

## 쇄석을 이용한 콘크리트 및 아스팔트용 재료의 동결융해 저항성

### A Study on the Resistance of Freezing-Thawing for the Material of Concrete or Asphalt Using Smashed Rock

김영수\* · 방인호\*\* · 하노영\*\*\* · 이재호\*\*\*\* · 최정호\*\*\*\*\*

Kim, Young-Su · Bang, In-Ho · Heo, No-Young · Lee, Jea-Ho · Choi, Jeong-Ho

#### Abstract

Soil and rock were yielded during construction of subway in Taegu. Produced rock is a kind of a sedimentary rock with low strength and low durability of shrinkage. So it is difficult using for resources engineering. But in our country, it is very important to use material resources due to lack of natural resources. In this study, after cracking sedimentary rock like black shale and red shale, they are compared with granite which usually used road construction field to investigate property of use for road construction. Consequently, the engineering character of origin rock is satisfactory, but the soundness test, black shale and red shale are less than KS 12.9%, 37.5% respectively.

The result of concrete freezing-thawing test shows that the strength among three materials is not a wide difference but red shale has relatively low strength. The result of asphalt freezing-thawing test with 50 cycles indicates that the stability of red shale is lower than KS 484~561kg on base course, 336~375kg on surface course respectively. A further research should be needed for propriety to the material of shale.

**Keywords** : Shale, Granite, Marshall stability, Soundness, Freezing-thawing

#### 요 지

대구 지역의 경우 최근의 지하철 1호선 공사 완공과 함께 2~4호선 공사와 더불어 많은 양의 토사와 암석들을 발생시킬 것으로 생각되지만, 발생되는 암석류는 주로 기계적 강도가 낮고 팽창, 수축에 대한 내성이 작아서 쉽게 분쇄되는 단점을 갖는 퇴적암이 대부분이므로 자원 공학적 측면에서 활용가치에 어려움이 있는 것으로 생각된다. 하지만, 천연자원이 부족한 우리나라의 경우 지반자원을 이용한다는 것은 자원의 활용이라는 측면에서 매우 중요하다.

이에 본 연구에서는 대구지역에 다량으로 매장되어 있는 퇴적암을 파쇄한 후 골재로서의 타당성여부를 도로공사 현장에 많이 사용되어지고 있는 화강암 골재와 비교 검토하였다. 결과적으로 각각의 시료가 원암석의 역학적 특성에서는 양호한 결과를 나타내었으나, 골재의 안정성 시험에서는 블랙셰일이 12.9%, 레드셰일이 37.5%로 KS규준에 미달하였다. 콘크리트 동결-융해 시험결과 세 암석이 큰차이를 보이지 않았으나, 레드셰일이 상대적으로 약하게 나타났다. 아스팔트 동결융해 시험에서는 50cycle에서의 안정도값은 레드셰일이 표층과 기층에서 각각 484~561kg, 336~375kg으로 낮은 결과가 나타났다. 이를 통해 셰일의 골재로서 타당성 여부는 추후에 더 연구되어야 한다.

**주요어** : 셰일, 화강암, 마샬 안정도, 안정성, 동결융해

\* 정희원 · 경북대학교 토목공학과 교수

\*\* 경북대학교 토목공학과 박사과정

\*\*\* 가야 ENG. 지반공학부

\*\*\*\* 일본 고베대학교 박사과정

\*\*\*\*\* 경북대학교 토목공학과 석사과정

## 1. 서론

대구 경북지역에는 넓은 지역에 걸쳐서 다량의 퇴적암이 매장되어 있다. 이로 인하여 지하철 공사시 다량의 퇴적암이 굴착 후 산업폐기물로 매립되고 있다(한국 콘크리트학회, 1998). 이러한 퇴적암석들을 건설용 골재로서의 활용 방안이 강구된다면, 부족한 천연 건설재료의 대체용으로 사용될 수 있을 것이다(한국자원연구소, 1995). 특히, 80년대 건설공사의 급격한 증가로 천연골재가 고갈되어 하천 골재로 대체되었으나, 이들 골재도 고갈되고 있으며, 이들을 대신할 석재의 개발뿐만 아니라, 쇄석골재를 콘크리트용 골재나 아스팔트용 골재로 사용여부를 공학적으로 검토하여 재활용할 필요가 있다(김동기, 1994). 이와 같은 재활용차원에서의 쇄석골재는 천연골재와는 달리 그 구성광물들이 지표 환경에 노출되지 얼마되지 않아 물리·화학적 풍화작용에 불안정한 상태로 존재하는 경우가 많기 때문에 이를 건설용 골재로 무분별하게 사용된다면 구조물의 안전과 보존에 있어서 많은 문제점을 야기시킬 수 있다. 그러므로 최근에는 재생골재를 콘크리트용 외벽공사나 아스팔트 표층, 기층등에 사용하기 위해 강도, 내구성 및 동결융해 저항성 그리고, 알카리-골재반응등이 점차 중요하게 다루어지고 있다(양동운·이동영, 1995 ; 하성호 등, 1990 ; Hansen, 1968). 이에 본 연구에서는 대구지역에 다량으로 매장되어 있는 퇴적암을 파쇄한 후 골재로서의 타당성 여부를 도로공사 현장에서 많이 사용하고 있는 화강암 골재와 비교·검토하였다.

### 1.1 연구내용 및 범위

골재는 시멘트 콘크리트의 약 70%, 아스팔트 콘크리트의 약 90% 내외의 용적비를 차지하고 있다. 골재를 용도별로 구분하면 콘크리트용 골재, 아스팔트 콘크리트용 골재, 보조기층용 골재, 기층용 재료 등으로 구분할 수 있으며, 이들 용도에 따라 골재로서 요구되는 품질이 약간씩 차이가 있다. 이 때 사용된 골재의 품질이 콘크리트제품의 강도, 내구성 등에 미치는 영향이 크기 때문에 좋은 제품을 만들기 위해서는 골재의 종류, 물리적 성질 등을 사전에 충분히 조사하여 양질의 골재를 선정할 필요가 있다. 본 연구에서는 천연골재인 퇴적암을 콘크리트용 골재, 표층·기층 아스팔트용 골재, 보조기층용 골재로 재활용하기 위한 가

능성을 제시하고자 한다. 상기와 같은 연구를 수행하기 위해서 크게 5단계의 과정으로 나누어 연구를 수행하였다. 첫 번째 단계로 잔류폐기물인 퇴적암을 비롯해 일반적으로 현장에서 많이 활용되고 있는 화강암 원암에 대한 물리적 특성을 측정하였고, 두 번째 단계에서 쇄석 골재의 기본 물성치 및 안정성시험 등을 하였다. 세 번째 단계에서 위의 분석 결과를 바탕으로 콘크리트 배합설계를 통한 일축압축강도를 측정하였으며, 네 번째 단계에서 도로 표층 및 기층용 아스팔트시험, 그리고 보조기층용 재료로서의 타당성 여부를 검토하였다. 다섯 번째 단계에서는 동결융해에 따른 쇄석 골재와 일반 골재의 콘크리트 압축강도와 동탄성계수, 질량변화율 비교와 아스팔트 콘크리트용 재료로서의 동결융해 후 안정도를 비교 연구하였다. 이와 같은 연구결과를 통해 잔류폐기물의 재활용 차원에서도 많은 도움을 줄 수 있으리라 기대되며, 효과적인 재활용 콘크리트재료가 개발된다 다가올 건설시장 개방에 따른 효율적인 대비책의 하나로 생각될 수 있다고 판단된다.

### 1.2 연구대상 시료 및 채취장소

본 연구에서 사용한 시료들은 크게 서로 다른 두 지역으로 분류할 수 있는데 화강암을 채취한 팔공산층 시료와 블랙, 레드 셰일을 채취한 반야월층 시료이다. 대구지역 전체를 덮고 있는 경상분지는 중생대 백악기의 퇴적암이 주가 되며 이를 분출한 안산암질암과 백악기 최후기의 심성관입 작용에 의한 심성 화성암이 나타난다. 이러한 퇴적암 중에서 이암이 주가 되는 함안층(Haman formation)과 셰일(shale)이 주가 되는 반야월층(Banyawoel formation)이 가장 넓은 분포면적을 보이고 있으며, 본 연구에 사용된 블랙 셰일은 경산 고산동일대에서, 레드 셰일은 북구 태전동에서 채취하였다(장기홍·박순옥, 1978 ; 이인호, 1998). 화강암골재는 대구-포항간 고속도로에 사용되어진 화강암골재를 사용하였다. 그림 1은 시료 채취 위치도를 나타낸 것이다.

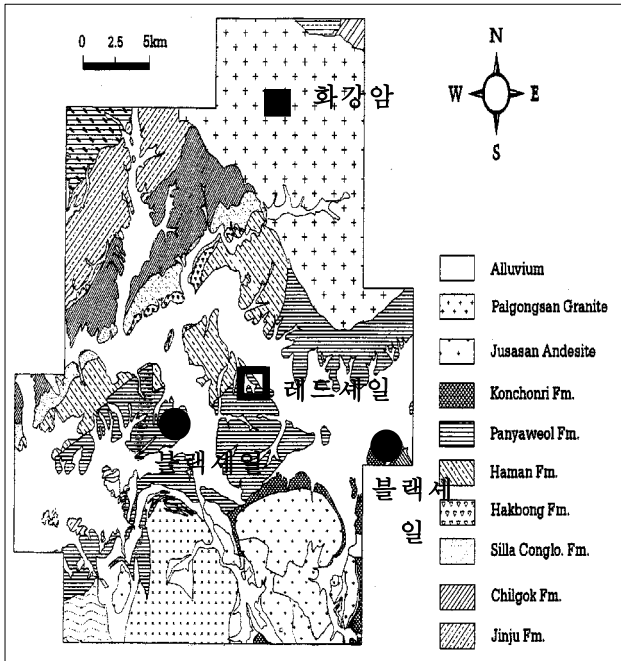


그림 1. 시료 채취 위치도(대구지역)

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 재료

#### 2.1.1 골재

골재는 화강암과 퇴적암에서 암석을 채취한 후 파쇄기를 이용하여 적당한 크기 (최대크기 25mm이하)로 파쇄한 다음 골재전체에 대하여 세척하여 사용하였다.

#### 2.1.2 시멘트

본 실험에서는 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였다. 표 1은 보통 포틀랜드 시멘트의 화학 조성이며, 시멘트의 물리적 성질은 표 2와 같다.

표 1. 시멘트의 화학성분

성분	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	SO <sub>3</sub>	CaO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Ig.Loss
조성비(%)	21.4	7.0	2.9	3.1	1.7	60.8	0.72	0.12	1.2

표 2. 시멘트의 물리적 성질

비중	안정성	분말도 (cm <sup>2</sup> /g)	응결시간		압축강도(kg/cm <sup>2</sup> )		
			초결 (Initial Set:min)	종결 (Final Set:min)	3일	7일	28일
3.15	0.12(양호)	3436	4:13	6:02	242	287	376

#### 2.1.3 아스팔트

본 연구에서는 우리나라에서 가장 많이 사용되는 아스팔트 시멘트 AP-3(침입도등급 85-100)을 사용하였다. 각각의 골재 입도는 표층의 경우 혼합물의 표준배합표에서 골재 최대 입경 19mm인 미립도 아스팔트 콘크리트 입도를 사용하였으며, 기층은 기층용 혼합물의 표준 입도인 BB-2를 사용하였다(한국도로공사, 1994 ; 건설교통부). 표층 및 기층의 아스팔트 함량은 각각 6%와 4%로 혼합물을 제조하였다.

#### 2.1.4 혼화재료

본 실험에서 이용된 혼화제는 표준형 AE감수제를 사용하였으며, 감수제는 모든 배합에 대하여 동일하게 첨가하여 사용하였다.

### 2.2 시험방법

#### 2.2.1 원암석의 화학·광물 조성분석

암석의 공학적 성질은 주로 광물 및 화학 성분, 입자구조

와 배열 등의 인자에 의해서 직접적인 영향을 받게 된다. 이를 분석하기 위해 X선 분말 회절법(XRD)과 X-선 형광 분광법(XRF)을 기초과학 지원연구소 대구분소에 의뢰하여 분석하였다.

## 2.2.2 원암석의 물리·역학적 시험

물리적 특성시험은 함수비, 유효간극률, 흡수율 및 탄성과 속도 시험을 실시하였으며, 역학적시험은 일축강도, 간접인장강도 시험을 실시하였다. 탄성계수와 포아송비는 일축압축강도 시험시 측정되어진다. 각각의 시험은 국제암반 역학회(ISRM, 1981)에서 제시한 표준시험방법으로 수행하였다.

## 2.2.3 쇄석골재의 물성 실험

200번째 통과율(KS F 2511), 비중(KS F 2504), 흡수율(KS F 2504), 골재의 안정성(KS F 2507), 마모시험 손실률(KS F 2508), Slaking 내구성 지수시험(ISRM 1981)등을 실시하였다.

## 2.2.4 콘크리트 강도 및 동결융해 시험

압축강도시험은 콘크리트의 품질을 표시하는 기준으로서 KS F 2405에 의거하여 실시하였다. 동결-융해에 대한 저항 시험은 KS F 2456-1993에 따라 한 사이클을 4시간으로 하였으며, 공시체 중심에서의 온도를 4°C에서 -18°C로 떨어뜨리고 다시 4°C로 상승시키는 것을 반복하였다. 각 공시체의 동탄성계수는 초기치의 40% 손실될 때까지 혹은 300사이클 까지 진행하도록 규정되어 있다. 동결-융해 시험기는 Satake 제품의 Programmable 온도 조절 챔버를 이용하여 반복 사이클을 가하였다. 동결-융해 처리 1사이클의 시험 방법은 그림 2와 같다. 이 실험을 통해 상대동탄성계수, 질량변화율을 구하였다(G.C. Hoff ; 姜昶求).

상대동탄성계수는 아래와 같이 계산한다(KS F 2437).

$$P_c = (n_1^2 / n^2) \times 100$$

여기서,

$P_c$  : 동결융해 C사이클 후의 상대동탄성계수(%)

$n$  : 동결융해 C사이클에서의 가로 1차 진동 주파수

$n_1$  : 동결융해 C사이클 후의 가로 1차 진동 주파수

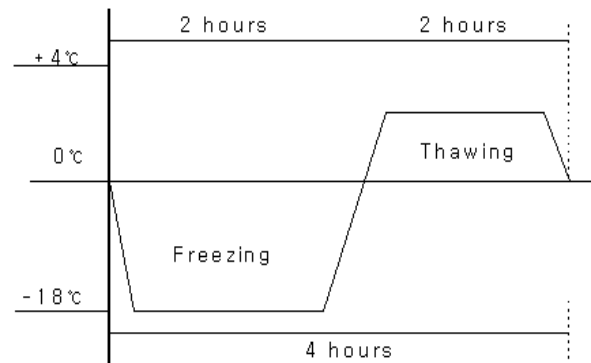


그림 2. 동결-융해 사이클

## 2.2.5 아스팔트의 마찰안정도 및 동결-융해시험

### 2.2.5.1 아스팔트 혼합 및 다짐

혼합물의 혼합과 다짐방법은 오래곤과 캐나다(Emery 1993, Allen 1990)에서 제시한 방법을 응용하여 마살다짐기를 이용하였다.

### 2.2.5.2 마살안정도

마살 안정도는 60°C에서 50.5mm/분 비율의 하중으로 다져진 공시체에 작용하는 최대하중으로 정의된다. 이 안정도는 일반적으로 골재-아스팔트 혼합물의 집합체 점도의 측정수단이며, 골재의 내부 마찰각과 60°C에서 아스팔트 시멘트의 점도에 의해 크게 영향을 받는다. 60°C에서의 점도는 아스팔트 시멘트의 등급에 의해 주로 영향을 받으므로 골재 혼합체의 안정도를 증가시키는 가장 쉬운 방법은 고점도 등급의 아스팔트 시멘트로 바꾸는 것이다. 흐름치는 시료의 수직변형으로 1/100cm로 표시한다(하중 시작 때부터 안정도가 감소하기 시작되는 점까지 측정). 높은 흐름치는 일반적으로 교통상황 하에서 영구변형을 일으킬 수 있는 연한 배합을 의미하는 반면, 낮은 흐름치는 보통의 것보다 높은 공극과 내구성에 대하여 불충분한 아스팔트, 그리고 포장의 공용기간 동안 혼합물의 취성 때문에 조기 균열이 발생할 수 있는 배합을 의미한다. 주간선도로나 교통량이 많은 도로 또는 비행장에서 쓰이는 75회 다짐 마살 설계에 대해서 흐름치는 일반적으로 20~40(1/100cm) 범위 내에 들도록 규정되어 있다. 표 3과 4는 도로공사의 아스팔트 표층 및 기층에 대한 시방서 기준이다.

표 3. 아스팔트 표층 도로공사 시방서 기준

시험구분	시험종목	시험방법	시험빈도	관정기준
재료시험	아스팔트함량(%)	KS F2354	포 설 시 1일 1회 이 상	5 ~ 6
	기준밀도(kg/cm <sup>3</sup> )	KS F2446		-
	공극율(%)	KS F2349		3 ~ 6
	포화도(%)	KS F2349		70 ~ 85
	안정도(kg)	KS F2337		500 이상
	흐름값(1/100cm)	KS F2337		20 ~ 40
	추출 체가름	KS F2502		도로공사표준시방서(701-2-2)
	공시체제작	KS F2337		-

표 4. 아스팔트 기층 도로공사 시방서 기준

시험구분	시험종목	시험방법	시험빈도	관정기준
재료시험	아스팔트함량(%)	KS F2354	포 설 시 1일 1회 이 상	3.5 ~ 5.5
	기준밀도(kg/cm <sup>3</sup> )	KS F2446		-
	공극율(%)	KS F2349		3 ~ 10
	안정도(kg)	KS F2337		350 이상
	흐름값(1/100cm)	KS F2337		10 ~ 40
	추 출 체가름	KS F2502		도로공사표준시방서(701-2-2)
	공시체제작	KS F2337		-

### 2.2.5.3 동결-융해

국내 아스팔트 콘크리트는 봄이 되면 겨울동안 얼어 있던 물의 작용으로 Spring breakup 현상이 발생하고 고온 다습한 장마철 장기간 습기에 노출된다. 일반적으로 이러한 기후에 노출되면 박리(Stipping)현상이 발생하게 되어 혼합물이 조기에 파손되는 원인이 된다. 특히 쇄석골재의 입도에는 굵은 골재가 많고 잔골재가 적은데 이러한 현상에 대한 저항성이 일반 골재와 어떠한 차이가 있는지 보기 위하여 동결-융해시험을 수행하였다. 동결-융해시험은 공시체를 제작하여 24시간 후 25℃ 수중에서 진공(580mmHg)으로 10분 동안 공기를 제거하여 포화시킨 다음 밀봉하여 동결융해 시험기에 넣고 시험을 시작하였다. 동결융해 사이클은 -25℃로 떨어뜨리고 다시 25℃로 상승시키는 것을 반복하여, 한 사이클은 4시간으로 동결, 융해시간을 각각 80분으로 온도의 하강시간과 상승시간을 각각 40분씩 하였다. 동결융해 25사이클, 50사이클 후 잔류안정도시험을 수행하고 관찰하였다.

## 3. 시험 결과

### 3.1 원석의 광물 및 화학적 성분 분석

채취한 암석의 X-ray 회절시험 결과 표 5와 같은 양상을 나타내었다. 표 5에서 보면 Quartz는 화강암이 22.01%로 블랙 및 레드세일의 18.2%와 19.04%보다 크게 나타났으며, Albite의 경우 화강암이 31.3%으로 26.74%와 23.76%을 나타낸 블랙 및 레드세일보다 높게 나타났다. 하지만 Chromite은 화강암이 5.98%로 블랙 및 레드세일의 30.58%, 20.45%보다 낮게 나타났다. 결과에서 나타난 것처럼 세일은 X선 회절 양상이 거의 잘 일치하므로 동일한 구성광물로 이루어져 있음을 알 수 있다. 화학적 성분에 대한 분석은 표 6과 같이 나타났다. 시료의 화학 성분은 SiO<sub>2</sub>와 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO가 주성분이며 각각의 시료들에 대하여 전체의 50%이상 구성되고 있다. 화강암의 경우 SiO<sub>2</sub>가 64.10% 로 블랙 및 레드세일의 56.31%, 55.89%보다 높게 나타났다. MgO의 경우 화강암이 1.86%으로 블랙 및 레드세일의 49.5% 4.95%, 3.30%

보다 낮게 나타났으며, CaO의 경우 레드세일에서 다른 시료보다 많은 8.81%의 함유량을 나타내었다.

표 5. 암석의 광물 구성비(%)

	Quartz	Orthoclase	Albite	Corrundum	Chromite	limenite	Magnetite
화강암	22.01	18.2	31.3	1.18	5.98	0.83	2.95
블랙 세일	18.2	3.71	26.74	5.43	30.58	0.59	2.13
레드 세일	19.04	11.27	23.76	2.35	20.45	-	2.32

표 6. 암석의 화학 성분비(%)

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	MnO	CaO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Ig. Loss
화강암	64.10	16.31	2.95	1.86	0.08	3.58	3.11	3.47	0.9
블랙 세일	56.31	16.88	1.81	4.95	0.05	2.34	3.17	3.42	0.95
레드 세일	55.89	14.49	2.22	3.30	0.09	8.81	3.93	2.63	0.97

### 3.2 암석의 물리·역학적 시험 결과

표 7은 대구지역의 퇴적암 중 블랙 및 레드세일과 화강암의 암석 시험 결과이다. 시험은 기본 물성으로 진비중, 겉보기비중, 흡수율, 유효간극률, 함수비를 측정하였으며, 역학적 시험으로 일축압축강도와 간접 인장 강도, 탄성과 속도 시험을 하였다. 각각의 시험은 암석 덩어리의 번호를 매

겨서 그 암석 덩어리에서 NX사이즈로 샘플을 채취하여 ISRM에서 제안한 실험방법으로 각각의 시료당 다섯 번을 실험하여 그 평균값을 사용하였다. 그 3개의 샘플값을 다시 평균을 구하였다.

표 7. 암석 시험 결과

암석 종류	시료 번호	진비중	Gn*	Gd**	Gt***	W****	유효 간극률 (%)	흡수율 (%)	일축압축 강도 (kg/cm <sup>2</sup> )	간접인장 강도 (kg/cm <sup>2</sup> )	탄성계수 (105kg/cm <sup>2</sup> )	포와 송비	P과 속도 (km/sec)
화강암골재	1	2.71	2.63	2.60	2.65	1.10	4.79	1.84	890	109	5.27	0.27	5.30
	2	2.72	2.67	2.65	2.68	1.00	3.34	1.26	991	125	5.58	0.29	5.10
	3	2.70	2.66	2.66	2.66	1.40	4.80	1.73	609	97	3.53	0.31	4.80
	평균	2.71	2.65	2.64	2.66	1.17	4.31	1.61	830	110	4.79	0.29	5.07
블랙 세일	1	2.71	2.67	2.66	2.66	1.41	4.81	1.73	638	114	3.57	0.20	5.36
	2	2.73	2.74	2.73	2.76	0.62	2.59	0.95	1556	197	4.45	0.24	5.71
	3	2.72	2.72	2.70	2.72	0.60	2.02	0.75	1129	140	4.42	0.21	5.50
	평균	2.72	2.71	2.70	2.71	0.88	3.14	1.14	1108	150	4.15	0.22	5.52
레드 세일	1	2.69	2.67	2.66	2.67	0.25	1.00	0.38	714	92	2.73	0.17	5.35
	2	2.67	2.48	2.44	2.52	1.41	7.57	3.10	589	59	1.06	0.42	4.45
	3	2.68	2.59	2.54	2.62	1.69	7.41	2.91	683	61	2.33	0.19	4.97
	평균	2.68	2.58	2.55	2.60	1.12	5.33	2.13	662	70.67	2.04	0.26	4.92

\*Gn : 자연상태의겉보기비중, \*\*Gd : 강제건조상태의겉보기비중, \*\*\*Gt : 강제습윤상태의겉보기비중, \*\*\*\*W : 자연상태의함수비

표 7에서 진비중은 화강암, 블랙 및 레드세일은 각각 2.71, 2.72, 2.68로 나타났으며, 겉보기비중은 일반적으로 많이 사용하는 습윤상태의 비중을 기준으로 할 때 화강암, 블랙 및 레드세일은 각각 2.66, 2.71, 2.60이며, 두 비중 다 레드세일이 약간 떨어진다. 비중 및 흡수율에 영향을 미치는 유효 간극률을 비교해보면, 화강암, 블랙 및 레드세일 각각이 4.31, 3.14, 5.33으로 레드세일의 유효 간극율이 높게 나타났다. 역학적인 특성 중에서 일축압축강도와 탄성파속도에서도 역시 레드세일이 표 7에서와 같이 약간 떨어지는 값을 나타내었다. 하지만 일축압축강도와 탄성과 속도에 따른 건설부 표준 품셈의 암분류 기준에서 화강암, 블랙 및 레드세일 모두 보통암 이상으로 나타났으므로 골재로서 사용하는 원암석의 물리적 특성은 매우 양호함을 알 수 있다.

### 3.3 골재의 물성 실험 결과

대구 경북지역 암석을 이용한 골재로서의 적합성 판단기

준을 KS기준으로 각각 시험한 결과는 표 8과 같다. 각 시료별 흡수율시험은 각각의 시료 모두 1.51-2.58%로 3% 이하로 나타났으며, 겉보기 비중은 화강암이 2.70, 블랙세일이 2.78, 레드세일이 2.76으로 양호한 값을 나타내었다. 마모시험은 레드세일이 31.54%로 블랙 및 화강암이 보여준 15.9%, 15.4%보다 높게 나타났으며, 모든 시료가 40%이하로 나타났다. 안정성 시험결과에서는 화강암이 5.9%, 블랙세일이 12.9%, 레드세일이 37.5%로 퇴적암 두 시료모두 KS기준인 12%이하 보다 크게 나타났다. 골재의 내구성시험에서도 Gamble의 2회제를 기준으로 하였을 때 화강암은 99.4%, 블랙세일은 99.2%, 레드세일은 91.2%로 나타났다. 화강암과 블랙세일은 지극히 내구성이 있으며, 레드세일은 중간 정도의 내구성이 있는 결과를 보였다. 하지만 안정성시험 결과에서 블랙세일도 불합격 판정을 받았으므로 환경의 영향을 받는 곳에서의 사용은 적합하지 않을 것으로 판단된다. 그림 3은 각 시료별 안정성을 비교한 것이고, 그림 4는 slaking지수를 비교한 그림이다.

표 8. 골재 기본 물성 시험

종류	200체 통과율	겉보기 비중	진비중	흡수율	마모시험 손실율	안정성	Slaking(%)		
							1회	2회	3회
KS규정	1%이하	2.5이상	2.5-2.7	3%이하	40.00%이하	12.00%이하			
화강암	0.85	2.695	2.589	1.506	15.4	5.9	99.9	99.4	99.1
블랙세일	0.7	2.782	2.684	1.34	15.9	12.9	99.6	99.2	98.9
레드세일	0.97	2.76	2.53	2.58	31.54	37.5	95.6	91.2	87.8

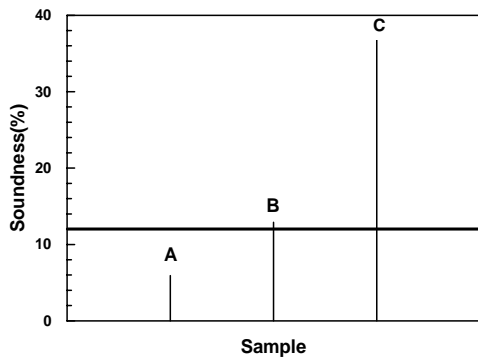


그림 3. 각 시료별 안정성 시험결과  
(A : 화강암, B : 블랙세일, C : 레드세일)

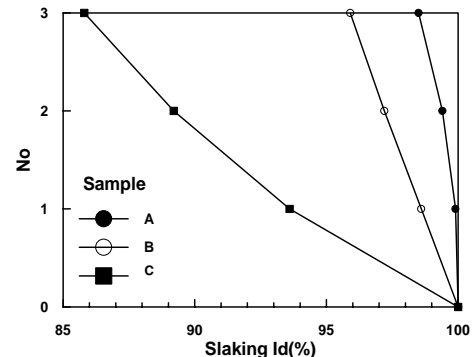


그림 4. 각 시료별 slaking 지수  
(A : 화강암, B : 블랙세일, C : 레드세일)

### 3.4 콘크리트 실험결과

표 9. 콘크리트 배합설계

배합 강도 (kg/cm <sup>2</sup> )	W/C (%)	S/A (%)	단위중량(kg/ m <sup>3</sup> )				AE감수제 (g/m <sup>3</sup> )
			W	C	S	G	
240	43	42	155	361	775	993	1080
350	32	43	153	479	699	992	1437

표 9는 대구지역에서 산출되는 암석을 이용한 배합설계 기준이다.

압축강도는 KS F 2430 및 2450에 의거하여 공시체의 지름과 높이가 ø10×20cm인 원주공시체를 사용하여 시험체를 제작한 후 7, 14, 28일 강도를 측정하였다. 이상의

시험에 대한 시험결과를 표 10에 나타내었다.

모든 시험이 배합강도 기준에는 합격하였으나, 각 시험의 압축강도를 비교하였을 때 레드 세일의 강도가 상대적으로 떨어짐을 알 수 있었다.

표 10. 콘크리트 압축강도 결과

	배합강도(kg/cm <sup>2</sup> )	W/C(%)	S/A(%)	슬럼프(cm)	공기량(%)	일축압축강도(kg/cm <sup>2</sup> )		
						7일	14일	28일
화강암	240	43	42	13	4.5	205	265	355
블랙세일						180	255	330
						185	240	321
레드세일						175	194	275
						173	195	280
화강암						350	32	43
	291	367	415					
블랙세일	285	335	405					
	254	297	382					
레드세일	275	353	387					
	235	268	325					
						260	296	376

### 3.5 콘크리트 동결-융해 시험 결과

표 11. 콘크리트 동결융해시험 결과

시험 항목		동결 융해에 대한 저항성						
		표건 비중	질량변화율(%)			상대 동탄성 계수(%)		
			0 cycle	100 cycle	200 cycle	0 cycle	100 cycle	200 cycle
콘크리트	화강암	2.23	0	-1.2	-2.5	100	94	87
	블랙 혈암	2.16	0	-1.5	-2.7	100	92	84
	레드 혈암	2.18	0	-1.75	-3	100	93.5	86



콘크리트는 여러 가지 외부 환경요인에 의하여 내구성을 잃는 경우가 많으며, 이 중 가장 큰 피해의 하나는 한랭지역의 콘크리트에 있어서 동결과 융해의 반복에 의한 열화의 촉진으로 발생하는 동해를 들 수 있다. 퇴적암의 옥외 콘크리트 골재시료로서의 타당성 검증을 위하여 동결 융해에 대한 저항성시험으로 화강암 골재와 비교해 보았다. 표 11은 콘크리트 동결융해 저항성을 알아보기 위한 실험 결과이다. 각각의 표건 비중은 화강암이 2.23, 블랙 혈암이 2.16, 레드 혈암이 2.18로 화강암의 표건비중이 다른 두 시료보다 약간 크게 나왔다. 초기 값에 대한 동탄성 계수의 백분율 변화를 나타내는 상대 동탄성 계수는 화강암 골재를 사용한 콘크리트의 경우 100cycle에서 94%, 200cycle에서 87%로 나타났으며, 블랙세일은 100cycle에서 92%, 200cycle에서 84%를 나타냈다. 또한 레드세일은 100cycle에서 93.5%, 200cycle에서 86%의 변화를 나타내었다. 표 11의 결과로서 상대 동탄성 계수를 비교해보면, 블랙세일과 레드세일이 화강암보다 동결 융해 저항성이 약함을 알 수 있다. 하지만, 큰 차이는 보이지 않았다. 중량변화율에서는 화강암골재의 경우 100cycle에서 -1.2%, 200cycle에서 -2.5%를 나타냈으며, 블랙세일은 100cycle에서 -1.5%, 200cycle에서 -2.7%를 나타냈다. 또한 레드세일은 100cycle에서 -1.75%, 200cycle에서 -3%의 변화를 나타내었다. 중량변화율에서도 화강암골재가 블랙세일, 레드세일보다 중량 감소폭이 작았다. 이와 같이 퇴적암을 사용한 콘크리트가 화강암골재보다 동결 융해 저항성이 약함을 알 수 있다.

### 3.6 아스팔트 동결-융해에 따른 마찰안정도 시험 결과

표 12와 13은 화강암, 블랙 및 레드 세일 골재를 사용한 표층 및 기층용 아스팔트 시험결과이다. 표 12의 표층재료를 분석해 보면 안정도 값은 25cycle에서 KS규준인 500kg이상 나타났으나, 레드세일이 50cycle에서 484~561kg으로 KS규준 보다 작게 나타났다. 흐름치 값은 KS 규준인 20~40안에 들었다. 공극률에서 25, 50cycle에서 화강암, 블랙세일, 레드세일 모두 KS규준인 3~6%에 들었다. 포화도역시 25, 50cycle에서 KS규준인 70~85%에 들었으며, 안정도값에서 화강암 골재가 681~581kg으로 나타났는데 반해 블랙세일은 546~545kg, 레드세일은 520~513kg으로 낮게 나타났다. 이는 퇴적암 쇄석골재는 파쇄시 골재모서리가 각이 지게 깨어지는데 퇴적암 골재의 입형이 불량함을 알 수 있다. 골재의 입형은 비빔시

workability에 영향을 끼치므로 불량한 입형의 골재는 아스팔트의 공극률을 높게 한다. 하지만, 흐름치는 퇴적암 쇄석 골재가 21~32로 화강암 골재의 32~33보다 적게 나왔는데 이는 공극이 커 밀도가 낮음에도 불구하고 예각의 골재가 서로 맞물려 있어 혼합물의 stiffness가 크다는 것을 알 수 있다. 그림 5와 6은 표층재료의 동결융해 사이클에 따른 안정도와 흐름치를 나타낸 것이다.

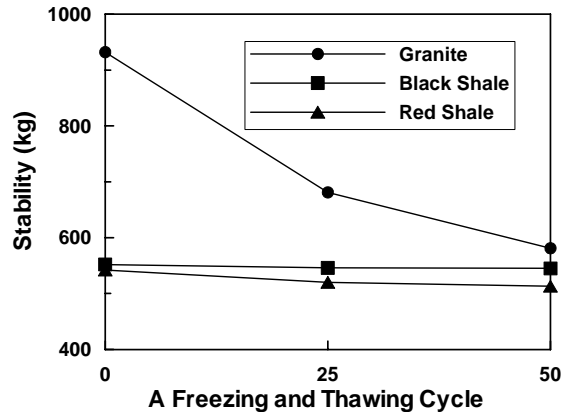


그림 5. 동결융해 사이클에 따른 안정도(표층)

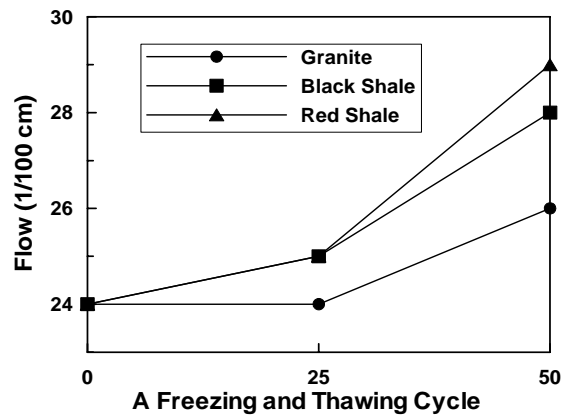


그림 6. 동결융해 사이클에 따른 흐름치(표층)

표 13의 기층용 아스팔트결과를 살펴보면, 25cycle-50cycle에서의 공극률은 화강암이 5.67-5.43, 블랙세일이 5.65-4.76, 레드세일이 5.0-4.98로써 KS규준인 3~10사이에 들었다. 안정도값은 25cycle에서 KS규준인 350kg이상 나타났으나, 50cycle에서 레드세일이 336~375kg으로 KS규준 보다 작게 나타났다. 흐름치는 전 시료가 19~30사이로서 KS규준인 10~40사이에 들었다. 그림 7과 8은 기층재료의 동결융해 사이클에 따른 안정도와 흐름치를 나타낸 것이다.

표. 12 아스팔트(표층) 마찰안정도 시험 결과

		AP 함량 (%)	AP 비중	중량(g)			용적 (cm)	밀도		AP 용적 (%)	공극률 (%)	포화도 (%)	안정도 (kg)	흐름도 (1/100 cm)	
				공기중	수중	표건중		실측	이론						
동결 융해 0cycle	화강암	6	1.028	1141.1	634.0	1150.1	516.1	2.211	-	-	-	-	948	24	
				1336.8	746.3	1345.2	598.9	2.232	-	-	-	-	932	24	
				1242.6	705.8	1251.6	545.8	2.270	-	-	-	-	916	23	
	평균	-	-	-	-	-	-	2.238	2.380	13.06	5.97	68.63	932	24	
	블랙 세일	6	1.028	1164.0	670.2	1172.2	502.0	2.312	-	-	-	-	-	512	24
				1194.9	689.3	1200.2	510.9	2.332	-	-	-	-	632	26	
				1157.0	664.6	1157.7	493.1	2.339	-	-	-	-	512	23	
	평균	-	-	-	-	-	-	2.328	2.480	13.59	6.13	68.91	552	24	
	레드 세일	6	1.028	1134.0	646.9	1136.1	489.2	2.318	-	-	-	-	-	423	24
				1114.7	631.8	1111.6	479.8	2.323	-	-	-	-	647	24	
				1182.3	676.7	1188.9	512.2	2.301	-	-	-	-	555	24	
	평균	-	-	-	-	-	-	2.314	2.453	13.51	5.67	70.44	542	24	
동결 융해 25cycle	화강암	6	1.028	1281.7	731.3	1282.3	551.0	2.319	-	-	-	-	579	25	
				1101.4	626.1	1103.6	477.5	2.300	-	-	-	-	699	24	
				1224.5	709.6	1237.0	527.4	2.315	-	-	-	-	764	23	
	평균	-	-	-	-	-	-	2.311	2.45	13.49	5.67	70.41	681	24	
	블랙 세일	6	1.028	1181.0	664.2	1186.6	522.4	2.254	-	-	-	-	-	472	28
				1073.0	610.3	1075.8	465.5	2.298	-	-	-	-	530	23	
				1059.3	597.6	1063.3	465.7	2.268	-	-	-	-	636	25	
	평균	-	-	-	-	-	-	2.273	2.409	13.27	5.65	70.14	546	25	
	레드 세일	6	1.028	1151.9	646.3	1159.8	513.5	2.237	-	-	-	-	-	517	25
				1130.0	642.1	1133.5	491.4	2.293	-	-	-	-	528	27	
				1201.7	675.9	1207.8	531.9	2.252	-	-	-	-	514	24	
	평균	-	-	-	-	-	-	2.261	2.380	13.20	5.00	72.53	520	25	
동결 융해 50cycle	화강암	6	1.028	1257.2	710.4	1258.0	547.6	2.289	-	-	-	-	507	21	
				1247.3	707.5	1248.0	540.5	2.301	-	-	-	-	679	32	
				1199.5	680.7	1199.9	519.2	2.303	-	-	-	-	558	25	
	평균	-	-	-	-	-	-	2.298	2.430	13.41	5.43	71.17	581	26	
	블랙 세일	6	1.028	1156.9	633.7	1171.1	538.5	2.148	-	-	-	-	-	555	26
				1174.6	634.3	1175.2	540.9	2.171	-	-	-	-	575	29	
				1205.5	694.4	1208.6	514.2	2.337	-	-	-	-	506	28	
	평균	-	-	-	-	-	-	2.219	2.330	12.95	4.76	73.12	545	28	
	레드 세일	6	1.028	1329.0	766.5	1332.2	565.7	2.342	-	-	-	-	-	484	28
				1169.9	678.5	1177.2	498.7	2.339	-	-	-	-	561	32	
				1159.7	677.7	1167.9	490.2	2.359	-	-	-	-	493	27	
	평균	-	-	-	-	-	-	2.347	2.470	13.70	4.98	73.34	513	29	

표. 13 아스팔트(기층) 마살안정도 시험 결과

	AP 함량 (%)	AP 비중	중량(g)			용적 (cm)	밀도		AP 용적 (%)	공극률 (%)	포화도 (%)	안정도 (kg)	흐름도 (1/100 cm)	
			공기중	수중	표건중		실측	이론						
동결 융해 0cycle	화강암	4	1.028	1197.2	654.5	1201.5	547.0	2.182	-	-	-	-	752	19
				1197.3	652.8	1210.3	557.5	2.141	-	-	-	-	703	24
				1255.7	691.5	1260.1	568.6	2.202	-	-	-	-	737	21
	평균	-	-	-	-	-	-	2.175	2.478	8.463	12.228	40.96	731	21
	블랙 세일	4	1.028	1113.2	607.4	1125.9	518.5	2.141	-	-	-	-	585	22
				1220.3	665.8	1231.7	565.9	2.150	-	-	-	-	480	21
				1230.7	679.4	1235.3	555.9	2.207	-	-	-	-	520	22
	평균	-	-	-	-	-	-	2.166	2.450	8.428	11.592	42.1	528	22
	레드 세일	4	1.028	1016.3	568.7	1021.2	452.5	2.246	-	-	-	-	486	24
				1152.4	655.3	1153.3	498.0	2.314	-	-	-	-	576	21
1095.7				605.4	1130.4	524.9	2.087	-	-	-	-	535	23	
평균	-	-	-	-	-	-	2.216	2.450	8.623	9.550	47.45	532	23	
동결 융해 25cycle	화강암	4	1.028	1167.2	665.3	1181.5	516.2	2.254	-	-	-	-	427	23
				1105.8	626.6	1108.4	481.8	2.288	-	-	-	-	510	20
				1331.9	750.4	1335.2	584.8	2.271	-	-	-	-	588	24
	평균	-	-	-	-	-	-	2.271	2.478	8.837	8.354	51.40	508	22
	블랙 세일	4	1.028	1166.6	660.9	1175.4	514.5	2.261	-	-	-	-	364	20
				1184.2	672.4	1192.8	520.4	2.269	-	-	-	-	354	25
				1142.5	648.0	1145.4	497.4	2.290	-	-	-	-	488	23
	평균	-	-	-	-	-	-	2.273	2.463	8.844	7.714	53.41	402	23
	레드 세일	4	1.028	1128.8	643.6	1138.0	494.4	2.276	-	-	-	-	408	24
				1189.3	673.0	1191.2	518.2	2.288	-	-	-	-	304	24
1236.7				695.8	1238.0	542.2	2.274	-	-	-	-	403	24	
평균	-	-	-	-	-	-	2.279	2.463	8.868	7.470	54.28	372	24	
동결 융해 50cycle	화강암	4	1.028	1079.2	620.9	1088.7	467.8	2.300	-	-	-	-	417	23
				1294.7	737.9	1297.3	559.4	2.308	-	-	-	-	481	24
				1296.1	737.3	1300.7	563.4	2.294	-	-	-	-	567	26
	평균	-	-	-	-	-	-	2.301	2.450	8.953	6.082	59.55	488	24
	블랙 세일	4	1.028	1128.0	647.8	1132.6	484.8	2.327	-	-	-	-	457	30
				1124.6	644.1	1127.2	483.1	2.328	-	-	-	-	404	19
				1125.5	646.5	1130.0	483.5	2.328	-	-	-	-	337	23
	평균	-	-	-	-	-	-	2.328	2.478	9.058	6.053	59.94	399	24
	레드 세일	4	1.028	1247.4	712.2	1252.7	540.5	2.308	-	-	-	-	346	30
				1093.1	626.3	1094.4	468.1	2.335	-	-	-	-	375	26
1147.3				653.2	1146.7	493.5	2.325	-	-	-	-	336	28	
평균	-	-	-	-	-	-	2.323	2.473	9.039	6.066	59.84	352	28	

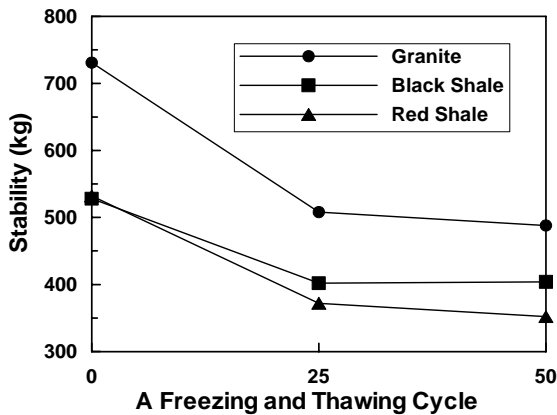


그림 7. 동결융해 사이클에 따른 안정도(기층)

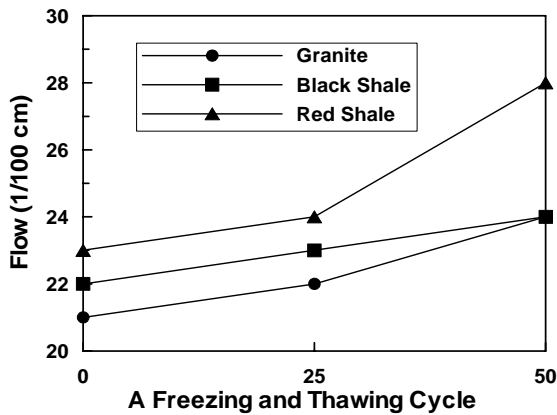


그림 8. 동결융해 사이클에 따른 흐름치(기층)

#### 4. 결론

1. 대구지역에서 채취된 화강암과 블랙 셰일과 레드 셰일 등은 골재 기본 품질시험(200체 통과량, 겉보기 비중, 진비중, 흡수율, 마모손실율)에서 KS기준에 합격하였으나 안정성 시험에서 블랙셰일(12.9%)과 레드 셰일(37.5%) 등이 KS기준(12.0% 이하)에 미달하였으므로 환경적인 영향을 받는 재료로서 사용은 적당하지 않을 것으로 판단되며 별도의 화학적 처리에 관한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

2. 각 시료별로 콘크리트 공시체를 제작한 후 7, 14, 28일 강도를 측정된 결과 모든 시료가 배합강도 기준에는 합격하였으나, 각 시료의 압축강도를 비교하였을 때 레드 셰일의 강도가 상대적으로 떨어짐을 알 수 있었다.

3. 콘크리트의 동결융해 시험결과를 살펴보면, 200cycle에서 질량변화율은 화강암이 -2.5%, 블랙셰일이 -1.5%, 레드셰일이 -3%로 레드셰일의 질량변화율이 가장 크게 나타났고, 200cycle에서 상대동탄성계수는 화강암이 87%, 블랙셰일이 84%, 레드셰일이 86%로 나타났다. 이와 같이 퇴적암을 사용한 콘크리트가 화강암골재 콘크리트보다 동결융해 저항성이 약함을 알 수 있다.

4. 아스팔트 표층용 재료의 동결융해 시험에서 안정도값은 25cycle에서 화강암, 블랙셰일, 레드셰일이 KS기준인 500kg이상 나타났으나, 50cycle에서는 레드셰일이 484~561kg으로 KS기준보다 작게 나타났다. 흐름치 값은 모두 KS기준인 20~40안에 들었으며, 동결융해 시험후 공극률과 포화도도 KS기준에 들었다.

5. 아스팔트 기층용 재료의 동결융해 시험결과를 살펴보면, 공극률은 전 시료가 3~10사이에 들었고, 흐름치 또한 전 시료가 19~30사이로서 KS기준인 10~40사이에 들었다. 안정도 시험결과와 화강암, 블랙셰일, 레드셰일 모두 KS기준인 350kg이상 나타났으나, 50cycle에서 레드셰일이 336~375kg으로 KS기준보다 작게 나타났다.

#### 감사의 글

이 논문은 대학부설연구소 중점과제(과제번호 97-005-E00001)의 연구비를 지원 받아 실시하였으며, 이에 깊은 감사를 드립니다.

(접수일자 : 2002. 2. 18)

## 참 고 문 헌

1. 김동기(1994), 쇄석골재 자원의 활용방안, 한국자원공학회 1994년도 추계 총회 골재자원 Forum 및 제 63회 학술발표회 논문집, pp. 79-89.
2. 건설공사 품질 시험 편람, 1994. 한국도로공사
3. 건설자재용 골재적용을 위한 대구 주변 광물 자원의 타당성 검토에 관한 세미나, 1998. 7. 한국콘크리트학회.
4. 도로공사 설계 및 시공 지침, 건설교통부.
5. 양동윤, 이동영(1995), 콘크리트 장기 안정성을 위한 골재의 선택, 자원환경지질, Vol. 28, pp. 59-525.
6. 이인호(1998), 대구지역 지하수에 대한 지화학적 연구-GIS의 활용, 이학박사학위논문, 경북대학교 대학원.
7. 장기홍, 박순옥(1978), 경상분지의 중앙부의 구조발달사와 화산활동사, 자원환경지질학회지, Vol. 30, No. 2, pp. 143-151.
8. 하성호, 김경수, 김무한, 정지곤(1990), 콘크리트 골재용 각종 암석의 알카리-골재 반응에 대한 연구, 광물학회지. Vol. 3, pp. 18-33.
9. 한국자원연구소(1995), 골재자원부존조사(경상권 하천, 산림골재 및 경기만 남부지역 바다골재), 통상산업부, 2권, 736p.
10. KS총람 : KS F 2437 공명진동에 의한 콘크리트의 동탄성계수 및 동프와송비의 시험방법, 사단법인 한국공업 표준협회.
11. Allen. D. D. (1990), Cold-recycled bituminous concrete using bituminous materials, National cooperative highway practice, 160p.
12. Emery. J. J. (1993), Asphalt concrete recycling in Canada, TAC Annual conference Ottawa. Ontario.
13. G.C. Hoff(1995), Freezing and Thawing of Lightweight Concrete, Concrete Under Severe Condition, Vol. 1, pp. 129-138.
14. Hansen, W.C.(1968), ASTM Method Special Technical Publication, No. 169-A, pp. 486-496.
15. ISRM Commission on Testing Methods(1981), Rock Characterization Testing and Monitoring, T.Brown(ed.), Pergamon Press, 211p.
16. 姜 稔求 : 콘크리트 기술, 제 8편 콘크리트의 물리화학적 성질, 동결응해에 대한 저항성, pp. 295-300.