

## 부산 신항만 건설현장의 채석장에 대한 지질공학적 고찰

최 정 찬\*

부경대학교 환경지질학과

### Engineering Geological Analysis for the Quarry Located at the Construction Site of the New Busan Harbor

Jung Chan Choi\*

Department of Environmental Geosciences, Pukyong National University

#### 요 약

현재 건설중에 있는 부산 신항만의 매립을 위해 채석장이 가동중에 있으나, 실제 공사 중 채석된 암석이 당초 설계와는 다른 암질을 포함하고 있다. 따라서, 당초 설계와는 달리 많은 폐석이 발생되어 정상적인 공사추진에 애로사항이 있으므로, 현장조사 및 실내작업을 통하여 지정된 채석장에 대한 전체적인 암질을 구분하는 것이 본 연구의 목적이다. 이를 위해 측량, Schmidt Rock Hammer 시험, 절리간격조사를 시행하였고 실내에서 DIPS 및 RockWorks 프로그램을 이용하여 절리의 방향성 및 발파 후 암괴의 크기를 분석하였다. 그 결과 본 지역에는 절리밀도가 높아 토석 채취시  $\Phi 100\text{mm}$ 이하의 필터사석이 많이 발생하는 것으로 분석되었다.

**주요어:** 채석장, 슈미트 헤머 시험, 절리간격조사, 모사

**ABSTRACT:** A quarry is operated for filling-up the New Busan Harbor which is under construction, but actual rock quality is something different from the primary design. Therefore, object of this study is to classify whole rock quality for the quarry through site investigation and laboratory analyses because unexpected large amount of wasted rock is produced. For this object, various analyses were performed such as surveying, Schmidt Hammer test, joint spacing investigation and laboratory analyses using DIPS & RockWorks programs for evaluating joint sets and sizes of rock fragments after blasting. As a result, it is expected that large amount of wasted rock under  $\Phi 100\text{mm}$  is produced after blasting because of high joint density.

**Key words:** quarry, Schmidt rock hammer test, joint spacing investigation, simulation

---

\* Corresponding author: jcchoi@pknu.ac.kr

## 서론

본 연구대상현장은 해양수산부에서 시행중인 부산 신항 준설토 투기장 호안(1공구) 및 기타공사 현장에 필요한 석산개발현장으로써, 행정구역 상으로는 경남 진해시 욱망산 일원이며, 부산에서 진해방향으로 국도2호선을 타고 가다가 부산시와 경상남도의 경계부근에서 동남쪽으로 약 3km 떨어진 안골마을에 위치해 있다. 석산개발 현장은 2000. 4. 1부터 석산을 개발하기 시작하여 전체면적은 약 99,760m<sup>2</sup> 정도이고, 개발 이후에는 항만배후단지조 조성되도록 계획되어 있다.

석산을 개발하여 채취된 원석으로 피복석, 사석, 필터석을 생산하고, 선별잔량은 매립공사에 유용토록 설계·시공 중이다. 그러나, 실제 공사 중 채석된 암석이 당초 설계와는 다른 암질을 포함하고 있고, 당초 설계와는 달리 많은 폐석이 발생되어 정상적인 공사추진에 애로사항이 있으므로, 지정된 석산에 대한 전체적인 암질을 구분하고 선별잔량율(잔량)을 산정하는 것이 본 연구의 목적이다.

국내에서 적용되는 암반분류는 건설표준품셈과 지질조사 품셈에서 적용한 지반분류를 사용하며

RMR 및 Q 시스템에 의한 암반분류법도 많이 사용되고 있다. 그러나 굴착작업의 경우 시공과 관련된 암반분류의 연구는 거의 없는 실정이다 (신희순 외, 2000). 당초 설계 시 자료에 의하면 본 석산개발 현장은 표토를 제거하고, 리핑암을 제거하면 발파암은 모두 경암으로 분류 설계되어 있는 것으로 조사되었다. 그러나, 절리 분포나 발파 후 암괴의 크기를 고려하지 않은 일반적인 암분류로 인하여 당초 설계와 현장조건이 상이하게 되었으므로 불연속면 간격을 조사하여 3차원적인 절리의 교차에 의해 형성되는 암편의 크기를 고려한 토목공사용 석산 개발 시 암질구분 방법을 제시하고자 한다. 이 방법은 Weaver(1975)가 제안한 것으로 절리간격 및 Schmidt Hammer에 의한 일축압축강도의 관계에 따라 암반을 인력에 의한 굴착이 가능한 암반, 기계굴착이 가능한 암반, 발파에 의해 균열이 발생하는 암반 등으로 분류하고 있다.

## 지질 개관

조사지역은 중생대 백악기에 형성된 경상분지

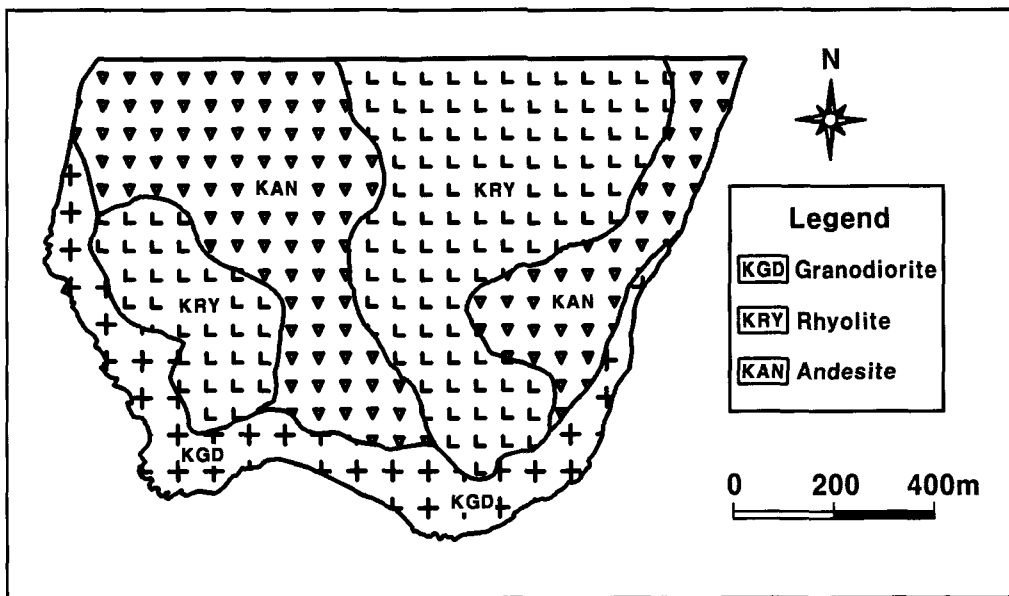


Fig. 1. The geological map of the study area (Yogmang Mt. at Jinhae City, Gyeongsangnam-Do)

의 남부에 해당하는 지역으로 암석이 형성될 당시 분출과 폭발을 병행한 화산활동이 광범위하게 일어났으며, 대부분의 화산활동 지역에 화강암질 마그마의 상승에 의한 심성활동이 동반되었다(대한지질학회, 1999). 따라서, 본 지역에는 중생대 백악기의 유천층군에 속하는 안산암질암, 유문암질암과 이들을 관입한 화강섬록암 및 산성암맥으로 구성되어 있다(이윤종과 이인기, 1972).

안산암질암은 안산암과 안산암질 응회암으로 구분되는 데 서로 혼재되어 분포 하여 구분하기는 어렵다. 암색은 전반적으로 암회색 내지 암흑회색의 암색 계통이며 산출상태는 세립 내지 치밀질 바탕에 담회색 사장석 반정이 발달되는 것과 없는 것, 그리고 1cm 내외의 화산각력이 포함되어 있는 화산력 응회암으로 다양하다.

유문암질암은 유문암, 석영안산암, 유문암질 응회암 등으로 구성되며 서로 교호하거나 혼재되어 있다. 암색은 담회색 내지 회색을 띤다. 유문암의 특징인 유상구조가 잘 나타나며, 단층 또는 불연속면을 통하여 안산암질암을 관입하기도 한다. 이런 곳에서는 안산암질암이 유문암질암에 포획되어 나타나기도 한다.

화강섬록암은 대체로 회색 내지 흑회색을 띠며 중립질의 암상노출을 보여주며 주로 해안가에 분포되어 있다 (Fig. 1 참조).

## 현장조사 및 시험

### 불연속면 조사

본 조사에서는 조사선을 이용한 기법이 적용되었다. 조사선(scanline)을 이용한 조사기법은 불연속면의 표본조사기법으로 종래부터 널리 사용되어 온 기법으로서, 암반에 유한 길이의 조사선을 설정하고 이와 교차하는 불연속면에 대하여 관찰, 기재하는 방법으로 채석장을 조성하면서 형성된 벤치사면에 대해 실시하였다. 불연속면의 조사자료는 DIPS 프로그램을 사용하여 분석하였다.

본 조사지역의 불연속면들은 단층(Fault), 절리(Joint), 석영맥(Quartz vein), 균열(Fracture), 안산암과 유문암의 관입 경계면(Dyke surface), 틈(Fissure) 등으로 구성되어 있다. 전체 불연속면

의 주방향성은 N47°W 75°SW, N59°W 86°NE, N69°W 82°SW, N86°W 75°SW, N60°E 42°NW 등 5개조로 발달하고 있다(Fig. 2 참조). 본 지역의 단층은 N46°W 74°SW, N69°W 82°NE, N57°W 85°NE, N86°E 73°SE의 4개 방향으로 주로 발달하고 있으며, 전체적으로는 N72°W 83°SW를 향하고 있다. 본 조사지역의 절리면들의 주방향성은 N48°W 76°SW, N56°W 88°NE, N61°E 42°NW, N86°W 75°SW, N56°E 79°NW 등 5개조로 발달하며, 단층과 절리가 서로 유사한 방향성을 보인다.

### 슈미트 해머 시험

암석은 일반재료와 같이 시료채취방법 및 시험 조건에 따라 역학적 성질이 크게 변화하며, 특히 암석의 강도는 본질적으로 광물조직, 성인, 이력, 산지에 따라 변동범위가 매우 크므로 하나의 공시체의 강도에 대한 측정정도가 원지반 암반의 강도특성을 대표할 수는 없다. 따라서 현장에 분포하고 있는 지반의 강도특성을 보다 신속하고 간편하게 분석하기 위하여 일반적으로 슈미트 해머 시험을 실시한다.

금번 사용된 Schmidt Hammer는 일본 Sanyo Testing Machines Co. Ltd.에서 제작한 Schmidt Rock Hammer를 사용하여 각 지점별로 실시된 평균 반발치(R 값)를 구하고 이를 다시 Sanyo사가 만든 사용설명서(2000)의 상관표를 이용하여 일축압축강도를 산정한다.

암질분포 분석 시 입력자료는 현장지질조사 시 Schmidt Rock Hammer를 이용한 현장암반강도 시험 자료 172개중 대표성이 있는 53개의 자료를 이용하였다. 현장암반강도 측정의 경우, 20m간격 측정을 기본으로 하여 지질구조, 암종, 암강도가 변하는 곳에서는 간격에 관계없이 측정하였으며 한 곳에서 20번을 측정하여 최소치 10개를 버리고 상위 값 10개를 평균하여 값을 구했으며 이를 다시 일축압축강도로 환산하였다. 본 Schmidt Rock Hammer로 측정된 반발치를 일축압축강도로 환산할 때의 하한치는 타격각도 0°일 때 반발치 5.0이며 이에 상응하는 일축압축강도는 51 kg/cm<sup>2</sup>이다. 측정결과는 Fig. 3에 나타나 있으며 건설부 표준품셈 B그룹의 분류에 의하면 풍화암 17%, 풍화암 33%, 연암 2%, 보통암 2%, 경암

최정찬

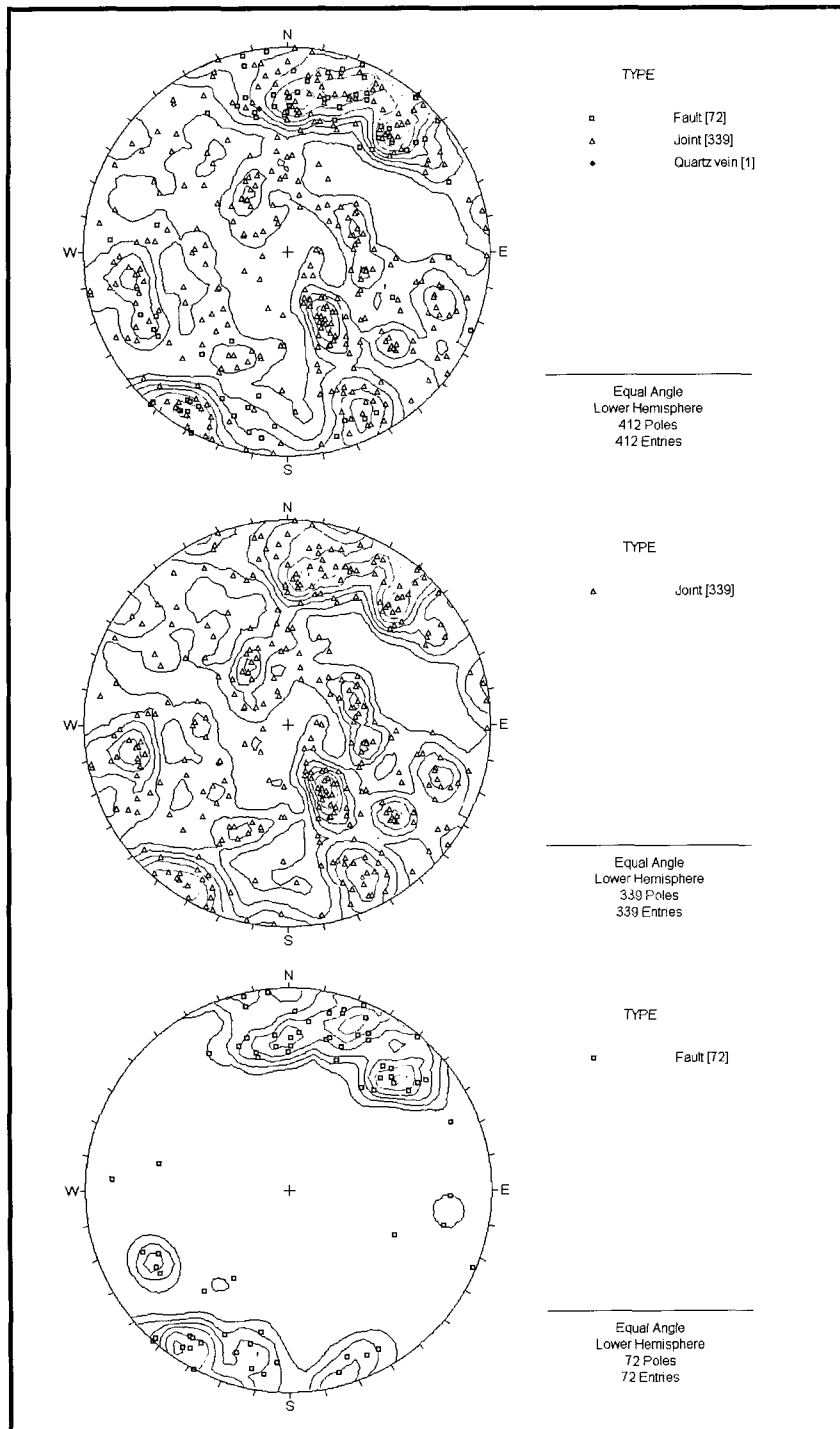


Fig. 2. Pole diagrams (above : total discontinuity plane, middle : joint planet, below : fault plane)

부산 신항만 건설현장의 채석장에 대한 지질공학적 고찰

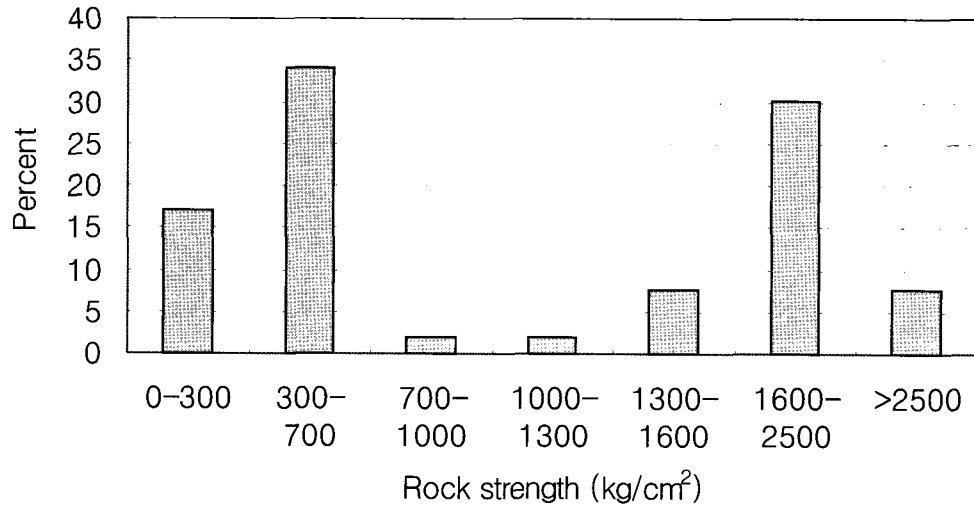


Fig. 3. The result of in-situ rock strength using Scimdt Rock Hammer

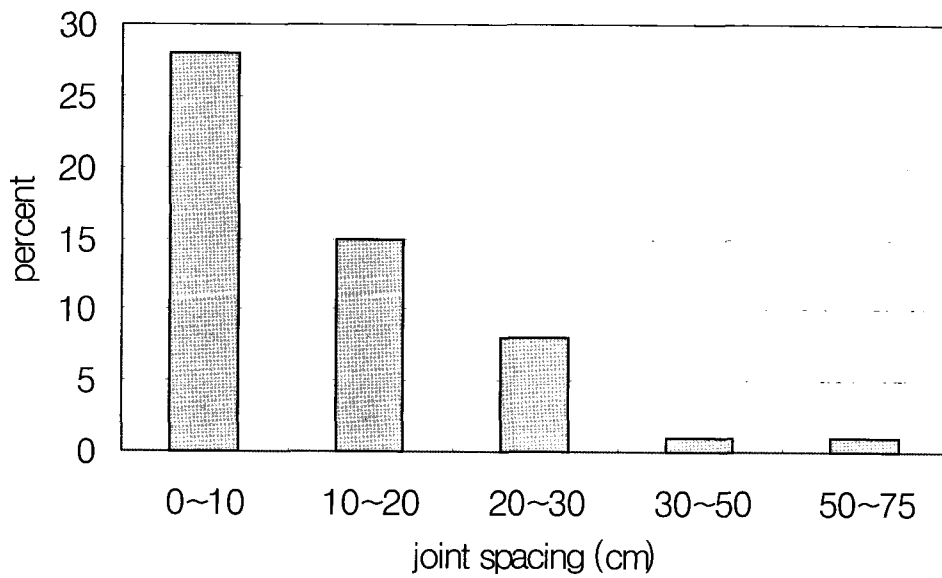


Fig. 4. The result of in-situ joint spacing investigation

8%, 극경암 30%로 불연속면의 영향과 풍화정도에 따라 암강도가 변하는 것으로 사료된다.

절리간격 조사  
현장암반강도 조사시 절리간격조사도 같이 병

행하였으며 그 결과는 Fig. 4에 나타나 있다. 절리간격이 0~10cm의 것이 전체의 53%, 10~20cm는 28%, 20~30cm는 15%, 30cm 이상이 4%로 RMR분류법(Bieniawski, 1989) 불연속면 간격 평점의 불량 및 매우 불량 (6~20cm, 6cm 미만)에 해당되는 것이 81%로 나타났다. 따라서, 발파 시에 3차원적인 절리군의 조합으로 이루어진 암편으로 떨어져 나온 크기는 대부분 직경 20cm 이하일 것으로 생각된다.

### 실내 분석

기존 자료 및 현장조사 자료를 근거로 Rock Works(RockWare, 1995)란 프로그램을 이용하여 절리간격 분포 및 일축압축강도 분포를 모사하였다. RockWorks라는 프로그램은 지질공학적인 결과(주상도 작성, 도면작성, 지질도 작성, 불연속면 분포작성, 암석화학조성 작성, 광체(암질) 분포 및 부피계산 등)를 보여주는 데 암질분포 및 절리간격 분포의 경우 삼차원 Cell에 8개의 node가 있으며 각 node에서는 Inverse-Distance Squared 방법을 이용하여 가장 가까운 8개의 node의 수치를 가중하여 수치를 산출하게 된다. 분석결과는 직육면체의 block으로 나타나기 때문에 X좌표는 175700에서 176000까지 300m, Y좌표는 180750에서 181000까지 250m, 그리고 Z좌표는 49EL에서 109EL까지 60m를 설정하였다 (Fig. 5 참조).

#### 절리간격분포 모사

절리간격 분포 분석 시 입력자료는 1999년에 부산지방해양수산청 및 부산항건설사무소가 시행한 시추조사 중 7개의 시추공 (P-1, 2, 3, 4, 5, 6, 10)과 2001년 11월에 대립사업이 시행한 시추조사한 6개의 시추공 (BH-7, 8, 11, 13, 15, 17)중 모사 경계지역 내에서 시행된 10개 시추공에 대해 각 수직구간별로 평균 절리간격을 계산하여 입력자료로 사용하였고, 2000년 10월에 시행한 현장조사 시 획득한 53개소의 절리간격조사 결과도 함께 이용하였다. 암석강도의 경우 Schmidt Hammer 시험 시 획득된 반발치를 일축압축강도로 환산한 172개의 자료를 이용하였다 (Fig. 5 참조). 또한

조사 현장은 계단식 채석법을 이용하여 채석작업이 진행되고 있어 각 bench를 조사하여 3차원 모사에 필요한 수직적인 분포 자료의 획득이 가능하였다. Block Diagram에서 해안가의 화강섬록암 지대는 절리간격이 30cm이상인 곳도 있지만 안산암질암 및 유문암질 지역에서는 절리간격이 대부분 15cm이하로 분석되었다(Fig. 6). 평균 절리간격은 8.361cm로 절리가 매우 잘 발달하고 있다. 체적 계산에 의하면 필터사석으로 처리되는  $\phi 100\text{mm}$  이하의 직경으로 산출되는 암석이 총  $4,500,000\text{m}^3$  체적 중  $3,064,500\text{m}^3$ 을 차지하여 체적 대비 68.1%로 분석되었다. 이는 현재 생산되고 있는 골재 생산비율과 거의 일치하고 있다. 따라서, 모사결과 본 지역에는 대부분 절리간격이 10cm이하이며 안산암질암 및 유문암질암이 분포하는 상부보다 화강섬록암이 분포하는 하부로 갈수록 절리간격이 넓어지는 경향을 보인다.

#### 일축압축강도 모사

암질분포 분석 시 입력자료는 현장지질조사 시 Schmidt Rock Hammer를 이용한 현장암반강도 시험 자료 172개를 이용하였다. 암질분류는 건설부 표준품셈을 적용하였으며, 그 결과 화강섬록암, 안산암질암, 유문암질암은 A그룹에 속하며 이 경우 일축압축강도  $0\sim 300\text{kg/cm}^2$ 은 풍화암,  $300\sim 700\text{kg/cm}^2$ 은 풍화암,  $700\sim 1,000\text{kg/cm}^2$ 은 연암,  $1,000\sim 1,300\text{kg/cm}^2$ 은 보통암, 경암 및 극경암은 일축압축강도  $1,300\text{kg/cm}^2$ 이상이다.

분석결과에 의하면 평균 일축압축강도는  $1,595.309\text{kg/cm}^2$ 으로 나타났으며 전체체적  $4,500,000\text{m}^3$  중 경암 및 극경암은  $3,321,000\text{m}^3$ 으로 나타나 체적대비 73.8%로 분석되었다(Fig. 7). 또한 보통암은 21.0%, 연암 이하는 5.2%로 분석되어 본 지역에는 대부분 경암이 분포하고 있으며 상부보다 하부로 갈수록 경암 비율이 높아지는 것으로 나타났다. 따라서, 본 지역에는 대부분 경암이 분포하지만 절리가 많이 발달하여 토석 채취시  $\phi 100\text{mm}$ 이하의 필터사석이 많이 발생하는 것으로 분석되었다.

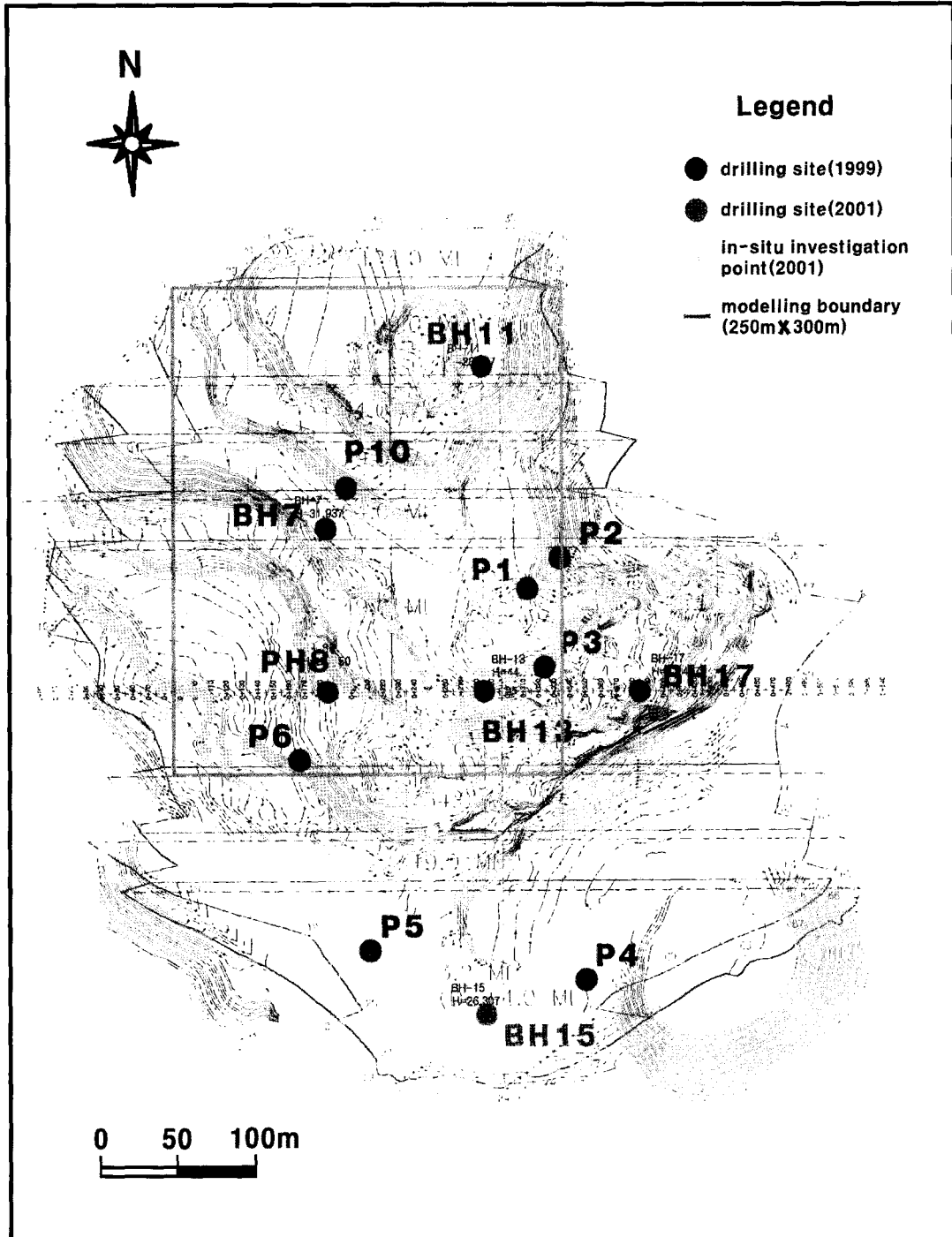


Fig. 5. Location map of modelling boundary, drilling sites, and investigation points.

최정찬

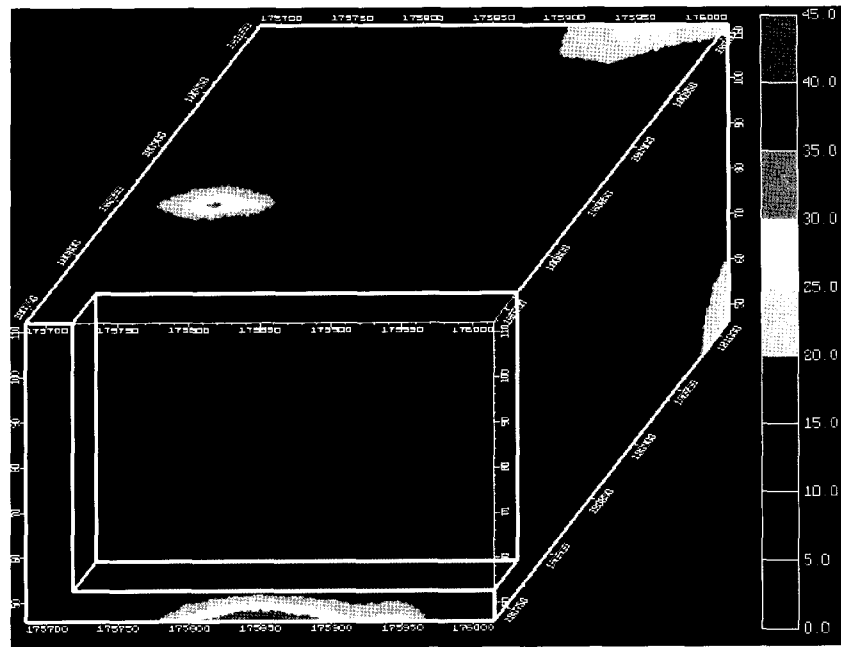


Fig. 6. The Result of 3-D joint spacing simulation

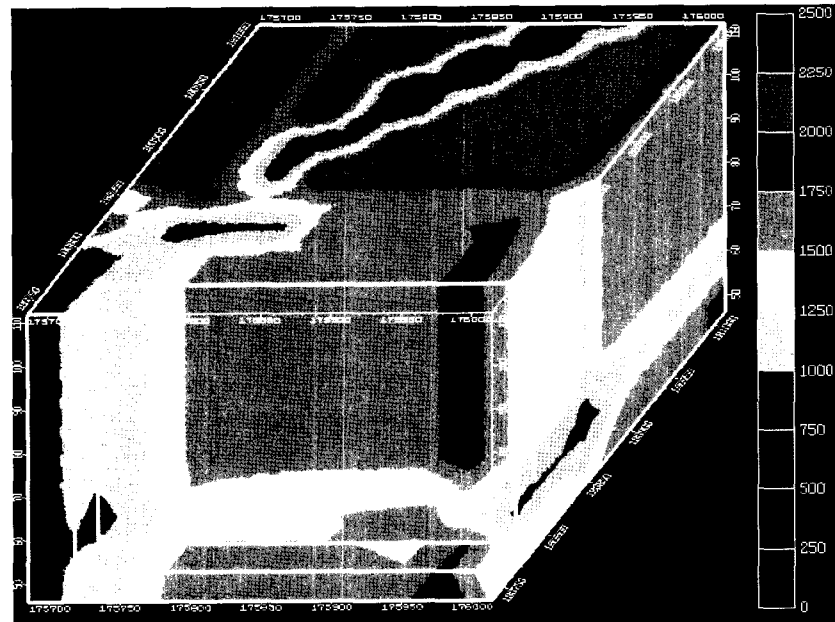


Fig. 7. The Result of 3-D rock strength simulation



## 결론 및 제언

본 조사지역의 불연속면들은 단층(Fault), 절리(Joint), 석영맥(Quartzvein), 균열(Fracture), 안산암과 유문암의 관입 경계면(Dyke surface), 틈(Fissure) 등으로 구성되어 있다. 그중 절리면들의 주방향성은 N48°W 76°SW, N56°W 88°NE, N61°E 42°NW, N86°W 75°SW, N56°E 79°NW 등 5개조가 발달하는 데 단층과 절리가 서로 유사한 방향성을 가지고 있다. 절리간격분포 분석결과 평균 절리간격은 8.361cm로 절리가 매우 잘 발달하고 있다. 필터사석으로 처리되는  $\Phi 100\text{mm}$  이하의 직경으로 산출되는 암석은 모사결과 총  $4,500,000\text{m}^3$  체적 중  $3,064,500\text{m}^3$ 을 차지하여 체적 대비 68.1%로 분석되었다. 암강도의 경우 평균 일축압축강도는  $1,595.309\text{kg}/\text{cm}^2$ 으로 나타났으며 전체체적  $4,500,000\text{m}^3$  중 경암이상은  $3,321,000\text{m}^3$ 으로 나타나 체적대비 73.8%로 분석되었다. 따라서, 본 지역에는 대부분 경암이 분포하지만 절리가 많이 발달하여 토석 채취시  $\Phi 100\text{mm}$ 이하의 필터사석이 많이 발생하는 것으로 분석되었다. 현재와 같이 토목공사시 사용되는 골재 생산 시 발파 후 암편크기의 추정이 단지 암강도에 의해서만 설계되기 때문에 실제상황과 많이 다르므로 암석강도 및 절리간격조사 등을 병행하는 등 시공과 관련된 암분류법을 도입 또는 개발하여야 할 것이다.

## 참고 문헌

- 대한지질학회, 1999, 한국의 지질, 시그마프레스, p. 223-253.
- 부산지방해양수산청, 부산항건설사무소, 1999, 부산신항 준설토 투기장(2차) 실시설계보고서, p. 483.
- 신희순, 선우춘, 이두화, 2000, 토목기술자를 위한 지질조사 및 암반분류, 구미서관, 491p.
- 이윤중, 이인기, 1972, 한국지질도 (1:50,000) 연양도폭 설명서, 국립지질조사소, p. 1-22.
- Bieniawski, Z.T., 1980, Enginnering Rock Mass Classification, John Willy & Sons, 251p.
- RockWare, 1995, RockWorks ; Tutorials and Cases Studies, 146p.
- Sanyo Testing Machines Co. Ltd., 2000, Instruction Manual of Rock Hammer, p. 19.
- Weaver, J.M., 1975, Geological factors significant in the assessment of rippability, Civ. Eng. S. Afr. v. 17, p. 313-316.

투 고 일	2003년 7월 24일
심 사 일	2003년 7월 25일
심사완료일	2003년 8월 30일

---

최정찬  
 부경대학교 환경지질학과  
 608-737 부산광역시 남구 대연3동 599-1  
 Tel: 051-620-6239  
 Fax: 051-628-6432  
 E-mail: jcchoi@pknu.ac.kr