

## 영남지역 국도에 사용된 흙의 CBR 특성에 관한 연구

박영목\* · 이고현\*\* · 김낙석\*\*\* · 조규태\*\*\*\*

Park, Yeong-Mog\*, Lee, Go-Hyeun\*\*, Kim, Nak-Seok\*\*\*, Cho, Gyu-Tae\*\*\*\*

### A Study on CBR Characteristics of National Highway in Yeongnam Region

#### ABSTRACT

This study has been carried out to evaluate the CBR characteristics and the correlations among every soil properties of National road in Yeongnam region. Total of 480 soil samples were collected from 41 administrative districts for more than 30 years. Their physical and mechanical properties such as natural water content, the Atterberg limit, No. 200 sieve passing, the compaction test and the CBR test results were involved. The soils in Yeongnam region, SM, SC, SP and CL by USCS have predominated approximately 79%. The test results show that average CBR values of gravel and sand range from 12.7% to 20.3% and those of silt and clay range from 4.8% to 7.1%. It means that average CBR values of fine grained soils are less than a half of coarse grained one. Natural water content, No. 200 sieve passing, optimum moisture content and maximum dry density of soils are well correlated with CBR values. Especially, it presents that No. 200 sieve passing is the best correlation factor with CBR value. If consider the partition off this region into 6 zones of classified by mother rock, the correlation between CBR value and every soil properties tends to increase. It is suggested that tables, figures and the regressions described in this paper may be available for designers and engineers to understand the characteristics of an embankment materials in Yeongnam region.

**Key words :** CBR, Natural water content, No. 200 seive passing, Optimum moisture content, Maximum dry density, Yeongnam region

#### 초 록

국토교통부 부산지방국토관리청에서 영남지역의 국도건설을 위해 수행된 약 30년간의 총 480개 시험데이터를 이용하여 지역별 및 모암 특성별로 나누어 흙쌓기재료의 기초적인 토질정수의 통계치를 나타내고 각 토질정수간의 상관성을 분석하였다. 특히 CBR값과 흙의 토질특성간의 상관관계를 분석하였다. 영남지역의 흙 시료는 SM이 163개로 약 34%를 점하며, SC, CL 및 SP를 합하면 4종의 흙이 전체 시료의 약 79%에 해당한다. 영남지역의 조립토의 평균 CBR값은 12.7~20.3%의 범위를 나타내며, 세립토는 평균 CBR값이 4.8%~7.1%의 범위를 나타내며 조립토에 비해 약 절반 이하였다. 자연함수비, No.200체 통과율, 최적함수비 및 최대건조밀도 등이 CBR값과 좋은 상관관계를 나타내며, No.200체 통과율이 가장 높은 상관성을 가짐을 알았다. 또한 영남지역을 모암의 특성에 따라 행정구역을 6 zone으로 구분하여 각각의 상관성을 검토한 결과, 상관성이 증가됨을 알았다. 향후 기술자가 본 연구결과를 활용하면 영남지역의 행정구역별, 모암특성별 및 토질분류별 개략적 토질특성 파악과 각 토질정수간의 상관성을 파악하는데 도움이 될 것으로 판단된다.

**검색어 :** CBR, 자연함수비, No. 200체 통과율, 최적함수비, 최대건조밀도, 영남지역

\* 중신회원 · 영남대학교 건설시스템공학과 교수 (Yeungnam University · ympark@ynu.ac.kr)

\*\* 국토교통부 부산지방국토관리청 과장 (Busan Regional Office of Construction Management · lgh1010@naver.com)

\*\*\* 중신회원 · 경기대학교 토목공학과 교수 (Kyeonggi University · nskim1@kyonggi.ac.kr)

\*\*\*\* 정회원 · 교신저자 · 영남대학교 건설시스템공학과 교수 (Corresponding Author · Yeungnam University · gtcho@ynu.ac.kr)

Received December 16, 2015/ revised January 9, 2016/ accepted April 7, 2016

### 1. 서론

산업발전에 기인하여 지난 30여 년 간 국토교통부 부산지방국토관리청에서 발주하여 영남지역에 많은 국도건설이 이루어져 왔다. 일반적으로 국도의 건설을 위한 기본 및 실시설계에서 도로의 포장 두께 결정을 위하여 대표적인 흙쌓기재에 대하여 KSF 2320에 규정된 CBR (California Bearing Ratio)시험을 실시한다. 설계 CBR치는 4일간 수침을 시킨 3개의 공시체를 이용하여 수정 CBR을 구하고 평균 CBR, 최대치, 최소치 및 시료 수에 대한 신뢰도를 고려하여 설계 CBR 계산용 계수인  $d_2$ 를 이용하여 구해야 하는 다소간의 복잡한 과정을 거친다. 다짐도를 대상으로 얻어지는 설계 CBR치는 사용 흙쌓기재의 특성이 유사할 경우에는 큰 차이가 없을 것으로 판단되므로 설계 전에 인접지역의 토질특성과 CBR치를 검토함으로써 개략적인 값을 파악할 수 있어 토질시험비의 절감 및 토질정수의 신뢰성을 제고할 수 있을 것으로 판단된다. 국내에서 Park and Kim (2003)은 영동지역의 건설공사에서 105개의 현장시료를 대상으로 흙의 특성과 CBR과의 상관성에 관한 실험적 연구를 수행하였으며, Son and Kwon (1996)은 농촌도로를 대상으로 노상토의 재료공학적 특성과 CBR값의 관계분석을 실시한 사례가 있다. Min et al. (2002)은 동상방지층을 포함한 노상층의 평균 CBR산정을 시도한 바 있다. 또한 Kang et al. (2008)은 소형 FWD를 이용한 노상토의 동적변형계수와 현장 CBR의 상관 연구를 실시하여 높은 상관성을 나타낸다고 주장하는 등 CBR과 관련하여 다양한 연구가 수행되었으나 현재까지 모암의 종류, 토질 분류 및 지역별 특성에 따른 CBR치의 변화특성을 규명한 연구는 미미한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 영남지역에 분포하는 국도건설에 활용된 흙쌓기재에 대해 실시설계에 적용된 480개의 시험데이터를 이용하여 상호 관련성이 있을 것으로 예상되는 자연함수비( $w_n$ ), No. 200체 통과율, 최적함수비( $w_{o.m.c}$ ), 최대건조밀도( $\gamma_{dmax}$ ), 군지수 (GI) 및 CBR값 등을 서로 대응시켜 파악하고 상관성이 인정되면 단위회귀분석을 하였으며 흙의 물리, 역학적 성질들 상호 간의 관계를 회귀관계식으로 제시하였다. 또한, 대상 지역 흙쌓기재의 간단한 기초시험으로 최적함수비( $w_{o.m.c}$ ), 최대건조밀도( $\gamma_{dmax}$ ) 및 CBR값 등을 예측할 수 있도록 Database화하여 건설기술자에게 토질특성을 파악함에 있어서 편리함을 제공하고자 한다. 아울러 모암의 종류, 토질분류 및 지역별로 CBR값의 차이를 평가함과 동시에 이 지역의 흙쌓기 재료에 대한 토질정수를 개략적으로 제시하여 기존시설물의 합리적인 유지관리와 향후 축조될 도로와 철도 등에 관계되는 기술자에게 참고자료로 활용하게 하는데 그 목적이 있다.

### 2. 연구적용 토질데이터의 특성

#### 2.1 기초적인 특성

본 연구는 영남지역의 국도건설에 적용된 흙 시료를 기초로 하여 경상남도와 경상북도로 구분하고, 이를 다시 각각 시와 군으로

Table 1. Number of Data at Each Administrative District

District		Nos. of data	District		Nos. of data
Geoje-si (GN)	GJ-1	9	Gyeongsan-si (GB)	GS	4
Geochang-gun (GN)	GC	4	Gyeongju-si (GB)	GJ	50
Goseong-gun (GN)	GS-1	3	Goryeong-gun (GB)	GR	14
Gimhae-si (GN)	GH	3	Gumi-si (GB)	GM	9
Namhae-gun (GN)	NH	15	Gunwi-gun (GB)	GW	7
Masan-si (GN)	MS	2	Daegu (GB)	DG	3
Miryang-si (GN)	MY	20	Mungyeong-si (GB)	MG	19
Busan (GN)	BS	13	Bonghwa-gun (GB)	BH	7
Sacheon-si (GN)	SC	13	Sangju-si (GB)	SJ	20
Sancheong-gun (GN)	SC-1	16	Seongju-gun (GB)	SJ-1	6
Yangsan-si (GN)	YS-1	13	Andong-si (GB)	AD	12
Ulsan (GN)	US	18	Yeongdeok-gun (GB)	YD	13
Uiryeong-gun (GN)	UR	9	Yeongyang-gun (GB)	YY	3
Jinju-si (GN)	JJ	9	Yeongju-si (GB)	YJ	22
Jinhae-gun (GN)	JH	8	Yeongcheon-si (GB)	YC	22
Changnyeong-gun (GN)	CN	10	Yecheon-gun (GB)	YC-1	17
Hadong-gun (GN)	HD	7	Ulsan-gun (GB)	UJ	15
Hamyang-gun (GN)	HY	6	Uiseong-gun (GB)	US	14
Hapcheon-gun (GN)	HC	9	Cheongdo-gun (GB)	CD	6
			Cheongsong-gun (GB)	CS	2
			Chilgok-gun (GB)	CG	11
			Pohang-si (GB)	PH	17
Subtotal		187	Subtotal		293
Total					480

GN : Gyeongnam, GB : Gyeongbuk

Table 2. Engineering Properties of Total Samples

Nos. of data	Gs	w <sub>n</sub> (%)	Consistency (%)			#200 passing (%)	Compaction test		CBR (%)	GI
			LL	PL	PI		O.M.C (%)	γ <sub>dmax</sub> (g/cm <sup>3</sup> )		
GN : (187)	2.413~2.836 (2.656) [0.064]	1.9~40.9 (18.1) [8.4]	0.0~50.4 (31.7) [10.2]	0.0~38.6 (20.0) [7.1]	2.9~23.8 (12.4) [5.0] NP = 109ea	0.1~98.4 (39.6) [24.8]	5.3~30.9 (15.1) [4.5]	1.41~2.23 (1.83) [0.17]	5.0~24.0 (12.2) [4.9]	0~25 (2) [5.1]
GB : (293)	2.048~2.806 (2.657) [0.072]	2.6~42.4 (12.9) [6.4]	0.0~69.0 (29.2) [11.0]	0.0~47.3 (18.2) [7.5]	1.5~32.5 (11.7) [5.7] NP = 137ea	0.4~93.0 (29.8) [21.0]	6.0~34.4 (12.2) [3.8]	1.32~2.18 (1.92) [0.14]	5~25.0 (13.7) [4.8]	0~25 (1) [3.6]
Total : 480	() : Ave. value [ ] : Standard deviation									

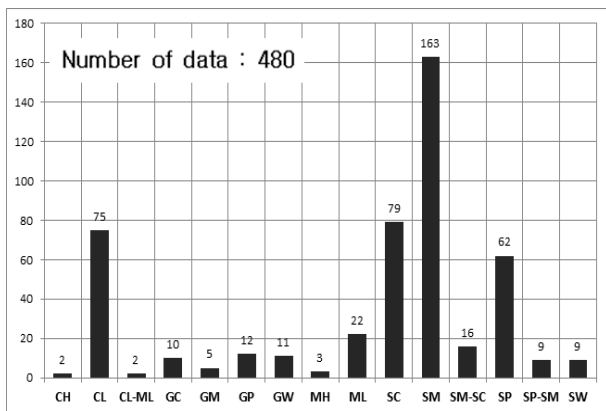


Fig. 1. Data Numbers by USCS in Yeongnam Region

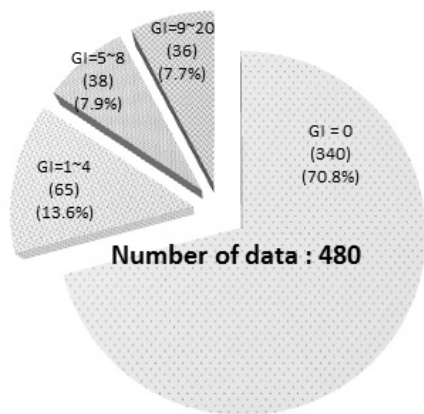


Fig. 2. Group Index (GI) Distribution of Samples in Yeongnam Region

분류하여 토질특성을 파악하였으며, 통일분류(USCS)에 의해 기초적인 특성을 평가하였다. 적용된 시료는 부산광역시와 울산광역시를 포함한 경상남도의 18개의 시와 군에서 187개의 시험 데이터를 얻었으며, 대구광역시를 포함한 경상북도의 22개의 시와 군에서 293개의 시험 자료를 얻을 수 있었다. 경남의 마산과 진해는 현재의

행정구역인 창원에 포함시켰으며 경북의 영일군의 데이터는 포함 시에 포함시켰다. 이들의 데이터 수는 총 480개로 영남지역에서 지역별로 골고루 선정하였기 때문에 영남지역의 흙쌓기재의 특성을 개략적으로 파악하기 위한 자료로 활용하기에는 충분하다고 판단된다. Table 1에는 전체 480개 시료의 행정구역별 채취 시료의 수를 나타낸다. 행정구역별로 데이터의 수에는 차이가 나타나 영남지역의 전체행정구역에 걸쳐 데이터가 존재하고 있음을 알 수 있다. Table 2에는 전체 시료의 기초적인 토질정수를 평균값과 표준편차와 함께 나타낸다. 경남지역과 경북지역의 자연함수비(w<sub>n</sub>)의 평균값은 각각 18.1%, 12.9%를 나타내며, 소성지수(I<sub>p</sub>)의 평균값도 각각 12.4%, 11.7%를 나타내었다. CBR값의 평균도 각각 12.2%와 19.7%를 나타내어 유사한 특성을 가진다. Fig. 1에는 통일분류법(USCS)상 분류된 흙의 종류별 시험데이터의 수를 나타낸다. SM (실트질 모래)이 163개로 약 34%를 점유하며, SC (점토질 모래), CL (저소성 점토) 및 SP (입도 불량한 모래)가 각각 79개, 75개, 62개를 나타내어 4종의 흙이 전체의 약 79%를 점하고 있다. Fig. 2에는 AASHTO토질분류법에 의한 군지수(group index, GI)별 데이터수를 나타낸다. GI=0인 데이터가 총 340개로 약 71%를 차지하는 반면에 노상토로서의 등급이 가 또는 불가에 속하는 GI=9~20의 데이터도 36개로 약 8%임을 알 수 있다.

Table 3에는 총 데이터의 통일분류된 흙 별로 자연함수비의 통계자료를 나타낸다. 자갈(G)로 분류된 GW, GP, GM 및 GC의 경우는 평균자연함수비(w<sub>n</sub>)의 범위가 7.0~12.1%를 나타내며, 모래(S)로 분류된 흙은 7.7~15.6%를 나타내어 자갈보다 약간 높은 자연함수비를 보이고 있다. 그러나 자갈과 모래의 경우는 지하수위가 낮으며 고지대에 분포한 흙은 최소함수비가 1.9~6.3%의 값을 나타내고 있다. 실트(M)와 점토(C)의 경우는 평균함수비가 20.8~32.8%로 상대적으로 높은 함수비를 나타낸다. Table 4에는 각 흙 종류별로 통계처리 된 최적함수비(w<sub>o.m.c</sub>)의 값을 나타낸다. 최적함수비는 자갈과 모래의 경우 각각 평균값이 8.9~12.4%, 9.8~14.1%를 나타

Table 3. Natural Water Content ( $w_n$ ) of Samples by Statistical Analysis

USCS	Nos. of data	Min. value	Max. value	Ave.	Standard deviation	
G	GW	11	2.1	12.5	7	2.88
	GP	12	2.6	15.7	7.3	3.78
	GM	5	5.6	12.5	8.3	3.67
	GC	10	5.7	19	12.1	3.98
S	SW	9	2.5	18.2	8.5	4.93
	SP	62	3.5	15.3	9.5	3.04
	SM	163	2	24.5	13.2	4.78
	SC	79	1.9	32	15.6	5.63
	SP-SM	9	3	12.7	7.7	3.16
	SM-SC	16	6.3	18.8	12.4	4.02
M	ML	22	14.3	33.8	23.3	6.07
	MH	3	23.8	42.1	32.8	9.15
C	CL	75	9	42.4	24.4	8.36
	CH	2	21.5	22.6	22.1	0.78
	CL-ML	2	14.5	27	20.8	8.84
Total	480					

Table 4. Optimum Moisture Content ( $w_{o.m.c}$ ) of Samples by Statistical Analysis

USCS	Nos. of data	Min. value	Max. value	Ave.	Standard deviation	
G	GW	11	6.1	11.3	8.9	1.62
	GP	12	7.2	14.5	9.7	1.91
	GM	5	9.7	9.9	9.9	0.09
	GC	10	7.6	15.2	12.4	2.61
S	SW	9	8.2	16.8	11	2.88
	SP	62	6.4	13.8	9.8	1.83
	SM	163	7.7	21.5	12.5	3
	SC	79	5.3	25.2	14.1	3.64
	SP-SM	9	7.9	13	9.7	1.63
	SM-SC	16	8.5	16.5	11.3	2.29
M	ML	22	14	30.9	18.2	4.05
	MH	3	25	34.4	28.5	5.16
C	CL	75	10.3	29	17.8	3.58
	CH	2	18.1	28	23.1	7
	CL-ML	2	10.8	20.5	15.7	6.87
Total	480					

내고 실트와 점토의 경우도 평균값이 15.7~28.5%를 나타내어 모든 흙의 최적함수비는 자연함수비와 유사한 값을 가지는 것을 알 수 있다. Table 5에는 영남지역 국도에 사용된 흙의 통계처리

Table 5. Maximum Dry Density ( $\gamma_{dmax}$ ) of Samples by Statistical Analysis

USCS	Nos. of data	Min. value	Max. value	Ave.	Standard deviation	
G	GW	11	19.17	21.73	20.2	0.82
	GP	12	17.36	21.84	20.09	1.05
	GM	5	19.75	20.52	20.23	0.4
	GC	10	18.05	21.01	19	1.03
S	SW	9	17.15	20.64	19.28	1.14
	SP	62	17.44	21.28	19.38	0.81
	SM	163	15.47	21.56	18.79	1.11
	SC	79	15.19	21.73	18.4	1.31
	SP-SM	9	17.98	20.44	19.62	0.93
	SM-SC	16	17.25	20.5	18.86	1.03
M	ML	22	14.2	18.07	16.66	1.1
	MH	3	12.97	13.77	13.41	0.41
C	CL	75	13.84	19.8	16.84	1.29
	CH	2	13.92	16.48	15.2	1.82
	CL-ML	2	16.17	19.3	17.73	2.21
Total	480					

된 최대건조밀도( $\gamma_{dmax}$ )를 나타낸다. 자갈과 모래의 경우는 평균치가 각각 19.00~20.23 kN/m<sup>3</sup>, 18.40~19.62 kN/m<sup>3</sup>의 값을 나타내며, 실트와 점토는 13.41~17.73kN/m<sup>3</sup>의 값을 가지는 것을 알 수 있다. Tables 3~5에서 알 수 있듯이 동일 종류의 흙에 대해서도 입도분포와 모암의 특성 및 현장여건 등에 따라서 지반정수의 값이 크게 상이한 상태를 나타내고 있다.

## 2.2 토질정수간의 상관성

프로젝트수행을 위한 시료 채취에서 각 시료의 자연함수비는 간편하고 정확하게 구할 수 있는 특징이 있다. Figs. 3 and 4에는 영남지역 국도에 흙쌓기제로 적용된 시료들의 자연함수비와 최적함수비( $w_{o.m.c}$ ) 및 최대건조밀도( $\gamma_{dmax}$ )와의 상관성을 각각 나타낸다. 또한 평균값을 기준으로  $\pm 20\%$ 의 범위를 병행하여 나타낸다. 각각의 상관성은 그림에서 알 수 있듯이  $R^2 = 0.63, 0.60$ 을 나타내어 참고자료로 활용이 가능한 것으로 판단된다. 자연함수비가 약 23% 이상의 상대적으로 높은 세립토 시료는 분산이 크고 그 상관성이 다소 결여되어 있음이 주목된다. 이는 지형여건에 따른 간극수의 포함 및 배제특성과 연관성이 있는 것으로 판단된다.

No. 200체 통과율은 조립토와 세립토를 구분하는 기준이 되며, 세립자의 분포비율을 나타내는 것으로 실내다짐시험으로 얻어진 최적함수비( $w_{o.m.c}$ )와 최대건조밀도( $\gamma_{dmax}$ )와의 상관성을 구할 수 있다. Figs. 5 and 6에는 No. 200체 통과율과 최적함수비( $w_{o.m.c}$ )

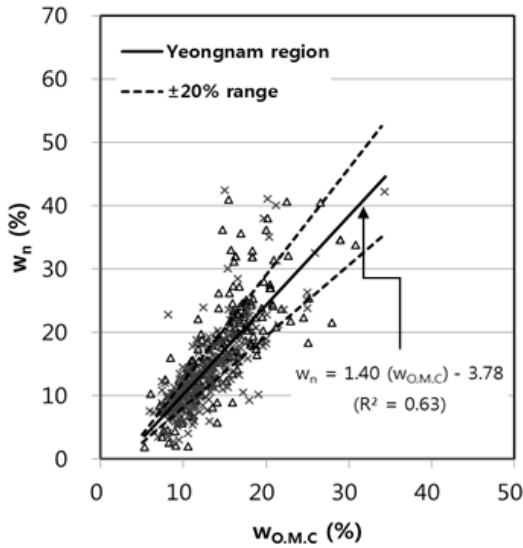


Fig. 3. Relationship between  $w_n$  and  $w_{o.m.c}$

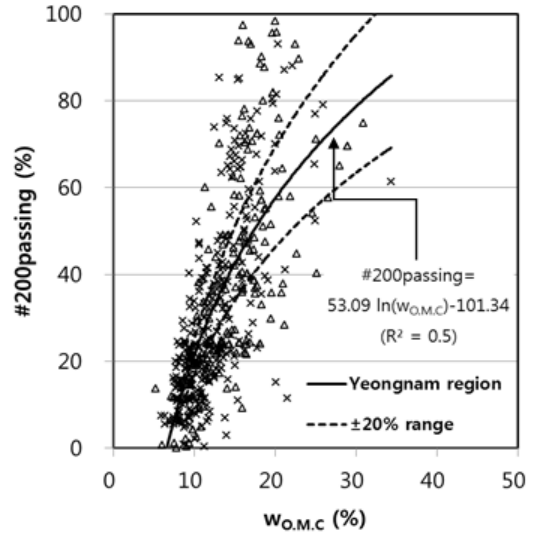


Fig. 5. Relationship between #200 Sieve Passing and  $w_{o.m.c}$

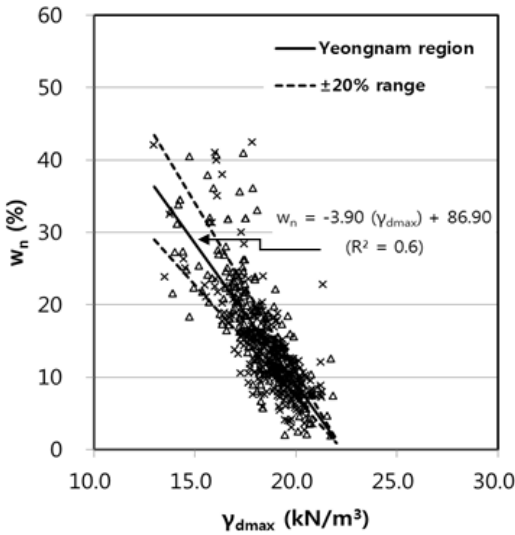


Fig. 4. Relationship between  $w_n$  and  $\gamma_{dmax}$

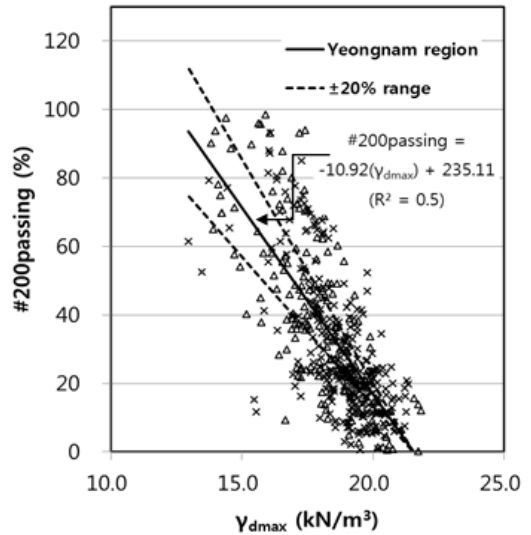


Fig. 6. Relationship between #200 Sieve Passing and  $\gamma_{dmax}$

및 최대건조밀도( $\gamma_{dmax}$ )와의 상관성을 각각 나타낸다. 그 상관성은 그림에서 알 수 있듯이 모두  $R^2=0.50$ 이다. No. 200체 통과율이 증가할수록 최적함수비( $w_{o.m.c}$ )가 뚜렷이 증가하고 최대건조밀도( $\gamma_{dmax}$ )는 크게 감소하는 경향을 보이고 있다. Johnson and Sallberg (1960)는 사질토의 건조단위중량-함수비 곡선에 의하여 최적함수비( $w_{o.m.c}$ )의 크기에 따라 흙의 조립도, 세립도 여부를 대략적으로 판단할 수 있다고 하였다. 그 이유는 조립도에 비해 세립도는 간극율이 크고, 간극율이 크면 다짐 에너지에 의한 토립자 간의 상호 활동을 돕는 간극수량이 증가하기 때문인 것으로 판단된다. 따라서, 대상 지역의 흙이 세립자가 많이 포함될수록 최적함수비( $w_{o.m.c}$ )는

증가한다는 일반적인 개념과 잘 일치하고 있다. Table 6에는 토질을 자갈(G), 모래(S), 실트(M) 및 점토(C)로 분류하여 자연함수비, No. 200체 통과율, 최적함수비 및 최대건조단위중량 간의 상관관계를 파악하기 위해 보편적으로 사용되는 Pearson (1896)의 상관분석을 실시하였다. 그 결과에 의하면 자갈(G) 및 모래(S)의 경우 자연함수비, No. 200체 통과율, 최적함수비 및 최대건조단위중량이  $r$ (상관계수) $= \pm 0.535 \sim 0.904$ ,  $q$ (유의확률) $= 0.000 \sim 0.002$ 로 뚜렷한 상관관계를 가지는 것으로 나타났다. 그러나 Table에서 알 수 있듯이 실트(M) 및 점토(C)의 경우 토질정수 상호 간에 일부의 상관계수가 다소 낮게 나타났다. 이는 본 연구에 적용된 데이터가 약 30년간

Table 6. Correlations Among #200 Sieve Passing,  $w_{O.M.C}$ ,  $V_{dmax}$ ,  $w_n$  Optimum Moisture nt of All Classified Samples by USCS

Soil classification	Nos. of data	Correlation	a	b	c	d
Gravel (G)	38	a	1			
		b	0.569*	1		
		c	0.548*	0.571*	1	
		d	-0.519*	-0.578*	-0.897*	1
Sand (S)	338	a	1			
		b	0.535*	1		
		c	0.792*	0.579*	1	
		d	-0.739*	-0.551*	-0.904*	1
Silt (M)	23	a	1			
		b	-0.125	1		
		c	0.739*	0.116	1	
		d	-0.611*	-0.090	-0.930*	1
Clay (C)	81	a	1			
		b	0.463*	1		
		c	0.384*	0.159	1	
		d	-0.447*	-0.425*	-0.783*	1

P\* < 0.01, a=#200passing(%), b= $w_{O.M.C}$ (%), c= $V_{dmax}$ (kN/m<sup>3</sup>), d= $w_n$ (%)

장기적인 국도건설에 적용된 자료로 다양한 회사에서 많은 시험자들에 의해 얻어진 결과이므로 시험자의 개인특성에 따른 오차, 시험조건 및 방법의 다소 상이함 등에 기인된 결과라고 판단된다.

### 3. CBR관련 특성

#### 3.1 영남지역 전체 상관성

Table 7에는 영남지역 국도에 사용된 480개 흙 시료의 통계처리된 CBR값을 나타낸다. 자갈과 모래의 평균 CBR값은 각각 16.6~20.3%, 12.7~16.9%의 범위를 나타내며, 자갈이 모래에 비해 평균 약 4% 큰 값을 나타냄을 알 수 있다. 세립토인 실트와 점토의 경우는 평균 CBR값이 4.8~7.1%의 범위를 나타내며 조립토에 비해 약 절반 이하의 값을 나타내고 있다. 그러나 일반적으로 노체재료의 CBR값은 2.5이상을 기준으로 하고 있는데 영남지역 국도건설의 흙쌓기재로 사용한 모든 시료의 CBR값이 2.5이상을 나타내어 흙쌓기재로서의 사용성에는 큰 문제가 없었던 것으로 판단된다. Fig. 7에는 No. 200번체 통과율과 CBR값 간의 상관성을 나타내며  $R^2=0.60$ 의 상관성을 보인다. 이는 No. 200체 통과율이 CBR값에 영향을 미치는 요인 중의 하나라고 판단할 수 있으며, 세립자가 많이 포함될수록 CBR값이 감소함을 알 수 있다.

Figs. 8 and 9에는 실내다짐시험에서 얻은 최적함수비와 최대건조밀도에 대한 CBR값의 상관성을 나타내며, 양자 모두  $R^2=0.54$ 의 상관성을 보인다. 다짐특성인 최적함수비와 최대건조밀도에 대해

Table 7. CBR Value of Samples by Statistical Analysis

USCS	Nos. of data	Min. value	Max. value	Ave.	Standard deviation	
G	GW	11	15	24	20.3	2.74
	GP	12	10	22	17.8	3.69
	GM	5	17	22	20.0	2.12
	GC	10	12	20.4	16.6	2.91
S	SW	9	13	23	16.1	2.9
	SP	62	9.5	23	16.3	3.38
	SM	163	6	25	14.2	4.05
	SC	79	5.5	22	12.7	4.1
	SP-SM	9	7	21	16.9	4.93
	SM-SC	16	6	21	14.5	3.84
M	ML	22	4.2	9	6.45	1.63
	MH	3	4.3	8	6.43	1.91
C	CL	75	1.7	11	7.09	2.12
	CH	2	3	6.6	4.8	2.55
	CL-ML	2	5	8	6.5	2.12
Total	480					

CBR값이 동일한 상관성을 나타내는 것이 주목된다. 최적함수비 ( $w_{o.m.c}$ )의 값이 낮을수록, 최대건조단위중량이 클수록 CBR값이 증가하는 경향을 보이고 있다. 이 결과는 Gibbs and Holtz (1957)가 연구한 상대밀도와 표준관입시험치(N)의 관계에서 상대밀도가 증

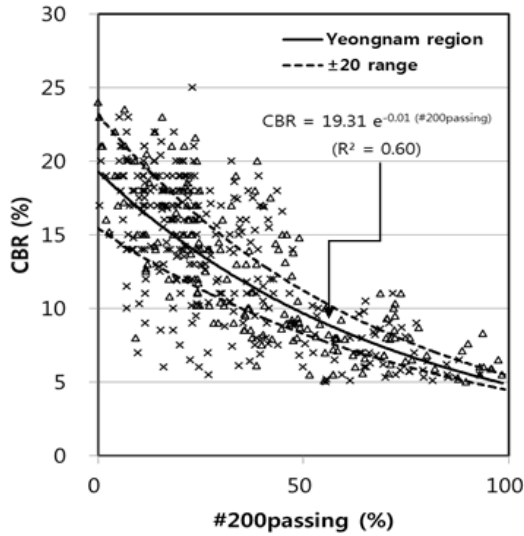


Fig. 7. Relationship between CBR and #200 Sieve Passing

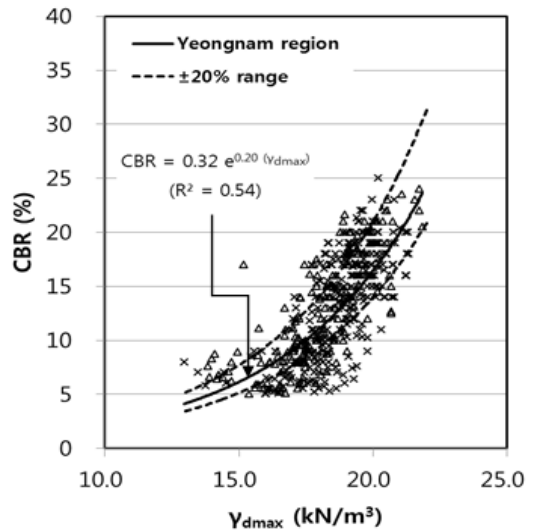


Fig. 9. Relationship between CBR and  $\gamma_{dmax}$

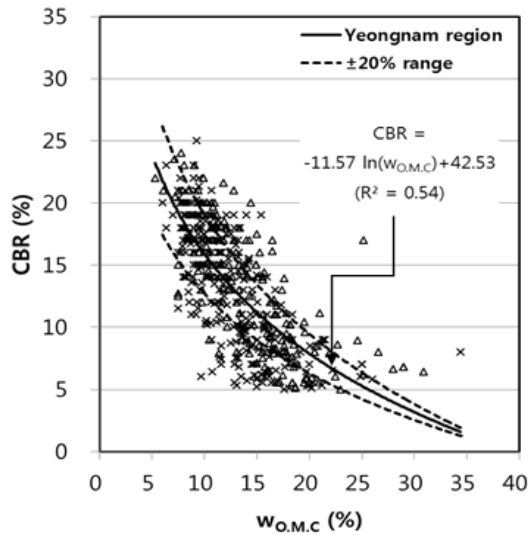


Fig. 8. Relationship between CBR and  $w_{O.M.C}$

가할수록 N값이 증가하는 특성과 일치하는 특성을 나타내고 있다. 이들의 결과를 종합할 때 CBR과 상관성이 가장 우수한 것은 No. 200체 통과율인 것으로 판단된다.

### 3.2 모암에 따른 CBR값의 변화

CBR값이 모암의 특성에 따라 변화하는지의 여부를 검토하기 위하여 한국의 지질도(Geological Society of Korea, 1987)에 의거하여 영남지역을 모암의 특성별로 분류하여 CBR값의 특성검토를 실시하였다. Fig. 10(a)에서 알 수 있듯이 영남지역은 대표적으로 백악기~제3기 초에 형성된 불국사화강암층과 백악기에 형성된

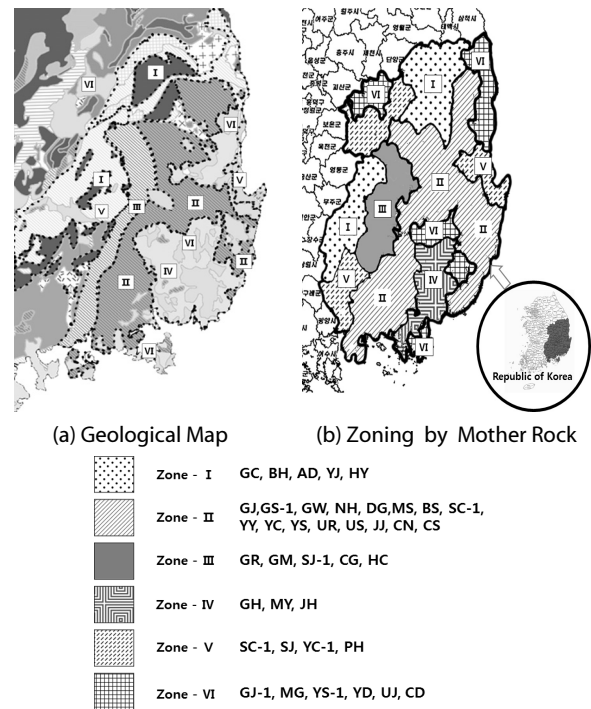


Fig. 10. Zoning by Mother Rock in Yeongnam Region

경상누층군 중의 유천층군, 신동층군, 하양층군 등으로 분류되고, 일부는 시생대~원생대에 형성된 영남누층군, 쥐라기시대에 형성된 대보화강암류, 제 3기 퇴적암층 등으로 분류될 수 있다. Figs. 10(a) and 10(b)에는 각 모암의 특성별로 영남지역을 6개의 Zone으로 구분하였다. (a)와 (b)의 구역이 다소 상이한 것은 (b)에서 시료가 채취된 행정구역으로 묶어서 구역을 설정하였기 때문이다. Fig.

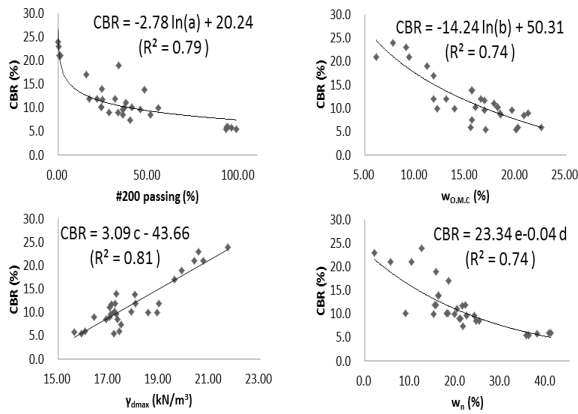


Fig. 11. Correlations between CBR and #200 Sieve Passing,  $w_{0.M.C}$ ,  $\gamma_{dmax}$ ,  $w_n$  at Zone-IV

Table 8. Correlations between CBR and #200 Sieve Passing,  $w_{0.M.C}$ ,  $\gamma_{dmax}$ ,  $w_n$  at Each Zone

Region	Correlation factor	Regression	R <sup>2</sup>
Zone - I	a	$CBR = 20.20 e^{-0.01 a}$	0.61
	b	$CBR = 30.70 e^{-0.07 b}$	0.59
	c	$CBR = 0.39 e^{0.19 c}$	0.55
	d	$CBR = 22.24 e^{-0.03 d}$	0.54
Zone - II	a	$CBR = 18.43 e^{-0.01 a}$	0.56
Zone - III	a	$CBR = 21.21 e^{-0.01 a}$	0.51
Zone - IV	a	$CBR = -2.78 \ln(a) + 20.24$	0.79
	b	$CBR = -14.24 \ln(b) + 50.31$	0.74
	c	$CBR = 3.09 c - 43.66$	0.81
	d	$CBR = 23.34 e^{-0.04 d}$	0.74
Zone - V	a	$CBR = 18.35 e^{-0.01 a}$	0.55
	b	$CBR = 10.22 \ln(b) + 39.05$	0.53
	c	$CBR = 0.44 e^{0.18 c}$	0.62
Zone - VI	a	$CBR = 20.46 e^{-0.02 a}$	0.65
	b	$CBR = 36.16 e^{-0.08 b}$	0.6
	c	$CBR = 0.13 e^{0.24 c}$	0.6
	d	$CBR = -6.65 \ln(d) + 30.43$	0.5

a = #200 passing (%), b =  $w_{0.M.C}$  (%), c =  $\gamma_{dmax}$  (kN/m<sup>3</sup>), d =  $w_n$  (%)

11에는 모암에 의해 분류된 대표적인 Zone-IV에 있어서 CBR값과 No. 200번체 통과율, 최적함수비, 최대건조밀도( $\gamma_{dmax}$ ) 및 자연함수비와의 상관관계를 나타낸다. Fig. 11에서 알 수 있듯이 CBR값과의 상관성이 R<sup>2</sup>=0.74~0.81의 범위로 높은 상관관계를 나타내어 실무에서 충분히 활용할 가치가 있는 것으로 판단된다. Table 8에는 각 Zone 별로 CBR값과 No. 200번체 통과율, 최적함수비, 최대건조밀도( $\gamma_{dmax}$ ) 및 자연함수비와의 상관관계를 나타내며 R<sup>2</sup>=0.5 이하의 관계는 제외하였다. 상대적으로 낮은 상관성을 나타내는

것은 모암의 종류가 복합적으로 이루어진 행정구역에 대해서 행정 구역 단위로 다수를 점하는 모암을 대상으로 구역을 묶은 것이 주 요인으로 판단된다.

#### 4. 결론

국토교통부 부산지방국토관리청에서 영남지역의 국도건설을 위해 수행된 약 30년간의 총 480개 시험데이터를 이용하여 지역별 및 모암 특성별로 나누어 흙쌓기재료의 기초적인 토질정수의 통계치를 나타내고 평균치와 ±20%의 범위를 표시하였으며 각 토질정수간의 상관성을 분석하였다. 특히 CBR값과 흙의 토질특성 간의 상관관계를 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 영남지역의 흙 시료는 SM (실트질 모래)이 163개로 약 34%를 점하며, SC, CL 및 SP가 각각 79개, 75개, 62개를 나타내어 4종의 흙이 전체 시료의 약 79%에 해당한다. 또한 군지수 (group index, GI)는 GI=0인 데이터가 총 340개로 약 71%를 차지하는 반면에 노상토로서의 등급이 가 또는 불가에 속하는 GI=9~20의 데이터도 36개로 약 8%임을 알았다.
- (2) 자연함수비와 No.200체 통과율은 최적함수비와 최대건조밀도에 대해 높은 상관성을 나타내었다. 그러나 자연함수비가 약 23% 이상의 세립토에서는 분산이 크고 상관성이 다소 결여됨을 알았다. 자연함수비가 낮고 No. 200체 통과율이 적은 조립토에서 최적함수비는 낮고 최대건조밀도는 높은 특성을 잘 나타내었다.
- (3) 영남지역의 흙 시료는 토질정수의 값과 각 토질정수간의 상관성이 영남지역과 경북지역으로 나누어 분석하여도 매우 유사하게 나타남을 알았다.
- (4) 영남지역의 자갈과 모래의 평균 CBR값은 각각 16.6~20.3%, 12.7~16.9%의 범위를 나타내며, 자갈이 모래에 비해 평균 약 4% 큰 값을 나타냄을 알 수 있다. 세립토인 실트와 점토의 경우는 평균 CBR값이 4.8~7.1%의 범위를 나타내며 조립토에 비해 약 절반 이하였다.
- (5) 자연함수비, No. 200체 통과율, 최적함수비 및 최대건조밀도는 CBR값에 높은 상관관계를 나타내며, 자연함수비, No. 200체 통과율 및 최적함수비가 높을수록 CBR값이 적어지고, 최대건조단위중량이 클수록 CBR값이 증가하는 경향을 나타냈다. 조립토의 경우는 CBR값과의 상관성이 큰 반면에 세립토는 낮은 상관관계를 나타냈다. 또한 No. 200체 통과율과 CBR의 상관성이 상대적으로 높게 나타났다.
- (6) 영남지역 모암의 특성에 따라 행정구역을 6 zone으로 구분하여 자연함수비, No. 200체 통과율, 최적함수비 및 최대건조밀도에



대한 CBR값의 상관관계를 구한 결과,  $R^2=0.74\sim 0.81$ 로 높은 상관관계를 나타내는 것을 알았으나, 본 연구에서 각 시료의 입도분포 특성, 기후특성, 현장여건 등이 검토되지 못하여 아쉬움이 있으므로 향후 이에 대한 고려가 추가되면 더욱 양호한 결과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

## References

- Geological Society of Korea (1987). *Korean geological maps*, The Geological society of korea, p. 30 (in Korean).
- Gibbs, H. J. and Holtz, W. G. (1957). "Research on determining the density of sand by spoon penetration test." *Proc. 4th ICSMFE*, Vol. 1, pp. 35-39.
- Johnson, A. W. and Sallberg, J. R. (1960). "Factors that influence field compaction of soils." *Highway Research Board Bulletin*, No. 272.
- Kang, H. B., Kim, K. J., Park, S. K. and Kim, J. R. (2008). "A study on the relation between dynamic deflection modulus and in-situ CBR using a portable FWD." *Journal of the Korea institute for structural maintenance and inspection*, Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection, Vol. 12, No. 2, pp. 149-155 (in Korean).
- Min, G. H., Lee, C. K. and Heo, Y. (2002). "Estimation of the mean CBR for the subgrade layer including the anti-frost layer." *Journal of the Korean Geoenvironmental Society*, Korean Geo-Environmental Society, Vol. 3, No. 1, pp. 57-66 (in Korean).
- Park, H. G. and Kim, K. R. (2003). "A study of correlation between soil characteristic and CBR value by experimented method." *Journal of the Korean Geoenvironmental Society*, Korean Geo-Environmental Society, Vol. 4, No. 1, pp. 41-48 (in Korean).
- Pearson, K. (1896). "Mathematical contributions to the theory of evolution. -On a Form of Spurious Correlation Which May Arise When Indices are Used in the Measurement of Organs." *Proceedings of the royal society of london*, Royal Society, Vol. 60, No. 359-367, pp. 489-498.
- Son, T. G. and Kwon, M. N. (1996). "Correlation analysis between geotechnical properties and CBR values of subgrade materials in rural road construction." *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*, The Korean Society of Agricultural Engineers, Vol. 38, No. 4, pp. 89-98 (in Korean).