

경북 추령터널 부근 암석의 풍화특성에 관한 지구물리화학적 연구 Weathering Characteristics of Rocks near Churyong Tunnel Site, Kyongbuk, using Geophysical and Geochemical Methods

서만철 (Suh, Mancheol)
김민규 (Kim, Minkyu)
최석원 (Choi, Suckwon)

공주대학교 자연과학대학 지질학과
한국자원연구소 암반공학그룹
공주대학교 자연과학대학 지질학과

요약/Abstract

경상북도 경주군 추령터널 축조공사장 암석의 물성과 풍화특성을 밝히기 위한 연구가 수행되었다. 암석의 종류, 구성성분 및 조직의 특성을 알기 위하여 현미경 관찰 및 X선 회절분석을 실시 하였으며, 또한 현장탄성파속도 측정, 시험편에 대한 실험실내에서의 탄성과 전파속도 및 일축압축강도 시험을 실시하였다.

연구지역의 암석은 화산쇄설암인 응회암(tuff)으로서, 점토광물을 바탕으로 하여 석영, 장석 등의 결정들과 화산암편, 세일편 등의 암편들로 구성되어 있다. 풍화를 받지 않은 응회암은 평균 압축강도가 약 443kg/cm², 평균 탄성파속도가 약 3680m/sec인 연암이며, 자갈모양으로 박혀 있는 안산암은 평균 압축강도가 약 2500kg/cm², 평균 탄성파속도가 약 4340m/sec인 경암으로 판명되었다. 실험실 시편과 현지의 암반에 대한 탄성과 전파속도는 압축강도와 비교적 높은 상관성을 보이면서 비례하는 양상을 보인다. 한편, 실험실 시편에서의 탄성과 속도는 현지 암반보다 약 1.5km/sec 높은 현상을 보이는데, 이는 현지암반에서의 절리, 파쇄대 및 수분의 존재 등에 의하여 탄성과 전파속도가 저하된 현상으로 해석된다.

응회암은 바탕물질과 세일편에 50% 이상의 점토광물을 함유하고 있어 자연환경에 노출시 쉽게 수분을 흡수하는 특성을 갖는다. 따라서 연구지역의 암석은 풍화되기 전에는 보통암 이상의 강도를 보이거나 대기중에 노출되면 다른 암석에 비하여 쉽게 풍화를 받는 특성을 갖는다.

Microscopic study and X-ray diffraction analysis were carried out to find out rock type,

rock forming minerals) and weathering characteristics of rocks at the constructing site of the Churyong Tunnel, Kyongju-Gun, Kyongbuk. Seismic velocity and compressional strength were measured to evaluate mechanical properties of rock.

The rock of the study area is Jurassic tuff consisting of clay minerals, crystals of quartz and feldspar, fragments of volcanic rocks and shale. Fresh tuff has compressional strength of about 443kg/cm² and seismic velocity of about 3680m/sec in average. It is classified as soft rock. Rock fragment within tuff is andesite and it has compressional strength of about 2500kg/cm² and seismic velocity of about 4340m/sec in average. It is classified as hard rock.

A good linear relationship is found between compressional strength and seismic velocity in both laboratory sample and in-situ rocks. Laboratory samples has seismic velocities faster about 1.5km/sec than those in-situ rocks. It is interpreted that joints, fractures, and water content in the in-situ rocks result in decreases of seismic velocity.

As Tuff has more than 50% of clay minerals in matrix and shale fragments, it absorbs water easily in atmospheric condition. Therefore, though the rock in the study area is medium hard rock before weathering, it is weathered very easily in the case of exposure to natural environment, comparing with other rock.

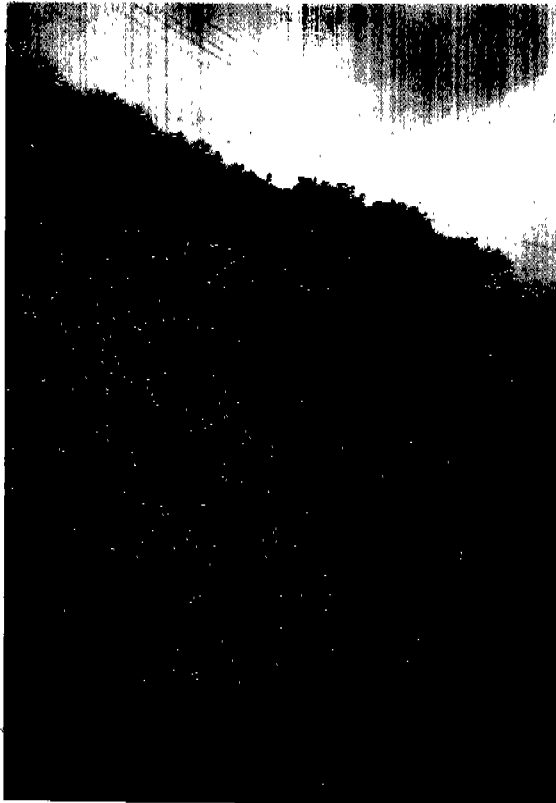
서 론

경상북도 경주군 추령고개의 추령터널 축조공사장 암석은 특이한 풍화양상을 나타내어 사면절개 또는 터널굴착 등의 토목공사에 있어서 각별한 주의를 요하고 있다. 추령터널 축조공사장 암석은 대기중에 노출된 후 급격히 풍화되는 특징을 보이고 있어 암벽을 절개한 직후 절개면에서의 암석을 시험하여 시공당시의 암석강도의 등급구분을 결정하여 절개면의 경사를 결정하기 어려운 상황이었다.

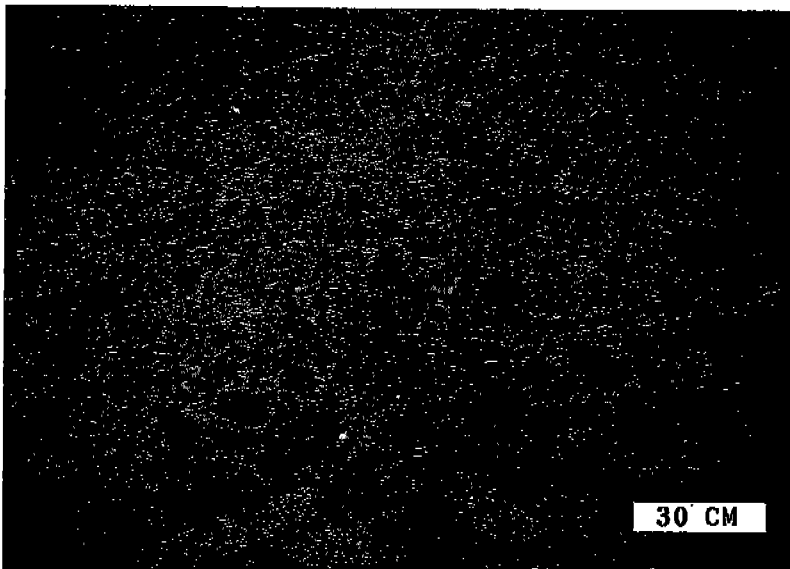
토목공사에 있어서 암석은 일반적으로 풍화암, 연암, 보통암, 경암 및 급경암의 5등급으로 구분하여 사용하고 있으나(전인식, 1992), 연구대상지역의 암석은 대기중에 수개월간 노출된 상태에서 심한 풍화양상을 나

타내므로(Fig. 1) 절개직후의 암석을 기준으로 하여 현장암반의 등급을 구분하기에는 무리가 있었다. 한편, 여러종류의 암석의 역학적 및 지질공학적 특성을 밝히기 위하여 지진파속도, 공극률, 비중, 함수비 및 압축강도의 상호관계를 중심으로 한 연구가 진행된 바 있으며(이회근 외, 1983; 이경운 외, 1988; 김영화, 홍순호, 1990; 류미애, 1991; 송무영, 황인선, 1993), 이들의 암석물성 상호간의 연관성을 조사한 바에 의하면 화강암의 경우 탄성과 P파 속도가 풍화도를 나타내는 가장 효과적인 풍화지수인 것으로 보고되고 있다(김영화, 홍순호, 1990; 김영화, 장보안, 1992).

연구지역의 풍화전 암석의 물성 및 암석의 등급구분을 위해서 현장에서의 탄성파속도



A



B

Fig. 1 Pictures of weathering site in the study area. Picture A spans about 60 m horizontally.

측정, 시험편에 대한 실험실내에서의 탄성과 전파속도 및 일축압축강도 시험을 실시 하였으며, 또한 급속히 진행되는 풍화의 원인을 밝히기 위하여 신선한 시료를 채취하여 현미경관찰 및 X선 회절분석을 실시하였다.

암석의 육안 및 현미경 관찰

추령터널 입구 공사장의 암벽절개사면에서 (Fig. 2) 채취된 암석은 회백색을 띠며 미세한 입자의 광물들을 바탕물질로 하여 크고 작은 암편들과 석영, 장석등의 결정질 입자들로 구성되어 있다. 암편과 결정질 입자들은 원마도가 매우 불량한 각상으로써 바탕물질 입자에 의하여 견고하게 고화되어 있다.

암석의 종류와 특성파악을 위하여 편광현미경을 사용하여 구성광물과 조직을 관찰하였다. 일반적인 박편 제작과정은 암석의 절단시와 박편연마시 물을 사용하지만 본 암석

은 물에 의하여 손상될 것을 고려하여 전혀 물을 사용하지 않고 암편을 수지로 경화시킨 후 절단하여 박편을 제작하였고 사포와 다이아몬드 페이스트를 사용하여 박편을 연마하였다.

관찰된 암석은 다양한 암편들과 석영, 장석, 방해석 등의 결정질 광물들과 미세한 바탕물질인 점토광물들로 구성된 응회암이다. 암편들의 모서리는 예리한 각상(angular)으로서 현무암질편, 변성암질편, 세일편으로 구성되어 있다. 석영, 장석등의 광물도 각상으로 나며 방해석은 매우 소량으로서 암석의 공극을 채우고 있다(Fig. 3). 이와 같은 광물조성 및 조직으로 볼때 이 암석은 화산폭발시 파괴된 기존의 암석파편과 화산재가 낙하하여 쌓인 후, 이들이 고화되어 형성된 응회암임을 알 수 있다.

암석의 50% 이상은 바탕물질인 점토광물로 구성되어 있으며 세일편의 대부분도 미세

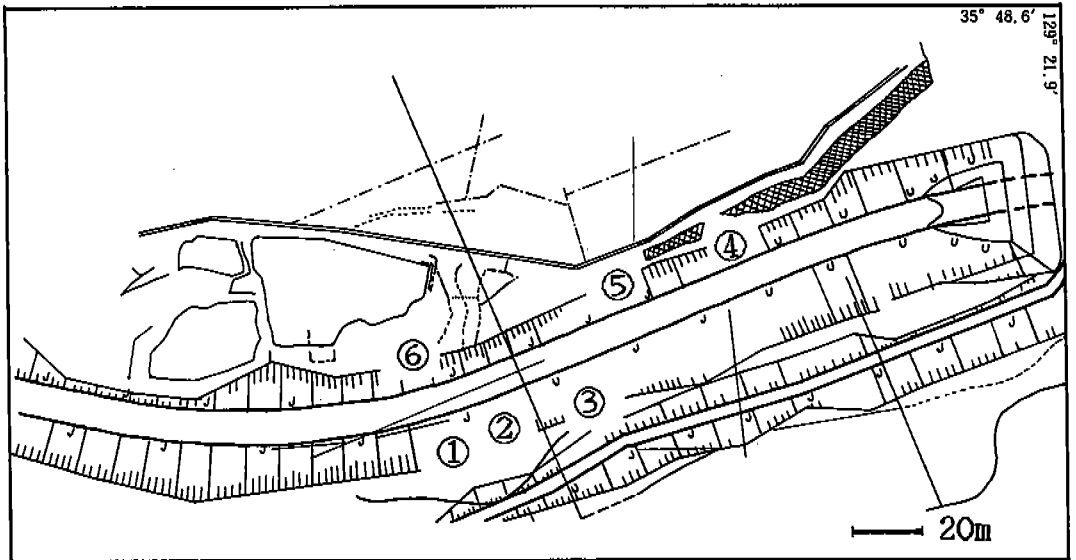


Fig. 2 Locations of in-situ seismic velocity measurements and sampling site of rock bodies for measurements of compressional stress and seismic velocity.

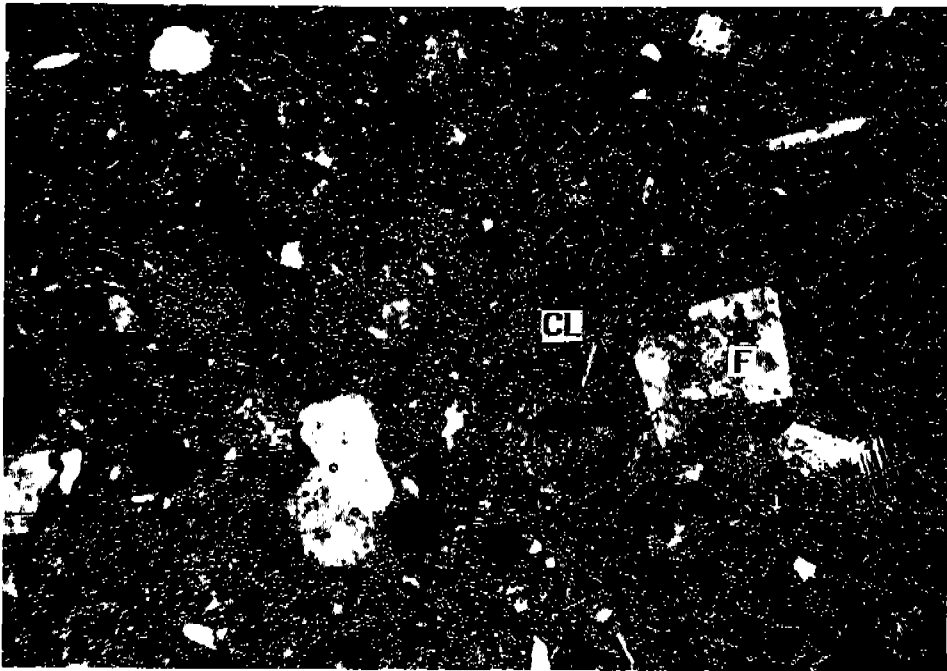
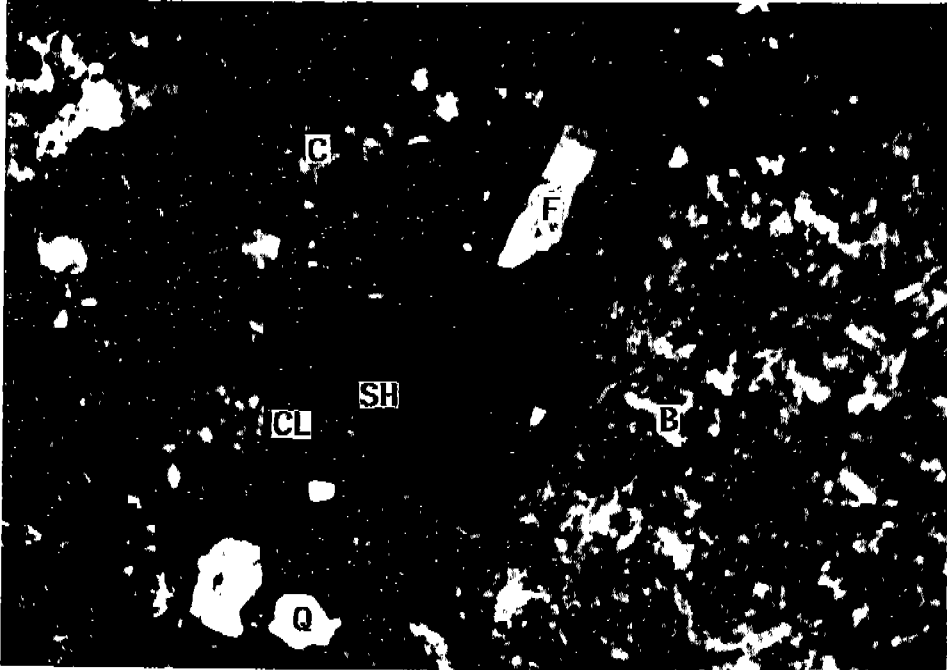


Fig. 3 Typical microscopic picture represents that the rock consists of matrix of clay minerals, mineral grains of quartz and feldspar, and rock fragments. Symbols are as follows, Q:Quartz, F:feldspar, CL:clay minerals, SH:shale fragment, M:fragments of metamorphic rocks, C:calcite, B:fragments of basaltic rocks.

한 점토광물로 구성되어 있다. 이와 같은 점토광물은 수분을 흡착하는 특성을 가지고 있으며(Pettijhon, 1975) 이 특성은 수분에 노출된 암석을 쉽게 풍화시킬 수 있다.

X선 회절 분석

현미경 관찰에 의하여 모든 구성광물을 감정할 수는 없다. 특히 미세한 점토광물은 입도가 $2\mu\text{m}$ 이하로써 현미경에 의한 감정은 불가능하다. 따라서 구성광물의 조성을 정확히 감정하기 위하여 X선 회절분석을 실시하였다. X선 회절분석은 시료에 함유된 모든 광물이 특정한 회절피크로 나타나기 때문에 미세한 모든 광물도 감정이 가능하다. X선 회절분석을 위하여 암석시료를 미세한 분말로 파쇄하였으며, 이를 한국자원연구소의 Philips 사 기종인 PW1730 회절분석기를 사용하여 분석하였다. X선은 구리파장($\text{CuK}\alpha$)의 X선을 $2^\circ - 40^\circ (2\theta)$ 각도 범위에서 시료에 조사하였다(최 등, 1992).

본 암석의 주 구성광물로서 풍화에 영향을 미치는 것으로 생각되는 점토 광물의 분석을 위해서 점토만을 분리하여 X선 회절분석을 실시하였다. 점토분리를 위해서 미세한 분말로 파쇄된 시료를 비이커내에서 증류수에 섞어 자력교반기와 초음파발생기를 사용하여 점토 입자들을 분산시켰다. 점토 입자들은 침전 속도가 느리기 때문에 윗 부분에 모이게 되며 석영, 장석 등의 무거운 입자들은 가라앉게 된다. 윗 부분의 현탁액에 함유된 점토는 원심분리기를 사용하여 $2\mu\text{m}$ 이하의 점토만을 분리하였다. 분리된 $2\mu\text{m}$ 이하의 점토는 슬라이드글라스에서 미량의 증류수로 분산시켜 서서히 건조시키면, 이때 미세한

판상결정 입자인 점토 입자들은 편평한 면이 슬라이드글라스에 자리를 잡아 건조된다. 이와 같이 제작된 시료를 방향성 시료라 하며 점토광물의 X선 분석을 위한 필수적인 방법이다. 이렇게 제작된 방향성 시료를 X선 회절 분석기에 의하여 분석 하였으며, 다시 이 시료를 에틸렌글리콜 시약처리 및 열처리에 의하여 점토광물을 감정하였다.

X선 회절 분석으로 Fig. 4의 X선 회절도와 같이 석영, 장석, 점토광물, 방해석이 확인된다. 저각도에서 나타나는 점토 광물들은 결정구조가 잘 발달 되지 못한 광물들이기

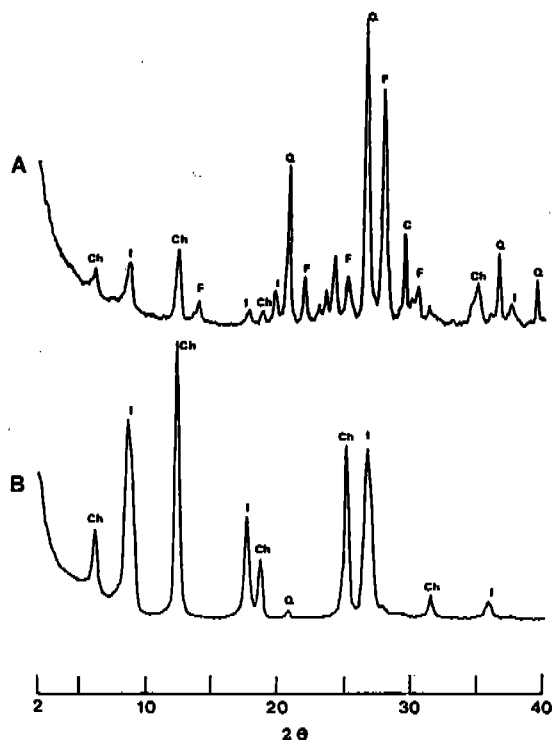


Fig. 4 Diagrams of X-ray diffraction analysis of rock samples, diagram A is for whole rock analysis and diagram B is for analysis of clay minerals. Symbols are as follows, Ch: chlorite, I:illite, Q:quartz, F:feldspar, C:calcite.

때문에 실제로는 많은 양이지만 작은 피크로써 나타나는 것으로 해석된다. Fig. 4.B의 X선 회절도는 점토만의 방향성 시료에 대한 그림으로서 녹니석과 일라이트의 뚜렷한 피크들이 매우 잘 나타난다.

압축강도 측정

일축압축시험은 MTS(Material Testing System)사의 암석시험용 압축기를 이용하여 KS F 2519 및 미국 ASTM에 규정된 석재의 시험법(한국공업시험규격, 1994; ASTM 1992)을 적용하여 초당 $7\text{kg}/\text{cm}^2$ 의 재하속도를 가하여 각 지점에서 여러 시험편들에 대한 시험 결과치를 평균하여 압축강도를 정하였다. 시험편은 각 지점의(Fig. 2) 암괴로부터 4-6개의 시험편을 작성하였다. 시험편을 제작하기 위하여 먼저 소형의 실험실 시추기를 이용하여 풍화를 받지 않은 응회암과 안산암의 암편에서 코아시추편을 뽑아내어 지름과 높이가 1:2인 원통형의 시험편을 만들었다. 그러나 각 지점을 대표하는 암편은 응회암이 풍화를 받고 내부와 표면에 산재하면서 박혀있는 안산암의 조각들로 인해 코어링(coring)이 불가능하여 가로, 세로, 높이가 $5\text{cm} \times 5\text{cm} \times 5\text{cm}$ 규격의 정육면체를 기준으로 하여 시험편을 제작하였다. 그러나 결합체인 응회암과 박혀있는 안산암의 극심한 강도차이, 응회암의 풍화와 흡수에 의한 퇴화성질등으로 인하여 절단이 쉽지 않아서 먼저 다소 불규칙한 정육면체의 암석편을 만들었다. 그후 후 육면체의 암편중 두개의 마주보는 가압면에 대하여 400-600 메쉬의 금강사를 사용하여 그 면을 연마하면서 단면의

굴곡구배가 5/1000을 넘지 않도록 그 편평도를 맞추어서 시험편을 제작하였다. 측정시에는 시험 상하에 보조가압판을 놓고 상부의 보조 가압판 위에 다시 구좌(spherical seat)를 얹어 압력이 균등하게 시험편에 전달되도록 하였다.

측정된 압축강도는 각 지점의 대표값으로 볼때 $360\text{kg}/\text{cm}^2 - 520\text{kg}/\text{cm}^2$ 의 범위를 보여(Table 1) 조사지역의 암석이 건설기준품셈(전인식, 1992)에 근거할 때 대체로 연암의 범주에 속함을 보이고 있다. 또한 몇개의 풍화를 받지 않은 응회암편은 평균압축강도가 $650\text{kg}/\text{cm}^2$ 인 보통암이며 자갈모양으로 박혀있는 안산암은 평균압축강도가 $2500\text{kg}/\text{cm}^2$ 인 극경암으로 판명되었다.

안산암은 불규칙한 각력의 형태로 불규칙하게 응회암속에 산재하면서 전체암석의 강도를 증가시켜 절개면 공사에 있어 리핑(ripping)을 불가능하게 만드는 요인이 되고 있다.

탄성과 측정

추령터널 축조공사장에서 실시된 현장의 탄성과 속도 측정은 공사구간의 일부인 0+560m에서 0+750m 지점까지 190m의 구간에 있는 암반의 절개면에 대하여 육안으로 보아 조사구간을 대표할 수 있는 6지점을 선택하여 실시하였다(Fig. 2). 선택된 6개의 대표지점에서 탄성파의 발생지점과 수신기 사이의 거리를 변화시키면서 현장의 탄성과 속도를 3회 측정한 후 그 평균값을 현지암석의 탄성과 전파속도로 정하였다.

현지 탄성과 속도측정에는 미국 Bison사

표 1. 각 지점의 시료별 압축강도 및 탄성파속도 측정자료

지점 시료 번호	압축강도 (kg/cm ²)		탄성파 속도(m/sec)				현지 탄성파 측정거리(m)
			(실험실 시편)		(현지 암반)		
	측정치	평균	측정치	평균	측정치	평균	
1-1	666	506	3710	3710			
1-2	507		3690				
1-3	519		3720				
1-4							
1-5							
				2320	2150	1.80	
				1980		5.25	
2-1	485	360	3240	3240			
2-2	229		3190				
2-3	495		3250				
2-4	224		3270				
2-5							
2-6							
2-7							
				2970		4.10	
				2530		10.10	
				2810	2720	1.80	
3-1	569	400	3550	3430			
3-2	327		3430				
3-3	383		3420				
3-4	369		3610				
3-5	340		3400				
3-6	414		3290				
3-7							
3-8							
3-9							
				2500		3.35	
				2410	2270	1.40	
				1910		12.80	
4-1	382	380	3740	3640			
4-2	291		3740				
4-3	321		3430				
4-4	421		3740				
4-5	495		3570				
4-6							
4-7							
4-8							
				2020		2.47	
				1860	1830	6.10	
				1610		8.30	
5-1	633	500	4230	3910			
5-2	653		3680				
5-3	409		3820				
5-4	307		3920				
5-5							
5-6							
5-7							
				2390		8.3	
				2330	2150	13.85	
				1730		2.06	
6-1	539	520	4120	3920			
6-2	499		3940				
6-3	534		3860				
6-4	508		3770				
6-5							
6-6							
6-7							
				2360		4.25	
				2800	2630	8.83	
				2740		13.30	

제품인 1-Channel Signal Enhancement Seismograph(Model 1570C)를 이용하였고, 4.5kg의 대형 망치와 고유진동수 10Hz의 지오폰(Geophone)을 탄성파 에너지원과 수신기로 각각 사용하였다. 지오폰은 회전타격식 핸드드릴로 암반의 표면에 4-5cm 깊이의 구멍을 뚫고 암반에 고정시켰다. 탄성파의 발생원에서 수신기까지의 거리는 암반의 상태 즉 절리의 간격, 지표수 및 풍화정도 등의 상태에 따라 다르게 결정되지만 이와 함께 파형이 잡음(noise)의 영향으로 흐트러지지 않을 정도의 거리를 고려하여 약 1.4m-13.9m의 거리를 두고 탄성파의 전파속도를 측정하였다(Fig. 5).

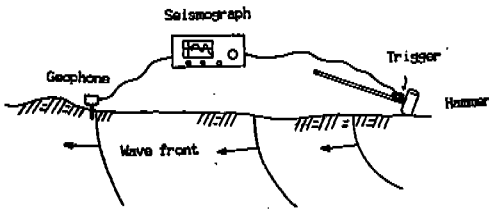


Fig. 5 A schematic diagram of in-situ seismic velocity measurements.

현지 암반에서 탄성파의 전파속도 측정이 이루어진 각 지점에서 이 지점을 대표할 수 있는 3개의 암괴를 채취하여 실험실에서 암괴당 4-6개의 시험편을 만든 후 각 시험편에 대해 실험실내에서 미국 ASTM에 규정된 방법(ASM, 1992)으로 탄성파 전파속도를 측정하였다. 사용된 기기는 일본 OYO사 제품인 Sonic Velocity Measuring Equipment로서 시험편을 발진기(Pulse generator)에 연결된 송수신기(Transmitting and receiving transducer)사이에 시험편을 끼우고 탄

성파가 시험편을 통과하는데 소요된 시간을 측정하여 탄성파의 전파속도를 결정하였다.

현지에서 측정된 탄성파 속도는 1830m/sec-2720m/sec의 범위를 가지며 실험실 시험편을 이용한 탄성파 전파속도는 3240m/sec-3920m/sec의 범위를 보인다(Table 1). 실험실 시험편에 대한 압축강도 및 탄성파전파속도의 관계는 대체적으로 높은 상관성을 보이고 있다(Fig. 6). 각지점별로 3개의 시험편을 만들어 압축강도 및 탄성파 전파속도를 측정하였으므로 이들 데이터를 지점별 평균치를 구하여 압축강도와 탄성파전파속도 그래프를 작성하면 좀더 뚜렷한 관계를 알 수 있다.

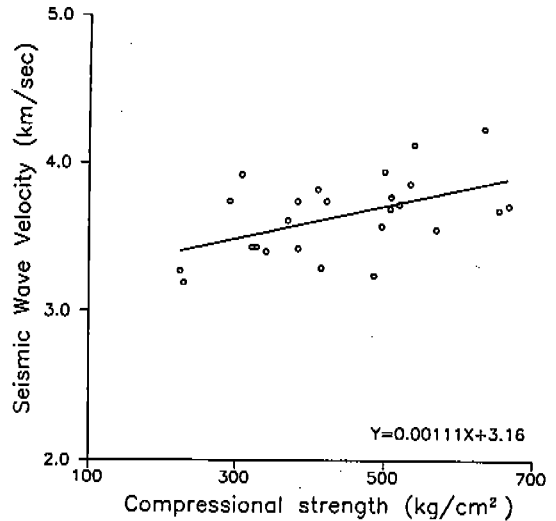


Fig. 6 A diagram representing the relationship between compressional strength of rock samples and seismic wave velocity.

실험실 시험편과 현지의 암반에 대한 탄성파 전파속도는 압축강도의 증가와 함께 1차 함수적으로 증가하는 양상을 보이고 있다(Fig. 7). 그러나 실험실 시험편에서의 탄성파속도가 현지에서의 탄성파속도보다 약 1.

5km/s 높음을 보이는데(Fig. 7), 이는 현지 암반에서의 절리, 약대 및 수분의 존재 등에 의하여 탄성과 전파속도가 저하된 현상으로 해석된다(Kanzuhido, 1981; 신희순, 1986; 류미애, 1991).

조사지역의 암석을 국내의 각종 토목공사에 품셈기준으로 사용되고 있는 건설표준품셈(전인식, 1992)으로 분류하면 연암으로 구분된다.

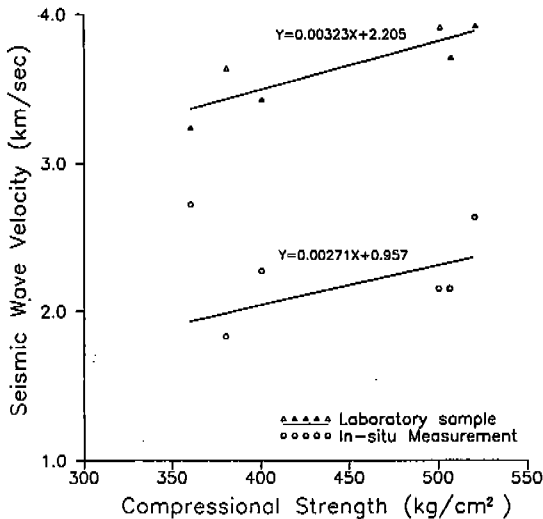


Fig. 7 A diagram representing the relationship between compressional strength of rock samples and seismic wave velocities for both laboratory samples and in-situ site.

토 의

암석시료의 구성광물의 조직을 육안관찰, 편광현미경 관찰 및 X선 회절분석에 의하여 조사하여 본 결과, 연구지역의 암석은 응회암임이 확인된다. 응회암은 화산 폭발시 상승한 화산재와 결정질광물, 그리고 폭발 이

전의 암석파편들이 낙하한 후 고화된 화산쇄설성암석으로 정의된다(Fisher, 1984). 분석된 응회암의 성분은 석영, 장석 등의 각상 결정질 광물과 현무암편, 세일편 등의 암편을 함유하고 있다. 또한 이들을 고화시키고 있는 바탕물질은 점토광물들로 구성되어 있다.

풍화를 받지 않은 응회암은 그 평균 압축강도가 약 443kg/cm²인 연암이며 자갈모양으로 박혀 있는 안산암은 그 평균 압축강도가 약 2500kg/cm²인 극경암으로 판명되지만, 탄성과 속도는 4340m/sec로서 보통암의 범주에 속하여, 보통암과 극경암의 중간인 경암으로 분류된다. 안산암은 각력의 형태로 불규칙한 크기로 불규칙하게 응회암 속에 산재하면서 박혀 있다. 이 각력들은 응회암의 강도를 증가시키고, 또한 절개면 공사에서 리핑(ripping)을 불가능하게 만드는 요인이 되고있다.

제주도 화산암의 일축압축강도치의 분포가 84-622kg/cm²인 점과 비교하면(김영기, 최옥곤, 1991), 연구지역의 응회암은 지질공학적으로 화산암중에서는 비교적 높은 강도를 보이고 있다. 그러나 응회암은 공극과 광물 조성의 불안정성에 의하여 쉽게 변질될 수 있는 암석으로 알려져 있다. 특히 본 응회암은 다량의 점토광물을 함유하고 있기 때문에 물과 접촉시 풍화가 촉진될 수 있다. 즉, 점토광물은 미세한 입자이므로 단위 중량당 표면적이 넓고 입자 이면에 물을 흡착하는 성질을 가지고 있어 암석의 풍화를 촉진시킬 수 있다. 점토광물은 물과 혼합하면 가소성을 나타낸다.

가소성이란 힘을 가했을 때 형태가 변형되며 힘을 제거하여도 형태가 본래의 상태로

복원되지 않고 그대로 유지되는 성질을 말한다. 따라서 점토광물은 요업소재로 많이 이용되고 있다. 점토광물은 미립이기 때문에 단위중량당 표면적이 크고 물을 잘 흡착시키며, 수중에서 잘 분산되어 콜로이드의 특성을 띄는 현탁액으로 된다. 다시 말하면, 점토광물은 결정학적으로 불규칙성을 많이 띄고 있고, 양이온 결손에 의하여 음의 전하를 띄게 된다. 한편 물분자는 극성을 띄며 양의 극성을 띤 물분자는 미세한 점토광물의 판상 입자의 표면에 흡착되어 수화층을 쉽게 형성하며, 물분자의 연결에 의하여 점토는 가소성이나 점성을 갖게 된다(Grim, 1962; Grim, 1968). 이러한 점토 광물의 특성은 본 조사지역 암반이 쉽게 풍화되는 원인이 되며 이 연구의 대상이 된 응회암의 절개면은 수분에 의하여 급속히 풍화되는 현상을 보이고 있다.

결 론

경상북도 경주군 추령고개의 추령터널 축조공사장 암석의 암석물성과 풍화특성을 밝히기 위하여 현장탄성파속도 측정, 시험편에 대한 실험실내에서의 탄성파전파속도 및 일축압축강도 시험을 실시하였으며, 또한 암석의 종류, 구성성분 및 조직의 특성을 밝히기 위하여 현미경 관찰 및 X선 회절분석을 실시하였다.

연구지역의 암석은 화산쇄설암인 응회암(tuff)으로서, 점토광물을 바탕으로 하여 석영, 장석 등의 결정들과 화산암편, 세일편 등의 암편들로 구성되어 있다. 풍화를 받지 않은 응회암은 평균 압축강도가 443kg/cm², 평

균 탄성파속도가 3680m/sec인 연암이며, 자갈모양으로 박혀있는 안산암은 평균 압축강도가 2500kg/cm², 평균 탄성파속도가 4340m/sec인 경암으로 판명되었다. 실험실 시험편과 현지의 암반에 대한 탄성파 전파속도는 압축강도의 증가에 비례하여 증가하는 양상을 보이고 있다. 한편, 실험실 시험편에서의 탄성파속도는 현지에서의 탄성파속도보다 약 1.5km/sec 높은 현상을 보이는데, 이는 현지암반에서의 절리, 약대 및 수분의 존재 등에 의하여 탄성파 전파속도가 저하된 현상으로 해석된다.

응회암은 장석류등의 사질성분과 석영분이 많지 않은 반면, 바탕물질과 세일편에 50% 이상의 점토광물을 함유하고 있어 자연환경에 노출시 쉽게 수분을 흡수하는 특성을 갖는다. 점토광물의 높은 흡수성은 연구지역의 암석이 쉽게 풍화되는 원인이 되며 이 연구의 대상이 된 응회암의 절개면은 수분에 의하여 급속히 풍화되는 현상을 보이고 있다. 따라서 연구지역의 암석은 풍화 되기 전에는 보통암 이상의 강도를 보이거나 자연환경에 노출되면 다른 암석에 비하여 쉽게 풍화를 받는 특성을 갖는다.

감사의 글

이 연구는 (주)벽산개발의 연구비 지원 및 1994년도 교육부 기초과학연구소 육성사업에 의한 학술 연구비지원에 의해 이루어졌으며, 연구가 성공적으로 수행될 수 있도록 현장조사시 도와준 (주)동현토건의 임직원 여러분께 감사를 드립니다.

참고문헌

KSF, 1994, 한국공업시험규격, 석재시험법 (KSF 2519).

김민규, 박연준, 신희순, 박철환, 신중호, 이현철, 1992, 추령터널 축조공사의 현지암석 물성조사, 한국자원연구소, p.1-36.

김영기, 최옥곤, 1991, 제주도 북서부지역 화산암체의 지질공학 특성, 지질공학, 1(1), 19-37.

김영화, 장보안, 1992, 화강암의 풍화현상에 수반되는 물성변화의 특성, 지질공학, 2(1), 36-46.

김영화, 홍순호, 1990, 풍화현상에 수반되는 화강암의 물성 변화에 관한 연구, 광산지질, 23, 221-232.

류미애, 1991, 화강암의 탄성과 전파속도와 역학적 물성과의 비교, 충남대학교 석사학위논문, pp.17-20.

송무영, 황인선, 1993, 한반도 중부권지각물질의 구조와 물성연구 (2):퇴적암류 코아시료의 탄성파속도와 점재하강도 비교, 지질 공학, 3(1), 21-38.

신희순, 1986, 함수 및 온도변화에 따른 암석의 탄성과 전파속도와 탄성계수 변화에 대하여, 대한광산학회지, 23, 381-391.

이경운, 김민규, 1988, 국내 화강암의 역학적 특성, 한국과학기술 원단체총연합회, 73-86.

이희근, 이정인, 양형식, 1983, 우리나라에 분포하는 주요암석류의 역학적 특성 연구, 대한광산학회지, 20, 101-109.

전인식, 1992, 건설표준품셈, 건설연구사, p.99.

최석원, 서만철, 이미경, 1992, 경북 경주군 양북면 추령터널 축조 공사장 암석의 특성, 공주대학교 환경문제연구소, p.1-10.

Annual of ASTM Standards, 1992, Section 4 Construction, Vol.04.08, Soil and Rock: Standard Testing Method for the Compressive Strength of Dimension Stone(C170-90):For Compressive unconfined Strength of Intact Rock Core Specimens(D2938, D2986) for Laboratory Determination of Pulse Velocities and Ultrasonic Elastic Constants of Rock(D2485-90).

Fisher, R. V. and H. U. Schmincke, 1984, Pyroclastic rocks, Springer-Verlag, 472p.

Grim, R. E., 1962, Applied clay mineralogy, McGraw-Hill, 422p.

Grim, R. E., 1968, Clay mineralogy, McGraw-Hill, 596 p.

Kazuturaid Ikeda, 1981, The property and Seismic Wave velocity of Fractured Zone, Prospecting of Int. Sym. on Weak Rock, Tokyo.

Pettijohn, F. J., 1975, Sedimentary rocks, Harper and Row, 628p.

서만철 :
 공주대학교 자연과학대학 지질학과
 충남 공주시 신관동
 314-701
 TEL : (0416) 50-8512
 FAX : (0416) 50-8479
 김민규 :
 한국자원연구소 암반공학연구그룹

대전시 유성구 가정동 30

305-350

TEL : (042)868-3243

FAX : (042)861-9720

최석원 :

공주대학교 자연과학대학 지질학과

충남 공주시 신관동

314-701

TEL : (0416) 50-8511

FAX : (0416) 50-8479