

준설토를 이용한 지하구조물 뒷채움 다짐특성에 관한 연구

The Study on the Compaction Characteristics of Underground Structural Backfill with Reclaimed Soil

김영웅¹⁾, Young-Ung Kim, 박기순²⁾, Key-Soon Park, 손형호³⁾, Hyung-Ho Son, 김종국⁴⁾, Jong-Kuk Kim

¹⁾ 인천국제공항공사 공항건설기술연구실 소장, Director, Res. & Analysis Div. IIA corp.

²⁾ 인천국제공항공사 공항건설기술연구실 과장, Manager, Res. & Analysis Div. IIA corp.

³⁾ (주) 유신코퍼레이션 인천국제공항 AIRSIDE, 차장, Deputy Manager, IIA Airside, Yoosin Corp. L.

⁴⁾ (주) 유신코퍼레이션 인천국제공항 AIRSIDE 대리, Engineer, IIA Airside, Yoosin Corp. L.

SYNOPSIS : The purpose of this study is to analysis the grain distribution and compaction characteristics of structural backfill with reclaimed soil. Five(5) reclaimed soil samples which passed #200 sieve have been used in the test. The study showed that the maximum dry density and the bearing value rate turned out to be becoming smaller when the more the quantity passed #200 sieve, the smaller the soil grain. The maximum dry density value calculated from the compaction and relative density test showed wet method > compaction method > dry method. The correlation coefficient between R_c and D_r based on the grain distribution and the compaction characteristics showed that the maximum dry density value by the wet method is little higher than the compaction method and dry method.

Key Words : reclaimed soil, grain distribution, compaction characteristics, maximum dry density, wet method, dry method

1. 서론

최근 해안매립에 의한 대규모 단지 및 공항, 항만 등의 부지를 조성하기 위해 근접 바다에서 준설토를 매립재로 활용하는 추세에 있다. 준설토는 근접해안에서 선별된 토취장에서 배사관을 통해 근거리 뿐만 아니라 원거리의 매립부지까지 물과 함께 이송되어, 혼합된 유체속에서 토사를 침강·퇴적시키는 과정에서 실트질이 함유된 세립지반이 형성되기도 하는 등 퇴적시의 환경에 따라 매우 다양한 입도특성을 갖게 된다. 이러한 이유 때문에 준설토 사질토를 도로의 노상, 노체 성토재나 구조물 되메우기 재료로 활용하는 경우에 있어 엄격한 재료선정과 품질관리가 요구되고 있으나, 준설토는 채취과정에서 입도분포가 다양하고 시방기준에 벗어나는 재료가 혼합될 수 있으며, 실트질을 다량 함유하고 입도가 불량한 비소성의 재료는 압축성이 감소하고, 투수성이 낮으며, 적정 다짐이 쉽지 않은 경향이 있다. 또한 비점성토인 성토재에 대해서는 다짐특성에 관한 연구결과가 미흡한 편이며, 일반적으로 이러한 재료의 다짐도 평가 방법으로 상대밀도에 의한 방법이 추천되고 있다. 특히 구조물 뒷채움지역의 다

짐불량에 기인한 지반의 침하는 구조물의 파손과 붕괴를 가져올 수도 있어 노면의 침하방지를 위해서는 사전에 준설토의 다짐특성을 명확히 규명할 필요가 있다.

본 연구에서는 준설토로 다져진 구조물 뒷채움부의 다짐특성을 알아보기 위하여 채취된 시료를 대상으로 입도분석, 실내다짐시험, 상대밀도, 지지력비시험 등을 수행하였다. 이 결과를 토대로 뒷채움재료의 적정성을 알아보고, 상대다짐도와 상대밀도의 관계를 살펴보고자 하며, 현장에서 수행한 현장들밀도 시험결과를 바탕으로 입도 및 다짐특성간의 상관관계를 규명하여 다짐특성을 간접적으로 예측 할 수 있는 모델식을 제시하고자 하였다.

2. 시험 개요

2.1 시험방법 및 시험기기

- (1) 입도분석 : 준설토의 입도특성을 알아보기 위하여 KS F 2302(흙의 입도시험방법) 및 KS F 2309(흙의 No.200체 통과량 시험방법)에 의하여 체분석을 실시하였다.
- (2) 다짐시험 : 영국 E사 제품의 자동다짐기를 이용하여 KS F 2312에 제시된 D방법으로 최대건조밀도와 최적함수비를 구하였다.
- (3) 상대밀도 : 비점성토의 최소, 최대 밀도나 최소, 최대 단위중량 결과를 이용하여 상대밀도를 산출하기 위해 다음 표 1의 성능을 가진 영국제 E사의 전동식 수직진동 방식의 상대밀도 시험기를 사용하였다. 이때, KS F 2345 및 ASTM D 4253.4의 건식 및 습식법 측정방법을 이용하여 최대건조밀도를 각각 구하였으며, 최소건조밀도는 건식법 및 습식법간의 차이가 경미하여 건식법에 의해 최소밀도를 구하였다.

표 1. 시험장비의 구성 및 특성

장비명	구 성 및 규 격	장 비 특 성
상대밀도 시험기	진동대 (수직 진동)	몸체와 필요한 양의 흙을 채우고 수직으로 진동되며, 진폭은 60Hz에서 $0.33 \pm 0.05\text{mm}$ 을 표준으로 하고 있음. (경우에 따라서 0.64mm 조절 가능)
	진동판 (760x760mm)	수직으로 진동하는 동안 견딜 수 있는 재질로 구성
	표준몰드(\varnothing 150mm)의 부대품	가이드 슬리브가 부착된 몰드와 하중추, 하중재하판, 다이알게이지 지시계 등

- (4) 현장밀도 : 현장에서 모래치환법(KS F 2311-91)에 의해 구하였다.
- (5) C.B.R : 준설토의 다짐지지력비를 알아보기 위해 실내 C.B.R시험은 KS F 2320을 적용하여 시방 최대건조밀도의 95%인 건조밀도 상태의 수정C.B.R을 산정하였다. 시험에 사용한 시험기기는 영국 E사의 하중-변형 Full-auto-control방식의 시험기이다.

2.2 시험시료

시험에 사용한 시료는 인천국제공항 매립지의 준설토가 비점성토의 특성을 지니고 있으며, 구조물 뒷채움부에 유용토로 활용되고 있어, 이를 대상으로 되메우기 재료의 적합성과 현장에서의 다짐도를 평가하기 위해 현장에서 교란시료를 채취하여 #200체 통과량(실트질 함유량)에 따라 표 2와 같이 5개 그룹으로 분류하여 A, B, C, D, E로 나타내었다.

표 2. 준설토의 시료채취 현황

구 분	#200체 통과량	개 소	비 고
A	0~5	6	활주로, 유도로, 계류장, 녹지대지역의 구조물 뒷채움 구간의 재료
B	5~10	4	
C	10~15	4	
D	15~20	4	
E	20~27	4	

한편, 상대밀도 시험에 사용되는 시료는 KS F 2345-95 또는 ASTM D 4253,4 규정에 자연산 비점성토나 인공 또는 혼합재료로서 수분이 없는 비점성토로 규정하고 있다.

3. 시험결과 및 고찰

3.1 시험결과

준설토를 사용한 구조물부 뒷채움 재료의 입도특성과 다짐특성 및 지지력관계를 알아보기 위하여 실시된 시험결과를 표 3. 및 표 4에 각각 나타내었다.

표 3. 준설토의 입도시험 결과

구분	시료 번호	입도시험결과							
		#200체 통과량 (%)	통과백분율에 해당하는 입자의 직경(mm)					Cu (균등계수)	Cg (곡률계수)
			D ₈₅	D ₆₀	D ₅₀	D ₃₀	D ₁₀		
A	1	1.3	1.3	0.51	0.40	0.28	0.12	4.2	1.4
	2	3.1	3.0	0.85	0.44	0.25	0.15	5.5	0.5
	3	3.8	2.7	0.89	0.50	0.22	0.12	6.8	0.4
	4	4.0	2.4	0.65	0.47	0.20	0.09	5.5	1.0
	5	4.2	2.3	0.65	0.43	0.19	0.09	8.2	1.1
	6	4.8	2.2	0.28	0.40	0.18	0.09	9.2	1.1
B	7	6.2	0.39	0.26	0.21	0.18	0.11	2.7	1.1
	8	6.6	0.34	0.25	0.19	0.16	0.09	2.4	1.3
	9	9.3	0.32	0.22	0.17	0.15	0.09	2.6	1.1
	10	9.5	0.40	0.20	0.25	0.13	0.09	2.6	1.0
C	11	11.5	0.40	0.22	0.19	0.16	0.06	7.3	0.6
	12	13.6	0.39	0.21	0.18	0.14	0.07	3.3	1.3
	13	13.7	0.20	0.28	0.13	0.13	0.07	5.5	1.1
	14	14.0	0.18	0.24	0.12	0.12	0.07	4.3	1.4
D	15	15.4	0.25	0.19	0.18	0.14	0.04	3.5	1.7
	16	17.8	0.22	0.18	0.12	0.12	0.04	2.6	1.7
	17	18.8	0.22	0.15	0.17	0.12	0.07	2.3	1.3
	18	18.8	0.34	0.18	0.17	0.09	0.04	3.3	1.5
E	19	21.5	0.18	0.23	0.12	0.14	0.03	3.1	1.1
	20	22.7	0.16	0.14	0.12	0.09	0.04	2.1	1.0
	21	24.7	0.40	0.13	0.17	0.09	0.03	6.6	1.7
	22	27.1	0.26	0.19	0.17	0.09	0.02	8.3	2.1

표 4. 준설토의 다짐특성 및 지지력 시험결과

구분	시료 번호	실내다짐 시험결과		C.B.R (%)	상대밀도 시험결과			현장 밀도 r_d ④ (g/cm ³)	현장다짐도 (Rc, %)			상대밀도(*) (Dr, %)	
		r_{dmax} ① (g/cm ³)	O.M.C (%)		r_{dmin} (g/cm ³)	건식법 ②	습식법 ③		다짐 시험 (④/①)	상.밀 (건식) (④/②)	상.밀 (습식) (④/③)	(건식)	(습식)
						r_{dmax} (g/cm ³)	r_{dmax} (g/cm ³)						
A	1	1.710	12.2	13.2	1.292	1.629	1.834	1.695	99.1	104.1	92.4	114.9	80.5
	2	1.856	12.2	15.6	1.445	1.802	1.807	1.775	95.6	98.5	98.2	93.8	92.8
	3	1.878	8.8	18.0	1.452	1.861	1.924	1.821	97.0	97.9	94.6	92.2	82.6
	4	1.904	9.5	28.2	1.512	1.911	1.914	1.804	94.7	94.4	94.3	77.5	77.1
	5	1.871	11.2	27.8	1.496	1.839	1.848	1.753	94.0	95.6	95.1	79.9	78.2
	6	1.875	11.8	22.9	1.506	1.848	1.884	1.785	95.2	96.6	94.7	84.5	77.9
B	7	1.638	12.5	-	1.304	1.566	1.689	1.534	93.7	98.0	90.8	89.6	65.8
	8	1.645	13.1	20	1.320	1.621	1.732	1.563	95.3	96.7	90.5	95.2	66.5
	9	1.724	13.3	-	1.468	1.761	1.815	1.688	97.9	95.9	93.0	78.3	68.2
	10	1.638	16.2	13.3	1.328	1.615	1.792	1.601	97.7	99.1	89.3	96.0	65.9
C	11	1.675	11.1	16.5	1.337	1.698	1.751	1.624	97.0	95.6	92.7	83.1	74.7
	12	1.720	11.7	12.3	1.504	1.776	1.821	1.658	96.4	93.4	91.0	60.6	53.4
	13	1.672	13.8	-	1.332	1.625	1.728	1.620	96.9	99.7	93.8	98.6	77.6
	14	1.695	13.2	20	1.348	1.647	1.751	1.638	96.6	99.5	93.5	97.5	76.9
D	15	1.630	14.3	5.3	1.255	1.497	1.753	1.620	99.4	108.2	92.4	139.4	79.3
	16	1.667	13.9	11.6	1.315	1.581	1.815	1.619	97.1	102.4	89.2	111.6	68.2
	17	1.566	16.4	4.7	1.317	1.661	1.686	1.501	95.8	90.4	89.0	59.2	56.0
	18	1.718	14.1	6.1	1.307	1.535	1.834	1.673	97.4	109.0	91.2	147.3	76.1
E	19	1.563	15.0	5.6	1.292	1.629	1.734	1.498	95.8	92.0	86.4	66.5	53.9
	20	1.526	15.3	6.6	1.302	1.621	1.745	1.445	94.7	89.1	82.8	50.3	39.0
	21	1.507	15.7	4.4	1.273	1.592	1.732	1.455	96.5	91.4	84.0	62.4	47.2
	22	1.623	15.7	2.9	1.304	1.584	1.689	1.500	92.4	94.7	88.8	73.9	57.3

(※) 상대밀도는 다음의 식에 의해 구해진다.

$$Dr = \frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}} \times 100 = \frac{r_{dmax} \times (r_d - r_{dmin})}{r_d \times (r_{dmax} - r_{dmin})} \times 100 = \frac{(n_{max} - n) \times (1 - n_{max})}{(n_{max} - n_{min}) \times (1 - n)} \times 100$$

여기서, e_{max} , e_{min} : 가장 느슨한 및 조밀한 상태에서의 간극비, e : 현 상태에서의 간극비
 r_{dmax} , r_{dmin} : 가장 조밀한 및 느슨한 상태에서의 건조밀도, r_d : 현 상태에서의 건조밀도
 n_{max} , n_{min} : 가장 느슨한 및 조밀한 상태에서의 간극율, n : 현 상태에서의 간극율

3.2 준설토의 입도특성에 대한 고찰

5개 그룹의 총 22개소 현장에서 채취된 준설토를 대상으로 입도를 분석한 결과, 그림 1에서 보이는 바와 같이 지역에 따라 입도분포가 큰 차이를 나타내고 있어, 준설토를 구조물 뒷채움 재료로 사용하기 위한 적정 입도특성에 대한 기준을 사전에 파악할 필요가 있다. 표 3. 및 그림 1.의 시험결과를 살펴보면, 시험대상 시료는 모두 비소성(Non-plastic)의 점착성이 없는 실트분을 함유한 실트질 모래와 입도분포가 불량한 모래(SP-SM)로 나타나고 있으며, 일반적으로 실트분을 함유한 모래의 경우는 입자가 작고 분포가 균등할수록 투수성이 낮아지고, 압축성이 감소하는 경향이 있다.⁽¹⁾ 한편, 균등계수(Cu)는 2.1~9.2, 곡률계수(Cg)는 0.4 ~ 2.1의 범위로 나타났다. 이는 실트질 함유량에 따라 큰 차이를 보이고 있으며, 입자가 클수록 최대건조밀도는 증가하는 경향을 보이고 있다.

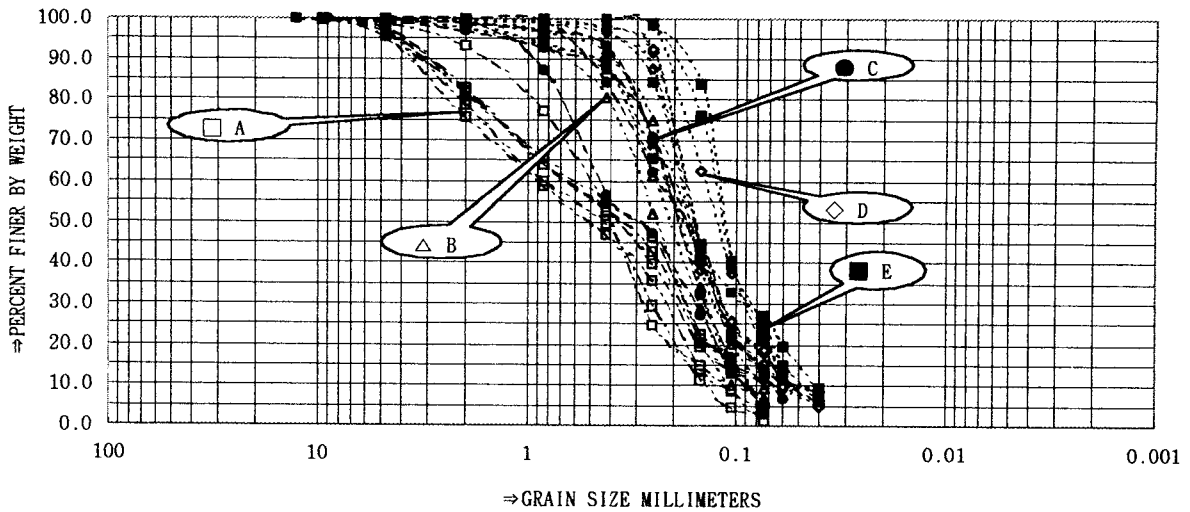


그림 1. 준설토의 입도분포 곡선

표 3, 4의 시험결과로부터 준설토의 입자크기, 입도분포에 따라 최대건조밀도, C.B.R 시험결과 등에 큰 차이가 있음을 알 수 있다. 그림 2는 준설토의 입도분포와 지지력비를 비교한 결과로서 입자가 클수록 지지력비는 증가하는 경향을 나타내고 있으며, 이 때 지지력비(CBR)가 10이상인 경우의 입경 $D_{85} > 0.25\text{mm}$, $D_{60} > 0.2\text{mm}$, $D_{15} > 0.085\text{mm}$ 일 때 적합한 것으로 보이며, 이 이하의 입경범위에서의 재료 선정은 신중하게 이루어져야 할 것으로 사려된다.

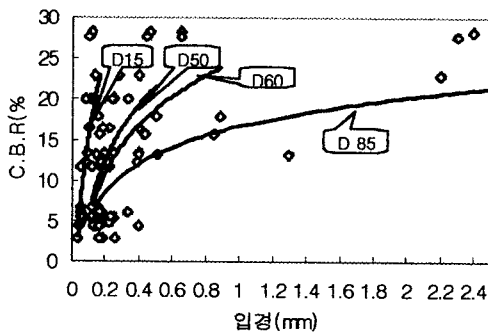


그림 2. 준설토의 입경과 C.B.R의 비교

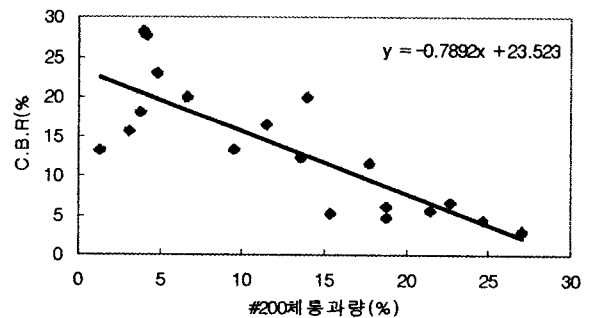


그림 3. #200체 통과량과 C.B.R와의 관계

또한, 그림 3에서는 #200체 통과량이 증가할수록 지지력비가 감소하는 경향을 보이고 있는데, 뒷채움 재료로 규정하고 있는 #200체 통과량과 지지력비의 값은 표 5와 같다.

표 5. 뒷채움층의 적용기준⁽²⁾과 준설토의 시험결과

구 분	A-Type*	B-Type**	시험결과	비 고
최대치수(mm)	50	100	19.0	
No. 4체 통과량(%)	25~100	-	87.4~100	* : 노상에 준하는 재료
No.200체 통과량(%)	0~15	0~30	1.3~27.1	** : 노체에 준하는 재료
소성지수	10이하	20이하	N.P	
수침C.B.R(%)	10이상	5이상	2.9~28.2	

본 시험결과를 보면 노상에 준하는 경우의 수침C.B.R 10% 이상은 #200체 통과량 17% 이하의 범위에서, 노체의 경우는 23% 이하의 범위에서 각각 만족하는 것으로 보아 시험에 사용한 준설토는 재료 규정에 적합한 것으로 사려된다.

3.3 준설토의 다짐특성에 대한 고찰

준설토의 입도 및 다짐특성을 살펴보면 그림 4에서와 같이 #200체 통과량이 증가할수록 최대건조밀도가 감소하는 경향을 보이고 있으며, 그림 5의 실내다짐시험에서 구한 최대건조밀도와 상대밀도시험의 건식법, 습식법으로 구한 최대건조밀도를 비교한 결과, 습식법 > 다짐법 > 건식법 순으로 나타났다.

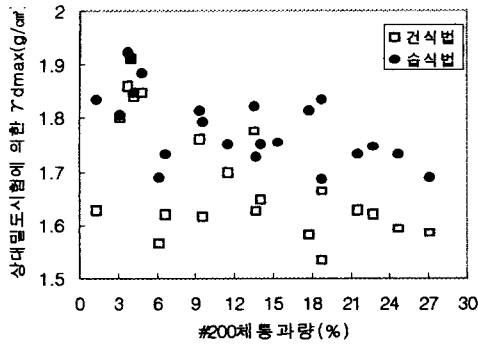


그림 4. #200체 통과량과 최대건조밀도 비교

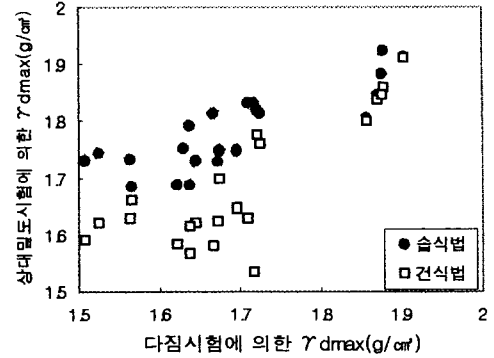


그림 5. 다짐시 $\gamma_d \max$ 과 건식, 습식법의 $\gamma_d \max$ 비교

한편, 상대밀도(Dr)와 상대다짐도(Rc)와의 관계를 살펴보기 위해 다음 식(1)을 이용하여 그림 6에 나타내었으며, 이때 Lee & Singh(1971)⁽⁴⁾이 제시한 입상토의 Rc와 Dr의 상관관계식 $R = 80 + 0.2 Dr$ 를 함께 본 실험data와 비교한 결과, Rc과 Dr의 상관관계는 $Rc = 80.2 + 0.17 Dr$ 로 나타나 종래 연구결과와 매우 유사한 경향을 보이고 있어, 상대밀도에 의한 다짐관리도 가능한 것으로 나타났다.

$$Rc = \frac{Ro}{1 - Dr \times (1 - Ro)}, \text{ 여기서 } Ro = \gamma_d \min / \gamma_d \max \quad (1)$$

다만, #200체 통과량과 상대밀도(Dr)의 비교를 나타낸 그림 7의 결과를 보면, #200체 통과량이 많아질수록 상대밀도는 감소하는 경향을 보이며, #200체 통과량이 약 18% 이상일 때 차이가 다소 커지고 있음을 알 수 있고, 표 4에서도 #200체 통과량이 많을수록 Dr값이 Rc에 비해 다소 작게 나타나는 경우로 보아, 상대다짐도와 병행하여야 할 것으로 보인다.

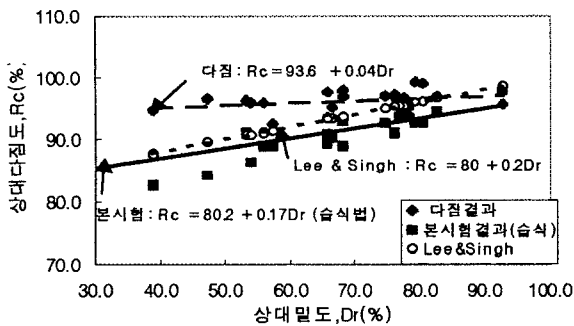


그림 6. Rc와 Dr의 상관 관계

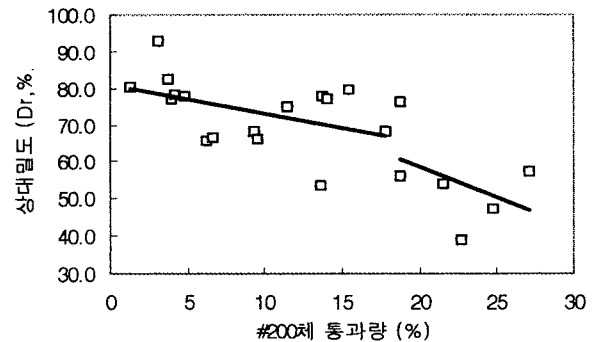


그림 7. #200체 통과량과 Dr(%)와의 비교

3.4 입도 및 다짐 특성에 관한 통계적 분석 결과

준설토의 입도분포가 불규칙한 점을 고려하여 입도분포특성을 이용하여 다짐정도를 예측하기 위한 모델을 선정하고자 통과백분율에 해당하는 입경 및 #200체 통과량, 균등계수(Cu), 곡률계수(Cg)를 매개변수로 하여 최대건조밀도, 지지력 및 다짐도와와의 상관관계를 통계분석하여 표 5와 같이 나타내었다.

표 5. 입도분포특성치와 다짐특성간의 통계분석결과 (상관·회귀분석)

특성치 영향인자	최대건조밀도 ($\gamma_d \max, g/cm^3$)			지지력비 (CBR,%)	현장 밀도④	다짐도 평가 특성					비 고	
	실내 다짐①	상대밀도 (건식)②	상대밀도 (습식)③			실내 다짐 ④/①	상대밀 도(건식) ④/②	상대밀 도(습식) ④/③	상대밀 도(건식)	상대밀 도(습식)		
입 경	D ₈₅ mm	0.88	0.83	0.83	0.66	0.84	0.19	0.14	0.73	-0.03	0.69	단상관계수
	D ₆₀ mm	0.80	0.72	0.73	0.59	0.78	-0.09	0.75	0.71	-0.09	0.72	
	D ₅₀ mm	0.86	0.79	0.79	0.68	0.84	-0.09	0.69	0.71	-0.06	0.69	
	D ₃₀ mm	0.68	0.59	0.59	0.57	0.73	0.19	0.19	0.71	0.33	0.80	
	D ₁₀ mm	0.72	0.64	0.64	0.66	0.76	0.13	0.17	0.74	-0.04	0.50	
	전체	0.88	0.84	0.78	0.72	0.86	0.58	0.30	0.78	0.67	0.85	
입 경	D ₈₅ mm	0.88	0.83	0.83	0.66	0.84	0.19	0.14	0.73	-0.03	0.69	단상관계수
	D ₆₀ mm	0.80	0.72	0.73	0.59	0.78	-0.09	0.75	0.71	-0.09	0.72	
	D ₅₀ mm	0.86	0.79	0.79	0.68	0.84	-0.09	0.69	0.71	-0.06	0.69	
	D ₃₀ mm	0.68	0.59	0.59	0.57	0.73	0.19	0.19	0.71	0.33	0.80	
	D ₁₀ mm	0.72	0.64	0.64	0.66	0.76	0.13	0.17	0.74	-0.04	0.50	
	#200체 통과량	-0.80	-0.66	-0.70	-0.81	-0.84	-0.18	-0.25	-0.80	-0.22	-0.76	
전체	0.94	0.86	0.83	0.91	0.92	0.59	0.40	0.86	0.38	0.80		
Cu	0.28	0.27	0.16	0.18	-0.84	-0.18	-0.24	-0.80	-0.22	-0.76	단상관계수	
Cg	-0.71	-0.59	-0.63	-0.70	0.17	-0.45	-0.12	0.14	-0.09	0.13		
#200체 통과량	-0.80	-0.66	-0.70	-0.81	-0.84	-0.18	-0.25	-0.80	-0.22	-0.76	중상관계수	
전체	0.89	0.76	0.76	0.84	0.88	0.59	0.29	0.82	0.25	0.78		

분석결과, 입경 단독 및 [Cu + Cg + #200체 통과량]의 매개변수 경우보다 [입경 + #200체 통과량]의 경우가 최대건조밀도 및 지지력등의 다짐특성과 상관관계가 높게 나타나 이를 이용한 다짐도 예측모델이 유효하리라 판단되었다. 한편, 최대건조밀도를 구하는 여러 방법들과의 상관관계에서는 실내다짐시험에 의한 경우가 상관성이 높게 나타난 반면에 다짐도와 상관성은 상대밀도(습식법)의 경우가 높게 나타났다. 이러한 이유를 알아보기 위하여 표 6의 시험자간 및 반복시험에 의한 오차분석을 실시한 결과에서 보여주는 바와 같이 준설토의 경우는 입도분포가 비교적 균일한 표준사나 세척사의 경우보다 표준편차가 크게 나타남에 기인한 것으로 판단된다. ASTM D4253·4 규정에 따르면 상대밀도 측정시 오차는 복수시험 표준편차는 가습입자의 경우 최소밀도는 0.027, 최대밀도는 0.038를 적용하여 시험의 정밀도를 높이기 위해 시험간의 차이가 기준이내가 되도록 허용하고 있으며, 입도가 양호한 모래의 밀도측정시 3%정도의 오차에 대하여 상대밀도가 0.2이상 변동한다는 연구결과^(5,6)도 보고된 바 있다.

표 6. 각각 시험간의 표준편차 비교

구 분		표준사	세척사	준설토
개인간의 표준편차	최소밀도	0.001	0.001	0.002
	최대밀도	0.003	0.003	0.003
복수시험 표준편차	최소밀도	0.006	0.005	0.011
	최대밀도	0.008	0.008	0.022

이상의 결과들을 종합하여 입도분포특성치(입경, #200체 통과량)에 대한 다짐특성간의 모델식을 통계분석결과를 이용하여 다음의 식 (2), (3), (4)로 나타내었다.

$$Y(\gamma_d \max) = 2.1 + 0.11(D_{85}) + 0.13(D_{60}) - 0.33(D_{30}) - 0.94(D_{30}) - 1.77(D_{10}) - 0.016(P_{200}) \quad (R^2 = 0.94) \quad (2)$$

$$Y(CBR) = 62.8 + 5.0(D_{85}) + 9.4(D_{60}) - 33.31(D_{50}) - 101.81(D_{30}) - 148.5(D_{10}) - 1.78(P_{200}) \quad (R^2 = 0.91) \quad (3)$$

$$Y(R_c \text{ 습식}) = 86.4 + 2.5(D_{85}) - 0.88(D_{60}) - 9.28(D_{50}) + 16.15(D_{30}) + 35.49(D_{10}) - 0.002(P_{200}) \quad (R^2 = 0.86) \quad (4)$$

여기서, $\gamma_d \text{ max}$: 최대건조밀도 (g/cm^3), CBR: 수침 지지력비(%), R_c 습식: 다짐도(%)
 P_{200} : #200체 통과량(%), $D_{85, 60, 50, 30, 10}$: 각각의 통과백분율에 해당하는 입경 (mm)

이러한 입도특성치에 관한 모델식을 이용하여 실내다짐시험이나 현장들밀도시험에 의한 현장다짐도, 지지력 등을 용이하게 예측할수 있는지 여부를 알아보기 위하여 본 실험 대상지역이외의 구간에서 시료를 채취하였으며, 시험한 결과를 모델식에 대입하여 구한 실측치와 예측치의 차이를 비교한 결과 그림 8, 9와 같이 비교적 근사한 값을 나타내고 있어, 준설재료의 입도분석 결과치만 활용하더라도 최대건조 밀도, 지지력 및 다짐도 등을 간접적으로 예측하는데 용이하게 활용할 수 있으리라 사려된다.

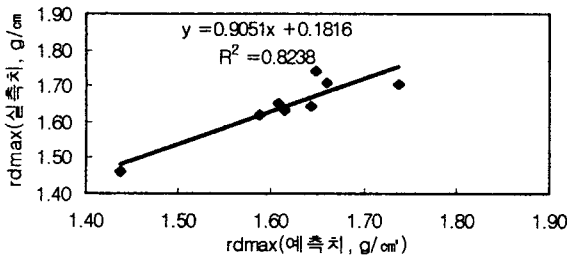


그림 8. $\gamma_d \text{ max}$ 의 실측치와 예측치 비교

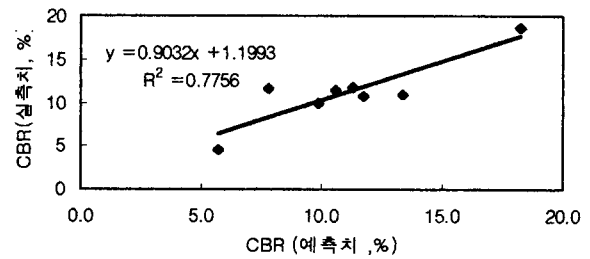


그림 9. CBR의 실측치와 예측치 비교

4. 결 론

준설토를 이용한 구조물 뒷채움부의 되메우기 재료의 입도 및 다짐특성간의 상호관계를 알아보기 위하여 상대밀도의 건식 및 습식방법에 따른 최대밀도의 변화, 현장 다짐도 및 상대밀도를 통한 적절한 다짐도 평가방법을 검토하였으며, 그 결과를 토대로 아래와 같은 결론을 얻었다.

1) 준설재료는 뒷채움재료로 적합한 것으로 나타났으며, 최대건조밀도와 지지력비는 #200체 통과량이 증가할수록 작아지는 경향을 보이고 있다. 또한 최대건조밀도는 습식법 > 다짐법 > 건식법 순으로 나타났으며, 다짐시험에 의한 최대건조밀도가 상대밀도의 습식법에 의한 최대건조밀도보다 다소 과대평가되고 있는 것으로 나타났으며, 상대밀도의 습식법에 의한 다짐관리가 효과적인 것으로 사려된다. 다만, #200체 통과량이 많아질수록 상대밀도는 감소하는 경향을 보이고 있어, #200체 통과량이 약 18% 이상일 때는 상대다짐도와 병행하여야 할 것으로 보인다.

2) 본 실험에서 준설재료의 #200체 통과량 30% 이하의 범위에서 입도특성치의 매개변수들에 대한 통계 분석 결과, [입경 + #200체 통과량]을 매개변수로 한 모델식이 다짐시의 최대건조밀도, 지지력 및 다짐도 등을 용이하게 예측할 수 있어 준설토를 구조물 뒷채움부의 되메우기 재료로 활용할 수 있는지 여부를 판단하는데 필요한 기초자료를 얻을 수 있었다.

본 연구에서는 준설토에 대한 실험data수가 적은 점을 고려할 때, 다양한 입상토를 대상으로 입도특성과 다짐 및 상대밀도방법에 의한 다짐특성과 관련하여 많은 연구가 필요할 것으로 사려된다.

참고문헌

1. 김상규(1996), "토질역학" (이론과 응용) 청문각, pp 197~222
2. 도로공사설계서표준안(1996), 및 표준시방서(1997), 건설교통부
3. Lambe, T. W, R.V. Whitman : Soil Mechanics (SI Veersion) 1979
4. Das, B, M.,(1983) Fundamentals of soil Dynamics, Elsevier Science Publishing Co. In. pp 293~298.
5. Bowles, J.E.(1982), foundation analysis and design, McGraw-Hill Book Co.
6. Bowles, J.E.(1984), Physical and Geotechnical Properties of Soils, McGraw-Hill, New York.