

흙의 다짐에 관한 研究(第 2 報)

—200番세 通過率이 다짐에 미치는 影響—

Study on the Soil Compaction (part II)
The Influence of Passing Percentage of No. 200 Sieve on Soil Compaction

姜 父 默
Yea Mook Kang

Summary

Results of this study on the influence of percent passing of No. 200 sieve on soil compaction are as follows;

1. The higher maximum dry density of soil is, the lower optimum moisture content is. Maximum dry density is highest value and optimum moisture content is the lowest value in twocases that percents of No. 200 sieve are 30% in soils of which percents retained on No. 10 sieve are 5% and 10% respectively.

2. Maximum dry density increases according as uniformity coefficient increase. Maximum dry density is the highest when uniformity coefficient is approximately 300 in soil of which maximum diameter is 4.76mm.

3. Maximum dry density has a tendency to become large according as value of Cu Cainerase. Correlation between maximum dry density and $\log_{10}(CuCa)$ shows straight line.

4. Maximum dry density increases according as n increase and reaches the peak when n equal 0.35 in condition that the index of talbot formula n is less than 0.35 in soil of which maximum diameter is 4.76mm.

5. Maximum dry density has a tendency to increase according as value of Cg

$$\left(Cg = \frac{P_{50}^2}{P_{10} \times P_{200}} \right) \text{ decrease.}$$

I. 緒 論

흙의 다짐에 있어서 흙의 粒度配合은 使用하는 흙의 粒子에 크기를 規則的으로 分配해서 所要의 다짐效果를 얻기 爲하여 實施한다. 콘크리트骨材에서는 어느 制限된 크기의 骨材가 使用되고 있으나 흙에서는 그 變化의 範圍가 넓어서 粗粒으로부터 微細粒까지 包含하고 있는것 即 均等係數가 큰 흙이 다짐效果가 좋다. 그러나 實際의 工事에서는 經濟的인 見地에서 人工的으로 흙을 配合하여 使用하는 것은 困難하다. 따라서 理想的인 配合에 可能한 限가깝게 配合되어 있는 天然材料를 使用하지 않으면 안될 것이다. 흙의 다짐에 있어서 10番세(2mm)에 남은 材料는 굵은 骨材로 考慮하고 이것을 通過하는 材料 即 모래나 silt, 粘土等은 물을 包含하면 mortar로 생각하며 그중 40番세(0.42mm) 通過分은 Binder로 考慮한다.

이들 中에서 굵은 骨材와 굵은 모래의 機能은 높은 強度와! 內部摩擦角을 이끄는데 있고 고은 모래는 굵은모래의 間隙을 메우는 充填材로서 役割을 하며 粘土는 나머지 굵은모래의 間隙을 메워서 空氣容積을 減少시키며 강한 着力을 이끄는 水膜을 形成시킨다. 이와 같이 礫으로부터 粘土까지 모든 크기의 粒子로서 構成되어야만 강한 力學的性質을 發揮하게 된다.

第一報⁽¹⁾에서는 粒度分布가 다짐에 미치는 影響에 對하여 概括的인 實驗을 하고 Atterberg 限界(LL, PL, PI)와 最大乾燥密度 및 最適含水比와의 相關性을 分析하였다. 本報에서는 第一報에서 얻은 結果를 基礎로 하여 10番세 殘留率이 5% 및 10%인 흙에 對하여 200番세 通過率을 5%, 15%, 25%,

35%, 45%, 55%로 변화시켜 그림 1~ 그림 6과 같은 粒度分布를 나타내는 흙에 대하여 다짐試驗을 하고 粒度를 規定하는 여러가지 係數와 最大乾燥密度와의 相關性을 調査하고 回歸直線法에 依하여 關係式을 求하였다.

II. 研究內容

1. 使用材料

試料는 4番체(4.76mm)를 通過시킨 것으로 10番

체 殘留率이 5% 및 10%에 對하여 200番체 通過率을 5%, 15%, 25%, 35%, 45%, 55%로 變化시키면서 10番체와 200番체 사이에 Grading을 그림 1~ 그림 6과 같이 A.B.C의 3個의 型으로 나누어서 36個의 試料를 配合하여 使用했다. 여기에서 使用한 試料는 200番체 通過分은 大田市 三丁洞에서 陶磁器用으로 使用되는 Kaolin 系統의 粘土이고 모래는 大田川 下流에서 採取하였다.

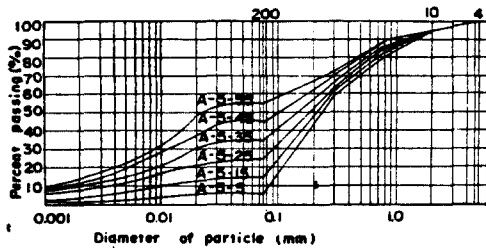


그림 1. 흙의 粒度曲線 (A-5)

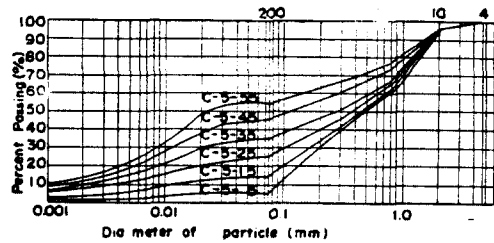


그림 5. 흙의 粒度曲線 (C-5)

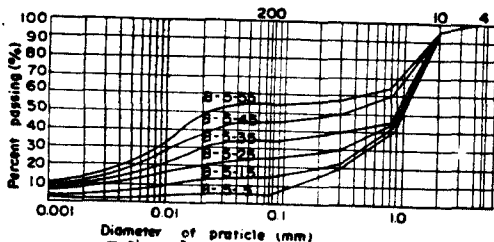


그림 3. 흙의 粒度曲線 (B-5)

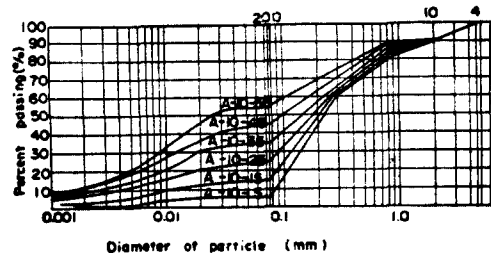


그림 2. 흙의 粒度曲線 (A-10)

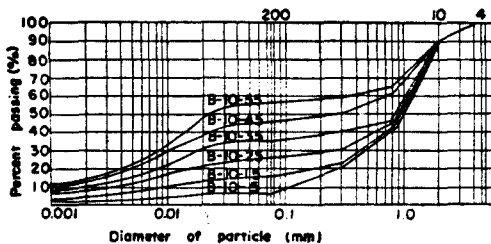


그림 4. 흙의 粒度曲線 (B-10)

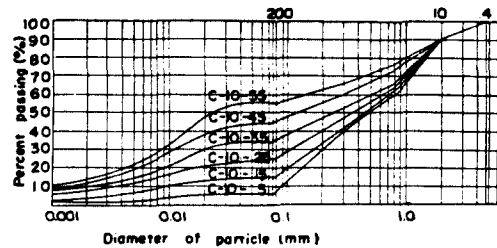


그림 6. 흙의 粒度曲線 (C-10)

2. 試驗方法 및 結果

다짐試驗方法은 第一報에서 使用한 裝置를 그대로 使用하였다. 即 mold의 內容積 127.62cm³ ammer의 重量 984g, 落下高 26.13cm로서 3層

으로 나누어서 10회씩 다지므로서 Compaction Energy는 12375 ft-lb/ft³로 하였다.

本試驗에서 使用한 36個의 試料에 對하여 物理的인 性質 및 다짐試驗結果를 要約하면 표 1과 같다.

試料番號	比重	粒 度 分 析						均等 係數 (Cu)	Atterberg 限界			最大乾燥 密度 (g/cm ³)	最適含 水比 (%)
		No.4 ~ No.10	No.10 ~ No.20	No.20 ~ No.50	No.50 ~ No.100	No.100 ~ No.200	No.200 以下		LL	PL	PI		
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)		(%)	(%)	(%)		
A-5-5	2.631	5	15	20	28	27	5	3.5	—	—	—	1.682	15.2
B-5-5	2.649	5	55	20	7	8	5	9.8	—	—	—	1.836	13.3
C-5-5	2.634	5	35	20	18	17	5	9.3	—	—	—	1.777	14.8
A-10-5	2.656	10	10	20	28	27	5	3.5	—	—	—	1.692	14.2
B-10-5	2.648	10	55	20	7	8	5	9.9	—	—	—	1.841	13.2
C-10-5	2.617	10	30	20	18	17	5	9.3	—	—	—	1.788	14.8
A-5-15	2.684	5	13	20	23	24	15	21.5	18.8	—	—	1.826	12.8
B-5-15	2.614	5	53	20	3	4	15	90.0	18.3	13.8	4.5	1.928	12.5
C-5-15	2.632	5	33	20	14	13	15	59.2	16.9	—	—	1.914	13.0
A-10-15	2.665	10	8	20	23	24	15	21.5	18.0	—	—	1.852	12.9
B-10-15	2.629	10	48	20	3	4	15	90.0	20.6	15.3	5.3	1.921	11.8
C-10-15	2.668	10	28	20	14	13	15	59.2	17.0	—	—	1.933	12.3
A-5-25	2.677	5	11	20	20	19	25	59.0	20.3	16.6	3.7	1.936	12.8
B-5-25	2.637	5	51	14	2	3	25	250.0	26.2	15.7	10.5	1.980	11.0
C-5-25	2.613	5	31	17	11	11	25	145.5	21.0	13.5	7.5	1.970	11.1
A-10-25	2.626	10	6	20	20	19	25	59.0	20.9	16.0	4.9	1.924	12.8
B-10-25	2.625	10	46	14	2	3	25	266.0	27.0	15.1	12.0	1.996	10.8
C-10-25	2.608	10	26	17	11	11	25	145.5	26.5	12.9	13.9	2.009	10.1
A-5-35	2.637	5	9	20	15	16	35	100.0	22.8	13.8	9.0	1.948	12.6
B-5-35	2.620	5	49	6	2	3	35	474.0	30.8	16.8	14.0	1.979	10.9
C-5-35	2.635	5	29	13	9	9	35	226.1	25.0	14.0	11.0	1.970	11.0
A-10-35	2.624	10	4	20	15	16	35	100.0	22.8	14.3	8.5	1.918	12.3
B-10-35	2.613	10	44	6	2	3	35	474.0	33.5	18.1	15.4	1.991	11.0
C-10-35	2.621	10	24	13	9	9	35	226.1	25.2	13.4	11.8	1.964	11.4
A-5-45	2.628	5	7	18	12	13	45	100.0	27.8	15.0	12.8	1.902	12.9
B-5-45	2.632	5	35	10	2	3	45	510.0	38.0	17.5	20.5	1.918	12.7
C-5-45	2.655	5	21	14	8	7	45	200.0	27.5	15.9	11.6	1.914	12.1
A-10-45	2.655	10	2	18	12	13	45	110.0	27.0	15.3	11.7	1.900	13.4
B-10-45	2.625	10	30	10	2	3	45	560.0	35.8	15.3	20.5	1.922	12.9
C-10-45	2.662	10	16	14	8	7	45	200.0	28.0	16.5	11.5	1.930	12.4
A-5-55	2.685	5	7	14	9	10	55	95.5	29.6	13.4	16.2	1.862	14.5
B-5-55	2.631	5	31	6	1	2	55	382.0	36.6	17.4	19.2	1.870	14.3
C-5-55	2.667	5	19	10	6	5	55	127.3	32.2	14.2	18.0	1.873	13.7
A-10-55	2.658	10	2	14	9	10	55	95.5	31.0	15.5	14.5	1.874	14.0
B-10-55	2.640	10	26	6	1	2	55	382.0	37.5	18.5	19.0	1.890	12.7
C-10-55	2.659	10	14	10	6	5	55	127.3	31.0	17.1	13.9	1.874	13.9

III. 結果의 考察

1. 最大乾燥密度와 最適含 : 比와의 關係

最大乾燥密度가 큰 흙일수록 最適含水比는 작아 지는 것은 普遍的으로 알려져 있는 事實이다. (6)(11)

本試驗에서 얻은 結果를 圖示하면 그림 7과 같고 $\gamma = -0.857$ 로서 높은 相關關係를 나타내고 있으며 回歸直線法으로 關係式을 求해 보면 $\gamma_{dmax} = 2.549 - 0.05122w_{opt}$ 가 된다.

2. 最大乾燥密度와 200番제 通過率과의 關係

그림 8에서 보는 바와 같이 10番체 殘留率이 5%인 試料에서는 200番체 通過率이 30% 前後에서 最

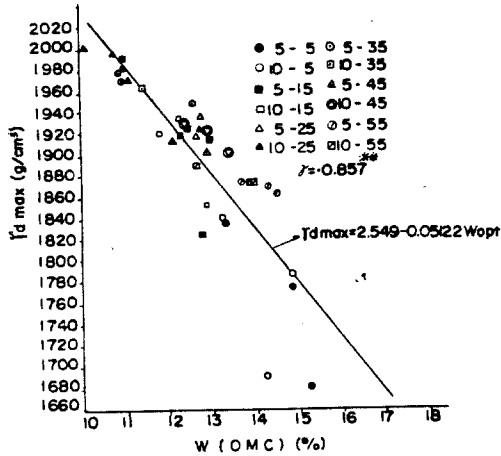


그림 7 最大乾燥密度와 最適含水比의 關係

大密度의 값이 가장 큰 結果를 나타냈고 10番체 殘留率이 10%인 試料에서는 그림 9에 表示된 바와 같이 200番체 通過率이 25%에서 가장 큰 最大乾燥密度를 나타내고 있다.

그림 8과 그림 10. 그리고 그림 9와 그림 11을

各各 比較하여 보면 最大乾燥密度가 가장 큰 200番체 通過率에서 最適含水比는 가장 작은 값을 나타내고 있다. 即 그림 10에서는 200番체 通過率이 30%, 그림 11에서는 25%에서 最適含水比가 가장 작은 값을 나타내고 있다.

Miller⁽¹²⁾의 發表에 依하면 200番체 通過率이 59%인 흙을 Binder 로 使用하여 굵은 骨材에 混合할때 全體重量의 26%에서 最大密度를 나타냈고 이때에 最適含水比는 가장 작았다고 한다. 또 第一報⁽⁶⁾의 試驗 結果 및 yoder⁽¹⁴⁾⁽⁶⁾가 發表한 試驗 結果를 考慮한다면 가장 理想的으로 다져지는 200番체 通過率은 粒度曲線의 型에 따라 다르다고 生覺된다.

yoder의 試驗 結果에 依하면 soil+dune sand의 경우는 200番체 通過率이 40%, soil+coarse aggregate에서는 15%, soil+gravel에서는 8%에서 最大乾燥密度의 값이 가장 큰 結果를 나타냈다.

3. 最大乾燥密度와 굵은骨材含有量과의 關係

10番체 殘留率이 5%인 試料와 10%인 試料에 最大乾燥密度를 比較하여 보면 粒度曲線의 形態에 따라 多少 다른 傾向을 나타내고 있으나 一般적으로 0番체 殘留率이 큰 試料에서 最大乾燥密度의 값은 큰 結果를 나타냈다.

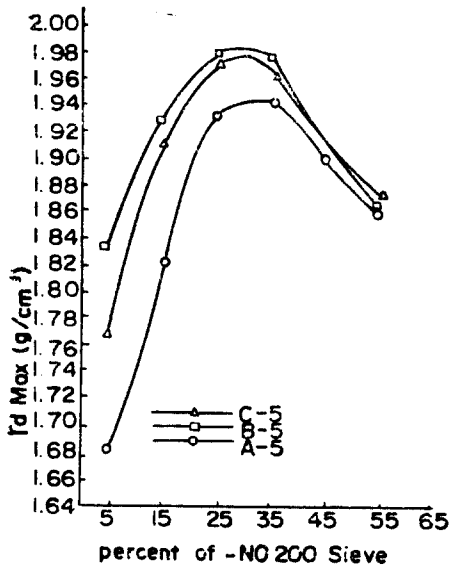


그림 8. 最大乾燥密度와 200番체 通過率과의 關係(1)

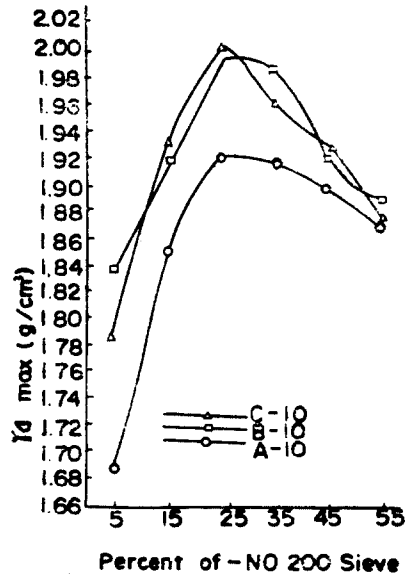


그림 9. 大乾燥密度와 200番체 通過率과의 關係(2)

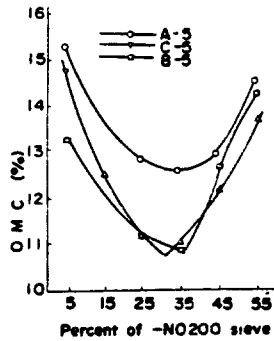


그림 10. 最適含水比와 200番체 通過率과의關係

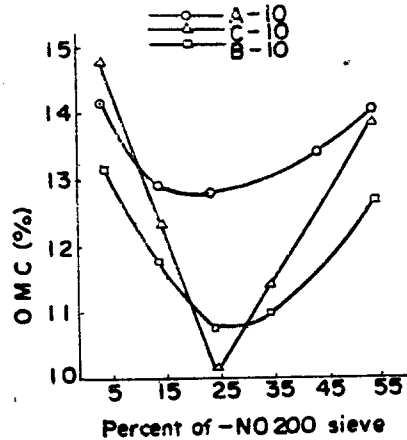


그림 11. 最適含水比와 200番체 通過率과의關係

이와 같은 결과는 Maddison⁽¹⁰⁾과 Zeigler⁽¹⁵⁾가 50%의 Grave-합유량까지는 最大乾燥密度的 값은 增加하고 그 以上 含有하게 되면 굵은 骨材의 接觸 때문에 흙의 다짐을 妨害한다고 하는 理論과도 一致 되는 것으로 生覺된다.

4. 最大乾燥密度와 均等係數와의 關係

均等係數와 最大乾燥密度와의 關係를 半對數用紙에 圖示하면 그림 12와 같다. 即 均等係數가 增加하면 最大乾燥密度도 큰 값을 나타내고 있다.

赤井浩一⁽¹⁾의 試驗結果에 依하면 最大지름이 1.0 mm 인 試料에서 均等係數가 20일때 가장 큰 最大乾燥密度를 나타낸다고 하였다.

本試驗에 使用된 試料의 最大지름은 4.76mm 로서 均等係數가 300程度에서 가장 큰 最大乾燥密度를 나타냈다.

그림 12는 200番체 通過率이 35%以下의 흙에 對하여 最大乾燥密度 γ_{dmax} 와 $\log_{10} Cu$ 의 相關關係를 나타낸 것으로 $r = +0.9508$ 의 높은 相關係數를 나타내고 있으며 回歸分析에 依하여 $\gamma_{dmax} = 1.6602 + 0.1368 \log_{10} Cu$ 의 關係式을 얻었다.

5. 最大乾燥密度와 Claifsscation Area 와의 關係
Turnbull⁽¹³⁾⁽⁴⁾은 粒度分布를 數值的으로 表示하는데 粒度曲線의 上部에 面積을 使用하고 Classification Area 라고 하였다.

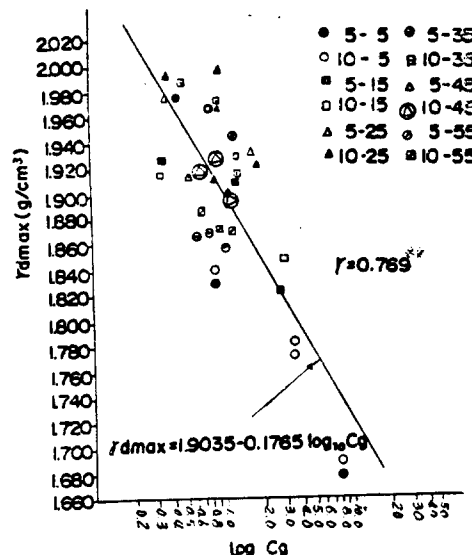
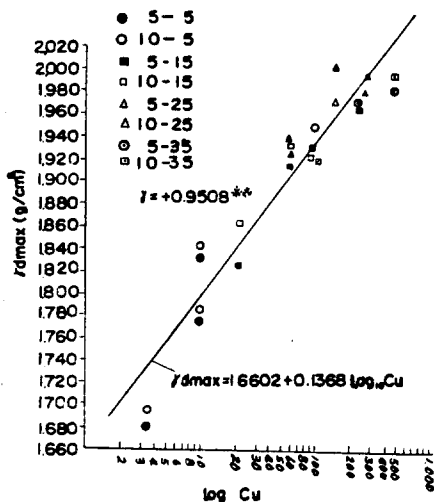


그림 12 最大乾燥密度와 均等係數와의 關係

本試驗에서는 粒度曲線 上部의 面積을 梯形法을 使用하여 求하고 最大乾燥密度와 比較한 結果 A, B, C 試料가 多같이 類似한 曲線關係가 나타났으나 最大乾燥密度的 값이 가장 큰 Classification Area의 값은 一致하지 않았다. 同一한 Classification Area라 할지라도 無數히 많은 粒度曲線을 나타낼 수 있으므로 이 Classification Area에 均等係數 ($Cu = \frac{D_{50}}{D_{10}}$)를 乘하여 最大乾燥密度와 比較한 結果 그림 13과 같은 結果를 얻었다. 即 $Y = +0.846$ 의 높은 相關係數를 나타내고 $Y_{dmax} = 1.7128 + 0.1079 \log_{10}(CuCa)$ 의 關係式을 얻었다.

6. 最大乾燥密度와 Talbot 式의 指數 n 과의 關係

200番체 通過率이 같은 試料의 最大乾燥密度 및 最適含水比의 平均值와 Talbot 式의 指數 $n \left\{ P = \left(\frac{d}{D} \right)^n \times 100 \right\}$ 과의 關係를 圖示하면 그림 14와 같다.

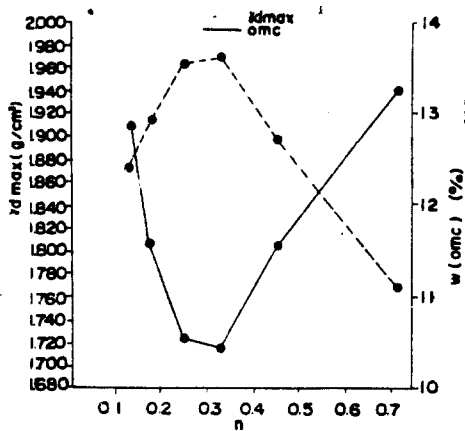


그림 14. 最大乾燥密度와 Talbot 式의 指數 n 과의 關係

이 結果에 依하면 最大지름이 4.76mm 일때 各種 n에 對한 最大乾燥密度 및 最含水比의 關係는 서로 相反되는 關係를 나타내고 $n=0.35$ 附近에서 最大乾燥密度는 가장 큰 값을 나타냈고 最適含水는 가장 작았다.

Lee⁽⁹⁾⁽¹¹⁾는 Talbot 式으로 最大密度的 配合를 나타낼 수 있음을 論하고 $n=0.25 \sim 0.50$ 의 Talbot 曲線은 Earth Dam 用的 盛土材料를 選定할 경우의 標準으로 하는 것을 提案하였고, 赤井浩一⁽¹⁾은 最大지름 $D=1.0mm$ 일때 $n=0.7$ 附近의 粒度配合이 다짐에 가장 適合하다고 하였다. 또 福岡正己⁽³⁾⁽⁷⁾의 研究에 依하면 最大지름이 50mm 일때 $n=0.25 \sim 0.50$ 에서는 $\log_{10} n$ 의 增加에 따라 最大乾燥密度도 增加

하는 直線關係를 나타냈고 最適含水比는 逆으로 減少하는 直線關係가 나타난 것으로 報告되고 있다. 本試驗에서는 最大지름 $D=4.71mm$ 로서 $n=0.35$ 以下에서는 福岡正己의 研究結果와 一致되는 傾向을 나타내고 있다.

7. 最大乾燥密度와 Cg 와의 關係

粒度曲線의 曲率의 狀態를 나타내는데 曲率係數 ($Cc = \frac{D_{30}^2}{D_{10} \times D_{60}}$)를 使用하고 있다.⁽⁸⁾⁽²⁾ 이 曲率係數와 斷大乾燥密度와의 關係는 直接 나타나지 않으며 曲率係數가 最大로되는 200番체 通過率에서 最大乾燥密度的 값이 가장 큰 結果가 나타났다.

이에 着眼하여 $Cg = \frac{P_{50}^2}{P_{10} \times P_{100}}$ 과 最大乾燥密度와 의 關係를 圖示한 結果 그림 15와 같다. 10番체 殘留率이 50%까지는 最大乾燥密度는 10番체 殘留率이 增加함에 따라 큰 값을 나타낸다고 하는 것은 Maddison⁽¹⁰⁾과 Zergler⁽¹⁵⁾가 發表한바 있다. 또 200番체 通過率이 25~30%에서 最大乾燥密度的 값은 가장 컸고 이보다 增減함에 따라서 減少함은 前述한바 있다.

그림 15에 依하면 10番체와 200番체 通過率이 增加하면 Cg의 값이 작게되어 最大乾燥密度는 큰 값을 나타내게 되나 50番체 通過率이 增加되므로 Cg의 값이 크게 되어서 最大乾燥密度는 작게 된다. 따라서 이 Cg의 값으로 가장 큰 最大乾燥密度를 나타내는 粒度曲線을 規定할 수 있을 것으로 生覺하고 回歸分析을 한 結果 $Y = -0.769$ 의 높은 相關係數를 나타내고 $Y_{dmax} = 1.9035 - 0.1765 \log_{10} Cg$ 의 關係式을 얻었다.

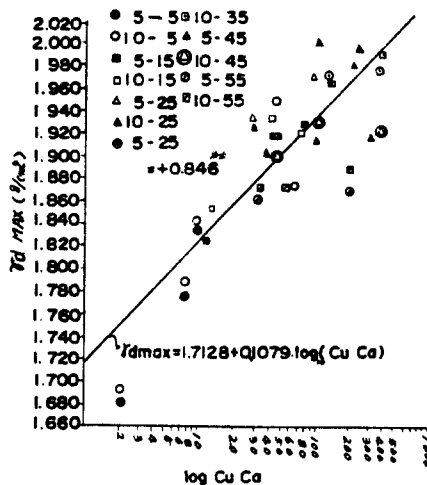


그림 13 最大乾燥密度와 $\log_{10}(CuCa)$ 와의 關係

그림 15. 最大乾燥密度와 $\log Cg$ 와의 關係

Ⅲ. 結 論

粒度分布가 그림 1~ 그림 6에 表示된 바와 같은 試料를 가지고 다짐 試驗을 한 結果를 要略하면 다음과 같다.

1. 最大乾燥密度가 큰 흙일수록 最適含水比는 작은값을 나타내고, 10番체 殘留率이 5% 및 10%인 試料에 對하여 200番체 通過率은 各各 30% 및 25%에서 最大乾燥密度는 가장 크고 最適含水比는 가장 작았다.

2. 均等係數가 增加함에 따라 最大乾燥密度도 增加하며 最大지름이 4.76mm의 試料에서는 均等係數가 300程度에서 最大乾燥密度가 가장 컸다.

3. 最大乾燥密度의 값은 Cu, Ca의 값이 增加함에 따라 큰값을 나타냈고 最大乾燥密度와 $\log_{10}(Cu, Ca)$ 는 直線的인 關係가 나타났다.

4. 最大지름이 4.76mm인 試料에서 Talbot 式 指數 n 이 0.35 以下에서는 n 이 增加함에 따라 最大乾燥密度도 增加하여 $n=0.35$ 附近에서 最大되된다.

5. 最大乾燥密度는 $Cg \left(Cg = \frac{P_{50}^2}{P_{10} \times P_{200}} \right)$ 이 값이 減少함에 따라 增加하는 結果가 나타났다.

끝으로 本研究를 爲하여 親히 指導하여 주신 鄭寅陵教授님께 眞心으로 感謝를 드리는 바입니다.

참 고 문 헌

1. 赤井浩一 (1957)
“土의 粒度配合による 締固め特性의 變化”
土と基礎 Vol.5. No.5
2. 土質工學會 (1966)
“土質工學 핸드북” pp.71 技報堂
3. Fukuoka, M. (1957)
“Testing of Gravelly Soils with Large-Scale Apparatus”
Proc. 4th Int. Conf. Soil Mechanics and Foundation Engineering. London.
4. Ring, G.W., Sallberg, J.R. and W.H. Collins (1962)
“Correlation of Compaction and Classification Test Data”
Highway Research Board Bulletin 325.

5. Johnson, A.W. and J.R. Sallberg (1962)
“Factors Influencing Compaction Test Results”
HRB, Bull. 319 : 58—68.
6. 姜义默, 趙成燮, 金成完 (1969)
“흙의 다짐에 關한 研究(第1報)”
농공학회지 Vol.11. No.4
7. 久野悟郎 (1968)
“土の締固め” pp.77 技報堂
8. 久野悟郎 箭内寛治 淺川美利 (1969)
“土質工學演習” pp.30 學獻社
9. Lee, C.H. (1938)
“Selection of Materials for Rolled-Fill Earth Dams”
Trans. ASCE. pp.1—18. quoted by 1.
10. Maddison, L. (1944)
“Laboratory Tests on the Effect of Stone Content on the Compaction of Soil Mortar”
Road and Road Construction (London) 22 : 27—40.
11. 森 滿雄 (1962)
“土의 最大乾燥密度와 最適含水比について”
土と基礎 Vol. 10, No. 9
12. Miller, E.A. and G.F. Sowers (1957)
“The Strength Characteristics of Soil-Aggregate Mixtures”
HRB, Bull, 183 : 16—23.
13. Turnbull, J.M. (1948)
“A New Classification of Soils Based on the Particle Size Distribution Curve”
Proc. 2nd Int. Conf. on Soil Mechanics and Foundation Engineering, 5 : 315—319.
14. Yoder, F.J. and K.B. Woods (1948)
“Compaction and Strength Characteristics of Soil-Aggregate Mixtures”
HRB, Proc. 26 : 511—520.
15. Zeigler, E.J. (1948)
“Effect of Material Retained on No.4 Sieve on the Compaction Test of Soils”
HRB, Proc. 28 : 409—414.