

채굴 지역에서의 건축물 기초 지반 안정성 평가 연구

권광수¹⁾ · 박연준²⁾

Stability Assessment of Building Foundation over Abandoned Mines

Kwang-Soo Kwon and Yeon-Jun Park

Abstract. The cavities created by underground mining, if remained unfilled, can cause ground settlement and surface subsidence as a result of relaxation and breakdown of the carven roof. Construction of structures above the underground mine cavity will have serious problems concerning both structural stability and safety even if the cavity is back-filled. This study was conducted to confirm the location and condition of the cavern as well as the state of the back-fill in A mine area using core logging and borehole camera. The bearing capacity and other mechanical properties of the ground were also measured by the standard penetration test(SPT). Obtained data were used to assess the stability of the ground and the structures to be built by numerical analysis using FLAC. The site investigation results showed that the mine cavities were filled with materials such as boulder and silty sand(SM by unified classification). Result of the numerical analyses indicated that constructing building structures on the over-lying ground above the filled cavities is secure against the potential problems such as surface subsidence and ground settlement.

Keywords: surface subsidence, underground mine cavity, filling material

초 록. 지하채굴로 생성된 공동이 충전되지 않은 상태로 있으면 공동 천반의 이완과 붕락에 의해 지반침하 및 지표함몰이 발생한다. 특히, 채굴적 상부에 구조물이 건축될 경우 구조물의 안정성에 심각한 영향을 미친다. 본 연구는 A 채광 지역 채굴적의 충전상태 및 채굴적 분포상황을 조사하기 위해 시추조사와 시추공 카메라 조사를 수행하였으며, 표준관입시험을 통해 암반의 물성 및 지반의 지지력을 측정하였다. 또한 전산해석 프로그램(FLAC)을 이용해 채굴적 상부에 구조물이 건축될 경우 발생하는 지반침하 및 지반침하가 구조물의 안정성에 미치는 영향을 조사하였다. 지반조사 결과 채굴적은 대부분 전석이나 광미(tailing) 등과 같은 물질로 충전된 상태였고, 충전물의 공학적 분류는 SM에 속했다. 측정 자료를 근거로 실시한 전산해석 결과 충전된 채굴적 상부에 구조물이 건축될 경우 구조물 및 지반의 안정성에는 큰 문제가 없는 것으로 조사되었다.

핵심어: 지반침하, 지하채굴공동, 충전물

1. 서 론

지하에서의 채굴로 인해 형성된 공동이 충전되지 않은 상태로 있으면 지반의 강도감소, 지반의 creep 변형, 침투수압에 의한 유효응력의 감소 등으로 인해 공동 천반이 이완되고 붕락되면서 점차 상부로 이어져, 장기적으로는 지반침하 및 지표함몰이 발생하게 된다. 이러한 지하채굴로 인한 지표침하는 지하공동의 천반부가 붕락되면서 그 영향이 지표까지 발전하는 것인데 이 발전과정 및 영향범위는 공동 상부의 지층발달상태, 공동의 모양, 지압조건 및 지층내부에 존재하는 연약대의 발달상

태에 따라 달라지므로, 수식이나 특정이론에 따른 일반적인 평가기준을 마련하기는 매우 어렵다.¹⁾ 특히 이런 지역의 상부에 구조물을 건축할 경우 부등침하 등과 같은 지표침하 현상이 발생해 구조물의 안정성에 심각한 영향을 미치게 된다. 따라서 구조물의 안정적인 구축을 위해서는 위험예상 지역에 대한 지반안정성 평가가 선행되어야 할 것이다. 이를 위해서는 먼저 기존 자료의 수직 및 시추조사와 지반 지지력 측정이나 암반 물성 평가와 같은 지반공학적 조사를 통해 하부 채굴적의 분포상황, 채굴적 상부의 지반구조 및 지지능력, 지질구조 등을 정밀하게 파악해야 한다. 이러한 자료를 바탕으로 불안정한 지역의 지반 안정화 방안이나 적절한 보강공법 등의 대책을 수립하여야 한다.

본 연구에서는 A 광산 일대의 채굴적 상부에 건설될 고층 아파트 구조물의 안정성과 관련하여 지반조사와

¹⁾정회원, 한국지질자원연구원 탐사개발연구부 책임연구원

²⁾정회원, 수원대학교 토목공학과 조교수

접수일 : 2001년 7월 12일

심사 완료일 : 2001년 5월 11일

전산해석을 실시함으로써 채굴적으로 인한 지표침하 가능성 및 건축물의 안정성에 미치는 영향을 평가하였다. 채굴적 분포상황 및 충전상태를 규명하기 위해 시추조사 및 시추공 TV 카메라 조사를 실시하였으며, 표준관입시험을 병행 실시하여 지반의 지지력을 측정하고 실험실 시험을 통하여 암반의 물성을 평가하였다. 이러한 자료들을 토대로 채굴적 상부에 건축물이 구축될 경우에 대하여 FLAC을 이용한 전산해석을 실시하여 지표침하 가능성 및 부동침하에 따른 구조물의 안정성을 평가하였으며 안정적인 구조물 건설을 위한 지반 강화 및 구조물 기초 보강 등의 방안을 제시하고자 하였다.

2. 현장 개요

대상 지역은 경기도 내의 A 광산 지역 선광장 부지로 사용되던 곳이다. 이 지역의 지질은 선 캄브리아 변성암류와 중생대 쥐라기의 화성암류로 이루어져 있는데, 주로 용결 응회암과 염기성 맥암이 분포하고 있다. 급속 광상은 맥상이며 주향이 N30°W이고 경사는 지표 하부 100 m까지는 55°-60°SW, 그 하부에서는 수직 또는 NE 방향으로 급경사를 이루고 있다.

채굴적은 1960년대에 채광하여 생성된 것으로 각 level간의 수직 간격은 30-40 m, 갱정 간격은 40-50 m, 광석 반출용 슈트 간격은 10-15 m이었다. 3 m×3 m 내지 5 m×5 m 규모의 보안 광주를 10 내지 15 m 간격으로 남겨두면서 채광하였으며 각 level의 최하부 5 m 정도는 채굴하지 않고 남겨두었다.

1970년대 중반에 지반 침하 방지를 위하여 채굴 공동을 광미와 주변의 파쇄 암편으로 충전하였다. 조사부지 하부의 채굴적 평면도와 함께 건설될 아파트 구조물의 위치를 Fig. 1에 도시하였다.

1-1'에서 23-23'까지 10 m 간격으로 23개의 횡단면도를 작성하여 채굴 공동의 수직적인 구조를 파악하였으며, 안정성 해석에도 사용하였다.

3. 지반안정성 평가

조사대상 지역 일대의 상세한 지질 및 채굴적 분포상황 그리고 지반 지지력 측정을 위해 다음과 같은 조사를 실시하였다.

3.1 시추조사 및 지반 지지력의 측정

본 연구에서는 조사 대상 부지 하부의 지질과 채굴적 분포상황을 확인하기 위하여 기존의 채굴적 평면도와

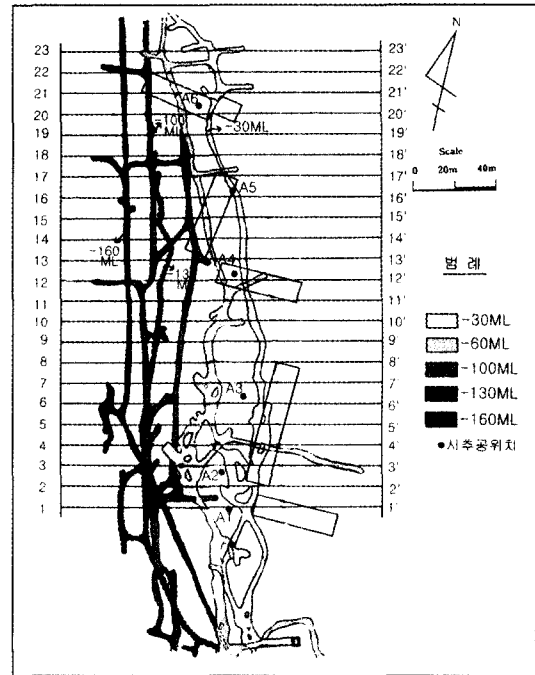


Fig. 1. Plan view of mined out cavern and location of the buildings.

상부 구조물 건축 위치를 근거로 6개 지점을 선정하여 시추조사를 실시하였다(Fig. 1 참조). 시추 작업은 rotary wash 방식으로, 각 시추공의 시추심도는 기 자료인 채굴적 평면도에 나타나 있는 시추지점 직하부 level의 채굴적에 도달할 때까지로 하였다. 본 지역의 채광 level은 지표로부터 -30 m에서 -160 m이었으나, 채굴적은 이미 충전되어 있는 상태이고 -100 m 이하의 심부 채굴적은 지반의 안정성에 큰 영향을 미치지 않을 것으로 판단하여 시추확인 대상심도를 -60 m로 하였다.

시추와 함께 지반의 지지력을 측정하기 위하여 1.5 m 간격으로 표준관입시험을 풍화암대까지 실시하였으며, 표준관입시험 결과로 구해진 N 값은 지반의 지지력 및 강도정수를 산정하는데 이용하였다.

3.2 시추공 TV 카메라 촬영조사

시추심도와 하부 채굴 공동과의 관통상태를 확인하기 위하여 시추공 TV 카메라 촬영조사장비(Borehole TV Camera Inspection System)를 사용하였다.²⁾ 이 장비는 크게 카메라 부분, controller 부분, winch, TV 모니터와 VCR, battery 등의 주변기기로 구성되어 있는데, cm 단위로 시추심도가 측정되고 시추공벽 상에 나타나

는 균열면의 방향과 경사를 확인할 수 있으며, 시추공의 부분적 파쇄대 등의 물리적 손상상태를 조사할 수 있다. 촬영방법은 먼저 시추공 입구에 케이블로 연결된 카메라를 위치시켜서 심도 count를 0으로 설정한 다음, 시추공 내로 카메라를 내리면서 시추공벽의 화상을 모니터로 보면서 동시에 VCR에 녹화시킨다. 카메라 앞부분에 있는 control unit의 조명조절장치에 의해 밝기조절이 가능하며, 조명장치 바로 위에 부착되어 있는 나침반 및 경사계를 이용하여 질리의 방향 등을 조사할 수도 있다.

3.3 지반 안정성 해석

지표침하는 지하공동의 형태, 심도, 굴착방법, 지보방법 그리고 주변지반의 지질 및 지하수 조건 등 여러 가지 변수에 영향을 받으므로 이를 정확히 예측하는 것은 매우 어렵다. 현재 널리 사용되고 있는 침하 예측방법으로는 현장계측에 의한 경험적인 방법, 윤곽함수와 영향함수를 이용하는 방법, 모형실험을 통한 방법 등과,²⁾ FEM/FDM 프로그램을 이용한 수치해석에 의한 방법 등이 있다.³⁾ 본 연구에서는 채굴공동의 붕괴여부 및 공동의 붕괴가 지표침하에 미치는 영향을 조사하기 위하여 미국 Itaska Consulting Group Inc.의 Peter Cundall 박사에 의해 개발된 FLAC을 사용하여 전산해석을 수행하였다.

3.3.1 해석 방법

FLAC은 운동방정식을 기본으로 하여 초기조건과 경계조건을 만족하는 해를 구하도록 구성되었으며, 중력과 초기응력이 외력인 토질 및 암반공학적 문제를 풀기 위해 개발되었기 때문에 중력에 의한 지하공동의 천반 붕락이나 사면안정 등의 예측에 매우 유용하다. FLAC을 이용한 해석과정은 Fig. 2와 같이 크게 Model setup

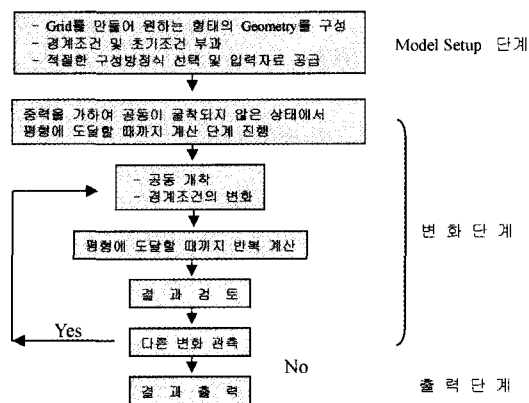


Fig. 2. Analysis procedure by FLAC.

단계, 변화단계, 출력단계로 나눌 수 있다. 본 연구에서는 부지의 지반에 발생한 변화의 순서대로 초기 평형단계, 채광 및 충전단계, 구조물 건립단계의 3단계 해석을 수행하였다. 해석 결과는 여러 가지 변수에 의한 여러 형태로의 표현이 가능하지만, 해석 대상 암반의 지형 및 지질구조를 표현하기 위한 요소망과 구조물의 건립에 따른 지표 및 기반암의 침하 양상을 살펴보기 위한 수직변위를 해석결과로 나타내었다.

3.3.2 현지 지반 모델링

현지 지반의 모델링은 지형 및 지질정보를 반영한 요소망과 각 층의 물성, 그리고 초기조건 및 경계조건으로 구성된다. 해석 요소망은 해석단면에 따라 달라지므로 본 절에서는 현지암반 및 토사층에 대한 물성산정과 초기조건 및 경계조건에 한하여 설명하고자 한다.

현지 암반물성은 지질조사 및 시추코어에 대한 실험실 시험결과를 바탕으로 암반평가를 실시하고, 암반의 등급에 대한 정량적 자료를 근거로 산출하였다. 암반평가는 전산해석 입력자료로 직접 이용할 수 있는 RMR (Rock Mass Rating System)에 의한 방법을 사용하였고 그 결과는 Table 1에 나타나 있다.

해석 요소망의 좌우 경계에서는 수평방향의 변위를 구속하였고, 요소망의 하부경계는 수평 및 수직방향 변위를 구속하였다. 부지하부의 초기응력은 측정된 바 없으나 가능한 지반 안정성에 불리하도록 수직방향 응력은 암반의 자중에 의한 것으로 가정하였고, 수평방향 응력은 수직방향으로의 암밀시 Poisson 효과에 의해서만 고려되도록 하였다.

4. 결과 및 토론

4.1 시추조사 결과

시추결과 나타난 지반의 심도별 구성물질을 보면, 상부의 토사층에는 매립물질로 보이는 점토, 전석, 또는 자갈, 모래 등이 존재하였고 그 하부에 비교적 얇은 층

Table 1. RMR classification of the rock at the site.

종목	암반상태	점수
RQD	25% 이하	3
단축압축강도	50~100 MPa	7
절리간격	60 mm 이하	5
절리상태	다소 거칠다, 절리간극 1 mm 이하, 모암 연약	20
지하수	10~25 리터/분	7
절리방향 보정	경도 및 채굴적 안정성에 매우 불리	-12
총 점	불량	30

Table 2. Ground water level and composition of ground at each borehole.

시추공 번호	표고 (m)	시추심도 (m)	지하수위 (m)	지반 구성물질
A-1	48.0	60.0	7.65	점토+모래+풍화암+연암
A-2	48.2	47.7	8.10	점토+전석+모래+연암+경암
A-3	48.0	47.5	8.20	점토+전석+풍화암+연암
A-4	49.8	37.0	8.80	점토질모래+자갈모래+점토질 실트+풍화암+연암
A-5	47.5	26.0	9.00	점토질자갈+전석자갈+각자갈+ 연암
A-6	50.0	48.0	8.10	점토질자갈+자갈모래+풍화암+연암+경암

Table 3. Drilling state at presumed cavity intersection level.

시추공 번호	시추심도 (m)	관통심도 (m)	비고
A-1	60.0	-	관통부분 없음
A-2	47.7	47.7	
A-3	47.5	46.5	20~30 cm 간격으로 룯드 낙하
A-4	37.0	35.0	
A-5	26.0	23.0	충전물 채취
A-6	48.0	46.0	20~30 cm 간격으로 룯드 낙하

의 풍화암대, 그리고 기반암이 나타났다. 전체적으로 시추심도는 26 m~60 m 사이로서 기반암 이하 심부까지는 시추를 하지 않았으므로 코아 회수율은 매우 낮았으며, 지하수위는 지표로부터 8 m~9 m 하부에 위치하고 있었다. 6개 시추공의 표고 및 시추결과 나타난 지하수위와 지반의 구성물질은 Table 2와 같으며, 시추지점에서 하부 채굴적과의 관통상황은 Table 3과 같다.

시추조사를 통해 나타난 지반의 층서를 바탕으로 유추한 조사부지의 기반암 분포 심도는 Fig. 3과 같다. 또한 표준관입시험에 의해 얻어진 각 시추공에서의 심도별 N값으로부터 정규화시킨 N값(normalized N-value)을 구하여 지반의 공학적 특성을 기준으로 지층을 구분하였는데, 이는 Fig. 4에 도시한 바와 같다. 이상의 결

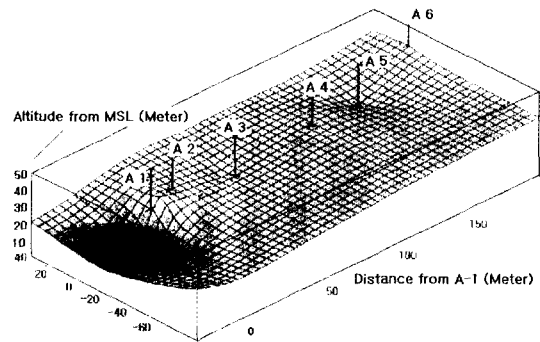


Fig. 3. Surface map of bed rock at the site.

과를 살펴보면, 토사층의 두께는 A-1 지점에서는 18 m 이나 A-6 지점에서는 10 m로 나타나 북쪽으로 갈수록 토사층은 얇아지는 것으로 나타났으며, 풍화암층의 두께는 3 m 이내이었다.

4.2 현지 지반의 물성

현지 지반은 암분류상 상부로부터 토사층, 풍화암 및 기반암으로 구분할 수 있다. 토사층은 매립토와 원래의 토사층 및 광미가 혼재되어 있으나, 흙의 통일 분류상 SM으로 분류될 수 있으며, 그 하부의 풍화암은 기반암

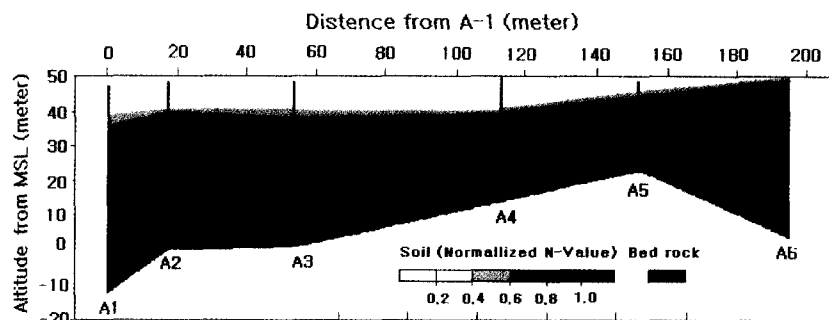


Fig. 4. Distribution of rock and soil classified by standard penetration test.

Table 4. In-situ rock and soil properties used in the analysis.

구분	물성 Density (kg/m ³)	K (Pa)	G (Pa)	ϕ (degree)	c (Pa)	St (Pa)
기반암	2,700	1.48E9	1.35E9	40	0.16E6	0.01E6
광체	4,700	10E9	8E9	40	0.16E6	0.01E6
풍화암	2,700	0.74E9	0.67E9	35	0.08E6	0.01E6
토사층	1,550	6.12E6	3.67E6	28	0	0
충전물	1,700	6.12E6	3.67E6	28	0	0

에 비해 균열의 발달이 심하고 대략 3 m 내외의 두께를 가지고 있는데, 코아채취가 불가능하였다. 채굴 공동내의 충전물은 실트질 모래로 분류되어 역시 SM으로 분류하였다.

토사층과 충전물에 대하여는 현장에서 불교란 시료의 채취를 시도했으나 접성이 낮아 실패하였고, 표준관입시험을 실시하여 N값을 구한 후 여러 지반정수 추정식 중 하한값을 주는 식들을 이용하여 토사층과 충전물의 물성을 산정하였다. 기반암 및 광체의 물성은 Table 1을 바탕으로 산정하였으며, 풍화암의 물성은 기반암의 강도 및 변형계수의 1/2로 가정하여 Table 4에 수록하였다.

4.3 시추공 촬영조사 결과

시추공은 모두 6개이나 조사부지 천부의 토사층이 연약하여 시추공이 유지되지 않는 곳이 있어, 카메라 촬영조사는 A-2, A-4 및 A-5의 3개 시추공에 대해서만 수행하였다. 또한 촬영조사는 시추공의 유지가 불안정한 관계로 시추 후 단시간 내에 이루어졌다. 따라서 시추공 내의 지하수가 시추로 인하여 혼탁해졌고, 천부의 토사층 부분에는 케이싱이 설치되어 있어 혼탁한 물이 빠져나가지 못해 이 구간에서는 공벽이 잘 관찰되지 않았다. 3개 시추공 모두 연암이 나타나는 심도부터 촬영을 하였는데, 환경사 질리가 많이 존재하고 채굴적과 만나는 하부에서는 공벽이 파쇄된 부분이 많았다. 각 조사 시추공의 시추심도, 지하수위 및 채굴적 관통 확인 상

Table 5. Findings by borehole camera inspection and corresponding depths.

시추공 번호	촬영심도 (m)	지하수위 (m)	관통심도 (m)	비고
A-2	48.7	7.0	48.7	공동으로 추정된 공간 보임
A-4	36.4	7.7	34.7	전석이 쌓인 것으로 추정
A-5	23.9	8.2	23.7	Lamp가 바닥의 충전물에 파묻힘

황 등은 Table 5에 나타나 있다. 촬영결과를 보면 A-2 시추공의 경우, 최하부에 공동 입구로 보이는 영상이 나타났지만 어느 정도 크기인지는 카메라의 진입이 불가능해 확인하지 못하였고, 다른 2 공은 채굴적과 관통한 것으로 보이지만 과거의 충전물이나 전석 등이 바닥에 쌓여 있고, 비어있는 공간이 거의 나타나지 않았으므로 채굴적은 대부분 채워져 있는 것으로 판단되었다.

Fig. 5는 시추공 카메라를 이용하여 A-5 시추공을 촬영한 결과로 그림의 상단 좌측의 숫자는 심도를 m 단위로 표시한 것이며, 상단 우측은 촬영시간을 표시하고 있고, 하단 좌측의 표시는 촬영 지역과 공번을, 하단 우측은 촬영 날짜를 표시한 것이다. Fig. 5a는 시추공 입구(케이싱 부분)를 촬영한 것이고 Fig. 5b는 심도 8.22 m에서의 지하수면을 촬영한 것으로 지하수면은 큰 원부분으로 나타나 있다. Fig. 5c는 시추공 바닥부분을 촬영한 것으로 공벽이 심하게 파쇄되어 있음을 알 수

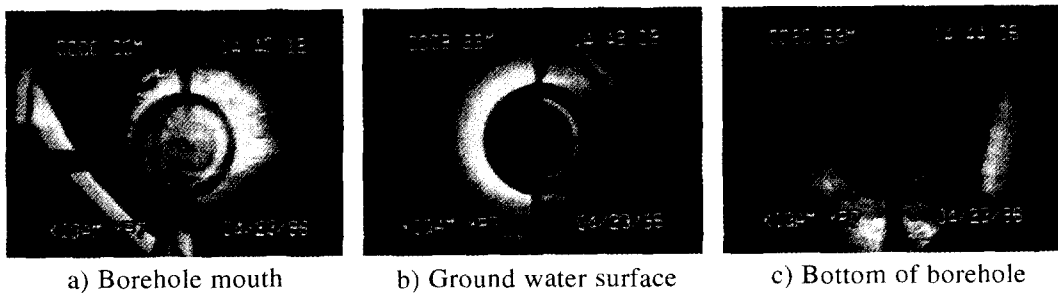


Fig. 5. Borehole camera images of A-5 Borehole at different depths.

있으며 바닥에 광미로 추정되는 물질이 보여 촬영을 종료하였다.

4.4 지반 안정성 해석 결과

건축물이 구축될 것으로 예상되는 각각의 지점에 대하여 건물의 부가적인 하중에 따른 지반 및 건물의 침하 양상과, 침하로 인한 건축물의 파괴양상을 예측하기 위해 다음과 같이 전산해석을 수행하였다.

4.4.1 단면 1-1'

채광도면(Fig. 1)과 측량결과 및 시추결과를 종합하여 Fig. 6과 같이 해석을 위한 요소망을 작성하였다. Fig. 6은 약 20,000여개의 요소로 건축물과 상부 토사층 및 풍화암, 그리고 기반암과 충전된 채굴공동을 구현한 것으로, 경계효과를 배제하기 위하여 폭 400 m, 높이 200 m 구간의 지반을 포함하고 있다. 요소의 크기는 건축물 근처의 지표부근에서는 1 m×1 m이며, 좌우 해석 경계부와 지하 심부로 갈수록 점차 크기가 증가하도록 하였다. 또한 건물의 기초인 pile을 기반암이 지지해 줄 수 있는지를 규명하기 위해 400 mm 직경의 PHC pile을 각각 풍화암과 30 m 갱도 바닥까지 설치해 지반과 건물의 거동을 살펴보았다.

pile은 FLAC의 beam 요소로 모델링 하였으며, 주변 여건상 항타에 의한 pile의 설치가 불가능하여 천공후 설치가 예상되므로 주변 마찰은 고려하지 않고 선단에 의한 지지력만을 고려할 수 있도록 beam 요소의 선단을 지반과 접합한 것으로 가정하였다.

구조물에 의한 부가 하중은 아파트 한 층당 1 ton/m²으로 가정하여 최대 25 ton/m²의 등분포 하중을 가하였다.

Fig. 7은 pile 기초 위에 구조물의 하중이 가해졌을 경우 구조물에 의한 부가하중만에 의한 침하 경향을 보여

주고 있다. Fig. 7에서 보는 바와 같이 pile은 토사층을 지나 풍화암층에 의하여 지지되고 있다. 이 경우 건물 좌측 끝부분의 채굴적 상부 풍화대는 충분한 지지력을 발휘하지 못하고 bending에 의해 처지면서 건물 좌측부에 4 cm 이상의 침하가 발생하며, 건물 우측부와 비교해 볼 때 약 3 cm 이상의 차이를 보이고 있다. 최대 침하는 건물 좌측 끝부분에서 나타나며 침하에 의한 건물 및 지반의 변형도 이 부분에 집중됨을 알 수 있다.

Hunt(1984)는 빌딩 구조물의 손상 한계를 침하 구배, 즉 경사의 개념으로 제시하였다. 주거용 아파트의 경우 경사재를 가진 뼈대 구조물로 분류할 수 있으며, 이러한 구조물에 대한 최대 허용경사 혹은 건물의 기울기는 1/600이다.⁴¹⁾

이 기준을 적용할 경우 아파트 길이 방향으로의 최대 허용 부등 침하량은 6.7 cm이나, 이는 침하가 선형적으로 발생하는 경우에 해당한다. Fig. 7의 경우 최대 경사는 건물의 좌측 끝부분에서 약 1/400 정도로 Hunt가 제시한 건물의 손상 한계를 초과하여 건물에 피해가 예상된다.

Fig. 8은 안전을 고려하여 채굴적이 존재하던 지역에서는 pile 선단이 지하 30 m 하부의 채굴적 바닥에, 그리고 채굴적이 존재하지 않는 곳에서는 풍화암층에 놓이는 것으로 가정한 경우의 수직변위 분포도이다. 최대 침하는 건물의 중심부에서 발생하며 그 크기는 2 cm 미만일 것으로 예상된다. 하지만 건물 주변의 지반에서는 1 cm 미만의 침하가 발생하고, 건물의 변형도 한곳에 집중되지 않고 고르게 분포되어 건물의 안정성에는 문제가 없을 것으로 판단되었다.

4.4.2 단면 12-12'

단면 12-12'는 건축물이 광체의 주향과 거의 수직한

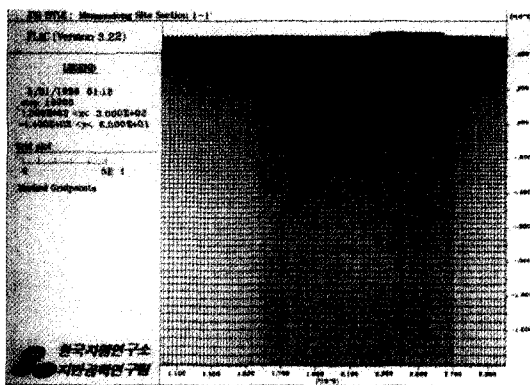


Fig. 6. FLAC numerical mesh for section 1-1'.

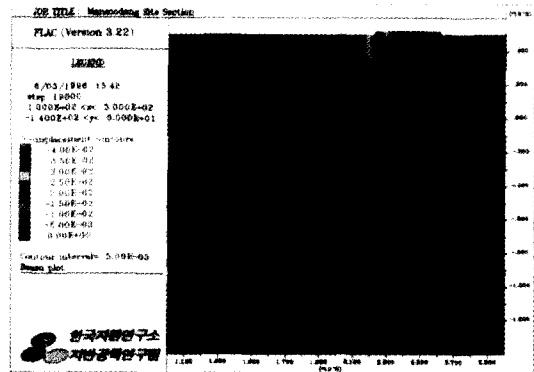


Fig. 7. Contour of vertical displacement at section 1-1'; pile rests on weathered rock.

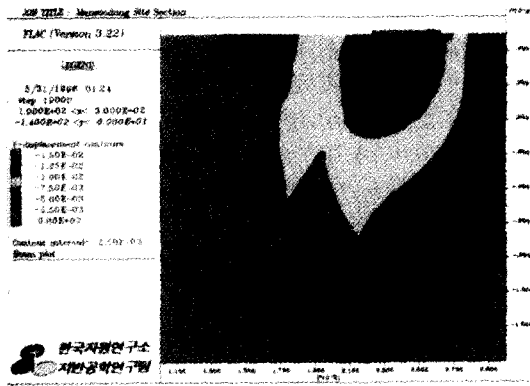


Fig. 8. Contour of vertical displacement at section 1-1'; pile rests on the floor of 30 m level gangway.

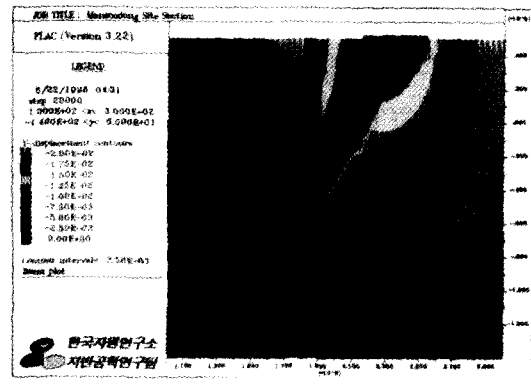


Fig. 10. Contour of vertical displacement at section 12-12'.

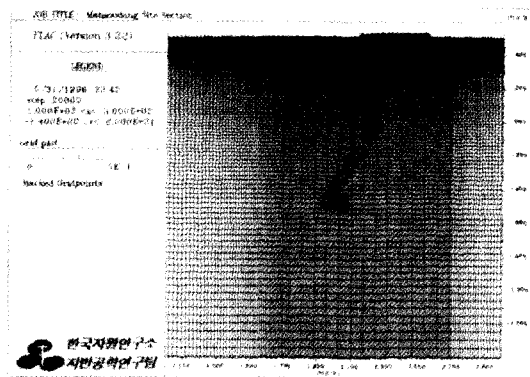


Fig. 9. FLAC numerical mesh for section 12-12'.

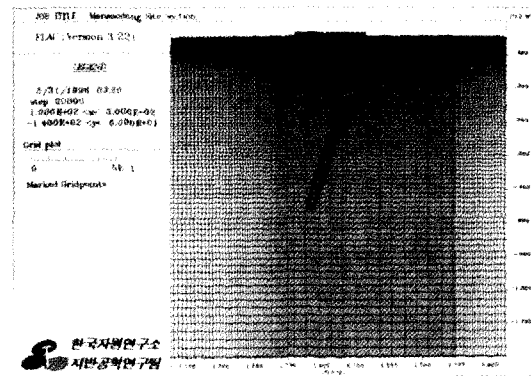


Fig. 11. FLAC numerical mesh for section 21-21'.

방향으로 위치하고 있고 기반암까지의 깊이도 지표에서 17 m 정도로 비교적 얇다. 이를 모델링하면 Fig. 9와 같으며 전체적으로 보면 단면 1-1'과 유사하다. 그러나 단면 1-1'의 경우는 건축물의 대부분이 광체의 하반에 위치하지만 단면 12-12'에서는 건축물이 광체의 상반과 하반에 절반씩 놓이게 된다. 그리고 30 m 갱도에서 채굴한 채굴적의 규모가 비교적 작으나, 부가하중에 대한 광체 상반의 반응과 하반의 반응에는 차이가 있을 것으로 생각되어 pile을 30 m 갱도 바닥까지 설치하는 것으로 가정하고 해석을 수행하였다. 이 경우 건물의 하중에 의한 침하는 Fig. 10에 나타난 바와 같이, 건물의 좌측부가 우측부에 비해 5 mm 이상 더 크며 광체의 상반에서 더 많은 침하가 발생함을 알 수 있다. 최대침하는 건물의 좌측단 부근에서 발생하며 그 크기는 약 2 cm 내외이고 최대 경사는 1/1,000 정도이므로 채굴적과 갱도가 충전되어 있는 한 지반과 건물의 안정성에는 문제가

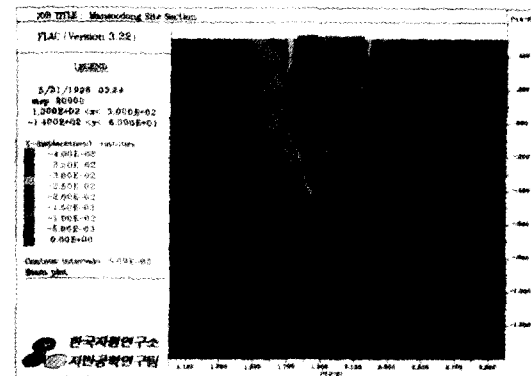


Fig. 12. Contour of vertical displacement at section 21-21'.

가 없을 것으로 판단된다.

4.4.3 단면 21-21'

단면 21-21'은 건축물이 광체의 상반에 위치하는 경우로 해석을 위한 요소망은 Fig. 11에 도시된 바와 같

으며 토사층과 풍화암의 두께가 비교적 얇다. 이 경우 최대 침하량은 Fig. 12에 나타난 것처럼 약 4 cm 정도로 상당히 크지만 건물하부에서의 최대 부등 침하량은 5 mm 내외, 최대 경사는 1/1,000 이하로 비교적 작아서 건축물의 안정성에는 아무런 영향을 미치지 않을 것으로 판단된다.

5. 결 론

A 광산 채광지역에 고층의 건물을 구축하는데 있어서 건축물의 부가하중으로 인하여 발생할 수 있는 지반 침하 및 구조물에 대한 영향 평가를 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 시추결과 확인된 지반의 심도별 구성물질을 보면 상부 토사층에는 매립 물질로 보이는 점토, 전석 또는 자갈, 모래 등이 존재하였고 그 하부에 비교적 얇은 층의 풍화암대, 그리고 기반암이 확인되었다.
2. 3개의 시추공에 대한 촬영 결과, A-2 시추공을 제외한 A-4, A-5 시추공은 과거의 충전물이나 전석 등이 바닥에 쌓여 있어 채굴적은 대부분 채워져 있는 것으로 관찰되었다.
3. 광체의 하반인 채굴적의 우측 상부에 건축물이 구축될 경우에 대한 전산해석 결과, 건축물의 장기 안정성에 문제가 있으나, pile을 채굴적 바닥에 설치하는 등

의 안전조치를 취한 경우, 지반침하에 의한 건물 피해는 없을 것으로 판단되었다.

4. 광체의 상반과 하반에 절반씩 건축물이 구축될 경우, pile을 채굴적 바닥까지 설치하고, 채굴적과 갱도가 충전되어 있으면 지반 안정성에는 문제가 없을 것으로 판단되었다.

5. 광체의 상반인 채굴적의 좌측 상부에 건축물을 구축할 경우, 최대 부등 침하량이 5 mm 이내로 작고, 최대 경사도 1/1,000 이하로 한계치보다 작으므로 건축물의 안정성에는 영향을 미치지 않으나 건축물 우측 끝부분에 활동성 소성영역이 발생하므로 pile을 채굴적 바닥까지 설치하여 장기적인 안정성을 확보해야 할 것으로 판단되었다.

참고문헌

1. 권광수, 박연준, 신희순, 신중호, 1994, 지하공동에 의한 지표침하지역의 지반안정성 평가, 터널과 지하공간, 4, 170~185
2. 지정배, 김종우, 2000, 원형공동의 점진적인 붕락에 따른 지표침하특성, 터널과 지하공간, 10, 33~44
3. Yacoub Najjar, Musharraf Zaman, 1994, Surface Subsidence Prediction by Nonlinear Finite-Element Analysis, J. of Geotechnical Engineering., 119.11, 1790p
4. Hunt, R. E., 1984, Geotechnical Engineering Investigation Manual, New York, McGraw-Hill



권 광 수

1965년 한양대학교 자원공학과 공학사
1979년 독일 Aachen대 Dipl.-Ing.
1983년 독일 Aachen대 공학박사

Tel : 042-868-3265

E-mail :

현재 한국지질자원연구원 탐사개발연구부
책임연구원



박 연 준

1981년 서울대학교 자원공학과 학사
1983년 서울대학교 대학원 자원공학과 공학
석사
1992년 미국 Minnesota대학교 대학원
토목공학과 공학박사

Tel : 031-220-2580

E-mail : yjpark@mail.suwon.ac.kr

현재 수원대학교 토목공학과 조교수