

흙의 物理的 性質이 다짐에 미치는 影響

A Study on the Effect of Some Physical Properties of Soil on the Compaction

金 成 教* · 金 文 基**
Sung Kyo Kim · Moon Ki Kim.

Summary

This study is to investigate the effect of some physical properties of soil on the compaction. The compaction effect depends upon various factors such as soil type, moisture content, gradation and compaction energy. In this study, with steady compaction energy, the relationships between maximum dry density and moisture content, gradation and consistency were analyzed by soil types.

Some results obtained in this study are summarized as follows

1. Generally, the coarser the grain size, the bigger is the maximum dry density and the smaller is the optimum moisture content and its moisture-dry density curve is relatively steep. The finer the grain size, the smaller is the max. dry density and the bigger is the opt. moisture content and its moisture-dry density curve is less steep.

2. The relationship between max. dry density (γ_{dmax}) and opt. moisture content, void ratio, clay content, percent passing of No. 200 sieve, liquid limit and plastic limit can be represented by the equation

$$\gamma_{dmax} = a_0 + a_1 X (a_0 > 0, a_1 < 0)$$

3. The relationship between opt. moisture content (W_{opt}) and clay content, percent passing of No. 200 sieve, liquid limit and plastic limit can be represented by the equation

$$W_{opt} = a_0 + a_1 X (a_0 > 0, a_1 > 0)$$

4. The fact that maximum dry density of the compacted soil is decreased with the increase of the optimum moisture content in any types of soil tested, and the fact that optimum moisture content can be positively correlated with clay content, percent passing of No. 200 sieve, liquid limit and plastic limit of the soil, lead to the conclusion that clay content, percent passing of No. 200 sieve, liquid limit and plastic limit of the soil are direct factors in reduction of the maximum dry density of engineering soil.

*農業振興公社 榮山江事業所

**忠北大學

序 論

人口增加와 더불어 食糧自給이 切實한 問題로 擡頭됨에 따라 農地造成 및 水源確保를 爲한 貯水池築造等 各種 農業開發事業이 集中的으로 推進되고 있다. 土堰堤, 防潮堤, 道路等 農業土木構造物에서 콘크리트對 흙의 比率는 大略 25%對 75%로 建設事業에서 흙이 차지하는 比重은 대단히 크며 이들 大規模의 土工構造物에 있어서는 흙의 性質이나 現場條件等에 依해서 工事費 및 工程等이 크게 影響을 받는다. 따라서 이들 土工構造物을 築造할 때 흙에 人爲的인 壓力을 加해서 흙의 密度를 높혀주므로서 흙의 力學的인 性質을 改良하는 한 手段으로 有史時代以前부터 行하여 왔던 것으로 생각된다.

흙을 다지면 土粉子 사이의 間隙을 작게하고 摩擦力과 粘着力을 增大시키며 또 물에 對한 感受性을 작게 한다. 따라서 흙을 다지는 目的은 土堰堤, 防潮堤, 河川堤防等에서는 透水性을 制限하고 沈下를 防止하여 斜면의 安定을 維持하는데 있으며, 또 道路나 滑走路에서는 支持力을 增大시키고 容積變化를 적게하여 沈下와 凍傷을 防止할 수 있다.

흙의 다짐效果(密度變化)는 여러가지 條件에 依하여 影響을 받는데 그 가운데서도 重要的 것은 土性, 含水量, 粒度, 다짐에너지 等이다.

그러므로 本 論文에서는 土工의 盛土材料로 많이 쓰이는 CL, ML, SC, SM (統一 흙 分類記號)等 土質別로 다짐에너지를 一定하게 할 境遇 흙의 다짐效果에 影響을 주는 흙의 物理的 性質 即 含水量, 粒度, Consistency와 密度의 關係 그리고 이들 各 物理的 性質間의 相互關係를 究明코져 한다.

I. 研究史

다짐試驗에 關한 最初의 文獻으로는 1929年의 美國의 California Division of Highway에서 흙을 다지는 方法과 裝置를 만들어 試驗한 記錄⁽¹⁾이 있고 이 方法과 裝置는 同年 8월에 標準方法으로 採擇되어 별다른 修正이 加해지지 않은 채로 오늘날까지도 使用되고 있다.

여기에서 考案한 裝置는 지름 3 in.의 Cylinder. Rammer의 重量 10 lb. 打擊面의 지름 2 in. 落下高 18 in.로 規定하여 使用했다.

그後 1933年 8월에 Proctor⁽²⁾에 依하여 土堰堤 築造를 爲하여 다짐試驗方法이 發表되었다. Proctor가 考案한 것은 지름 4 in. 높이 5 in. (Vol=0.0364 ft³)의 mold에 打擊面의 지름 2 in 인 5.5 lb의 Rammer로서 12 in. 높이에서 흙을 3層으로 各層마다 25회씩 다지게 되어있다.

그後 여러곳에서 다짐試驗에 關하여 層數, mold의 크기, Compaction energy등을 變更하면서 研究하여 오다가 AASHO (American Association of State Highway Officials)에 依하여 1938年 AASHO Designation T99-38로 標準化되었고⁽³⁾ 또 ASTM (American Society for Testing & Material)에 依하여 1942년에 ASTM Designation: D698-42T로서 標準化되었다⁽⁴⁾.

그後 Zeigler⁽⁵⁾는 1948년에 最大乾燥密度와 最 適含水量比의 mold의 크기에 따른 影響을 決定하기 爲하여 4 in. mold (Compaction energy 12,375ft-lb/ft³)와 6 in. mold (Compaction energy 11,912 ft-lb/ft³)에 흙과 자갈을 여러가지 比率로 混合하여 다진 結果 4in. mold에서 若干 큰 最大乾燥密度를 나타냈고 試料에서는 30%의 자갈을 含有한 것이 顯著히 큰값을 나타냈다. Fukuoka,⁽⁶⁾는 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 境遇의 最大乾燥密度와 最 適含水量比가 Talbot 式의 指數 n에 依하여 變하는 關係를 發表했다.

Ring⁽⁷⁾은 흙의 稠度(consistency)에 關한 것과 粒度分析에 있어서 0.01mm 以下の 粒徑 D₁₀~D₉₀ 範圍의 粒度의 型等を 考慮하고 이들 名因子和 最大乾燥密度, 最 適含水量比와의 相互關係를 求하였다.

森⁽⁸⁾는 380個의 試料에 對하여 다짐試驗하고 最大乾燥密度와 最 適含水量比와의 相互關係를 調查하여 直線的인 關係式을 求하였다.

우리나라에서는 1964년에 KSF 2312로서 흙의 다짐에 關한 規定이 制定되었으며⁽⁹⁾姜⁽¹⁰⁾은 最大乾燥密度와 最 適含水量比, Atterberg 限界, 粒度, 均等係數, 間隙比와의 相關性 및 最 適含水量比와 稠度, 粒度와의 相關性 그리고 均等係數와 Classification Area로서 最 適含水量比를 推定하였다.

李⁽¹¹⁾는 우리나라 東部地方과 南部地方의 總 381個 試料를 對象으로 自然含水量比로 最 適含水量比 및 最大乾燥密度를 推定하는 關係式을 提案하였다. 金等⁽¹²⁾은 最大乾燥密度와 含水量比 및 間隙比의 相關性에 對해서 發表하였다.

II. 材料 및 方法

1. 材料 및 分類試驗

貯水池築造用으로 全國各地에서 採取한 試料를 對象으로 比重試驗을 KSF 2308, 粒度分析을 KSF 2302, 液性限界試驗을 KSF 2303, 塑性限界試驗을 KSF 2304, 規定에 依하여 施行하고 그 結果를 基礎로 統一 흙 分類法(Unified Soil Classification method)에 依해서 分類하여(그림 1) 細粒材로 CL (Clay of low plasticity) 20點, ML (Silt of low Plasticity) 16點, 粗粒材로 SC (Clayey Sand) 20點 SM (Silty Sand) (87, 12) 20點 都合 76點을 選定 4番

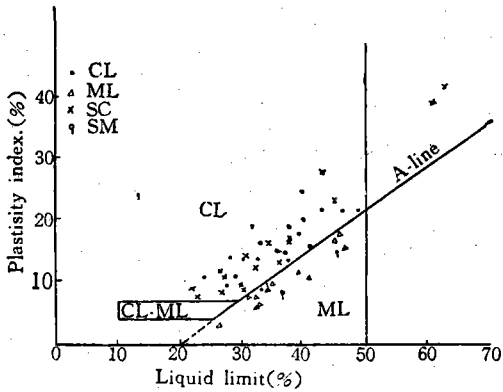


Fig. 1. Plasticity chart.

체 (4.76mm) 通過分을 對象으로 다짐試驗을 施行하였다.

2. 다짐試驗

다짐試驗은 KSF 2312의 A-1方法으로 Proctor의 標準 다짐試驗法과 같으며 mold의 內容積 944cm³, Rammer의 무게 2.5 kg, 落下高 30 cm로 每層 25회씩 3層으로 다져 다짐에너지는 59.6cm·kg/cm³로 하였다.

III. 試驗結果 및 考察

分類試驗結果는 表-1, 다짐試驗結果는 表-2와 같으며 그림 2는 粒度曲線, 그림 3은 다짐試驗에서 얻은 乾燥密度-含水比曲線으로서 各土質別로 代表的인 것 5點씩을 選定 圖示하였다.

1. 乾燥密度와 含水比의 關係

그림 3은 各土質別로 횡축에 含水比 종축에 건조 밀도를 plot하여 그린 乾燥密度-含水比曲線으로서 粗粒土의 含量이 많으면 最大乾燥密度는 큰 값을 나타내고 最適含水比는 작은 값을 나타내며 曲線의 peak가 銳敏하고, 逆으로 細粒土 含量이 많으면 最大乾燥密度는 작은 값을 나타내고 最適含水比는 큰 값을 나타내며 曲線의 peak는 緩慢하다.

이러한 現象은 粗粒일수록 保水力이 적어서 含水比에 對한 影響이 큰데 起因하는 것으로 생각된다.

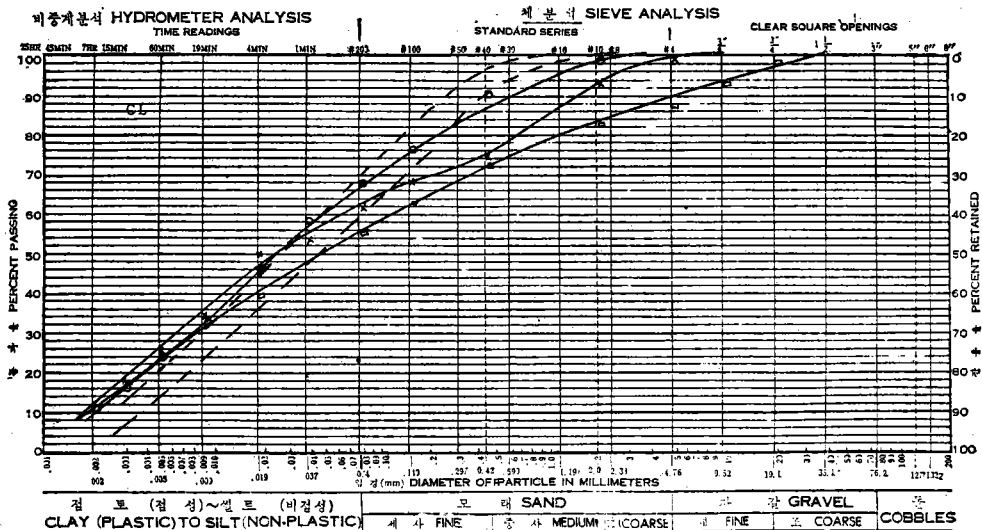


Fig. 2-(a)(Gradation curve).

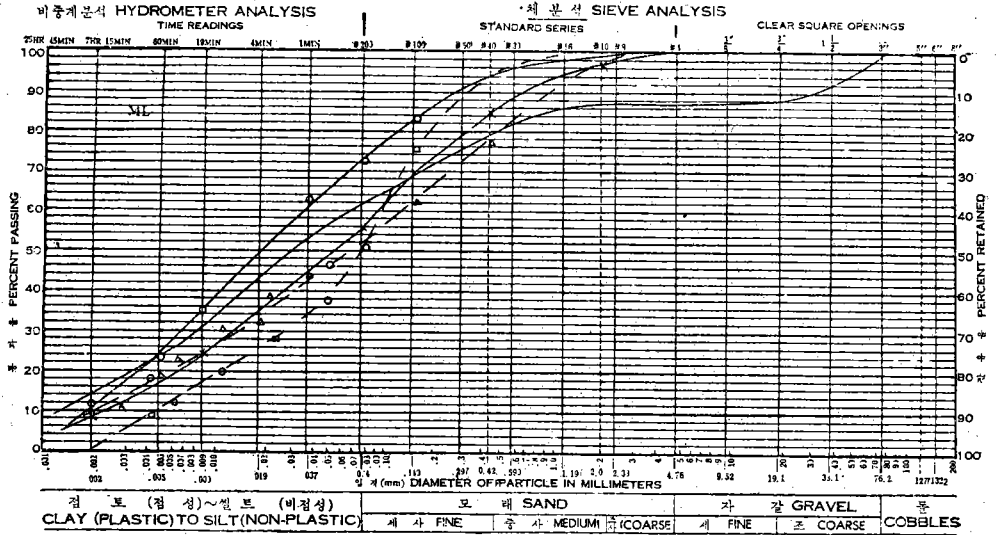


Fig. 2-(b)(Gradation curve).

2. 最大乾燥密度(r_{dmax})와 最適含水比($Wopt$)의 關係

그림 4는 土質別로 錐축에 최적함수비, 중축에 최대건조밀도를 plat하여 그린 最大乾燥密度와 最適含水比 關係로서 네 가지 共히 最適含水비가 增加할수

록 最大乾燥密度는 減少하는 直線關係가 成立하여 높은 相關關係를 갖고 있다. 이를 回歸直線으로 關係式을 求하면 다음과 같다.

CL : $r_{dmax} = 2,176 - 0.027Wopt$ ($r = -0.954^{**}$)

ML : $r_{dmax} = 2,034 - 0.021Wopt$ ($r = -0.896^{**}$)

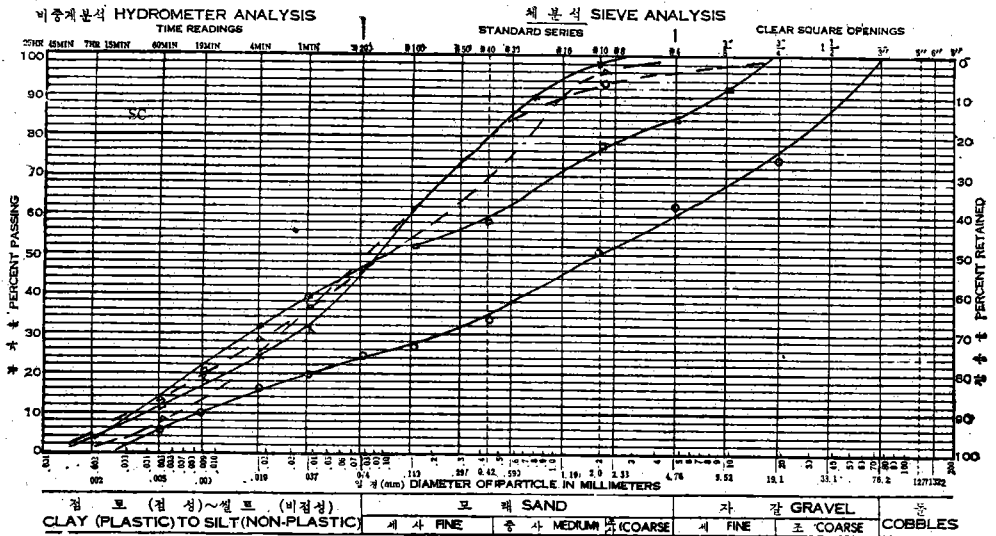


Fig. 2-(c)(Gradation curve).

흙의 物理的 性質이 다짐에 미치는 影響

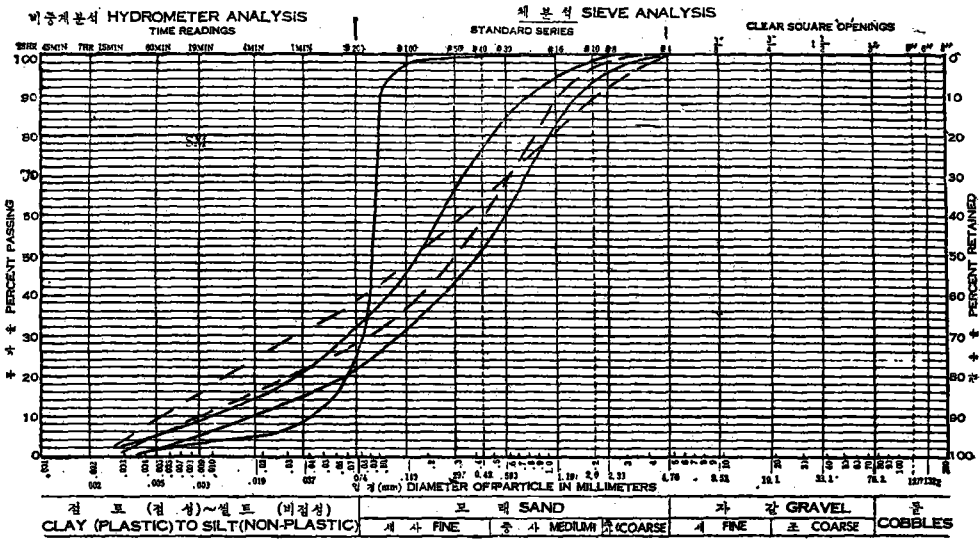


Fig. 2-(d)(Gradation curve).

SC : $r_{dmax} = 2,178 - 0.025 Wopt$ ($r = -0.987^{**}$)

SM : $r_{dmax} = 2,244 - 0.031 Wopt$ ($r = -0.861^{**}$)

姜, 金, 李동도' 回歸常數는 相異하나 같은 直線關係를 發表하였다. (8710713714)

3. 最大乾燥密度와 間隙比(e)의 關係

그림 5는 普通 graph용지에 횡축에 간극비, 종축에 최대건조밀도를 plot하여 그린것으로 間隙比가 增

Table 1. Test results of physical properties

Sample	Specific gravity	Grain-size percent				Atterberg limits		
		<0.005mm	0.005mm ~ 0.074	0.074mm ~ 4.76	4.76 mm <	LL%	PL%	PI(%)
CL 1	2,648	16.0	52.8	31.2	—	23.9	13.2	10.7
2	2,627	29.0	44.6	23.3	3.1	37.5	24.2	13.3
3	2,619	32.0	39.6	28.4	—	40.9	25.2	15.7
4	2,656	48.0	33.1	18.9	—	48.9	27.3	21.6
5	2,660	24.0	58.3	17.7	—	32.5	18.6	13.9
6	2,637	22.0	55.9	22.1	—	36.8	22.2	14.6
7	2,628	18.0	53.6	28.4	—	35.6	20.7	14.9
8	2,665	13.7	37.8	34.5	14.0	28.0	14.1	13.9
9	2,647	24.0	60.2	15.8	—	33.0	16.7	16.3
10	2,692	24.0	43.8	32.0	0.2	37.5	18.6	18.9
11	2,663	25.8	35.5	37.9	0.8	40.0	20.0	20.0
12	2,592	24.4	30.4	32.2	13.0	27.5	18.2	9.3
13	2,678	20.0	49.0	31.0	—	48.8	15.7	33.1
14	2,688	12.0	42.8	45.2	—	42.7	21.1	21.6
15	2,750	16.0	35.4	48.6	—	28.9	17.9	11.0
16	2,662	34.0	55.8	10.2	—	46.0	24.6	21.4
17	2,691	23.0	34.3	38.4	4.3	39.2	21.6	17.6
18	2,664	16.0	56.6	27.4	—	39.1	21.5	17.6
19	2,692	10.0	73.5	16.5	—	30.2	16.6	13.6
20	2,678	14.0	44.2	41.8	—	39.8	15.2	24.6

ML	1	2,674	20.0	57.7	22.3	—	—	NP	—
	2	2,652	24.0	49.0	27.0	—	45.7	27.9	17.8
	3	2,650	16.0	39.0	45.0	—	46.3	31.1	15.2
	4	2,657	22.0	31.1	46.9	—	46.4	30.9	15.5
	5	2,702	18.0	35.2	46.8	—	40.8	30.1	10.7
	6	2,710	24.5	37.7	25.3	12.5	39.0	27.4	11.6
	7	2,713	12.0	39.0	49.0	—	32.5	26.6	5.9
	8	2,654	16.0	36.0	48.0	—	34.1	25.4	8.7
	9	2,682	6.0	79.3	14.7	—	26.4	23.6	2.8
	10	2,701	16.7	34.8	41.5	7	—	NP	—
	11	2,664	6.0	87.5	6.5	—	32.2	24.7	7.5
	12	2,676	11.0	81.5	7.5	—	31.0	23.2	7.8
	13	2,673	12.0	74.8	13.2	—	—	NP	—
	14	2,081	12.7	48.3	29.7	9.3	35.0	25.4	9.6
	15	2,725	26.0	54.9	19.1	—	45.0	28.2	16.8
	16	2,687	20.0	49.0	31.0	—	32.8	26.5	6.3
SC	1	2,712	10.0	39.4	50.6	—	26.7	15.2	11.5
	2	2,675	10.0	38.5	51.5	—	26.7	18.6	8.1
	3	2,668	12.0	32.1	55.9	—	21.5	15.8	5.7
	4	2,619	7.6	18.5	38.1	36.8	36.2	23.3	12.9
	5	2,650	14.0	32.5	53.5	—	27.2	16.6	10.6
	6	2,692	13.5	35.5	35.6	15.4	22.0	17.3	8.7
	7	2,688	10.0	34.5	55.1	0.4	34.3	18.0	16.3
	8	2,688	11.6	35.3	50.0	3.1	62.7	21.1	41.6
	9	2,690	7.5	37.7	48.8	6.0	22.8	15.2	7.6
	10	2,731	8.0	29.8	60.7	1.5	41.0	25.8	15.2
	11	2,715	13.7	30.1	54.1	2.1	37.6	20.6	17.0
	12	2,678	18.0	22.7	59.3	—	30.0	21.2	8.8
	13	2,676	14.0	35.5	50.5	—	29.8	20.3	9.5
	14	2,701	12.0	36.5	48.5	3.0	37.6	21.4	16.2
	15	2,660	5.0	20.4	24.6	50.0	32.1	19.8	12.3
	16	2,674	10.0	20.1	42.4	27.5	45.0	22.0	23.0
	17	2,704	10.1	30.9	31.2	27.8	30.6	16.6	14.0
	18	2,682	9.0	25.1	22.1	43.8	35.6	20.6	15.0
	19	2,664	14.0	32.4	53.6	—	60.9	21.9	39.0
	20	2,678	8.0	25.3	66.7	—	43.0	15.2	27.8
SM	1	2,638	6.0	26.7	67.3	—	—	NP	—
	2	2,656	4.0	19.2	76.8	—	—	NP	—
	3	2,683	—	25.4	74.6	—	—	NP	—
	4	2,714	18.0	23.3	58.7	—	33.1	24.4	8.7
	5	2,706	4.0	27.3	68.7	—	—	NP	—
	6	2,708	16.0	22.7	61.3	—	—	NP	—
	7	2,637	9.4	29.1	61.5	—	36.4	28.3	8.1
	8	2,629	8.0	27.0	65.0	—	45.3	30.4	14.9
	9	2,640	9.4	22.6	68.0	—	34.0	23.9	10.1
	10	2,675	10.0	31.8	58.2	—	—	NP	—
	11	2,766	5.6	24.4	64.0	6.0	—	NP	—
	12	2,598	6.0	22.0	72.0	—	—	NP	—

흙의 物理的 性質이 다짐에 미치는 影響

13	2,663	5.2	13.3	33.8	47.7	25.0	19.2	5.8
14	2,647	4.0	32.2	63.8	—	—	NP	—
15	2,628	—	20.8	79.2	—	—	NP	—
16	2,640	5.4	22.2	72.4	—	—	NP	—
17	2,733	—	14.0	71.0	15.0	—	NP	—
18	2,718	2.0	21.5	76.5	—	—	NP	—
19	2,670	7.1	18.5	63.4	11.0	—	NP	—
20	2,654	2.0	18.4	79.6	—	—	NP	—

Table 2. Test results of proctor compaction

Sample	Max. Dry Density (g/cm ³)	Opt. Moisture Content (%)	at Max. Dry Density		SC					
			Void Ratio	Wet Weight (g/cm ³)						
CL	1	1,835	14.0	0.439	2,092	1	1,810	14.1	0.496	2,065
	2	1,618	20.1	0.620	1,943	2	1,800	16.0	0.482	2,088
	3	1,464	24.6	0.788	1,824	3	1,895	12.3	0.403	2,128
	4	1,474	26.5	0.798	1,865	4	1,730	16.0	0.508	2,007
	5	1,691	17.3	0.573	1,984	5	1,796	14.4	0.475	2,055
	6	1,665	18.9	0.579	1,979	6	1,800	13.8	0.430	2,048
	7	1,645	19.4	0.597	1,964	7	1,750	16.8	0.537	2,044
	8	1,830	13.6	0.450	2,079	8	1,502	26.0	0.790	1,893
	9	1,690	16.2	0.562	1,964	9	1,750	15.0	0.586	2,013
	10	1,657	19.2	0.625	1,975	10	1,730	18.1	0.578	2,043
	11	1,773	15.6	0.500	2,050	11	1,800	16.3	0.505	2,093
	12	1,732	17.0	0.496	2,026	12	1,800	16.4	0.483	2,095
	13	1,605	23.8	0.666	1,987	13	1,725	18.0	0.547	2,036
	14	1,653	20.6	0.627	1,994	14	1,757	21.4	0.629	2,012
	15	1,660	20.0	0.656	1,992	15	1,795	14.6	0.480	2,057
	16	1,600	21.3	0.662	1,941	16	1,622	21.7	0.646	1,974
	17	1,660	18.0	0.620	1,959	17	1,750	16.0	0.543	2,030
	18	1,687	18.3	0.577	1,996	18	1,735	17.5	0.545	2,039
	19	1,667	18.6	0.614	1,977	19	1,530	25.0	0.745	1,913
	20	1,705	17.4	0.568	2,002	20	1,651	20.0	0.614	1,981
SM	1	1,398	27.5	0.910	1,782	1	1,897	12.4	0.388	2,132
	2	1,532	24.5	0.729	1,907	2	1,795	13.4	0.475	2,036
	3	1,520	26.3	0.743	1,920	3	1,502	17.5	0.787	1,765
	4	1,550	20.5	0.705	1,868	4	1,744	17.9	0.560	2,056
	5	1,575	22.0	0.715	1,922	5	1,665	18.5	0.623	1,973
	6	1,518	23.4	0.785	1,873	6	1,611	19.8	0.675	1,930
	7	1,640	20.7	0.650	1,979	7	1,670	19.1	0.575	1,989
	8	1,680	19.4	0.570	2,006	8	1,642	18.3	0.595	1,942
	9	1,653	16.3	0.623	1,922	9	1,742	16.3	0.515	2,026
	10	1,530	23.3	0.765	1,886	10	1,750	15.4	0.525	2,020
	11	1,620	18.0	0.650	1,912	11	1,860	13.8	0.484	2,117
	12	1,650	19.7	0.620	1,975	12	1,782	13.5	0.453	2,023
ML	13	1,530	22.7	0.746	1,877	13	1,780	16.0	0.490	2,065
	14	1,645	20.2	0.702	1,977	14	1,572	21.5	0.680	1,910
	15	1,584	23.1	0.720	1,950	15	1,849	11.8	0.419	2,067
	16	1,533	24.6	0.748	1,910	16	1,740	16.7	0.517	2,031
						17	1,770	16.4	0.540	2,060
						18	1,700	17.7	0.590	2,001
						19	1,810	13.3	0.472	2,051
						20	1,730	17.5	0.530	2,033

加함에 따라 最大乾燥密度는 減少하는 傾向이 있으며 이는 다져진 흙의 密度가 크다는 것은 土粒子 사이의 間隙이 흙으로 채워져서 間隙이 적어졌기 때문인 것으로 생각된다. 最大乾燥密度-間隙比의 關係式은 다음과 같은바 回歸常數로 보아 土質別 큰 差異가 없음을 알 수 있다.

CL : $\gamma_{dmax} = 2,249 - 0.971 e$ ($r = -0.969^{**}$)

ML : $\gamma_{dmax} = 2,192 - 0.871 e$ ($r = -0.993^{**}$)

SC : $\gamma_{dmax} = 2,266 - 0.970 e$ ($r = -0.983^{**}$)

SM : $\gamma_{dmax} = 2,271 - 0.993 e$ ($r = -0.986^{**}$)

姜⁽⁹⁾은 $\gamma_{dmax} = 2.3916 - 1.2382e$ 의 直線關係를 發表했고 金등⁽¹⁰⁾은 最大乾燥密度와 間隙比 사이에는 $\gamma_{dmax} = 2,167e^{-0.455e}$ 의 曲線關係가 있다고 發表하였다.

4. 最大乾燥密度와 粒度와의 關係

가. 그림 6은 普通 graph紙에 횡축에 粘土含有率 縱축에 최대건조밀도를 plot하여 그린것으로 最大乾燥密度와 粘土(0.005mm以下) 含有率(C)과의 關係는 細粒材(CL, ML)에서는 粘土含有率이 增加할 수록 最大乾燥密度는 減少하는 負의 相關關係가 成立하나 粗粒材(SC, SM)에서는 相關性이 나타나지 않았다.

이는 200番체 通過率 50%가 土質分類의 基準이 되므로 200番체 通過率 50%以下의 흙(粗粒材)에서는 粘土 含量보다는 오히려 모래 含量의 影響을 받는 것으로 생각된다. 細粒材의 경우 이의 關係式은 다음과 같다.

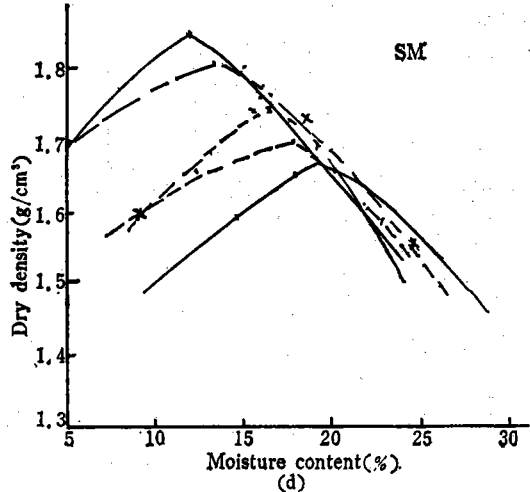
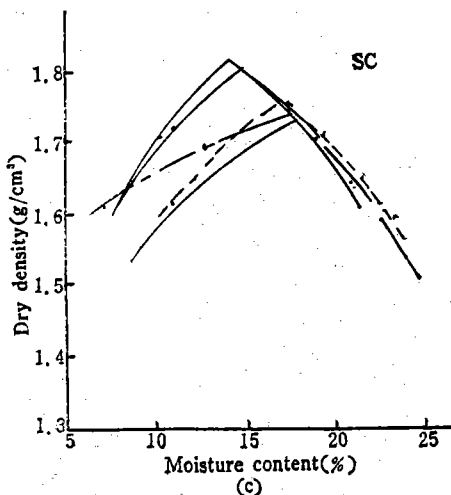
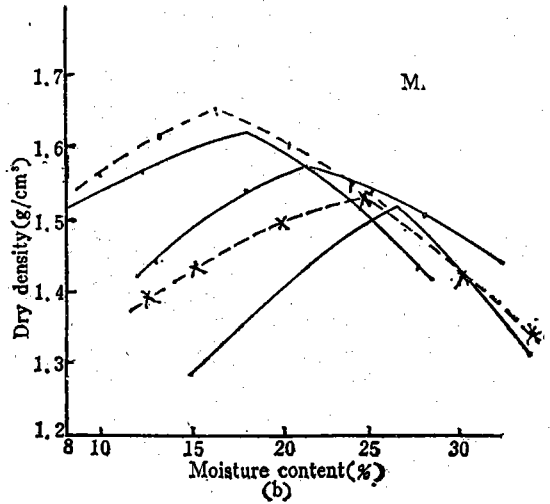
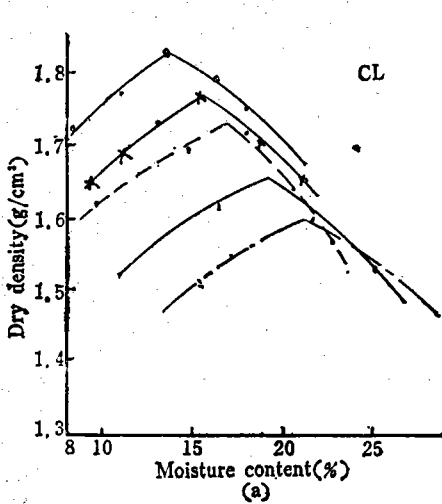


Fig. 3. Moisture-Dry density curve

CL : $\gamma_{dmax}=1.813-0.007 C$ ($r=-0.634^{**}$)

ML : $\gamma_{dmax}=1.677-0.006 C$ ($r=-0.567^{*}$)

그림 6에서 알수 있듯이 같은 粘土含量에서는 CL 이 ML보다 훨씬 큰 密度를 나타내고 있다.

나. 그림 7은 普通 graph 용지에 횡축에 200番체 通過率 종축에 최대 건조밀도를 plot하여 그린것으로 最大乾燥密度와 200番체 通過率(n)과의 關係는 各土質別로는 回歸關係가 나타나지 않으나 全體를 綜合해 보면 相關係數 $r=-0.474^{**}$ 로서 $\gamma_{dmax}=1.808-0.0025n$ 의 直線關係가 成立한다. 各土質別에서 相關성이 없는 것은 200番체 通過率自體가 土質分類

의 基準이 되므로 獨立變數의 變異가 50% 前後에서 限定되기 때문인 것으로 생각된다. 姜⁽⁶⁾에 依하면 200番체 通過率 15% 前後에서 最大乾燥密度가 最大로 된다고 하였다.

5. 最大乾燥密度와 稠度(W_L , W_p)와의 關係

가. 그림 8은 普通 graph 용지에 횡축에 액성한계 종축에 최대 건조밀도를 plot하여 그린것으로 最大乾燥密度와 液性限界(W_L)와의 關係는 液性限界가 增加함에 따라 最大乾燥密度는 減少하는 直線關係가 나타났다. 이의 關係式은 다음과 같다.

CL : $\gamma_{dmax}=2.006-0.009W_L$ ($r=-0.695^{**}$)

ML : $\gamma_{dmax}=1.817-0.006W_L$ ($r=-0.577^{*}$)

SC : $\gamma_{dmax}=2.006-0.008W_L$ ($r=-0.934^{**}$)

SM : $\gamma_{dmax}=1.969-0.007W_L$ ($r=-0.897^{**}$)

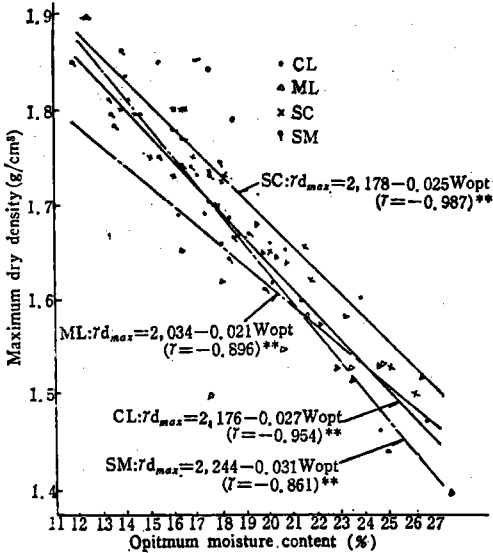


Fig. 4. Relation between max. dry density and optimum moisture content

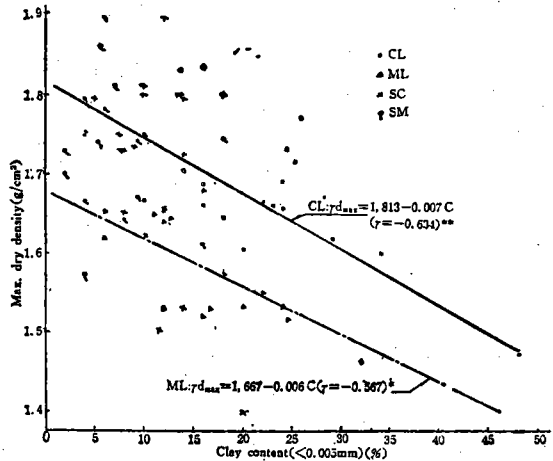


Fig. 6. Relation between max. dry density and clay and clay content

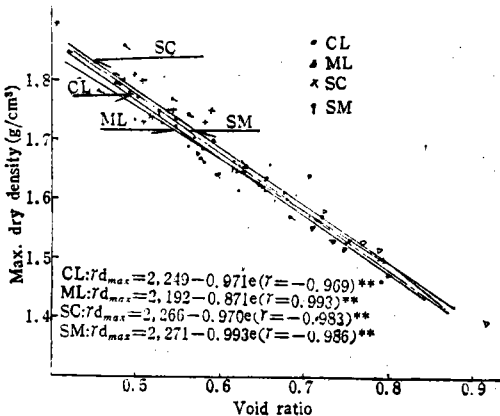


Fig. 5. Relation between max. dry density and void ratio

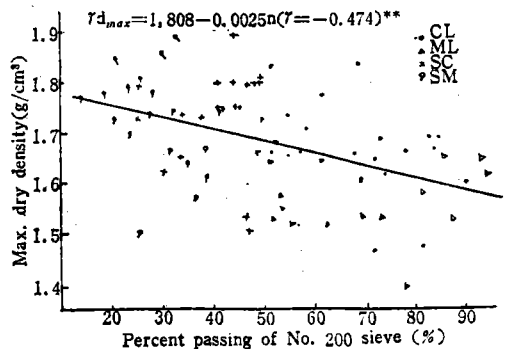


Fig. 7. Relation between max. dry density and percent passing of No. 200 sieve

여기에서 回歸常數를 比較해 볼때 Silt質인 ML과 SM이 같고 粘土質인 CL과 SC가 類似함을 알수 있다. 姜⁽⁶⁾ 및 Ring⁽¹⁷⁾도 같은 負의 相關關係를 發表하였다.

나. 그림9는 普通 graph용지에 횡축에 조성한계 중축에 최대건조밀도를 plot하여 그린 것으로 最大乾燥密度와 塑性限界(W_p)의 關係는 大體로 直線關係를 보이고 있으나 SC의 境遇는 相關性이 나타나지 않았다.

CL : $\gamma_{d_{max}} = 2.027 - 0.018W_p$ ($r = -0.764^{**}$)

ML : $\gamma_{d_{max}} = 2.029 - 0.016W_p$ ($r = -0.690^{**}$)

SM : $\gamma_{d_{max}} = 2.041 - 0.013W_p$ ($r = -0.944^*$)

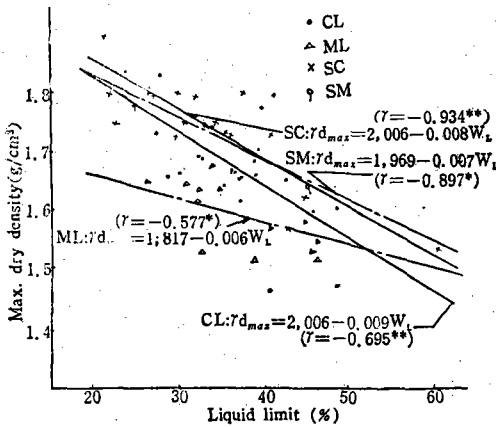


Fig. 8. Relation between max. dry density and liquid limit

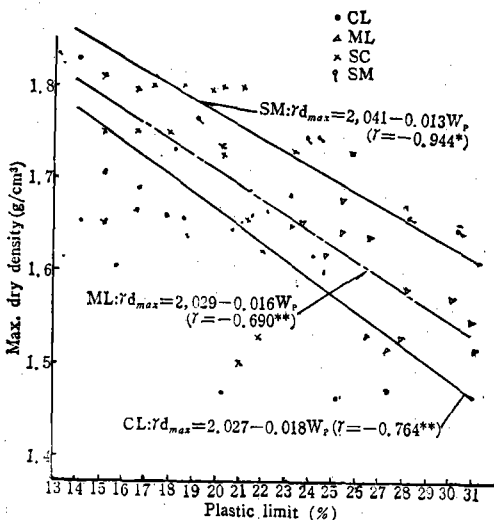


Fig. 9. Relation between max. dry density and plastic limit

6. 最適含水比(W_{opt})와 粒度和의 關係

가. 그림 10은 普通 graph용지에 횡축에 점토 함유율 중축에 최적함수비를 plot하여 그린것으로 最適含水比(W_{opt})와 粘土(0.005mm以下) 含有率(C)의 關係는 CL, ML의 細粒材에서는 높은 正의 相關性을 보이고 있으나 SC, SM의 粗粒材에서는 相關關係가 나타나지 않았다. 이는 最大乾燥密度-粘土含有率 關係의 境遇와 一致하며 細粒材에서의 關係式은 다음과 같다.

CL : $W_{opt} = 14.2 + 0.214C$ ($r = 0.579^{**}$)

ML : $W_{opt} = 16.7 + 0.321C$ ($r = 0.662^{**}$)

金등⁽¹⁹⁾은 $W_o = 12.4 + 0.365C$ 의 直線關係를 發表했는데 이는 本研究結果와 一致한다.

나. 그림 11은 普通 graph용지에 횡축에 200번체 통과율 중축에 최적함수비를 plot하여 그린것으로 最適含水比(W_{opt})와 200番체 通過率(n)의 關係는 各土質別로는 相關關係가 나타나지 않으나 全體를 綜合한 結果 200番체 通過率이 增加할수록 最適含水比도 增加하는 다음과 같은 直線關係를 보이고 있다.

$W_{opt} = 14.9 + 0.072n$ ($r = 0.444^{**}$)

金등⁽¹⁹⁾의 發表에 依하면 $W_o = 8.3 + 0.186n$ 의 關係가 있다고 하였고 姜⁽⁶⁾은 200番체 通過率 15%前後에서 最適含水比가 最少로 된다고 하였는데 이들은 本研究結果와 大體로 一致한다.

7. 最適含水比(W_{opt})와 稠度(W_L, W_p)의 關係

가. 그림 12는 普通 graph용지에 횡축에 액성한

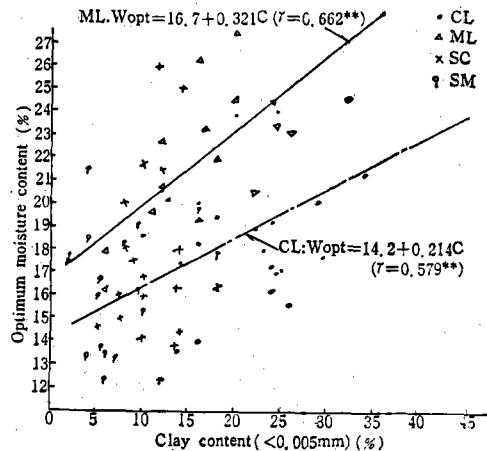


Fig. 10. Relation between optimum moisture content and clay content

계 종축에 최적함수비율 plot하여 그린 것으로最適含水比와 液性限界(W_L)의 關係는 SM을 除外하고는 모두 높은 正의 相關關係를 보이고 있다. 즉 液性限界가 增加할수록最適含水比도 增加하는 傾向을 보이고 있으며 이의 關係式은 다음과 같다.

CL : $W_{opt}=6.1+0.351W_L$ ($r=0.746^{**}$)

ML : $W_{opt}=10.4+0.294W_L$ ($r=0.696^{**}$)

SC : $W_{opt}=6.9+0.301W_L$ ($r=0.931^{**}$)

SM의 境遇 相關性이 나타나지 않은 것은 SM은 실트질 모래로 大部分 非塑性이 많기 때문인 것으로 생각된다.

나. 그림 13은 普通 graph용지에 횡축에 조성한계 종축에 최적함수비율 plot하여 그린것으로最適含水比와 塑性限界(W_p)의 關係는最適含水比-液性限界 關係에서와 같이 SM을 除外하고는 塑性限界가 增加할수록最適含水比도 增加하는 傾向이 나타났다.

CL = $W_{opt}=7.6+0.581W_p$ ($r=0.686^{**}$)

ML = $W_{opt}=1.6+0.736W_p$ ($r=0.667^{**}$)

SC = $W_{opt}=6.0+0.592W_p$ ($r=0.486^*$)

여기서 回歸常數를 比較해 볼때 粘土質인 CL, SC가 類似하고 低塑性質인 ML이 塑性限界의 影響을 가장 크게 받는 것으로 나타났다.

8. 液性限界(W_L)와 粘土含有率(C)의 關係

그림 14는 普通 graph용지에 횡축에 액성한계 종축에 점토 함유율을 plot하여 그린것으로 細粒材 (CL, ML)에서는 粘土含量이 많을수록 液性限界가 增加하는 直線關係를 보이고 있으나 粗粒材(SC, SM)인 境遇는 相關性이 없는 것으로 나타났다. 이는 塑性和 非塑性의 問題는 粘土含量에 支配되는 것이 아니고 母岩의 地質學的 生成原因에 依한 것으로 생각된다.

예를 들어 石英이 風化된 것은 非塑性質이고 長石 및 頁岩이 風化된 흙은 粘土分이 아주 많다. 細粒材의 境遇 이의 關係式은 다음과 같다.

CL : $W_L=27.8+0.405C$ ($r=0.515^*$)

ML : $W_L=24.7+0.775C$ ($r=0.767^{**}$)

9. 塑性限界(W_p)와 粘土含有率(C)의 關係

그림 15는 普通 graph용지에 횡축에 점토함유율 종축에 조성한계를 plot하여 그린것으로 塑性限界와

粘土 含量과의 關係는 [液性限界에서와 마찬가지로 細粒材(CL, ML)의 境遇는 正의 相關關係를 보이고 있으나 粗粒材(SC, SM)에서는 相關關係가 나타나지 않았다. 이는 液性限界-粘土含有率關係에서와 같은 理論에 立脚한 것이라 생각된다. 細粒材의 境遇 이의 關係式은 다음과 같다.

CL : $W_p=12.5+0.319C$ ($r=0.734^{**}$)

ML : $W_p=23.0+0.246C$ ($r=0.636^*$)

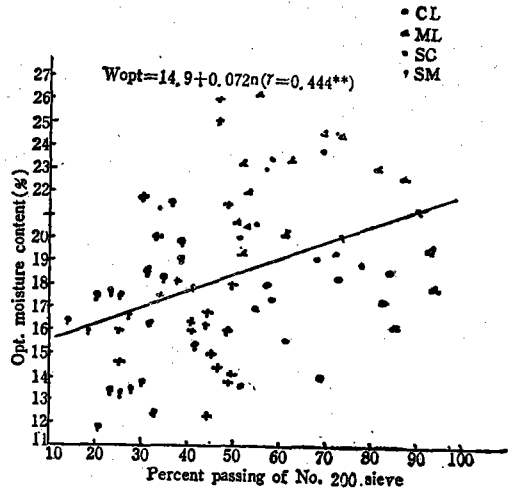


Fig. 11. Relation between opt. moisture content and percent passing of No. 200 sieve

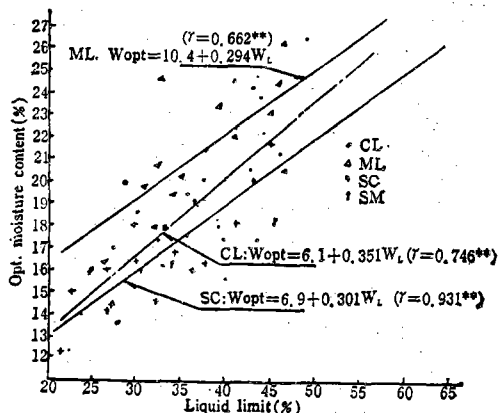


Fig. 12. Relation between Opt. moisture content and liquid limit

여기서 回歸常數를 比較해 볼 때 液性限界에서와는 反對로 실트질인 ML보다 粘質인 CL이 粘土含量의 影響을 크게 받는 것을 알 수 있으며, 그림 15에서 보는 바와 같이 塑性限界는 粘土 含量의 多少에 關係없이 ML이 CL보다 훨씬 크다는 것을 알 수 있다.

IV. 結 論

흙의 物理的 性質에 따른 土質特性에 關한 本 研究試驗에서 얻은 結果를 要約하면 다음과 같다.

1. 一般的으로 흙의 粒徑가 粗粒일수록 最大乾燥 密度는 크고 最適含水比는 적으며 乾燥密度-含水比 曲線은 peak가 銳敏하다. 또 細粒일수록 最大乾燥密

度가 적고 最適含水比는 크며 乾燥密度-含水比 曲線은 peak가 緩慢하다.

2. 最大乾燥密度(γ_{dmax})와 最適含水比, 間隙比, 粘土含有率(0.005mm以下), 200番체 通過率(4.76mm), 液性限界, 塑性限界와의 關係는 一般的으로 다음과 같은 負의 相關關係가 成立한다.

$$\gamma_{dmax} = a_0 + a_1 X \quad (a_0 > 0, a_1 < 0)$$

3. 最適含水比(W_{opt})와 粘土含有率, 200番체 通過率, 液性限界, 塑性限界와의 關係는 一般的으로 다음과 같은 正의 相關關係가 成立한다.

$$W_{opt} = a_0 + a_1 X \quad (a_0 > 0, a_1 > 0)$$

4. 흙의 種類에 關係없이 最適含水比의 增加에 따라 最大乾燥密度가 減少하는 現象과 最適含水比가 大體로 粘土含有率, 200番체 通過率, 液性限界, 塑性限界와 正의 相關關係를 나타내는 現象을 聯繫시

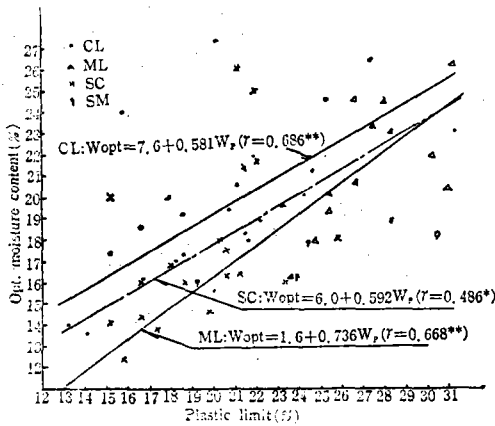


Fig. 13. Relation between opt. moisture content and plastic limit

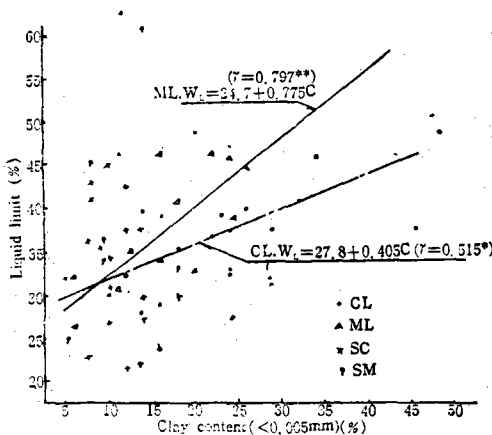


Fig. 14. Relation between liquid limit and clay content

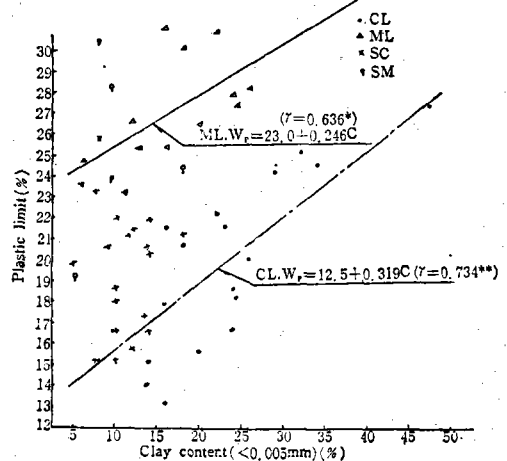


Fig. 15. Relation between plastic limit and clay content

키던 粘土含有率, 200番체 通過率 液性 및 塑性限界의 增加가 土質 效果인 最大乾燥密度의 減少에 直接 關係되는 要素임을 確認할 수 있다.

引用 文 獻

1. AASHTO : (1938) Designation T 99~38
2. ASTM : (1942) Designation D 698~42 T
3. Earth manual (1968) "Properties of soils" pp.11~14
4. Fukuoka, M. (1957) "Testing of gravelly soils with large scale apparatus" proc. 4th

- Int. Conf. Soil. Mech. and Foundation Eng.
London. pp.10
5. Johnson A.W. and J.R. Sallberg (1962)
"Factors influencing compaction test results"
HRB, Bull, 319 p. 1
 6. 姜义默(1969) : 흙의 다짐에 關한 研究Ⅰ" 농공
학회지, Vol. 11, No. 4, pp. 9~16
 7. _____(1970) : "흙의 다짐에 關한 研究Ⅱ" 농공
학회지, Vol. 12, No. 1, pp. 14~20
 8. _____(1970) : "흙의 다짐에 關한 研究Ⅲ" 농공
학회지, Vol. 12, No. 2, pp. 5~14
 9. _____(1970) : "흙의 다짐에 關한 研究Ⅳ" 농공
학회지, Vol. 12, No. 3, pp. 7~16
 10. 金周範 尹忠變(1975) : "흙의 工學的性質에 關
한 研究" 韓國農工學會誌, Vol. 17, No. 3, pp.
21~38
 11. KSF 2312 : (1964)
 12. Lambe T.W. and R.V. Whitman (1969)
"Soil classification", pp. 34~36
 13. 李正典(1974) : "흙의 最大乾燥密度 및 最適含水
比와 自然含水比의 相關性에 대하여" 韓國農工
學會誌, Vol. 16, No. 3, pp. 75~78
 14. 李石贊(1972) : "흙의 다짐에 關한 實驗的 研
究" 韓國農工學會誌, Vol. 14, No. 2, pp. 69~
75
 15. 森滿雄(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
 16. Proctor R.R (1933) "Fundamental principles
of soil compaction". Engineering News reco-
rd. Ⅲ, NOS 9, 10, 12 and 13
 17. Ring, G.W. and J.R. Sallberg. W.H. Collins
(1962), "Correlation of compaction and clas-
sification Data" H.R.B. Bull, 325, pp. 55~75
 18. Stanton T.E. (1938) "Highway fill studies and
soil stabilization". California highways and
public works. Vol 16
 19. Zergler E.J. (1948) "Effect of material com-
paction test of soil". HRB proc. 28 pp. 409
~414