

# 지하공동에 의한 지반침하 평가 연구

권광수 한국자원연구소 자원개발연구부 부장

박연준 한국자원연구소 자원개발연구부

최근 국내 광산들의 잇달은 폐광과 함께 광산관리의 부재로 말미암아 여러가지 문제가 야기되고 있다. 그중 대형재해의 불씨를 안고 있는 광해의 하나가 바로 지표침하이다. 본 연구는 이러한 지표침하 문제에 과학적이고도 합리적인 방법으로 대처하기 위하여 4개분야(지질, 탐사, 암반공학 및 안전공학)가 공동으로 연구한 결과를 기술 하고자 한다.

## 지질

침하의 1차적인 원인은 지하채굴로 인하여 형성된 공동이 무너져 내림으로써 그 영향이 지표까지 발전하는 것이지만, 이 발전과정은 공동상반조건 및 공동의 모양, 그리고 지층 내부에 존재하는 연약층의 발달상태와 밀접한 관계가 있다. 따라서 침하예상지역 부근에 대한 지질조사를 수행하고, 단층, dyke등의 발달상태를 2차원 단면도 및 3차원 block등으로 표시하여(그림1 참조) 연약면을 따른 공동 상부지층의 붕괴 가능성을 제시하고, 공동 안정성 해석에 사용될 입력자료를 제공 하였다.

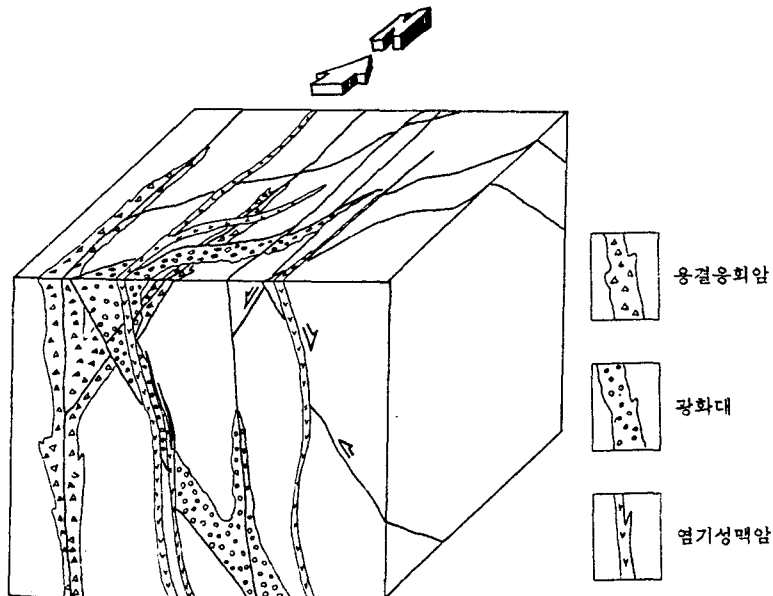


그림1. 대상지역의 단층운동과 용결응회암의 관입, 광화작용, 염기성 암맥의 관입 모식도

탐사

이미 함몰된 지역과 지표에 주거 및 공장시설이 존재하고 있는 지역에 대하여 보다 정확하게 지반의 안정성을 조사해 보기 위하여 탄성과 Geotomography가 실시 되었다(그림2 참조). 이 기법으로는 지하의 암반이 파쇄되었는지의 여부와 공동의 존재 여부까지 알 수 있으나, 단면의 폭이 50m 정도로 한정되어 있고, 지반의 상태에 따라 여러가지 원인으로 파가 수신되지 않는 경우가 있어, VSP ( Vertical Seismic Profiling ) 기법 및 시추공 탄성과 반사법등이 병행하여 사용 되었다. 그 결과 공동상부의 단층 및 연약지반대가 발견되었으며, 공동의 최상부도 확인 되었다.

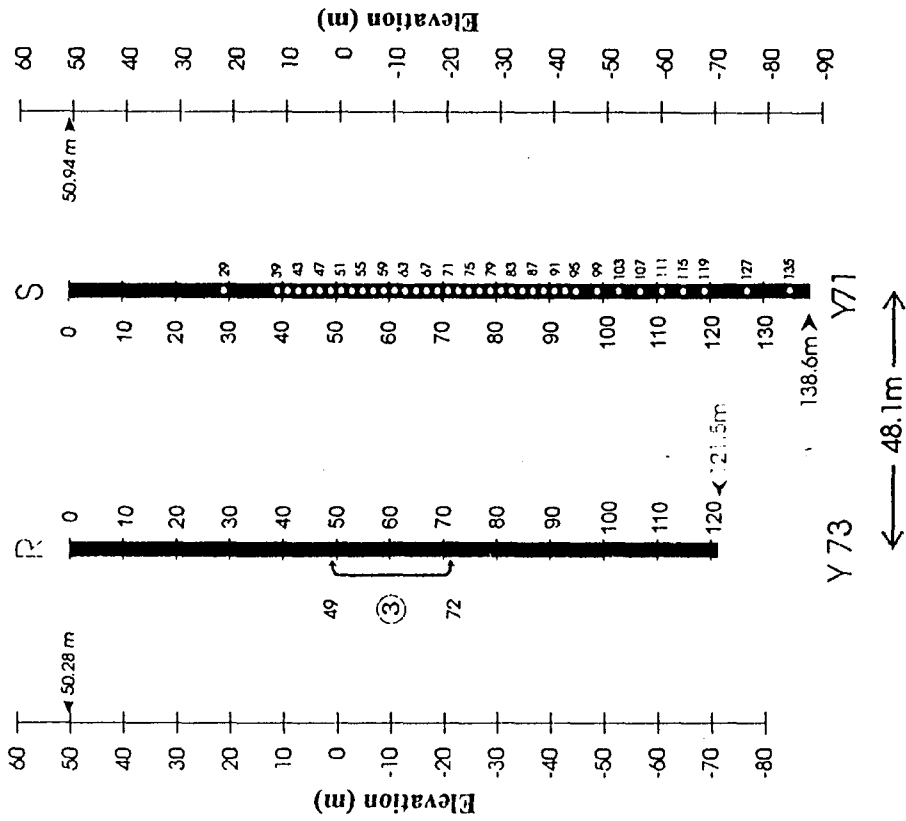
암반공학

지반상태에 대한 기초자료를 얻기 위하여, 시추에 의한 core logging 및 R.Q.D 산정, 그리고 시추 core에 대한 암석역학적인 물성시험이 행하여 졌고, 현장답사와 실험실 실험 결과를 토대로 하여 R.M.R 및 Q System에 의한 암반분류가 실시 되었으며, 시추공내에 직접 borehole camera를 투입하여 시추공 벽면 상태를 촬영하고, 이에 따라 시추공 부근의 암반상태를 추정 하였다(표1 및 그림3 참조). 시추공 관찰을 통하여 어떠한 정량적인 data의 추출에는 실패 하였으나, 지하수위의 정확한 측정, 그리고 파쇄대의 위치 및 상태를 직접 눈으로 확인함으로써, 추후의 대책수립 및 이의 검증에 많은 도움이 될 것으로 사료된다.

표1. 시추공 core 분석자료 및 사진촬영 결과

심도	코어 Logging 자료	시추공 사진촬영 결과	
		심도별 특징	전체적 상태
0 ft	표토층		- 촬영 전구간에 걸쳐 경사경리가 많이 존재.
50 ft	Rhyolite	- 50ft부터 큰 절리가 많고, 부서진 곳도 나타남.	- 전부 구간에서는 일부 지표수가 절리를 통해 공내로 유입.
100 ft	Clay Zone	- 130ft부터 전체적으로 부서져 형태유지 안됨.	
150 ft	Rhyolite 변질		
	Clay Zone	- 160ft부터 공벽이 크게 부서져 공동형성된 곳이 많음.	
200 ft	Rhyolite		
	이 하부는 코어회수불량	- 224ft에서 지하수면 나타남.	- 지하수면 하부 구간에서는 물이 맑은구간과 혼탁한 구간이 구분되어 나타남.
250 ft	시추시 공내로 Air 방출	- 250-270ft에서 카메라장비 몇번 걸림.	
300 ft	Rhyolite		- 지하수면 하부는 비닐등 시추때의 물결이 많이 떠돌아 있어 공벽형태를 가림.
350 ft	Rhyolite	- 365ft에서 공벽이 무너져 공동형성.	
400 ft	사질화 코어, 탈색변질 Rhyolite	- 367ft부터는 시추공상태가 불량해 이 하부로는 카메라장비를 내릴 수 없어서, 촬영을 못하였음.	
450 ft	- Rhyolite 암편회수 - 굴진속도토 보아 - 파쇄구간 추측 - 코어회수 불량		
500 ft			

Area No. 7  
Survey No. : 814



P-wave velocity distribution  
Bupyong Area No. 7

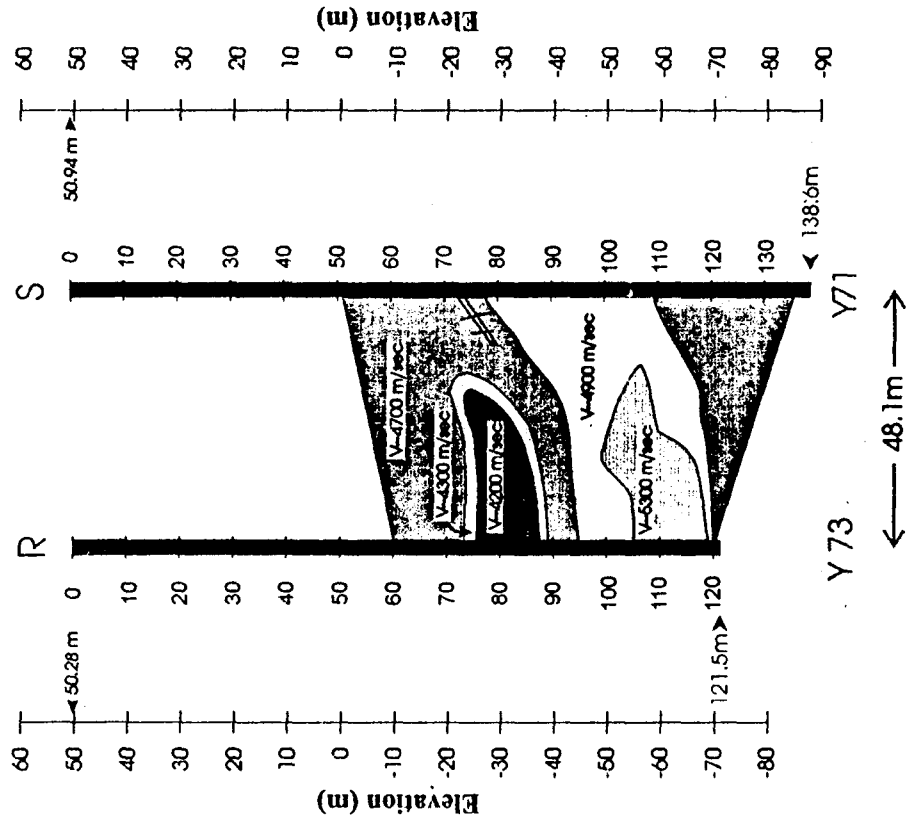


그림2. 탄성파 지오토모그래피의 응용 : 발생원-수신기의 배열상태 및 해석단면도

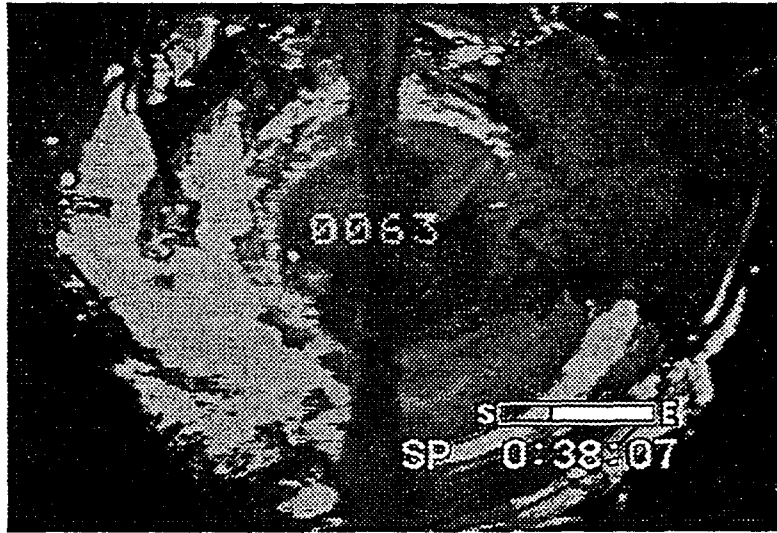


그림3. 카메라로 촬영된 시추공 상태 사진

또한 지질, 탐사, 암석역학적인 조사결과로 수집된 자료들을 분석하여 현지의 지질조건, 공동의 위치 및 모양등을 modelling하여 안정성 검토를 위한 전산해석을 실시 하였다(그림4 참조). 전산해석에 사용된 프로그램은 이미 국내에서도 인정을 받고 있는 FLAC을 사용 하였다. 이미 지반이 붕락된 지역에 대하여 해석한 결과, 지하공동의 천반이 붕락되며, 붕락지역이 지표로까지 확장되는 양상을 비교적 정확하게 보여 주었으며(그림5 및 6 참조), 침하 예상지역에 대한 해석에서는 공동사이의 pillar의 상태에 따라 안정성 여부가 달라지는 결과를 보여 주었다. 이 전산해석으로는 침하방지 대책수립 및 보강후의 상태 검증에도 많은 도움이 될 것으로 생각 된다.

#### 안전공학

개발구역에 대한 개발상황도와 지질, 지형도 그리고 침하이론등을 기초로 하여 위험지역의 선정이 행하여 졌으며, 지질, 탐사 및 암반공학적인 조사를 토대로 최종 안정성 평가가 실시 되었다. 침하양상은 연암과 경암, 층상암반과 괴상암반, 그리고 이외의 구조지질적 요소등에 영향을 받기 때문에 경험적인 판단이 매우 중요한 역할을 하게 된다

#### 문제점 및 개선방향

본 연구에서 사용된 해석기법 및 측정장비들은 세계적으로도 첨단에 속하는 것으로써 이 분야의 기술적인 수준을 대변한다고 말할 수 있다. 그러나 탐사분야에 있어서의 단면폭의 한계, 수신기의 민감도 및 signal과 noise의 분리해석문제, 그리고 전산해석에 사용되는 입력자료의 결정, 실험실 시험결과로부터 현지암반의 물성을 추측하는 합리적인 방법등은 개선의 여지가 많이 남아 있는 부분이며, 3차원적인 문제를 2차원으로 해석함으로써 발생 하는 오류등은 아직도 해결해야할 과제로 남아 있다.

#### 참고문헌

- 1.부평광산 개발구역 안전진단 및 평가연구 1993.11, 한국자원연구소, 권광수의 19인
- 2.지하채굴에 따른 지표시설물 안전대책연구 1993, 한국자원연구소 보고서 KR-93-7C-1, 권광수의 5인

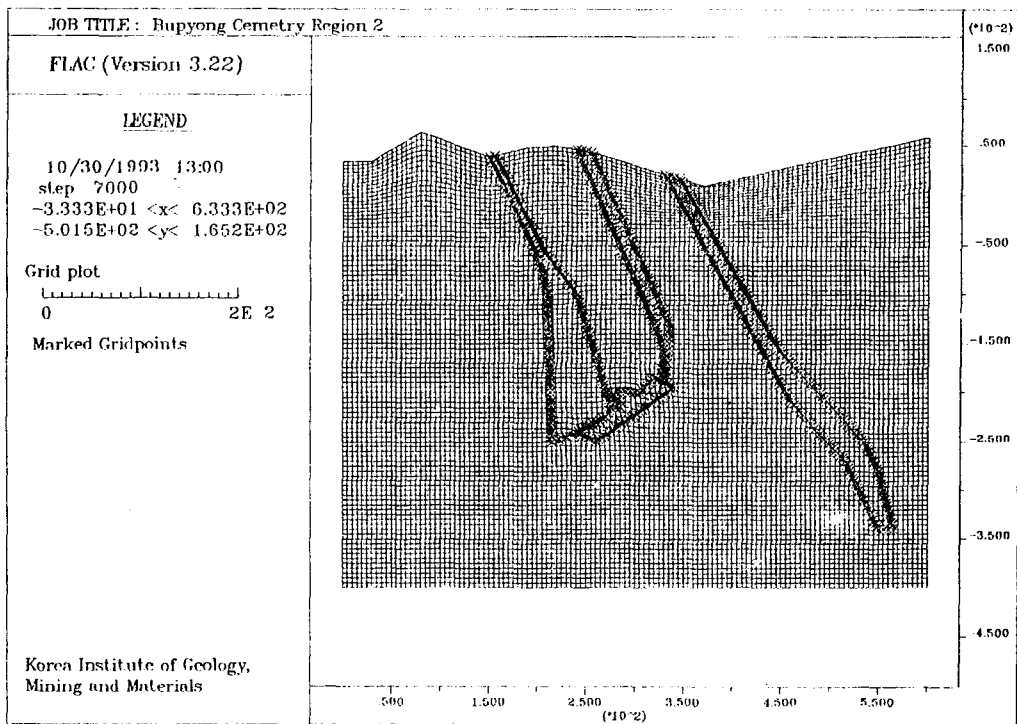
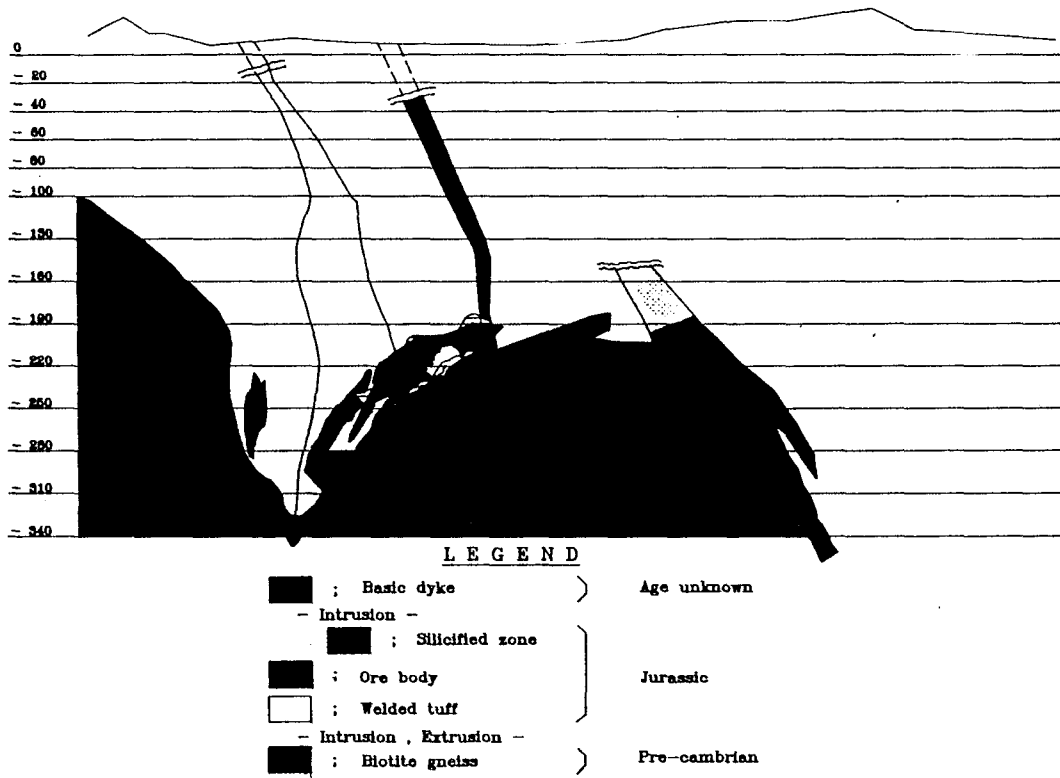


그림4. 대상지역 지질단면도 및 전산해석을 위한 요소망

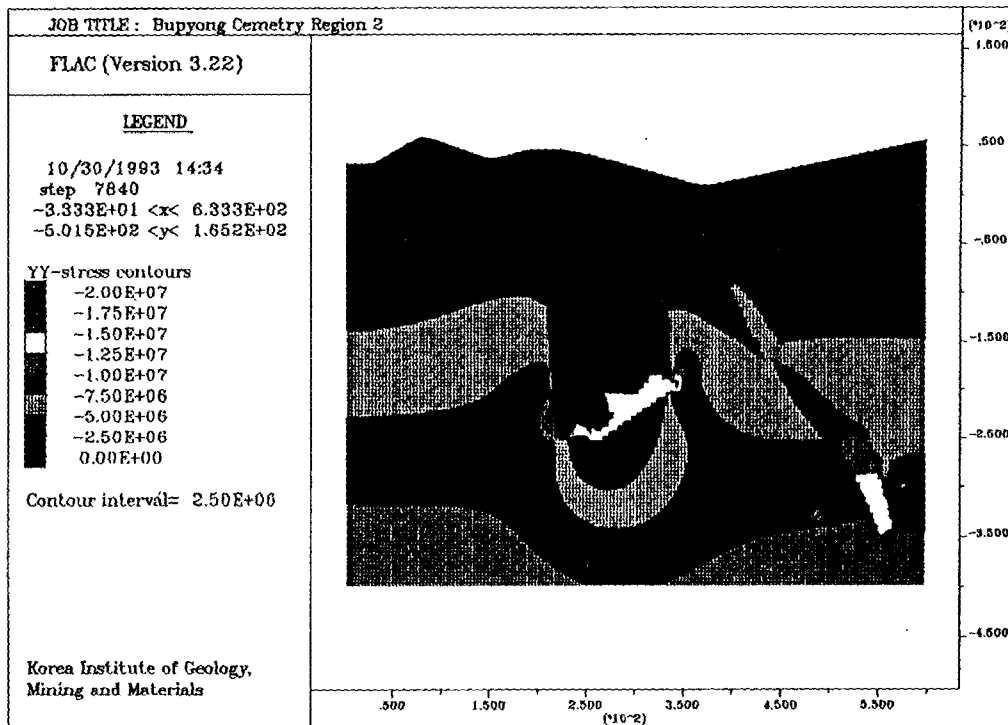


그림5. 공동굴착후의 연직응력 분포도

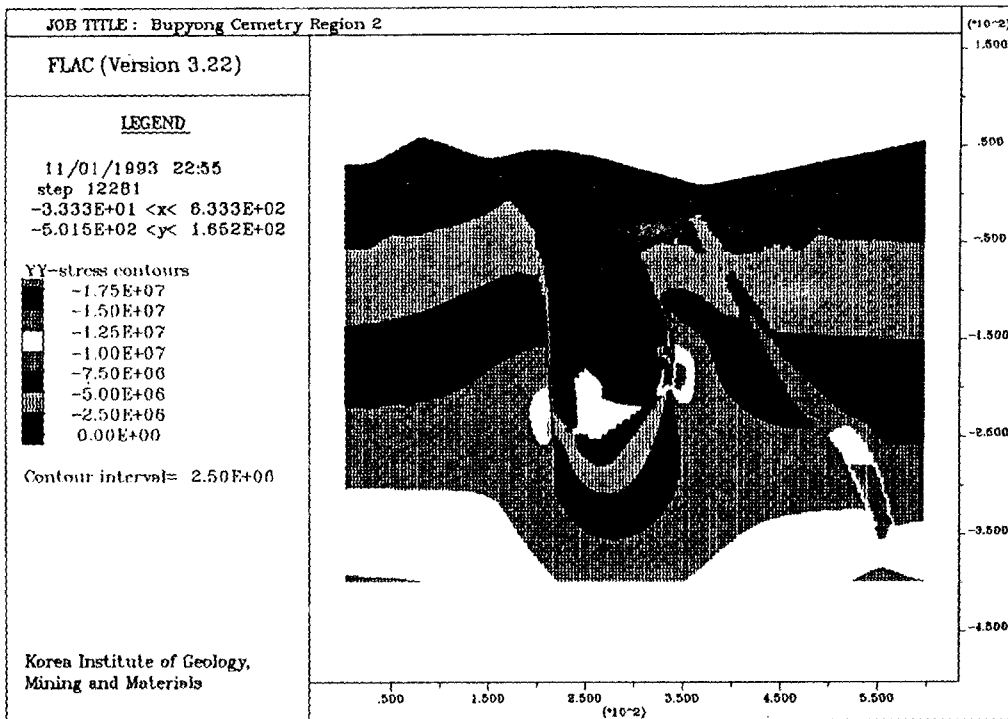


그림6. 붕락부분 제거후 연직응력 분포도