

遲延다짐이 Soil-Cement의 壓縮強度에 미치는 影響

The Effect of Delayed Compaction on Unconfined Compressive Strength of Soil-Cement Mixtures

鄭 一 雄* · 金 文 基** · 都 德 鉉***
Jeong, Il Woong · Kim, Moon Ki · Do, Duk Hyun

Summary

This study was attempted to investigate the effects of delayed compaction on the unconfined compressive strength and dry density of Soil-cement mixtures. Soil-cement construction is a time-consuming procedure. Time-delay is known as a detrimental factor to lower the quality of soil-cement layer. A laboratory test was performed using coarse and fine weathered granite soils. The soils were mixed with 7% cement at optimum moisture content and excess moisture content in part. Secondary additives such as lime, gypsum-plaster, flyash and sugar were tried to counteract the detrimental effect of delayed compaction. The specimens were compacted by Harvard Miniature Compaction Apparatus at 0,1,2,4,6 hours after mixing. Two kinds of compactive efforts (9^{kgf} and 18^{kgf} tamper) were applied.

The results were summarized as follows :

1. With the increase of time delay, the decrease rate of dry density of the specimen compacted by 9^{kgf} tamper was steeper than that of the specimen compacted by 18^{kgf} tamper. In the same manner, soil-B had steeper decreasing rate of dry density than soil-A.
2. Based on the results of delayed compaction tests, the dry density and unconfined compressive strength were rapidly decreased in the early 2 hours delay, while those were slowly decreased during the time delay of 2 to 6 hours.
3. The dry density and unconfined compressive strength were increased by addition of 3% excess water to the optimum moisture content during the time delay of 2 to 6 hours.
4. Without time delay in compaction, the dry densities of soil-A were increased by adding secondary additives such as lime, gypsum-plaster, flyash and sugar, on the other hand, those of soil-B were decreased except for the case of sugar.
5. The use of secondary additives like lime, gypsum-plaster, flyash and sugar could reduce the decrease of unconfined compressive strength due to delayed compaction. Among them, lime was the most effective.
6. From the above mentioned results, several recommendations could be suggested in order to compensate for losses of unconfined compressive strength and density due

* 서울대학교 大 學 院 · 農 業 振 興 公 社

** 서울대학교 農 科 大 學

*** 建 國 大 學 校 農 科 大 學

to delayed compaction. They are a) to use coarse-grained granite soil rather than fined-grained one, b) to add about 3% excess compaction moisture content, c) to increase compactive effort to a certain degree, and d) to use secondary additives like line gypsum-plaster, flyash, and sugar in proper quantity depending on the soil types

I. 緒 論

地球上에서 地殼의 대부분을 덮고 있는 흙은 매우 흔하고 얻기 쉬운 建設材料의 하나로서 塹·道路와 飛行場, 構造物基礎 등의 土工構造物에 많이 사용되고 있다. 그러나 이들 工事に 있어서 不連續體인 흙이 갖추어야 할 工學的性質이나 經濟性이 어떤 基準에 미치지 못할 경우 粒度調整 또는 시멘트, 석회, 아스팔트 등에 의한 安定處理工法을 適用하는 등 필요한 對策을 講究해서 利用되어 왔다.

最近 우리나라의 經濟開發計劃에 따른 建設工事의 一環으로 道路鋪裝工事が 活潑히 進陟되어 主要工事材料인 河川骨材의 需要는 急増하고 있으나, 이들은 地域에 따라 枯渴되거나 運搬距離가 멀고 碎石은 高價여서 代替骨材 開發이 時急한 실정이다. 따라서 道路工事に 使用되는 骨材만이라도 近距離에서 求하기가 容易한 良質粒度의 花崗土와^{33,35)} 우리나라에서 生産量이 豊富한 시멘트를 混合 使用하는 Soil-Cement 安定處理工法으로 代替使用함으로써 工事費를 節減할 수 있을 것으로 생각된다.

또한 近間에 都市와 農村의 均衡發展을 위하여 推進되고 있는 農村地域綜合開發事業에 있어서 農村所得源增大, 農產物流通, 農村生活環境改善을 위하여 先決되어야 할 農村道路의 建設에 있어서는 交通量이나 設計荷重을 考慮할 때 高價의 河川骨材를 遠距離에서 運搬使用하는 것보다 現地附近의 흙으로 Soil-Cement 安定處理工法을 適用하는 것이 施工管理와 經濟的인 面에서 有利하다고 본다.

그러나 Soil-Cement 安定處理工法의 施工은 흙덩어리 粉碎, 시멘트撒布, 混合加水, 다짐 등의 施工方法에 따라서 一般적으로 2~4時間이 所要되며^{1,12)} 흙과 시멘트 混合加水 후 다짐까지의 遲延時間은 Soil-Cement의 凝固反應을 阻害하여 強度, 耐久性 등에 여러가지 問題點을 惹起시킨다.

따라서 本 研究에서는 2種類(粗粒質 및 細粒質)의 花崗土를 對象으로 遲延다짐이 Soil-Cement의 乾燥密度와 壓縮強度에 미치는 影響을 究明하고 遲延다짐對策으로서 第2添加劑 4種類를 使用했을 때의 效果를 檢討하여 遲延다짐이 不得이 한 경우에 對備하여 必要한 基礎資料를 提供하고자 하였다.

II. 研究史

1824年 英國人 Joseph Aspdin²⁶⁾이 시멘트를 發明한 以來 美國(1917)의 T. H Amies가 "Soil-amies"라는 特許를 얻어 道路工事に 使用한 것이 Soil-Cement에 관한 最初의 記錄으로 알려져 있으며 1920年 道路工事用 特許로서 "Soilcrete"가 다시 開發되었다^{2,18)}.

그 후 Iowa, Ohio, Texas와 其他地域에서 흙과 시멘트를 混合 使用한 非公式 記錄이 있으나 當時는 試驗室에서 定量的으로 값을 求하여 必要한 成果品을 만들거나 所定의 示方書에서 規定된 施工節次도 없는 段階였다²⁾. 1920年代에 美國의 여러 州에서 道路의 基層 및 鋪裝工事に 利用하기 위하여 Soil-Cement에 관한 試驗이 始作되었다. 그러나 體系的인 研究는 1929年 Proctor의 흙다짐 室內試驗과 Filsofov(1931)의 포틀랜드 시멘트가 흙의 諸性質에 미치는 影響에 관한 研究發表 以後부터 始作되었다^{8,15)}.

1932年 South Carolina 道路局에서는 低廉한 全天候道路를 만들기 위한 努力으로 Moorefield가 흙과 시멘트의 混合에 관한 研究를 始作하여 1933~34년에 道路에 試驗施工하여 研究한 結果 雨期에 바퀴자국이 나거나 變形되지 않고 또 冬期에도 分解, 泥土化되지 않은 여러가지 Soil-Cement의 두께가 提示되고, 흙과 시멘트의 相互反應에 대한 研究結果 흙과 시멘트는 混合使用이 可能한 相互補完의 材料로서 道路에 有用하게 쓸 수 있음이 밝혀졌다²⁾. 이러한 經驗을 基礎로 해서 1935년에 P. C. A에서는 研究計劃에

의해 Soil-Cement의 品質을 左右하는 要因을 科學的으로 豫測할 수 있는 試驗方法을 發展시켰다.¹⁵⁾

Soil-Cement가 道路의 基層材料로서 成功的으로 施工 報告된 것은 1936年 美國의 South Carolina, Johnson Ville에서 이며 그 후 California에서도 1940年 까지 모든 Soil-Cement 공사는 路上混合式으로 施工되어 施工두께나 시멘트 混合에 있어서 均一하게 施工하기 어려웠고 더욱이 農業用機械(그當時 使用된 disc나 Harrow)에 의한 路上混合은 물과 시멘트를 混合하여 最終 다짐까지 보통 6~8時間 所要되었으며 이러한 遲延時間은 Soil-Cement의 品質을 阻害하는 要因이 되었다. 따라서 California州의 標準示方書에 “시멘트 混合土에 加水 후 最終 다짐 完了時까지의 經過時間이 2時間 이상 超過되어서는 안된다.”고 規定하고 있다.¹⁰⁾

한편 Lilley (1963)¹³⁾는 모래·점토질 실트, 실트질 점토의 3種類의 흙을 使用한 Soil-Cement의 研究에서 遲延時間은 乾燥密度의 減少와 強度를 低下시키는 原因이 된다고 하였다.

West (1963)²⁴⁾는 均等粒度의 모래를 使用한 Soil-Cement에 대하여 6~7時間의 遲延다짐을 하였던 바 強度에는 큰 影響이 없었으나 점토와 모래질 자갈을 使用할 境遇는 密度와 強度가 많이 減少되었고 따라서 遲延時間을 줄이기 위한 適切한 施工裝備를 選定해야 한다고 하였다.

Arman (1967)¹⁾은 여러가지 흙을 使用한 Soil-Cement 研究에서 遲延다짐의 影響은 흙의 種類에 따라 크게 다르고 大部分의 실트와 점토질의 흙은 強度, 耐久性 및 密度減少가 甚하며 그 감소는 시멘트풀의 初期凝結時間과 一致되는 遲延다짐에서 크게 일어나므로 그 對策으로서 a) 基

層 두께의 增加 b) 遲延劑使用 c) Plant 混合한 Soil-Cement를 使用하여 시멘트 初結時間의 80% 以內에 다져야 한다고 하였다.

Lightsey (1970)¹²⁾는 遲延다짐에서 最適含水比에 餘分의 含水比를 加한 超過含水比로서 Soil-Cement의 強度와 耐久性의 減少를 줄일 수 있으며 最大強度와 耐久性에 必要한 超過含水比는 흙의 種類와 遲延時間에 따라 다르다고 하였다.

Ⅲ. 使用材料 및 方法

1. 使用材料

가. 흙 試料

흙試料는 우리나라의 全域에 걸쳐 分布되어 있는 花崗岩質風化土로서 粗粒質花崗土(A試料: No. 4 次 通過分)와 細粒質花崗土(B試料)의 2種類를 使用하였으며³³⁾ 그 物理的·性質 및 採取位值는 Table-1과 같고 粒度分布曲線은 Fig. 1과 같다.

나. 시멘트試料

國內에서 生産되는 H會社 製品의 普通포틀랜드시멘트로서 그 物理化學的 性質은 Table-2와 같다.

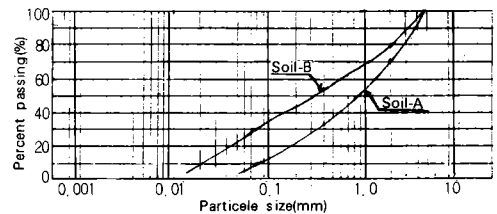


Fig. 1. Grain size distribution curves

Table-1. Physical property of soil

Type of soil	Specific gravity	Atterberg limit (%)			Max. grain size (mm)	Grain size distribution, percent passing (%)			Coeff. of uniformity	Classification fo soil		Max. dry density (g/cm ³)	Opt. moisture content (%)	Location of sampling
		LL	PL	PI		No. 10 sieve	No. 40 sieve	No. 200 sieve		Unified soil classification	AAS HO			
A	2.65	-	N. P		4.76	70.7	32.6	9.8	16	SW-SM	A-1-b	1.80	11.0	서울, 동대문, 위경
B	2.65	36.2	N. P		4.76	78.5	54.0	29.8	33	SM	A-2-4	1.57	18.8	서울, 성동, 모진

Table-2. Quality of Normal Portland Cement

Physical properties				Chemical properties				
Property		Item	Result	K. S.	Compound	Item	Result	K.S
Specific gravity			3.15		Ignition loss (%)		0.9	<3.0
Finess	Blainess	cm/gr	3.300	>2.800		Insoluble residue (%)		0.6
		Initial (min)	160	> 60	SO ₃ (%)			2.2
Time of Setting		Final (hr)	5.45	< 10		MgO (%)		2.8
	Soundness			0.41	<0.80		SiO ₂ (%)	
Water requirement (%)					Al ₂ O ₃ (%)			5.2
Strenhth (kg/cm ²)	Compre-ssion ages	1day				Fe ₂ O ₃ (%)		3.3
		3days	160	> 127	CaO (%)			62.1
		7days	245	> 197		Free CaO (%)		1.0
		28days	331	> 281				

Table-3. Chemical Composition of Additives (%)

Additives	Item	Ig, loss	Ig, loss Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	S	P ₂ O ₅	Insolibia Residue	
Lime		19.4	3.65	1.12	0.78	60.1	-	0.25	0.075	-	0.8
Gypsum-plaster		5.08	2.28	1.29	0.0041	36.71	-	53.28	-	1.57	
Flyash		6.15	46.39	36.25	3.92	1.36	0.51	0.12	-	-	-
Sugar	C ₁₂ H ₂₂ O ₁₁										

다. 第2添加劑

石灰는 市販 마그네샤石灰, 石膏는 T産業의 石膏plaster, 플라이애쉬는 市販製品을 購入하여 使用하였으며, 이들의 化學的 性質은 Table.3과 같다. 그리고 雪糖은 J會社의 제품(白色)을 購入 使用하였다.

2. 方 法

가. 다짐試驗

遲延다짐에 따른 密度와 強度의 變化測定을 위한 다짐試驗은 實際 Soil-Cement 施工現場에서 使用되는 1차다짐용으로 쉬프트로울러(Sheep foot roller)나 2차다짐용으로 머캐덤 로울러(Macadam roller), 탠덤로울러(Tandam roller) 등의 現場다짐 形態(Kneading Compaction)와 같은 效果를 내기 위하여 試驗室다짐用 器具로 開發된 Harvard Miniature Compaction Apparatus (HMCA)^{5,9,38}를 使用하였으며, 同器具의 9kgf와 18kgf의 탬퍼로 3층 25회로 均一한 供試體가 되도록 ASTM Committee D-18에 提案된 方法에 準하여 다졌다²⁵.

混合시멘트量은 Soil-Cement에 있어서 乾燥收縮과 經濟的인 面을 參酌하여 乾燥含水量의 7%

로 하였고 第2添加劑는 金³¹과 都³⁴의 研究結果를 參酌하여 乾燥含水量의 3%, 다만 雪糖은 Chin³의 시멘트폼에 대한 雪糖의 遲延效果研究結果에 의하여 시멘트重量의 0.2%를 混合 使用하였다.

遲延時間 0, 1, 2, 4, 6時間에 따른 乾燥密度變化를 測定하기 위한 試料은 흙과 시멘트 및 第2添加劑를 손器具(흙손, 고무장갑)로 均一하게 비비고, 最適含水比와 一部는 既往의 研究結果^{12,30}를 參考하여 最適含水比 보다 3% 濕潤側의 超過含水比로 調節하여 만들고 遲延時間까지의 水分蒸發을 防止하기 위하여 密閉된 容器에 保管하였다. 또한 密度試驗用 供試體도 H·M·C·A다짐몰드(直徑=3.33cm, 높이=7.15cm)에 의해 3개씩 製作하였다.

나. 壓縮強度試驗

密度試驗에서와 同一하게 製作한 供試體를 Ejector로 押出하는 方法으로 3日, 7日, 28日, 壓縮強度 試驗用 供試體를 製作하였다. 供試體는 養生溫度 23±1℃ 相對濕度 96% 以上으로 維持하여 濕潤養生하고 3日強度를 除外한 모든 供試體는 試驗 1日前 24時間 水沈後 試驗을 하였으며 壓縮強度試驗은 CBR試驗機를 使用하여

供試體의 強度에 따라 每秒 $1.5 \pm 0.5 \text{ kg/cm}^2$ 範圍內에서 一定한 速度로 加壓하면서 破壞時까지의 最大荷重을 測定하였다.

IV. 結果 및 考察

1. 遲延다짐과 乾燥密度와의 關係

가. 遲延다짐에 따른 乾燥密度

一般土工에서와 마찬가지로 Soil-Cement의 乾燥密度는 現場다짐의 程度를 나타낼 뿐만 아니라, Soil-Cement의 強度와 耐久性의 指標가 되는 代表的인 物理的性質이라 할 수 있다⁴⁾.

흙과 시멘트와 물을 適切히 混合하여 다짐을

하면 시멘트의 水和作用에 의하여 強하고 耐久의이며 經濟的인 鋪裝材料를 形成하게 된다. 이를 道路의 基層이나 補助基層에 使用할 경우, 흙의 粉碎, 시멘트의 混合, 最適含水比調整(加水), 다짐 등의 作業過程에서 不得已 遲延다짐을 하게 되며 이러한 遲延다짐은 Soil-Cement의 工學的性質을 左右하는 흙의 固有의 物理化學的性質을 變化시키게 된다.

遲延다짐을 實施하기 前에 試料別 最適含水比를 求하기 위하여 前章 III-2-가項의 다짐試驗方法으로 다짐에너지 및 添加劑別로 含水量과 乾燥密度關係試驗을 實施한 結果는 Table. 4와 같다.

Table-4. Compaction Characteristics of Soil Cement Mixtures with Additives

Additives	Compct. Characts Soils Tamper	Optimum moisture content %				Maximum Dry Density g/cm^3			
		A (coarse)		B (fine)		A (coarse)		B (fine)	
		9kg	18kg	9kg	18kg	9kg	18kg	9kg	18kg
Plain		15.4	14.7	25.6	25.0	1.849	1.890	1.497	1.549
Lime		15.3	14.4	26.9	26.1	1.853	1.892	1.470	1.511
Gypsum-Plaster		15.1	14.2	25.7	25.1	1.859	1.903	1.434	1.512
Flyash		14.8	14.0	25.6	24.2	1.850	1.894	1.491	1.540
Sugar		14.5	13.6	24.4	22.8	1.890	1.912	1.516	1.569

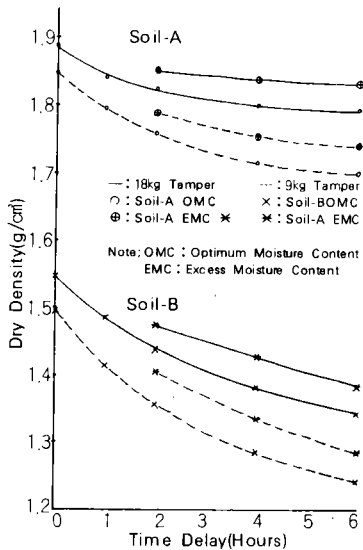


Fig. 2. Effect of Time Delay on the Dry Density of Soil-A, B Specimens with 7% Cement at the Optimum and Excess Moisture Contents

Fig.2는 다짐의 遲延時間에 따른 乾燥密度의 變化를 圖示한 것이다. 그림에서와 같이 同一한 다짐에너지에 있어서 遲延時間이 增加함에 따라 흙試料 A, B 모두 乾燥密度가 減少하며 遲延 2時間까지는 그 減少率이 急激하고 그後 6時間까지는 乾燥密度의 減少率이 比較的 緩慢하였다. 이러한 現象은 시멘트의 水和作用이 加水와 同時 混合初期에 活潑히 일어나며 시멘트의 初結時間인 2時間 前後에서 凝固物質이 形成되는데 遲延다짐으로 因한 攪亂에 의하여 이 凝固骨組의 破壞와 Soil-Cement 構造의 凝固反應이 沮害되기 때문인 것으로 생각된다.

만족스러운 強度를 얻기 위하여는 適切한 다짐이 必須的인데 Transport and Road Research Laboratory의 研究結果에 의하면 0.016 g/cm^3 의 密度減少로 因하여 $1.4 \sim 2.8 \text{ kg/cm}^2$ 의 壓縮強度가 減少하고 耐久性은 더 큰 比率로 低下하였으며²²⁾ Stanton Hveem, Beatty²⁰⁾는 다짐密度가 相對的으로 5% 減少되면 壓縮強度는 시멘트량이 10~15% 減少할 때 즉 시멘트 混合量이 10%

에서 9~8.5%로 줄어들 때의 壓縮強度보다 더 크게 減少한다고 發表하였다.

Ingles와 Metcalf¹¹⁾도 Soil-Cement의 乾燥密度는 強度에 끼치는 影響이 크며 이는 흙의 性質에 따라 약간 다르다고 하였다.

Felt⁷⁾는 最適含水比에서는 乾燥密度의 增加와 더불어 強度와 耐久性이 增加하는 傾向이 뚜렷하다고 하였다.

Maclean¹⁴⁾은 密度와 強度의 關係를 $S=Ae^{bD}$ (S =強度, D =乾燥密度, $A \cdot b$ =常數)로서 密度의 對數값과 直線關係에 있다고 하였다.

한편 A試料(粗粒質花崗土)는 B試料(細粒質花崗土)에 비하여 遲延時間에 따른 乾燥密度의 減少率이 더 작았다. 이는 A試料(粗粒質花崗土)에서는 시멘트粒子가 細粒子의 役割을 하여 空隙을 充填시킴으로서 密度의 減少가 적은 점도 있겠으나, A試料은 土粒子가 커서 比表面積이 적으므로 個個의 土粒子가 시멘트 水和作用시에 B試料보다 적은 接觸點에서 接着되므로 遲延다짐시에 이러한 接着을 破碎하는데 比較的 적은 다짐에너지가 吸收되는 反面, B試料은 各各 粒子의 相互間에 보다 많은 接着點에서 接着되어 보다 強한 接着力을 가지므로 遲延다짐시에 이를 破碎하는데 더 많은 다짐에너지가 吸收되어^{1,24)} 同一다짐에너지에서 乾燥密度가 더 減少되는 것으로 생각된다. 이러한 觀點에서 다짐이 遲延될 경우 細粒質보다 粗粒質의 花崗土(A試料)를 使用하는 것이 乾燥密度를 크게 할 수 있어 有利하다고 판단된다.

또한 다짐에너지가 큰 18kgf의 탬퍼로 다짐 供試體는 9kgf의 탬퍼로 다짐 供試體에 비하여 乾燥密度가 越等하게 높으며 다짐이 遲延됨에 따라 乾燥密度의 減少量이 보다 적었다. 이는 增加된 다짐에너지에 의하여 흙시멘트混合土의 個個粒子가 보다 촘촘하게 強制密着되어 乾燥密度가 增加됨은 勿論, 水和反應이 活潑한 初期2時間을 지남에 따라 水和 및 蒸發에 의한 含水比 減少와 半剛性化되어 불규칙한 形狀의 粒子로¹²⁾ 된 흙시멘트 混合土에는 다짐에너지가 큰 18kgf의 탬퍼가 더 效果의으로 作用하기 때문인 것으로 생각된다. 따라서 다짐時間이 遲延될 경우에 보다 높은 乾燥密度를 얻기 위하여는 다짐에너지를 어느 정도까지 增加시키는 것이 바람직한 것으로 判斷된다.

나. 乾燥密度와 超過含水比의 效果

Fig. 2에서 보인 바와 같이 2, 4, 6時間의 遲延

다짐에서 다짐含水比를 最適含水比 보다 3% 濕潤側의 超過含水比로 調節하여 製作한 供試體의 乾燥密度는 最適含水比의 것보다 乾燥密度가 增加하였다. 이러한 現象은 超過含水比가 시멘트의 水和作用에 의한 化學反應을 促進하고 蒸發에 의한 水分損失을 補充하며 다짐시 潤滑作用을 增加시키기 때문인 것으로 생각된다.

Lightsey등¹²⁾은 超過含水比의 研究에서 遲延다짐에서 充分한 물이 加해지면 不規則하게 形成된 시멘트와 흙粒子의 混合體 周圍에 水膜을 이루어 다짐시 過激한 역물림을 防止하여 다짐抵抗력을 減少시킴으로서 乾燥密度가 增加한다고 하였다. 이러한 結果로 볼 때, 現場에서 2~6時間의 遲延다짐이 예상될 경우 Soil-Cement의 品質低下를 줄이기 위하여 다짐含水比를 最適含水比보다 濕潤側으로 調整함이 有利함을 알 수 있다.

다. 乾燥密度와 添加劑의 效果

흙과 시멘트의 混合 加水後 遲延다짐에 따른 乾燥密度의 減少를 抑制하고 시멘트處理層의 品質을 向上하기 위하여 시멘트混合土에 第2添加劑로서 石灰, 石膏, 플라이에쉬를 乾燥흙重量의 3%, 또한 雪糖은 시멘트 重量의 0.2%를 A(粗粒質花崗土) 試料과 B(細粒質花崗土) 試料에 混合加水後 遲延다짐을 實施하고 遲延時間別 乾燥密度의 變化를 Fig. 3에 나타냈다.

Fig. 3에서 A試料의 경우 遲延시키지 않고 混合即時 다졌을 때의 乾燥密度는 第2添加劑를 混合함으로서 시멘트만 7% 處理하였을 때보다 약간 增加하였으나 B試料의 경우는 雪糖을 除外하고 모두 시멘트만 處理하였을 때보다 乾燥密度가 조금 減少되었는데 이러한 現象은 石灰 石膏, 플라이에쉬등의 粉末狀인 第2添加劑의 比重이 시멘트보다 낮으나 A試料과 같은 粗粒質花崗土에 混合하였을 때는 粗粒子사이의 空隙이 第2添加劑의 微細粒子들로 充填되어 全體的인 乾燥密度가 多少 增加하는 것으로 보이며 反對로 細粒質花崗土와 같은 B試料의 경우는 石灰, 石膏, 플라이에쉬 混合이 比較的 比重이 낮은 細粒子의 比率를 增加시킨 結果로 되어 乾燥密度가 減少된 것으로 생각된다. Suddath²¹⁾도 Soil-Cement에 石灰를 添加한 경우가 Soil-Cement만의 경우보다 다짐密度가 낮았다고 하였다.

그리고 다짐이 遲延됐을 때의 添加劑別 乾燥密度는 遲延時間이 增加함에 따라 減少하였으나 同一한 遲延時間에서 非添加土의 乾燥密度보다

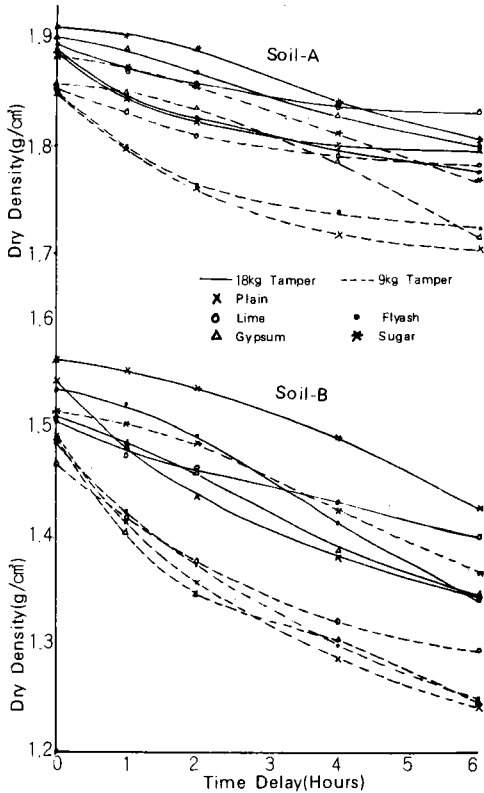


Fig. 3. Effect of Secondary Additives on the Dry Density of Soil-A, B at Various Time Delay

거의 다 大小間에 增加하였으며 特히 雪糖으로 處理한 경우는 乾燥密度의 增大效果가 매우 컸다. 雪糖은 遲延劑로서의 機能도 發揮하지만 約 1%의 最適含水比의 減水效果를 가져와서 즉 Soil-Cement의 Workability를 改善함으로써 乾燥密度를 增加시킨 것으로 생각된다. 그러나 雪糖을 添加하면 乾燥密度는 增加되나 後述하는 壓縮強度가 乾燥密度에 正比例하지 않는 경우도 있으므로 Chin등³⁾은 適한 雪糖添加量의 基準은 乾燥密度가 아니라 壓縮強度에 의하여 判斷해야 한다고 發表하였으며 金²⁹⁾은 흙의 종류에 따라 차이는 있어도 Soil-Cement에 遲延劑로서 古구 마전분을 使用함으로써 乾燥密度 및 壓縮強度의 增進에 큰 效果가 나타났다고 하였고 Sousa pinto¹⁹⁾는 石灰를 使用함으로써 遲延시간으로 인한 密度와 強度의 減少를 줄였다고 하였다.

2. 遲延 다짐과 壓縮強度와의 關係

가. 遲延 다짐과 壓縮強度

Soil-Cement의 強度에 影響을 미치는 要因은 흙의 性質(粒度分布, 化學的 組成 및 有機物含量) 시멘트量, 含水比, 다짐에너지, 混合方法, 養生溫度 및 養生期間등을 들 수 있다^{22,35)}. 本研究에 使用한 試料와 같은 花崗土를 시멘트處理하였을 때의 壓縮強度는 시멘트의 水和作用에 의하여 發揮되는 附着強度와 土粒子(石英) 自體의 強度를 合한 것에 比例한다고 하였으며³⁶⁾ 遲延 다짐에서 Soil-Cement의 品質判斷基準은 強度와 耐久性이 가장 重要하며 耐久性은 強度의 影響을 받는다고 하였다⁴⁾.

흙과 시멘트의 混合加水後에 다짐時間이 遲延됨에 따라 乾燥密度가 減少되며 壓縮強度는 乾燥密度와 密接한 關係가 있다는 것은 많은 研究結果로부터 알 수 있다^{7,14,20)}.

Fig. 4~5는 A試料와 B試料를 對象으로 시멘트 混合加水後 다짐時間의 遲延에 따른 養生日數(3, 7, 28日)別, 다짐에너지(9 kgf, 18kgf)別로 實施한 供試體의 一軸 壓縮強度의 變化를 圖示한

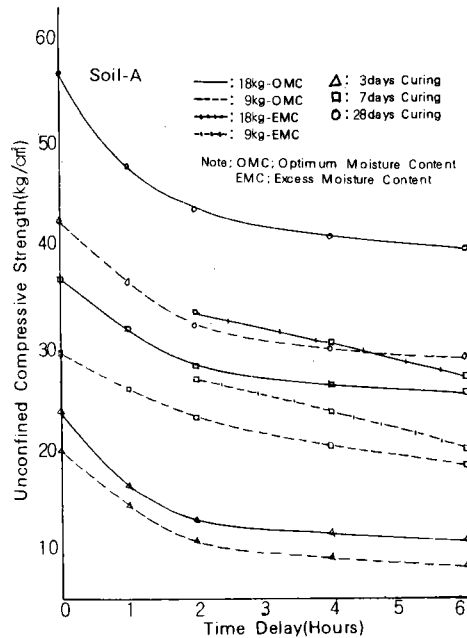


Fig. 4. Effect of Time Delay on the Unconfined Compressive Strength of Specimens of Soil-A with 7% Cement

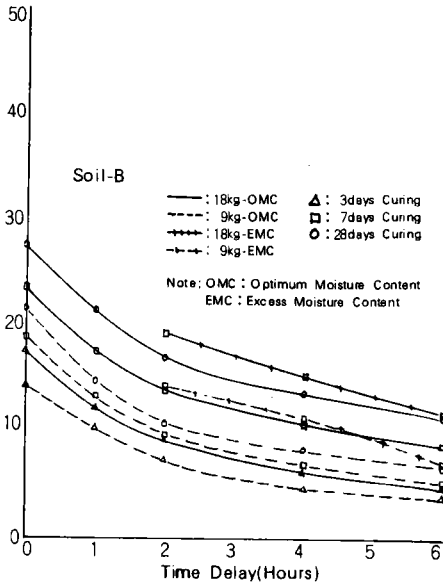


Fig. 5. Effect of Time Delay on the Unconfined Compressive Strength of Specimens of Soil-B with 7% Cement

나. 壓縮強度와 超過含水比의 效果

한편 시멘트혼합수에 最適含水比보다 3%餘分の 다짐含水比를 加水混合하여 다짐시간을 2, 4, 6時間으로 遲延시켰을 때의 強度의 變化를 最適含水比의 것과 比較하여 Fig. 4~5에 圖示하였다. 試驗結果 含水比를 最適含水比보다 3% 超過加水하여 遲延다짐을 한것이 強度의 減少率이 적은 것으로 나타났다. 이는 시멘트를 混合하여 加水한 後에 即時 다지지 않고 다짐을 遲延시키면 다지기 前에 시멘트의 初期水和反應 및 發熱로 水分이 減少되므로 다짐 때에는 含水比가 最適含水比보다 적게 되어 乾燥密度도 減少하고 強度의 發現이 작아지나 초과 함수시는 最適 함수비 보다 건조되는 것을 방지할 수 있어 강도가 크게 되는 것으로 생각된다.

Lightsey는 다짐含水比를 餘分으로 더 加함으로써 遲延다짐으로 因한 Soil-Cement의 強度와 耐久性의 減少를 크게 줄일 수 있다고 하였다. 즉 Silty Loam과 Sandy Loam은 遲延다짐에서 最適含水比보다 2~4% 많은 含水比를 加하여 다짐으로서 最適含水比로 다졌을 때보다 40~50%의 강도가 增加하였으나 Silty Clay Loam과 Silt는 強度와 耐久性이 改善되지 않았다고 하였다. 즉 最大強度와 耐久性에 必要한 超過含水比는 흙의 種類와 遲延時間에 따라 左右되는데 粗粒土에서 超過含水比로 遲延다짐할 때 強度와 耐久性이 增加된 것은 遲延다짐 시 潤滑作用이 改善된 結果, 密度가 增加되었기 때문이며 細粒質土에서는 超過含水比로 即時다짐의 경우에 시멘트水和作用을 增進시킴으로서 Soil-Cement의 性質을 改善하였다고 發表하였다¹²⁾. Sosa Pinto¹⁹⁾는 粘土(Loess)를 使用한 遲延다짐에서 最適含水比와 그 乾燥側 다짐含水比에서는 遲延時間에 따라 密度와 強度의 減少를 보였고 그 濕潤側의 다짐含水比에서는 2時間 遲延에서 強度가 增加하였다고 하였다.

金²⁸⁾은 모래와 Loam을 使用한 Soil-Cement에서 含水比는 強度에 큰 影響을 주며 시멘트량이 3%을 넘을 경우 最適含水比보다 濕潤側 약 2%에서 強度가 最大로 되며 이는 시멘트의 水和로 因하여 水分이 더욱 必要하기 때문이라고 하였다. 따라서 以上の 結果로 볼 때 現場에서 Soil-Cement의 安定處理施工時에 다짐時間의 遲延이 豫想될 경우에는 다짐含水比를 最適含水比보다 약간 많이 加하는 것이 다짐遲延으로 因한

것이다.
 Fig. 4~5에서 壓縮強度의 變化는 遲延다짐 시간이 길수록 乾燥密度가 작아지는 것과 마찬가지로 遲延初期의 2時間까지는 壓縮強度의 減少率이 急激하였다. 그 後 6時間까지는 強度의 減少率이 緩慢하게 나타났으며 B試料가 A試料보다 遲延時間이 길어질수록 強度減少率이 더 컸다.
 또 다짐에너지가 작은 9kgf램퍼로 다진 供試體는 18kgf램퍼로 다진 供試體에 比하여 壓縮強度가 작았으나 遲延다짐에 따른 強度의 減少率은 서로 類似하게 나타났다. 또 A試料는 B試料에 比하여 養生期間(3, 7, 28日)別로 強度의 增加幅이 더 컸으며 同一한 養生期間의 다짐에너지(9kgf, 18kgf램퍼)別 強度效果도 마찬가지로 더 크게 나타났다.
 Lilley¹³⁾는 Soil-Cement의 遲延다짐 研究에서 強度는 遲延時間의 影響을 크게 받았다고 하였으며 West²⁴⁾는 均等粒度의 모래를 使用한 Soil-Cement의 遲延다짐에서 實際로 現場에서 일어날 수 있는 6~7時間의 遲延에도 強度에 큰 影響이 없으나 粘土를 使用한 경우는 密度와 強度가 상당히 減少되었다고 하였으며 Arman¹⁾은 Soil-Cement의 遲延다짐의 影響의 程度는 흙의 種類에 따라 크게 다르다고 하였다.

乾燥密度와 壓縮強度의 減少를 줄일 수 있는 것으로 생각된다.

다. 壓縮強度와 添加劑의 效果

遲延다짐에 따른 Soil-Cement의 壓縮強度의 低下防止 및 減少量을 줄이기 위하여 乾燥密度에 對한 添加劑效果 試驗에서와 같이 第2添加劑로서 石灰, 石膏, 플라이애쉬를 乾燥 흙 重量의 3%씩 그리고 雪糖은 시멘트의 0.2%를 添加하여 混合加水 後 遲延다짐을 實施하고 A와 B 試料에 對한 遲延時間別 7日 壓縮強度의 試驗結果를 Fig. 6에 圖示하였다.

Fig. 6에서 石灰는 適量添加함으로서 強度增進效果가 크고 遲延다짐을 하여도 強度減少率이 緩慢하였으며 또 B試料에서 보다 A試料에서 強度增進效果가 더 컸다. Sousa Pinto¹⁹⁾는 石灰混合에 의한 強度增加는 粘土分이 많은 흙에서 보다 높고 同一한 粒度의 흙에서 非石灰質흙이 使用될 때 더욱 높았다고 하였다.

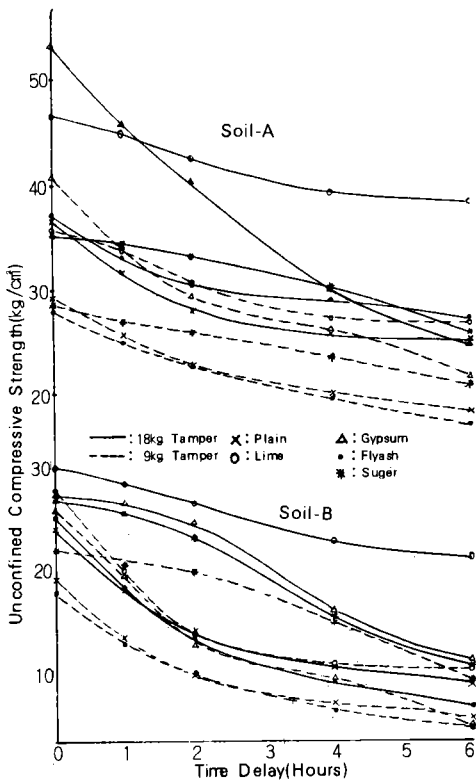


Fig. 6. Effect of Secondary Additives on the Unconfined Compressive Strength of Soil-A and B at 7 days with Time Delay

本 研究에 使用된 花崗土는 統一畧分類上 SW-SM과 SM으로서 粘土分(0.005mm以下)을 거의 함유하고 있지 않으므로 粘土分에 의한 影響이 없는 것으로 생각되며 오히려 細粒質B試料보다 粗粒質A試料의 強度增加가 더 컸는데 이는 花崗岩質砂質土에서는 다짐에 의한 空隙의 減少 즉 密度增加가 強度發現에 더 크게 作用하였기 때문인 것으로 생각된다. 또한 石灰를 使用하여 遲延時間으로 인한 密度와 強度의 減少를 줄일 수 있다고 하였는데¹⁹⁾ 이는 本 研究結果와 一致되고 있다. Oflaherty¹⁶⁾에 의하면 石灰, 石膏, 플라이애쉬 등은 遲延劑로서의 效果가 期待된다고 하였고 Dumbleton⁶⁾은 Lime-Soil混合物은 콘크리트 凝結과 같은 急速한 凝固作用이 없기 때문에 石灰處理土에서는 遲延다짐의 影響이 特別히 重要하지 않다고 하였다.

石膏는 混合後 即時다짐에서 初期強度의 增進效果가 A試料에서 越等하게 컸으나 遲延時間이 增加함에 따라 強度減少率이 急激하여 6時間 遲延다짐에서는 非處理시멘트 混合土에 比하여 強度增進效果가 나타나지 않았으며 B試料에서는 遲延다짐初期에 強度增進 效果가 있으나 6時間 遲延에 이르러서는 效果가 거의 나타나지 않았다.

플라이애쉬는 強度增進에 크게 寄與하지 않는 것으로 나타났으며 雪糖은 初期強度增進 效果는 比較的 작으나 遲延時間의 增加에 따른 強度의 減少率이 遲延初期에는 緩慢하였으나 4~6時間 遲延에서는 急하였다. 또한 雪糖은 粗粒質A試料보다 細粒質B試料에서 強度增進 및 遲延效果가 더 컸는데 이는 使用試料에 따라 最適雪糖量이 다르며 最適添加量을 超過할 경우에는 強度發現 및 遲延效果가 低下됨을 알 수 있다. Chin³⁾은 Loamy Sand를 使用한 Soil-Cement에서 雪糖添加量을 增加시켜 즉시 다짐을 하였을 때 強度가 약간 減少되었고 最適量을 添加하면 8시간의 遲延에도 強度低下를 거의 막을 수 있다고 하였다. 金²⁹⁾, Wang²³⁾ 등은 糖分을 시멘트混合土에 添加하였던 바 使用試料에 따라서는 強度增大 效果가 있었고 乾燥收縮量이 低下되었으며 또한 시멘트의 水和作用을 遲延시킴으로서 시멘트 混合後 다짐이 遲延되어도 強度의 低下率을 줄일 수 있다고 하였다.

以上の 結果에서 石灰, 石膏, 플라이애쉬, 雪糖을 흙의 種類에 따라 適量添加 함으로서 遲延

다짐으로 因한 強度減少量을 줄일 수 있는 것으로 判斷된다.

V. 摘要 및 結論

遲延다짐이 Soil-Cement의 乾燥密度와 壓縮強度에 미치는 影響을 究明하기 위하여 粗粒質과 細粒質의 2가지 花崗土試料를 對象으로 시멘트와 第2添加劑를 混合使用하고 다짐에너지와 一部 다짐含水比를 變化시키면서 실시한 試驗結果를 要約하면 다음과 같다.

1. 遲延時間이 길어질 수록 9kgf 탬퍼로 다진 경우가 18kgf 탬퍼의 경우보다, 그리고 B試料(細粒質花崗土)가 A試料(粗粒質荷崗土)보다 乾燥密度가 더 작아졌다.
2. 2時間 遲延까지는 乾燥密度와 壓縮強度가 急激하게 감소하였고 그後 6時間까지는 감소율이 緩慢하였다.
3. 다짐이 2~6時間 遲延되었을 경우에는 最適含水比보다 3% 濕潤側에서 乾燥密度와 壓縮強度가 높았다.
4. 混合後 即時다짐의 경우 A試料에서는 石灰, 石膏, 플라이애쉬, 雪糖등 第2添加劑를 加했을때 乾燥密度가 增加되었고 B試料에서는 雪糖을 除外하고 약간 減少되었으며, 遲延다짐의 경우에는 乾燥密度가 大部分 增加하였다.
5. 添加劑를 使用하면 遲延다짐에 의한 強度의 減少量을 줄일 수 있으며 이中 石灰의 強度增進效果가 가장 높았다.
6. 시멘트安定處理工法에서 다짐時間이 遲延될 경우에는 細粒質보다 粗粒質花崗土를 使用하고, 다짐含水比를 最適含水比보다 약간 많게 調節하며, 다짐에너지를 增加시키는 것이 效果의 이다. 그리고 石灰, 石膏, 플라이애쉬 雪糖등의 第2添加劑를 適量使用하여 強度를 增進시키는 것이 바람직하다.

參 考 文 獻

1. Arman, A.F, Saifan, The Effect of Delayed Compaction on Stabilized Soil-Cement HRR 198, 30-38 (1967)
2. Catton, M.D., Early Soil-Cement Research and Development, Journal of Highway Div., ASCE Proc., Vol. 85, HW 1, 1-16 (1959)

3. Chin Fung Kee and Lee Kim Tak, Some Effect of Sugar as a Retarder in Soil-Cement Stabilization, Pre. 4th Asian Reg.Conf. SM & FE. Eng. Bangkok, p.361-365 (1971)
4. Cowell, M.N. Effect on the Strength and Durability of Stabilized Soils 1-29(1978)
5. Das, B.M., Advanced Soil Mechanics, Hemisphere Pub. Corp., p. 36-46(1983)
6. Dumbleton, M.J. Lime Stabilized Soil for Road Construction in Great Britain-A Laboratory Investigation. Roads and Road Construction 40(479) p.321-325 (1962)
7. Felt, E.J. Factor Influencing Physical Properties of Soil-Cement Mixtures, HRB. Bull 108 quoted by ASCE 93.1967. (1955)
8. Filsofov, A.V., Effect of Portland Cement on Properties of Clays., J. Appl. Chem. 4, 773-776. quoted by HRB Bull 30-42 (1931)
9. Holtz, K., An Introduction to Geotechnical Engineering, Prentice Hall p. 111-117 (1981)
10. Hveem, F.N. and E. Jube, California Mix Design for Cement Treated Base, HRR. 36, 11-55 (1963)
11. Ingles, O.G., J.B. Metcalf, Soil Stabilization, Butter Worths, p. 107-118 (1972)
12. Lightsey, G.R., A. Arman, and C.D. Callihan, Changes in the Characteristics of Cement Stabilized Soils by Addition of Excess Compaction Moisture, H.R.R. 315, 36-45 (1970)
13. Lilley, A.A., A Laboratory Examination of the Effect of Delaying the Compaction of Soil-Cement Mixtures, Ce. and Con. Associ. Tec. Report TRA/299
14. Maclean, D.J. Discussion proc.I.C.E. 21 (107) (1961)
15. Norling, L.T., Standard Laboratory Tests for Soil-Cement Development, Purpose and History of Use. HRR 36, 1-5 (1963)
16. O'flaherty, C.A., A.Mateos and D.T.Davidson, Flyash and Sodium Carbonate as Additives to Soil-Cement Mixtures, HRB 353, 108-123 (1962)
17. Portland Cement Association, Soil-Cement Laboratory Hand Book, 1-62 (1971)
18. Portland Cement Association Ill. U.S.A., Soil-Cement Construction Handbook pp.2 (1969)

19. Sousa Pinto, C.D., D.T. Davison and J.G. Lagulos, Effect of Lime on Cement Stabilization of Montmorillonitic Soils, HRB 353 p64-83(1962)
20. Stanton, T.E., F.N. Hveem and J.L. Beatty. Progress Report on California Experience with Cement-Treated Bases. Proc. Highw. Res. Bd., Wash., 23, 279-95 (1943)
21. Suddath, L.P., Lime-Cement Combination Stabilization. U.S. Army Corps Engrs. Constr. Engr. Res. Lab., Ill. U.S.A. Tech. Mscpt M-47, 33 (1973)
22. Transport and Road Research Laboratory, Soil Mechanics for Road Engineers, 232-252 (1974)
23. Wang, J.W.H., Use of Additives and Expansive Cement for Shrinkage Crack Control in Soil-Cement, A Review HRR. 422, 11-20 (1973)
24. West, G. A Laboratory Investigation into the Effect of Elapsed Time After Mixing on the Compaction and Strength of Soil-Cement. Geotechnique IX (1)
25. Wilson, S.D., Suggested Method of Test for Moisture-Density Relations of Soils Using Harvard Compaction Apparatus. Procedures for Testing Soils, ASTM Committee D-18, 4th edition, 160-162 (1964)
26. 高在君, 混和劑가 콘크리트의 耐酸性과 物理的性質에 미치는 影響에 關한 研究, 한국농공학회지 13(2), (1971).
27. 金文基, 흙시멘트의 混合物에 關한 基本的性質, 서울大學校大學院 農工學科(1965).
28. 金存英, 姜義默, 시멘트含量 및 다짐含水比가 Soil-Cement의 壓縮強度에 미치는 影響에 關한 研究 한국농공학회지 17-1, 59-75(1975)
29. 金在英, 遲延劑로서 ින්분이 시멘트混合土에 미치는 影響, 한국농공학회지 18-3, 1-8 (1977).
30. 金在英, 李基春, 石灰混合土의 遲延다짐이 壓縮強度에 미치는 影響. 한국농공학회지 20-4, 31-36 (1978).
31. 金在英, 흙의 粒度分布가 시멘트 및 石灰混合土의 壓縮強度에 미치는 影響, 대한토목학회지 24-4, 93-99(1976).
32. 金桓吉, 흙의 Cement處理와 道路鋪裝工事에의 適用, 대한토목학회지 11-4 p. 53-62(1963).
33. 都德鉉, 花崗岩質風化土의 道路基層利用에 關한 研究, 국립건설연구소, 건설기술 No.51 p. 1~51(1978).
34. 都德鉉, 添加劑에 의한 Soil-Cement의 性質改良, 한국농공학회지 21-1, 63~77(1979).
35. 都德鉉, 花崗岩質風化土의 시멘트에 의한安定處理에 關한 研究 한국농공학회지 22-3, 60~74(1980).
36. 松尾新一郎, 西田一彦, 마사土의 세멘土安定處理效果について, 京大工業教員養成研究報告 4, 53~58(1968).
37. 徐元明, 高在君, 成形壓力이 Soil-Cement의 強度 및 耐久性에 미치는 影響에 關한 研究. 한국농공학회지 20-1, 25~41(1978).
38. 永石義隆, 宮崎毅, 原口暢郎, 四國地域における草地道路の實態調査傾斜地の農道について(I), 農土誌 53-6, 39-45. 53-8, 11-18(1985).
39. 鄭寅峻, 道路의 基層과 路床土의 安定工法, 高速道路建設技術 심포지움 43-59(1968).
40. 曹鎮久, Soil-cement의 物理的性質에 關한 研究, 한국농공학회지 16-3, 69-74(1974).