

화산암의 공학적 문제와 대책

(2010 화산암에 관한 특별세미나 및 현장지질실습)



김 영 군
삼성물산 부장
(babokang@hanmail.net)

암반역학위원회(위원장 : 선우춘 박사)는 지난 8월 27 ~28일에 「화산암의 공학적 특성 및 문제」라는 주제하에 특별세미나와 국내 대표적인 화산암지대인 부산지역에 대한 현장지질실습을 실시하였다.

본 세미나 및 현장지질실습은 지난 1999년 태백지역의 석탄, 2000년 제주도지역의 화산암, 2001년 단양영월지역의 석회암, 2002년 포항지역의 이암/셰일, 2004년 옥천지역의 천매암, 2009년 춘천지역의 편암/편마암에 이어 부산지역의 화산암을 주제로 하였다.

본 지역은 실제 터널이나 암반사면 시공시 많은 붕괴 및 붕락사고를 겪고 있으며, 설계시의 지반조건과 시공시의 지반상태의 급격한 변화로 인하여 많은 문제를 안고 있어 이에 대한 공학적 고찰과 실제 시공시의 제반 문제점에 대한 분석이 요구되고 있다.

본 세미나 및 현장지질실습은 화산암의 지질학 및 공학적 이해를 바탕으로 터널과 암반사면과 같은 암반구조물에 대한 합리적인 설계와 시공에 활용할 수 있도록 만들어진 것으로 화산암에 대한 지질학적 특성, 지질공학적

표 1. 천매암에 관한 세미나 발표논문 및 현장지질실습

	발표논문	발표자/소속
학술 세미나	화산암의 지질학적 특성	이병주 박사 / 한국지질자원연구원
	화산암의 지질공학적 특성과 분포	윤운상 박사 / 넥스지오
	화산암지역 지반조사사례	이창섭 사장 / 동해이엔지
	부산지역 화산암의 특성	엄정기 교수 / 부경대학교
	경상계 화산암류의 화학적 풍화지수	김성욱 사장 / 지반정보연구소
	응회암 지역의 대규모 사면붕괴사례	김영근 박사 / 삼성물산
	화산암지역 터널붕락구간 지반조사사례	신영완 박사 / 하경엔지니어링
현장 지질 실습	부산 황령산 일대	김성욱 사장 / 지반정보연구소
	부산 다대포 일대	이병주 박사 / 한국지질자원연구원

특성, 암석역학적 특성, 실험/해석상의 문제, 시공시의 문제 등에 대한 충실한 발표내용으로 원활하게 진행되었으며, 참가자들의 호응속에 본 세미나 및 현장지질실습을 무사히 마치게 되었다.

본 세미나에서는 표에서 보는 바와 같이 모두 7편의 논문발표와 부산지역에 대한 현장지질실습이 있었다. 본 고에서는 지질분야에서의 화산암에 대한 폭넓은 이해와 기술적 공유가 이루어질 수 있는 토대가 될 수 있도록 그 내용을 간략히 소개하고자 한다.

1. 화산암(Volcanic Rock)에 관한 특별세미나

1) 화산암의 지질학적 특성

이병주 박사(한국지질자원연구원)

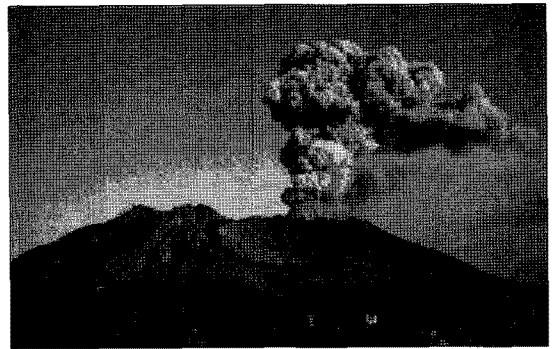
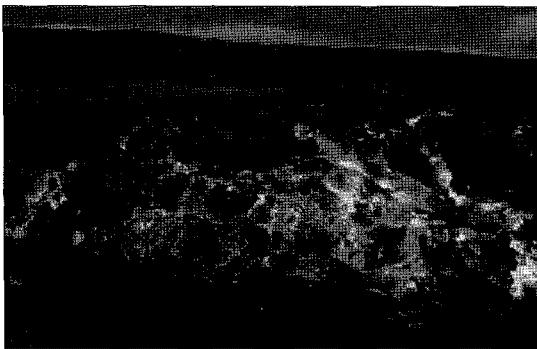
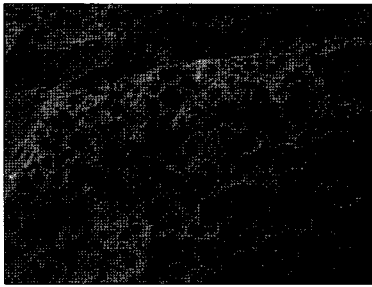


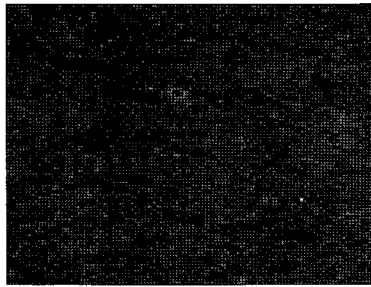
그림 1. 용암과 수증기와 화산재를 뿜어대는 화산활동

표 2. 화산암의 분류표

색	담색			검은색	
	산성암		중성암		염기성암
SiO ₂ %	>65	65~60	60±	55±	52~45
화산암(용암)	유문암 석영조면암	석영안산암	조면암	안산암	현무암
화산쇄설암 (화산분출물이 운반, 퇴적)	화산암괴 화산력 화산자갈 화산진		32 이상 32~4 4~1/4 1/4 미만		화산각력암 집괴암 래미리응회암 응회암



기공질 현무암



용결 응회암



화산각력암

그림 2. 주요 화산암

2) 화산암의 지질공학적 특성과 분포

윤운상 박사(주식회사 벡스지오)

화산암은 용암 또는 화성쇄설물로 이루어진 암석으로서, 용암 및 화성쇄설물의 특징에 따라 다양한 조직과 구조를 보인다. 염기성의 현무암, 중성의 안산암 및 산성의 유문암 등이 대표적인 암석이며, 화성쇄설물로 구성된 응회암, 집괴암 및 화산각력암 등의 다양한 화산쇄설암을 포함한다. 국내에서는 백두산, 제주도, 울릉도 등 화산지역 외 경상남북도 등 주로 중생대 백악기 경상누층군의 최상부 층군인 유천층군이 분포하는 곳에 집중적으로 발달한다. 유천층군은 하양층군 상위에 경사 부정합으로 덮

고 있는 화산암체로서, 하부는 안산암 계열의 중성 화산암, 중부는 응회질 퇴적암, 상부는 산성의 화산암으로 구성되어 있다.

3) 화산암지역에서의 지반조사사례

이창섭 사장(동해이엔지)

지반조사시 공학적 특성을 반영하는 지질학적인 요인을 정확히 파악하여 지반을 분류하고 기재하는 것이 중요하다. 이러한 기재 및 분류가 이루어질 때 공학적 특성을 갖는 지층구분과 현장시험위치 및 대표 시료채취 위치의 선정, 설계정수의 결정이 가능하다. 화산암의 조사와 기

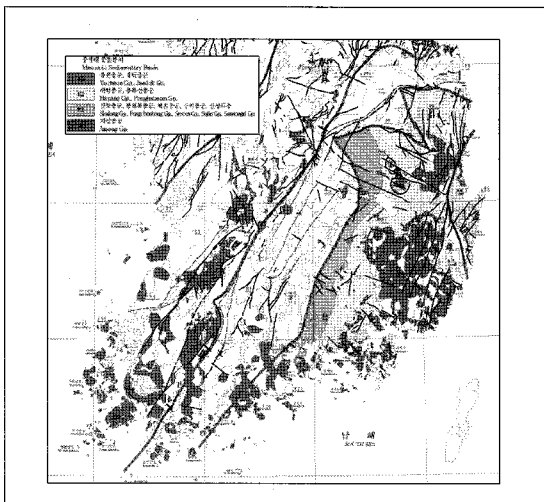


그림 3. 한반도 남부 백악기 퇴적암 및 화산암의 분포

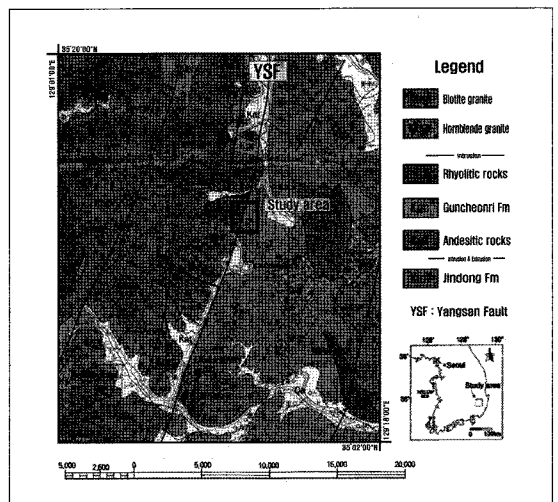


그림 4. 조사지역의 지질도

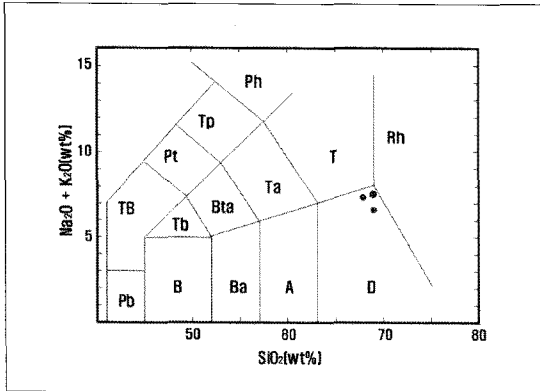


그림 5. Volcanic Unit의 분류

재 시 화학성분, 쇄설물의 종류 및 입도에 의한 분류가 공학적인 특성을 가장 많이 반영한다. 또한 화산암 분포지역에서는 열수변질작용이 광범위하게 진행되는데 열수변질작용은 구성광물의 분해, 화학성분의 용탈과 반응에 의한 새로운 광물의 형성, 이에 따른 입자 경계의 열림과 결합력의 약화, 미세균열의 증가와 공극의 발달 등을 초래하여 암석의 물리적 특성을 변화시키고 궁극적으로 암반의 공학적 성질을 약화시킨다. 따라서 화산암지역에서의 지반조사는 화산암의 분류 및 기재와 화산암의 구조 및 조직, 열수변질작용 등에 대한 이해가 중요하며 이를

기초로 한 지반조사가 수행되어야 한다.

4) 부산지역 화산암의 특성

엄정기 교수(부경대학교)

부산일대는 백악기 화산활동이 있었던 지역이다. 이 지역은 고철질의 화산암류에서 규장질의 화산암류까지 화학조성과 조직면에서 다양한 화산암류가 분포한다. 본 지역의 최하부로 알려진 다대포층은 하부와 상부로 세분되었다. 하부 다대포층은 적색층과 비적색층의 퇴적암이 교호대를 이루고 있으며 화산물질의 함유량이 적은 것이 특징이다. 구성암석은 적색 셰일 및 실트스톤, 회색-녹회색 셰일, 사암 및 역암이다. 상부 다대포층은 녹색 및 녹회색 응회질 사암이 대부분이며 응회질 역암과 셰일이 소량 협재한다. 또한 현무암질 안산암과 안산암질 응회각력암이 협재되기도 한다. 다대포층의 상부는 안산암질암이 피복하고 있다. 또한 셰일, 미사암, 사암, 응회질 사암, 응회암, 이회암, 처어트, 등의 다양한 암종으로 이루어진 퇴적암체가 화성암류에 고립 산재되어 소규모로 분포하며 최상부는 유문데사이트질 화산각력암과 유문데사이트 및 유

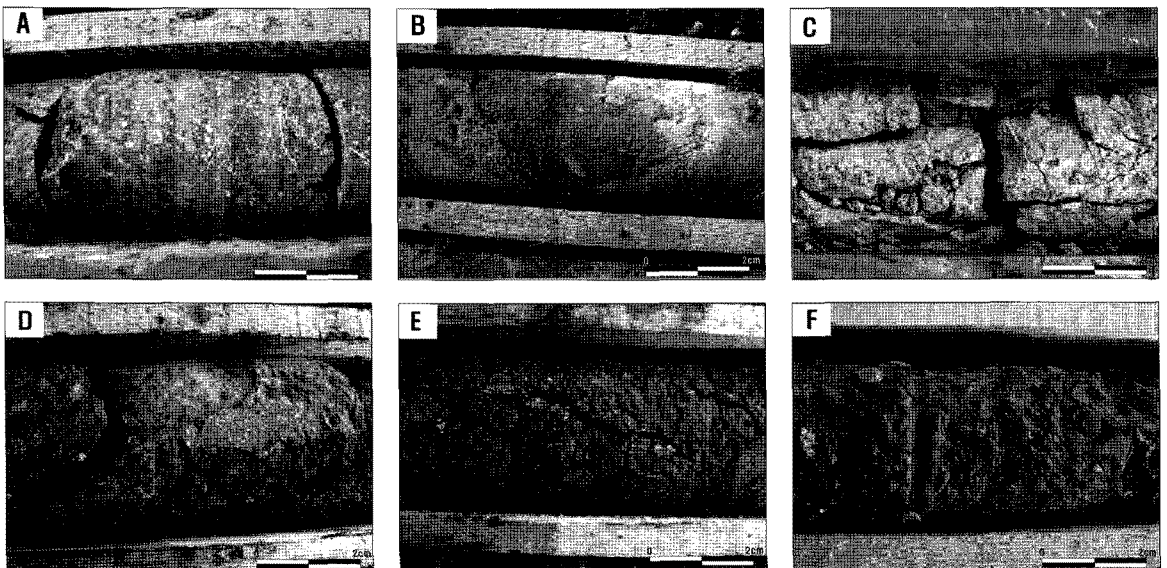


그림 6. 데사이트질 응회암(변질대, 파쇄대, 단층비지대)

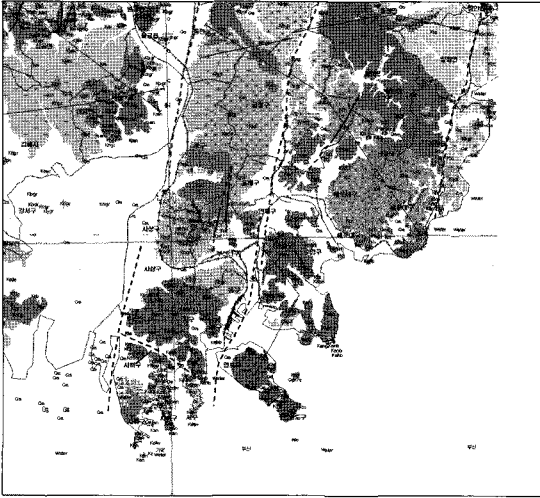


그림 7. 부산지역 지질도

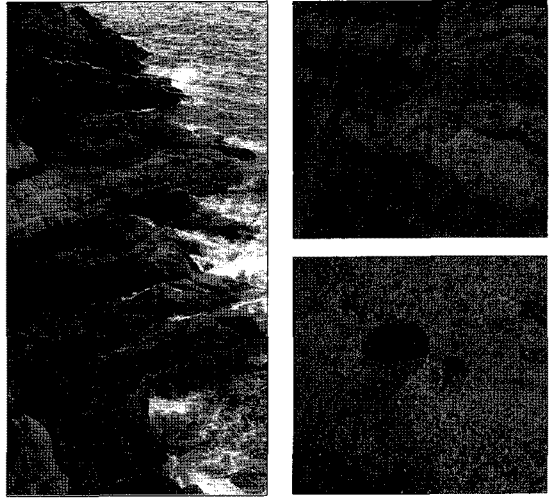


그림 8. 다대포층의 노두

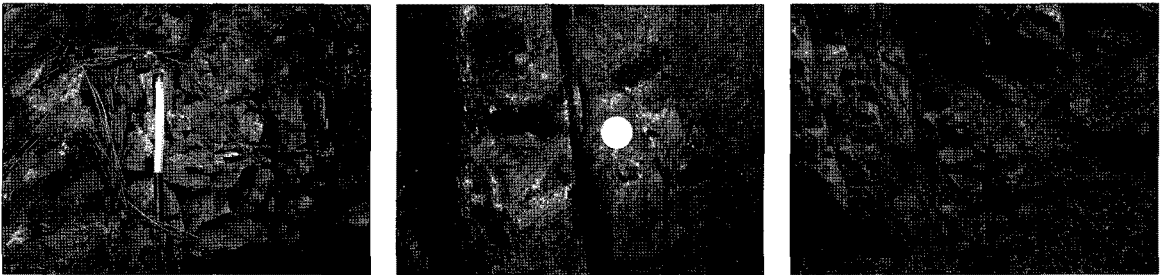


그림 9. 안산암질암의 노두



그림 10. 유문암질암의 노두

문암질암 등의 유문암 계열의 화산암이 피복되어 있다.

5) 경상계 화산암류의 화학적 풍화지수

김성욱 박사(지반정보연구소)

암석의 풍화 정도에 비례하여 지반의 지지력이 감소는

잘 알려져 있고, 토목 구조물의 시공과 설계에서 풍화에 의한 지반정수의 변화는 화강암류의 결과가 흔히 인용된다. 본 연구는 우리나라의 남부와 해안 지역에 넓게 분포하는 화산암류의 풍화를 화학조성과 풍화지수를 통해 고찰하였다.

화강암류가 고생대와 중생대 쥬라기와 백악기, 제3기의 다양한 시대에 걸쳐 형성된 반면 화산암류는 백악기

말 유천층군에 제한적으로 산출되고 있어 동일 암석으로 분류되기 쉽다. 유천층군 화산암은 화학조성에서 동일기원 마그마에서 기원된 것으로 추정되나, 분화에 의해 현무암질 안산암에서 산성질의 유문암까지 다양하게 산출된다. 유문암질암이 유사한 조성을 보이는 것과 달리 중성질의 안산암질암은 현무암질 안산암, 조면안산암, 석영 안산암, 안산암 등으로 구분되며, 이 중 고철질의 현무암질 안산암이 우세한 것으로 분석되었다. 경남에서 연암에 해당하는 화강암류의 화학적 변질지수가 50-70의 범위를 보이는 것과 달리 중성질의 화산암은 50-80 범위 풍화지수를 보인다. 이는 안산암질암의 풍화속도가 화강암에 비해 가속되는 것을 지시한다.

산성질의 화산암은 풍화산물로 일라이트의 함량이 증가하며, 팽윤성의 점토광물을 거의 포함하지 않았다. 풍화의 진행경로는 산성질 암석으로 분류되는 화강암의 풍화 과정도 유사하였다. 고철질이 우세한 안산암질암은 풍화산물로 일라이트보다 카올린, 녹니석, 스멕타이트의 함량이 증가하였으며, 풍화과정에서 암석 풍화의 최종단계에서 형성되는 카올린 이전에 높은 양이온 교환능으로 팽

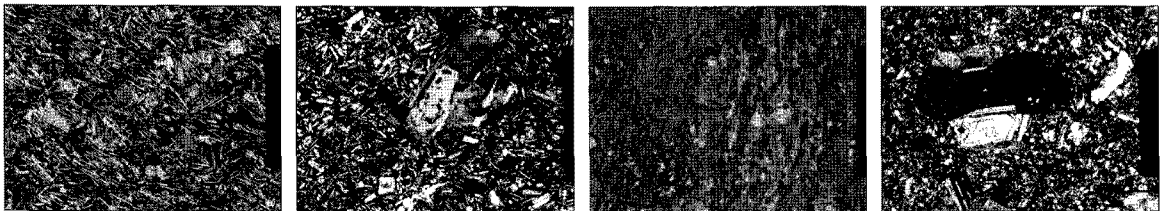
윤성을 보이는 스멕타이트를 수반하는 것으로 판단된다. 지질도상에 분류되어 있는 안산암질의 분포가 고철질과 규장질을 모두 포함하고 있어 지반조사 단계에서 안산암질의 정확한 분류가 요구된다.

6) 응회암 지역의 대규모 사면붕괴 사례

김영근 박사(삼성물산)

인공사면 설계시 좁은 지역에서 조사된 자료를 이용하여 전반적인 계획이 수립되어지며 특히 불연속면의 특징을 고려하지 않고 암반의 강도측면에서 사면의 경사가 결정되어지는 모순이 있다. 특히 사면을 구성하는 암질의 특성을 고려한 설계는 거의 이루어지고 있지 않는 실정이다.

응회암류는 구성암질에 따라 풍화에 대한 저항성이 다르고, 특히 풍화에 민감한 유문암류는 우수 유입 등이 발생할 경우에는 매우 연약한 상태로 되어 기존의 토체와 같은 형태가 아닌 플로우(flow) 형태의 거동특성을 갖게 된다. 따라서 이러한 지반에서의 설계 및 시공시에는 기



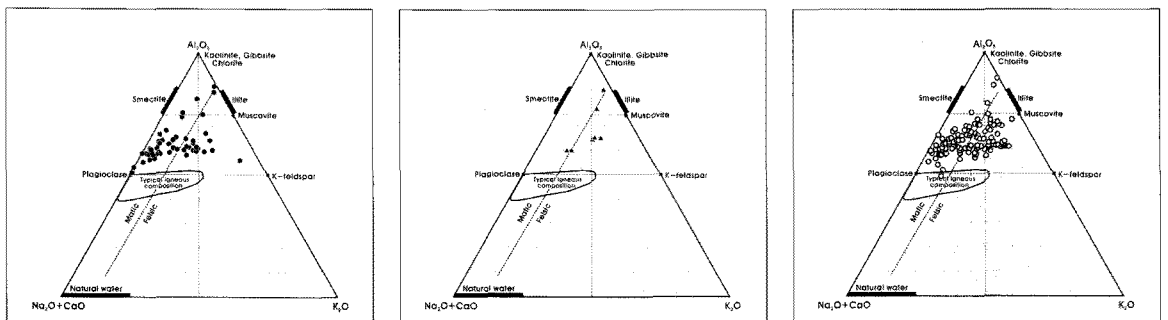
현무암

안산암

유문암

응회암

그림 11. 화산암의 박편사진

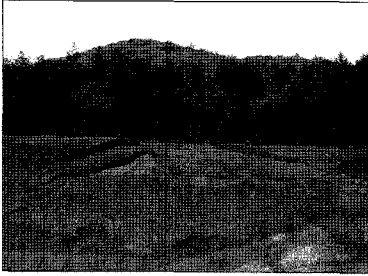


안산암

유문암

응회암

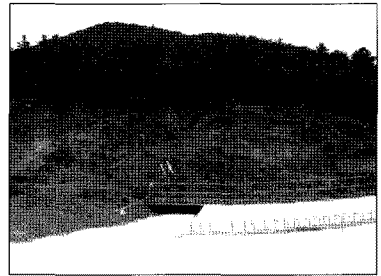
그림 12. 화산암의 화학적변질지수(CIA)



1차 사면 붕괴 현황

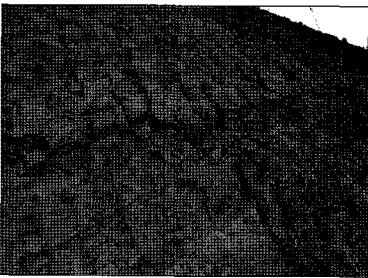


상부 인장균열

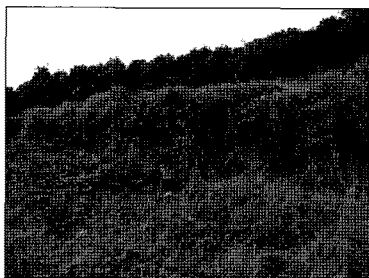


2차 사면 붕괴 현황

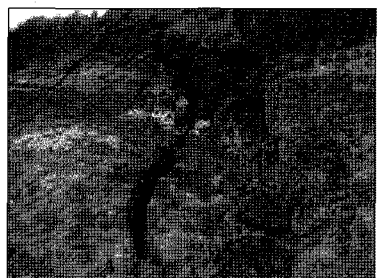
그림 13. 응회암지역에서의 암반사면 붕괴



1차 사면 붕괴 현황



상부 인장균열



2차 사면 붕괴 현황

그림 14. 화산력질 응회암지역에서의 암반사면 붕괴

존 사면 구배와 동일한 조건을 적용할 경우에는 집중호우 발생시 붕괴의 위험이 많을 것이라는 것을 예상할 수 있다. 특히 두 개의 사례에서 보는 바와 같이 풍화에 민감한 응회암류를 포함한 여러 성질의 응회암류가 존재하는 사면의 경우 각 재료에 대한 성질을 별도로 관리하고 검토하는 해석기법이 필요하다고 할 수 있다. 또한 우기에 대한 검토시 지하수위를 만수위로 하여 해석하는 일반적인 방법 보다는 함수비가 증가할 때 변화하는 물성치를 확인하여 안정성 해석에 적용하는 것이 필요할 것으로 사료된다.

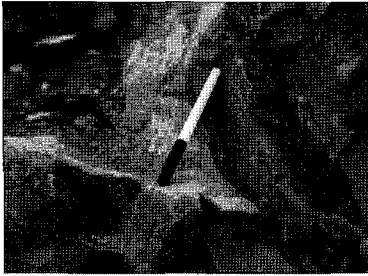
따라서 향후 응회암류의 암질이 존재하는 지역에서 사면의 설계를 할때, 암반의 강도 또는 풍화정도만을 파악하는 것이 아니고, 사면에 영향을 미치는 불연속면, 암질의 특성 등에 대하여 치밀한 조사를 수반함으로써 붕괴로 인한 추가 공사비 및 공기지연 등의 문제를 해결하는 것이 중요하며, 기존의 절취면에 대해서도 지질공학적 특성을 고려한 절토사면의 유지관리가 이루어져야 한다.

7) 화산암 지역 터널붕락구간에서의 지질 및 지반특성 조사

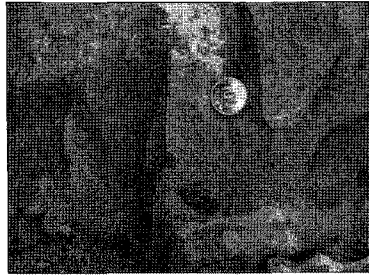
신영원 박사(하경엔지니어링)

본 논문은 화산암 지역에 시공되고 있는 터널에서 발생한 붕락의 원인과 메카니즘을 규명하고자 실시한 지질 및 지반조사결과를 정리한 것이다. 본 지역은 용결응회암과 안산암이 주로 분포하고 있으며, 차별풍화에 의한 풍화대와 핵석이 존재하며, 단층화 절리가 발달한 지반특성을 보이고 있다.

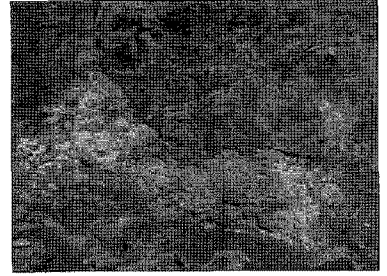
상부 지표침하 발생당시 일반적인 토사, 풍화암 지반의 침하형태인 구 내지 콘 형태의 침하가 아닌 사각형의 형태인 것으로 보아, 이는 토사지반에 흔히 작용하는 단순한 연속체적 거동이 아닌 전단저항력을 상실한 불연속면을 따라 발생하는 불연속체적 거동이 발생한 것으로 추정된다.



안산암 노두



라피리 응회암



핵석 풍화

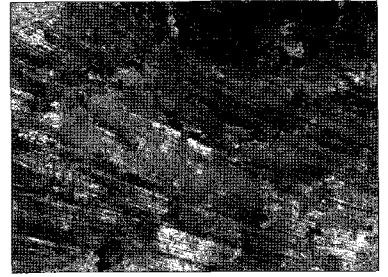
그림 15. 터널 주변 지질특성



터널내 붕락현황



터널상부 함몰



단층경면

그림 16. 터널 붕락 및 지표 함몰

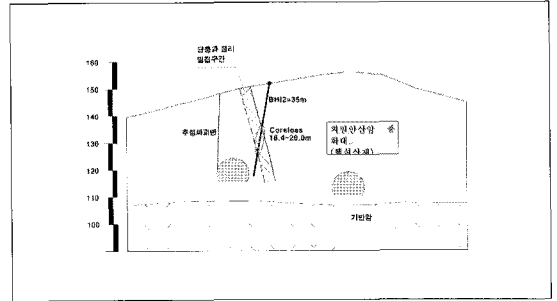
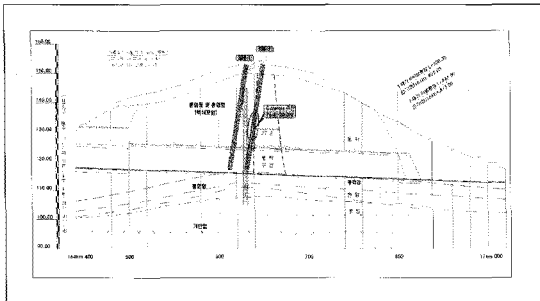


그림 17. 터널 붕락 원인분석

본 지반조사를 통하여 터널 본선부에서 발생된 터널상부 지표침하 및 터널내 막장붕락구간 인근의 지질 및 지반상태를 상세히 파악하여, 터널붕락의 원인을 지반공학적으로 분석하였다. 또한 지반의 공학적 특성을 획득하여 붕락구간의 보강설계에 반영하였다.

본 세미나는 부경대학교에서 진행되었다. 본 기술위원회의 위원장이신 지질자원연구원의 선우춘 박사를 포함하여 전임위원장이신 지질자원연구원의 이병주 박사과 신희순 박사, 아주대 이상덕 교수 등이 참여하시고 본 세

미나의 내용을 더욱 알차게 채워주셨으며, 특히 부산에서 업정기 교수와 동해 이엔지의 이창섭 사장과 지반정보원 구소 김성욱 사장 등이 참석하여 부산지역의 지질 및 지반특성에 대한 실제적인 자료를 보여주고 발표하였다.

2. 부산지역 화산암 현장지질실습

본 위원회에서는 우리나라 대표적인 화산암지대인 부

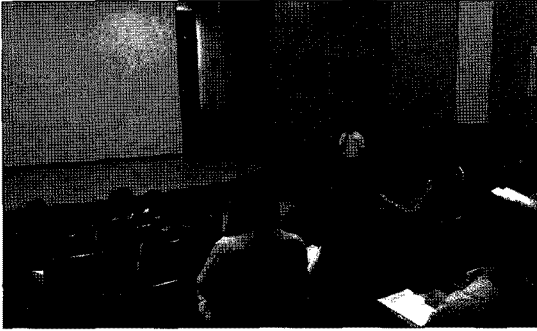


사진 1. 특별세미나 모습- 부경대학교

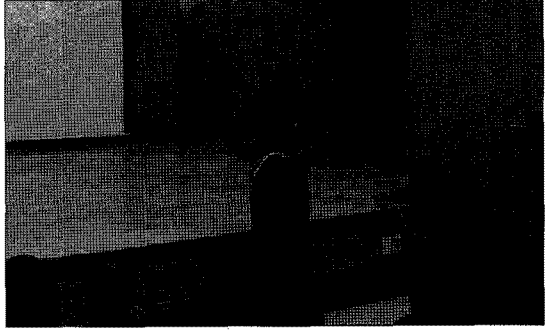


사진 2. 위원장(선우훈 박사) 인사말씀

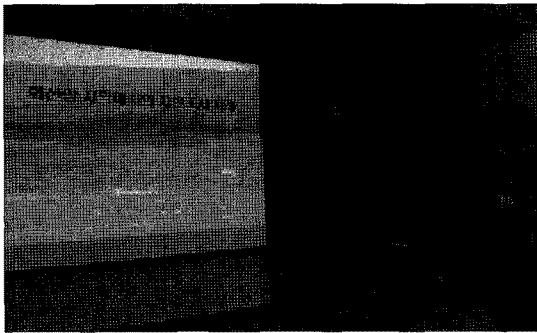


사진 3. 논문 발표

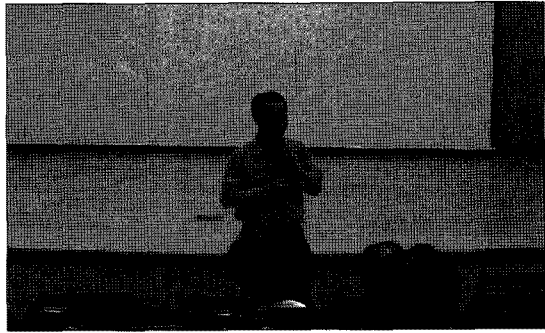


사진 4. 강평 및 평가

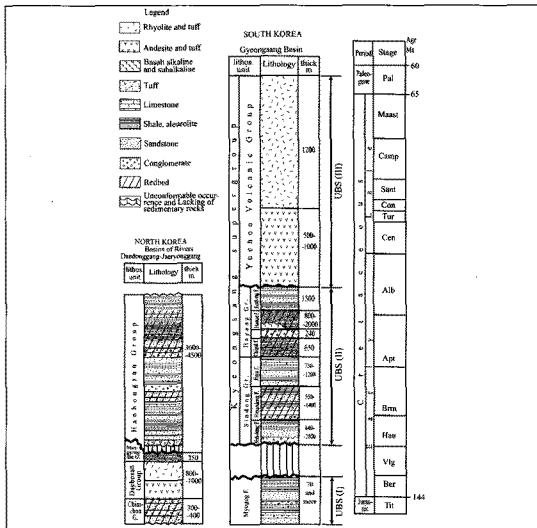
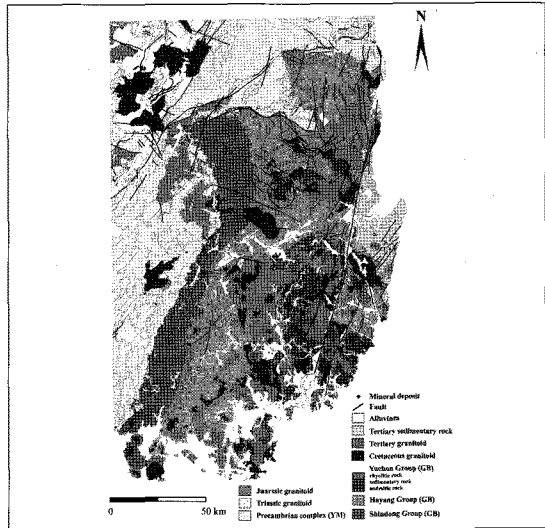


그림 18. 경상분지 압흥서와 남부 유천층군의 화산암 분포



산지역을 현장지질답사 지역으로 선정하였다. 잘 알려진 바와 같이 지하철 및 도로와 같이 많은 건설공사가 진행되고 있으며, 다양한 지질적 특성으로 인하여 터널과 암

반사면시공시 많은 붕락 및 붕괴가 일어나 지반기술자들에게 있어 관심이 많은 지역이라 할 수 있다.

부산지역 화산암의 특성을 고찰하기 위해서는 부산지

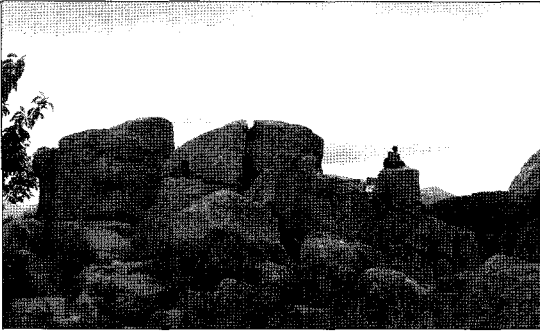


사진 5. 부산 황령산 화산암 노두들



사진 6. 부산 황령산 현장지질실습중



사진 7. 다대포 화산암 노두들



사진 8. 다대포 현장지질실습중

역에 분포하는 지층을 포함하는 경상누층군에 대한 이해가 필요하다. 경상분지에는 상부 중생대층인 백악기 육성 퇴적층들이 쌓였으며, 자색지층의 발달과 상부로 갈수록 빈번해지는 화산암 및 화산기원 퇴적층의 협재가 특징적으로 나타난다. 장기홍은 경상분지 내에서 보다 광범위하게 적용될 수 있는 암층서적 분류를 제안하였다. 그는 화산활동 및 심성활동과 관련하여 경상분지의 발달과정을 선화산활동 퇴적기, 화산활동동시성 퇴적기, 화산활동 절정기 및 화강암 관입기로 구분하였다. 그리고 각기에 해당하는 층서단위를 신동층군, 하양층군, 유천층군 및 불국사관입암류로 명명하고 3개 층군을 묶어서 경상누층군을, 관입암류까지를 포함하여 경상속을 설정하였다.

부산은 경상누층군이 분포하는 밀양지괴에 속하며 경상분지의 남동단에 위치하고 있다. 경상누층군은 하부로 부터 신동층군, 하양층군, 유천층군으로 대분되며 부산지역은 경상누층군의 상부지층인 유천층군이 주로 분포한다. 유천층군의 화산암은 다시 하부의 주사산안산암질암과 상부의 운문사유문암질암으로 대별된다. 본 역에 분포하는 화산암류는 화학성분과 조직의 변화에 따라 매우 다양한 암종으로 나타난다. 따라서 모든 세부적인 암종에 대하여 개별적으로 논의하기에는 어려움이 따르며 여기서는 부산지역의 화산암을 암산암질암, 응회질퇴적암, 유문암질암으로 대분하였다.

앞서 설명한 바와 같이 부산지역 대표적인 화산암층을 답사하기 위하여 황령산 지역과 다대포 지역을 선정하여 현장지질답사를 수행하였으며, 본 답사에는 부경대학교 임정기 교수와 지반정보연구소 김성욱 박사께서 본 지역의 지질특성에 대하여 상세한 설명을 해주어, 지질 및 지반공학적인 이해에 도움을 주셨다.

황령산의 정상부에는 대표적인 화산암인 안산암과 응회암의 노두를 쉽게 관찰할 수 있었다. 암석의 노두에는 표면에 거의 수평방향으로 겹겹이 줄이 그어진 것을 볼 수 있는데 이는 화산분출물(용암)이 산비탈을 따라 흘러 내리며 식은 흔적이다.

다대포층은 구성암상으로 보아 즉 포함되는 적색층 및 화산암물질의 양에 따라 상부와 하부로 나누어진다. 다대포층의 하부는 적색층과 비적색층의 교호대로서 화산암

물질의 함량이 상부대에 비해 훨씬 적게 함유된다. 주로 적색 세일 실트스톤과 회색 녹회색의 세일 사암 및 역암으로 구성된다. 다대포층의 상부는 녹색 및 녹회색 응회질 사암이 대부분이며 응회질 역암과 세일이 소량 협재되며 또한 순수 화산암물질인 현무암질안산암 응회각력암이 협재됨을 볼 수 있다.

또한 화산암 내부에는 열수변질에 의해 완전히 열화되어 파쇄대와 같이 공학적으로 매우 불량한 존이 형성되어 있으므로 조사 및 설계시 유의해야만 한다.

3. 세미나 및 현장지질실습을 마치고

이번 화산암에 관한 특별세미나 및 현장지질실습에는 더운 날씨와 부산이라는 먼 지역적 한계에도 불구하고 비교적 많은 사람이 참석하여 무사히 잘 마쳤다고 생각된다. 참석한 회원들은 화산암에 대한 높은 관심을 보였는데, 특히 업계의 활발한 참여는 설계, 시공, 감리 현장에서 부딪치는 암반 및 지질문제에 대해 구체적으로 공부하여 업무에 활용하기 위한 것으로 보인다.

최근 지질문제가 본격적으로 토목구조물 설계시 중요한 고려사항이 되고 있다. 이는 각종 조사방법을 동원하여 보다 많은 지질자료를 획득하여 이를 설계에 적극적으로 반영하여 차별화된 설계를 위한 노력 때문이라고 생각된다. 그러나 지질조사자료에 대한 공학적인 판단과 이해가 부족한 경우 오히려 조사를 하지 않는 경우보다 못한 결과를 가져올 수 있음을 주의하여야 하며, 특히 설계시 지질문제에 대한 평가는 지반공학전문가와 지질공학전문가의 협업속에 이루어져야함은 물론이다. 또한 지반분야에서 가장 중요한 것은 보고 경험하는 것이므로 지질에 대한 지속적인 공부만이 이 분야에 대한 눈을 더욱 크게 열 수 있을 것으로 생각된다.

항상 그렇지만 행사를 계획하고 준비하면서 이번 행사는 정말 지질 및 암반분야에 관심 있는 분들 모두에게 조그만 도움이 되었으면 바는 바람이다. 모르는 것에 대하여 전문가들로부터 설명을 듣고 배운다는 것만큼 좋은 방법은 없으리라 본다.

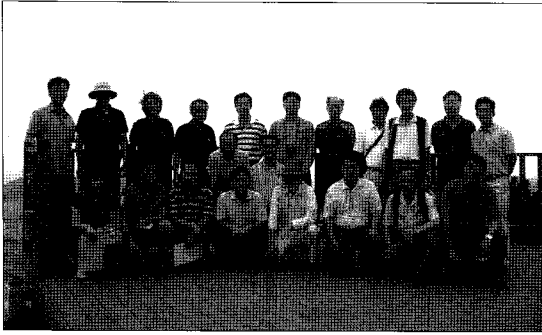


사진 9. 황령산 정상에서



사진 10. 다대포 앞바다에서



사진 11. 부산의 맛있는 회와 함께



사진 12. 즐거운 산행과 만남

이제 행사가 무사히 끝나고 내 앞에 남아 있는 한 권의 세미나 논문집을 작년, 재작년의 논문집에 나란히 놓으면서 하나씩 만들어지고 더해지는 임반역학위원회의 결실들을 보고 있노라면 가슴속에 차오르는 자그만 기쁨을 느낀다. 내년에는 보다 알차고 내용 있고, 많은 사람들이 모여 함께 할 수 있는 멋진 세미나를 꿈꾸며, 임반역학위원회에 관심 있는 모든 분들의 기탄 없는 의견과 참여를 기대해본다.

해마다 떠나는 현장지질실습은 참으로 많은 경험과 느낌을 가져다준다. 몰랐던 사실을 알게 되는 즐거움과 사람을 만나는 즐거움 그리고 자연을 사랑하는 즐거움이 더욱 새로워지곤 한다. KTX차창 밖을 보면서 느낀 자연의 아름다움, 이른 아침 해운대 앞바다에서의 가벼운 산책, 밤바다를 보면서 소주잔을 기울이며 즐겁게 이야기 나누

는 시원함, 현장의 문제점을 직접 해결하느라 고생하는 기술자들의 따뜻한 등등 이모두가 우리 삶의 즐거움이자 재미가 아닐까 싶다.

끝으로 본 세미나 및 지질실습이 원활하게 진행되도록 도와주신 모든 분들에게 고마움을 전합니다. 또한 매번 세미나 및 지질실습 등을 참석하여 조언을 아끼지 않으신 이상덕 교수님과 신희순 박사님 그리고 매년 지질실습에서 수고를 아끼지 않으신 이병주 박사님과 선우춘 박사님, 이번에 특히 도와주고 부경대 엄정기 교수님, 그리고 바쁘신 와중에도 현장을 안내하고 도와주신 지반연구소 김성욱 사장님에게 다시 한번 감사드리는 바입니다. 끝으로 바쁘신 와중에도 원고준비와 논문발표에 수고해 주신 강사분들에게도 진심으로 감사드리는 바입니다.