

含水比, 養生溫度 및 흙의 粒度가 Soil-Cement의  
壓縮強度에 미치는 影響에 關한 研究 (I)

Studies on the Effect of Water Content, Curing Temperature  
and Grain Size Distribution of Soils on Unconfined  
Compressive Strength of Soil-Cement Mixtures.

金 在 英\* · 姜 信 業\*\*  
Jae Young Kim · Sin Up Kang

Summary

In order to investigate the effect of the water content and the accelerated curing on the strength of the soil-cement mixtures, laboratory test of soil cement mixtures was performed at five levels of water content, four levels of accelerated curing temperatures, three levels of normal curing periods, and six levels of accelerated curing time. Also this study was carried out to investigate the effect of grain size distribution of 21 types of soils on the strength of soil-cement mixtures at four levels of cement content and three levels of curing time.

The results are summarized as follows:

1. Optimum moisture content increased with increase of the cement content, but maximum dry density was changed ununiformly with cement content. Water content corresponding to the maximum strength was a little higher than the optimum moisture content along the increase of cement content.
2. In molding the specimens with the optimum moisture content, the maximum strength appeared at the wet side of the optimum moisture content.
3. According to increase of curing temperature as 30, 40, 50, and 60°C, unconfined compressive strength of soil-cement mixtures increased, the rate of increase at the early curing period was large, and approximately 120 hours was sufficient to harden soil-cement mixtures completely.
4. The strength of soil-cement mixtures at the curing temperature of 10°C decreased at the rate of 30 to 50 percent than at the curing temperature of 20°C, and the strength of soil-cement mixtures at the curing temperature of 0°C increased a little with increase of curing time.
5. Although the strength of soil-cement mixtures seemed to be a little affected by the temperature difference between day time and night, it was recommended that reasonable working period was the duration from July to August of which average maximum temperature of Korea was approximately 30°C.
6. Accelerated curing time corresponding to the normal curing time of 28-day

\* 玄北大學校 農科大學 農學碩士

\*\* 玄南大學校 農科大學 農學博士

was shorten with increase of curing temperature, also it was a little affected by the cement. Accelerated curing time that the strength of soil-cement mixtures for the cement of 9 percent and the curing temperature of 60°C was 45 hours at the KY sample, 50 hours at the MH, 40 hours at the SS, and 34 hours at the JJ respectively.

7. Accelerated curing time was depended upon the grain size distribution of soil, it decreased with increase the percent passing of No. 200 sieve.
8. Relationship between the normal curing times and the accelerated curing times showed that there was a linear relationship between them, its slope decreased with increase of curing temperature.
9. The most reasonable soil of the soil-cement mixtures was the sandy loam which was a well graded soil. Assuming the base of road requiring 7-day strength of 21 kg/cm<sup>2</sup> being used, the soil-cement mixtures could be obtained with adding 6 percent of cement in such a soils S-7, S-8, S-9, S-10, S-11, S-12, S-13.
10. The regression equation between the 28-day and the 7-day strength was obtained as follow;

$$q_{28}=1.12q_7+6.5(r=0.96).$$

## I. 緒 論

自然狀態의 흙이 土木工事의 材料로서 滿足스런 程度에 使用될 수 없을 경우 흙의 性質을 改善하기 위하여 安定處理工法이 利用되고 있다.

흙을 工事材料로 使用할 때 흙 自體만으로는 充分한 強度를 낼 수 없을 경우에 이 흙의 性質을 改善하기 위한 努力은 古代 이집트<sup>(65)</sup>와 로마시대<sup>(77)</sup>에 建築用材料로 石灰를 混合하여 使用한 것이 始初가 되었으며 2次大戰以後<sup>(84)</sup>에는 高速道路의 建設 등으로 因하여 흙의 安定處理가 急速히 進展되어 實用化되기 始作하였다.

Soil-Cement에 관한 最初의 記錄은<sup>(14)</sup> 1917年 美國에서 特許를 얻어 "Soilamies"란 名稱을 붙여 道路工事に 使用했다는 記錄이 있고 그후 1920年代<sup>(85)</sup>부터 美國에서 道路基層 및 鋪裝에 利用하기 위하여 흙과 시멘트를 混合하여 試驗하므로써 Soil-Cement에 關한 試驗이 始作되었으나 體系의인 研究는 1929年<sup>(85)</sup> Proctor가 흙에 對한 다짐 試驗에서 水分과 密度와의 關係를 發表한 後, Filsofov(1931)<sup>(82)</sup>가 흙의 諸性質에 對한 포틀랜드 시멘트의 影響에 關한 論文을 發表한 以後부터 이루어진 것으

로 생각된다. 그후 1935년에 흙과 시멘트를 混合하여 즉시 다짐 경우에는 흙의 다짐과 같은 結果가 나타남을 發表하므로써 Soil-Cement의 研究에 劃期的인 發展의 契機가 되었다.

또한 Soil-Cement의 다짐 試驗에서 最適含水比의 決定은 特殊한 다짐의 影響에 의해서 最大密度와 最大強度를 나타나게 된다는 것이 發表되어<sup>(86)</sup> Soil-Cement의 含水比-密度關係는 흙의 다짐에 關한 研究와 더불어 發展되어 왔다.

Soil-Cement란 흙의 物理化學的 性質과 시멘트 固有의 水和作用等 諸性質의 長點을 混合한 複合體라고도 할 수 있다.

Soil-Cement는 그 特有的 性質을 利用하므로써 土木工事分野中 特히 道路部分에서 工事を 용이하게 施工할 수 있는 同時에 強度增進 및 工事費의 節減等 많은 貢獻을 할 수 있는 것으로 생각된다.

Soil-Cement가 最初로 實際工事に 使用된 것은<sup>(88,84,79)</sup> 1935년에 美國 South Carolina의 Johnsonville 근처에 20,000 yd<sup>2</sup>의 道路基層工事を 한 것이 현재까지도 破損되지 않았고 1935年 以後 美國에서는 每年 80,000 yd<sup>2</sup>가 넘는 도로 공사에 Soil-Cement를 使用해 왔다.

先進諸國에서도 基層材料인 碎石을 얻기 어려운 地方과 土質이 基層材料로 不適當한 경우 現狀에 對

\* 忠南大學校 農科大學

의 흙에 시멘트를 適當히 混合해서 碎石基層에 代用해 왔으며 이는 現場의 材料를 使用하여 工事費 面에서 많은 節減을 가져오는 利點이 된다.

Soil-Cement는 美國<sup>(64, 99)</sup>을 비롯하여 캐나다<sup>(64)</sup>, 英國<sup>(97)</sup>, 잠비아<sup>(112)</sup>, 가나<sup>(6)</sup>, 화란<sup>(97)</sup>, 독일<sup>(9, 68)</sup>, 호주<sup>(92)</sup>, 체코<sup>(8)</sup> 등의 나라에서는 大規模로 道路의 基層 및 補助基層에 使用해서 工事費를 節減시켰다고 한다. Soil-Cement는 道路以外에도 滑走路<sup>(93, 97, 98)</sup>, 住宅建設<sup>(48, 73, 108)</sup>, 그라우팅<sup>(14, 21, 40, 55, 82, 95, 108, 110)</sup>, 흙댐<sup>(10, 28, 29, 39, 49, 81, 85, 81)</sup>, 堤防의 라이닝<sup>(19, 70)</sup>, 防潮堤<sup>(111)</sup> 등의 工事에 使用하므로써 그 效果가 인정되었고 앞으로도 더욱 많은 分野에 利用될 것으로 믿어진다. 우리 나라에서는 1963년~1964년에 建設研究所<sup>(60)</sup>에서 서울~江陵間, 天安~溫陽間 一部에 試驗鋪裝을 通해서 適用試驗을 하였고 1976년에는 全北 扶安郡 開花島 干拓地 開墾工事의 用水路 라이닝 工事에 Soil-Cement를 使用하였다.

1945년에는 ASTM과 AASHTO<sup>(66)</sup>에 의해서 Soil-Cement 試驗이 標準試驗으로 適用하게 되었고 Catton (1940)<sup>(12)</sup>, Watson(1941)<sup>(107)</sup>, Felt(1955)<sup>(31)</sup> 등은 Soil-Cement의 壓縮強度에 含水比가 미치는 影響에 對해서 研究를 하였으며 Dutron(1961)<sup>(29)</sup>은 흙에 시멘트를 添加한 경우 含水比와 다짐이 強度에 미치는 影響에 對해서 研究하고 最適含水比 보다 乾燥側에서 強度가 最大로 되었다고 하였다.

Jack(1965)<sup>(48)</sup>는 Soil-Cement에 있어서 水和作用이 進行됨에 따라 粘土는 칼슘형태로 전환되며 粘土에서 Silica와 Alumina가 溶解되어 단단한 材料가 형성된다고 발표하였다.

Rawi(1967)<sup>(93)</sup>는 물·시멘트 比說은 Soil-Cement에서도 콘크리트에서의 경우와 類似하게 適用될 수 있다고 하였고, Moh(1967)<sup>(78)</sup>, Pendola(1969)<sup>(99)</sup> 등은 Soil-Cement의 강도에 영향을 미치는 要素로 시멘트 含量, 含水比, 다짐 密度, 養生溫度, 粒度等이라고 發表하였다.

Davidson(1962)<sup>(44)</sup>, Lightsey(1970)<sup>(68)</sup> 등은 最大 乾燥密度에 대한 最適含水比와 最大強度에 對한 最適含水比는 恒常값이 無하다고 발표하였다.

또 Chadda(1970)<sup>(15)</sup>는 흙에 시멘트를 첨가하면 시멘트의 水和作用에 의해서 발생한 可變性을 띤 Ca<sup>++</sup>이온이 증가하게 되어 K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>이온과 완전히 代置하게 된다고 하였다. 陽電荷를 띤 Ca이온이 陰電荷를 띤 흙粒子的 表面으로 吸着되어지는 현상이다.

흙과 시멘트의 相互作用은 주로 凝集力을 增加시키고 시멘트 含量이 增加할수록 시멘트 粒子的 水

和作用에 의해서 흙덩어리 사이의 空隙을 채우게 되는 結果가 되어 力學的으로 큰 強度를 나타내는 Soil-Cement가 되는 것으로 생각된다.

Rallings(1971)<sup>(90)</sup>은 Pretreatment Moisture Content(P.T.M.C)가 粘土덩어리 粉碎에 큰 영향을 준다고 하였다.

Moriarty(1971)<sup>(79)</sup>, Chiang(1972)<sup>(16)</sup> 등은 Soil-Cement의 強度에 含水比의 影響이 가장 重要하다고 하였다.

Tyagi(1973)<sup>(103)</sup>는 시멘트의 水화작용으로 Hydrated Calcium Silicates(CaSiO<sub>3</sub>), Calcium Hydroxide (Ca(OH)<sub>2</sub>), Hydrated Calcium Aluminates (CaAlO<sub>2</sub>), Hydrated Calcium Ferrites(CaFeO<sub>2</sub>), Calcium Sulfate Hydrate(CaSO<sub>4</sub>) 등의 化合物이 形成된다고 하였다.

황(1974)<sup>(49)</sup>는 Soil Cement도 일반 土質試驗에서와 같이 Proctor의 含水比-乾燥密度說이 適用된다고 하였고 秦(1975)<sup>(47)</sup>은 最適含水比에서 強度가 最大로 되었다고 하였다.

흙을 安定處理할 때 現場養生溫度는 氣溫의 變化에 따라 크게 變化될 것이므로 이는 콘크리트에서의 경우와 같이 硬化作用에 影響이 큰 것으로 생각된다.

普通 道路鋪裝工事에 시멘트 處理를 하였을 때 7日養生 壓縮強度로 英國 濠洲等에서는 350psi<sup>(44, 78)</sup>를 美國에서는 300psi<sup>(93)</sup>를 사용하고 있으며 基準養生溫度는 英國에서는 BS1924(1953)<sup>(2)</sup>에 의하여 25°C(77°F)로, 美國에서는 ASTM D1132-63(1972)<sup>(23)</sup>에 의하여 23°C(73.4°F)를 각각 사용하고 있으며 우리 나라에서는 KSP2329(1973)에서 美國의 경우와 같이 23°C로 정하여 사용하고 있다.

Eno(1929)<sup>(80)</sup>는 高速道路鋪裝工事에서 氣象要因의 重要性을 指摘하였으며 이들 氣象要因으로는 氣溫, 서리, 日照, 바람, 降雨量, 流出量 및 蒸發量 등이 包含된다고 하였다.

Davey(1933)<sup>(22)</sup>는 1 : 2 : 4(W/C=60%) 콘크리트 供試體((3in. × 3in.)를 사용해서 養生온도를 2, 11, 17, 25, 35°C로 하여 28일 養生후 압축강도 시험을 한 결과 高温에서의 경우가 低温에서의 경우보다 凝結現象이 빨랐으며 強度는 더 높았다고 발표하였다.

Soil-Cement의 養生溫度에 關한 研究로는 Nurse(1951)<sup>(88)</sup>가 石灰混合土에 있어 100°C의 高温에서 石灰는 덩어리 형태의 Silica와 化學反應을 일으킬 것이며 이런 現象은 Soil-Cement에서도 일어날 것이라는 연구 結果를 발표하였다.

그후 Clare(1954)<sup>(20)</sup>가 5종류의 흙에 10%의 시멘트를 사용한 Soil-Cement에 있어 25°C에서의 7일 강도는 45°C 양생의 1일 強度와 같다고 發表하였고 Dumbleton(1960)<sup>(25)</sup>, Metcalf(1963)<sup>(24)</sup>는 重粘土를 사용한 Soil-Cement와 Lime-Soil에 양생 온도를 35, 45, 65°C로 각각 달리 變化시키기에 따라 Lime-Soil의 強度가 Soil-Cement의 強度보다 컸다고 발표하였다.

Dutron(1961)<sup>(26)</sup>은 실트가 모래보다 쉽게 시멘트 처리가 된다고 하였으며 Ingles(1963)<sup>(44)</sup>는 Kaolin 粘土(Clay : 25%, Silt : 75%)와 모래에 10%의 시멘트를 첨가한 경우 압축강도는 Kaolin 粘土가 높았다고 발표하였다.

鄭(1967)<sup>(27)</sup>은 5種類의 흙에 시멘트 처리를 하였을 경우 흙의 粒도分布가 크게 좌우한다는 점은 시멘트-콘크리트의 경우와 같다고 발표하였다.

Rananand(1971)<sup>(41)</sup>는 Sandy silt 1종류의 흙을 사용하여 석회와 시멘트를 처리한 시험에서 Sandy silt가 道路의 基層과 補助基層에 適合하다고 하였다

Tyagi(1973)<sup>(103)</sup>는 Sand-Cement에서 시멘트의 효과는 시멘트 함량과 모래粒子的 크기에 따라 좌우된다고 하였다. 최근에는 Soil-Cement의 균열에 관해서 많은 관심을 갖게 되어 George(1968)<sup>(35, 36)</sup>, (1969)<sup>(37)</sup>, (1973)<sup>(38)</sup>, Bhandarl(1973)<sup>(4)</sup>, (1975)<sup>(17)</sup> 등 여러 사람들에 의해서 이의 연구가 수행되었다.

균열의 발생은 주로 乾燥로 인한 水分損失 및 氣溫變化로 收縮現象이 일어나 Soil-Cement의 容積이 減少되어 일어나는 것으로 Soil-Cement의 팽창 및 수축계수의 차이에도 기인되는 것으로 생각된다. 따라서 含水比, 養生溫度, 養生期間, 다짐密度, 시멘트함량 등의 調節이 균열억제에 重要한 要素로 다루되고 있다.

Yamanouchi(1963)<sup>(100)</sup>, 西村(1963)<sup>(64)</sup>, Teng(1974)<sup>(101)</sup> 등은 道路基層을 Soil-Cement로 건설할 때 最少한 7日養生期間동안 통행 억제가 필요하며 Soil-Cement 工法의 難點으로 지적하고 있다.

Soil-Cement-는 上記와 같은 缺點을 지니고 있으나 그의 長點이 많으므로 外國에서는 經濟的인 施工을 爲하여 實用化되고 있다.

現在까지 우리나라에서는 Soil-Cement를 道路工事に 使用하지 못하고 있으며 道路의 基層이나 補助基層工事時 運搬거리에 관계 없이 碎石과 砂質土를 唯一한 材料로 사용해 왔다. 그러나 碎石이나 砂質土가 결코 經濟的이고 強度面에서 尙상 유익한 것

만은 아니다.

運搬距離가 20km가 되는 區間에서 運搬費만 2,000원/m<sup>3</sup> 以上이 所要되는 實情을 생각할때 經濟的인 面을 고려치 않을 수 없다. 더구나 앞으로 닥쳐올 公害난에 대처해서라도 代替材料를 開發하고 또한 高速道路나 國道の 基層 및 補助基層工事와 交通量이 比較的 적은 地方道나 農路의 鋪裝工事に Soil-Cement를 사용하는 것이 有利한 경우가 있을 것으로 생각된다.

Uppal(1967)<sup>(106)</sup>의 보고에 의하면 북부인도에서는 4,000戶의 주택의 벽공사에 흙과 2.5% 시멘트를 혼합 사용하여 영구적인 건축으로 施工했다고 한다. 우리 농촌의 주택건설에도 Soil-Cement 벽돌을 사용하므로써 農村住宅改良에 寄與할 것으로 생각된다.

本研究에서는 Soil-Cement에 있어서 含水比가 壓縮強度에 미치는 影響을 調査하기 위해서 4種類의 흙을 使用하여 시멘트 3, 6, 9, 12%를 添加한 경우 含水比 變化에 따른 材齡 0, 7, 14, 28日의 壓縮強度 試驗을 實施하여 最適含水比 前後의 含水比 變化와 壓縮強度와의 關係를 調査하였으며, 흙의 粒도가 壓縮強度에 미치는 影響을 究明하기 爲하여 粒도가 다른 21種類의 흙을 配合하여 시멘트 3, 6, 9, 12%를 添加한 경우 材齡 7, 14, 28日의 壓縮強度 試驗을 實施하여 粒도와 壓縮強度와의 關係를 調査하였다.

또한 養生溫度가 壓縮強度에 미치는 影響을 조사하기 위해서 4종류의 흙을 사용하여 시멘트 3, 6, 9, 12%를 添加한 경우 養生溫度 20, 30, 40, 50, 60°C로 24, 48, 72, 96, 120, 144시간 養生後 壓縮強度 試驗을 實施하여 20°C를 基準으로 했을때 養生期日과 養生溫度의 變化에 따른 養生時間, 養生溫도와 28日 基準養生時의 強度와 同等한 促進養生(本論文에서 促進養生이라 함은 30°C~60°C로 養生한 것을 말함)時間 및 基準養生壓縮強度와 促進養生壓縮強度 등의 相關關係를 調査 分析하였다.

## II. 含水比가 壓縮強度에 미치는 影響

### 1. 材料 및 試驗方法

#### 가. 材 料

本 試驗에 使用한 試料는 大田市 佳陽洞(KY Soil), 鎮岩(JJ Soil), 山城洞(SS Soil), 文化洞(MH Soil)에서 각각 採取하였으며 그의 粒도分布는 Fig. 1과

같은 이들 試料의 物理的 및 化學的 性質은 Table 1과 같다. 또한 시멘트는 S 會社 製品인 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며 物理的 및 化學的 性質은 Table 2 와 같다.

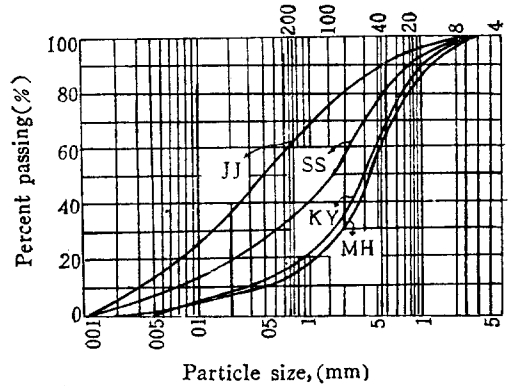


Fig. 1 Grain Size Distribution Curves.

Table 1. Properties of Soil Used.

Test Item		Soil Type	KY	MH	SS	JJ
Mechanical	Gravel (above 2mm)		1%	2%	0%	0%
Analysis	Sand (2-0.074mm)		81	83	65	35
	Silt (0.074-0.005)		17	12	26	45
	Clay (below 0.005)		1	3	9	20
Atterberg Limit	Liquid Limit		28	25	34	36
	Plastic "		NP	NP	23	22
	Plastic Index		NP	NP	11	14
Soil Classification	Texture		Sand	Sand	Sandy loam	Loam
	AASHO		A-3	A-3	A-6	A-6
Specific Gravity		2.68	2.65	2.73	2.74	
Max. Dry Density (g/cm <sup>3</sup> )		1.69	1.78	1.71	1.75	
Opt. Moisture Content (%)		17.0	17.4	18.3	19.0	
Cu (uniformity coefficient)		13.0	13.2	36.7	18.3	
Percent finer than NO.200 sieve (%)		17.0	16.0	38.0	65.0	
Chemical Analysis	Cat. Exchange Cap. (me/100g)		16.6	18.8	28.9	20.2
	Ca <sup>++</sup>		12.4	13.1	20.4	13.7
	Mg <sup>++</sup>		2.8	3.4	5.1	4.0
	Na <sup>++</sup>		1.2	1.8	2.5	2.0
	K <sup>+</sup>		0.2	0.5	0.8	0.5
	Carbonate (%)		0.54	0.82	2.75	1.64
	Organic Matter (%)		0.58	0.44	0.10	0.36
	PH		6.13	7.02	8.90	7.85

Table 2. Chemical and Physical Analysis of Cement.

Item	Amount	Initial (min)	142 > 60 (KS)
		Final (hr)	4 : 10 < 10 (KS)
Specific Gravity	3.12	C <sub>3</sub> S (%)	50.0
		C <sub>2</sub> S	23.0
Time of Setting	27	C <sub>3</sub> A	9.0
		C <sub>4</sub> AF	10.0
		CaSO <sub>4</sub>	2.5

Item	Amount
SiO <sub>2</sub>	21.4(%)
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.4
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.4
CaO	63.4
MgO	3.4
So <sub>2</sub>	1.5
Ig. Loss	0.6
F. CaO	0.7
Insol Resid	0.12
Tension Strength(kg/cm <sup>2</sup> )	
3ds(min. 10kg/cm <sup>2</sup> )	20.0
7ds(min. 20kg/cm <sup>2</sup> )	25.0
28ds(min. 25kg/cm <sup>2</sup> )	30.0
Compressive Strength	
3ds(min. 85kg/cm <sup>2</sup> )	159.0
7ds(min. 150kg/cm <sup>2</sup> )	248.0
28ds(min. 245kg/cm <sup>2</sup> )	350.0

나. 試驗方法

壓縮試驗用 供試體를 만들기애 앞서 最適含水比와 最大乾燥密度를 구하기 위해서 KSF 2331에 의 하여 다짐試驗을 하였다.

壓縮試驗用 試片은 Table 3과 같이 시멘트 含量 0, 3, 6, 9, 12%에 對해서 各各 含水比를 5種類로 變化시켜 同一한 供試體를 3個씩 만들었다.

Table 3. Experimental Plan.

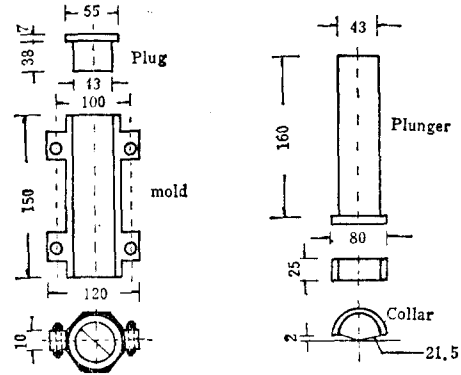
Item	Content
Soil Type	KY, MH, SS, JJ
Cement Content (%)	0, 3, 6, 9, 12
Water Content (%)	-6, -2, OMC, +2, +4
Curing Time (Days)	0, 7, 14, 28
Total Number of Specimens	4×5×5×4×3=1,200

壓縮試驗用 供試體는 BS 1924(1957)<sup>(17)</sup>에 의하여 Fig. 2와 같은 몰드에 흙이 직경의 2배가 되도록 供試體(43×86mm)를 製作하였다.

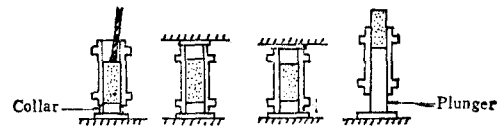
이 供試體製作은 試料를 다짐 試驗에서 求한 最適含水比로 調製하여 最大乾燥密度에 相當하는 量을 몰드에 一回에 넣고 上下에서 프라그에 의하여 油壓재크로 壓縮하여 密度가 均一하게 되도록 製作하였고 供試體는 水分을 차단키 위해서 비닐로 밀 봉했으며 養生을 하기위해서 濕潤養生室을 利用하여 98% 濕潤狀態下에서 溫度 23±1°C로 維持하여

養生하였다.

養生期間은 0, 7, 14, 28日間으로 하였고 壓縮強度試驗은 Proving ring의 容量 100kg, 1ton, 10ton, 의 一軸壓縮強度 試驗機와 容量 100ton의 萬能材料試驗機를 併用해서 사용하였다. 또한 壓縮強度試驗을 實施하기에 앞서 供試體를 養生室에서 꺼낸후 비닐을 제거하고 2時間 동안 水浸한 후 壓縮強度試驗을 하였다.



(a) Mold and Plug (b) Plunger and Collar



(c) Molding Specimens

Fig. 2 Sketch of Mold used.

2. 結果 및 考察

Table A-1은 4種類의 흙에 시멘트 3, 6, 9, 12% 添加時 含水比를 最適含水比 前後 5種類로 變化시킨 경우, 養生期間 7, 14, 28日에 對한 壓縮強度를 나타낸 것이다. 表에서 各養生 期間別 壓縮強度는 시멘트 3% 添加했을때를 除外하고는 大部分 最適含水比의 濕潤側에서 最大壓縮強度가 나타났다.

(1) 시멘트 含量이 最適含水比와 最大乾燥密度에 미치는 影響.

Lightsey<sup>(8)</sup>, Moriarty<sup>(9)</sup>, Chiang<sup>(10)</sup>, Circeo<sup>(11,12)</sup>, Moh<sup>(13)</sup>, Rananand<sup>(14)</sup> 등이 指摘한 바와 같이 Soil-Cement에 미치는 여러가지 要素中 가장 重要한 要素인 含水比는 強度에 直接的으로 影響을 미치는 것으로 생각된다.

이 그림에서 시멘트 含量이 3, 6, 9, 12%로 增加함에 따라서 KY, MH, SS, JJ의 最適 含水比는 各各 增加하는 傾向을 보였다. 시멘트를 添하지 않은 경우

보다 12%의 시멘트를 添加했을때는 KY는 20%, M H는 15%, SS는 23%, JJ는 15%씩 最適含水比는 增加했다.

흙에서의 다짐이 重要하다는 것은 周知의 事實로서 水分을 加하면서 試料를 다지면 濕潤單位重量은 含水比의 어느 限界까지는 增加되며 이 含水比의 限界를 초과하면 오히려 감소하게 된다.

Parsons<sup>(22)</sup>이 Soil-Cement에서 다짐의 重要性을 發表하였지만 Soil-Cement에 있어서도 흙의 경우와 비슷한 현상이 일어날 것으로 생각되며 시멘트 含量의 增加가 다짐 含水比에 영향을 줄 것으로 생각된다. Fig. A-1(附圖)은 4種類의 흙에 각각 시멘트 량을 0, 3, 6, 9, 12%씩 添加해서 다짐시험을 해서 얻

은 含水比와 乾燥密度의 關係를 곡선으로 표시한 것이다.

Rananand<sup>(23)</sup>는 Soil (Sand : 35%, Silt : 49%, Clay : 29%), Soil+3% Lime, Soil+3% Cement인 3가지에 대한 다짐시험에서 石灰와 시멘트를 첨가한 경우가 最適含水比는 큰값을 나타냈다고 하였고, Ching<sup>(24)</sup>은 한 종류의 흙(A-6)에 시멘트 0, 2, 4, 6%를 첨가해서 다짐시험을 한 결과 시멘트 含量이 증가함에 따라 最適含水比가 증가했다고 발표하였다.

Wissa<sup>(25)</sup>는 한 종류 of 흙(Sand : 42%, Silt : 43%, Clay : 15%)에 대해서 시멘트량 0, 3, 5%를 첨가해서 다짐시험을 한 결과 시멘트 含量이 증가함에 따라 最適含水比는 증가하였다고 발표하였다.

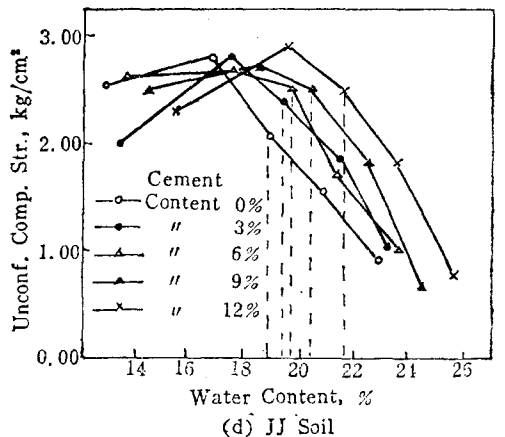
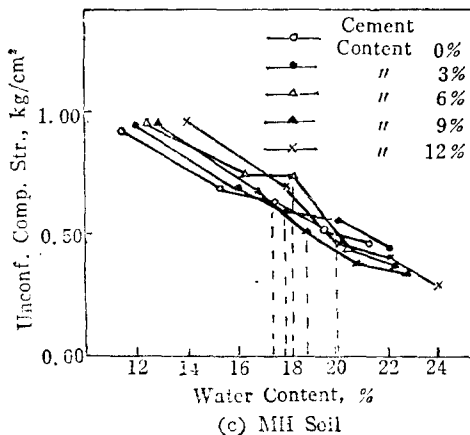
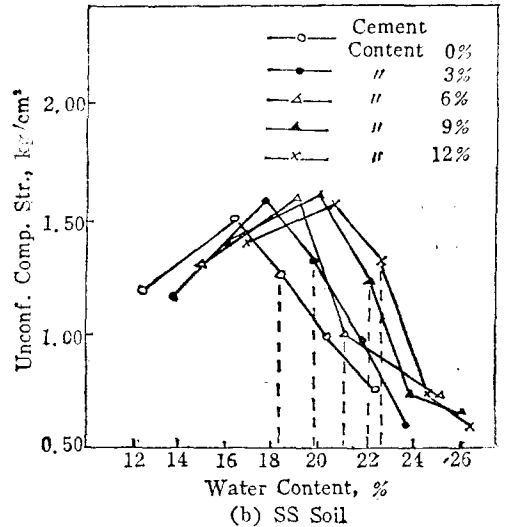
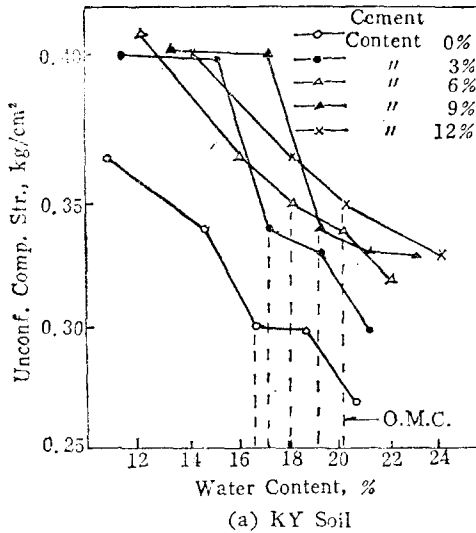


Fig. 3 Effect of Molding Water and Cement Content on Unconfined Compressive Strength of Soil-Cement Mixtures at 0 Day Cured.

Suddath<sup>(100)</sup>는 흙에 석회와 시멘트를 첨가한 경우가 시멘트만을 첨가한 경우보다 다짐밀도가 낮았다고 하였고 金<sup>(97)</sup>은 Silt 질흙(Clay : 1.5%, Silt : 23.5%, Sand : 75%)을 사용해서 시멘트 0, 8, 10, 12%를 첨가한 다짐시험에서 시멘트 添加量이 增加함에 따라 最適含水比는 減少했다고 발표하였다.

內田<sup>(104)</sup>은 시멘트 含量이 많을수록 最適含水比는 增加하는 경향을 나타냈다고 하였고 시멘트 含量이 增加할수록 塑性限界, 現場含水當量, 遠心含水當量, 液性限界 및 收縮限界는 增加하고 收縮比와 塑性指數는 減少한다고 發表하였다.

以上の 結果에서 시멘트는 細粒子의 역할을 하여 空隙의 充填材로서 空隙의 容積을 占하여 空隙容積을 減少시키고, 또한 시멘트粒子가 水和作用에 必要한 水分을 吸水하기 때문에 시멘트 含量이 增加

함에 따라 最適含水比가 增加하는 것으로 생각된다.

(2) 含水比가 壓縮強度에 미치는 影響

다짐에 의하여 흙의 乾燥密度가 增加하면 粘着力과 内部摩擦角이 增大하여 剪斷強度가 增大한다. Fig. 3에 나타난 結果는 다짐후 즉시 파괴한 경우 含水비와 強度와의 關係를 나타낸 것으로 最適含水比에서 壓縮強度가 最大로 되지 않고 最適含水比보다 乾燥側에서 壓縮強度가 最大로 되었다. 모래의 含量이 많은 MH, KY는 含水比가 적을때 最大強度가 나타났고 粘土含量이 많은 SS, JJ는 最適含水比보다 약간 乾燥側에서 最大強度가 나타났으며 시멘트 含量의 變化에 따른 強度變化는 거의 나타나지 않았다.

Krizek<sup>(92)</sup>, Lambe<sup>(93, 94)</sup>, Pagen<sup>(95)</sup>, 姜<sup>(96)</sup> 등은 흙의 다짐에서 最適含水比보다 乾燥側에서 壓縮強度가 最大로 되었다고 發表하였다.

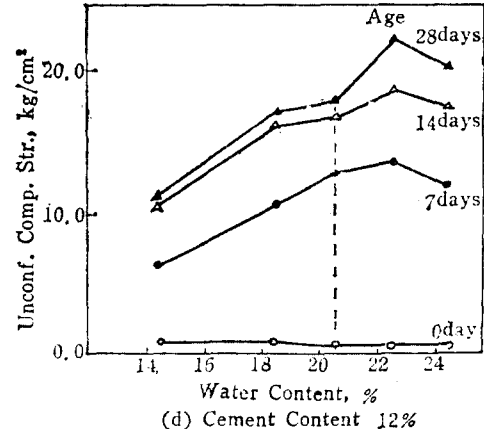
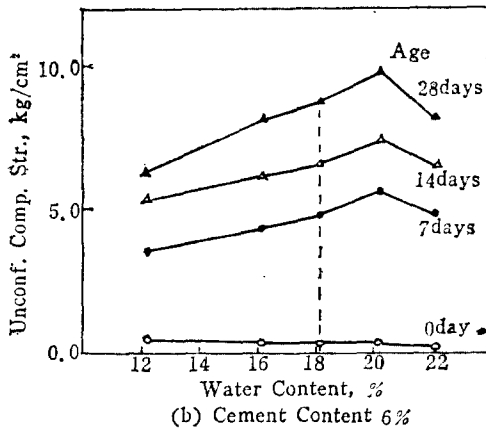
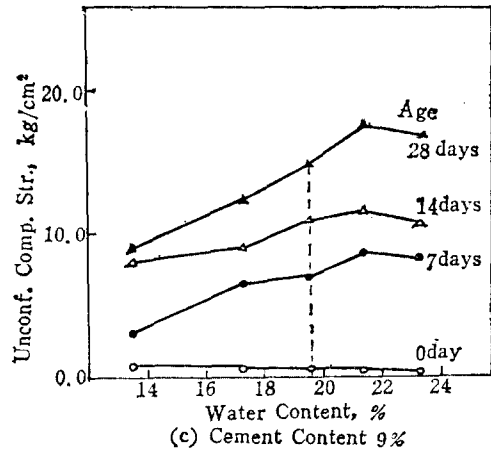
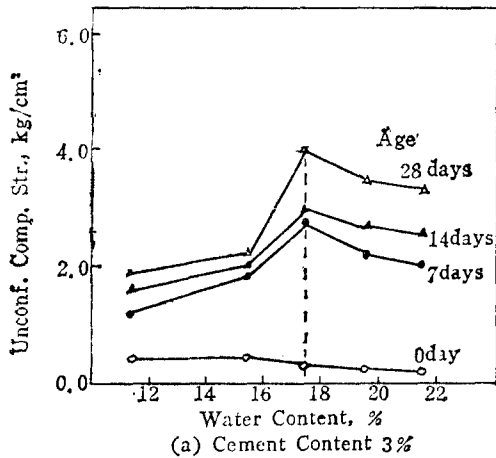


Fig. 4 Effect of Molding Water and Cement Content on Unconfined Compressive Strength of Soil-Cement Mixtures (KY Soil).



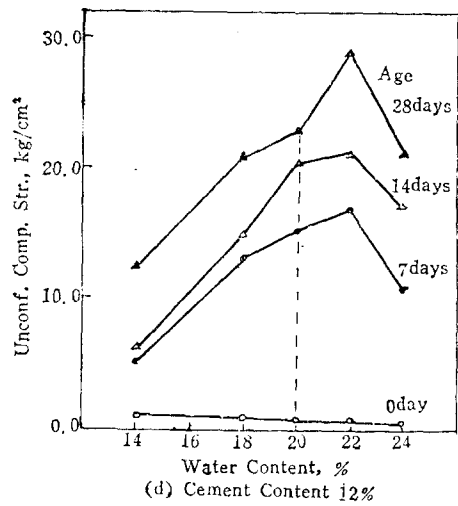
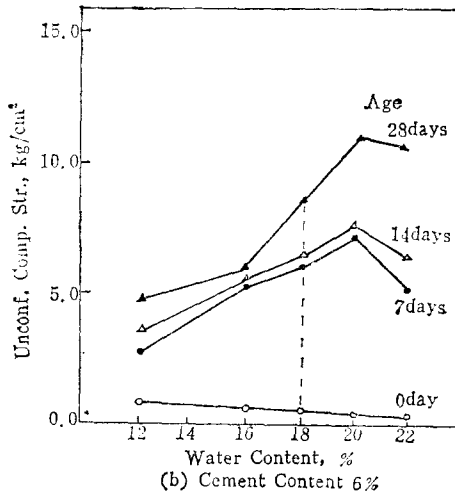
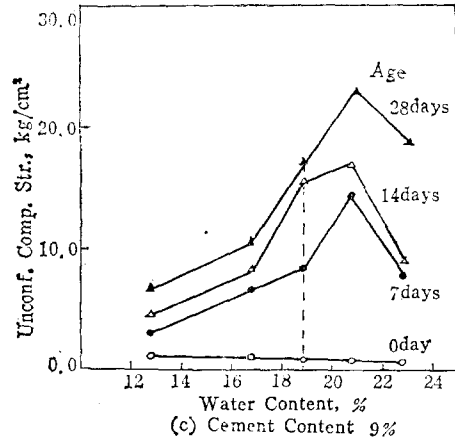
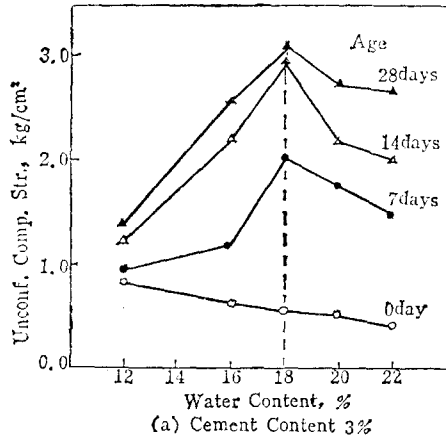
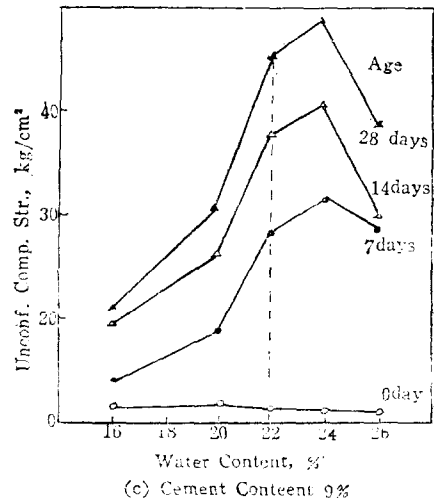
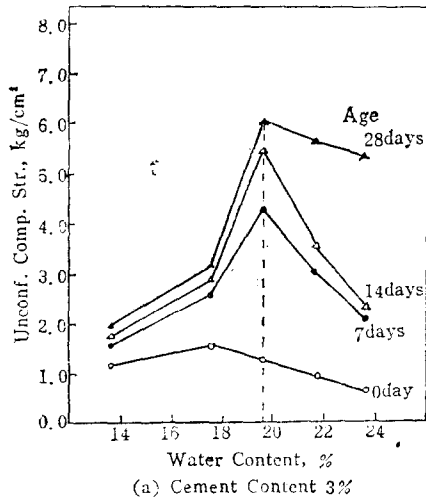


Fig. 5 Effect of Molding Water and Cement Content on Unconfined Compressive Strength of Soil-Cement Mixtures (MH Soil).



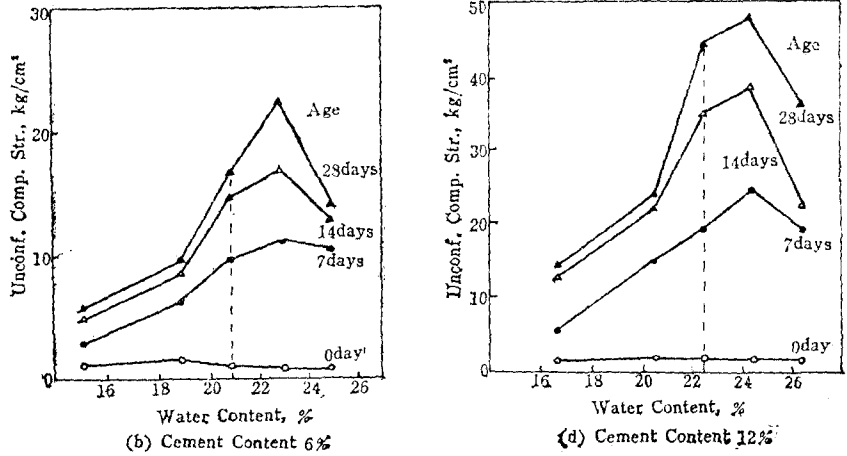


Fig. 6 Effect of Molding Water and Cement Content on Unconfined Compressive Strength of Soil-Cement Mixtures (SS Soil).

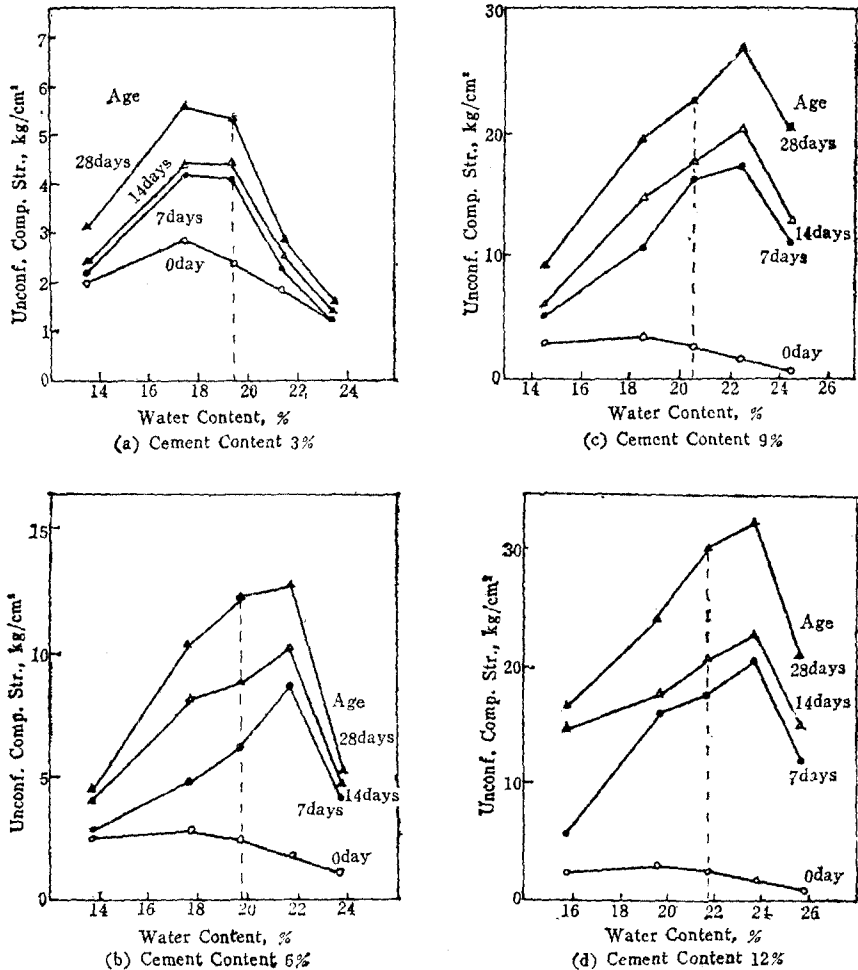


Fig. 7 Effect of Molding Water and Cement Content on Unconfined Compressive Strength of Soil-Cement Mixtures (JJ Soil).

Fig. 4~7은 含水比의 變化에 따른 壓縮強度를 나타낸 것으로 시멘트 添加量 3%에서 養生期日 7, 14, 28日인 경우 KY, MH, SS, JJ가 最適含水比의 乾燥側 또는 最適含水比에서 最大壓縮強度가 나타났으나 시멘트 添加量 6, 9, 12%인 경우는 KY, MH, SS, JJ 모두가 最適含水比를 지나 濕潤側에서 最大壓縮強度가 나타났다.

Davidson<sup>(24)</sup>, Felt<sup>(25)</sup> 등은 시멘트를 8, 12, 16%씩 첨가한 경우 砂質흙과 실트질 흙에서는 最適含水比보다 약간 乾燥側에서, 粘土질 흙에서는 濕潤側에서 強度가 各各 最大로 나타났다고 발표하였다.

Newill<sup>(26)</sup>은 물-시멘트비는 Soil-Cement의 強度에 큰 영향을 미친다고 발표하였다.

이상의 結果에서 Soil-Cement에 있어서 含水比는 強度에 큰 영향을 주는 것을 알 수 있으며 시멘트 添加量이 3%를 넘을 경우는 最適含水比보다 濕潤側에서 強度가 最大로 되며 이는 시멘트의 水和作用에 必要한 물이 最適含水比보다 크기 때문이라고 생각된다. 따라서 본 연구에서 사용한 KY, MH, SS, JJ의 흙에 있어서 시멘트 3% 添加時를 除外하고는 最大強度를 나타내기 위해서는 最適含水比보다 含水量은 2% 더 增加시키는 것이 効果的이라고 생각되며 여기서 Soil-Cement의 한 特性을 發見할 수

있다.

(3) 시멘트 含量 및 養生期間이 壓縮強度에 미치는 影響.

흙에 少量의 시멘트를 添加하므로써 흙만이 얻을 수 있는 強度의 數拾倍의 強度를 내어 흙의 安定處理에 큰 效果를 나타내는 것으로 생각된다.

Herzog<sup>(27)</sup>는 粘土에 시멘트를 添加하면 土粒子 사이에서 단순한 시멘트의 水和作用 뿐만 아니라 粘土와 水和作用을 한 시멘트와의 二次的 反應에 의해서 硬化되는 것이라고 발표하였다.

Fig. A-2(附圖)는 시멘트 含量과 압축강도와와의 관계를 나타낸 것으로 KY, MH, SS, JJ 모두가 시멘트 含量의 增加에 따라 強度가 增加하는 경향을 보였다.

Table A-1(附表)에서 시멘트 3%의 경우는 약간의 強度增進은 되었으나 SS, JJ, KY, MH가 모두 비슷한 強度를 나타냈으며 시멘트 6, 9, 12% 경우는 양생기일이 증가함에 따라 큰 강도의 增進을 보였다.

이러한 현상은 시멘트의 硬化作用에 의하여 養生期日이 增加함에 따라 強度가 增加되는 것으로 생각되며 시멘트 3% 添加時는 硬化作用에 큰 역할을 하지 못하는 것으로 생각된다.



祝

農學博士

金在英

當 學會 正會員인 金在英 會員은 오랜 研究生活 끝에 博士學位를 받은데 對하여 全會員과 더불어 祝賀드리는 바입니다. 앞으로 農工分野에 보다 더 깊은 研究가 있을것을 付託드립니다.

勤務處: 全北大學校 農工學科

生年月日: 1946年9月10日

最終學校: 忠南大學校 大學院

學位受與: 忠南大學校

學位論文: "含水比, 養生溫度 및 흙의 粒徑가 Soil-Cement의 壓縮強度에 미치는 影響에 관한 研究"