



입도분포계수를 이용한 사질토의 최대건조단위중량 예측

Prediction of Maximum Dry Unit Weight of Sandy Soils From Grain-Size Distribution Parameters

송 영 우* 진 명 섭** 홍 기 남***
 Song, Young-Woo Jin, Myung-Sub Hong, Ki-Nam

Abstract

Maximum dry unit weight, γ_{dmax} , is the most important engineering properties for subgrade soil. Existing models to predict γ_{dmax} containing many parameters, seem to be rather complex. This paper presents new simple models to predict γ_{dmax} for sandy soils. A number of sieve analysis and compaction tests for 36 types of sands were conducted to develop the regression-based models. Parameters used to estimate γ_{dmax} are both the geometric mean and geometric standard deviation of the soils, or the particle-size distribution curve parameters. Maximum dry unit weights predicted by the models are in good agreement with the laboratory measurements for the soil samples obtained at 16 locations within the Korea.

Keyword : maximum dry unit weight, particle-size distribution curve, geometric mean, geometric standard deviation

요 지

최대건조단위중량은 노상토 재료 특성으로서 매우 중요한 인자이다. 최대건조단위중량을 예측하는 기존의 모델들은 많은 변수를 포함하고 있어 다소 복잡해 보인다. 본 논문에서는 사질토의 최대건조단위중량을 예측할 수 있는 간편한 식을 제안하였다. 이를 위해 36개 시료를 체분석하여 입도분포를 구하고, 다짐시험 한 후 그 결과를 회귀분석하였다. 제안식은 변수로 노상토의 기하평균과 기하표준편차 또는 입도분포계수를 포함한다. 제안식의 검증에 위해 전국 16개 지역의 채취 시료에 대한 최대건조단위중량의 실측치와 예측치를 비교한 결과 잘 맞는 것으로 밝혀졌다.

핵심용어: 최대건조단위중량, 입도분포곡선, 기하평균, 기하표준편차

* 한남대학교 토목환경공학과 교수
 ** 정회원 · 한남대학교 토목환경공학과 교수
 *** 한남대학교 대학원



1. 서론

최대건조단위중량은 도로의 노상을 설계하고 시공할 때 지지력산정, 다짐기준이 되는 것으로서 도로공학 문제에 있어 중요한 인자이다. 최대건조단위중량은 흙의 입도분포, 비중, 입자의 모양, 점성도 함유량, 간극비 등에 영향을 받는 것으로 알려지고 있는데, 사질토의 최대건조단위중량은 그 중에 입도분포에 가장 큰 영향을 받는다(Korfiatis 등, 1982). 최대건조단위중량에 관한 연구는 Masih(2000) 등 몇몇 연구자들에 의해 수행된 바 있다. 그렇지만 지금까지 제안된 최대건조단위중량 예측식들은 복잡하여

사용하기 쉽지 않은 단점이 있다.

본 연구의 목적은 흙의 최대건조단위중량을 예측할 수 있는 간편한 식을 구하는 것이다. 이를 위해 36가지 배합시료를 체분석하여 입도분포를 구하고, 다짐시험하여 최대건조단위중량 실측치를 구했다. 이 자료를 회귀분석하여 입도분포와 최대건조단위중량 사이의 관계식을 구함으로써 최대건조단위중량의 예측식을 구하고자 한다.

표 1은 최대건조단위중량 예측식에 대한 연구결과를 요약한 것이다. Ring(1962)은 액성한계(LL), 소성한계(PL), 유효입경(D_{10}), 세립율(FA)등을 사용하여 최대건조단위중량 예측모델을 제안하였다.

표 1. 기존의 최대건조단위중량 예측식

연구자	예측식	비고
Ring(1962)	$r_{dmax} = 147.25 - 0.020LL - 1.195PL - 0.198FA$ where, LL=액성한계 PL=소성한계 D_{10} =유효입경 FA=0.001mm보다 작은 입자 비율	
Korfiatis and Manikopoulos (1982)	$0.5738 < s < 1.1346$ 일 때 $\gamma_{dmax} = \frac{\gamma_d}{1-t + \frac{1}{a-bs + t}} \quad (a)$ $0.2 < s < 0.5738$ 일 때 $\gamma_{dmax} = \frac{\gamma_d}{1-t + \frac{1}{c-ds + t}} \quad (b)$ 여기서, γ = 재료밀도, t = 세립분 함유량 s = 입도분포곡선의 기울기 $a = 0.6682 \pm 0.0101, b = 0, c = 0.8565 \pm 0.0238$ $d = 0.3282 \pm 0.0267, q = 0.7035 \pm 0.0477$	
Wang(1984)	$\frac{\gamma_{dmax}}{\gamma_s} \times 100 = 45.6 - 1.28FM \log(D_{10}) - 4.64 \times 10^{-2} FM PL + 1.43FM$ where, \overline{FM} = Fineness modulus, \overline{PL} = 소성한계 D_{10} = 유효입경	
Masih(2000)	$\gamma_{dmax} = \gamma_{solid} \left\{ 0.61 + \frac{1}{10\sqrt{2\pi}} \frac{1}{\bar{\sigma}} \exp\left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\sigma - \bar{\mu}}{\bar{\sigma}}\right)^2\right] \right\} \quad (c)$ $\gamma_{max} = \gamma_{solid} \left\{ 0.61 + \frac{1}{10\sqrt{2\pi}} \frac{1}{\bar{\sigma}} + 0.0004\mu\sigma \right\} \quad (d)$ 여기서, μ = 기하평균 σ = 기하표준편차 $\bar{\mu} = 0.70 + 0.45\mu^{0.93}$ $\bar{\sigma} = 0.35 + 0.09\mu$ γ_{solid} = 흙의 밀도	$\sigma \leq \bar{\mu}$ 경우 (c) $\sigma > \bar{\mu}$ 경우 (d)



Korfiatis 등(1982)은 43개 시료에 대한 시험결과를 분석하여 밀도(r_d), 입도분포곡선의 기울기(s), 세립분 함유량(t) 등을 포함하는 다소 복잡한 최대건조단위중량 예측식을 제안하였다.

Wang 등(1984)은 점토(Bentonite), 실트(limestone dust), 모래, 자갈을 중량비로 혼합한 57개 시료에 대하여 실험 후 결과를 통계분석프로그램인 SAS로 회귀분석하여, 조립율(FM), 소성한계(PL), 유효입경(D_{10}) 등을 이용한 최대건조단위중량 예측식을 제안하였다. Masih(2000)는 기하평균(Geometric Mean), 기하표준편차(Geometric Standard Deviation)를 이용한 사질토의 최대건조단위중량 예측식을 제안했고 흙에 세립분을 첨가하여 최대건조단위중량을 증대시키는 방법에 대해서도 제시하였다. 기존의 식들은 형태가 복잡하고, 이를 적용하기 위해서는 여러 가지 시험이 선행되어야 하므로 간편성 및 실용성에 문제가 있는 것으로 생각된다.

2. 최대건조단위중량 예측모델 개발

2.1 시험 시료의 배합

최대건조단위중량과 입도분포 사이의 관계를 조사하기 위해서는 우선 입도분포가 다른 여러 가지 시료가 있어야 한다. 그러나, 다양한 입도분포를 보이는 자연시료는 구하기 쉽지 않으므로 본 연구에서는 Masih(2000)가 사용한 방법으로 시료를 배합하여 사용하였다.

여러 확률분포 중 흙의 입도분포와 비슷한 것으로, Gardner(1956)는 대수정규분포(Lognormal Distribution), Campbell(1985)은 가우스 분포를 제안하고 있다. 본 논문에서는 Gardner(1956)의 모델을 사용하였다.

대수정규분포의 확률밀도함수와 그 변수인 기하평균 및 기하표준편차는 Mendenhall(1971), Milton 등(1995)을 참고하면

$$F(x) = \int_0^x f(x) dx = \int_0^x \frac{1}{x\sqrt{2\pi \log \sigma}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\log x - \log \mu}{\log \sigma} \right)^2 \right] dx \quad (1)$$

여기서, $F(x)$ = 확률값 $f(x)$ = 확률밀도함수

$$\log \mu = \frac{\sum_{i=0}^n f_i \cdot \log x_i}{\sum_{i=0}^n f_i} \quad (2)$$

$$\log \sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^n f_i (\log x_i - \log \mu)^2}{\sum_{i=0}^n f_i}} \quad (3)$$

여기서, μ = 기하평균(GM), σ = 기하표준편차(GSD)

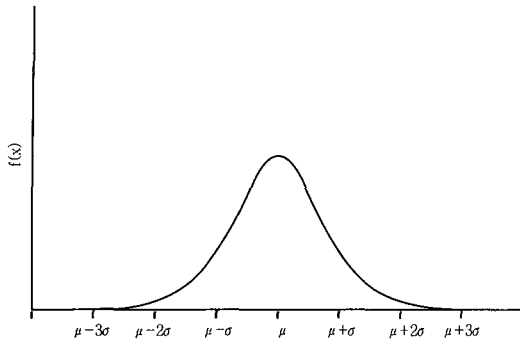
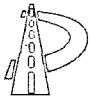
확률밀도함수 $f(x)$ 의 형태는 그림 1(a)와 같이 대수정규분포의 모수인 기하평균과 기하표준편차에 의해 결정되는데, 기하평균은 곡선의 중심위치를 나타내고, 기하표준편차는 곡선의 높낮이를 결정한다.

확률을 계산하려면 우선 대수정규분포를 그림 1(b)와 같이 표준정규분포로 변환하여야 한다. 기하평균이 μ 이고 기하표준편차가 σ 인 대수정규분포의 확률변수(x)를 표준정규변수(z)로 변환하는 식은 다음과 같다.

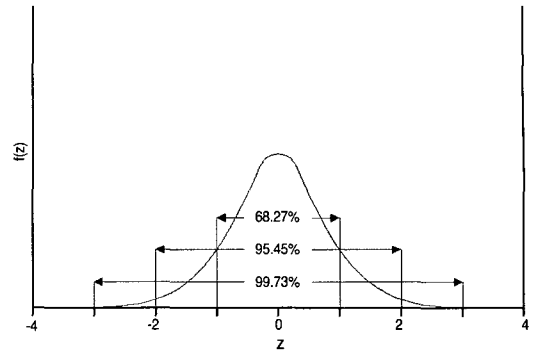
$$z = \frac{\log x - \log \mu}{\log \sigma} \quad (4)$$

위의 식으로 표준정규변수 z 를 구하고 이를 이용하여 확률표에서 확률값을 구할 수 있다. 그림 1(b)의 표준정규분포곡선의 아래 면적의 합은 1이므로 누적확률곡선을 그리면 그림 1(c)와 같게 된다. 여기서 그림 1(c)의 형태가 흙의 입도분포곡선인 그림 1(d)와 비슷함을 발견하게 된다. 두 곡선을 대비해 보면, 누적확률곡선에서 가로축의 표준정규변수와, 세로축의 확률은 입도분포곡선에서 체의 크기와 통과백분율에 각각 대응시킬 수 있다. 이것이 시료배합의 원리이다. 시료배합방법은 다음 장에서 서술한다.

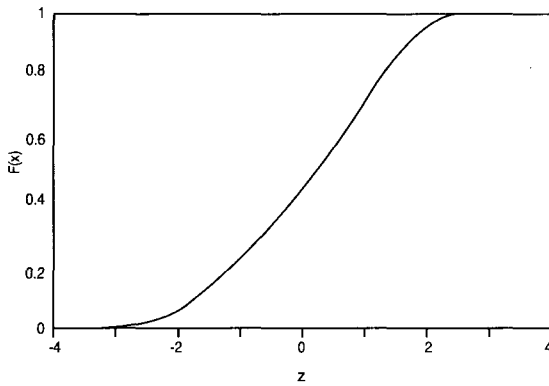
시험에 사용한 흙은 금강모래로써 통일분류법상



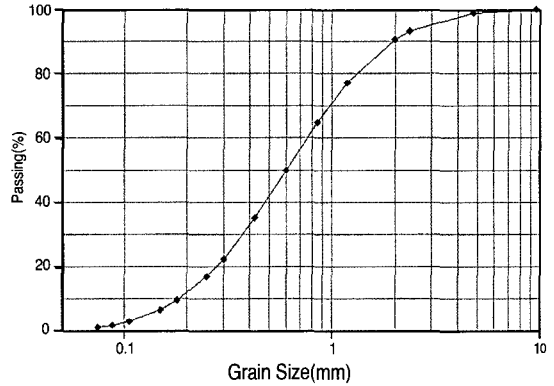
(a) 대수정규분포의 확률곡선



(b) 표준정규분포의 확률곡선



(c) 누적확률곡선



(d) 흙의 입도분포곡선

그림 1. 확률분포곡선

표 2. 기하평균이 0.425, 기하표준편차가 2.5일 때 배합 설계 예(10,000g)

체 번 호	체크기(mm)	$z = (\log x - \log \mu) / \log \sigma$	통과백분율 (%)	각체의 잔류율 (%)	잔류량 (g)
4	4.75	2.63	99.6	0.4	40
8	2.36	1.87	96.9	2.6	260
10	2.00	1.69	95.5	1.4	140
16	1.18	1.11	86.7	8.8	880
20	0.85	0.76	77.6	9.0	900
30	0.6	0.38	64.8	12.8	1280
40	0.425	0.00	50.0	14.8	1480
50	0.3	-0.38	35.2	14.8	1480
60	0.25	-0.58	28.1	7.1	710
80	0.18	-0.94	17.4	10.7	1070
100	0.15	-1.14	12.7	4.7	470
140	0.106	-1.52	6.4	6.3	630
170	0.088	-1.72	4.3	2.2	220
200	0.075	-1.89	2.9	1.3	130
pan				2.9	290
계					10,000



SP에 해당되며, 균등계수(C_u)는 1.5, 곡률계수(C_c)는 1.09, D_{50} 은 0.56mm이다. 많은 양의 금강모래를 체분석(KS F2309)하여 각 체에 남은 양을, 해당 체의 크기(0.075mm~4.75mm)를 명시한 별도의 시료 통에 보관하고 추후 시료배합 시 필요한 양만큼 취하여 사용하도록 한다.

실제 흙이 가질 수 있는 기하평균과 기하표준편차의 범위를 구하기 위해 국내 몇 현장 자연시료를 조사한 결과를 참고하여, 기하평균은 0.25, 0.425, 0.60, 0.85, 1.18, 2.36 등의 6가지, 기하표준편차는 1.5, 2, 2.5, 3, 4, 5 등 6 가지를 선택하였다. 한 평균값에 각각 6개의 편차를 각각 적용시켜, 36가지의 다양한 시료를 준비하였다.

시료의 배합을 위해 우선, 체의 크기를 x 로 간주하고, 선택한 기하평균과 기하표준편차를 식 (4)에 대입하여 표준정규변수(z)를 구한 후, 이를 이용하여 확률표에서 확률값을 구한다. 이 확률값은 입도분포곡선의 통과율백분율에 해당된다. 이 통과율백분율을 이용하여 각 체에 남은 잔류량을 계산하고, 그 양만큼의 흙을 혼합하여 시료를 제조한다. 표 2는 기하평균이 0.425mm이고 기하표준편차가 2.5인 시료의 배합설계표의 한 예이다.

2.2 시험시료 다짐시험

다짐에너지는 최대건조단위중량에 큰 영향을 주는데 최근에는 다짐장비도 많이 발달되었고 중차량이 많이 다니므로 표준다짐보다 수정다짐방법을 사용하는 경우가 대부분이다. KS F2312에 규정된 C, D, E 방법은 수정다짐방법으로써 다짐몰드의 크기와 다짐층수, 매층의 다짐횟수는 다르나 단위부피당 다짐에너지는 2470 kN-m/m³으로 모두 같다. 따라서 이 연구에서는 KS F2312 C 방법을 선택하여 다짐시험을 수행했다. 다짐시험에는 Wykeham Farrance사의 Proctor/CBR 자동다짐시험기와 다짐몰드를 사용하였다.

2.3 회귀분석 모형 개발

그림 2는 경기 이천 A 현장 성토재를 체분석하여 그린 입도분포곡선과, 기하평균과 기하표준편차를

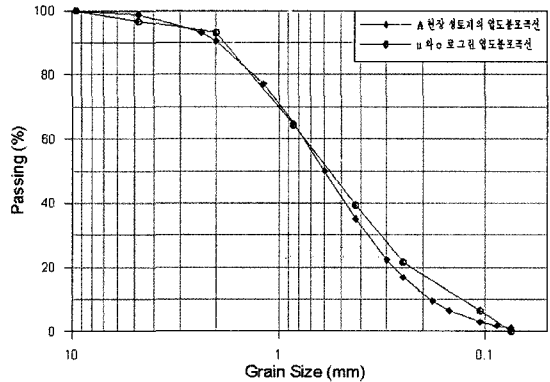
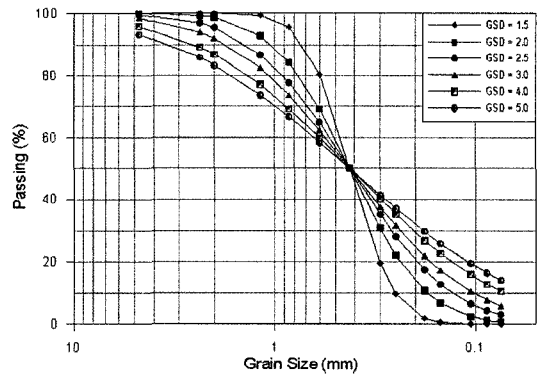
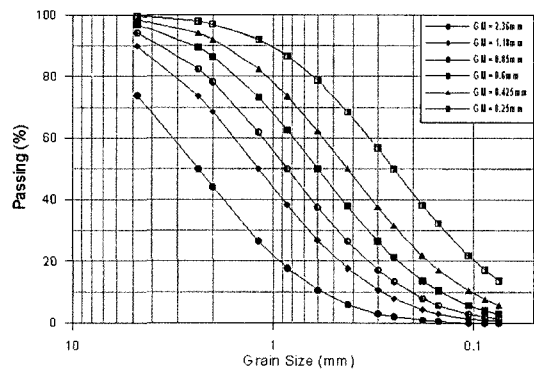


그림 2. 입도분포곡선의 비교

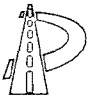


(a) 기하평균이 0.425mm일 때



(b) 기하표준편차 3.0일 때

그림 3. 기하평균(GM)과 기하표준편차(GSD)의 변화에 따른 입도분포곡선의 변화



이용하여 그린 입도분포곡선을 비교한 것이다. 여기서, 두 곡선은 거의 비슷함을 알 수 있다. 이는 기하평균과 기하표준편차를 가지고 실제 흙의 입도분포곡선을 묘사할 수 있음을 보여주는 한 예이다.

그림 3(a)는 36개 배합시료 중, 기하평균이 0.425mm 일 때 기하표준편차의 변화에 따른 입도분포곡선의 변화를 보여준다. 이 그림에서 기하표준편차가 증가함에 따라 입도분포곡선 중앙부의 기울기가 점차적으로 완만해지는 것을 알 수 있다. 즉, 기하표준편차의 증가에 따라 입도분포가 양호해짐을 알 수 있다. 그림 3(b)는 시료의 기하표준편차가 3.0 일 때 기하평균의 변화에 따른 입도분포곡선이다. 이 그림에서는 기하평균이 증가할 때 입도분포곡선 중앙부의 기울기는 거의 변화가 없으나, 입도분포곡선이 좌측으로 이동하는 것을 알 수 있다. 즉, 기하평균이 증가하면 D_{10} , D_{30} , D_{50} , D_{60} 등의 통과입경이 증가한다.

흙이 양호한 입도분포(well-graded) 또는 균등한 입도분포(uniform-graded)를 보일 경우는 이와 같이 기하평균, 기하표준편차를 이용하여 입도분포를 잘 묘사할 수 있으나, 혼한 경우는 아니지만 입도분포가 계단식인 경우와 입경이 매우 작은 흙(0.075mm 이하)에 대해서는 본 모델적용은 신중을 기해야 한다.

자연 건조시킨 36개 배합시료에 대한 다짐시험결과는 표 3과 같다. 그림 4에서는 흙의 기하평균과 기하표준편차가 클수록 최대건조단위중량이 증가함을 알 수 있다. 또한 기하평균이 같아도 기하표준편차가 크면 최대건조단위중량이 증가하고, 기하표준편차가 같아도 기하평균이 증가하면 최대건조단위중량은 증가함을 알 수 있다. 표 3의 결과를 가지고 최대건조단위중량을 예측하는 식을 구해보았다.

• I 방법

표 3의 다짐시험결과를 비선형 다변수 회귀분석용 프로그램인 Oakdale Engineering사의 DataFit 8.0 을 이용하여 분석한 결과, 다음과 같은 식을 얻

었다.

$$\gamma_{d\max} = 1.668\mu^{0.0426}\sigma^{0.1196} \quad (5)$$

여기서, μ =기하평균, σ =기하표준편차, 제안식의 상관계수는 R^2 은 0.976

• II 방법

이번에는 다짐시험결과를 통계분석용 프로그램인 SPSS 사의 SPSS® 10.0K 을 사용하여 회귀분석한 결과 아래와 같은 식을 구했다.

$$\gamma_{d\max} = \frac{2.14}{1 + \exp(-0.6407 - 0.3419\mu - 0.338\sigma)} \quad (6)$$

여기서, μ =기하평균, σ =기하표준편차, 제안식의 상관계수는 R^2 은 0.917

• III 방법

흙의 기하표준편차가 증가하면 입도분포곡선 중앙부의 기울기가 완만해지는 것을 2.2절에서 서술한 바 있다. 한편 입도분포곡선의 기울기는 균등계수(C_u)와 관계가 있으므로, 기하표준편차와 C_u 사이에는 상관관계가 있다고 볼 수 있다. 기하표준편차와 C_u 사이의 관계를 나타내면 그림 5와 같이 표시된다. 이 자료를 DataFit 8.0 을 이용하여 회귀분석하면 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

$$\sigma = C_u^{0.647} \quad (7)$$

여기서, $C_u = D_{60}/D_{10}$, 식의 상관계수는 R^2 은 0.998

다시, 식 (7)을 식 (5)에 대입하여 정리하면 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

$$\gamma_{d\max} = 1.668D_{50}^{0.0426}C_u^{0.0774} \quad (8)$$

이 식은 입도분포곡선을 보고 최대건조단위 중량을 예측할 때 유용하다.



표 3. 36개 배합시료의 다짐시험 결과 γ_{dmax} (g/cm³)

μ \ σ	1.5	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0
2.36	1.81	1.86	1.93	1.99	2.03	2.07
1.18	1.79	1.82	1.88	1.92	1.98	2.02
0.85	1.74	1.79	1.87	1.91	1.97	2.00
0.60	1.69	1.76	1.84	1.89	1.93	1.98
0.425	1.66	1.74	1.82	1.88	1.92	1.96
0.25	1.65	1.71	1.73	1.76	1.85	1.88

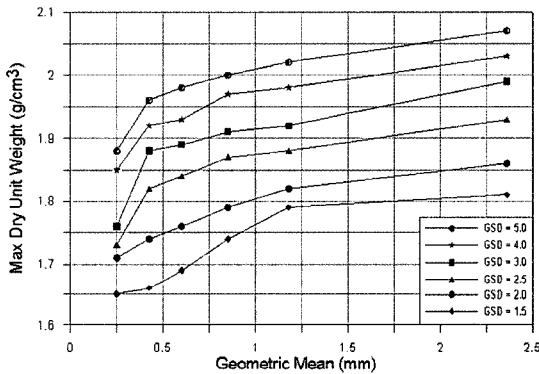


그림 4. 기하평균(GM)과 기하표준편차(GSD)에 따른 최대건조단위중량의 변화

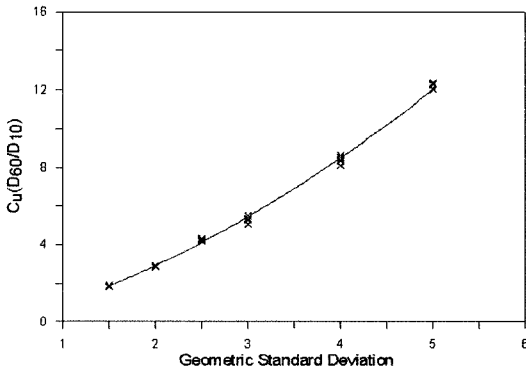


그림 5. 기하표준편차(GSD)와 균등계수(Cu)

3. 개발된 모형의 적용성 검증

3.1 최대건조단위중량 예측

이 절에서는 I 방법, II 방법, III 방법을 사용하여 경상남도 고령에서 채취한 모래시료의 최대건조단위중량을 예측하는 방법을 설명한다.

표 4의 입도분석결과를 이용하여 기하평균 및 기하표준편차를 계산해 보자.

식 (2)을 이용하여

$$\log \mu = \frac{0 \times \log 4.75 + 0 \times \log 2.36 + \dots + 5 \times \log 0.088 + 1.2 \times \log 0.075}{1151.4} = -0.514$$

따라서, $\mu = 0.306$

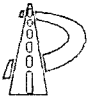
식 (3)을 이용하여

$$\log \sigma = \sqrt{\frac{0 \times (\log 4.75 - (-0.514))^2 + \dots + 1.2 \times (\log 0.075 - (-0.514))^2}{1151.4}} = 0.1214$$

따라서, $\sigma = 1.323$

표 4. 입도분석결과

체크기 (mm) = X	잔류량 (g)
4.75	0
2.36	0
2.00	0
1.18	0
0.85	2.6
0.60	27.4
0.425	227.1
0.300	714.3
0.250	80.8
0.18	62.9
0.150	24.2
0.106	5.9
0.088	5.5
0.075	1.2
합계	1,151.4



• I 방법

앞에서 계산한 기하평균과 기하표준편차를 식 (5)에 대입하면,

$$\gamma_{dmax} = 1.668(0.306^{0.0426})(1.323^{0.1196}) = 1.64 \text{ g/cm}^3$$

• II 방법

식 (6)에 대입하면,

$$\gamma_{dmax} = \frac{2.14}{1 + \exp(-0.6407 - 0.3417(0.306) - 0.338(1.323))} = 1.642 \text{ g/cm}^3$$

• III 방법

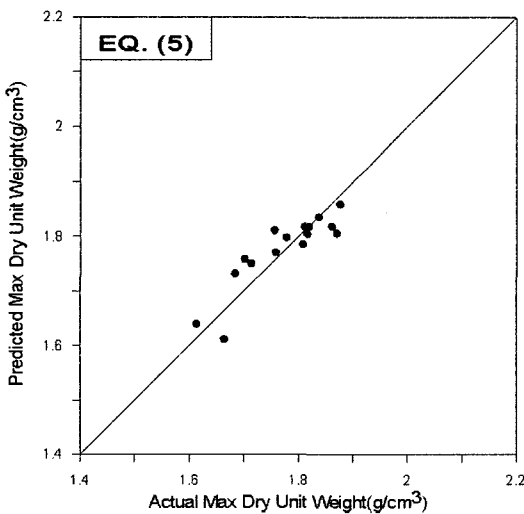
그림 6에서 $C_u = 1.41, D_{50} = 0.36$ 을 구해 식 (8)에 대입하면

$$\gamma_{dmax} = 1.668(0.36^{0.0426})(1.41^{0.0774}) = 1.64 \text{ g/cm}^3$$

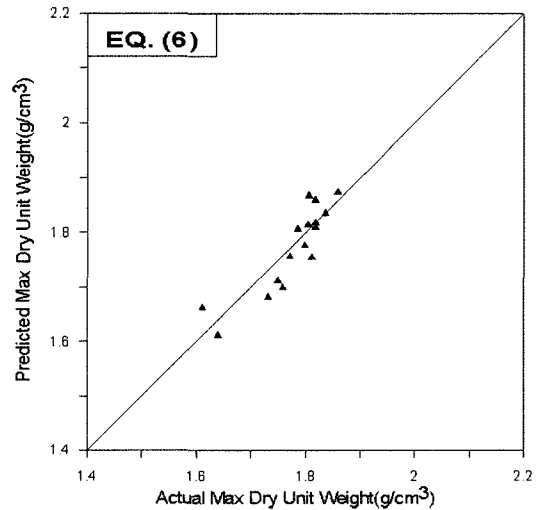
계산결과 식 (5), 식 (6)과 식 (8)을 이용하여 예측한 고령토의 최대건조단위중량은 모두 비슷하게 나온다. SPSS를 이용하여 구한 식 (6)보다는 Datafit으로 구한 식 (5)와 식 (8)이 간단하여 사용

표 5. 채취시료의 체분석 및 다짐시험결과

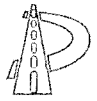
장소	σ	μ	$\gamma_{dmax} (\text{g/cm}^3)$	장소	σ	μ	$\gamma_{dmax} (\text{g/cm}^3)$
경기 여주	2.199	0.755	1.756	전북 익산	1.769	1.177	1.778
경기 이천	2.120	0.917	1.861	전북 정읍	1.867	0.533	1.713
강원 홍천	1.445	0.860	1.683	전남 순창	2.099	0.509	1.758
강원 원주	1.504	1.099	1.701	전남 장성	2.103	0.935	1.811
충북 영동	2.153	0.752	1.870	경북 영주	2.192	0.700	1.816
충북 제천	2.055	1.693	1.876	경북 안동	2.111	1.169	1.837
충북 단양	1.448	0.158	1.664	경남 함양	1.975	1.119	1.819
충남 부여	2.203	0.539	1.808	경남 고령	1.323	0.306	1.613



(a) 식 (5)를 이용하여 예측



(b) 식 (6)을 이용하여 예측

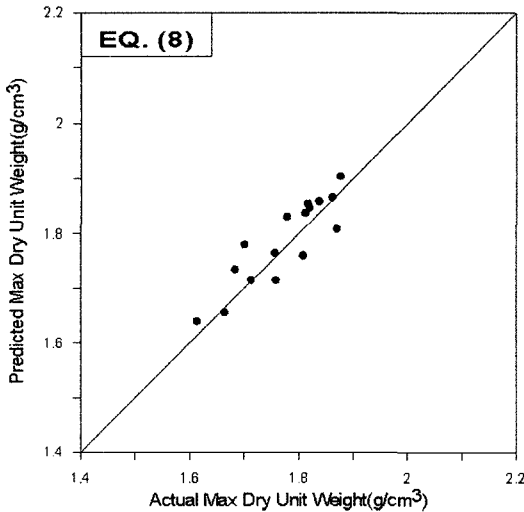


이 편리한 것으로 판단된다.

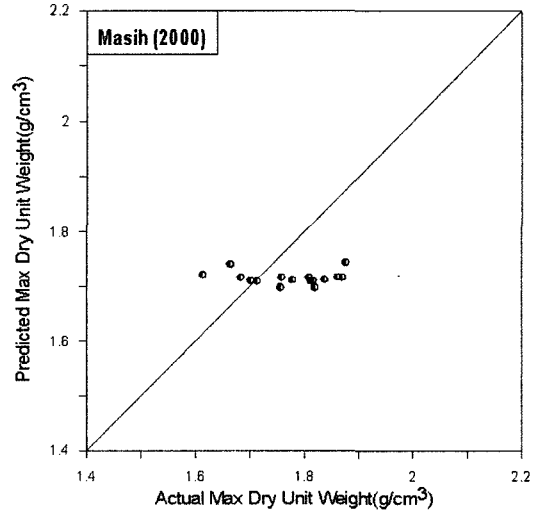
3.2 개발된 모형의 적용성 평가

표 5는 본 논문에서 제안한 세 가지 식의 수행성 검증에 위해 안동, 순창, 원주, 익산, 여주 등을 포함한 전국 16개 지역의 모래를 체분석 및 다짐시험 한 결과이다. 그림 6은 실측값과 본 논문의 제안식으로 예측한 최대건조단위중량을 비교한 것이다. 그림

6(a), (b), (c)에서 제안식들은 전국 채취시료의 최대건조단위중량을 비교적 잘 예측하는 것으로 나타났다. 한편, 그림 6(d)는 실측치와 Masih(2000)의 제안식으로 예측한 최대건조단위중량과 비교한 그림으로, Masih의 식은 우리나라 사질토에 대해 잘 맞지 않는 것으로 판단된다. 그 이유는 아마 시험에 사용한 시료가 상이하여 그런 결과가 초래된 것으로 추정된다.



(c) 식 (8)를 이용하여 예측



(d) Masih의 식을 이용하여 예측

그림 6. 실측 최대건조단위중량과 제안식을 이용한 예측 최대건조단위중량의 비교

4. 결론

본 논문에서는 36개 사질토 시료를 체분석하여 입도분포를 구하고, 다짐시험 한 후 그 결과를 회귀분석하여 흙의 최대건조단위중량을 예측할 수 있는 다음과 같은 식을 제안하였다. 이 중 상관계수가 큰 첫 번째 식 또는 이 식의 다른 표현인 세 번째 식을 적용할 것을 권장한다.

① $\gamma_{d\max} = 1.668\mu^{0.0426}\sigma^{0.1196}$, 상관계수 R = 0.976

② $\gamma_{d\max} = \frac{2.14}{1 + \exp(-0.6407 - 0.3419\mu - 0.338\sigma)}$
상관계수 R = 0.917

③ $\gamma_{d\max} = 1.668D_{50}^{0.0426}C_u^{0.0774}$

제안식의 적용성을 검토하기 위해 전국 16개 지역의 모래를 채취하여 수정다짐시험을 실시한 결과 예측값과 실험값이 잘 일치하는 것을 확인했다. 다만 혼한 경우는 아니나 계단식 입도분포를 가지는 흙에 대한 본 식의 적용은 신중을 기해야 한다.

또한 제안식을 이용하면 체분석시험 결과만으로



성토재의 최대건조단위중량을 구하여 설계기준에 부합하는지 쉽게 판단할 수 있다. 본 연구는 사질토에만 한정되었으므로 세립토를 포함한 점성토 부분까지 예측 가능한 식의 개발은 추후 연구 과제라 할 수 있다.

참고문헌

1. Campbell, G. S. (1985), *Soil Physics with Basic*, Elsevier, New York.
2. Gardner, W. R. (1956), Representation of Soil Aggregate Size Distribution by a Logarithmic-Normal Distribution, *Soil Science Society of America Proceedings*, Vol. 20, pp. 151~153.
3. Korfiatis, G. P. and Manikopoulos, C. N. (1982), Correlation of Maximum Dry Density and Grain Size, *J. Geotech. Engrg. Div.*, Vol. 108, No. 9, pp. 1171~1176.
4. Masih, R. (2000), Formula to Get Desired Soil Density, *J. of Geotech. and Geoenviron Engrg.*, Vol. 26, No. 12, pp. 1145~1150.
5. Mendenhall, W. (1971), *Intorductioin to Probability and Statistics*, Wadsworth, Inc., California.
6. Milton, J. S. and Arnold, J. C. (1995), *Introduction to Probability and Statistics*, McGraw-Hill, Inc., New York.
7. Ring, G. W., Sallgerb, J. R., and Collins, W. H. (1962), Correlation of Compaction and Classification Test Data, *HBR Bulletin* 325, pp. 55~75.
8. Wang, M. C. and Huang, C. C. (1984), Soil Compaction and Permeability Prediction Models, *J. Envir. Engrg.*, Vol. 110, No. 6, pp. 1063~1083.

〈접수 : 2004. 4. 19〉