

흙의 最大乾燥密度 및 最適含水比와

自然含水比의 相關性에 對하여

—東部, 南部地方을 中心으로—

Relation Between the Maximum Dry Density and Optimum Moisture Content and Natural Moisture Content of Soils

李 正 典*

Jeong Jeon Lee

Summary

Maximum density and optimum moisture content of a soil may be one of the very important properties to be specified in the design of earth structures and their works. However, the determination of these soil properties may not be done without the necessary equipment and time-consuming field tests. This study was conducted to develop an easier method by determining the relations between the natural moisture content and optimum moisture content and between maximum density and optimum moisture content so determined. These relations are remarkably different according to the areas where the samples were taken, and thus analysis of the experimental results are shown by regions as follows:

$$\text{Eastern Districts: } \left\{ \begin{array}{l} \gamma_{dmax} = \frac{1}{0.0090 W_{opt} + 0.417} \\ (\delta = \pm 0.042, \gamma = 0.92) \\ W_{opt} = 0.251 W_N + 8.5 \\ (\delta = \pm 2.41\%, \gamma = 0.87) \end{array} \right.$$

$$\text{Southern Districts: } \left\{ \begin{array}{l} \gamma_{dmax} = \frac{1}{0.0088 W_{opt} + 0.412} \\ (\delta = \pm 0.083, \gamma = 0.89) \\ W_{opt} = 0.332 W_N + 8.42 \\ (\delta = \pm 3.41\%, \gamma = 0.84) \end{array} \right.$$

$$\text{Central Districts}^{1)}: \left\{ \begin{array}{l} \gamma_{dmax} = \frac{1}{0.0112 W_{opt} + 0.383} \\ (\delta = \pm 0.052, \gamma = 0.97) \\ W_{opt} = 0.758 W_N + 2.606 \\ (\delta = \pm 4.72\%, \gamma = 0.79) \end{array} \right.$$

(δ : Standard Deviation, γ : Correlation Coefficient)

* 全南大學校 工科大學

I. 序 論

土木工사에서 盛土施工의 比重은 相當히 크다. 盛土施工을 爲하여 工事着手前에 徹底한 土質調査를 하고 많은 試料에 對하여 充分한 試驗을 行하여야 하지만 期日關係等 特殊한 狀況下에 있을 때는 充分한 土質調査 및 試驗을 못할 때가 적다하다. 特히 盛土의 成果를 左右하는 다짐試驗은 試料도 多量이 必要할 뿐만 아니라 試驗自體도 勞力과 時間을 많이 必要로 한다. 故로 적은 試料로 簡單히 할 수 있는 土性試驗結果만으로서 흙의 最大乾燥密度와 最適含水比를 推定하여 盛土施工計劃時 使用하면 經費와 時間을 節約시킬 수 있을 것이다. 本研究의 目的은 最大乾燥密度와 最適含水比를 直接試驗하지 않고 現場의 含水量의 測定만으로 이들 土性を 概略의 으로 알 수 있는 方法을 究明하는데 있었다.

盛土材料는 主로 基盤岩이 風化되어 있는 흙으로서 우리나라 南韓의 基盤岩의 分布를 보면 地域의 으로 大體 2개의 地層構造이지만 크게 나누면 花崗岩地帶와 花崗岩이 아닌 地帶로 나눌 수 있으며 前者는 京畿地方에서 湖南地方으로 發達되어 있으며, 後者는 嶺南 地方을 거쳐 湖南地方으로 펼쳐 있다. 故로 本論文에서는 後者에 있어서의 土質 試驗資料中 最大乾燥密度와 最適含水比, 最適含水比와 自然含水比의 相關性을 알아 보고자 이地帶를 다시 頁岩이 深層風化된 嶺東地方을 中心한 東部地方과 그렇지 않은 嶺南을 中心한 南部地方으로 나누어 分析하였다. 이러한 地域의 分析結果가 그 地域의 一般의 傾向으로 나타낼 수 있기에는 보다 많은 試料의 試驗分析이 必要하다고 認定하는바이나 적어도 本研究의 結果에서 示顯될 高度의 相關性에 비추어 實用上 極히 重要하다고 생각되어 發表하는 바이다.

II. 試料와 試驗

表一과 表二의 試料는 우리나라에서 건설하였거나 建設중에 있는 高速道路의 盛土材料로서, 우리가 언제 어디서나 쉽게 구할 수 있는 試料라고 생각된다. 또 自然含水比의 不變深度에 對한 우리나라의 規定은 없지만 가까운 日本에서는 各地域別로 定한 自然含水比不變深度를 보면 1.5~2.2m 이므로¹⁾ 우리나라는 日本에 比하여 건조한 기상상태에 놓여 있어 自然含水比 不變深度는 다소 더 길다고 생각되지만²⁾ 本試料의 採取深度가 1.5m~2.0m 이

므로 自然含水比의 不變深度라고 斷言할 수는 없지만 無理가 없다고 생각된다.

다짐시험방법은 다음과 같다.

Mold : 內徑 15cm, 높이 12.5cm

Rammer : 重量 4.5kg, 斷面直徑 5cm

自由落下高 : 45cm

다짐層數 : 5層

各層다짐 回數 : 55回

表一 東部地方의 試料

| 흙의 統一 分類 | GP | GC | SM | SC | SW | SP | ML | CL | 계 |
|----------|----|----|-----|----|----|----|----|----|-----|
| 試料數 | 1 | 5 | 163 | 14 | 22 | 4 | 3 | 9 | 221 |

表二 南部地方의 試料

| 흙의 統一 分類 | GP | GC | GM | SM | SC | SW | SP | ML | CL | MH | CH | 계 |
|----------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|
| 試料數 | 1 | 3 | 1 | 82 | 22 | 1 | 1 | 15 | 27 | 1 | 7 | 160 |

윗 表에서와 같이 東部地方에 對해서는 221個의 試料를, 南部地方에서는 160個의 試料를 對像으로 하였다.

III. 흙의 最大乾燥密度와 最適含水比의 推定

外國 推定式에 對한 우리나라 흙의 適用에 있어서 는 既 發表된 우리나라 中部地方을 中心으로 한 “最大乾燥密度와 最適含水比에 對해서”에서 論하였으므로³⁾⁴⁾⁵⁾ 本論文에서는 이에 對한 言及은 省略하고 우리나라 東部地方, 南部地方에 對하여 最大乾燥密度와 最適含水比의 推定式을 提案하고자 한다.

1. 最大乾燥密度와 最適含水比의 相關性

一般으로 最大乾燥密度가 높은 흙은 最適含水比가 낮고 또 最大乾燥密度가 낮은 흙은 最適含水比가 높아 지는데, 各種 흙에서의 最大乾燥密度 T_{dmax} 와 最適含水比 ω_{opt} 사이에 하나의 曲線關係가 있다고 생각된다⁶⁾⁷⁾.

그림 1과 그림 2는 우리나라 東部地方과 南部 地方 흙의 室內다짐 試驗值인 最大乾燥密度와 最適含水比를 普通 Graph紙에 縱軸을 最大乾燥密度의 逆數로 하고 橫軸을 最適含水比로 하여 全試料에 對해서 plot 하면 $1/T_{dmax}$ 와 ω_{opt} 사이에는 아주 相關性이 깊은 直線의인 關係가 成立함을 알 수 있으며, 이는 다음과 같은 一般式으로 나타낼 수 있다.

$$1/Y_{dmax} = A + BW_{opt} \dots\dots\dots(1)$$

式(1)을 $Y = A + BX$ 로 놓고 이를 最小自乘法으로 整理하면 다음과 같다.

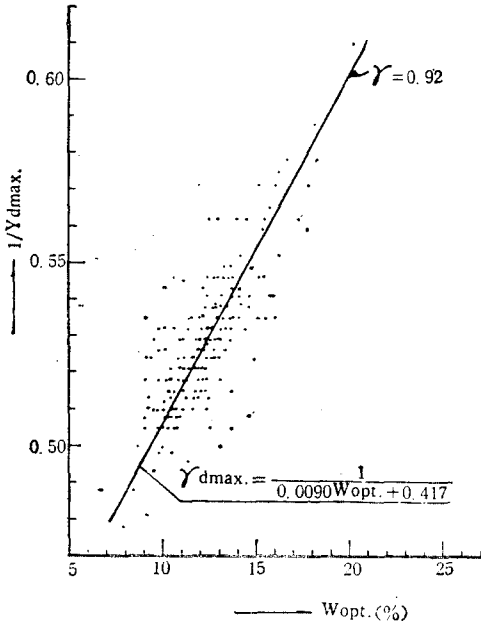


그림 1. 東部地方의 $1/Y_{dmax}$ 와 W_{opt} 의 상관성도

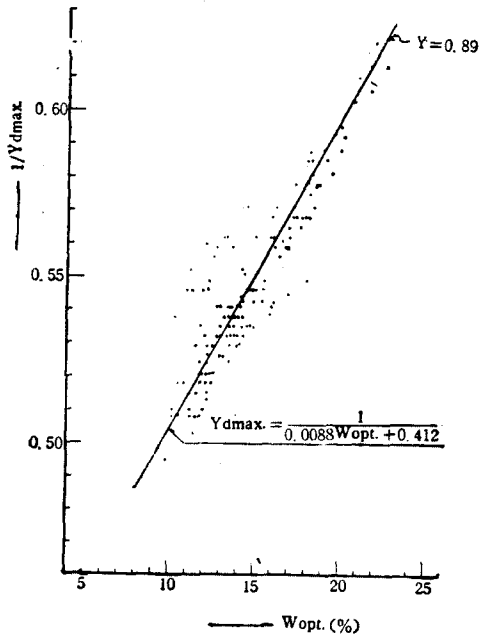


그림 2. 南部地方의 $1/Y_{dmax}$ 와 W_{opt} 의 상관성도

東部地方에서는

$$1/Y_{dmax} = 0.417 + 0.0090 W_{opt}$$

로서 標準偏差 $\delta = \pm 0.042$, 相關係數 $r = 0.92$ 이고, 相關係數의 有意性에 對한 檢定은 다음과 같다.

$$t = r \sqrt{\frac{n-2}{1-r^2}} = 34.0 > t_{\infty, 0.01} = 2.576$$

으로 매우 有意의이며, 또 이의 信賴限度는 $Z \pm 2.58\delta$ 로서 $0.902 \sim 0.935$ 이다. (n : 標本數) 故로 Y_{dmax} 는 式에서

$$Y_{dmax} = \frac{1}{0.0090 W_{opt} + 0.417} \dots\dots\dots(2)$$

이다. 또 南部地方에 對해서는

$$1/Y_{dmax} = 0.412 + 0.0088 W_{opt}$$

로서 $\delta = 0.083$, $r = 0.89$ 이며. $t = 24.0 > 2.576$ 으로 매우 有意의이며 信賴限度는 $0.840 \sim 0.925$ 이다.

故로 Y_{dmax} 는 式에서

$$Y_{dmax} = \frac{1}{0.0088 W_{opt} + 0.412} \dots\dots\dots(3)$$

이같이 나타낼 수 있으며, 같은 安山岩地帶인 東部地方의 推定式과 比較해 보면 數值上으로는 거의 비슷함을 알 수 있다. 그리고 比較를 위해서 花崗岩地帶인 中部地方에서 推定한 式을 다음에 表示한다.

$$Y_{dmax} = \frac{1}{0.0112 W_{opt} + 0.383} \dots\dots\dots(4)$$

$$(\delta = \pm 0.052 \quad r = 0.97)$$

나) 最適含水比와 自然含水比의 相關性

最適含水比 W_{opt} 와 自然含水比 W_N 의 關係를 普通 Graph 紙에 縱軸을 最適含水比, 橫軸을 自然含水比로 하여 全 試料에 對하여 地方別로 plot 하면 그림 3, 그림 4에서와 같이 大略 直線의인 相關性을 지니고 있음을 알 수 있다.

이는 一般式

$$W_{opt} = A + BW_N \dots\dots\dots(5)$$

로 나타낼 수 있으며 이를 가) 에서와 같이 最少自

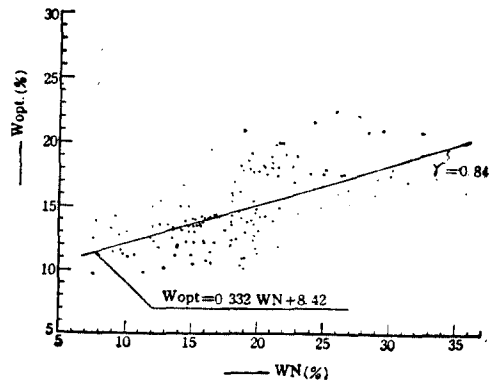


그림 3. 東部地方의 W_N 과 W_{opt} 의 상관성도

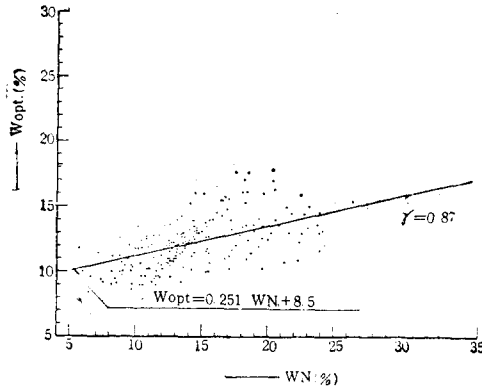


그림 4. 南部地方의 W_N 과 W_{opt} 의 상관성도

乘法으로 整理하면 다음과 같다.

東部地方에 對해서 計算하면

$$W_{opt} = 8.5 + 0.251 W_N \dots\dots\dots(6)$$

이며, $\delta = \pm 2.41$, $r = 0.87$ 이다. 相關係數의 有意性은 $t = 26$ 은 > 2.576 으로서 매우 有意의이며 信賴限度는 0.854~0.883이다.

또 南部地方에서는

$$W_{opt} = 8.42 + 0.332 W_N \dots\dots\dots(7)$$

이고, $\delta = \pm 3.41$, $r = 0.84$ 로서 相關係數의 有意性은 $t = 19.3 > 2.576$ 으로서 매우 有意的이며, 信賴限度는 0.811~0.864 이다.

上記 (6), (7)式은 같은 頁岩地帶에 對하여 推定한 式이지만 이 두式사이에는 相當한 差異가 있으므로 東部와 南部地方의 γ_{dmax} 推定式은 거의 비슷하지마는 別途로 합이 더욱 타당하다고 사료된다.

또 우리나라 中部地方에서는 다음과 같다²⁾.

$$W_{opt} = 2.606 + 0.758 W_N \dots\dots\dots(8)$$

$$(\delta = \pm 4.72, r = 0.79)$$

따라서 結論的으로 頁岩地帶인 東部 및 南部 그리고 花崗岩地帶인 中部地方의 最適含水比는 式 (6), (7), (8)式에 依하여 적은 試料로 簡單히 自然含水比만 測定하므로써 最適含水比를 推定할 수 있고 다시 이들을 式 (2), (3), (4)式에 代入하면 쉽게 最大乾燥密度를 推定할 수 있을 것으로 判斷된다.

參 考

- 1) 李正典著: 最大乾燥密度와 最適含水比에 對해서 大韓土木學會誌 16권 2호 p. 74~78
- 2) 酒井左武郎, 佐藤悟 著: 土의 最大乾燥密度 おとび 最適含水比의 簡略決定法에 關する一試み, 土と基礎 Vol. 5 No.2. p. 30~33
- 3) 森滿雄著: 土의 最大乾燥密度と最適含水比について, 土と基礎 Vol. 10. No. 9 p. 12~16.
- 4) D.T. Davidson and W.P. Gariner: Calculation

IV. 結 論

1. 우리나라 흙의 最大乾燥密度 γ_{dmax} 와 最適含水比 W_{opt} 사이에는 아주 깊은 相關性이 있으며 이를 頁岩地帶와 花崗岩地帶로 나누어 보면 다음과 같은 關係式이 成立함을 알 수 있다.

頁岩地帶

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{東部地方: } \gamma_{dmax} = \frac{1}{0.0090W_{opt} + 0.417} \quad (2) \\ (\delta = \pm 0.042, r = 0.92) \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{南部地方: } \gamma_{dmax} = \frac{1}{0.0088W_{opt} + 0.412} \quad (3) \\ (\delta = \pm 0.083, r = 0.89) \end{array} \right.$$

花崗岩地帶(中部地方)

$$\gamma_{dmax} = \frac{1}{0.0112W_{opt} + 0.383} \quad (4)$$

$$(\delta = \pm 0.052, r = 0.97)$$

2. 地下 1.5m~2.0m 깊이에서 採取한 試料의 自然含水比 W_N 과 最適含水比 W_{opt} 사이에는 大略的으로 다음과 같은 關係式이 基盤岩에 따른 地帶別로 成立됨을 알았다.

頁岩地帶

$$\text{東部地方: } \omega_{opt} = 0.251 W_N + 8.5 \quad (6)$$

$$(\delta = \pm 2.41\%, r = 0.87)$$

$$\text{南部地方: } \omega_{opt} = 0.332 W_N + 8.42 \quad (7)$$

$$(\delta = \pm 3.41\%, r = 0.84)$$

花崗岩地帶(中部地方)

$$\omega_{opt} = 0.758 W_N + 2.606 \quad (8)$$

$$(\delta = \pm 4.72\%, r = 0.79)$$

3. 따라서 이와 같은 흙에 對해서는 式 (6), (7), (8)에서 自然含水比 W_N 만으로써 最適含水比 W_{opt} 를 大略的으로, 또 이 最適含水比 W_{opt} 를 式 (2), (3), (4)式에 代入하여 最大乾燥密度 γ_{dmax} 를 推定할 수 있을 것이다.

以上은 頁岩地帶인 東部, 南部地方으로 나누어서 흙의 最大乾燥密度 및 最適含水比의 推定式에 對하여 論하였는바 이는 地域을 좀더 細分히(可能하다면 道單位 또는 郡單位) 研究하면 훨씬 實用的이라고 기대 되는 바 繼續 研究하고자 한다.

文 獻

- Standard Proctor Density and Optimum Moisture Content from Mechanical Analysis, Shrinkage Factors and Plasticity Index, Proc. H.R.B. Vol. 29 p. 477~481
- 5) 三木五三郎 山内豊聰 著: 土質安定の理論と實際 p. 52~66
- 6) 土質工學會編: 土質試驗法 p. 120~157
- 7) 鄭英鎮著: 近代統計學의 理論과 實際 p. 181~192