

## 지하굴착암 쇄석의 성분 및 역학적 특성 분석(II)

### Analysis on Component and Mechanical Characteristics for Crushed Stone of Excavated Rocks(II)

이 상 호\*

Lee, Sang Ho

#### Abstract

In order to offer some fundamental data for recycling the excavated rocks, the component and mechanical characteristics was investigated for the excavated rocks, by means of X-ray diffraction analysis, strength test, slacking test and abrasion test were performed.

It appeared that the unconfined compressive strength and the elastic wave velocity were the highest in the sound rock. The dissipation rate by stability tests was found to be high in the case of the slacking index of 98% because of more bedding and more clay minerals. The apparent specific gravity of some crushed aggregate was decreased because they included easily weathered minerals while both the absorption and the abrasion were increased. The results in this study were expected to be useful for recycling the excavated rocks as a concrete aggregate.

*Keywords : Slaking test, XRD-diagram, Poisson's ratio, Compressive strength, Mineral component*

#### I. 서 론

최근 경제규모가 급속히 증가됨으로서 고속도로, 도시 지하철, 고속전철, 기타 각종 구조물등 대규모 건축 및 토목공사가 활발히 진행되었으며 현재는 대규모 고층빌딩과 지하구조물도 확대되고 있다. 또한 대규모 토목공사로 인한 골재의 공급이 대단히 부족하기 때문에 대체 골재의 필요성이 증대되

고 있다. 따라서 폐기되는 자원을 재활용한다면 부족한 골재의 대체 효과 및 환경문제를 적절하게 해결할 수 있다. 폐골재의 재활용을 위해서는 품질 시험 및 콘크리트와 아스팔트용 골재규정에 적합한 골재를 생산, 공급하는 체계가 우선되어야 하나 현재 국내에서 생산되고 있는 쇄석 및 쇄사는 생산업체에 따라 각기 다른 품질의 제품이 생산되고 있는 실정이다. 또한 실제로 연구되고 있는 콘크리트용 골재의 대체방안으로는 저품질 골재를 활용하는 방법, 천연산 암석을 분쇄하여 쇄석 골재화 하거나 인공경량 골재 생산 등의 천연 자원의 조성을 인위적으로 가공하여 활용하는 방법, 건설 산업 폐기물

\* 경북대학교 농업생명과학대학  
\* Corresponding author. Tel.: +82-53-950-5735  
fax: +82-53-950-6752  
E-mail address: sahlee@knu.ac.kr

을 가공하여 이용하는 방법도 있지만 지역별로 토질이나 암석을 인공골재로 사용하는 것에 관한 연구는 아직 미비한 실정이다.

따라서 본 연구는 대구 지하철 굴착암을 콘크리트용 골재로 사용하기 위한 적합성여부를 검토하여 천연골재의 고갈에 따른 골재수급대책으로 삼고, 쇄석 골재를 사용한 콘크리트 성능을 개선을 위한 골재의 역학적 성질을 파악하여 대체골재연구 개발의 기초자료를 제시하기 위하여 실시하였다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 사용재료

본 연구에서 사용한 이암(R1), 사암(R2)은 대구 북구 산격동, 염기성 응회질 사암(R3)은 침산동, 알코즈 사암(R4)은 지하철 2-7공구, 이질 사암(C)은 산격동, 규장암(D), 감람석 현무암(E), 흑색 셰일(B1), 이회암(B2, B3)은 지하철2-15공구에서 각각 8ton트럭 2대씩 채취하였다.

### 2. 실험 방법

#### 가. 암석의 성분 시험

##### 1) X-RAY 회절시험

시료를 분쇄하여 분말법으로 X-ray 회절시험을 행하였으며 여기에서 얻은 결과를 분말 회절 자료집(Joint Committee of Power Diffraction Standards : JCPDS)에 기재된 물질의  $d(\text{Å})$ 를 Bragg의 공식  $\lambda = 2d \times \sin 2\theta$ 를 사용하여  $2\theta$ 각으로 계산한 후 시료 중에 포함된 광물을 정성 분석하였다.

##### 2) 화학적 성분 분석

일정량의 시료를 분쇄기에 넣어 250 mesh로 분쇄한 후에 시료와 Flux( $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ )의 비를 1:10으로 혼합한 후에 백금 도가니에 넣어 1100 °C로 가열하여 시료를 melting시킨 후 실온에서 꺼내어 bead를 제작한 후, XRF측정기(Phillips 1401/lo,

40 kv, 30 ma)로 화학성분 분석을 하였다.

#### 나. 암석의 역학적 특성 시험

##### 1) 압축강도시험 및 포외송비 측정

지하철현장에서 채취된 암석을 강도시험을 위해 1년 이상 노상에 방치하였으며 물-시멘트비를 50%로 배합한 후 유압식 압축시험기로 28일의 압축, 인장, 휨응력을 측정하여 같은 종류의 일반쇄석(보통암)로 만든 콘크리트의 시험치와 비교하였다.

##### 2) Slaking 시험

본 시험은 국제암반역학회(ISRM : International Society for Rock Mechanics) 지침서에 의하여 암석에 건습의 반복을 2회 주었을 때의 취약화, 열질화에 대한 저항성을 조사하기 위하여 중량을 정확히 측정된 40~60 gf의 암괴 10개를 Fig. 1의 드럼(drum, 2.0 mm 표준 철망으로 된 길이 100 mm, 직경 140 mm의 원통관)에 넣고 105 °C의 온도로 2~6시간 노건조 시켰으며 이 드럼과 시료를 실온까지 냉각시키고 중량을 측정 후, 수조에 세팅하고 회전축 아래 20 mm까지 물을 넣고 20 rpm으로 10분간 회전시켰다. 그리고 드럼을 수조로부터 꺼내고 105 °C의 온도로 노건조 시킨 다음 냉각시킨 후 중량을 측정하면 내구성 지수( $I_d$ )를 아래 식을 이용하였다.

$$N\text{회 } I_d = \frac{N\text{회 회전후의 잔류시료 건조중량}}{\text{초기의 건조중량}} \times 100(\%)$$

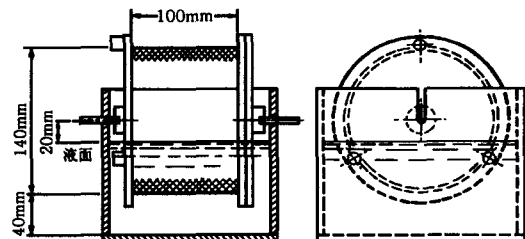


Fig. 1 Slaking test apparatus

##### 3) 마모 시험

LA 마모시험기를 이용하여 KS F 2508-1992

에 준하여 A형(10~15 mm, 15~20 mm, 20~25 mm, 25~40 mm, 전체무게 : 5000 gf ± 10) 입도 분포를 가진 시료로 시험을 실시하였다. 입도 분포에 따라 구 12개를 사용하였고, 분당 30~33 회전으로 500회 회전시켰다. 그리고 시료를 시험기에서 꺼내어 망체 1.7 mm로 체질하고 체에 남은 시료를 물에 씻은 후, 105 ± 5 °C의 온도에서

일정 무게가 될 때까지 건조하여 무게를 측정하였다.

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 암석의 광물 성분 분석

Fig. 2, 3은 대구지역의 지하철 현장에서 채취된

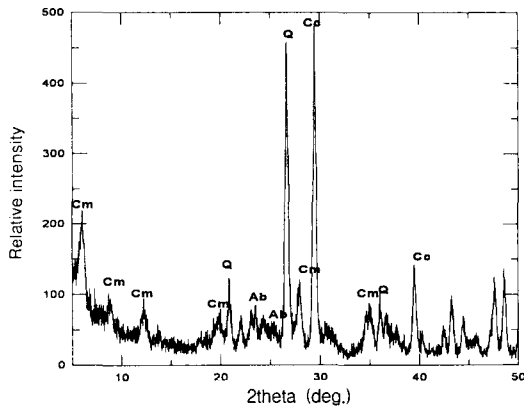


Fig. 2 Gray shale XRD-diagram

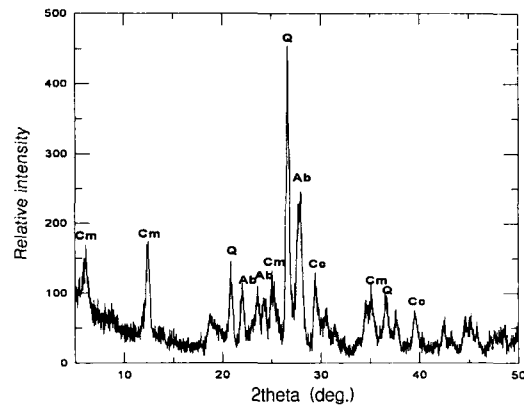


Fig. 3 Black shale XRD-diagram

Table 1 Mineral component (%) of rock

sample name component	R1	R2	R3	R4	B1	B2	B3	C	D	E
Qz	36.20	18.44	10.38	30.05	21.11	18.10	3.51	16.44	18.41	-
Or	7.85	12.27	8.66	12.24	-	3.60	-	2.20	2.22	11.57
Ab	37.13	23.56	35.55	37.37	31.72	26.74	26.55	17.83	73.50	41.11
An	4.92	12.01	7.60	6.78	4.28	-	-	16.59	1.38	7.20
Co	-	-	1.89	-	5.43	-	2.63	-	0.27	1.63
Wo	1.01	-	-	0.32	-	-	-	1.69	-	-
Hp	-	-	13.54	-	-	-	6.88	-	1.32	0.46
En	-	-	10.54	-	-	-	6.12	-	-	0.43
Fs	-	-	2.50	-	-	-	0.76	-	1.32	0.13
Ol	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12.12
Fo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8.42
Fa	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.01
Clay mine	2.59	18.45	-	2.79	32.02	27.48	15.36	21.34	-	-
Ilm	-	-	-	-	-	0.49	0.55	-	-	-
Mt	0.73	2.32	3.27	1.30	1.96	2.13	2.32	1.83	0.87	2.20
Cc	8.07	11.21	4.14	7.82	1.48	14.20	32.16	20.63	0.11	8.80
Tn	1.15	1.26	1.52	1.04	1.51	6.94	3.16	1.05	0.48	2.20
Ap	0.34	0.48	0.41	0.29	0.48	0.32	-	0.4	0.12	0.72
SUM	99.99	100	100	100	99.99	100	100	100	100	100

Table 2 Chemical component (%) of rock

component	R1	R2	R3	R4	B1	B2	B3	C	D	E
SiO <sub>2</sub>	71.55	55.89	56.68	67.77	56.36	50.93	36.10	46.54	72.12	47.41
TiO <sub>2</sub>	0.55	0.60	0.73	0.49	0.70	0.59	0.41	0.49	0.23	1.06
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10.23	14.49	12.48	11.65	16.88	14.10	9.56	11.87	15.04	14.90
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.69	2.22	3.05	1.22	1.81	2.02	2.35	1.70	0.94	2.15
MnO	0.07	0.09	0.11	0.07	0.05	0.08	0.24	0.19	0.03	0.15
MgO	0.07	3.30	7.26	0.10	4.95	3.50	8.26	4.67	-	6.58
FeO	1.36	2.67	3.15	1.62	5.65	3.11	2.38	2.31	1.25	4.32
CaO	6.10	8.81	4.78	5.88	2.34	9.41	18.83	14.80	0.58	7.77
Na <sub>2</sub> O	4.09	2.63	3.86	4.08	3.42	2.95	3.13	1.93	8.43	4.79
K <sub>2</sub> O	1.59	3.93	1.59	2.32	3.17	3.07	1.72	2.56	0.38	2.28
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.16	0.23	0.19	0.14	0.22	0.15	0.17	0.19	0.06	0.34
CO <sub>2</sub>	2.87	4.04	1.80	2.75	0.52	6.48	14.53	7.22	0.04	3.53
H <sub>2</sub> O	0.06	0.44	3.95	1.47	3.31	3.11	1.52	5.01	0.48	4.19
SUM	99.38	99.33	99.62	99.54	99.38	99.49	99.22	99.47	99.57	99.44

Gray shale과 Black shale의 X-RAY 회절시험 결과를 나타낸 것으로 세일은 석영(Quartz, Q), 장석(Albite, Ab), 방해석(Calcite, Cc) 및 다량의 점토 광물(Clay mineral, Cm)로 이루어져 있었으며 R1시료는 보통암, R2, B2는 연암, R3는 풍화암, R4는 보통암, C는 연암, D, E는 경암으로 판정되었으며 암석의 광물구성 및 화학적 성분은 Table 1, 2와 같다. R3 시료는 Hp와 En을 많이 함유하였고, B3 시료는 8% 정도 포함하고 있었다. 점토광물은 R3, D 및 E 시료 등을 제외한 시료들에서 20~30% 정도 함유하였다. 화학성분은 SiO<sub>2</sub>와 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO가 주성분이며 각각의 시료들은 SiO<sub>2</sub>가 B3, C 시료를 제외하고 전체의 50% 이상을 구성하였다. B3 시료는 상대적으로 SiO<sub>2</sub>가 적고 점토광물을 많이 함유하지 않았으며, CaO의 수치가 높은 것을 보아 풍화도가 많이 진행되지 않은 반면 R3시료는 상대적으로 CaO가 낮아서 풍화도가 많이 진행됨을 알 수 있었다. C 시료는 CaO가 높아 풍화도는 많이 진행되지 않았지만 점토광물을 많이 함유하고 SiO<sub>2</sub>가 낮아 암석자체의 강도는 떨어짐을 알 수 있었다. D 시료는 점토광물이 적고,

MgO와 FeO, CaO가 낮아 원암의 풍화도가 적고, 내부침전물이 적었으며. E 시료는 Fe, Mg 성분이 많이 함유된 규장암 계열로 점토광물이 적게 나타나 지표 가까이에서 갑자기 냉각 및 고결되어 암석이 견고하고 치밀한 것을 알 수 있었으며 암석의 화학성분 중에서 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>는 풍화에 관계없이 그 수치는 거의 변하지 않았다.

## 2. 암석의 역학적 특성 및 상관관계 분석

각 시료별 포와송비에 대한 암석의 P 파 속도를 Fig. 4와 같이 나타냈다. R3 시료는 조밀하고 압밀이 되었으나 Hp, En, Mt, Cc, Ap 등 다른 물질을 함유하여 암석이 건조할 때 구성광물이 대기에 노출되면서 상호간의 연결이 느슨한 현상을 보였다. 상관계수가 0.7로 나온 것은 포와송비의 측정시 비교적 낮은 하중에서 층리를 따라서 파괴되었기 때문이며 층리의 영향을 고려한다면 상관계수는 0.9 이상의 높은 상관계수가 구해질 것으로 사료된다.

Slaking 시험은 시료별로 총 4회를 실시하였으며 Fig. 5는 그 결과를 비교한 것이다. B군은 시험

회수가 증가할 때 거의 손실이 없는 것으로 나타났으며 모든 시료에서 Slaking 시험 2회 기준인

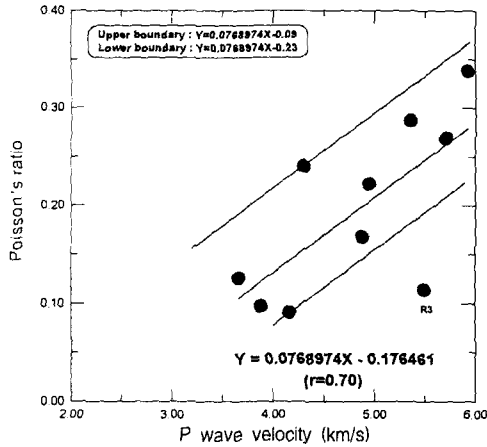


Fig. 4 Relationship of Poisson's ratio and P wave velocity

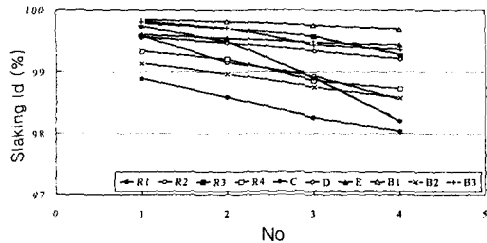


Fig. 5 Slaking test (total 4 times) result for respective sample

98%가 넘었으므로 내구성 있는 것으로 판명되었다. 그러나 C, R4 시료가 Slaking 시험회수의 증가에 따라 손실률이 현저하게 증가하였으므로 암석의 결합이 다른 암석에 비해 많이 떨어지는 것으로 판단된다. Slaking 시험의 결정적인 작용을 하는 풍화작용은 화학적 풍화작용이 아닌 기계적 풍화 작용으로서 암석의 공극률 및 흡수율과 관련이 깊다. 본 시험 data에서도 R1, R4, B2에서 다른 data와 비교해볼 때 상당히 낮은 값을 나타내고 변화도 심하게 나타났다. 이는 암석이 다른 암석들 보다 높은 흡수율을 가지며 이것은 공극률이 상대적으로 크다는 것을 나타낸다. 공극률이 크면 암석의 흡수, 팽창에 영향을 받아서 팽윤 현상이 커져서 입자들이 분쇄되기 때문이다. 안정성시험과 Slaking 시험 결과(Table 3)를 비교해 보면 Slaking 지수(4회기준)가 98% 정도에 있는 R2(98.5%), C(98.21%), B2(98.58%) 시료들이 안정성시험에 취약한 것으로 나타났다. 이들 시료들은 구성광물에 공통적으로 점토광물을 많이 포함하고 있으며, 한편 R4 시료는 풍화가 많이 진행되어 규격에 미달된 것으로 파악된다. 그리고 이들 시료들은 불연속면(주로 층리)이 매우 발달된 상태로 안정성시험결과에 많은 영향을 준 것으로 사료된다.

Fig. 6은 각 시료의 전단탄성계수와 탄성계수의 관계를 나타낸 것으로 탄성계수는 1.06~6.97×

Table 3 Physical property test result value for aggregate

Category	P-wave velocity (km/s)	Soundness test dissipation rate (%)	Absorption ratio (%)	Apparent specific gravity	Absorption test dissipation rate (%)
KS	-	12.0 <	3.00 <	-	40.00 <
R2	3.664	100.0	2.07	2.72	26.00
R4	4.950	28.0	2.43	2.69	24.70
C	3.883	92.5	2.07	2.69	27.20
D	4.306	5.6	1.60	2.68	15.60
E	5.357	2.9	1.03	2.78	14.50
B1	5.711	14.0	1.34	2.78	14.40
B2	4.162	40.9	1.24	2.73	26.70
B3	5.926	62.0	1.25	2.76	24.10

$10^5 \text{ kgf/cm}^2$ , 전단탄성계수는  $0.73 \sim 2.76 \text{ kgf/cm}^2$  까지 나타났다. 극경암과 경암인 B1, E는  $6 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$  이상 높게 나왔고, 연암으로 갈수록 낮게 나왔다. 이회암인 B2, B3은 풍화 정도와 생성 위치에 따라 계수 값이 많은 차이를 보였다. Table 3은 골재의 안정성시험 및 흡수율, 겔보기비중, 마모시험 등의 결과치를 나타낸 것으로 안정성시험의 KS 규정(12% 이하)에 적합한 시료는 D 시료(5.6%)와 E 시료(2.9%), B1 시료(14%) 등이며 다른 시료들은 적합하지 않는 것으로 판단된다. B3 시료는 일축압축강도와 탄성과속도시험에서 강도가 우수한 경암으로 판정되었지만 골재의 품질시험인 안정성 시험에서 매우 취약한 것으로 측정되었다. 그 이유는 B3이 염기성 응회질 사암이기 때문이며 이 암은 다공성이며 풍화에 약하기 때문이다. D, E, B1시료는 광물구성비 중 Albite의 함량이 많은 것으로 판명되었고 화학 성분비에서  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 가 다른 암석과 비교해서 상당히 높은 함량을 보여 주고 있었으므로 광물과 화학성분이 암석의 강도에 상당한 영향을 주고 있다는 것을 알 수 있었다.

합격된 D, E, B1은 기상작용이 작용하는 건물의 외벽이나 도로의 기층재로서 사용가능하며 그 외의 암석은 기상작용이 받지 않는 장소, 즉 건축물의 내부 또는 타일, 테라코타 등으로 보호된 표면 등에서는 사용이 가능할 것으로 판단된다. 흡수율 및 마모시험은 모든 시료가 KS 규정에 적합한 것으로 나타났다.

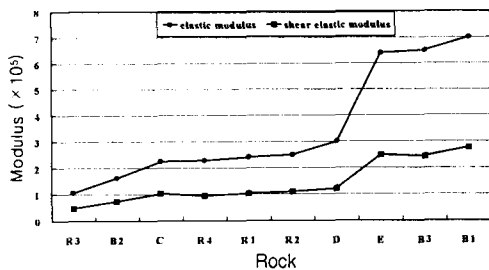


Fig. 6 Relationship of elastic and shear elastic modulus

석재의 흡수율은 풍화, 파괴, 내구성에 큰 관계가 있으며 흡수된 양은 석재 분자간의 공극에 침입하므로 그 공극률을 알 수 있다. 흡수율이 크다는 것은 다공성이라는 것을 나타내며, 대체로 동해나 풍화를 받기 쉽다는 것을 의미한다. 여기서는 다른 암석보다도 R4, R3, C 시료와 같이 연암에 가까울수록 흡수율은 커졌다. 그러나 E와 B군(B1, B2, B3)의 시료들은 경암에 속하는 암석으로 아주 낮은 흡수율을 보였다. 흡수율이 낮은 시료는 내부조직에 공극이 적고, 조직구조가 치밀하여 큰 비중을 나타내며, 양질의 골재를 생산하며 녹니석과 견운 또는 흡수율을 증가시키는 것으로 사료된다.

마모시험의 손실율은 14.4~26.7%로 측정되었으나 R2, B2가 콘크리트 포장용 표층의 기준(25% 이하)에서는 불합격되었으므로 사용을 피해야 할 것으로 판단된다. 그리고 흡수율이 증가되어 마모감량과 안정성에 의한 손실량이 증가하였다. P 파속도는 경암이 밀도 자체가 높고 공극이 조밀하기 때문에 암석이 경암에 가까울수록 높게 나타났다. B3은 P 파 속도가 가장 높은 값을 보였으나 안정성 시험에서 61.99%의 손실률을 보였다. 이는 P 파 속도 측정 시에는 층리가 거의 없는 가장 순수한 상태로 실험을 하였으나 골재로 파쇄시 미세 균열이 일어난 것으로 판단된다. 실제로 이회암인 B3은 강한 암의 특성을 나타내지만 층리가 많이 발달된 상태이다. 그리고 연암인 염기성 응회질 사암인 R3도 상당히 높은 P 파 값을 보이지만 일축압축강도, 포외송비, 탄성계수가 낮은 약한 암의 특성을 보였다. 이는 연암 상태에서 P 파 속도를 구하기 위한 구속압이 암의 밀도 자체를 높인 것으로 공극률을 가진 암석에 구속압을 가함으로 공극률을 낮추는 원인을 제공한 것으로 판단된다.

Fig. 7은 겔보기 비중과 마모율의 각 골재의 상관 관계를 나타낸 것으로 전반적으로  $0.8 \sim 0.989$ 의 상관 계수가 나왔다. 층리가 발달된 이회암인 B3에서 약간의 비중 변화에도 마모율이 급격히 변화함을 알 수 있었다. 이는 시간이 지남에 따라 풍

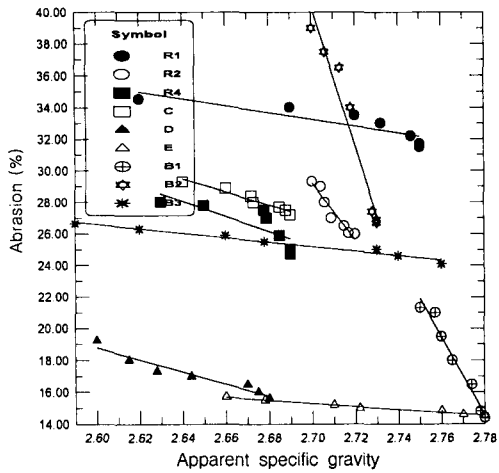


Fig. 7 Correlation for abrasion rate and apparent specific gravity

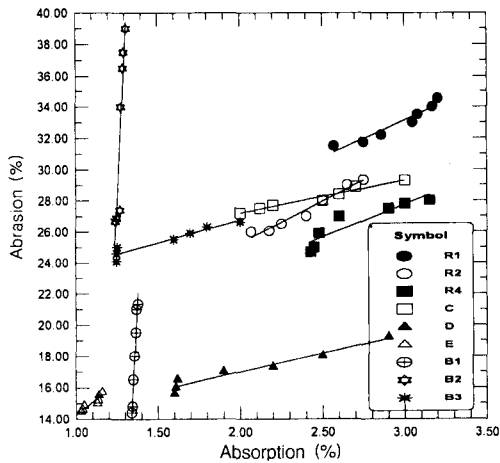


Fig. 8 Correlation for abrasion and absorption ratio

화진행이 빠르게 이루어졌기 때문이다. B1과 B2는 급격한 경사를 보이기는 하지만 1년 간의 시험결과인 직선이 매우 짧고 시간에 따른 비중과 마모율의 변화는 매우 적게 나타났다. Fig. 8은 마모율과 흡수율의 상관 관계로서 상관계수가 모든 시료에서 0.92 이상 나타나 골재 내부의 공극이 증가할수록 마모 손실률이 증가함을 알 수 있었다. B1, B2 시료는 급격한 경사를 보였으나 B1의 경우는 마모율과 흡수율이 아주 낮은 곳에서 조밀하게 변화하

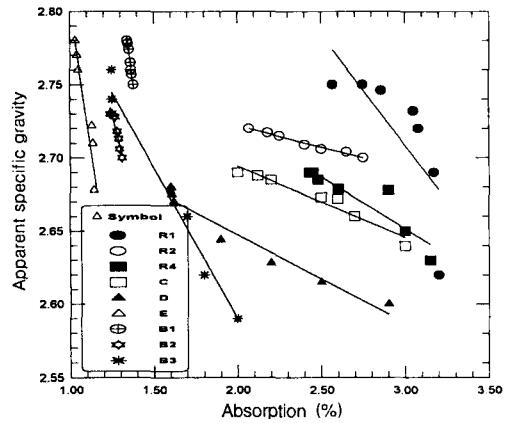


Fig. 9 Correlation for apparent specific gravity and absorption ratio

Table 4 Strength (kgf/cm<sup>2</sup>) test results at 28 days on the concretes made of corresponding aggregate

Classification	ordinary rock	B1	R2	E	D
Compressive strength	304.1	290.4	280.1	303.7	318.3
Tensile strength	34.0	33.1	32.0	33.5	34.7
Flexural strength	68.4	63.9	55.8	57.5	64.3

로 흡수율의 증가에 따른 마모율의 증가가 크다고 볼 수 없다. Fig. 9는 겉보기 비중과 흡수율의 상관 그래프로서 비중이 감소함에 따라 흡수율은 상대적으로 증가하는 것을 볼 수 있다. Fig. 7, 8과는 다르게 모든 시료에서 변화하는 경사가 급하게 나타났다. 특히 B1, B2, B3, E에서 급격한 경사를 보여주고 있다. B계열은 층리와 풍화로 인해 급격한 경사를 보여주고 있지만 흑색 세일인 B1은 경사가 급할 뿐 비중의 변화에 대한 흡수율의 변화가 적었다. Table 4는 해당골재로 w/c 50%의 콘크리트를 제조하여 28일 강도시험 결과를 나타낸 것으로 E 시료는 보통암과 거의 동일하게 강도가 나왔으며, D 시료는 보통암 보다도 높은 318.3 kgf/cm<sup>2</sup>의 강도를 보였다. 따라서 D와 E 시료는 모든 골재시험을 통과한 골재로서 강도시험에서 높은 강도를 내었기 때문에 콘크리트용으로 사용되는

데 문제가 없는 것으로 판단된다. 또한 B1과 R2 시료는 안정성에서 이미 콘크리트 골재로서 불합격 되었으나 공시체 제작 후 강도시험에서는 어느 정도 강도를 나타내었다. 물-시멘트의 배합비를 같게 했을 시 쇄석골재가 보통암 보다는 Slump값이 2~4 cm 정도 작게 나타났으나 D와 E 시료는 7~9 정도의 Slump값을 보통암은 8.5~9.5 정도를 보였다.

#### IV. 결 론

본 연구는 천연골재의 고갈에 따른 골재수급 및 대체골재개발의 일환으로 대구 지하철 굴착암을 재 활용하기 위한 기초연구이다. 이를 위하여 X-RAY 회절시험, 일축압축강도시험 및 포와송비 측정, Slaking 시험, 마모 시험 등 실내시험을 통하여 굴착암의 성분 및 역학적 특성을 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 주요광물은 Qz, Or, Ab, An 등이 전체 구성 광물의 50% 이상을 차지하였고 화학성분은 SiO<sub>2</sub> 와 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO가 주성분을 이루었으며 SiO<sub>2</sub>가 극경암, 연암을 제외하고 전체의 50% 이상 구성하고 있었다.
2. 각 시료를 암판정을 한 결과 보통암과 연암, 풍화암으로 판정되었으며, 경암, 극경암은 일축압축 강도는 탄성파속도시험에서 강도가 높게 나타났지만 골재의 품질시험인 안정성 시험에서 취약하였다.
3. 포와송비가 높을수록 일축압축강도 및 Slaking 시험은 크게, P 파 속도와 비중은 높은 반면 마모 감량은 낮게 나타났다.
4. Slaking 지수와 안정성 시험결과에서 Slaking 지수에 98% 정도로 측정되는 시료들은 층리와 점토광물을 많이 함유하여 안정성시험에서도 손실율이 크게 나타났다.
5. 쇄석골재는 천연골재와는 달리 풍화된 암석의 내부에는 풍화에 약한 광물이 함유하게 되어 겉보기 비중이 감소되며, 마모감량과 안정성에 의한 흡

수율 및 손실량이 증가하였다.

6. 비교적 우수한 암석으로 콘크리트를 제조하여 채령 28일 후의 강도시험을 수행한 결과 경암인 D, E 시료의 강도가 높게 나타나 콘크리트 골재로서의 이용시 문제가 없을 것으로 판단된다.

본 연구는 대학부설연구과제 학술진흥재단의 지원에 의하여 수행되었음.

#### References

1. Bulk, A. D. 1977, Recycled Concrete as a Source of Aggregate, *ACI Journal*, Title No.74-22, pp.212-219.
2. Cho, Pyoung Sun. 1988, An experimental study on the effect of aggregate shape influencing to the concrete properties, Degree of Master. Chongju University.
3. Clive Whiston, 1987, X-ray Methods, Analytical Chemistry by Open Learning, : Wolverhampton Polytechnic, UK, 29-33 pp.296-305, 309-312.
4. Deere, D. U. and Miller, R. P. 1996, *Engineering classification and index properties for intact rock*, Technical Report No. AFNL-TR-65-116 Air Force Weapons Laboratory, New Mexico
5. Kim, Dong chun. 1988, The influence of the height/ width ratio of rock specimen on its uniaxial compressive strength, Degree of Master. Inha University.
6. Richard E. Goodman., 1989, *Introduction to Rock Mechanics*, John Wiley & Sons, pp.55-99.
7. Song, Sun Ho. 1994, A study on absorption properties in rock specimen, Degree of Master. Chungbuk National University.
8. Yoon, Ji Sun. 1991, Investigation and examination of rock material and rock mass, *Japan society of geomechanical engineering*.