

## 도로노반 성토재로의 재활용을 위한 폐석회 혼합토의 특성연구

홍승서<sup>1</sup>, 김영석<sup>1\*</sup>, 이용수<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>한국건설기술연구원 지반연구실

### Characteristics of Waste Lime and Soil Mixture for Reusing of Roadbed Embanking Material

SeungSeo Hong<sup>1</sup>, YoungSeok Kim<sup>1\*</sup> and YongSoo Lee<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Geotechnical and Tunnelling Research Division, KICT

**요약** 국내의 폐석회는 약 320만 톤이 적치되어 있고 매년 약 10만 톤이 발생하고 있다. 본 연구에서는 도로노반 성토재로서의 재활용을 위한 폐석회 혼합토의 특성에 대하여 일련의 실험을 수행하였다. 시험에 사용한 폐석회는 인천의 모 화학공장에서 소다회(Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>)를 생산하는 공정에서 부수적으로 발생하는 부산물이다. 화강풍화토, 점토, 쇄석에 폐석회를 일정비율로 혼합한 폐석회 혼합토에 대하여 비중시험, 입도분석, Atterberg시험, 다짐시험, 일축압축시험, CBR, 투수시험, 전단시험, 마모시험, 및 모래당량시험을 실시하였다. 시험결과를 토대로 폐석회 혼합토는 폐석회를 20%정도 혼합하였을 때, 도로의 노반성토재의 품질기준을 만족하는 것으로 나타났다.

**Abstract** Currently about 3.2 million tons of waste lime are accumulated and annually 100,000 tons are produced. This study was carried out to investigate the characteristics of soil mixed with waste lime for reusing of roadbed embanking material. Waste lime used in this study is produced as a by-product in the manufacturing process of making Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> from local chemical factory in Incheon. In this study, the feasible reuse of waste lime mixed with granite weathered soil, clay, crushed rock was investigated through laboratory tests including specific gravity test, sieve analysis, hydrometer analysis, atterberg limit test, compaction test, unconfined compressive test, CBR test, permeability test, shear test, and abrasion test. The mixing rate is granite weathered soil, clay, crushed rock 80 % respectively and waste lime 20 % by weight. From the test results, it is shown that the waste lime and soil mixtures satisfy the criteria as road embanking material specification.

**Key Words** : Waste lime, Soil mixture, Roadbed, Embanking material

### 1. 서론

폐석회는 염화나트륨(NaCl) 중의 나트륨(Na)과 석회석(CaCO<sub>3</sub>) 중의 CO<sub>2</sub>를 반응시켜 소다회(Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>)를 제조하는 공정에서 발생한다. 염화나트륨을 물에 녹여 순수한 소금물로 정제하고 석회석을 소성하여 CaO와 CO<sub>2</sub>로 분리한 후, 각각 생성된 물질을 액상에서 반응시켜 제조한다. 이 때 발생하는 염안(NH<sub>4</sub>Cl)중 암모니아 회수를 위해 소성된 석회석(생석회)을 사용하여 분해중류 시 폐수가 발생되고, 이 폐수를 침전시키면 염안분해 시 과잉 공급

된 생석회와 미소성된 석회석, 석회석 중의 불순물 등 무기성 고형물이 폐석회로 발생된다. 폐석회가 발생하는 공정은 그림 1과 그림 2에 도시하였다.

본 연구에서 사용하고 있는 폐석회는 소다회의 생산과정에서 발생하는 무기성 슬러지이며, 주요성분은 약 70%의 칼슘화합물과 약 10%의 마그네슘화합물이 주성분으로 구성된다. 이러한 슬러지 형태의 폐액은 약 2.3%의 고형물 농도로 배출되며, 폐수처리의 편리를 위해 농축, 탈수하는 과정에서 케이크(cake)가 발생하는데 이를 총칭하여 폐석회라 한다. 폐석회는 소다회 생산 중 1,000 ℃

본 논문은 한국건설기술연구원 연구과제로 수행되었음.

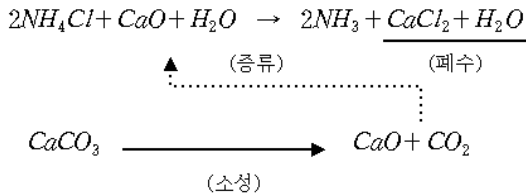
\*교신저자 : 김영석 (kimys@kict.re.kr)

접수일 10년 11월 16일

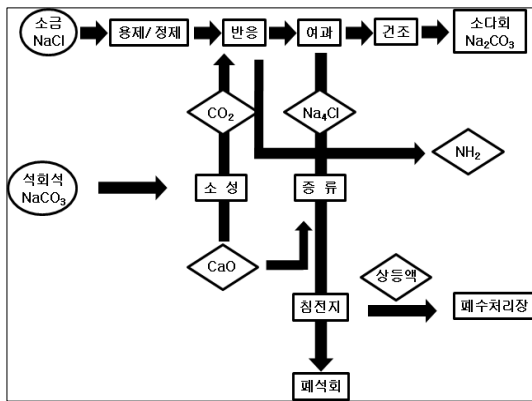
수정일 10년 11월 30일

게재확정일 10년 12월 17일

이상의 온도로 석회석이 가열되면서 폐석회의 화학구성 성분 함유율이 소다회와 미세한 차이를 보이고 있으나, 구성 화학성분은 동일한 것으로 보고 되었다[3].



[그림 1] 소다회 생성 원리[2]



[그림 2] 폐석회 발생 공정[2]

폐석회는 1997년 7월에 폐기물관리법시행규칙 제46조 제2호에 의거하여 공유수면매립지의 매립재와 폐기물매립시설의 복토재로 용도 지정된 바 있다. 이에 최근까지 폐석회를 재활용하기 위한 다각적인 연구를 수행하였다. 그 동안 학계와 전문기관의 연구결과에 의하면 폐석회는 연약지반 안정화 처리제, 폐기물매립시설의 차상재 및 복토재, 도로기층재 및 보조기층재, 토양의 형질 개선제, 해안매립 성토재 등으로 활용이 가능한 것으로 평가되었다. 프랑스, 일본, 미국 등의 선진외국에서는 폐석회를 내륙 및 해안지역의 도로 및 환경 분야에 다양하게 재활용하고 있다[4-12,14-18]. 그러나 아직까지 국내에서는 이의 재활용이 활성화되지 않은 상태이다. 만일 다량의 폐석회를 대규모 건설현장에 해안매립재, 도로성토재, 단지성토재 등으로 활용한다면 공사비용 절감, 산업부산물의 재활용 촉진, 매립난 해소 등 경제적 파급효과가 클 것으로 판단된다.

본 연구에서는 폐석회를 도로성토재로 활용하고자 폐석회와 일반토를 일정비율로 혼합하여 물리적 및 역학적 특성을 일련의 실내실험을 통해 규명하였다.

## 2. 시험개요

풍화토, 점토 및 쇄석에 폐석회를 일정비율로 혼합하여 도로노반재에 재활용할 수 있는 방안을 분석하여 보았다. 이를 위하여 다양한 실내시험을 실시하였다. 실내시험에서는 풍화토, 점토, 쇄석, 폐석회 및 이의 혼합토에 대하여 기본물성, 다짐, 강도 및 투수성능 등 여러 가지의 물리역학적 성질을 도출하였다. 기본물성 시험은 현장함수비시험(KS F 2306), 비중(KS F 2308), 입도분포(KS F 2302, 2309), Atterberg시험(KS F 2303), 마모감량시험(KSF 2508), 모래당량시험(KSF 2340)을 수행하였다. 또한 토질역학적 특성시험은 다짐시험(KS F 2312), 일축압축시험(KS F 2314), 실내 CBR시험(KS F 2320), 투수시험(KS F 2322), 직접전단시험(KS F 2343)을 수행하였다.

시험에 사용한 시료는 풍화토, 점토, 쇄석, 그리고 폐석회로 풍화토는 인천 송도신도시 인근 ○○야산에서 채취하였고, 점토는 영종도 인천공항 인근 해안가에서 2지점(점토A, 점토B)에서 채취하였다. 쇄석은 영종도 인천공항 인근 △△채석장에서 50 mm이하, 100 mm이하의 2종류로 채취하였다. 폐석회는 동양제철화학공업(주) 공장내의 야적장에서 채취하였다. 현장에서 채취한 폐석회의 자연함수비는 34.6 %로 실내시험에서는 이를 다시 60 ℃ 상태의 건조로 건조시킨 후 건조된 시료를 파쇄하여 분말상태로 재성형한 후 시험에 사용하였다. 본 연구에서 혼합토라는 용어는 풍화토+폐석회, 점토+폐석회, 쇄석+폐석회의 3가지를 나타내며, 혼합토의 비율은 폐기물관리법에서 규정한 부피비 혼합비율인 흙 8 : 폐석회 2로 하였다.

일축압축시험, 전단시험, 투수시험용 공시체는 KS F 2312(다짐시험)에서 도출한 수정다짐시의 최적함수비( $w_{opt}$ )상태에서 밀도는 최대건조단위중량( $\gamma_{dmax}$ )의 95 %로 제작하였다. 양생이 필요한 공시체는 상온상태와 초기함수비 상태를 유지할 수 있도록 항온항습기내에서 온도는 18~22 ℃, 습도는 60~75 %의 범위를 유지하였다.

## 3. 성토재 활용을 위한 실험결과 및 분석

### 3.1 기본물성

풍화토, 점토A, 점토B, 폐석회, 쇄석의 기본물성은 표 1과 같다.

[표 1] 대상 시료의 기본물성

구 분	폐석회	풍화토	점토A	점토B	쇄석(50mm)	쇄석(100mm)	
입도분포	4.76mm체 통과량(%)	100	57.03	100	100	28.85	18.18
	0.074mm체 통과량(%)	97.68	3.27	98.62	97.70	7.25	5.22
	균등계수(C <sub>u</sub> )	18.22	15.79	-	-	11.5	4.86
	곡률계수(C <sub>c</sub> )	1.25	0.53	-	-	1.96	1.68
연경도	액성한계(LL, %)	60.5	-	31.4	45.8	-	-
	소성한계(PL, %)	26.5	-	16.4	23.5	-	-
	소성지수(PI)	34.0	NP	15.0	22.5	-	-
흙분류	통일분류	CH	SP	CL	CL	GW	GW
비중	비중	2.16	2.65	2.72	2.71	2.85	2.89
함수비	자연함수비(%)	34.6	10.5	18.8	20.5	1.5	2.1

풍화토는 채취 당시 자연함수비는 10.5 %이었다. 이의 비중은 2.65, 균등계수(C<sub>u</sub>)와 곡률계수(C<sub>c</sub>)는 각각 15.79와 0.53이다. 통일분류법에 의한 입도는 SP(입도가 불량한 자갈과 모래의 혼합토)로 분류되며, 비소성(NP)인 사질토로 판명되었다. 점토A의 경우 균등계수와 곡률계수는 각각 2.15 및 0.62이고 실트질이 포함된 점토로 통일분류법상 CL(소성이 중간치 이하인 모래질 또는 실트질 점토)로 분류된다. 또한, 점토B의 경우 균등계수 및 곡률계수는 2.35와 0.78로 나타났으며 점토A와 같은 실트질 점토이고 통일분류법에 의한 흙의 분류는 CL이다. 점토 A와 점토B의 비중은 각각 2.72와 2.71이며 자연함수비는 각각 18.8 %와 20.5 %로 나타났다. 각각의 소성지수는 15.0 %와 22.0 %로 폐석회의 소성지수(PI=34 %)보다 낮게 나타났다. 폐석회의 경우 No.200체 통과율은 97.68 %이고, 비중은 2.16로 흙시료(풍화토: 2.65, 점토A: 2.72)보다 작게 나타났으며 소성지수(PI)는 34.0 %로 나타났다. 쇄석의 경우 50 mm이하의 쇄석과 100 mm이하의 쇄석은 균등계수와 곡률계수가 각각 1.96과 1.68이고 통일분류법상 양호한 골재(GW)로 분류된다. 또한 비중은 50 mm이하의 쇄석은 2.85, 100 mm이하의 쇄석은 2.89로 나타났다.

폐석회 혼합토의 기본특성은 표 2와 같다. 3종류의 폐석회 혼합토에서 i)풍화토+폐석회의 비중은 2.6, 균등계수는 6.74, 곡률계수는 1.27이며 소성지수는 5.1로 나타났으며, 통일분류법상 점토와 실트가 함유된 사질토(SC-SM)로 분류된다. ii)점토A+폐석회는 비중이 2.63,

소성지수는 21.2%이고 iii)점토B+폐석회는 비중이 2.65, 소성지수는 19.2%로 나타났다. 폐석회+점토 혼합토의 통일분류법에 의한 흙의 분류는 원시료와 동일한 CL로 나타났다. 폐석회+쇄석도 통일분류에서 원시료인 쇄석과 같은 GW로 나타났다.

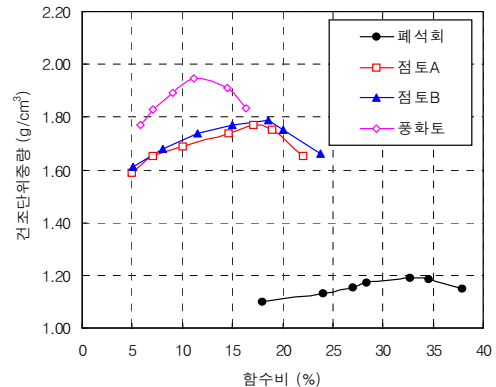
[표 2] 폐석회 혼합토의 기본물성

구 분	풍화토+폐석회	점토A+폐석회	점토B+폐석회	쇄석(50m m)+폐석회	쇄석(100m m)+폐석회	
입도분포	4.76mm체 통과량(%)	100	100	100	44.5	36.54
	0.074mm체 통과량(%)	23.2	98.12	97.74	22.1	24.5
	균등계수(C <sub>u</sub> )	6.79	3.72	3.94	10.35	8.52
	곡률계수(C <sub>c</sub> )	0.66	0.95	0.88	1.78	1.86
연경도	액성한계(LL, %)	24.4	33.5	47.9	-	-
	소성한계(PL, %)	19.3	12.3	28.7	-	-
	소성지수(PI)	5.1	21.2	19.2	-	-
흙분류	통일분류	SC-SM	CL	CL	GW	GW
비중	비중	2.66	2.63	2.65	-	-

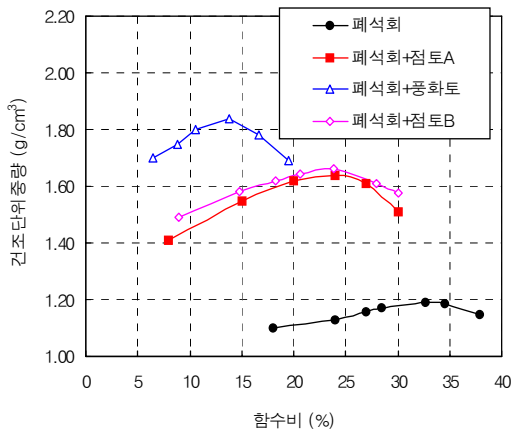
### 3.2 다짐특성

그림 3, 그림 4 및 표 3은 폐석회, 채취시료, 폐석회 혼합토의 다짐시험 결과를 나타낸 것이다.

시험결과 폐석회는 최대건조단위중량이 1.19 g/cm<sup>3</sup>, 최적함수비는 37.2 %로 나타났다. 풍화토는 최대건조단위중량이 1.94 g/cm<sup>3</sup>, 최적함수비는 11.1 %이다. 또한, 점토A는 최대건조단위중량이 1.77 g/cm<sup>3</sup>, 최적함수비는 17.1 %이고 점토B는 최대건조단위중량과 최적함수비가 각각 1.79 g/cm<sup>3</sup>와 18.6 %로 나타났다.



[그림 3] 대상시료에 대한 다짐곡선



[그림 4] 폐석회 혼합토의 다짐곡선

그림 4 및 표 3에서 풍화토+폐석회의 최대건조밀도와 최적함수비는 각각 1.84 g/cm³와 13.2 %로 측정되었다. 점토A+폐석회의 최대건조밀도는 1.64 g/cm³, 최적함수비는 22.8 %이다. 또한 점토B+폐석회는 최대건조밀도가 1.664 g/cm³이고 최적함수비는 22.9 %로 나타났다. 폐석회 혼합토의 경우, 흙시료에 폐석회가 혼합되므로써 최대건조밀도는 작아지고 최적함수비는 증가하여 원 시료에 비해 밀도는 작아지고 함수비는 증가하였다.

[표 3] 다짐시험 결과

구 분	폐석회	풍화토	점토A	점토B
최대건조밀도 ( $\gamma_{dmax}$ , g/cm³)	1.19	1.94	1.77	1.79
최적함수비(%)	32.7	11.1	17.1	18.6

구 분	풍화토+폐석회	점토A+폐석회	점토B+폐석회
최대건조밀도 ( $\gamma_{dmax}$ , g/cm³)	1.84	1.64	1.664
최적함수비(%)	13.2	22.8	22.9

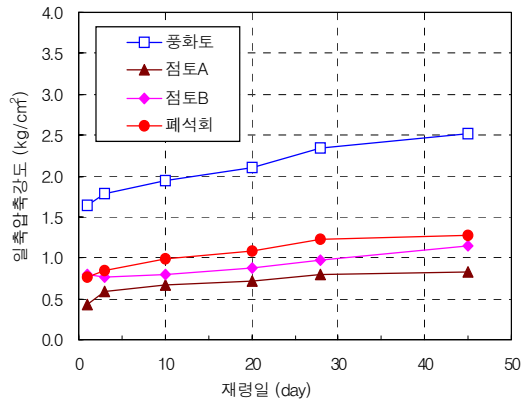
### 3.3 압축강도 특성

폐석회와 폐석회 혼합토의 일축압축시험 결과는 표 4에 정리하였다. 이를 토대로 폐석회 및 흙시료의 일축압축 강도곡선과 폐석회 혼합토에 대한 일축압축 강도곡선을 각각 그림 5와 그림 6에 도시하였다. 일축압축시험결과 폐석회를 혼합한 공시체의 일축압축강도는 양생기간에 따라 모두 증가하였다. 강도의 증가는 혼합된 폐석회의 석회성분에 의하여 포졸란 반응이 발생하였기 때문에 판단된다.

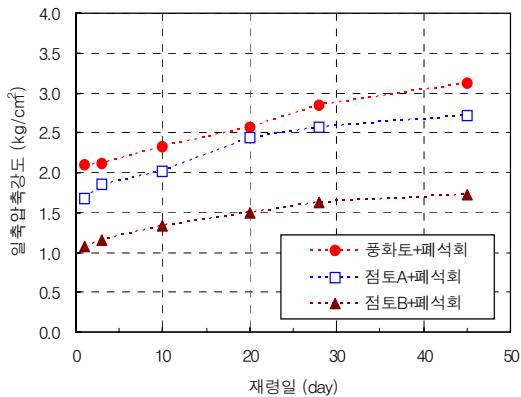
[표 4] 일축압축강도 결과

구 분	일축압축강도 (kg/cm²)					
	1	3	10	20	28	45
양생기간(일)						
폐석회	0.759	0.849	0.988	1.076	1.224	1.282
풍화토	1.646	1.779	1.946	2.105	2.349	2.511
점토A	0.427	0.583	0.673	0.721	0.794	0.824
점토B	0.801	0.765	0.799	0.877	0.976	1.146
풍화토+폐석회	2.093	2.113	2.328	2.562	2.846	3.115
점토A+폐석회	1.678	1.854	2.013	2.447	2.572	2.718
점토B+폐석회	1.078	1.148	1.335	1.501	1.628	1.726

흙시료 및 폐석회의 일축압축 실험결과를 살펴보면 그림 5에서 각 시료는 양생일에 따라 강도는 전반적으로 증가하는 경향을 나타냈다. 양생 45일에서 나타난 흙시료 및 폐석회의 일축압축강도는 0.824 ~ 2.511 kg/cm²의 범위를 보였다. 폐석회 혼합토의 일축압축 실험결과를 살펴보면 그림 6에서 풍화토와 점토A 및 점토B는 폐석회를 혼합하므로써 강도는 점진적으로 증가하였다. 표 4에서 풍화토+폐석회 혼합토는 양생 1일의 강도에 비해 양생 45일 후의 일축압축강도가 2.093 kg/cm²에서 3.115 kg/cm²으로 증가하였다. 점토A+폐석회 및 점토B+폐석회도 각각 1.678 kg/cm²에서 2.718 kg/cm²과 1.078 kg/cm²에서 1.726 kg/cm²로 증가하였다. 폐석회 혼합토 중 풍화토+폐석회의 일축압축강도는 3.115 kg/cm²으로 가장 크게 나타났고, 점토B+폐석회는 1.726 kg/cm²로 가장 작았다.



[그림 5] 폐석회 및 흙시료의 일축압축강도 변화



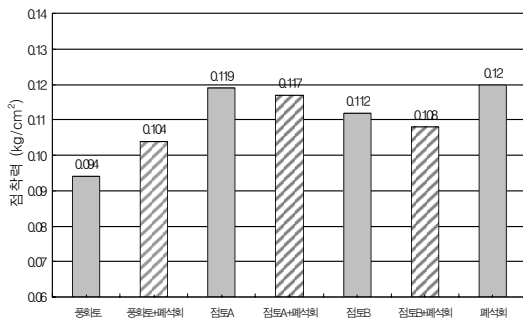
[그림 6] 폐석회 혼합토의 일축압축강도 변화

### 3.4 전단강도 특성

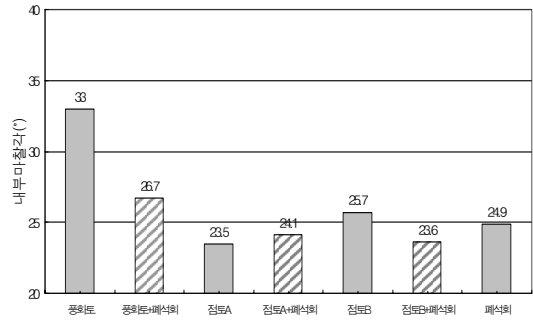
폐석회 혼합토의 직접전단시험결과는 표 5와 그림 7과 같다. 그림 7 (b)의 폐석회 혼합토에 대한 내부마찰각의 변화를 살펴보면, 풍화토+폐석회의 경우 폐석회의 혼합에 따라 내부마찰각은 33.0°에서 26.7°로 감소하였다. 또한 점토시료와 점토+폐석회 혼합토의 경우에는 내부마찰각이 23.6°~25.7°의 범위로 폐석회의 혼합에 크게 영향을 받지 않았다.

[표 5] 전단강도 결과

구분	점착력 (kg/cm²)	내부마찰각 (°)	함수비 (%)	
폐석회	0.120	24.9	34.9	
풍화토 계열	풍화토	0.094	33.0	10.2
	풍화토+폐석회	0.104	26.7	12.5
점토 계열	점토A	0.112	25.7	16.6
	점토A+폐석회	0.108	23.6	23.1
	점토B	0.119	23.5	17.1
	점토B+폐석회	0.117	24.1	21.6



(a) 종류에 따른 점착력 변화



(b) 종류에 따른 내부마찰각 변화

[그림 7] 직접전단시험 결과

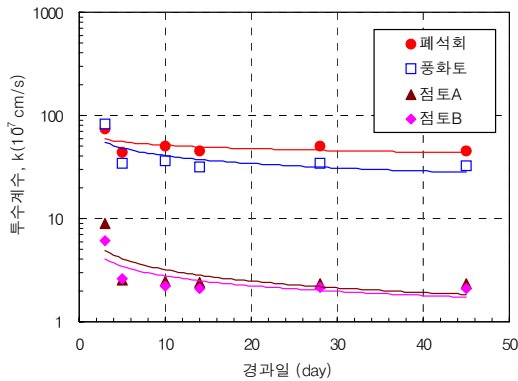
일반적으로 폐석회 혼합토의 강도개선효과는 일정기간이 지난 후에야 포졸란 반응과 경화반응 등이 반응하여 결정구조체인 네오리트(Neoliths)상태로 변화하지만, 본 실험결과에서 폐석회 혼합토는 원시료인 흙시료에 비해 내부마찰각이 비슷하거나 오히려 감소하였다. 이는 폐석회와 흙시료를 혼합한 후 일정기간 후 실험을 진행시키지 않고 시료성형 즉시 실험을 수행하였기 때문인 것으로 판단된다. 따라서 폐석회 혼합토를 이용하여 지반의 강도개선 효과는 일정기간이 경과하여야 발현된다는 것을 알 수 있었다.

### 3.5 투수 특성

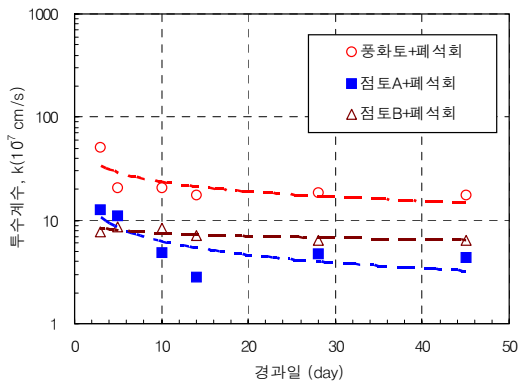
양생일에 따른 폐석회, 흙시료, 폐석회 혼합토의 투수계수의 변화는 표 6과 그림 8에 나타내었다. 폐석회의 투수계수는  $7.40 \times 10^{-6} \sim 4.52 \times 10^{-6}$  cm/sec로 측정되었다. 폐석회는 일반적인 점토의 입도를 나타내고 있으나 다짐밀도가 일반점토에 비해 낮기 때문에 투수계수가 입경이 비슷한 점토A나 점토B에 비해 크게 나타났다. 풍화토와 점토시료(점토A, 점토B)는 일반적인 화강토와 점성토의 투수계수 범주를 나타내었다.

[표 6] 투수시험 결과( $\times 10^{-7}$  cm/sec)

종류	양생일	1일	3일	7일	14일	28일	45일	평균
폐석회		74.0	43.6	50.8	44.8	50.1	45.2	51.4
풍화토		81.5	34.2	36.4	31.9	33.9	32.3	41.6
점토A		8.85	2.57	2.46	2.39	2.36	2.32	3.49
점토B		6.10	2.59	2.21	2.12	2.18	2.07	2.88
풍화토+폐석회		50.6	28.8	20.9	17.7	18.3	17.6	24.4
점토A+폐석회		12.7	11.1	4.82	2.85	4.77	4.35	6.76
점토B+폐석회		7.68	8.58	8.46	7.17	6.48	9.54	6.39



(a) 대상시료의 투수계수 변화곡선



(b) 폐석회 혼합토의 투수계수 변화곡선

[그림 8] 투수시험 결과

그림 8 (b)과 같이 폐석회 혼합토는 비혼합시료에 비해 투수계수의 저하가 발생하였는데 이러한 투수계수의 감소는 풍화토+폐석회는 2.1배, 점토A+폐석회는 1.9배, 점토B+폐석회는 1.2배 감소하였다. 이는 폐석회 혼합시 수화작용에 의한 포졸란 반응의 활성화에 의해서 입자끼리 치밀하게 밀착되어 투수계수의 감소가 발생한 것으로 판단되나, 투수계수의 감소효과는 폐석회의 친수성에 따른 부피팽창의 영향도 다소 기인한 것으로 추측된다 [13].

### 3.6 마모 특성

국토해양부 도로설계편람의 도로 보조기층재료의 품질기준에 의하면 마모감량은 50 %이하여야 한다[1]. 쇄석에 대한 마모시험 결과는 50 mm이하 쇄석은 35.6 %, 100 mm이하 쇄석은 43.5 %로 기준인 50 %이하로 나타났다. 따라서 쇄석의 마모감량은 보조기층재료로 양호한 것으로 판명되었다.

### 3.7 모래당량 특성

도로설계편람의 도로 동상방지층 및 보조기층재료의 품질기준에 의하면 모래당량은 25 % 이상이다[1]. 폐석회 및 쇄석+폐석회를 동상방지층 및 보조기층의 재료로 사용하기 위해서 품질기준인 모래당량을 만족하는지 알아보기 위하여 본 실험을 실시하였다. 모래당량시험은 KS F 2340에 의해 실시하였다. 표 7과 같이 쇄석 및 쇄석+폐석회의 모래당량은 모두 25 % 이상으로 나타나 보조기층의 기준인 25 % 이상을 만족하였다.

[표 7] 모래당량시험 결과

구 분	모래당량 (%)
쇄석 (50mm이하)	79
쇄석+폐석회 (50mm이하)	77
쇄석 (100mm이하)	89
쇄석+폐석회 (100mm이하)	73

### 3.8 CBR 특성

도로설계편람 및 도로공사시방서에서 성토재료에 대한 CBR 기준을 살펴보면(표 8 참조), 노체에 대한 CBR 규정은 없는 반면 노상에서는 시방다짐을 실시한 흙의 수정CBR을 10이상 요구하고 있고, 경제적 목적 등에 따라 감독관의 승인을 얻는다면 하부노상에는 수정 CBR이 5이상이면 사용이 가능하다.

[표 8] 도로성토재료의 CBR 기준[1]

기 준	노체	상부노상	하부노상	보조기층
CBR	-	10 이상	5 이상	30 이상

[표 9] CBR 시험결과

흙시료	풍화토	점토A	점토B	쇄석 (50mm)	쇄석 (100mm)	
CBR	CBR	31	9.7	13.2	112	118
	함수비 (%)	13.1	21.2	20.2	-	-
	$\gamma_d$ (g/cm <sup>3</sup> )	1.84	1.70	1.72	-	-
폐석회 혼합토 (부피비 8:2)	풍화토 + 폐석회	점토A + 폐석회	점토B + 폐석회	쇄석(50m m)+ 폐석회	쇄석(100m m)+폐석회	
	CBR	69	42	49	104	108
	함수비 (%)	13.8	28.1	23.7	-	-
	$\gamma_d$ (g/cm <sup>3</sup> )	1.81	1.58	1.61	-	-

\* 함수비 및 밀도는 수침 후 측정

CBR 특성 결과인 표 9의 결과에 따라 성토재료로서 사용가능성을 검토해 보면, 노체에는 특별한 규정이 없기 때문에 흙시료와의 혼합비가 20 %인 폐석회 혼합토는 사용할 수 있고, 노상에서는 감독관의 승인 하에 실시한 CBR 시험에서 도출된 값이 기준치를 넘어서면 사용이 가능할 것으로 판단된다.

따라서 CBR 시험결과 풍화토+폐석회, 점토A+폐석회, 점토B+폐석회, 쇄석+폐석회는 노상의 품질 기준인 10 % 이상을 만족하였으며 보조기층의 품질기준인 30 % 이상을 만족하였다.

## 6. 결론

본 연구에서는 폐석회, 흙시료(풍화토, 점토, 쇄석), 폐석회 혼합토(풍화토+폐석회, 점토+폐석회, 쇄석+폐석회, 부피비 8:2)에 대하여 물리적, 역학적, 도로공학적 특성을 고찰하여 폐석회 혼합토의 도로 성토재 및 노반재료로서의 재활용 가능성을 살펴보았다. 이에 대한 결론은 다음과 같다.

- (1) 일축압축강도 실험결과, 경우 폐석회 혼합토는 양생 1일의 강도에 비해 양생 45일 후의 일축압축강도가 2.093 kg/cm<sup>2</sup>에서 3.115 kg/cm<sup>2</sup>로 증가하였고 점토A+폐석회 혼합토는 1.678 kg/cm<sup>2</sup>에서 2.718 kg/cm<sup>2</sup>로 점토B+폐석회 혼합토는 1.078 kg/cm<sup>2</sup>에서 1.726 kg/cm<sup>2</sup>로 증가하였다. 풍화토 및 점토는 폐석회를 적당량 혼합함으로써 강도는 증가함으로 인해 폐석회를 혼합한 공시체의 강도는 양생기간이 지날수록 증가하였다.
- (2) 전단특성의 경우 폐석회 혼합토에 대한 내부마찰각의 변화를 살펴보면, 풍화토+폐석회의 경우, 폐석회의 혼합으로 내부마찰각은 33.0°에서 26.7°로 감소하였다. 또한 점토시료와 점토+폐석회 혼합토의 경우에는 내부마찰각이 23.6°~25.7°의 범위로 폐석회의 혼합에 크게 변화하지 않았다.
- (3) 폐석회 혼합토는 흙시료보다 투수계수가 작게 나타났으며 이러한 투수계수는 풍화토+폐석회 혼합토는 풍화토에 비해 2.1배, 점토A+폐석회 혼합토는 점토A보다 1.9배, 점토B+폐석회 혼합토는 점토 B보다 1.2배정도 감소하였다.
- (4) 마모 특성의 경우 쇄석 및 쇄석+폐석회는 50 mm 이하 쇄석의 마모감량은 35.6 %, 100 mm 이하 쇄석의 마모감량은 43.5 %로 품질기준인 50 %이하로 나타났다. 모래당량의 경우 쇄석+폐석회의 모

래당량은 50 mm이하 쇄석의 마모감량은 77 %, 100 mm이하 쇄석의 마모감량은 73 %로 도로의 보조기층의 품질기준인 25 %이상을 만족하였다.

- (5) CBR특성의 경우 풍화토+폐석회 혼합토, 점토A+폐석회 혼합토, 점토B+폐석회 혼합토, 쇄석+폐석회 혼합토는 노상의 품질 기준인 10 %이상을 만족하였고 보조기층의 품질기준인 30 %이상을 만족하였다.
- (6) 일련의 실내시험을 통해 폐석회를 폐기물관리법 제46호제2호에 의거하여 토사와 혼합비(부피비) 20 %로 혼합한 토사의 역학적 특성은 흙입자와 부산석회간의 화학반응(양이온교환, 면모화반응, 포졸란반응)으로 흙의 강도 및 내구성을 증진시킨다. 이러한 강도개선효과로 인해 폐석회 혼합토는 도로의 노반성토재료로 활용이 가능한 것으로 판단된다.

향후 폐석회 혼합토를 적용한 도로의 장기거동(내구성, 동상피해 등)에 관한 검토가 필요할 것이다.

## 참고문헌

- [1] 국토해양부, 도로설계편람 II 권 포장편, pp.702-1-55, 2000
- [2] 동양제철화학공업, 부산석회의 재활용 가치, 인천광역시 내부자료, 1996
- [3] 동양제철화학공업, 부산석회 소개, 정책토론회 제출자료, 1999
- [4] 시립인천대학교, 부산석회를 활용한 연약지반 안정처리 기술개발에 관한 연구, 1996
- [5] 시립인천대학교, 부산석회를 활용한 해안매립지 성토재 개발에 관한 연구, 1997
- [6] 시립인천대학교, 매립토/부산석회의 혼합토에 대한 성토매립재 활용 타당성 검토, 1999
- [7] 인하대학교, 폐석회를 이용한 매립성토재의 개발 및 사용에 따른 환경영향평가에 관한 연구, 2000
- [8] 한국과학기술원, 폐석회의 이용에 관한 연구 - 재활용가치 및 이화학적 특성, 식물영향적 평가, 연구보고서, 1996
- [9] 한국건설기술연구원, 부산석회의 재활용 방안에 관한 연구, 동양제철화학주식회사, 2003
- [10] 황성도, 윤안상, “부산석회를 재활용한 아스팔트 혼합물의 공용 물성 평가“, 한국건설기술연구원 건설기술정보 2003년 3월호, 2003

- [11] 홍지지질, 동양화학공업, 인천공장 부산석회 매립 지역 지하수 pH 조사 보고서, 1996
- [12] Arman, A. and Munfakh, G. A., "Lime Stabilization of Organic Soils", Highway Research Record, No.381, National Academy of Science, pp. 37-45, 1972
- [13] Bowders, J. J., Gidly, J. S. and Usmen, M. Z., "Permeability and Leachate Characteristics of Stabilized Class F Fly Ash", Transportation Research Record 1288, pp.70-77, 1990
- [14] Diamond, S. and Kinter E. B., "Mechanisms of Soil-Lime Stabilization, An Interpretive Review", Highway Research Record, 92, HRB. National Research Council, Washington D.C., 1965
- [15] Townsend, F. C., "Use of Lime in Levee Restoration", U.S Army Engineer, WES, 1979
- [16] Kamon, M., and Nontanannandh, S., "Combining Industrial Wastes with Lime for Soil Stabilization", J. Geotech. Engrg. Div., ASCE, 117(1), pp. 1-17, 1991
- [17] Pohland, F. G., "Sanitary Landfill Stabilization with Leachate Recycle and Residual Treatment", EPA Grant, No. R-801397, Georgia Institute of Technology, Atlanta, 1975
- [18] Transportation Research Record, "Design and Performance of Stabilized Bases, and Lime and Fly Ash Stabilization", No. 1440, 1994

---

**김 영 석(YoungSeok Kim)**

[정회원]



- 1999년 2월 : 영남대학교 토목공학과 (공학사)
- 2002년 3월 : Osaka University (공학석사)
- 2005년 3월 : Kyoto University (공학박사)
- 2005년 4월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 연구위원

<관심분야>  
토목공학, 지반공학

---

**이 용 수(YongSoo Lee)**

[정회원]



- 1990년 2월 : 인천대학교 토목공학과 (공학사)
- 1992년 2월 : 인천대학교 토목공학과 (공학석사)
- 2002년 8월 : 한양대학교 토목공학과 (공학박사)
- 1991년 7월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 연구위원

<관심분야>  
토목공학, 지반공학

---

**홍 승 서(SeungSeo Hong)**

[정회원]



- 1996년 2월 : 인천대학교 토목공학과 (공학사)
- 1999년 2월 : 인천대학교 토목공학과 (공학석사)
- 1999년 2월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 전임연구원

<관심분야>  
토목공학, 지반공학