

# 흙의 다짐에 관한 研究 (第 1 報)

〈粒度分布가 다짐에 미치는 影響〉

Study on the Soil Compaction (Part 1)

—The Influence of Grain Size Distribution on Soil Compaction—

姜	久	默	趙	成	變
Y.	M.	Kang	S.	S.	Cho
金	成	完			
S.	W.	Kim			

## Summary

It is one of the most economical method of soil stabilization works to compact soil, which increases soil density artificially.

Compaction effort is to lessen void of soils, and consequently its aim is to enlarge friction and cohesion force, and reduce permeability of soils. Factors in compaction effort are moisture content, grain size, grain size distribution, physical properties, compaction method and temperature of soils etc.

The results obtained in this study on the effects that grain size, gradation and physical properties influence upon compaction effort for 20 samples under the constant compaction method, are summarized as follows:

1. The bigger the maximum dry density is, the smaller the optimum moisture content is, on the other hand, the smaller the maximum dry density is, the bigger the optimum moisture content is, in general.

2. The coarser the grain size is, the bigger the maximum dry density is, and the optimum moisture content becomes small, and dry density-moisture content curve has the sharp peak, generally. Also, the finer the grain size is the smaller the maximum dry density is, and the optimum moisture content shows the big value, and dry density-moisture content curve has the dull peak.

3. The maximum dry density shows the biggest value on the sample to be about 15% of particles finer than No. 200 sieve.

The more the percent passing of No. 10 sieve increase, the smaller the maximum dry density is. Soils which have uniformity coefficient less than 5 in particles larger than 0.074mm hardly show dry density-moisture content curve.

4. There is a relation which is  $r_{max} = 2.3948 - 0.0376 W_{opt}$  between the maximum dry density and the optimum moisture content, namely, the maximum dry density is increased in proportion to decrease of the optimum moisture content.

5. There are relations to be the straight lines which the maximum dry density decrease, on the other hand, the optimum moisture content increase in accordance with enlargement of Atterberg Limit (LL, PL, PI) in compacted soils.

## I. 緒 論

築堤, 河川堤防, Earth Dam, 道路等を 施工하는 데에는 흙이 重要な 材料라 할 수 있다.

含水量을 適切히 調節하여 흙을 다지면 그의 強度가 增加하고 安定을 維持한다는 것은 有史時代以前부터 알고 있었던 것으로 生覺된다. 따라서 흙의 다짐은 現在까지도 또는 將來에도 가장 實用的이고 經濟的인 土質改良의 한 方法으로 生覺된다. 흙을 다지면 土粒子사이의 間隙을 작게하고 흙의 摩擦力과 粘着力을 增加시키며 또 물에 對한 感受性을 작게한다. 따라서 흙을 다지는 目的은 築堤, 河川堤防, Earth Dam等에서는 透水性을 制限하고 沈下를 防止하며 斜面의 安定을 維持하는데 있다. 또 道路나 滑走路에서는 支持力을 增大시키고 容積變化를 작게하며 沈下와 凍上을 防止할 수가 있다.

※ 忠南大學校 農科大學

이러한 흙의 다짐에 관한 문제가 工學的 研究의 對象이 되어서 世界各國에서 共通의 體系를 갖추어 論議되기 始作한 것은 1933년에 R. R. Proctor<sup>(19)</sup> (21) (27)가 論文을 發表한 때부터 었다. 우리나라에서는 1964년에 K. S. F. 2312로서 흙의 다짐에 관한 規定이 만들어졌다.

世界的으로 흙의 다짐에 관한 體系的인 研究의 歷史는 짧고 또 中間은 經濟性을 無視한 軍事目的으로 여러가지 다짐 技術이 大戰中 道路 및 飛行場의 滑走路等에 適用되어 왔다. 우리나라에서 흙의 다짐에 관한 認識이 높아진 것은 國家重大 事業의 一環으로 實施하고 있는 高速道路의 建設이라고 生覺된다.

土質工學의 모든 問題에서와 마찬가지로 흙의 다짐 效果는 흙의 狀態 種類等에 依하여 크게 影響되고 또 같은 種類의 흙이라도 그의 含水狀態에 따라서 物理的 및 工學的的特性이 전혀 달라진다. 室內試驗에 있어서 흙의 最大乾燥密度와 最適含水比는 흙을 다지는 裝置와 方法 그리고 다짐 일의 量에 依해서 달라진다.

本試驗에 使用한 다짐裝置는 127.62cm<sup>3</sup>의 容積을 갖는 작은 mold에서 Compaction Energy로 12375 (ft-lb/ft<sup>3</sup>)로 調節하였다.

## II. 研究史

흙의 다짐에 관한 問題가 共通의 體系下에서 論議된 것은 1933年 R. R. Proctor가 그의 論文을 發表한 以後부터라고 하였다. 人類가 實際의 工事に 흙의 다짐에 適用한 것은 이보다 앞서 18世紀末期에 歐洲의 地中海地方에서 Earth Dam 施工時에 흙을 다짐 目的으로 100餘匹의 牛, 山羊, 羊等을 動員한 記錄이 있다.

이러 흙의 다짐은 道路의 施工에까지 適用되기 始作하여 18世紀 末期부터 19世紀 初期에 平滑胴 Roller의 開發이 된 것으로 알려지고 있다<sup>(11)</sup>. 其後19世紀에 들어와서는 世界各國에서 흙의 다짐에 關하여 現場 및 實驗室에서 土質工學의 다른 問題보다는 많은 研究가 이루어져서 巨大한 Earth Dam이 充分한 信賴性을 가지고 安定하게 築造되었고 또 重交通의 道路 및 飛行場의 滑走路 및 軍事目的에 適用되었다.

다짐試驗에 關한 最初의 文獻으로는 1929년에 美國의 California Division of Highway에서 흙을 다지는 方法과 裝置를 만들어 試驗한 記錄이 있고<sup>(21)</sup> (28) 이 方法과 裝置는 同年 8월에 標準方法으로 採擇되어 別다른 修正이 加해지지 않았으며 오늘날까지도 使

用되고 있다. 여기에서 考案한 裝置는 지름 3in의 Cylinder, Rammer의 重量 10lb 打擊面의 지름 2in 落下高 18in를 使用했다. 其後 1933年 8월에 R. R. Proctor<sup>(17)</sup>에 依하여 Earth Dam 築造를 爲하여 다짐 試驗方法이 發表되었다. Proctor가 考案한 것은 지름 4in 높이 5in(vol=0,0364 or 1/275Cuft)의 mold에 打擊面의 지름이 2in인 5.5lb Rammer로서 12in 높이에서 3層의 흙을 各各 25回씩 다지게 되어있다.

其後 여러곳에서 다짐試驗에 關하여 層數, Mold의 크기 Compaction Effort等을 變更하면서 研究하여 中間中 AASHO(American Association of State Highway Officials)에 依하여 1938년에 AASHO Designation : T99-38이 標準化되었고 또 ASTM(American Society for Testing material)에 依하여1942년에 ASTM Designation : D 698-42T로서 標準化되었다.

其後 世界 第二次大戰前에 美工兵隊에서는 飛行場을 築造하는데 California Bearing Ratio를 測定하기 爲하여 試片을 準備하는데 使用하는 Modified AASHO 다짐方法을 考案하게 되었다<sup>(8)</sup>. 이 方法은 지름 6in Mold, 다짐試料의 높이 5in, 5層의 흙에 各層마다 18in의 높이에서 10lb Rammer로 55回 다지도록 되어 있다. (Compaction Effort=56250 ft-lb/ft<sup>3</sup>). Zeigler<sup>(26)</sup>는 1948년에 最大乾燥密度와 最適含水比의 mold크기에 따른 影響을 決定하기 爲하여 4in mold(Compaction Effort 12,375 ft-lb/ft<sup>3</sup>)와 6in mold(Compaction Effort 11,912 ft-lb/ft<sup>3</sup>)에 흙과 자갈을 여러가지 比率로 混合하여 다진 結果 4in mold에서 약간 큰 最大乾燥密度를 나타냈고 試料에서는 30%의 Gravel을 含有한 것이 현저히 큰 값을 나타냈다. 美工兵隊에서도<sup>(23)</sup> (29) 1950년에 3個의 크기가 各各 다른 mold에 5가지의 試料를 Compaction Effort를 一定하게 하여 試驗한 結果 mold가 작은便이 약간 乾燥密度가 큰 傾向을 나타냈다. Proctor<sup>(18)</sup>는 1948년에 1/20 Cuft mold와 1/30 Cuft mold를 使用하여 落下高를 調節하므로서 Compaction Effort를 一定하게 維持하면서 다짐試驗을 한 結果 1/30 Cuft mold에서 더욱 큰 最大乾燥密度를 얻었고 Tamez<sup>(22)</sup>도 13個의 試料에 對하여 試驗하고 mold의 크기가 작으면 乾燥密度는 큰 값이 나타났다고 發表했다.

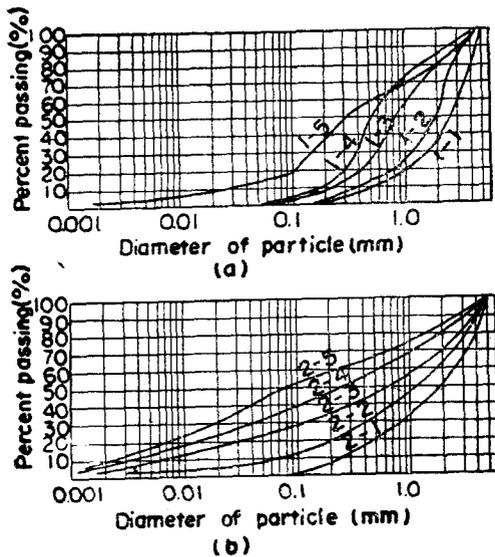
Fukuoka, M<sup>(6)</sup>(1957)은 자갈 모래 loam 粘土를 混合하여 粒度分布가 Talbot式으로 나타나는 各種 混合物을 만들고 同一한 方法으로 다진 경우의 最大乾燥密度와 最適含水比가 Talbot式의 指數 n에 依하여 變하는 關係를 發表하였다.

G. W. Ring<sup>(20)</sup>은 흙의 Consistency에 關한 것과 粒度分析에 있어서 0.01mm以下の 粒徑 D<sub>10</sub>~D<sub>90</sub> 範

圖의 粒度의 型等を 考慮하고 이들 各因子와 最大乾燥密度 最適含水比와의 相互關係를 求했다.

森滿雄<sup>(12)</sup>(1962)는 380個의 試料에 對하여 다짐試驗을 하고 最大乾燥密度와 最適含水比와의 相互關係를 調査하여 直線的인 關係式을 求하고 또 最大濕潤密度로부터 最適含水比와 最大乾燥密度를 推定하는 方法을 考案하였다.

L. Gspár<sup>(6)</sup>(1963)는 150種의 항가리 흙에 對하여 實施한 修正 Proctor 다짐試驗에서 얻은 結果와 LL, PL와의 相關性을 圖表로서 나타냈으며 Moh Said Youset<sup>(13)</sup>(1963)는 土粒子의 比重과 粒度曲線으로부터 推定한 Factor  $C_2$ 를 使用하여 最大乾燥密度와 最適含水比의 關係를 明確히 하는 實驗式을 提案하였다.



B. B. Gordno<sup>(7)</sup>(1964)은 California Orville Dam의 不透性 Core에 使用한 岩混入土에 對하여 다짐試驗을 하고 岩의 含有率이 낮은 흙에서  $1\frac{1}{2}$  in 以下の 部分으로 되는 흙의 密度는 理論計算으로 求한 密度와 거의 一致하고 있음을 發表하였다.

宇田<sup>(14)</sup>(1966)는 다짐試驗에 있어서 mold의 크기 에 따르는 試料의 最大制限粒徑을 試驗으로 求했고 安田<sup>(25)</sup>(1968)도 大型다짐試驗裝置를 使用하여 供試土 含有率分의 最大粒徑을 크게하여 試驗하고 小型(JIS)의 試驗과 相互關係를 求했다.

Shri B. N. Chatterjee<sup>(1)</sup>(1963)는 다짐 Energy에 關하여 含水比의 狀態를 適當히 調節하므로써 加해지는 Compaction Energy의 效果가 最大限으로 發揮되는 것을 熱力學的考察을 基礎로하여 表示하고 여러

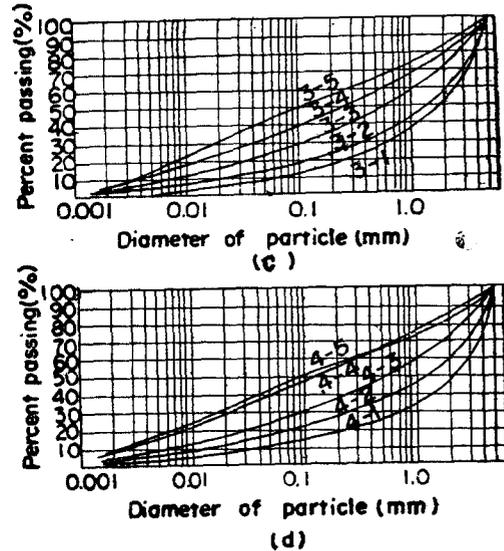


그림 1 粒度曲線

가지 粒度에 對한 室內試驗을 하였고 그의 正當性을 確認하였다.

### III. 研究內容

#### 1. 使用材料

試料는 No. 4 (5mm)체 通過分을 粒度別로 20種類를 製作하여 使用하였고 粒度分析試驗結果는 그림 1과 같다.

#### 2. 試驗方法

다짐試驗用 mold는 Davidson<sup>(2)</sup>, Tamez<sup>(22)</sup>, Myslivel<sup>(15)</sup> 등이 使用한 方法을 適用해서 內容積 127.62 cm<sup>3</sup>로 하고 Rammer의 重量은 984g, 落下高 26.13cm로 하여 3層 10회씩 다짐으로서 Compaction Energy는 12375ft-lb/ft<sup>3</sup>로 製作하여 使用하였다.

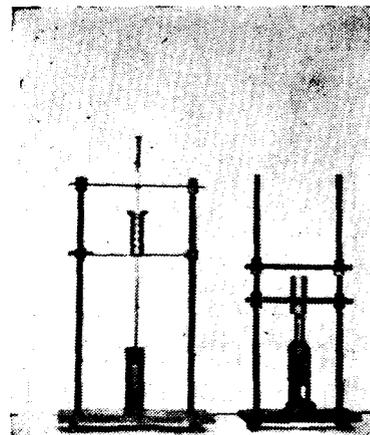


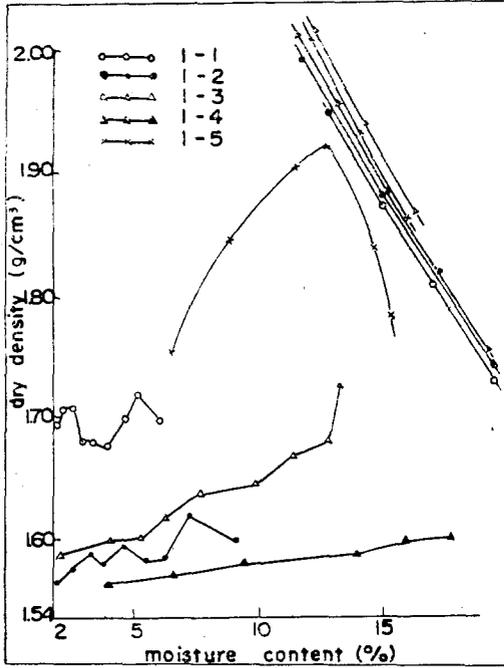
그림 2 다짐試驗裝置와 試料抽出器

3. 試驗結果

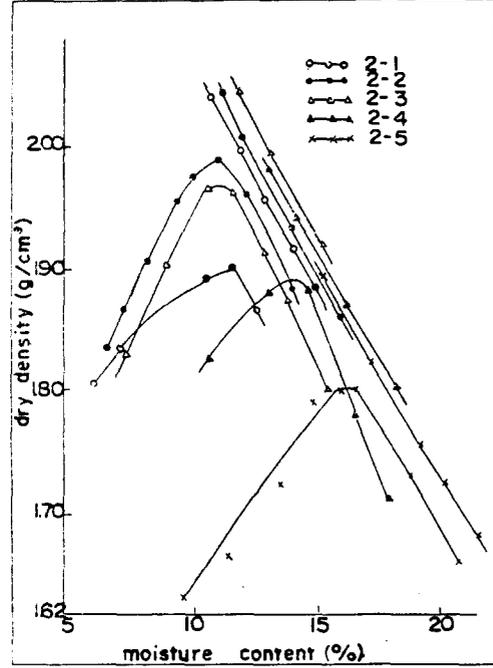
本試驗에서 測定한 各 料의 乾燥密度—含水比 曲

線은 그림 3과 같다.

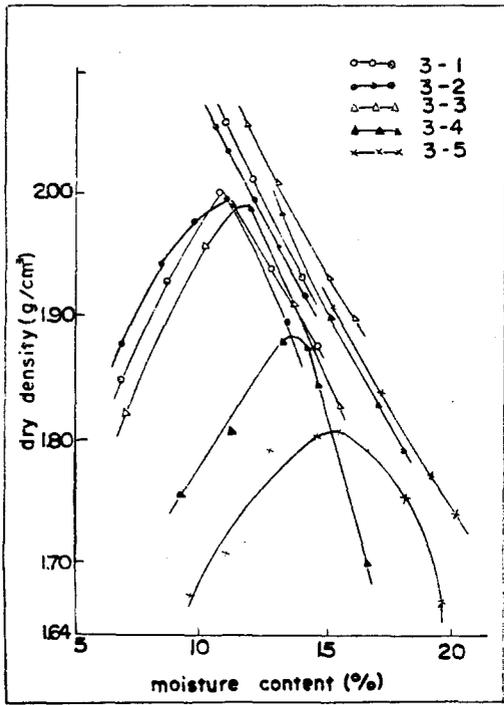
試料의 粒度 Atterberg 限界等과 最大乾燥密度 및



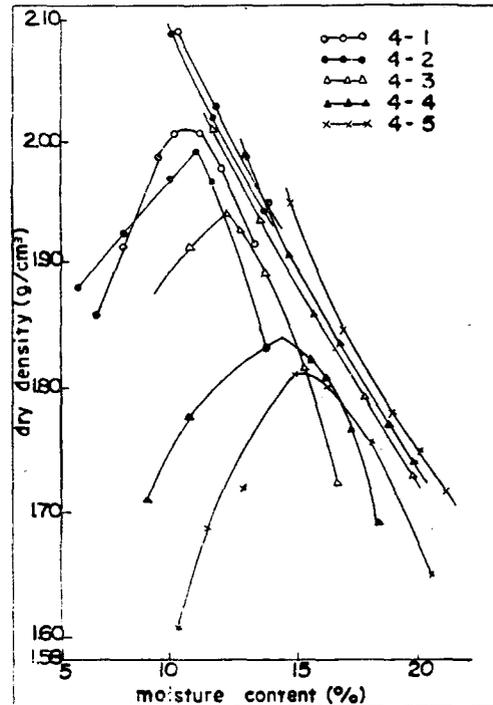
(a)



(b)



(c)



(d)

그림 3 各試料의 乾燥密度—含水比 曲線

丑 1

試 料 結 果

試料 番 號	比 重 (Gs)	粒 度 分 析				Afferberg 限 界			No. 200 체 過 率 (%)	No. 10 체 過 率 (%)	均 等 係 數	다 じ 驗 試 驗	
		粒 土 (%)	Silt (%)	모래 (%)	자갈 (%)	LL (%)	PL (%)	PI (%)				最 適 含 水 比 (%)	最 大 乾 燥 密 度 (g/cm <sup>3</sup> )
1-1	2.6126	0	0	37	63	—	—	—	0	37	5.1	—	—
1-2	2.6260	0	0	55	45	—	—	—	0	55	4.1	—	—
1-3	2.6614	0	0	81	19	—	—	—	0	81	3.7	—	—
1-4	2.6214	0	0	84	16	—	—	—	0	84	3.6	—	—
1-5	2.6478	4	10	66	20	17.2	—	—	17	80	30.0	12.7	1,920
2-1	2.6174	0	0	51	49	—	—	—	1	51	9.0	11.6	1,902
2-2	2.6412	4	6	53	37	24.2	22.14	2.06	11	63	27.4	11.0	1,982
2-3	2.6864	10	14	46	30	28.0	23.65	4.35	27	70	198.3	11.0	1,968
2-4	2.6662	14	20	46	20	31.8	26.09	5.71	38	80	218.5	14.0	1,894
2-5	2.6395	17	25	42	16	33.2	24.02	9.18	50	84	86.9	16.0	1,808
3-1	2.6346	2	7	43	48	23.5	21.70	1.80	11	52	40.0	10.7	1,994
3-2	2.6043	6	8	44	42	25.2	22.13	3.07	17	58	125.2	10.8	1,992
3-3	2.6687	11	13	49	27	29.5	22.47	7.03	28	73	183.3	11.5	1,972
3-4	2.6442	14	20	46	20	31.6	24.97	6.63	38	80	178.0	13.6	1,882
3-5	2.6514	15	27	39	19	29.8	24.52	5.28	47	81	109.3	15.5	1,806
4-1	2.6636	4	8	34	54	27.3	21.40	5.90	14	46	100.0	10.8	2,012
4-2	2.6550	5	11	45	39	28.3	24.39	3.91	19	61	133.3	11.2	1,989
4-3	2.6436	8	16	49	27	32.0	22.31	9.67	28	73	142.8	12.3	1,940
4-4	2.6611	16	23	49	12	34.0	26.03	7.97	46	88	148.5	14.3	1,842
4-5	2.6778	19	23	42	16	36.2	24.14	12.06	48	84	127.7	15.3	1,812

最適含水比와의 相關性을 알아보기 爲하여 試驗結果를 要約하면 표 1과 같다.

IV. 試驗結果의 考察

1. 乾燥密度와 含水比와의 關係

本試驗에서는 20種類의 粒度가 다른 試料에 對한 다짐試驗을 한 것으로서 그림 3(a)에서 보는 바와 같이 均等係數가 5以下이면서 Binder(0.074mm以下)를 包含하지 않은 試料(1-1, 1-2, 1-3)에서는 試驗中 mold와 底板사이로 水分이 滲出되어서 乾燥密度-含水比曲線이 잘 나타나지 않는다<sup>(3)</sup>.

乾燥密度-含水比曲線을 觀察할 때 粗粒度의 含有量이 많으면 最大乾燥密度는 큰 값을 나타내고 最適含水比는 작은 값을 나타내며 逆으로 細粒土 含有量

이 많으면 乾燥密度는 작은 값을 나타내고 最適含水比는 큰 값을 나타내며 曲線은 平擔하게 된다<sup>(1)(2)</sup>.

그림 3(b)에서 試料 2-1은 다른 試料보다 粗粒土를 많이 含有하고 있으나 乾燥密度는 작은 現象을 나타내고 있다. 이것은 No. 200체(0.074mm) 通過率이 1%로서 가장 작는데 原因이 있는 것으로 生覺된다<sup>(3)</sup>. 따라서 最大乾燥密度가 가장 큰 값을 나타내는 粒度配合는 粗粒質의 흙에서 Binder(No. 200체 通過分) 含有量이 15-20%인것으로 生覺된다.

2. 最大乾燥密度와 最適含水比의 關係

最大乾燥密度와 最適 含水比의 相關係數는  $r = -0.9697$ 로서 높은 相關關係를 나타내고 있다. 即 含水比가 增加함에 따라 最大乾燥密度는 減少하며<sup>(1)(2)</sup> 直線的인 關係가 나타나고 있으므로<sup>(3)</sup> 回歸直線으

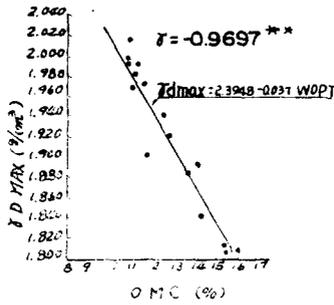


그림 4. rdmax와 OMC 의關係

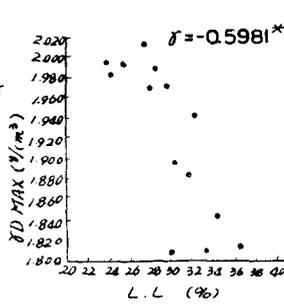


그림 5. rdmax와 LL 의關係

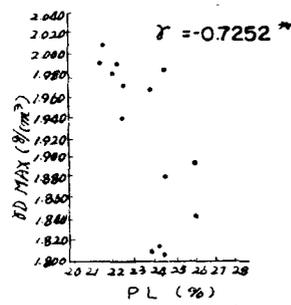


그림 6. rdmax와 PL 의關係

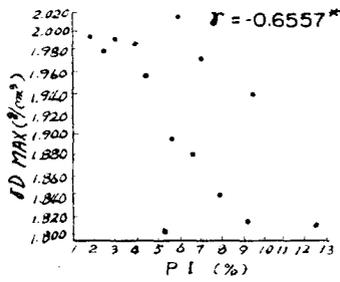


그림 7. rdmax와 PI 의關係

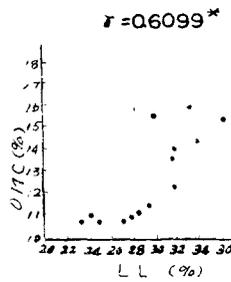


그림 8. OMC와 LL 의關係

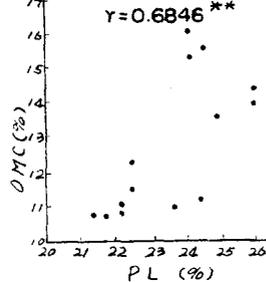


그림 9. OMC와 PL 의關係

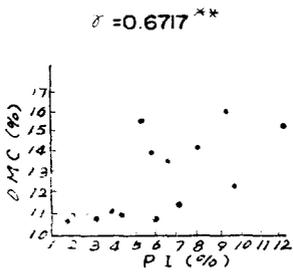


그림 10. OMC와 PI 의關係

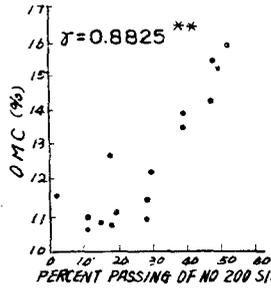


그림 11. OMC와 NO.200 SIEVE 通過率과의關係

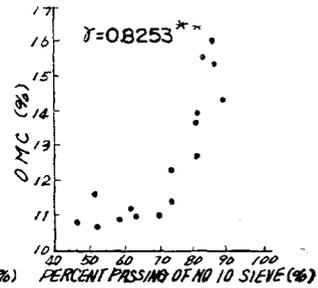


그림 12. OMC와 NO.10 SIEVE 通過率과의關係

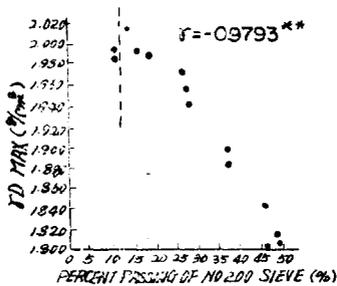


그림 13. rdmax와 NO.200 SIEVE 通過率과의關係

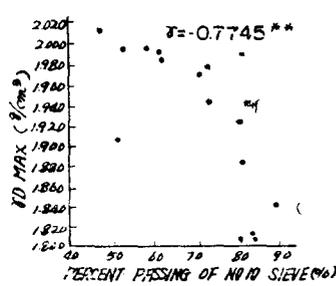


그림 14. rdmax와 NO.10 SIEVE 通過率과의關係

로 關係式을 求해 보면  $\gamma_{dmax}=2.3948-0.0376W_{opt}$ . 가 된다.

### 3. 最大乾燥密度와 Atterberg限界(LL, PL, PI)와의 關係

그림 5-7에서 보는바와 같이 最大乾燥密度와 液性限界는  $\gamma=-0.5981$ , 最大乾燥密度와 塑性限界는  $\gamma=-0.7252$ , 最大乾燥密度와 塑性指數는  $\gamma=-0.6557$ 의 相關係數가 나타났다. 即 最大乾燥密度는 Atterberg限界와는 直線的인 相關關係를 가지고 있으며<sup>(19)</sup> Atterberg限界가 增加함에 따라 最大乾燥密度는 減少하는 結果가 나타났다.

### 4. 最適含水比와 Atterberg限界(LL, PL, PI)와의 關係

最適含水比와 液性限界는  $\gamma=0.6099$ ; 最適含水比와 塑性限界는  $\gamma=0.6846$ ; 最適含水比와 塑性指數는  $\gamma=0.6717$ 의 相關係數를 나타내고 있다. 即 그림 8~10에 表示한바와 같이 Atterberg 限界가 增加함에 따라 最適含水比도 增加하는 結果를 나타내고 있다. Gearge, W. Ring 에 依하면 이들 Atterberg 限界와 最適含水比는 直線的인 相關關係가 있다고 發表하였다<sup>(19)</sup>.

### 5. 最適含水比와 粒度와의 關係

最適含水比와 No.200체 通過率과의 相關係數는  $\gamma=0.8825$ ; 最適含水比와 No.10체 通過率과의 相關係數는  $\gamma=0.8253$ 을 나타내고 있으며 그림 11-12에서 보는바와 같이 No.200체 通過率이 15% 前後에서 最適含水比는 最少로 되고 No.10체 通過率은 50% 前後에서 最適含水比가 最少로 되어서 11% 内外가 될 을 알수 있다.

### 6. 最大乾燥密度와 粒度와의 關係

最大乾燥密度와 No.200체 通過率과의 關係는 miller E. A. 에 依하면 No.200체 通過率이 25% 前後에서 最大乾燥密度가 最大로 되고 最適含水比는 最少로 된다<sup>(16)(19)</sup>고 하였으나 本試料에서는 No.200체 通過率이 15% 前後에서 最大乾燥密度는 最大로 되고 最適含水比는 最少로 되었다. 또 最大乾燥密度는 No.10체 通過率이 50% 前後에서 最大로 되었고 이때의 最適含水比는 가장 작은 값이 나타났다.

## V. 結 論

흙의 粒度分布가 다짐에 미치는 要素에 對하여는 아직도 疑問點이 많이 남아 있으나, 第2報 및 第3報에서 究明하기로 하고 本試驗에서 얻은 結果만을 要約하면 다음과 같다.

1. 一般的으로 最大乾燥密度의 값이 큰 흙일수록 最適含水比의 값은 작고 最大乾燥密度의 값이 작은

흙일수록 最適含水比는 큰 값이 나타난다.

2. 一般的으로 흙의 粒度가 粗粒일수록 最大乾燥密度는 크고 最適含水比는 작으며 乾燥密度-含水比 曲線은 Peak가 銳敏하다. 또 細粒일수록 最大乾燥密度는 작고 最適含水比는 큰 값을 나타내며 Peak가 緩한 乾燥密度含水比 曲線으로 된다.

3. 本試料에서는 200番체(0.074mm) 通過率이 15% 前後에서 最大乾燥密度가 가장 큰 값을 나타냈고 最適含水比는 가장 작은 값을 나타냈다. 또 200番체 通過分을 全然 包含하지 않은 흙에서 均等係數가 5 以下인 흙은 乾燥密度-含水比 曲線이 잘 나타나지 않았다.

4. 最大乾燥密度와 最適含水比는  $\gamma_{dmax}=2.3948-0.0376W_{opt}$ 의 直線的인 關係가 나타났다. 即 最適含水比가 增加함에 따라 最大乾燥密度는 減少한다.

5. Atterberg限界(LL, PL, PI)가 增加함에 따라 最大乾燥密度는 減少하고, 最適含水比는 增加하는 直線的인 關係가 있다.

## 參 考 文 獻

1. Chattejee, S. B. N. and S. R. L. Dew an(1963) Economical Aspect of Compaction in the Construction of Earth Dams and Embankments. Proc. of the 2nd A. R. C. Vol. 1, pp. 269-275.
2. Davidson, D. T. and B. W. Bruns, (1960), Comparison of Type 1 and Type 2 Portland Cements for Soil Stabilization. H. R. B. Bull. 267, Washington.
3. 谷藤正三(1961) 應用土質試驗とその解説 pp. 73-74 理工圖書株式會社
4. 土質工學會(1964) 土質試驗法 pp. 146 技報堂
5. Fukuoka, M. (1957), Testing of Gravelly Soils with Large Scale Appartus. Proc. 4th Int. Conf. Soil Mech. and Found. Eng, London.
6. Gáspár, L. (1963), Verdichtungsdaten der Böden von Ungarn. Proc. Int. Soil Mech. and Found. Engrg. Budapest PP. 139-143.
7. Gordon, B. B. W. D. Hammond, and R. K. Millers (1964), Effect of Rock Content on Compaction Characteristics of Clayey Gravel. ASTM. Special Publ. Vol. 377, pp. 31-46.
8. Johnson, A. W. and J. R. Saliberg (1962), Factors Influencing Compaction Test Results. HRB. Bull. 319. pp. 1.
9. Johnson, A. W. and J. R. Saliberg (1962), Factors Influencing Compaction Test Results. HRB. Bull.

- 319 pp. 21.
10. 河上房義(1956) 土質力学 pp.183-191
  11. 久野悟即(1962) 土の締固め pp.3
  12. 森満雄(1962) 土の最大乾燥密度と最適含水比について 土と基礎 Vol.10 No.9 pp.12-16
  13. Moh. Said Yousef (1963), Determination of Optimum Moisture Content and the Corresponding Maximum Dry Density from the Grain Size Curve of the Soil. Proc. of the 2nd A. R. C. Vol. 1, pp.32-38.
  14. 守田祐吉(1966) 突固め試験における試料の最大制限粒径について 土と基礎 Vol.14 No.9 pp.26-28
  15. Myslivec, A. (1957), The Degree of Compaction of Soil According to the Proctor and Dornii Tests Proc. 4th Int. Conf. on Soil Mech. and Found. Eng. London 2:338-340.
  16. Miller, E. A. and Sowers, G. F. (1957), The Strength Characteristics of Soil Aggregate Mixtures. HRB. Bull. 183, pp.16-23.
  17. Proctor, R. R. (1933), Fundamental Principles of Soil Compaction. Engineering News Record, 111: Nos. 9, 10, 12, and 13.
  18. Proctor, R. R. (1948), Laboratory Soil Compaction Methods, Penetration Resistance Measurement, and Indicated Saturated Penetration Resistance. Proc. 2nd International Conf. on Soil Mech. and Found. Eng. Rotterdam, 5: 254-247.
  19. Ring G. W., J. R. Sallberg and W. H. Collins (1962), Correlation of Compaction and Classification Test Data. HRB. Bull. 325, pp.65.
  20. Ring, G. W. and J. R. Sallberg, W. H. Collins (1962), Correlation of Compaction and Classification Data. H. R. B. Bull. 325, pp.55-75.
  21. Stanton, T. E. (1938), Highway Fill Studies and Soil Stabilization. California Highways and Public Works. Vol. 16.
  22. Tamez, E. (1957), Some Factors Affecting the Dynamic Compaction Test. ASTM, Special Tech. Publ. 232. pp.54-66.
  23. U. S. Corps of Engineers, (1950), Soil Compaction Investigation; Report No. 5. Miscellaneous Laboratory Tests. U. S. Waterways Exp. Sta., Tech. Hemo. 3-271.
  24. 液邊隆 (1958). 土質調査 および 土質試験法 pp 127
  25. 安田正幸 片岡哲元 (1968), 大型突固め試験装置による突固め 諸要素の 相互関係 (第2報) 第3回土質工学研究発表会 昭和 43年度 発表講演集 土質工学会
  26. Zeigler, E. J. (1948), Effect of Material Retained on the No. 4 Sieve on the Compaction Test of Soils. HRB. Proc., 28: 409-414.