

## 동적 콘관입시험기를 이용한 폐석회 혼합 도로노반 성토체의 현장 지지력 평가

김영석<sup>1</sup>, 홍승서<sup>1\*</sup>, 배규진<sup>1</sup>

<sup>1</sup>한국건설기술연구원 지반연구실

### Bearing Capacity of Pavement Foundation by Waste Lime Material using the Dynamic Cone Penetrometer

YoungSeok Kim<sup>1</sup>, SeungSeo Hong<sup>1\*</sup> and GyuJin Bae<sup>1</sup>

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

**요 약** 노상층의 지지력을 평가하는 일반적인 방법의 하나로 현장 CBR(California Bearing Ratio) 시험이 널리 이용되고 있다. 그러나 현장 CBR은 시간과 비용이 많이 소모되어 포장층의 강도특성을 단시간에 파악하기에는 어려운 단점이 있다. 최근에는 보다 신속하고 경제적인 방법으로 동적 콘관입시험(Dynamic Cone Penetrometer, DCP)이 많이 이용되고 있다. 본 논문에서는 폐석회를 혼합한 현장모형 노상토에 대하여 현장 CBR 시험과 DCP 시험을 수행하여 현장 지지력을 평가하였으며, 현장 CBR 값과 DCP 지수에 대한 상관관계를 분석하였다. 사용한 폐석회는 인천의 화학공장에서 소다회(Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>)를 생산하는 공정에서 부수적으로 발생하는 부산물이며, 현장시험에서는 현장함수비, 현장 밀도, 현장 CBR 시험, DCP 시험을 수행하였다. 시험결과로부터 폐석회 활용도로 노상층에 대한 DCP지수를 제안하였다.

**Abstract** In-situ California Bearing Ratio(CBR) test has been widely used for evaluating the subgrade condition in pavements. However, because the in-situ CBR test is expensive and takes time for operation, it is difficult to figure out the in-situ characteristics of subgrade strength in detail. For faster and economical operation, the Dynamic Cone Penetrometer(DCP) has been often utilized for estimating the subgrade strength in the field. The purpose of this paper is to determine the relationship between CBR value and DCP index of the embankment constructed with mixtures of soil and waste lime. 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 field measurement, the geotechnical tests such as field water content, field density, field CBR test, and dynamic cone penetration test were conducted.

**Key Words** : Waste lime, Subgrade, California Bearing Ratio(CBR), Dynamic Cone Penetrometer(DCP)

### 1. 서론

현재 도로 포장설계에서는 노상의 지지력을 주로 CBR(California Bearing Ratio, 이하 CBR) 값을 사용하여 결정하며, 시공 후에는 평판재하시험을 많이 사용하고 있다. 현장의 CBR 시험이나 평판재하시험의 경우에는 현장상태나 시험조건에 따라 결과값에 많은 영향을 미치며,

시험 준비에도 많은 인력과 시간 및 장비가 소요된다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 최근에는 동적 콘관입시험(Dynamic Cone Penetrometer, 이하 DCP)을 활용하고 있다. DCP 시험은 도로 노상의 강도를 평가하기 위한 방법으로 기존의 방법보다 상대적으로 저렴하고 이동성 편리해 그 사용이 증가하고 있는 추세이다.

본 논문에서는 폐석회를 혼합한 노상 성토체 조성 현

본 논문은 한국건설기술연구원 연구과제로 수행되었음.

\*교신저자 : 홍승서(sshong@kict.re.kr)

접수일 10년 11월 16일

수정일 10년 12월 13일

게재확정일 11년 02월 10일

장에서 노상의 지지력을 평가하는 방법인 현장 CBR 시험과 DCP 시험을 통해 폐석회를 혼합한 노상층의 강도 개선효과를 파악하고 아울러 두 시험결과의 상관관계를 분석하였다.

## 2. 폐석회 혼합토의 강도발현 효과

소다회(Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>)를 생산하는 과정에서 발생하는 폐석회는 석회석의 잔류물과 석회석 성분 중 SiO<sub>2</sub>, CaO, MgO 등이 함유된 폐액의 형태로 발생된다[2,3]. 폐석회는 폐기물관리법시행규칙 제46조제2호에 의거하여 공유수면매립지의 매립재와 폐기물매립시설의 복토재로 용도 지정된 바 있으며 현재까지 국내외적으로 재활용하기 위한 몇몇의 연구결과가 발표된 바 있다. 폐석회는 연약지반 안정화 처리재, 매립시설의 차수재, 도로성토재 등으로 활용이 가능한 것으로 평가되었다[4-13,16,20,21]. 폐석회를 일반 토사와 혼합하였을 경우 다음과 같은 양이온교환, 면모화반응, 경화반응, 포졸란반응이 발생하여 토성이 변화한다[15].

### 2.1 양이온교환

양이온교환은 흙과 석회를 혼합하였을 때 양생기간 초기에 발생하는 반응이며, 흙의 가소성(plasticity), 작업성(workability), 양생전의 강도, 변형 특성 등이 개선된다. 양이온교환은 석회의 Ca<sup>++</sup>(divalent calcium ion)와 흙의 H<sup>+</sup>(univalent hydrogen), Na<sup>+</sup>(univalent sodium)의 사이에서 이온 교환으로 발생한다. 양이온 교환은 균등한 농도 상태에서 Na<sup>+</sup>→K<sup>+</sup>→Ca<sup>++</sup>→Mg<sup>++</sup>의 순으로 증대되며, 일가이온은 다가이온으로 교환한다. 즉 석회는 흙 속에 풍부 한 Ca<sup>++</sup>를 공급하여 주고 그로 인해 양이온교환이 일어나는 것이다. 이러한 반응은 흙의 강도를 개선하고 가소성을 감소시켜 지반개량효과를 얻을 수 있다.

### 2.2 면모화반응

면모화반응은 실트질 흙이 붕괴하려는 특성을 강화시켜 준다. 즉, 붕괴성 흙에 석회를 6~9% 혼합하면 입자간의 전기적 반발력, 흙입자의 연단에 있는 양의 전기력으로 흙입자는 면모구조를 갖게 되어 단위입자들의 결합체를 형성하게 된다. 이에 따라 흙의 소성지수 감소, 다짐도의 향상이 발생하여 성토시공의 작업성을 증진시켜준다. 면모화 반응에 대하여 Herzog와 Mitchell(1963)은 석회혼합으로 인한 간극수 중의 전해질의 증가와 점토표면에서의 Ca<sup>++</sup>부착으로 유발되는 반응이라 주장하였고, Diamond

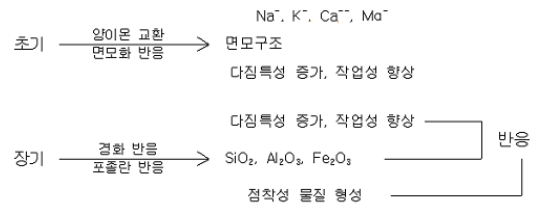
와 Kinter(1965)는 수화칼슘 알루미늄에이트의 급격한 형성 때문이라고 발표하였다[13,15].

### 2.3 경화반응

폐석회의 칼슘 실리케이트가 흙의 SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>와 반응하면 포틀랜드시멘트의 자연적인 경화반응에서 나타나는 것과 같이 매우 안정한 칼슘실리케이트와 알루미늄에이트가 생성된다. 이렇게 생성된 점착성 물질은 점토 표면에 침전되어 화학반응을 일으키게 되며 이러한 원리로 인해 토성을 개량할 수 있다[5].

### 2.4 포졸란반응

포졸란(Pozzolan)반응은 화산회, 화산암의 풍화물로 가용성 규산을 많이 포함하고 그 자신은 수경성은 없으나 물의 존재로 쉽게 석회와 화합하여 경화하는 성질을 갖는다. 따라서 일반 흙에 석회를 추가하여 반응시키므로서 안정된 지반을 구축할 수 있다. 이러한 반응은 토립자와 석회 사이에서 장기적으로 일어나는 포졸란반응으로 흙의 강도 및 내구성을 증가시킨다(그림 1 참조).



[그림 1] 폐석회와 흙입자 사이의 강도발현 모식도[15]

## 3. DCP를 이용한 현장 지지력 평가방법

### 3.1 CBR 값과 DCP 지수의 상관관계

최근 도로 현장의 노상강도를 평가하기 위하여 일반적으로 활용하고 있는 CBR, 평판재하시험과 함께 DCP가 활용되고 있다. DCP는 1956년 남아프리카에서 개발되었으며 노상층의 강도를 평가하기 위해 사용하였으며 주로 DCP를 활용한 노상층에서의 CBR 값을 추정하는 방법에 초점을 맞추었다. 기존 연구결과에서 CBR 값과 DCP 지수 간의 경험적인 상관관계 연구가 수행되어져 왔다. 이러한 연구를 살펴보면 Kleyn(1975), Harison(1989), Livneh 등(1993)이 있다[14,17,19]. 이런 연구들이 DCP 장비를 이용하여 도로 노상층에서의 CBR 값 추정하기 위해 이용되었다. Kleyn(1975)는 CBR - DCP의 상관관계를 제시하기 위하여 실내에서 모래, 점토 및 자갈에 대한

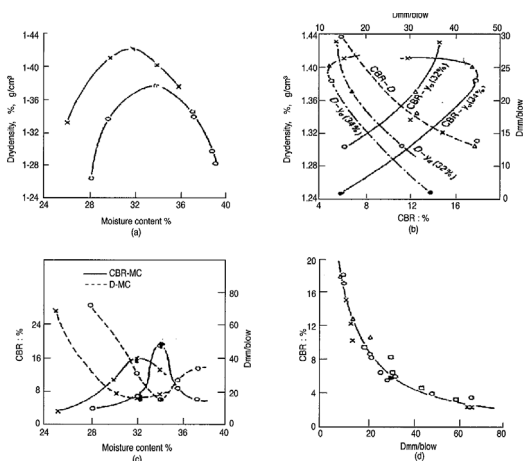
여 다양한 함수비 조건에 따라 DCP 시험을 수행하였다 [17]. 그 결과 DCP 지수는 토질의 함수량 변화에 따라 CBR 결과와 유사한 경향을 나타내는 것으로 판명되었다. Harison(1987)은 점토, 모래 및 자갈에 대하여 CBR 시험과 DCP 시험을 수행하여 두 결과의 상관관계식을 제안하였다[14]. Livneh 등(1993)은 2곳의 공항과 1곳의 도로에서 DCP 시험을 실시하였다[19]. 이 실험으로부터 DCP 시험결과에 대한 연직구속과 마찰의 복합적인 영향을 분석하였다. 그 결과 상재하중과 마찰의 복합적인 영향은 무시할 수 있음이 밝혀졌다. 표 1은 기존에 연구된 CBR 값과 DCP 지수의 상관관계를 나타낸 것이다.

[표 1] 기존에 연구된 DCP 지수와 CBR 값의 상관관계

연구자	상관식	연도
Kleyn	$\log(CBR) = 2.62 - 1.27\log(DCP)$	1975
Harison	$\log(CBR) = 2.55 - 1.14\log(DCP)$	1989
Livneh 등	$\log(CBR) = 2.45 - 1.12\log(DCP)$	1993

### 3.2 CBR과 DCP의 상관관계에 독립적인 변수

기존 연구에 의하면 CBR 값과 DCP 지수에는 연직구속력, 토질, 입자크기, 건조밀도, 함수비와 같은 인자들이 영향을 미친다. Harison(1989)은 함수비와 건조밀도는 CBR과 DCP 사이의 상관관계에 독립적임을 실험을 통해 조사하였다[14]. 시험 시 150 mm 몰드를 사용하여 다짐한 후 CBR 시험과 DCP 시험을 수행하였다. 그림 2에서 점토질 흙에 대해 함수비와 건조밀도의 변화에 따른 CBR 값과 DCP 지수를 도시하였다.



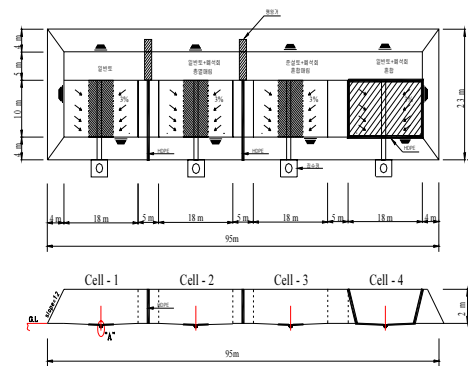
[그림 2] 무기질 실트에 대한 함수비, 건조밀도의 영향에 따른 DCP-CBR 상관관계[14]

그림 2(a)는 시험한 토질에 대한 다짐곡선을 나타낸 것이다. 그림 2(b)는 건조밀도에 따른 CBR-DCP 간의 변화양상을 도시한 그래프이다. 그림 2(c)는 함수비 변화에 따른 CBR 값과 DCP 지수의 변화양상을 도시하였는데 Kleyn(1975)의 결과와 유사하게 나타났다[17]. 그 결과 그림 2(d)와 같이 함수비나 건조밀도의 변화에 따른 CBR 값과 DCP 지수의 상관관계를 도출하였다. 이상과 같이 Harison(1989)은 함수비와 건조밀도는 상관관계 영향을 미치지 않는 독립적인 변수라 결론지었다[14].

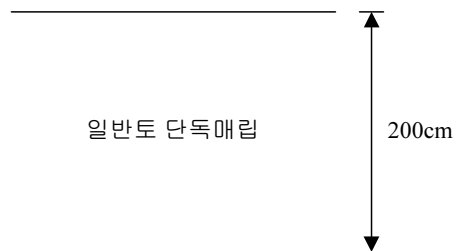
## 4. 현장 성토체 조성 및 현장시험

### 4.1 현장 시험구간

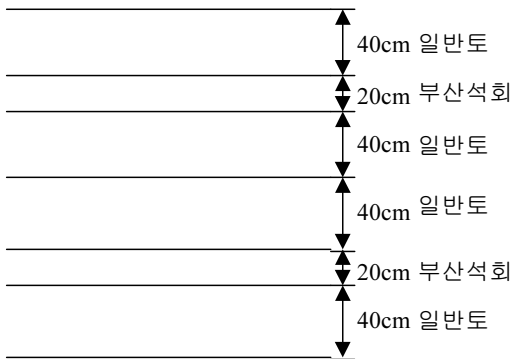
현장시험은 폐석회를 이용하여 2003년도에 조성된 시험성토체를 대상으로 실시하였다. 현장 성토체 시공 후, 약 48개월이 경과한 시점에서 현장시험을 실시하여 시간에 따른 폐석회 혼합층의 지반개량효과를 분석하여 보았다. 시험성토 시료는 송도 신도시 조성지역의 매립재인 준설토, 인천지역 부지내의 양질의 일반토사, 1년 이상 공기 중에서 적치된 폐석회를 사용하였으며, 그림 3과 같이 2.0 m 높이로 층별매립 및 혼합매립을 하였다.



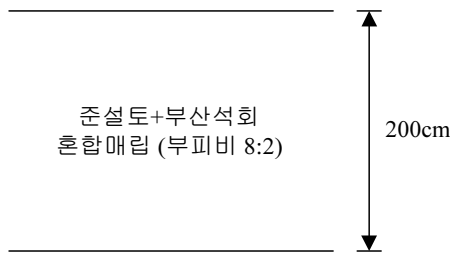
[그림 3] 시험시공 현장 평면도



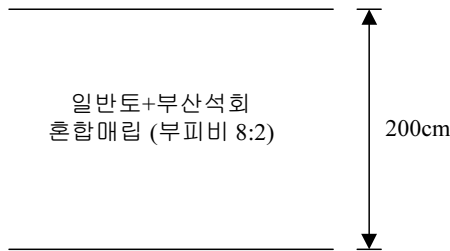
(a) 구간 1(cell-1) : 일반토 단독매립



(b) 구간 2(cell-2) : 일반토+폐석회의 부피비(8:2) 층별매립



(c) 구간 3(cell-3) : 준설토+폐석회의 부피비(8:2) 혼합매립



(d) 구간 4(cell-4) : 일반토+폐석회의 부피비(8:2) 혼합매립

[그림 4] 구간별 단면 구성

성토지반은 그림 3과 같이 일반토, 일반토+폐석회 층별매립, 준설토+폐석회 혼합매립 및 일반토+폐석회 혼합매립의 4개 구간으로 구분하였다. 시험시공 성토체의 규모는 폭 23.0 m, 넓이 95.0 m, 높이 2.0 m이고 이를 4개의 구간으로 나누어 각 시험 구간의 크기는 15×15×2 m이다. 각층의 두께는 노상, 노체의 기준에 의하여 20 cm ~ 40 cm 이다. 각 구간의 단면 구성은 그림 4와 같다. 본 현장은 해안을 매립한 지역으로 상부로부터 3.5 ~ 5.9 m 심도까지는 매립층이 있으며, 그 아래로는 점토층이 4.3 ~ 9.2 m 형성되어 있고, 그 이하는 풍화잔류토, 연암의 순서로 구성되어 있다. 지하수위는 1.0 ~ 2.0 m 내외에

존재한다[7].

#### 4.2 현장시험

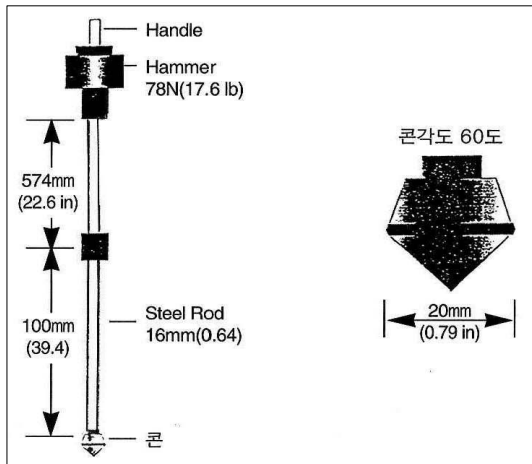
본 성토체 구간에 대하여 함수비, 들밀도시험, 현장 CBR, DCP 시험을 수행하였다. 구간별 시험횟수는 현장 여건에 따라 함수비 1~3회, 들밀도시험 1~3회, 현장 CBR 3~5회, DCP 3~5회를 1세트로 실시하여 구간(총 4구간) 별로 5세트를 실시하였다. 현장 시험값 중 적합하지 못한 자료들은 제외시키고 재시험을 수행하였다. 또한 각 측정 지점별로 평균값을 도출하였다. 각 구간별 시험횟수는 표 2에 정리하였다. 현장에서 수행한 각 시험들에 대한 수행 방법은 다음과 같다. 현장 함수비는 TDR(Time Domain Reflectometry)를 이용하여 측정하였다. TDR은 검침기(probe)를 현장 지반에 삽입한 후, 전자파를 발생시켜 흡입자의 유전율(전기장이 가해졌을 때, 물질이 전하를 축적할 수 있는 정도를 표현한 양)과 공극에서의 유전율의 비인 유전상수(Dielectric Constant)를 측정하여 현장 지반의 함수비(체적함수비,  $\omega_v$ )를 도출하였다. 현장 들밀도시험은 대상지반의 흙을 파내어 구멍을 파낸 후, 그 흙과 표준사를 구멍 속에 넣어 치환하는 방법으로 시험구멍의 체적을 구하고, 함수비를 구하여 건조밀도를 구하였다.

[표 2] 현장시험 구간별 실시 횟수

구간	지점	시험횟수(set)			
		함수비	현장들밀도	CBR	DCP
cell-1	c-1-1	3	3	5	5
	c-1-2	3	3	3	3
	c-1-3	3	3	5	5
	c-1-4	3	3	3	3
	c-1-5	3	3	4	4
cell-2	c-2-1	2	3	3	3
	c-2-2	1	3	3	3
	c-2-3	1	3	4	4
	c-2-4	1	3	3	3
	c-2-5	1	3	4	4
cell-3	c-3-1	2	2	3	3
	c-3-2	2	2	4	4
	c-3-3	3	3	4	4
	c-3-4	1	1	3	3
	c-3-5	1	3	3	3
cell-4	c-4-1	1	2	3	3
	c-4-2	1	1	4	4
	c-4-3	1	2	3	3
	c-4-4	2	2	3	3
	c-4-5	1	1	3	3

현장 CBR 시험은 현장 CBR 시험기를 설치할 수 있는

트럭에 하중을 싣고 실험을 실시하며, 시험하려는 깊이까지 굴착 후 시험 위치의 표면을 지름 30 cm의 수평한 면으로 다듬질한다. 평평하게 다듬질 할 수 없는 곳에는 건조모래를 얇게 깔아 고르고 평평한 면으로 다듬질한다. 관입피스톤주위에 설계하중에 상당하는 하중판(5 kg)을 재하한 후, 관입은 실내 CBR에 준하여 1.0 mm/min의 속도로 관입하였다.



[그림 5] DCP 시험장치



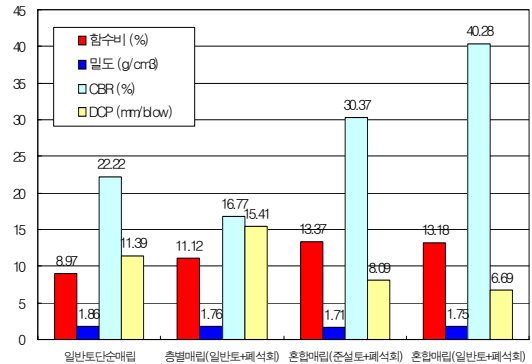
[사진 1] DCP 시험 모습

본 연구에서 사용한 DCP 장치는 그림 5와 사진1의 형태로 직경 16 mm의 강봉과 해머(무게 8 kg) 및 콘(직경 20 mm, 내각 60°)으로 구성되어 있고, 슬라이딩 해머의 자유낙하(낙하고 575 mm)에 의해 충격이 가해질 때, 지중에 관입된 깊이(mm), 관입지수(mm/blow)-해머 1회 타격당 관입깊이-를 기록하며, 장비의 총무게는 12 kg이다. 지중으로 관입되는 아래부분 강봉에는 5 mm마다 눈금이 새겨져 있으며, 해머를 제외한 부분은 부식방지를 위하여 스테인레스 스틸로 제작되었다.

## 5. 시험결과 및 분석

### 5.1 현장시험 결과

각 구간별 현장시험 결과는 표 3에 정리하였다. 또한 각 시험구간에 대한 시험결과와 평균값은 그림 6에 도시하였다. 시험현장의 물성치를 살펴보면 현장에서 측정된 함수비는 8.2~14.5 %의 범위로 일반적인 자연 상태의 함수비를 나타냈다. 또한 현장밀도는 1.67~1.93 g/cm<sup>3</sup>로 다짐상태는 양호하였으며, 일반토 단순매립이 층별매립 및 혼합매립한 구간보다 다소 높게 나타났다. 그림 6에서 현장 CBR 값을 살펴보면 모든 구간에서 도로설계편람[1]에서 제시한 포장 노상층 기준인 10보다 높게 나타나 현장의 다짐상태는 양호한 것으로 나타났다. 구간에 따른 CBR 값은 일반토 단순매립구간은 22.22 %이며, 층별매립은 16.77 %로 다소 작게 나타났다. 반면 폐석회 혼합매립구간은 단순 매립구간보다 준설토+폐석회 매립구간(30.37 %)은 1.37배, 일반토+폐석회 매립구간(40.28 %)은 1.81배로 증가하였다.



[그림 6] 시험항목별 현장시험결과(평균값)

동적 콘관입시험의 DCP 지수를 살펴보면 일반토 단순매립구간은 11.39 mm/blow, 층별매립구간은 15.41 mm/blow, 준설토+폐석회 매립구간은 8.09 mm/blow, 일반토+폐석회 매립구간은 6.69 mm/blow로 현장 CBR 값과 유사한 강도효과를 보였다. 폐석회와 흙입자 사이에서 발생하는 강도발현 효과(2장 참조)로 폐석회와 혼합한 매립구간에서는 일반토 단순 매립구간보다 지지력은 증가하였으나, 폐석회와 일반토를 층별로 매립한 구간은 다소 작게 나타났다. 이는 현장 시공시 층별매립으로 인해 폐석회 흙과의 혼합이 낮아지는 효과로 충분한 강도발현이 발생되지 않는 것으로 판단된다.

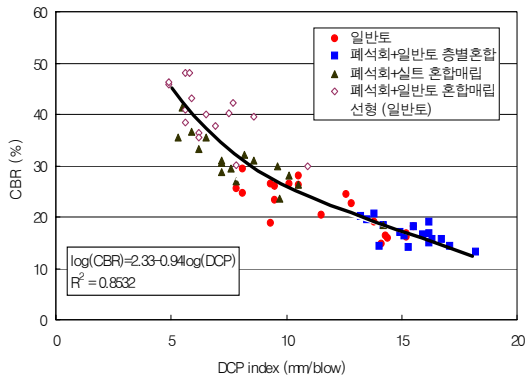
[표 3] 현장실험 결과

구간	지점	시험 항목	1	2	3	4	5	평균
cell-1	c-1-1	함수비	10.1	9.8	10.2	-	-	10.03
		들밀도	1.93	1.91	1.86	-	-	1.90
		CBR	26.5	26.1	24.8	26.6	28.2	26.44
		DCP	9.3	9.5	8.1	10.1	10.5	9.50
		합수비	9.5	8.6	9.2	-	-	9.10
	c-1-2	들밀도	1.84	1.88	1.83	-	-	1.85
		CBR	29.5	25.6	23.4	-	-	26.17
		DCP	8.1	7.8	9.5	-	-	8.47
		합수비	9.3	9.8	8.2	-	-	9.10
	c-1-3	들밀도	1.93	1.91	1.86	-	-	1.90
		CBR	16.5	16.1	14.8	22.7	18.2	17.66
		DCP	14.3	15.2	14.1	12.8	15.5	14.38
		합수비	7.9	8.5	9.6	-	-	8.67
	c-1-4	들밀도	1.79	1.81	1.82	-	-	1.81
		CBR	20.5	18.9	24.5	-	-	21.30
		DCP	11.5	9.3	12.6	-	-	11.13
		합수비	7.1	7.2	9.6	-	-	7.97
	c-1-5	들밀도	1.75	1.83	1.88	-	-	1.82
		CBR	16.8	19.2	15.9	26.2	-	19.53
		DCP	15.2	13.8	14.4	10.5	-	13.48
합수비		9.4	11.8	-	-	-	10.60	
cell-2	c-2-1	들밀도	1.73	1.81	1.85	-	-	1.80
		CBR	18.5	15.7	19.5	-	-	17.90
		DCP	14.2	16.3	13.5	-	-	14.67
		합수비	11.2	-	-	-	-	11.20
	c-2-2	들밀도	1.81	1.76	1.69	-	-	1.75
		CBR	16.5	14.4	20.2	-	-	17.03
		DCP	15.1	14	13.2	-	-	14.10
		합수비	12.3	-	-	-	-	12.30
	c-2-3	들밀도	1.77	1.81	1.82	-	-	1.80
		CBR	16.6	18.2	17.1	20.6	-	18.13
		DCP	15.9	15.5	14.9	13.8	-	15.03
		합수비	12	-	-	-	-	12.00
	c-2-4	들밀도	1.79	1.68	1.72	-	-	1.73
		CBR	15.1	13.3	14.4	-	-	14.27
		DCP	16.2	18.2	17.1	-	-	17.17
		합수비	9.5	-	-	-	-	9.50
	c-2-5	들밀도	1.71	1.75	1.73	-	-	1.73
		CBR	15.8	14.1	16.9	19.2	-	16.50
		DCP	16.7	15.3	16.2	16.2	-	16.10

구간	지점	시험 항목	1	2	3	4	5	평균
cell-3	c-3-1	함수비	13.3	14.5	-	-	-	13.90
		들밀도	1.71	1.67	-	-	-	1.69
		CBR	28.8	26.9	31.1	-	-	28.93
		DCP	7.2	7.8	7.2	-	-	7.40
	c-3-2	함수비	12.2	13	-	-	-	12.60
		들밀도	1.68	1.71	-	-	-	1.70
		CBR	32.2	35.5	41.3	36.7	-	36.43
		DCP	8.2	6.5	5.5	5.9	-	6.53
	c-3-3	함수비	13.2	14.2	14.8	-	-	14.07
		들밀도	1.81	1.76	1.75	-	-	1.77
		CBR	23.6	26.4	28.2	30.6	-	27.20
		DCP	9.7	10.5	10.1	7.2	-	9.38
	c-3-4	함수비	15	-	-	-	-	15.00
		들밀도	1.69	-	-	-	-	1.69
		CBR	33.3	35.5	29.5	-	-	32.77
		DCP	6.2	5.3	7.6	-	-	6.37
	c-3-5	함수비	11.3	-	-	-	-	11.30
		들밀도	1.72	1.69	1.72	-	-	1.71
		CBR	29.9	18.5	31.1	-	-	26.50
		DCP	9.6	14.2	8.6	-	-	10.80
cell-4	c-4-1	함수비	12.2	-	-	-	-	12.20
		들밀도	1.73	1.75	-	-	-	1.74
		CBR	38.5	36.3	45.9	-	-	40.23
		DCP	5.6	6.2	4.9	-	-	5.57
	c-4-2	함수비	13.6	-	-	-	-	13.60
		들밀도	1.75	-	-	-	-	1.75
		CBR	40.1	40.9	35.6	37.8	-	38.60
		DCP	6.5	5.6	6.2	6.9	-	6.30
	c-4-3	함수비	13.8	-	-	-	-	13.80
		들밀도	1.77	1.69	-	-	-	1.73
		CBR	29.9	30.2	48.2	-	-	36.10
		DCP	10.9	7.8	5.6	-	-	8.10
	c-4-4	함수비	14.1	12.8	-	-	-	13.45
		들밀도	1.77	1.78	-	-	-	1.78
		CBR	39.5	43.1	46.2	-	-	42.93
		DCP	8.6	5.9	4.9	-	-	6.47
	c-4-5	함수비	13.5	12.2	-	-	-	12.85
		들밀도	1.75	1.73	-	-	-	1.74
		CBR	40.2	42.2	48.2	-	-	43.53
		DCP	7.5	7.7	5.8	-	-	7.00

### 5.2 CBR - DCP 상관관계 분석

기존 문헌조사에서 DCP 시험과 현장 CBR 시험은 각각 함수비, 지반밀도, 토질종류, 토질입도에 의존하는 것으로 나타났으나 함수비와 밀도의 경우 CBR 값과 DCP 지수와의 상관관계에서는 아무런 영향을 미치지 않는 독립변수임이 판명되었다. 이는 함수비 및 지반밀도가 증가 또는 감소함에 따라 CBR 값과 DCP 지수가 동시에 같은 경향을 보이며 증가하거나 감소하기 때문이다. 그림 7은 현장시험 결과를 바탕으로 현장 CBR 값과 DCP 지수의 상관관계를 도시한 그래프이다. 각 구간에 따라 측정되는 분포는 지지력의 차이에 따라 다르게 분포되었고 양질의 다짐작업으로 인해 상관성은 좋게 나타났다( $R^2=0.8532$ ).



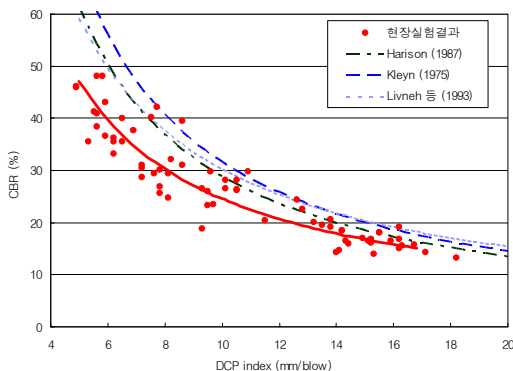
[그림 7] 현장 CBR 값과 DCP 지수 상관곡선

식 1은 본 연구에서 제시한 현장 CBR 값과 DCP 지수의 상관관계를 나타낸 것이다.

$$\log(CBR) = 2.33 - 0.94\log(DCP) \quad (1)$$

여기서, CBR: 현장 CBR 값 (%)

DCP: DCP 지수 (mm/blow)



[그림 8] 기존식과의 비교

그림 8은 기존에 제시된 외국의 상관관계(표 1 참조)와 본 연구에서 도출한 결과를 비교한 것으로 기존식과는 거의 유사하거나 다소 작게 나타났다.

Klimochko(1991)에 의하면 CBR 시험은 탄성범위 내에서 지반의 강도특성을 측정하는 반면, 동적 콘관입시험은 재료의 파괴에 기인한 것이므로 이러한 방식으로 인하여 두 시험 간의 상관관계에 영향을 미친다고 하였다 [18]. 따라서 폐석회 혼합토의 강도발현효과(양이온교환, 면화반응, 경화반응, 포졸란반응)로 폐석회 혼합토는 고화된 상태로 변모했으며 탄성범위 내에서 지반의 강도특성을 측정하는 CBR 값의 강도증진 효과보다 재료의 파괴에 기인하는 DCP 시험의 강도증진 효과가 CBR 보다 약간 작게 나타난 것으로 판단된다. 이에 두 시험 결과 간의 상관관계에 기존식보다 약간 적게 나타났다.

## 6. 결론

본 논문에서는 폐석회를 혼합한 현장모형 노상토에 대하여 현장 CBR 시험과 DCP 시험을 수행하여, 현장 지지력을 평가하였으며, 현장 CBR 값과 DCP 지수에 대한 상관관계를 분석하였다. 주요 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 폐석회 혼합토를 활용한 시험 성토체에서 도출한 현장 CBR 값과 DCP 지수 간의 상관관계는 다음과 같다.

$$\log(CBR) = 2.33 - 0.94\log(DCP)$$

- (2) 현장 CBR 값은 모든 구간에서 도로설계편람에서 제시한 포장 노상층 기준을 만족하였다. 구간에 따른 CBR 값을 비교하면 일반토 단순매립구간에 비해 증별매립층은 작게 나타났으나, 폐석회 혼합 매립구간인 준설토+폐석회 매립구간과 일반토+폐석회 매립구간은 단순매립구간에 비해 각각 1.37배와 1.81배 증가하였다. DCP 지수도 현장 CBR 값과 유사한 강도경향을 나타냈다.

- (3) 현장시험에서 도출한 결과와 기존의 연구에서 도출한 CBR-DCP 관계를 비교해 보면 기존식과는 유사하거나 약간 작게 나타났다.



## 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, pp.5-15, 1997.
- [6] 시립인천대학교, 매립토/부산석회의 혼합토에 대한 성토매립재 활용 타당성 검토, pp.11-13, 1999.
- [7] 인하대학교, 폐석회를 이용한 매립성토재의 개발 및 사용에 따른 환경영향평가에 관한 연구, 2000.
- [8] 한국과학기술원, 폐석회의 이용에 관한 연구 - 재활용가치 및 이화학적 특성, 식물영양적 평가, 연구보고서, pp.5-32, 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 매립지역 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] 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.
- [14] Harison, J. A., " In-situ CBR determination by DCP testing using a laboratory based correlation" , Australian Road Research. vol.19, no.4, DEC. pp.313-317, 1989.
- [15] Herzog, A. and Mitchell, J. K., "Reaction Accompanying Stabilization of Clay with Cement", Highway Research Record, 36, HRB. National Research Council, Washington D.C., 1963.
- [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] Kleyn, E. G., " The Use of the Dynamic Cone Penetrometer(DCP)" , Report 2/74. Transvaal Roads Department, 1975.
- [18] Klimochko, D., " The Application of the Dynamic Cone Penetrometer Test in Determining In-Situ Subgrade CBR" , Paper presented at the 44th Annual Conference Western Assoc. of Canadian Highway Officials, Saskatoon, Saskatchewan, April, 1991.
- [19] Livneh, M., Ishal, and Livneh, N., " Effect of Vertical Confinement on Dynamic Cone Penetrometer Strength values in Pavement and Subgrade Evaluation s" , Transportation Research Record 1473, Highway Research Board. National Reserach Council, Washington D.C., 1993.
- [20] Pohland, F. G., "Sanitary Landfill Stabilization with Leachate Recycle and Residual Treatment", EPA Grant, No. R-801397, Georigia Institute of Technology, Atlanta, 1975.
- [21] Townsend, F. C., "Use of Lime in Levee Restoration", U.S Army Engineer, WES, 1979.

### 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

### 홍 승 서(SeungSeo Hong)

[정회원]



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

<관심분야>

토목공학, 지반공학



배 규 진(GyuJin Bae)

[정회원]



- 1980년 2월 : 경북대학교 농공학과 (학사)
- 1982년 2월 : 연세대학교 토목공학과 (공학석사)
- 1990년 2월 : 연세대학교 토목공학과 (공학박사)
- 1984년 4월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 선임연구위원

<관심분야>

토목공학, 지반공학