

대한지질공학회
제1차 정기학술발표회 발표논문 요약

Abstracts of papers presented at the first annual society meeting

일시: 1991년 2월22일 (금)

장소: 고려대학교 과학도서관

금호강의 중금속오염과 오염원별 고찰

이 진국, 박 찬국, 이 재영
(경북대학교 지질학과)

본 연구는 경상북도 영천군에서 발원하여 대구시를 관류, 낙동강에 합류되는 금호강의 하천수의 수질 및 하천 퇴적물의 중금속오염 정도를 파악하여 도시환경공해에 대한 환경지화학적 기초자료를 수집하고, 오염원별 오염의 정도를 파악하는데 그 목적이 있다.

공장폐수와 생활하수에 영향을 받는 하천퇴적물의 오염정도를 정확히 파악하기 위해 비오염지대의 하천 퇴적물을 채취 분석하여 비교하였다.

금호강의 퇴적물과 BOD를 상류와 하류로 구분하여 원소별로 각각 비교해 보면 Cu=49ppm, 456ppm; Pb=43ppm, 137ppm; Zn=155ppm, 1370ppm; Cd=0.26ppm, 1.98ppm; Cr=29ppm, 508ppm; Mn=351ppm, 706ppm; BOD=1.3ppm, 115ppm으로 하류로 갈수록 급격히 증가하는데, 특히 산업폐수의 영향을

받는 공단천(Cu=748ppm; Pb=324ppm; Zn=5350ppm; Cd=3.44ppm; Cr=857ppm; Mn=751ppm)이 가장 높고 생활하수의 영향을 받는 신천(Cu=321ppm; Pb=134ppm; Zn=988ppm; Cd=2.82ppm; Cr=123ppm; Mn=689ppm)은 다소 높다. 이는 생활하수는 물론 소규모의 공장은 폐수처리를 하지 않고 방류할 뿐 아니라, 공단천 등의 공단지대도 폐수처리장은 있으나 처리용량이 적어 상당량의 폐수를 그대로 방류하기 때문이다.

따라서 공단폐수는 물론 생활하수를 처리할 수 있는 하수종말처리장의 설치가 시급하며, 가동중인 폐수처리장은 처리용량을 늘려 금호강이 더 이상 오염되지 않도록 해야하며 이미 오염된 하천퇴적물은 준설작업으로 제거하여 부산시민의 상수원인 낙동강의 수질을 보호해야 할 것으로 사료된다.

지하공동 탐사를 위한 합성 전류지향 비저항법

김 희준

(부산 수산대학교 응용지질학과)

지반진강 등의 환경문제, 댐이나 건축물의 지반조사, 수자원의 수리지질조사나 유적조사등과 관련하여 지하공동의 물리탐사는 대단히 중요한 과제중의 하나이다. 지금까지 공동탐사를 위하여 탄성파, 중력, 전기비저항, 전자, CSAMT 및 지하 Radar 등이 사용되어 왔지만, 지하공동이 지표근처에 존재하거나 충분한 크기를 갖지 않으면 그 발견은 쉽지 않았다.

전파통신에서는 전파를 Beam화하여 일정방향 멀리까지 송신하거나 수신하고 있다. 같은 수법은 물리검층에서 전류를 Beam화하는 기술에 볼 수 있다. 예를 들면 Laterolog-7(LL7)와 같은 전류지향법(Focusing method)이다. LL7에서는 1개의 중심전류 전극과 상하2개의 호위전류 전극 및 4개의 전위전극을 사용하여 전류를 시추공에 대하여 수직방향으로 지향시킴으로써 전류를 지층내 깊숙히 침투시키는 효과를 갖고 있다(김 진후, 1988).

본 연구에서는 LL7을 지표에서의 전기비저항법에 응용하여 지하공동 탐사의 분해능을 높이려고 한다. 이 방법은 전극간격이 서로 다른 2극법(Pole-pole method)의 조합으로 생각 할 수 있으며, 이들 겹보기 비저항으로 부터 전류지향 겹보기 비저항의 계산이 가능하다. 여기서는 차분법을 이용한 전기비저항 모델링기술(Kim, 1986)로 지하공동에 의한 전류지향 겹보기 비저항을 구한다.

전류지향 겹보기 비저항의 계산

지표에 7개의 전극(A, M, N, O, M', N' 및 A')을 등간격(전극간격 a)으로 배열하고, 이들중 중심전극 O와 양 바깥 호위 전극 A 및 A'를 전류전극, 나머지 M, N, M' 및 N'를 전위전극이라 하자. 전류지향 겹보기 비저항은 M와 N간의 전위차 및 M'와 N'간의 전위차를 0으로 하면 구할 수 있다. 이때 전류지향 겹보기 비저항 ρ_a (Focused)는

$$\begin{aligned} \rho_a(\text{focused}) &= 2\rho_a(\text{left}) \cdot \rho_a(\text{right}) / [\rho_a(\text{left}) \\ &+ \rho_a(\text{right})] \text{이다.} \end{aligned}$$

여기서

$$\begin{aligned} \rho_a(\text{left}) &= 6/11 [\rho_a(OM) + C/2 \cdot \rho_a(AM) \\ &+ C/4 \cdot \rho_a(A'M)] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_a(\text{right}) &= 6/11 [\rho_a(OM') + C/4 \cdot \rho_a(AM') \\ &+ C/2 \cdot \rho_a(A'M')] \end{aligned}$$

$$C = I_o / I_A$$

$$C' = I_o / I_{A'}$$

이며, $\rho_a(\)$ 는 2극법에 의한 겹보기 비저항이고, C 및 C'는 전류비율이다.

수치계산 결과 지하공동 모델에 대한 전류지향 겹보기 비저항값은 전극 간격이 a인 2극법 겹보기 비저항값보다 그 최대 이상치가 약30%정도 커진다는 사실을 확인하였다.

탄성파 굴절법탐사를 이용한 농업용수 댐 지반조사

* 유 영준, * 송 무영, * 김 병호, **이 제창

(* 충남대학교 지질학과)

(**농어촌 진흥공사 지하수개발처)

충남 선고(仙古)지구 및 전남 백암(白岩)지구에 대한 지반조사를 위해 탄성파탐사를 수행하였다. 구성 지질은 선고지구의 경우 주로 Amphibolite층과 소규모의 석회암층이 분포하며, 백암지구는 응회암층이 주로 분포하고 있다. 해석방법은 양단 진원점을 이용한 상반해석법 (Reciprocal Method)을 적용하였으며, 탐사방법은 해머(4kg)타격(전방, 역방, 중앙 그리고 원격)에 의한 진원, 수진기 간격 2m, Offset 거리 2 - 48m이다. 층구

조는 선고지구의 경우, 제1층은 속도범위가 0.8-1.2 km/sec 정도로 토양층 및 풍화대, 층후는 6-13m이며, 제2층은 3.6km/sec 정도로 비교적 신선한 암반으로 분포하고 있으나, 석회암층내 일부 구간에서 저속도(1.72 km/sec)가 탐지되었다. 백암지구의 경우 제1층은 0.5-0.7 km/sec의 속도를 갖는 층이 5-7m 층후의 토양층이 분포하고 있고 제2층은 3.0 km/sec 이상의 속도로 비교적 견고한 기반암으로 기반암내 저속도는 탐지되지 않았다.

종합적 물리탐사에 의한 심부 파쇄대 및 지하수 탐사

정 승환, 김 정호, 조 인기, 전 정수
(한국자원연구소 탐사개발연구실)

지하에 발달된 파쇄대 및 단층은 지하수의 유통 통로가 되어 지하수 개발과 직접적인 관련이 있다. 특히 심부에 발달 단층 및 파쇄대는 미온성 심부 지하수맥의 탐사 및 개발에 대단히 중요하다. 본 연구에서는 이와 같은 심부의 파쇄대 및 그와 관련된 지하수조사를 위한 물리탐사법의 확립을 위해 다수의 물리탐사법을 동원하여 종합적인 탐사를 실시 그 결과를 해석한다. 이러한 목적을 위하여 적용된 조사방법은 자력탐사,

VLF 전자탐사, 쌍극자 배열 전기탐사, CSAMT 탐사를 실시하였다.

본 조사에서는 천부에 발달된 파쇄대 탐지를 위하여는 VLF 전자탐사법을 적용하였고, 천부 및 심부에 발달된 파쇄대를 재확인하기 위하여 전기비저항 쌍극자 탐사를 실시하였다. 특히 본 조사에서는 저온성 심부 지하수맥의 탐지를 위하여는 심부에서의 지질구조 파악이 중요하므로 심부 물리탐사법인 CSAMT(Controlled Source Audiofrequency

Magnetotelluric) 탐사법을 심부 지하수조사에 적용하였다. CSAMT 탐사법은 근자에 심부 지열탐사 및 심부 석회, 금속광상 탐사에 일본, 미국 등에서 널리 사용되고 있다. 이 방법의 가탐심도는 대략 1km 정도이다.

한편, 본 조사에서는 부곡온천에서 실용성이 확인된 자력탐사도 적용하였다. 자력탐사는 본 조사지역에서와 같이 퇴적암층대를 관입하여 분포하는 화강암의 분포를 아는데 유용하다. 관입한 화강암의 주변에는 관입시 생성된 것으로 생각되는 파쇄대가 비교적 잘 발달되어 지하수의 통로가 될 것으로 생각되며 또한 미약하나마 퇴적암층 보다는 화강암이 열원으로 작용할 것으로 보여 자력탐사를 실시하였다. 본 연구에서는

◦ 전기 비저항 쌍극자 탐사자료의 정량적 자동해석을 위하여 복잡한 지하구조까지 해석이 가능한 2차원 역산법 및 Forward Modeling 방법을 개발하여 해석의 신속성과 정확성을 기하였다.

◦ CSAMT 탐사자료의 정량적 해석을 위해서는 1차원 수평다층구조에 근거를 둔 1차원 자동 역산방법을 개발하여 지층의 두께 및 비저항을 구하였다.

◦ VLF 탐사자료는 지형조건에 많은 영향을 받으므로 이를 제거하기 위하여 지형효과 보정 프로그램을 개발하여 해석에 사용하였다.

◦ 자력탐사 자료는 정량적 해석보다는 정성적 해석에 치중하여 원격탐사등에서 널리 사용되는 Image processing 기법을 도입하여 구조선 및 화강암의 분포 등을 도출하는데 사용하였다.

자료는 최신 해석방법을 사용 해석하여 상호 비교하므로써 보다 정밀하고 확실한 심부 지하수맥과 관련된 파쇄대 및 단층과 같은 지질 구조선의 도출에 주력하였다. 종합 해석된 물리탐사 해석단면도를 근거로 예상 파쇄대 및 단층에 대하여 확인 시추를 위한 지점을 추천하였다.

상 시 미 동 과 지 하 구 조

김 성 균

(전남대학교 자연과학대학 지질학과)

본 연구에서는 상시미동의 지질공학 적 응용을 폭 넓게 검토하였으며, 상시미동을 측정, 해석하여 지하구조와의 관련성을 조사하였다. 지반은 연속적으로 미세하게 진동하고 있으며 이러한 지표지반의 탄성체적인 진동은 맥동(0.01-0.1 Hz) 과 상시미동 (0.5-20 Hz)으로 구별된다. 상시미동은 교통기관, 바람, 해파와 같은 불특정의 진동원에 의해 발생된 전파성의 표면파 또는 중폭반사된 전단파의 성질을 가진 파동으로서, 주파수 특성은 지하구조와 밀접한 관련이 있는 것으로 알려져

있다. 경상분지내의 지하구조가 크게 다른 선택된 3지점에서 측정한 상시미동을 해석하여 얻은 지하구조는 실제의 구조와 잘 일치함이 밝혀졌다. 경상분지와 포항분지의 경계부근에 위치한 천북역암층 위에서 관측한 상시미동을 해석하여 얻은 지반의 탁월주기는 약 1.5초이며, 이 역압층의 S파 속도를 800-1000m/sec로 가정하여, 지하구조와 지반의 탁월주기와의 이론적인 관계로 부터 계산한 역압층의 두께는 대략 300-380m가 된다.

결론적으로 장주기 상시미동의 측정 및 해석은 다른 지구물리학적 방법에 비하여 간편하고 경제적이라는 이점이 있어, 지질공학적 측면에서의 응용이 크게 기대

된다. 특히 지하구조의 추정, 부지고유의 응답 스펙트라 작성, Seismic microzotation 등에 활용될 수 있을 것이다.

원지진 진앙거리 실체파형의 초동에 대한 Polarity를 이용한 홍성지진의 Focal Mechanism에 대한 연구

김 준경, 박 동국, 임 창복, 심 택모
(한국 원자력 안전기술원 부지평가실)

홍성 지방에서 발생하였던 지진(1978년 10월 7일)은 리히터 스케일(M_L)로 약 5.0에 해당되어 근년에 들어 한반도 육지에서 발생한 지진중 지리산 쌍계사 지진(1936년 7월 3일) 다음으로 물적 피해가 컸던 지진으로서 홍성 지방의 많은 공공건물과 시설에 상당한 재산피해를 주었다. 구조선의 발달 양상 및 지표면에서의 단층의 양상에 비추어 보아 예측하기 까다로운 홍성 분지의 위치에서 발생하였을 뿐만 아니라 규모면에서도 우리나라 한반도의 지진지체구조의 연구에 상당히 중요한 의미를 가지는 규모인 중간규모 (4.6-6.0)에 해당되는 특성을 지니고 있다. 또한, 진앙지인 홍성지방의 지형적 특성 및 지금까지 홍성지진에 관하여 연구, 발표되어 온 여러가지 지구물리학적 자료에 비추어 보아 Deviatoric seismic source 중에서도 CLVD seismic source가 아닌, Intraplate에서의 전형적인 Double-Couple에 의한 지진원 즉, 단층면을 따라서 지체구조력에 의한 실제의 전단변위가 발생한 지진원의 특성을 가지고 있는 것으로 보인다.

현재까지 홍성지진에 대하여 지질학적 및 지구물리학적인 면을 고려한 연구 보고서가 다소 발표되었으나, 본 연구에

서는 지진학적인 측면을 고려하였으며 특히 수신점에서의 측정 결과인 지진파형을 연구대상으로 하였다. 즉, 원지진 진앙거리 (Teleseismic distance)에 위치한 9개소의 수신기에서 측정된 실체파형 (Body waveforms)의 방위각의 변화 (Azimuthal variation)에 따른 초동 Phase의 Polarity분포 분석(First motion analysis)을 전산처리함으로써 홍성지진의 Focal mechanism을 구하려고 시도하였다.

홍성지진을 Intraplate에서의 전형적인 Double-Couple에 의한 지진원으로 전제할 경우, 진앙지로부터 원지진 진앙거리 (Teleseismic distance)에 위치하고 있는 9개소의 수신기에서 수신된 실체파의 방위각의 변화에 따른 초동의 Polarity 분포 분석에 의하면 홍성지진을 야기시킨 주된 단층의 주향 N67 E, 경사 78 NW 및 단층상단의 Slip 방향(또는 Rake angle)은 약 130도로서 변위의 경사성분과 주향성분이 거의 비슷한 사교(Oblique) 단층으로 분석되었다. 더우기 본 연구의 결과로서 얻어진 Focal mechanism은 김 소구(1979)에서 제시된 홍성지방의 진앙지로 알려진 지역의 구조선 발달 방향과도 잘 일치하고 있다는 특징을 보여주고 있다. 위의 결과로

부터 얻어진 Focal mechanism으로 부터 유도되는 주응력장을 살펴보면 주압축 응력장의 방향은 대체로 동서 방향이고, 주인장 응력방향은 대체로 남북 방향이다. 홍성지방 지진원으로 부터 얻어진 주응력 방향이 우리나라 한반도에 작용하는 지체구조력의 방향을 대표할 수는 없으나, 현

재까지 알려진 한반도에 작용하는 지체구조력과 대체로 잘 일치하고 있으며, 규모면에서 비교가능한 지리산 쌍계사 지진과의 Focal mechanism을 상호 비교하면 한반도에 작용하는 지체구조력에 대하여 의미있는 결과를 얻을 수 있을것이다.

절리면 이동에 따른 투수계수 변화가 암석 및 절리의 거동에 미치는 영향

조 태진

(부산 수산대학교 응용지질학과)

암석의 역학적 특성과 수리학적 특성에 관한 연구는 일반적으로 암석의 성질이 균질하다는 전제하에 수행되어 왔다. 암석층에는 대부분의 경우 자연적으로 절리면이 발달되어 있고, 절리면 사이에 Gouge물질에 의한 고결작용이 진행되지 않은 경우에 암석 자체와 비교하여 상대적으로 낮은 변형률(Stiffness)과 높은 투수계수(Permeability)를 갖는다. 한편, 절리면은 암석 내부에서 특정한 방향성을 지니고 있으며, 상하 절리면의 이동 및 절리간극내의 유수이동이 절리면 내부에서 공간적으로 제한되어 전체 암석의 역학적 및 수리학적 특성이 이방성(Anisotropy)을 지니게 된다. 또한, 외부 압력변화에 대한 절리면에서의 변형 및 유수이동이 암석 자체에서 보다 매우 크기 때문에 절리면의 역학적, 수리학적 특성이 절리암석을 이용한 구조물의 거동양상 및 안전도 등에 중요한 영향을 끼친다.

완전포화(Fully saturated) 상태에서 암석과 절리면에 형성되는 수압은 유수이동(Fluid flow)에 직접적으로 연관되며, 암석변형과 절리면 이동 및 이에 수반되는 역학적 유효응력 변화에도 영향을 미친다.

암석 절리면의 투수계수는 상하 절리면 간극의 3계곱승에 비례하여 (Bear, 1972) 절리 이동은 절리면 투수계수의 변화에 직접적으로 영향을 미치고 있다. 절리 간극내에서 수압차이에 의해 유입, 유출되는 유수량은 투수계수, 즉 절리간극 변화에 의해 지배를 받으며, 유수량의 변화는 절리면내에 형성되는 수압 및 유효응력과 유기적으로 연관되어 있다. 결과적으로 절리가 발달한 암석 전체의 역학적 특성과 수리학적 특성이 상호 연관되어 작용하고 있다.

본 연구에서는 외부압력에 의한 개별적인 절리의 이동 및 간극변화에 따른 투수계수 변화가 산정 가능하고, 이를 기반으로 암석의 변형, 절리면 이동 및 유수량 변화에 대한 상호 유기적인 분석이 가능한 역학적-수리학적 수치해석 모델을 유한요소법을 이용하여 개발하였다. 개발된 모델을 이용하여 절리면 이동에 대한 절리 투수계수 변화의 효과를 고찰하기 위하여 절리면을 포함하는 암석 경사면(Rock slope)의 거동 및 안전도(Safety)에 대한 분석을 시도하였다. 모델 분석대상인 암석 경사면은 60°의 경사각을 이루고

있고 내부에 30.14°의 경사각을 갖는 절리면이 발달하여 상부층과 인장 절개면(Tension crack)으로 연결되었다. 장 절개면에는 2m 높이의 자연수층이 존재하여 Hydrostatic pressure를 형성하며, 절리면을 통한 자유배수면(Free drainage surface)에 의한 유수이동(Fluid flow)에도 영향을 미친다. 암석 경사면의 거동에 대한 모델 분석을 다음의 3가지 경우에 대해 시도하였다.

경우1: 완전 건조(Dry) 상태.

경우2: 완전 포화(Fully saturated) 상태이며, 인장절개면에 자연수층이 존재.

경우3: 경우2와 동일하며, 절리 투

수계수가 절리 간극에 따라 변화.

이상의 3가지 경우에 대한 절리 면 내의 유수이동 및 응력 형성에 따른 경사면의 안전도 분석을 Limit equilibrium 조건에서 요구되는 절리면 내부마찰각(Internal frictional angle, ϕ_j)의 임계치를 중심으로 분석하였다. 또한, 절리 간극에 따른 투수계수 변화를 고려한 경우3에 대한 모델 결과를 고정된 절리 투수계수를 사용한 경우2에 대한 결과와 비교하여, 현재까지 간과되어온 절리 투수계수 변화 및 이에 따른 절리 암석의 역학적, 수리학적 상호 거동을 실제적으로 분석하였다.

화강암의 풍화에 따른 물성변화 특성

김 영화
(강원대학교 지구물리학과)

암석의 풍화도를 결정하는데 있어서 지진파속도, 강도, 최대함수비, 공극율, 밀도, 전기비저항 등 물리적 특성치는 우선 이들 물성치 사이의 상관성이 만족스럽지 못하며 대상암석의 특성이나 사용목적에 따라 풍화도 기준으로서의 적합성 여부가 달리 평가되고 있다는 점에서 한계를 보이고 있다. 그러나 측정자의 주관이 배제될 수 있다는 점과 정량적 기준이 될 수 있다는 측면에서는 큰 잇점이 있다고 하겠으며 암반 또는 암석 분류에 있어서 지대한 존재인 풍화도에 있어서 별다른 절대적 기준이 없다는 점에서 그 중요성이 더욱 강조되고 있어 비록 불완전한 기준이라 하더라도 이들을 상호대비 시키는 과정을 통하여 절대에 가까운 기준을 만들어 내는 일에 기대를 결

어야 할 것이다.

이를 위한 시작단계로서 먼저 암상변화가 비교적 단순한 화강암 시료를 대상으로 하여 주로 암석물리학적 관점에서 암석의 물리적 특성 상호간에 존재하는 상관성과 풍화의 진행에 따른 각 물리적 성질의 변화특성을 추적하므로써 풍화정도를 대변할 수 있는 효과적인 물리 정수의 규명을 시도해 본 결과, 각 물성치 사이의 상관관계와 풍화기준으로서의 각 물성치의 범위 및 한계가 어느 정도 밝혀졌다. 지금까지의 연구 결과로는 특히 지진파속도와 최대함수비가 지니는 풍화기준으로서의 역할이 주목되고 있으며 이는 화강암을 암석학적 특성 차에 의하여 세분함으로써 더욱 좋은 결과를 얻을 수 있는 것으로 나타났다.

한반도 경상분지 동남부에 분포하는 백악기 화강암체의 구조적 특징에 따른 지질공학적 분석

박 맹언, 조 태진
(부산 수산대학교 응용지질학과)

한반도 남부의 경상분지는 후기 중생대의 육성 퇴적암층과 이를 피복 또는 관입하는 화산암 및 심성암류로 구성되어 있다. 화강암류는 퇴적분지의 지질구조와 연관되어 분포하며, 경상분지 동남부 일대에는 외측부의 단층등 구조적 약선부와 관련이 있음이 알려져 왔다(이윤중, 1980). 화강암류 내에는 생성 초기단계의 냉각 과정이나 생성후 외력에 의한 Geotectonic 요인으로 불연속면(단층, 절리등)이 형성되며 일반적으로 절리면의 방향성과 간격 등이 유사한 복수의 절리계(Joint system)를 구성하고 있다. 절리의 발달 양상에 따라 외력에 대한 상이한 역학적 거동이 예상되며, 또한 절리의 거동이 공간적으로 제한되어 전체 절리 암석의 이방성 특성에 대한 주요 요인으로 작용한다. 그 결과 각종 암반 구조물의 거동 및 안전도 등에 중요한 영향을 미친다.

본 연구는 경상분지 동남부 부산, 마산 및 거제 지역의 화강암류 내에 발달하는 단열계를 조구조적 특징과 고응력의 분포 및 변천에 따라 분류하고, 거제 지역의 화강암류에 대한 지질공학적 특성을 수치해석적으로 분석하였다. 부산지역에서는 울산단층, 양산단층의 연장 선상에 위치한 NNE계 단층이 발달되어 있으며, 주절리계의 방향은 NS-N20°E이다(차 문성, 1976; 정상용, 1986). 또한 N40-70°E계가 수반되며 경사각은 85-90°로 거의 수직 절리를

형성한다. 마산지역의 화강암류는 북서방향으로 연장된 압주상으로 분포하며, 주절리계는 N50°E 와 N80°W의 직교 단열계가 우세하며 N40°W계의 발달이 수반된다.

거제지역의 화강암류는 다양한 성분상의 분화특징을 나타내며, 절리 및 단열계의 형성이 고응력 변천에 따라 양상을 달리하는 3회 이상의 발생단계를 거치고 있다. 전반적으로 고응력 변천에 의한 주응력 방향의 회전 과정에서 Tensional regime에 의한 절리가 주류를 이루며 N10°E와 N80°W로 대표되는 절리계를 형성하고 있다. 절리간 평균간격은 전자의 경우는 20cm이고 후자는 40cm이다. 수평절리는 국지적으로 N40-60°W의 주향과 10-30°NE의 경사를 갖는다. 절리간 평균간격은 50cm로서 하부로 갈수록 절리 간격이 증대하는 경향을 나타낸다.

이상과 같이 화강암류에 발달된 주절리계의 방향성 분석 결과에 의거하여 지하 구조물 설치시 예상되는 절리암석의 거동 및 구조물의 안전도 분석을 유한요소 모델을 이용하여 수치해석적으로 수행하였다. 모델링 대상암석은 거제지역 화강암류로 선정하였으며, 절리면 이동을 전체암석의 거동에 유기적으로 조화시키는 Continuum model 개념에 의거해 지하터널 굴착에 따른 터널 주위의 암석 거동 및 터널의 안전도를 절리면 내에 형성되는 유효응력을 산정하여 분석하였다.

서울인근의 불안정사면 검토

이 수곤

(한국자원연구소 응용지질연구소)

본 조사지역은 1991년 2월 현재, 서울시 종합건설본부에서 시공중인 서울 강남구 역삼동-개포동까지의 3차선 쌍굴인 도곡터널 입구의 대절취사면으로서, 완공 후 많은 교통량이 예상되므로 사면의 붕괴 시 심각한 인명과 재산의 피해 뿐만 아니라 예측 못한 과도한 복구비용이 소요될 수 있으므로 사면 안정성 검토 및 대책에 관한 연구가 수행되었다.

본 절취사면은 편암암 지역에 위치하고 있고, 높이가 33m이고 사면경사가 70°가 되는 가파른, 이미 1차로 시공된 사면이다. 1990년 강우 후에 두번에 걸쳐서 기존 시공사면이 붕괴되기 시작하였는데, 처음에는 조그맣게 발생하나 서서히 전체 암절취면 자체를 파괴시키는 형태로 발전할 것이라는 것이 사면붕괴의 위치와 형

태, 평사투영법에 의한 사면안정성 해석 및 사면 안전을 계산결과로서 종합적으로 판단되었다. 평상시에는 암괴의 사면 안전율이 1.5였으나 강우시에는 0.7까지 급격하게 떨어진다. 강우시의 사면붕괴 특징은 절취면에 거의 평행하게 발달하고 있는 수직절리가 상부 지표면이나 절취면상에 노출되어서 지표수가 그 절리틈새로 유입되고 큰 수압이 발생하여, 암괴 뒷쪽에서 밀어주는 즉 붕괴를 촉진시키는 힘이 발생하여서, 단층이 양쪽에서 썩기 형태로 끊어주어서 암반의 파괴를 촉진시키는 것이다. 암반전체의 사면안정성을 높이기 위해서 사면경사를 45°로 낮추고, 부분적으로 Untensioned rock bolt(Nail)와 Wire mesh를 절취면에 시공하고, 배수공을 설치하여 전체 사면의 안전율이 1.5 이상되게 설계하였다.

가설 토류벽용 SCW의 미경화 현상

김 교원, 송 정락, 강 기영
(주식회사 대우 엔지니어링)

가설 구조물로서의 토류구조물에는 여러가지가 있으나 근래에는 Cement grouting을 이용하여 직접 토류벽을 형성시키는 SCW (Soil Cement Wall)공법이 이용되고 있으며 경제성에서도 긍정적인 평가를 받고 있다.

본 연구는 굴착공사 현장이 흙막이 가설 구조물로서 통상 시공되었던 Soil cement 배합비로 시공한 결과 Grout 재료가 경화되지

않은 현상이 발생하여, 특수한 지반조건에서 Cement grouting의 경화현상을 방해하는 요인들을 살펴 보았으며 실내시험에 의해 그 원인을 규명하고 이에대한 대책을 수립하기 위한 것이다.

시험은 현장 흙을 채취하여 현장 배합비와 변경된 배합비 및 특정의 약액의 추가에 따른 SCW의 강도특성 변화를 실내 측정하였다.

그 결과 SCW 미경화 현상의 원인은 현장의 유기질토에 기인한 것으로 유기질토는 Cement 속의 Ca 성분을 흡착하여 Cement의 수화작용을 저해하는 것으로 나타났다. 이에 대한 대책으로는 염화칼슘 2% 첨가시 가장 효과적인 것으로 밝혀졌다. 그러나 염화칼슘의 배합비를 4%, 6%로 증가시킨 경우에

는 오히려 강도가 저하되는 특이한 현상이 나타났다. 또한 pH가 13이 되도록 NaOH를 첨가한 경우에도 강도가 저하되는 현상이 나타났다. 규산나트륨을 첨가 약액으로 사용한 경우에는 초기강도는 어느 정도 발현된 반면, 장기 강도는 감소되는 현상을 보였다.

수압파쇄법에 의한 국내 원위치응력 측정

윤 건신, 최 영철

(한국전력기술주식회사 환경기술부)

국내에서 처음 수압파쇄방법(Hydraulic fracturing stress measurement)에 의한 원위치(In-situ) 응력측정이 서해안(혹은모편마암)과 남해안(안산암, 화강암, 화강섬록암)지역에서 실시되었다.

시험구간은 지표하 75m에서 250m의 구간으로 총8개 시추공에서 수행하였으며 각 공에서 6회의 응력측정시험을 하였다. 수압파쇄 시험기기는 길이 90Cm의 두개의 고무 Straddle packer와 이를 연결시키는 길이 40cm의 Interval space로 구성되어 있다. 시험장비를 시추공내 시험구간까지 삽입시키기 위해서는 직경 5mm 철선을 사용하였다. 시추공내 시험구간의 압력을 정확히 측정하기 위하여는 고압호스와 Packer 상부에 부착시킨 Pressure transducer를 사용하였다.

시험구간의 압력과 유량은 3 Channel strip chart recorder와 Data tape recorder 및 디지털 디스켓에 각각 입력하여 통계처리에 사용하였다. 수압파쇄시 균열방향은 Orienting tools을 부착시킨 Impression packer를 사용하여 측정하였다.

수압파쇄 시험결과를 해석하기 위

한 Shut-in pressure(P_s)는 다음의 세가지 방법을 사용하여 비교 분석하였다.

1. Analog 기록의 세번째 주기에서 감소하는 압력-시간 곡선에 의한 Analog 방법.
2. 단계별 압력(P)과 압력 감쇄율(dp/dt ; P는 압력, t는 시간)의 관계를 P-dp/dt 함수 형태로 재 도식화하여 두개의 회귀직선식에 의한 통계적 방법.
3. 단계별 압력(P)과 유량(Q)의 관계를 P-Q 함수 형태로 재 도식화 한 후 두개의 회귀직선식에 의한 통계적 방법.

수압파쇄 시험결과 주 응력의 크기와 방향은 지질구조 및 지형에 따라 변화를 보이나 주응력 방향은 수평응력(σ_h)이 수직응력(σ_v) 보다는 일반적으로 크게 나타났다으며, σ_h/σ_v 의 비는 그 범위가 5.7-1.1이고 평균은 2.5, 표준편차는 1.1이다. 또한 수평 수압파쇄 균열이 생긴 단층부근 안산암지역과 수평 편리가 발달된 편마암의 일부 시험구간에서는 수압파쇄에서 구한 수직응력(σ_v)값이 수식에 의한 계산결과와 매우 유사한 값으로 나타났다.

스웨덴의 방사성 폐기물 처분장 (SFR) 에 대한 사례

김 천수

(한국원자력연구소 수문기술실)

현재 방사성 폐기물 영구처분장을 건설, 운영하고 있는 Sweden의 SFR(Final Repository for Reactor Waste)은 하나의 시범 시설로서 각광을 받고 있다. Sweden의 전력회사들은 방사성 폐기물 처분에 관하여 1960년말 부터 몇가지 가능성을 제시하였다. 천층처분은 일부 저준위폐기물을 제외 하고는 고려하지 않기로 하였으며, 해양투기는 1972년 London조약에 의해 금지되었다. 따라서 Sweden의 자연조건을 고려하여 현실적인 방법인 암반동굴 처분 방식을 채택하였다. SFR의 부지선정은 기술적인 면과 함께 다소의 정치적인 면도 고려되어졌다. SFR의 위치는 Forsmark 발전소 시설에서 3.5km 떨어져 있으며, 60m의 암반 두께를 갖는 해저에 정하여졌다. 1971년 부터 Forsmark 발전소의 건설을 위해 행해진 120km에 걸친 탄성파탐사와 15km의 시추공시추에 의해, Tectonic geology model과 지질공학적 특성은 1979년도에는 거의 조사되었다.

SFR건설을 위한 부지조사는 3단계로 나누어졌으며, 제1차 조사는 1980-1981년에 수행되었다. 모든 시추는 Off-shore platform에서 이루어졌으며 동절기에는 얼음위에서 조사되었다. 제2차 조사(1982-1983)는 규제기관(SKI)에서 지적인 문제점 해결과 처분장의 상세설계를 위한 자료수집에 중점을 두었다. 제3차 조사는 1983년말 부터 1986년 까지 지하동굴 지질도와 Pilot drilling으로 이루어졌다. Tunneling(굴착)에서 조사된 지질학적 자료는 설계수정과 보강공사를 위한 Rock bolt 선정과 Rock mass quality의 파악에 크게 기여하였다. 전체동굴의 길이가 4.5km에 이르는 SFR Project를 위한 시추공의

길이는 5km에 달하였다. 그러나 SFR의 안정성과 공학적 안전성에 대한 분석을 짧은 기간의 지질조사 활동을 통하여 할 수 있었던 것은 10여년 동안 축적되어온 기존 자료가 있었기 때문으로 사료된다.

제1단계의 SFR은 1200m의 평행한 2개의 진입동굴, 30m의 직경과 70m의 높이를 갖는 Silo, 4개의 처분동굴(W: 15-20m, H: 9.5-16.5m), 그리고 각 시설을 연결하는 동굴로 구성되어 있다. SFR의 건설을 위하여 발파한 암석은 430,000m³에 달하였고 전체 지하시설의 길이는 약 4.5km이다. SFR을 위한 첫번째 발파는 1983년 8월에 시작되었으며 진입동굴의 굴착은 1983년 10월에 시작되었다. 모든 지하시설의 굴착은 1986년 3월에 끝났으며, Concrete work와 시설설치는 1년반이 걸렸다. SFR의 완공은 1987년 9월로 4년만에 건설되었다.

SFR의 계획, 설계, 시공은 Vattenfall에서 하였으며, 시공은 자체인원과 장비로써 하였다. 지하시설 건설은 78명의 인원이 소요되었다. 43명은 직접적인 굴착작업, 22명은 보강공사, 7명의 기술공은 Machine service, 8명은 Electrical service에 분배되었다. 굴착 작업에 대한 지연을 방지하기 위하여 주간에는 굴착공사가 2교대로 진행되었고, 야간에는 지하지질도 작성과 보강공사가 행하여졌다. 5 days/week, 7.2 hr-shift/day로 공사가 진행되었다. 지하 처분장의 Excavation경비는 70%가 굴착공사에 따른 것이고 30%가 보강공사에 따른 것이다. 4년에 걸친 공사중 안전사고 없이 일정에 맞춰 완공할 수 있었던것은 조직적인 계획과 이를 뒷받침하는 축적된 기술 및 Manager, Engineer와 Geologist간의 긴밀한 협조하에 수행된 결과로 사료된다.