초라 할 수 있다. 여기서 유의할 점은 폐광도 만으로는 관광매력을 끌기 부족하기 때문에 인근의 자연경관, 자연동굴 등과 연계해야 한다는 점이다.

외국의 경우에서 볼 수 있는 바와 같이 해당지역의 역사성, 문화성, 지형구조의 특성에 따라 그 장소에서만 느낄 수 있는 분위기나 특성을 부각시켜 관광객들로부터 해당지역의 이미지를 강하게 느낄 수 있도록 관광지의 특화가 필요하다. 또한 소프트웨어적인 고객 위주의 마케팅 사고방식과 독특한 이벤트가 가미된 운영전략을 마련해야 된다는 점이다.

화암동굴의 경우 당초 투자 계획에 의하면 총투자비 100억에 년수입 15억, 년 순수익 2.6억(투자액에 대한 이자 불포함)원으로 직접적인 수익을 기대하기 보다는 간접적인 이익을 고려해야 할 것이다.

금번 현장조사 결과 제천-단양권의 자연경관, 즉 단양 8경과 연결하여 백광소재 단양광산의 개발가능성을 타진할 수 있었다.

즉 노천채굴현장과 산 아래 수려한 자연경관을 연계하고 나아가 부근 갱내에 설치된 각종 놀이시설 및 채굴과정 등을 종합한 관광코스를 구상할 수 있다.

#### 4.6 지하 종합연구소

폐광도를 활용한 무중력실험, 우주선 연구센터 등으로 활용할 수 있으나 사용할 연구기관의 요구가 없는 상태에서 검토하기는 어렵다.

그러나 화약류 성능 평가실험, 암반공학 지하실험장, 방사성 폐기물 처분 연구 등을 목적으로 한 활용가능성은 대단히 높다고 하겠다. 아울러 광산 기술 훈련센터로의 이용도 고려할 수 있다.

## 5. 일반 폐기물 처분장으로의 활용

폐채굴적 또는 폐갱도의 활용가능분야는 이상 검토한 여러분야 중에서도 일반폐기물의 처분장이라 할 수 있다. 이와 같은 목적으로 가장 적합한 지역은 강원도 영월군 남면 토계리에 위치한 청림 석회석 광산으로 이를 대상으로 개략적인 활용방안을 검토하였다.

최근 소득의 증가로 인한 소비생활의 향상으로 폐기물의 양은 급속히 증가하고, 질적으로도 다양화되어 그대로 방치할 경우 인근지역의 수질, 대기, 토양 및 각종 오염원이 되기 때문에 폐기물의 효과적인 처리는 인류의 과제가 되고 있다. 특히 국내에서도 최근 폐기물의 처리는 님비(NIMBY)현상으로 심각한 사회문제가 되어가고 있다. 따라서 외국의 몇 나라에서 실시하고 있는 바와 같이 우리나라에서도 채굴이 종료되어 방치된 폐채굴적을 폐기물 처분장으로 활용 할 수 있는 방안을 제시코져 하였다.

### 5.1 광산 지역의 조건

청림 석회석 광산의 자연적 조건, 교통 및 인문·사회 환경은 다음과 같다.

#### 가. 자연적 조건

광산 부근의 지질은 조선 누층군 대석회암통의 삼태산 층과 시대 미상의 영흥층 및 갑산층으로 구성된다. 광산은 갑산층 내에 층상으로 부존되는 석회암층을 채굴대상으로 하고 있다.

이들 광산 중 비교적 품위가 높은 구역 즉 맥폭 30~50m 중 15~20m, 연장 2 km 중 일차로 350m 구간을 채굴하고, 협채된 세일 및 천매암은 물론  $SiO_2$ 를 1% 이상 함유한 빈광대는 저품위 규격으로 선택채굴대상에서 제외된다. 저품위대는 상대적으로  $SiO_2$ 의 함유량이 높고 Table 1과 같이 암반의 강도가 높아 덤프트럭의 운반로가 개착되었다.

이 광산에서는 중단 채굴법을 채택하고 있으며, 지표(600m)로부터 370m까지 채굴이 진행되고 있다. 채굴적의 규모는 대체로 너비×깊이×길이 20×100×(350

~400)m로 약 700,000m<sup>3</sup>이지만 향후 폐기물 처분장으로 선정되어 시설이 완료될 때까지 채굴이 계속된다면 그 공동의 규모는 더욱 증대될 것으로 예상된다.

광산의 부존조건이 맥상으로 채굴공동이 비교적 대규모, 수직공동이며 특히 중단간격이 20m로서 채굴공동의 유지 및 관리, 폐기물의 갱내 반입에 유리한 조건이다.

그리고 광석 및 주변모암이 대단히 치밀하고 균열, 파쇄대, 단층 등 자연절리도 거의 발달되지 않은 우수한 암반조건이다. 따라서 지표수의 유입 및 지하수의 발생양도 대단히 적어 침출수 관리에 유리한 조건을 갖고 있다.

#### 나. 교통조건

제천시로부터 약 13 km 떨어져 있어 폐기물의 운반에 유리한 조건이다. 특히 제천-영월간 국도에서 불과 3 km, 채굴공동까지는 4 km 정도로 운송거리가 비교적 짧으며, 폐기물 수집지역을 영월군, 제천시, 제천군으로 설정할 때 그 중앙에 위치하고 있어 폐기물의 수집과 반출이 용이하다.

#### 다. 인문·사회환경

인근에 촌락과 거주민이 적어 폐기물 처리장 건설을 위한 추진작업시 유리한 조건이다. 채굴작업장의 토지는 현재 회사 소유로 별도의 부지 확보에 따른 부수작업이 대폭 감소될 수 있다.

인근 지형은 최고 650 m이며, 낮은 지역의 표고는 400~390m로 산세가 비교적 완만하고 집수면적이 좁아 지하수 및 지표수 관리가 용이하다.

## 5.2 일반폐기물 처분장의 개요

### 가. 처분장의 개요

폐기물의 처분장은 위치에 따라 크게 육상매립식, 해변매립식, 지하매립식으로 나눌 수 있다. 그리고 육상매립식은 도랑식, 지역식, 경사식으로, 지하매립식은 개착형(open pit), 암반공동, 암염공동, 잔주식 채굴법에 의한 공동, 보아홀(borehole) 또는 수갱, 폐갱도 등으로 세분된다.

Table 1. Physical properties of rock at Cheunglim mine

Apparent density ( $gr/cm^3$ )	Absorption (%)	P-wave velocity (m/sec)	Uni.comp.strength ( $kgf/cm^2$ )	Tensile strength ( $kgf/cm^2$ )	Young's modulus ( $\times 10^5 kgf/cm^2$ )	Poisson's ratio	Remark
2.72	0.21	4,350	1,290	100	5.58	0.26	limestone

지하폐기물 처분장은 육상식에 비하여 지질 방벽(barrier)의 존재로 생태권과 완전히 격리되어 안정성이 높고, 장기 폐쇄성 등 장점이 있는 반면에 재반출이 곤란한 결점을 갖고 있다.

환경문제에 대한 국민의 관심이 높아짐에 따라 지하폐기물 처분시설에 대한 관심이 높아지고 있다. 지하처분의 경우 지질, 지반의 투수성, 폐기물의 특성, 장기 안전성과 감시의 용이성, 폐기물 재반출의 가능성 등을 고려하여 위치를 선정하여야 한다.

일반적으로 지하처분장에 적합한 폐기물로는 폐기물 소각시설의 잔류물, 배연 제거시 발생한 플라이 애쉬(fly ash), 유독한 화학 폐기물, 가스 세정공정의 반응생성물, 중금속을 포함한 산업폐기물, 하수슬러지 및 무기질 일반 폐기물 등이다.

반면에 부적합한 폐기물로는 저장상태에서 자연발화 또는 연소 우려가 있는 발열물질, 주변지반이나 암염 처분장의 구성 재료와 화학적으로 반응하여 가스나 용해성 유해 반응 생성물을 생성하거나 부식을 진전시키는 폐기물 그리고 액체 등이다.

우리나라는 지금까지 해안매립식 또는 계곡매립형 경사식 처분장이 널리 채택되고 있다. 이 경우 계곡의 지형 및 지반의 특성, 처분장의 규모, 위치 그리고 인문·사회 환경에 따라 처리장 확립을 위한 투자비용 및 처리비 등에 차이가 있기 마련이다.

계곡 처분장의 주요골격으로는 우수 배제시설, 지하수 배제시설, 침출수 집배수 및 처리시설 등이며 이외에 처분장 용량확보를 위한 사면의 굴착과 안정화, 진입도로 개설, 관리 등 부대시설이 소요된다.

#### 나. 폐쇄굴적 설계개요

활용 대상 공동의 크기를 700,000m<sup>3</sup>, 사업대상지역을 제천시외에 인근 2개군으로 이 지역의 폐기물 발생량을 약 300톤/일 로 가정할 때<sup>13)</sup> 대체로 5.2년간 사용할 수 있다.

이와 같은 조건에서 갱내매립장은 별도의 우수 배제 계획이 필요치 않다. 다만 지하수 및 침출수 배제 계획이 마련되어야 한다. 노천 매립장의 경우 유공관, 시트(sheet) 포설 등을 통해 별도로 배제하고 있으나 갱내 채굴공동은 이 지역의 지하수량이 극히 미량이므로 별도 조치없이 침출수 배제계획만을 수립하여도 가능할 것으로 판단된다.

그러나 운반갱도 바닥에는 콘크리트, HDPE 시트 등

을 타설하여 지하수가 하부 암반 내로 침투되지 않도록 조치해야 한다.

이외에 침출수 처리공정과 처리용량, 발생가스 처리, 폐기물 쏘기, 부대 기계설비와 환경관리 체제가 검토되어야 한다.

## 6. 폐갱도 활용을 위한 대책과 제언

광산갱도는 채광작업이 완료될 때까지 한시적으로 운영되기 때문에 영구적으로 운영되는 토포터널 및 대규모 지하공간과는 달리 암반보강에 소홀하게 되며 유지관리가 대체적으로 부실하다. 또한 발파형태는 발파진동 제어가 배제된 상태에서 때때로 과장약 발파가 이루어지기 때문에 갱도 주변암 및 주벽면은 발파진동으로 많은 손상을 받게되어 균열층이 발달되어 있을 뿐만 아니라 이완영역이 확산되어 있다. 이러한 암반의 조건에서 폐갱도를 영구적으로 활용하기 위해서는 별도의 추가적인 보강조치가 이루어져야 하는데 보강설계를 위한 초기단계의 기초자료 및 정보를 수집하기가 매우 힘들다. 이는 지금까지 광산 갱도의 지보형태가 연암구간에서는 철재 및 목재에 의존해 왔으며, 경암구간에서는 부석처리로 갱도를 유지 관리해 왔기 때문에 특별한 암반의 역학적 특성분석과 갱도의 크기 및 형태에 따른 과학적인 지보법 결정 등 거의 필요가 없었기 때문이다. 따라서 충분한 정보도 없이 이렇게 유지된 폐갱도를 안정적으로 유지 관리하기 위해서는 계측관리가 더욱 중요하다.

이상적인 계측관리는 굴착 직후 형성된 암반공동에 계측기를 설치하여 초기값을 수집하고 시차별 계측값의 변화상태를 관찰하여 정량적으로 분석한 후 안정성을 평가하는 것이 원칙이지만 오래 전부터 굴착이 완료되어 방치된 폐갱도는 초기값 수집과 암반변형 상태의 관찰이 이루어지지 않았기 때문에 폐갱도를 활용하는 시점부터 추가적으로 발생될 수 있는 2차적인 지압과 거동상태를 계측하여 폐갱도의 안정상태를 관찰해야 한다.

또한 이러한 암반의 거동 및 파괴는 육안으로 관찰할 수 없을 정도로 서서히 이루어지기 때문에 매우 정밀한 게이지를 이용한 과학적인 자동화 계측이 적용되어야 할 것이다.

이외에도 폐갱도 주변 암반의 creep 거동에 관한 해석, 지하 저장 공동 주위의 열유동해석, 지하수의 유동 특성 등 폐갱도 활용과 관련된 암반공학에 관한 연구가 요구된다.

## 7. 결 론

1960년대 이후 국가경제발전이 지대한 공헌을 하였던 광업은 1980년대 말 이후 급격한 산업구조의 변화로 현재 국내 대부분의 광산은 폐·휴업되고, 석회석 광산 등 몇몇 비금속 광산만이 가행되고 있을 뿐이다.

우리나라의 경우 기존 채굴공동은 방치되고 있지만 외국의 경우 여러 가지 용도로 이용되고 있어 이들 사례를 조사, 검토하여 국내에서도 채굴적 즉 폐광도의 활용 가능성을 검토하는 것은 큰 의미가 있다고 하겠다.

외국의 이용사례로는 산업폐기물의 처리장, 농·수·축산물 및 압축공기 저장, 관광사업 그리고 각종 실험 및 연구시설로의 활용 등을 들 수 있다.

이와 같은 목적을 위해서는 각 이용목적별로 상세한 연구와 검토가 전제되어야 하겠지만 국내에서 비교적 쉽게 활용할 수 있는 분야는 산업폐기물의 채굴공동 내 처리를 들 수 있다.

기존 탄광 및 금속광의 채굴적을 활용하는데는 많은 제약과 어려움이 예상되지만 현재 채굴중이거나 향후 가행할 광산의 경우는 채굴 종료 후 공동의 활용방안을 고려하여 채굴하고 이에 따라 안전 조치 및 사전조사 등을 철저히 실시한다면 충분한 가능성이 있을 것으로 판단된다. 더욱이 환경문제에 대한 관심의 고조로 혐오 물체나 시설의 지하처분 필요성은 앞으로 더욱 높아질 것으로 예상된다.

이와 함께 지하저장 공동 주위의 열 유동해석, 지하수의 유동특성, 채굴에 따른 이완영역의 제어 및 관리, 낙석방지 등 암반공학에 관한 연구가 요구된다.

## 사 사

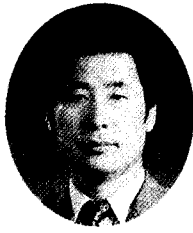
본 연구는 1998년도 한국학술진흥재단 대학부설 연구소 과제연구비(강원대학교 부설 자원개발연구소)인 "환경오염 저감을 위한 석회석 광산 개발 방안"에 관한 연구의 일부로 이루어 졌음.

## 참 고 문 헌

1. 대한광업진흥공사, 1995, 국내 폐광경도(대규격)활용에 관한 연구, 323p.
2. 선용, 1992, 지하공간 개발현황 및 그 전망, 터널과 지하공간, 2.1, 11-27.
3. 이정인, 1994, 국내 대규모 지하저장시설의 건설기술 현황 및 전망, 곡물엘리베이터와 농·수·축산물의 지하 암반저장 시설, 151-175.
4. 齊藤修二外, 1991, 鑛山の坑内空洞の利用, 日本資源素材學會 春季大會.
5. 羽根義, 1990, 廢道を利用した地下貯藏および冷凍庫の設計と實務, 日本資源素材學會, 秋季大會.
6. 日本土木學會, 1990, 壓縮空氣貯藏發電システム(CAES)と土木技術, 301p.
7. 清水保明, 1995, 非核廢棄物の地下處分-設計上の留意點, トンネルと地下, 26.6, 51-59.
8. 內野健一外, 1993, 鑛山の新しい役割(廢棄物の最終處分工場としての可能性), 日本資源素材學會, 秋季大會.
9. 松村治夫, 1990, 有害廢棄物に關する處理の現狀と課題, 日本資源素材學會, 秋季大會.
10. 日本土木學會, 1990, 土木技術者のための高レベル放射性廢棄物地層處分の現狀と技術的課題, 339p.
11. 강원도 정선군, 1995, 화암동굴 확충개발 설계서.
12. 한국자원연구소, 1991, 도서, 폐광 현황 및 활용성 연구.
13. 환경처, 1994, 전국 폐기물 발생 및 처리현황.

---

**임 한 옥**



1966년 서울대학교 공과대학 자원공  
학과, 공학사  
1980년 서울대학교 대학원 자원공학  
과, 공학석사  
1985년 서울대학교 대학원 자원공학  
과, 공학박사  
1996-1998년 강원대 공과대학원장  
겸 산업대학원장

Tel : 0361-250-6253

E-mail : hulim@cc.kangwon.ac.kr

현재 강원대학교 공과대학 지구시스템공학과 교수

---

---

**백 환 조**



1984년 서울대학교 공과대학 자원공  
학과, 공학사  
1986년 서울대학교 대학원 자원공학  
과, 공학석사  
1994년 University of Texas at Austin,  
토목공학과, 공학박사

Tel : 0361-250-6257

E-mail : hwanjo@cc.kangwon.ac.kr

현재 강원대학교 공과대학 지구시스템공학과 교수

---

---

**김 치 환**



1983년 서울대학교 공과대학 자원공  
학과, 공학사  
1985년 서울대학교 대학원 자원공학  
과, 공학석사  
1990년 서울대학교 대학원 자원공학  
과, 공학박사

Tel : 0652-290-1468

E-mail : kimchee@hanimail.com

현재 우석대학교 토목공학과 조교수

---