

透水性 盛土材料의 機械다짐에 關한 研究

A Study on the Mechanical Compaction of Pervious Materials

尹 忠 燮*

Choong Sup Yoon

Summary

The Compaction of fill dam is very important for increasing of the safty of dam.

Vibration roller is used for the compaction of pervious materials such as sand and gravel.

The principal objects of this study are to give a comstruction criteria of vibration roller and to find out the relationship between dry density and permeability of pervious soil after compaction

The results in this study are summerized as follows.

1. The relationship between maximum dry density ($\gamma_{d_{max}}$) and optimum moisture content(w_0) of modified compaction test is $\gamma_{d_{max}} = 2.74 - 0.064w_0$
2. The maximum dry density decrease with increasing fine particle(n) and the relative formular is $n = ae^{-b \gamma_{d_{max}}}$
3. The maximum dry density is influenced more by passing rate of number 200 sieve than 4 sieve.
4. The coefficient of permeability are similar when the degrees of compaction are equal even though the spreading thickness of soil are different.
5. The coefficient of permeability(K)is greatly influence by fine particle passing number 200 sieve, and those relationship is inversely proportionate.
6. The K values of pervious soil are from 10^{-3} cm/sec to 10^{-4} cm/sec when degree of compaction by a modified method is from 90 to 95percent.
7. The coarser material is little influenced on the permeability with different density.
8. The increasing rate of permeability with decreasing degree of compaction is more influenced by fine pactice than number 200 sieve. When degree of compaction decrease from 100 percent to 90 percent the K values of SM and GM increase about 20 times but GW increase 6 times only.
9. The effect of compaction by vibration roller is greatly influenced by 6 passes and the increasing rate of the effect is decreased at 8 passes.
10. In order to get the degree of compaction of 95 percent or more, 6 to 8 passes of roller are generally required with 30 cm thickness of soil for 4.5 ton to 6.5 ton vibration roller and 7 to 8 passes is required with 50cm thickness for 8 to 12 ton roller.

* 慶尙大學校 農科大學

1. 序 論

흙의 다짐은 土工에 있어서 가장 重要한 作業中의 하나로서 다짐을 잘 함으로써 構造物의 施工中이나 施工後에 있어서 安定性을 높이고 壓密沈下量을 줄이며, 隄(Fill Dam)에서는 止水(遮水)의 效果를 높일 수 있어 經濟的인 構造物을 築造할 수 있음은 물론 耐久性도 크게 할 수 있다.

現在 우리나라에서는 各種 產業發達에 발맞추어 많은 道路와 隄(堤)가 建設되고 있으며 이(堤)도 높이가 높아짐에 따라 盛土 다짐(轉壓)의 必要性은 더욱 強調되고 있다. 따라서 이를 위한 많은 種類의 現場 轉壓機械가 開發되고 있고, 施工時에는 現場條件에 알맞는 轉壓裝備를 選擇하고 철저한 施工管理가 이루어져야 한다.

이와같이 重要한 다짐의 歷史는 매우 오래되어 1800年代부터 動的인 利用한 다짐方法이 探擇되었던 記錄도 있으나 學問的으로 體系가 잡히기 시작한 것은 1920年代 後半期부터이고 1933년에 Proctor에 依해서 다짐에 對한 基礎的인 理論이 確立되었다.¹⁾

흙 다짐의 重要性이 增大됨에 따라 이分野에 對한 많은 研究가 이루어지고 있으며 특히 土工構造物인 現場施工 構造物이라는 점을 고려하여 近來에는 室內試驗과 現場試驗과의 關聯性을 主로 해서 研究하고 있다. 특히 隄의 코어(core)部分에 對한 研究는 現場施工을 假定한 여러 形態의 室內試驗이 國內外를 通하여 활발히 이루어 졌으며^{2), 3), 4), 5), 6), 7), 8), 9), 10)}

이러한 室內試驗을 基礎로한 現場試驗에 依해 施工基準를 設定해서 실제 工事を 해왔다^{7), 8), 11), 12), 13)}. 이와같이 隄의 코어部分에 대해서는 많은 研究가 되고 있으나 이 코어部位 上下流側에 있는 透水性層(Pervious zone)에 對해서는 前者와 같은 많은 研究가 이루어지고 있지 않으며 우리나라에서는 主로 外國의 結果를 引用하는 경우가 많았다^{5), 4), 5), 6), 14)}.

그러나 70年代에 들어와서 昭陽江(昭陽江)을 비롯해서 73년에 始作된 榮山江(榮山江) 4個隄(堤) 大規模의 隄가 建設됨에 따라 隄(堤)面의 形態가 바뀌고 특히 經濟的인 施工을 위해서는 盛土材料가 粗粒材(粗粒材)이어야 되겠다는 研究結果에 依하여 盛土材料가 粗粒化되고 이에 대한 現場시험을 實施하면서 現場施工을 하고 있다.^{7), 11), 15)}

이와같이 隄의 盛土가 粗粒의 砂礫質인 경우는 코

어(core)部位의 粘性土와는 달리 振動롤러(Vibration Roller)에 依하여 轉壓하는 것이 一般的이며 施工時에는 이 振動롤러에 對한 施工基準를 定하여 使用하여야 한다^{4), 8), 12), 17), 18)}

現場 施工基準를 定함에 있어 粘性土는 標準다짐試驗에 依한 다짐율로서 現場 密實의 상태를 나타내고 있으며^{16), 22), 25), 26)} 透水性部의 砂礫質材料에 對해서는 Teng²³⁾에서처럼 粒狀土(Granular soil)가 振動을 받을 경우에는 沈下한다는 原理를 이용한 振動다짐(Vibration Compaction)方法으로 相對密實을 求하여 다짐의 程度를 求하는 것이 原則이다. 그런데 實際 現場施工管理工程에서는 相對密實의 試驗方法이 복잡하므로 이를 標準다짐試驗 내지 修正다짐試驗의 方法으로 變形하여 施行하는 것이 便利하므로 隄(堤)의 設計基準(1968년)에서는 相對密實을 標準다짐율의 最大乾燥密度에 대한 백분율로 나타낸 例가 있으며¹⁹⁾ 榮山江의 4個隄에서는 修正다짐試驗의 最大乾燥密度와 現場施工密度와의 比로서 施工基準를 定하여 品質管理를 실시하였다.

이와같이 現場施工에 철저한 管理를 爲해서는 現場 條件에 맞는 轉壓裝備를 選擇하여 合理的으로 運用함이 大端히 重要하다.

그런데 現在 開發되어 있는 로올러(Roller)의 種類가 多樣하여 가장 效率的인 裝備의 選擇과 經濟的인 施工計劃을 樹立하는 것이 쉬운일이 아니며 이를 위해서는 各種轉壓裝備의 性能과 作業效果를 잘 알고 있어야 한다. 실제로 工事現場에서 흙을 轉壓함에 있어서는 施工前에 基準轉壓試驗을 하여 施工基準를 定해야 하며, 이는 흙의 種類와 로올러의 種類에 따라서 實施해야한다.

이와같은 盛土에 對한 轉壓試驗은 美國에서는 1946년에 오하이오州(Ohio state) 道路局에서 實施된뒤 美陸軍에서는(1968년) 3種의 振動롤러(Vibration Roller)에 對한 試驗이 實施되었고¹⁹⁾ 우리나라에서는 昭陽江(昭陽江)을 始作으로해서 1973년에 시작된 榮山江(榮山江) 4個隄에서는 各隄별로 철저한 施工基準試驗이 行하여졌다.^{7), 19)}

이러한 現場試驗結果를 기초로 하여 秦(1975)이 昭陽江(昭陽江)과 安東(安東)에 對하여 分析한 結果를 發表한바 있으며¹¹⁾ 1979년에 尹은 大單位 農業開發事業地區에서 行한 6種의 粘質土와 4種의 壤土(壤土)에 對한 轉壓試驗 結果를 分析하여 發表하였다.¹⁰⁾

本 研究試驗은 1979年の 粘土의 研究 結果에 뒤이

어, 透水性盛土材料에 對한 轉壓試驗結果를 分析한 것으로서 各種轉壓裝備의 施工基準를 定하고 轉壓된 盛土의 性質을 求하여 構造物의 設計, 施工 및 安定度에 必要한 資料를 제공하며 이 分野研究에 必要한 資料를 求하고자 한다.

II. 材料 및 試驗

1. 使用材料

本 試驗材料로 使用한 흙은 실제로 댐透水性部(Dam Pervious zone)에 使用된 盛土材料로서 統一 畝分類 方法의 SM 材料가 2種, GM材料가 2種, 그리고 GW材料가 4種으로서 大 河川에서 용이하게 求할 수 있는 一般적인 砂礫質의 盛土材料이다.

2. 現場 盛土基準轉壓試驗

現場 盛土基準轉壓試驗은 土工構造物 施工現場에서, 댐이나 道路 築造以前에 施行하여 盛土材料와 轉壓裝備가 符合되는 効率的인 施工管理의 基準를 定하기 爲한 것으로서 本試驗의 目的은 다음과 같다.

- i) 現場에서 實際로 施工할 수 있는 含水比와 密度의 關係를 求하고
- ii) 轉壓裝備의 效率를 最大로 發揮하기 爲한 盛土

의 퍼는두께(Spreading Thickness)와 轉壓回數(Passing Number)를 決定하며

iii) 실제 施工을 爲한 經驗과 知識을 얻는 데 있다.

그러므로 이와같은 盛土基準轉壓試驗은 盛土材料의 種類 및 轉壓裝備의 種類에 따라서 即 이들이 變할 때마다 施行함이 原則이며 여기서 施工基準를 定할 때는 設計值 및 示方書를 고려하여 安全한 方向으로 해야 한다.

그러므로 本 試驗에서도 可及의 이면 設計에 맞고 施工에 便利한 側으로 施工基準를 定하였다.

本 試驗에서는 실제 施工에 使用할 轉壓裝備(Roller)를 使用하였으며 現場條件에 따라 다소 다르나, 1回 試驗을 爲해서는 다음과 같은 裝備가 所要되었다.

- ① 盛土材料採集; 불도저(Bulldozer) 1台
- ② 積載; 로우더(Loader) 또는 쇼벨(Shovel) 1台
- ③ 運搬; 덤프트럭(Dump Truck) 3~4台
- ④ 퍼기(spreading); 그레이더(Grader) 또는 불도저(Bulldozer) 1台
- ⑤ 轉壓振動로울러(Vibration Roller); 1台

위 장비중에서 가장 重要한 것은 振動로울러로서 本試驗에서는 2.8, 4.5, 5.0, 6.5, 8.0, 그리고 12. ton의 6種을 使用하였으며, 各로울러(Roller)의 內譯은 Table-1과 같다.

Table-1. Specification of Vibration Roller

Roller type	Drum		Static Weight		Vibrating frequency(vpm)	Centrifugal force		Compaction force (t/m)			Sample No.	
	Number	width (cm) (Length)	Diameter (cm)	Total (kg)		Unit (kg/cm)	Total (kg)	Unit (kg/cm)	4pass-ing	6pass-ing		8pass-ing
2.8 ton Vibration Roller	1	167.5	122.0	2,810	16.8	1750	10,000	59.7	2.39	3.58	4.75	G-1
4.5 ton Vibration Roller	1	182.9	152.0	4,420	24.2	1500	14,593	79.7	3.19	4.78	6.38	G-3, G-5
5.0 ton Vibration Roller	1	204.0	152.0	5,100	25.0	1400	16,860	82.7	3.31	4.96	6.56	G-6
6.5 ton Vibration Roller	1	204.0	173.0	6,732	31.4	1400	20,000	93.5	3.74	5.61	7.46	G-7
8.0 ton Vibration Roller	1	214.0	152.0	8,100	39.9	1500	33,310	118.9	4.75	7.13	9.51	G-2, G-4
12.0 ton Vibration Roller	1	213.0	162.0	12,181	57.2	1500	35,320	165.8	6.63	9.95	13.26	G-8

1) 試驗場所 및 試驗區

本 轉壓試驗을 爲해서는 500m² 以上の 負担地가 必要하며 이는 施工敷地나 取土場에서 할 수 있으며 試驗場所는 地盤이 단단하여 盛土轉壓時에 沈下되는 일이 없어야 한다. 만약 地盤이 不良할 때는 試驗前에 로울러로 充分히 轉壓하여야 한다.

本試驗區는 水平으로 整地하고 불도저나 로울러로 充分히 沈下한 곳으로서 Fig. 1 과 같이 1個 區域(plot)의 크기는 5m×5m로서 9個 區域으로 나누었으며 區域間의 境界線은 白灰로서 표시하였으나 흙을 퍼서 境界線이 없어진다면 各境界마다 標識柱를 세워서 區域을 區別하였다. 그리고 各區域은 흙을 퍼기전에 地盤高를

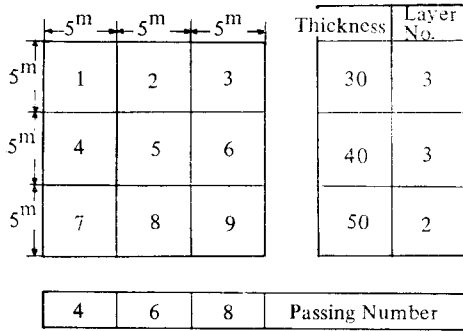


Fig. 1. Field Compaction Area

Table-2. Items of Banking Test

Sample No.	Static Weight (ton)	Roller Speed (km/hr)	Thickness of Banking.			Number of Compaction			Layer Number of Banking			Remark
			T ₁ (cm)	T ₂ (cm)	T ₃ (cm)	N ₁	N ₂	N ₃	L ₁	L ₂	L ₃	
G-1	2.8	1.5	20	30	40	4	6	8	3	3	3	
G-2	8.0	1.5	20	30	40	4	6	8	3	3	3	
G-3	4.5	2.0	20	30	40	4	6	8	3	3	3	
G-4	8.0	1.5	30	40	50	4	6	8	3	3	2	
G-5	4.5	2.0	20	30	40	4	6	8	3	3	3	
G-6	5.0	1.5	20	30	40	4	6	8	3	3	3	
G-7	6.5	1.5	30	40	50	4	6	8	3	3	2	
G-8	12.0	1.5	30	40	50	4	6	8	3	3	2	

3. 現場土質試驗

盛土基準轉壓試驗에서 3種의 盛土 두께와 3種의 轉壓回數에 對한 試驗이 完了되면 9個의 區域은 各自 相異한 施工條件이 된다. 即 Fig. 1에서 No.3 區域은 얇게 깔고, 가장 많이 轉壓한 區間이고 No.7區域은 두껍게 깔고 가장 적게 轉壓한것으로서, 이들 9個區域의 轉壓結果를 測定키 爲하여 各試驗區마다 密度試驗 및 透水試驗을 實施하였다.

1) 密度試驗

現場密度試驗은 盛土材料가 粗粒의 透水性材料이므로 水置換법으로 各區域마다 1個所씩 行하였으며 이때 密度試驗用구멍(Hole)의 크기는 直徑은 40~50cm, 深沈度는 30~40cm로 하였다.

密度測定時는 所定の 크기로 관 다음 얇은 비닐을 깔고 흙은돌은 다시구멍(Hole)에 넣은다음 물로 채워서 구멍의 크기를 測定하였으며, 이때 구멍에서 파낸흙의 重量에서는 흙은 돌(구멍에 다시넣은 돌)은 제외하여 密度測定의 正確을 기하였다.

2) 透水試驗

正確하게 測量하여 盛土 두께의 基準으로 定하였다.

2) 盛土의 퍼기 및 轉壓回數

試驗區에다 흙을 퍼는 두께는 적은 로울러인 경우는 얇게, 그리고 큰 로울러인 경우는 두껍게하여 20cm~50cm로 하였으며 흙을 퍼는 層數는 3層이 原則이나 50cm의 경우는 2層으로 한것도 있다.

그리고 盛土의 轉壓回數는 로울러의 크기에 區別 없이 4회, 6회 및 8회의 3種으로 하였으며 이때 轉壓速度는 1.5~2.0km/hr로 하고 로울러의 振動數는 裝備의 示方書에 標示된 標準回數에 맞추어 1,400~1,750v.p.m으로 하였다. 各 盛土 轉壓試驗에서 使用한 로울러, 흙의 두께 및 轉壓回數는 Table-2와 같다.

現場透水試驗은 各區域마다 行한 密度試驗孔에 對하여 實施하였으며 이때 試驗孔의 側壁은 垂直으로, 그리고 바닥은 水平으로 다듬은 다음 試驗孔에 물을 채워서 주위의 흙을 完全히 飽和시킨뒤 定水位를 維持시키면서 구멍에 注入한 水量을 測定하여 透水係數를 求하였다.

本 透水試驗을 할 때 구멍이 무너질 경우에는 구멍內에 깨끗한 흙은 자갈을 채워서 구멍이 무너지는 것을 防止하였다. 구멍에 注入되는 單位時間當의 水量이 一定하게 되면 다음 公式를 利用하여 透水係數를 求하였다. 여기서 求한 透水係數는 主로 水平透수에 依한 것으로서 塹과 같은 構造物에서는 現場에서 比較적 쉽게 求할 수 있는 방법이다.

$$K = \frac{Q}{2\pi H^3} \left[H \log_e \left\{ \frac{H}{\gamma} + \sqrt{1 + (H/\gamma)^2} \right\} - \sqrt{\gamma^2 + H^2} + \gamma \right] \text{ (cm/sec)}$$

여기서 Q: 注入水量(cm³/min)

H: 구멍의 깊이(水深)(cm)

γ: 구멍의 半徑(cm)

8個 盛土轉壓試驗結果에서 求한 密度 및 透水試驗結果는 Table-3과 같다.

Table-3. Results of Field Test.

Sample No.	Class. Symbol	Roller Type.	Max. Dry Density (gr/cm ³)	Banking Thickness (cm)	Dry Density (gr/cm ³)			degree of Compaction(%)			Coelf. of Permeability(cm/sec)(Kx10 ⁻³)		
					4	6	8	4	6	8	4	6	8
G-1	SM	2.8 ton Vibration Roller.	1,967	20	1,732	1,759	1,785	88.0	89.4	90.8	—	—	—
				30	1,724	1,745	1,763	87.6	88.7	89.6	—	—	—
				40	1,707	1,724	1,741	86.8	87.6	88.5	—	—	—
G-2	SM	8.0 ton "	1,978	20	1,863	1,886	1,913	94.2	95.3	96.7	0.46	0.35	0.27
				30	1,840	1,869	1,882	93.0	94.4	95.1	0.82	0.65	0.44
				40	1,820	1,850	1,871	92.0	93.5	94.6	1.20	0.72	0.48
G-3	GM	4.5 ton "	2,050	20	1,905	1,958	1,993	92.9	95.5	97.2	2.20	0.88	0.38
				30	1,843	1,918	1,950	89.9	93.6	95.2	3.00	1.40	0.80
				40	1,780	1,885	1,925	86.8	92.0	93.9	9.50	2.20	1.10
G-4	GM	8.0 ton "	2,600	30	1,936	1,995	2,017	94.0	96.8	97.9	0.90	0.35	0.30
				40	1,896	1,965	2,000	92.0	96.4	97.0	1.80	0.62	0.40
				50	1,850	1,938	1,971	90.8	94.1	95.7	3.90	1.20	0.71
G-5	GW	4.5 ton "	2,109	20	1,980	2,036	2,068	93.1	96.5	98.9	4.80	3.90	2.80
				30	1,936	1,984	2,030	91.8	94.1	96.3	6.80	4.80	3.80
				40	1,865	1,925	1,961	88.4	91.3	93.0	8.40	6.40	5.00
G-6	GW	5.0 ton "	2,120	20	2,011	2,077	2,098	94.8	97.8	98.8	4.50	2.70	2.00
				30	1,954	2,024	2,046	92.1	95.4	96.5	8.40	3.20	2.50
				40	1,897	1,942	1,959	89.4	91.5	92.2	10.00	6.80	5.00
G-7	GW	6.5 ton "	2,150	30	2,010	2,062	2,078	93.5	95.9	96.7	7.00	4.20	2.80
				40	1,961	1,980	1,999	90.2	92.1	93.0	9.00	7.40	5.60
				50	1,851	1,883	1,895	86.1	87.6	88.1	24.00	11.00	9.50
G-8	GW	12.0 ton "	2,140	30	2,041	2,088	2,110	95.5	97.6	98.6	4.50	2.40	1.70
				40	1,995	2,054	2,080	93.3	96.0	97.2	6.30	4.10	2.90
				50	1,937	2,010	2,055	90.5	93.9	96.2	14.00	7.00	4.50

4. 室內土質試驗

室內試驗은 密度試驗이 完了된 試驗孔의 代表的인 試料를 가지고 하였다. 이때 含水比測定用 試料는 每 試驗孔마다 採取하여 이를 密閉된 容器에 넣어서 水分의 증발을 막은다음 試驗室에서 含水比를 測定하였다.

1) 土質分類試驗

모든 試料는 比重試驗, 粒度分析, 調度試驗을 實施하고 그 結果를 기초로 해서 統一畚分類法에 依하여 分類하였으며 그 結果는 Table-4와 같다.

盛土의 試驗結果를 종합해 볼때 砂質土 2個를 除外한 6個試料는 자갈의 含有量이 50%以上인 砂礫

質입을 알 수 있다.

2) 다짐試驗

다짐試驗은 試料가 砂礫質의 粗粒材이므로 標準다짐試驗에 依하지 않고 C.B.R試驗 Mold를 使用하여 修正다짐 試驗方法으로 行하였다. 이때 Mold의 지름은 15cm 높이는 17.5cm로 容積이 3091cm³이고, Rammer의 重量은 4.5kg, 落下高 45cm, 每層當 打擊數 56回 그리고 層數는 3層으로 다짐에너지는 11.01 kg.cm/cm³로서 標準다짐에너지의 약 2배이었다. 이와같은 條件으로 施行한 다짐試驗의 最大 乾燥密度 및 最適含水比는 Table-4와 같으며 다짐曲線은 Fig. 2와 같다.

Table-4. Properties of Soil

Sample No	Unified Soil Classification	Grain size (%)				Atterberg Limits			Specific Gravity	Compaction Test. (Modified Method)	
		clay	Silt	sand	gravel	LL	PL	PI		γ_{dmax}	O.M.C.
G-1	SM	5.2	20.10	68.40	6.30	NP	NP	NP	2.62	1,960	12.20
G-2	SM	3.5	14.50	67.50	14.50	"	"	"	2.69	1,978	11.75
G-3	GM	2.0	11.50	36.00	55.50	"	"	"	2.63	2,050	11.20
G-4	GM	—	12.65	37.58	51.87	"	"	"	2.63	2,060	11.00
G-5	GW	—	2.98	30.32	66.70	"	"	"	2.60	2,109	10.30
G-6	GW	—	4.00	35.00	61.00	"	"	"	2.62	2,120	9.80
G-7	GW	—	2.50	24.20	73.30	"	"	"	2.63	2,150	9.20
G-8	GW	—	2.50	27.50	70.00	"	"	"	2.61	2,140	9.35

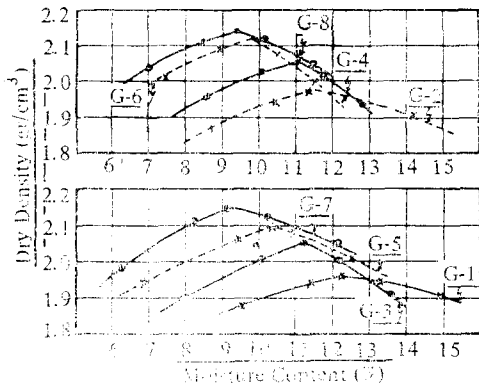


Fig. 2. Compaction Test curve

Ⅲ. 試驗結果 및 考察

1. 最大乾燥密度와 最適含水比와의 關係

修正다짐試驗 方法으로 行한 다짐試驗에서 砂礫質土의 最大乾燥密度는 2.05~2.15gr/cm³으로 標準다짐試驗에서 GM, GW의 값, 1.92~2.16보다 다소 크며²⁰⁾ 最適含水比는 9~11%로 10%內하임을 알수 있다.

그리고 最大乾燥密度와 最適含水比와의 關係는 Fig. 3과 같고 關係式은 $\gamma_{dmax} = 2.74 - 0.064w_0$ 로서 最適含水比가 增加함에 따라 最大乾燥密度는 減小하며 이 같은 현상은 姜의¹⁸⁾ 研究에서 $\gamma_d = 2.23 - 0.028w_0$ 인 결과나 尹²¹⁾의 關係式 $\gamma_d = 2.40 - 0.037w_0$ 과 비슷한 모양의 直線變化를 나타내고 있다.

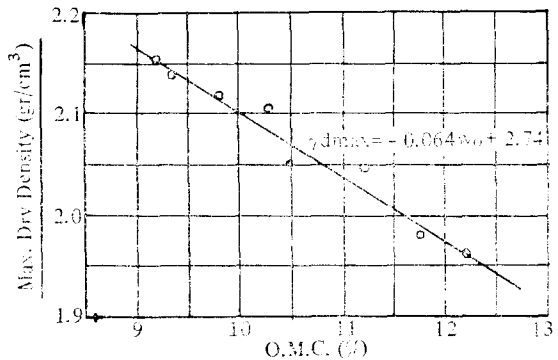


Fig. 3. The Relationship between γ_{dmax} and O.M.C.,

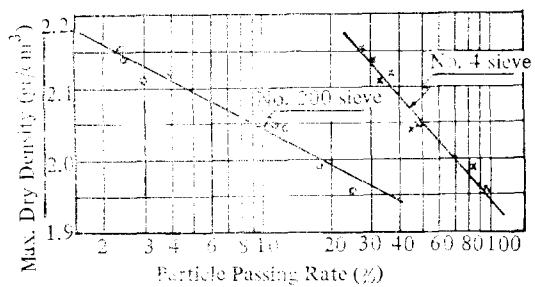


Fig. 4. The Relationship Between Density and F-Particle

2. 粒度와 密度와의 關係

200번체 통과량 및 4번체 통과량과 최대건조밀도의 關係는 Fig. 4와 같다

Fig. 4에서 보면 최대乾燥密度에 영향을 주는 粒度

는 4번째 통과율보다 200번째 통과율이 더 큼을 알 수 있다. 그리고 細粒子の 量(200번째 통과율 n)과 최대 건조 密度와의 關係는 $n=ac^{-br^{max}}$ 으로서 細粒자가 많을 수록 최대 건조 密度가 아주 작아짐을 알 수 있다.

3. 轉壓回數 및 轉壓 에너지와 密度와의 關係

各 試料에 對한 轉壓回數(N)와 흙의 乾燥密度와 (γ_d)의 關係는 Fig.5와 같다.

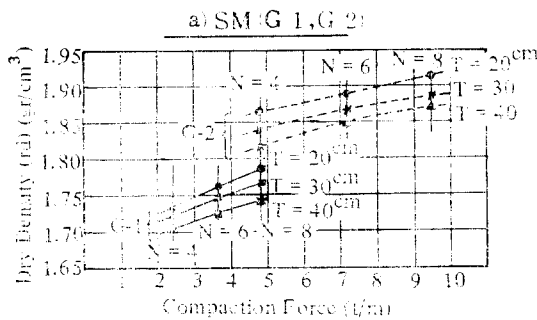


Fig. 5-1. The Relationship between N and γ_d

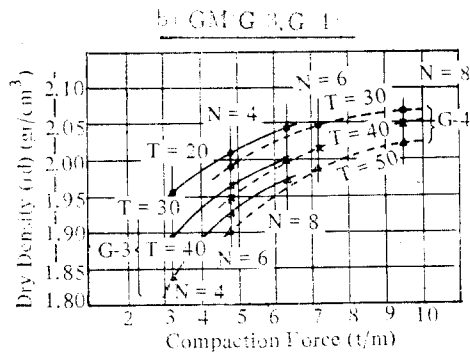


Fig. 5-2. The Relationship Between N and γ_d

Fig.5에서 보던 모든 試料의 경우 다짐 에너지가 클수록 密度가 增加되었으며 SM 試料은 8회까지 密度의 直線的인 增加현상을 나타내나 GM, GW 試料은 6회까지 密度가 크게 增加되다 8회에서는 다소 緩慢하게 증가됨을 알수있다.

이와같이 에너지가 增加될수록 密度가 계속커진 것은 모든 試料에서 轉壓回數를 8회까지로 固定시켰기 때문이며 轉壓回數를 더 증가시키면 1975年의 秦

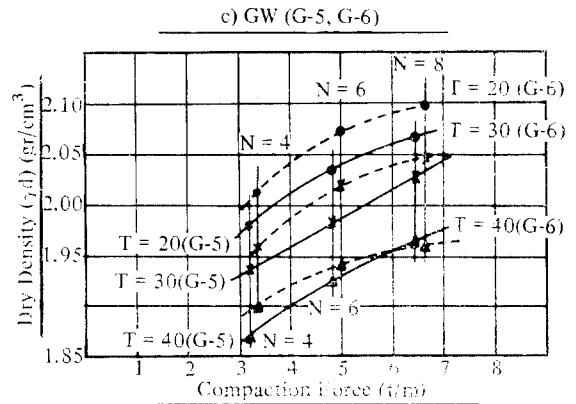


Fig. 5-3. The Relationship between N and γ_d

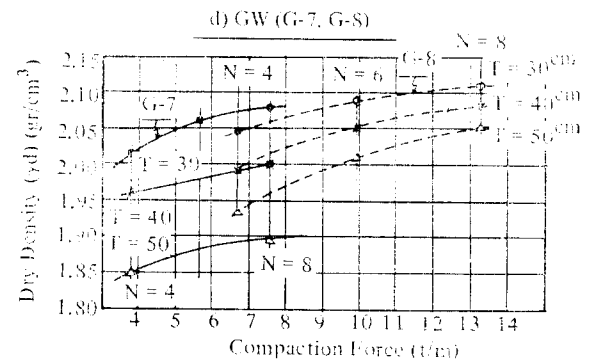


Fig. 5-4. The Relationship between N and γ_d

의 研究에서와 같이 密度의 減小現象이 있을것으로 생각되며²²⁾ SM 試料은 8회까지 밀도가 계속크게 증가될것은 秦(1979年)의 研究結果에서처럼 SM 試料이 다소 細粒材가 많은 材料이므로 8회以上 轉壓해야 보다 좋은 效果가 있음을 나타낸다.³⁰⁾

그러나 GM이나 GW의 砂礫質에서는 6~8회轉壓하여도 必要한 密度로 轉壓할 수 있음을 보여 주고 있으며 이는 秦²²⁾ 및 鄭¹⁵⁾의 研究結果나 設計基準²³⁾ 및 日本 二倉 隆雄의 結果와도 一致되고 있다.

4. 密度와 다짐率과의 關係

Table-4에서 各 土質 分類로 物理的 性質을 비교하여 보면 GM과 GW 試料은 비슷한 性質을 나타내지만 다짐 시험 結果에서는 그 差가 뚜렷하며 다짐율(D)과 密度와의 關係는 Fig.6과 같다.

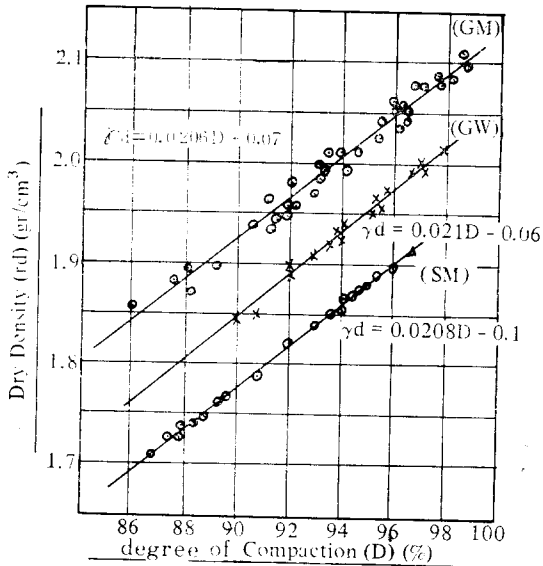


Fig. 6. The Relationship between r_d and D

그리고 각 흙분류로 다짐율과 密度와의 關係式은 다음과 같다.

分類	關係式	備考
SM	$r_d = 0.0208D - 0.1$	r_d = 건조밀도 (gr/cm ³) D = 다짐율
GM	$r_d = 0.021D - 0.06$	
GW	$r_d = 0.0206D + 0.07$	

5. 乾燥 密度와 透水係數와의 關係

各 試料에 對한 건조 密度와 現場透水係數의 關係

Table-5. 乾燥密度와 透水係數와의 關係

구분 분류	전조밀도 g/cm ³	투수 계 수(K)				투수계수의 감소율			
		1.8	1.9	2.0	2.1	1.8	1.9	2.0	2.1
SM		1.6×10^{-8}	3.2×10^{-4}	6.0×10^{-5}	1.2×10^{-5}	1	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{27}$	$\frac{1}{133}$
GM		7.6×10^{-3}	1.8×10^{-3}	3.9×10^{-4}	8.6×10^{-5}	1	$\frac{1}{4.2}$	$\frac{1}{19.5}$	$\frac{1}{88.4}$
GW		3.2×10^{-2}	1.3×10^{-2}	5.1×10^{-3}	2.0×10^{-3}	1	$\frac{1}{2.5}$	$\frac{1}{6.3}$	$\frac{1}{16.0}$

Fig.7 및 Table-5에서 각 흙분류로 透水係數를 보면 SM試料은 대략 $K = \alpha \times 10^{-4}$ cm/sec, GM시료는 $K = \alpha \times 10^{-3} \sim 10^{-4}$, 그리고 GW는 $K = \alpha \times 10^{-2} \sim 10^{-3}$ cm/sec로서 이들의 試驗値는 Behi²³⁾의 SM의 $K = \alpha \times 10^{-4}$ cm/sec의 값과 Thomas²⁴⁾의 研究에서 透水

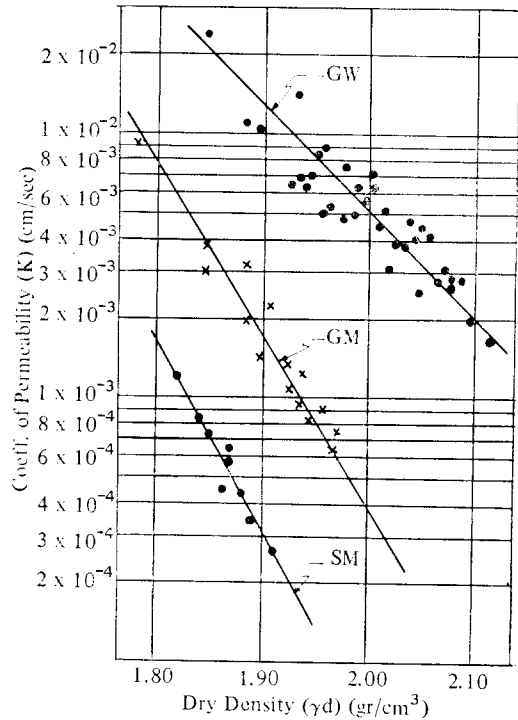


Fig. 7. The Relationship between r_d and K

는 Fig.7과 같다.

그림에서 보면 건조密度와 透水係數의 關係는 $K = ae^{-br^d}$ 로 (여기서 r_d = 건조밀도) 久野¹⁶⁾ 및 尹²³⁾의 研究結果와 同一하며 이의 變化形態는 SM과 GM이 비슷하고 GW가 적음을 알수있으며 이를 表로 나타내면 Table5-와 같다.

性部の $K = \alpha \times 10^{-3} \sim 10^{-4}$ 의 값과 同一한 結果를 나타내고 있다.

그리고 건조密度增加에 따른 透水係數의 減小率을 보면 건조密度가 1.8gr/cm³에서 2.1gr/cm³로 增加될때 SM은 $\frac{1}{133}$ 로 減소되고 GM은 $\frac{1}{88.4}$ 로, 그리

6. 다짐률과 透水係數와의 關係

各 흙分類別로 다짐률과 透水係數와의 關係는 Fig. 8 및 Table-6과 같다.

Fig.8에서 보면 다짐률(D)과 透水係數(K)와의 관계는 $K=ae^{-bD}$ 로서 다짐율이 증가함에 따라 透水係數가 작아지는데 SM시료와 GM시료는 비슷한 비율로 감소율이 크며 GW시료는 透水係數의 減少率이 작아 다짐율에 크게 영향되지 않음을 알수 있다. 即 Table-6에서 보면 다짐율이 100%에서 90%로 떨어질 때 SM 및 GM의 透水係數는 다같이 약 20배 增加되나 GW는 3.5배밖에 증가되지 않는다. 本 試驗에서 시료의 SM, GM투수계수의 增加率이 크다고 하여도 이값은 1979년에尹⁸⁰⁾이 行한 試驗에서 粘土에 對한 增加率보다는 훨씬 적으므로, 흙의 透水係數는 細粒材일수록 다짐율에 크게 影響을 받음을 알수 있으며 이로서 止水를 要하는 구조물에서는 細粒材일수록 다짐에 철저를 기해야 됨을 알수 있다.

7. 盛土두께와 透水係數와의 關係

Fig.9는 다짐율에 대한 透水係數의 變化를 盛土두께(한층의 퍼 가는 두께)별로 나타낸 것이다.

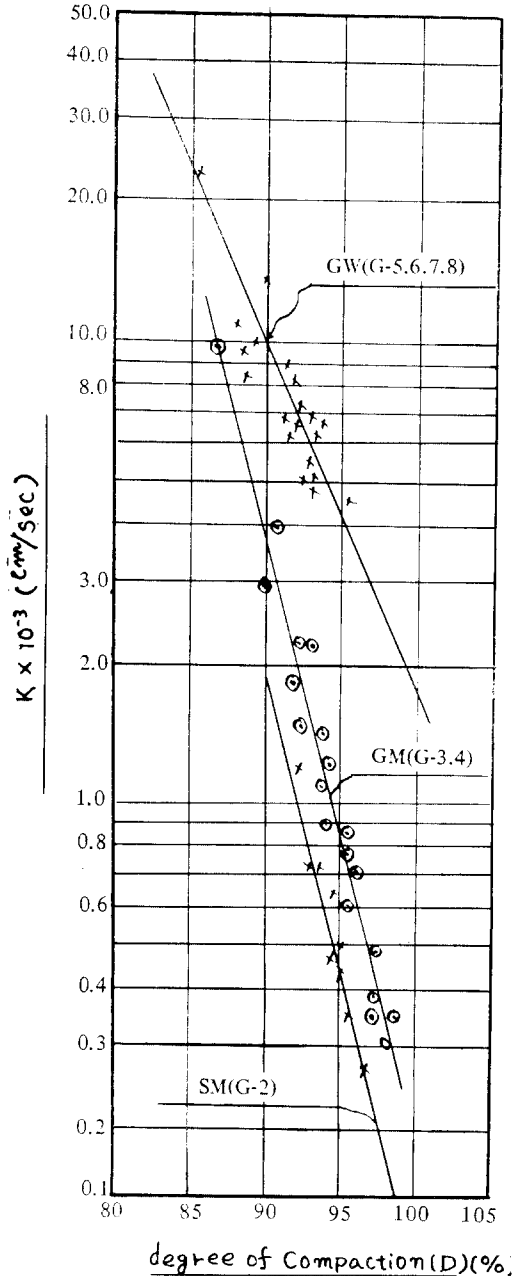


Fig. 8. The Relationship between D and K

고 GW는 $\frac{1}{16}$ 로 감소되며 GW試料는 건조密度變化에 따른 透水係數의 變化가 크지 않음을 알수 있으며 이는 細粒子가 透水係數에 影響되는 바가 큼을 알수 있다.

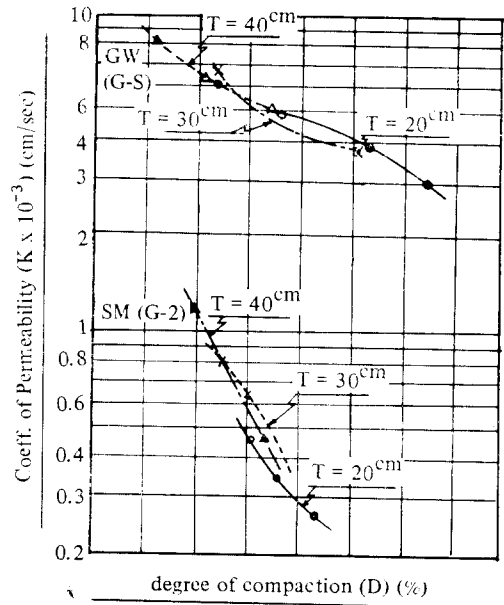


Fig. 9. The Relationship between T and K

Table-6. 다짐율과 투수계수와와의 관계

구분 분류	다짐 율%	투수계수(K)cm/sec			투수계수 증가율			200번째 통과량
		100	95	90	100	95	90	
SM		1.0×10^{-4}	4.3×10^{-4}	2.0×10^{-3}	1	4.3배	20.0배	18~26%
GM		1.8×10^{-4}	7.8×10^{-4}	3.7×10^{-3}	1	4.3배	20.5배	12.6~13.5%
GW		1.8×10^{-3}	4.4×10^{-3}	1.01×10^{-2}	1	2.4배	5.8배	2.5~4.0%

Fig.9에서 알수 있는 것은 퍼 가는 盛土두께가 다르더라도 다짐율이 같으면 透水係數의 값도 거의 동일한 값을 알수 있으며 이 現象은, 粘土에서는 다짐율이 같을지라도 성토두께가 클수록 투수계수도 크게 나타났던 尹⁸⁰⁾의 結果와는 相異한 것으로서 이는 土質의 種類 및 轉壓方法이 서로 다르기 때문으로 생각된다. 即 粘土의 경우는 細粒이고 탬핑롤러(Tamping Roller)로 전압하므로써 1個의 層을 볼때 上部와 下部의 密度가 同一하지 않을 것이나 粗粒인 경우는 振動롤러로 轉壓하여 上下部가 거의 同一함을 나타내며 따라서 粘土는 水平透水係數와 垂直透水係數의 差가 크나 細粒土에서는 그의 差가 별로 없음을 알수 있다.

8. 轉壓回數(N)와 다짐率(D) 및 盛土두께(T)와의 關係

各式롤러에 對한 N, D 및 T와의 關係는 Fig.10과 같다.

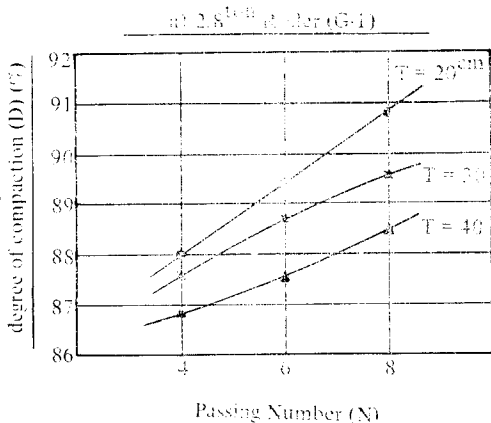


Fig. 10-1. The Relationship Among N, D and T

Fig.10을 기준으로 하여 각 試料의 다짐率95%와 92%의 乾燥密度를 만족시킬 수 있는 盛土두께와 轉壓回數는 Table-7과 같다.

Fig.10 및 Table-7에서 盛土92%以上の 轉壓을 爲

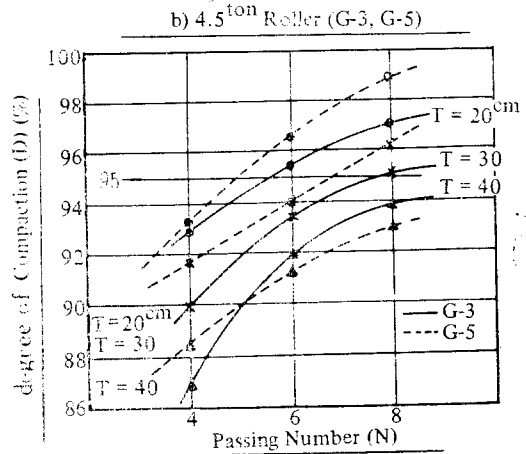


Fig. 10-2. The Relationship Among N, D and T

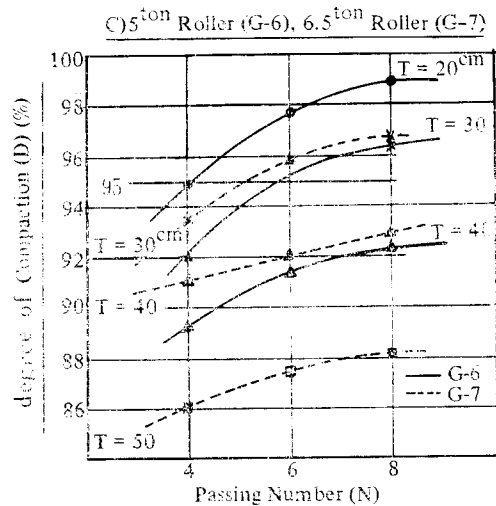


Fig. 10-3. The Relationship Among N, D and T

해서는 2.8ton롤러는 不適合함을 알수 있고 同一한 密度로 轉壓하기 爲하여 case 1과 case 2의 경우가 있으나 앞에서 말한것처럼 施工側面에서는 盛土두께를

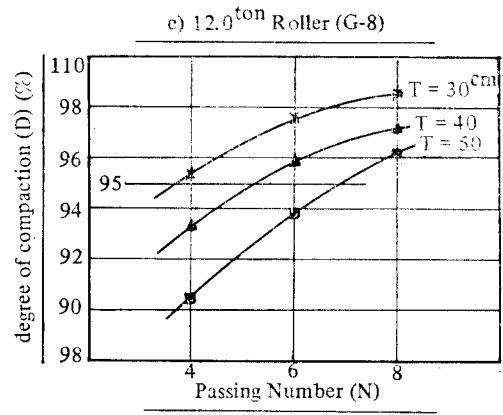
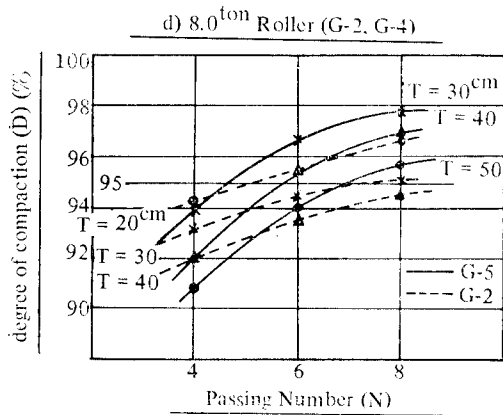


Fig. 10-4. The Relationship Among N, D and T

Fig. 10-5. The Relationship Among N, D and T

Table-7. Thickness and passing Number

Soil	Roller Cap T and N	D		D=92%				D=95%			
		T and N		case 1		case 2		case 1		case 2	
		T	N	T	N	T	N	T	N		
G-1(SM)	2.8 ton 20 cm	20	12	—	—	—	—	—	—	—	
G-2(SM)	3.0 ton 40 cm	40	4	50	5	30	4	40	6		
G-3(GM)	4.5 ton 30 cm	30	5	40	6	20	6	30	8		
G-4(GM)	8.0 ton 40 cm	40	5	50	6	40	6	50	8		
G-5(GW)	4.5 ton 30 cm	30	5	40	6	20	6	30	8		
G-6(GW)	5.0 ton 30 cm	30	5	40	8	20	5	30	8		
G-7(GW)	6.5 ton 50 cm	50	4	40	6	20	4	30	6		
G-8(GW)	12.0 ton 40 cm	40	3	50	4	40	5	50	7		

두겹계 하는 것이 유리하므로 case 2의 경우를 택함이 옳을 것이다.

그러므로 이러한 점을 고려하여 굵로울러별로 92% 및 95%다짐을 위한 施工基準을 定하던 Table-8과 같다.

Table-8. Construction Criteria.

Roller	D=92%		D=95%	
	T	N	T	N
2.8 ton Roller	20 cm	12	—	—
4.5 ton Roller	40	6	30	8
5.0 ton Roller	40	8	30	8
6.5 ton Roller	40	6	30	6
8.0 ton Roller	50	6	50	8
12.0 ton Roller	50	4	50	7

Fig.10과 Table-7 및 8을 검토하여 볼때 盛土의 轉壓은 6회轉壓까지 密度가 현저하게 증가되나 그 이상에서는 증가현상이 둔화되어 砂礫質土의 轉壓은 6~8회 轉壓해야됨을 알수있으며 이는 日本대담(Large Dam)이나 1975年案¹¹⁾ 및 鄒¹²⁾의 研究結果와도 同一한 것이다.

그리고 砂礫土의 轉壓을 위해서 2.8ton로울러는 不適當하고 4.5ton 및 6.5ton로울러의 경우는 層의 두께가 40cm이상 두겹계 盛土할수없으나 8ton以上로울러에서는 50cm의 두께로도 성토할수 있다.

IV. 結 論

本 研究試驗은 墾田의 透水性部 및 道路 補助基層部 施工의 轉壓裝備로 使用하는 振動로울러의 施工基

準을 提示함과 同時에 轉壓된 盛土의 密度와 透水係數의 變化를 說明하기 위한 것으로 그 結果는 다음과 같으며 本資料가 로울러의 規格別로 整理되어 있으므로 이를 利用함으로써 透水性 土質의 轉壓을 위한 設計 및 施工計劃 樹立을 보다 正確히 할 수 있으리라 생각한다.

1. 修正다짐試驗의 最大乾燥密度와 最適含水比와의 關係는 $\gamma_{dmax}=2.74-0.064w_0$ 이다.

2. 細粒材가 많을수록 최대진조 密度는 減小되며 이들사이에는 $n=ae^{-b\gamma_{dmax}}$ 의 關係식이 성립된다.

3. 最大진조密度에 對한 粒度의 영향은 4번째 통과율보다 200번째 통과율이 훨씬크다. 即 200번째 통과량이 많을수록 최대진조 密度가 적다.

4. 透水係數는 透水性材料에서는 다짐率이 同一하면 盛土의 두께에 關係없이 同一하다.

5. 透水係數는 주로 200번째 통과량에 크게 영향되며 이들관계는 反比例한다.

6. 盛土材料의 透水係數는 修正다짐율 90~95%에서 대략 $K=\alpha \times 10^{-3} \sim 10^{-4} \text{cm/sec}$ 이다.

7. 細粒材가 적은 材料일수록 密度變化에 따른 透水係數의 變化가 적다.

即 密度가 1.8gr/cm³에서 2.1gr/cm³로 커질때 透水係數의 감소율은 SM材料는 1/133, GM재료는 그리고 1/88, GW재료는 1/16밖에 안된다.

8. 다짐율 이하에 따른 투수계수의 增加率은 200번째 通過量과 關係가 커서 $D=100\%$ 에서 $D=90\%$ 로 減小될때 SM와 GM재료는 透水係數가 약 20倍 增加되나 GW는 약 6倍가 增加되었다.

9. 盛土의 機械轉壓效果는 6회전 앞까지는 크게 나타나고 8회에서는 그 增加率이 적어지며 이 現象은 로울러가 클수록 그리고 細粒材가 적을수록 현저하게 나타난다.

10. 透水性 盛土材料를 95%以上 轉壓하기 위해서는 4.5~6.5ton로울러로는 30cm두께로 6~8회 전압하고 8~12ton로울러는 50cm 두께로 7~8회 전압해야 한다.

11. 흙에 加해진 전에너지(Total Energy)가 同一하더라도 다짐의 效果는 로울러의 重量 및 전압회수에 따라 다르다.

參 考 文 獻

1. Anderson, L.H, and R.J. Canlon (1971) "The Lower Notch Generating Station" H.G. Acres Canada.

2. Burmister, D.M. (1964) "Environmental Factors in Soil Compaction" A.S.T.M. Special Tech. Publication No 377

3. Behi, J.C. and M.L. Chaudhry (1968) "Exploration and Testing of Earth and Rock Materials" Symposium on Earth and Rock Fill Dams. India.

4. Department of the Navy(1962) "Design Manual" pp.7-9-1-7-9-14. U.S Naval Publications.

5. _____(1974) "Design Manual" pp.7-9-1~7-9-10 Naval Facilities Engineering Command U.S.A.

6. Hall, J.W. (1968) "Soil Compaction Investigation" U.S. Army Engineer. Waterways Experiment Station.

7. 한국수자원개발공사 (1970) "昭陽江多目的댐試驗盛土報告書"

8. Japanes Natoinal Comittee on Large Dams (1976) "Design Criteria for Dams pp.83~125

9. 秦柄益(1965) "Earth and Rock Fill Dam의 心壁材料에 關한 實驗的 研究" 대한토목학회지 13권3호

10. _____(1969) "異形心壁에 對한 Fill Dam의 侵透에 關한 研究(3報)" 대한토목학회지 16권4호

11. _____(1975) "Fill Dam의 機械化다짐 施工에 關한 研究" 대한토목학회지 23권2호

12. 鄭鈺, 張寅局 (1979) "建設機械化施工" 省安堂 pp.74~85

13. 姜父默(1969) "흙의 다짐에 관한 연구(1)" 농공학회지 11권4호

14. _____(1970) "흙의 다짐에 관한 연구(2)" 농공학회지 12권1호

15. _____(1970) "흙의 다짐에 관한 연구(3)" 농공학회지 12권2호

16. 久野悟郎(1962) "土の締固め" p.1-3, 10~234 技報堂全書57

17. 李一善, 秦柄益(1976) "土木施工 Data Book" pp.522~530

18. 농림부(1968) "토지개발사업계획설계기준(월담편)" pp.84.89, 306~334

19. 농업진흥공사(1979) "榮山江開發" pp.194~207

20. Sherard, J.L, R.J. Wood word, S.F. Gizienski

- and W. A. Clevenger (1963) "Earth and Earth-Rock Dam" John Wiley and Sons Inc pp.201~207. 563—671
21. 신방용 "Fill Dam心壁의 浸透流量에 關한 實驗的研究(1969) 대한토목학회지 16권4호
22. 土質工學會(日本) "設計施工基準集(土工施工編 pp.2-14~2-22, 5-138-5-171
23. Teng. W.C. (1962) "Foundation Design" Prentice-Hall International Inc. pp10~13
24. Thomas H.H (1976) "The Engineering of Large Dams" John Wiley & Sons Inc. pp. 621~672
25. U.S.B.R. (1977) "Design of Small Dam" A water Resources Technical Publication pp' 249~269, 619~644
26. U.S.B.R (1968) "Earth Manual" Denver Colorado U.S.A. pp.228~273
27. 尹忠燮 (1971) "築堤用흙의 含水比變化에 依한 다짐율 및 透水係數變化에 關한 研究" 농공학회지 13권4호
28. " (1973) "築堤用흙의 密度變化에 依한 透水係數에 關한 研究" 농공학회지 15권1호
29. " 金周範(1975) "흙의 工學的 性質에 關한 研究. 농공학회지 17권3호
30. " " (1979) "Fill Dam의 機械轉壓效果에 關한 研究" 농공학회지 21권3호