

# 溫度變化가 흙의 다짐과 壓縮強度에 미치는 影響

## Temperature Effects on the Compaction and Compressive Strength of Soils

金 在 英\* , 姜 又 默\*

Jae Yong Kim, Yea Mook Kang

### Summary

This study was to investigate the effects of compaction, compressive strength and Atterberg limits in accordance with the temperatures changes. It was conducted on four soils-KJ, JJ, MH, SS-at temperatures of -1, 1, 3, 5, 7, 10, 15, 19 and 22°C.

These tests were obtained the maximum dry density and the optimum moisture content of four soils in accordance with temperature changes by using distilled water and CaCl<sub>2</sub> 10% solution, and were put to the compressive strength tests on remolded specimens of soils compacted at the optimum moisture content.

The results of the study can be summarized as follows;

The maximum dry density increased with an increase in temperature, and the use of CaCl<sub>2</sub> 10% solution had higher maximum dry density than distilled water.

The optimum moisture content decreased with an increase in temperature, and the use of CaCl<sub>2</sub> 10% solution had lower optimum moisture content than distilled water.

The maximum compressive strength was shown high peak from 7°C to 15°C, and the use of CaCl<sub>2</sub> 10% solution had higher maximum compressive strength than distilled water.

The liquid limit and plasticity index decreased with an increased in temperature.

It is estimated that the use of CaCl<sub>2</sub> 10% solution can lower the minimum compacted temperature from 2°C to 4°C in low temperature.

### I. 緒 論

最近 高速道路, 흙댐,提防 등의 建設이 活發히 進行되고 있어 흙에 對한 關心이 날로 높아져 가고 있다. 이는 흙이 工事材料로 使用되기 때문에 可能的 限 工事着手前에 철저한 土質調査와 充分한 試驗을 하여 設計 및 施工에 臨하여야 되기 때문이다. 특히 道路工事 및 提防工事に 있어서 要求되는 試驗은 흙의 密度를 높이기 爲한 다짐試驗이 主이다. 흙을 다지면 粒子間의 間隙이 좁아지고 摩擦力과 粘着力은 增大되며 물에 對한 感受성이 작아지므로 흙을 다지는 目的은 河川의 提防이나 흙댐에서는 透水性을 작게하고 構造物의 安定을 維持할 수 있게 하는데 있으며 道路나 飛行場의 滑走路에서는 支持力을 增大시키고 容積變化를 작게하여 沈下와 凍上을 防止하는데 있다. 흙의 다짐效果는 흙의 狀態, 種類, 다짐方法, 含水量, 다짐 에너지 등에 따라 달라질 것이다. 흙다짐에서 溫度變化는 흙의 含有水分에 物理的인 變化를 일으켜서 흙의 다짐에 影響을 준다. 卽, 溫度가 내려가면 凍結되므로 다짐效果에 큰 影響을 미친다. 흙의 다짐은 19世紀 부터 世界各國에서 研究가 始作되었고, 그 후 1933년에 Proctor<sup>(12)</sup>가 흙의 다짐에 關한 論文을 發表함으로써 體系의인 研究가 始作되었다. 그 후 1948년에 Zeigler<sup>(19)</sup>에 依해 다짐물드의 크기에 따른 最大乾燥密度 및 最適含水比의 影響을 決定하였고 美工兵隊<sup>(17)</sup>에서도 크기가 다른 3個의 물드를 使用해서 다짐 에너지를 一定하게 하여 다짐試驗을 하였다. 溫度의 影響에 關한 研究는 DDUBOSE<sup>(4)</sup> (1953), DDOXTEN<sup>(9)</sup> (1953), TERZAGHI<sup>(16)</sup> (1955) 등에 依해서 發表되었으며 土工分野에서 많은 關心을 갖게 하였다. 現在 土木工事が 活發해짐에 따라 우리 나라에서는 高速道路 및 提防의 흙다짐에서 零下의 겨울 날씨에서도 工程關係로 다짐作業을 하는 광경을 볼 수 있다. 이러한 경우 充分한 다짐과 強度를 維持할

\*忠南大學校 農科大學

수 있을지가 의문이 되며 때에 따라서 CaCl<sub>2</sub>나 NaCl 용액을 사용하는 경우가 있는데 이것에 대한 효과 역시 우리 나라에서는 아직發表된 充分한 資料가 없는 實情이다.

本研究에서는 溫度變化가 다짐效果 및 壓縮強度에 미치는 影響을 究明키 위하여 4個地區에서 試料를 採取하여 각각 溫度를 變化시키면서 다짐試驗과 壓縮強度試驗을 하여 比較하였고 또 CaCl<sub>2</sub> 10% 용액을 사용하였을 경우와 蒸溜水를 사용한 경우의 Atterberg 限界, 다짐效果 및 壓縮強度를 比較하였다.

## II. 實驗材料 및 方法

### 1. 材 料

實驗에 使用된 試料는 大田市 文化洞(MH), 山城洞(SS), 京釜高速公路入口인 가장 동(KJ), 大德郡 湖南高速公路入口인 진잠(JJ)에서 採取하였으며 그 的 粒度分布는 그림 1과 같고 이들 試料의 物理的 性質은 표-1과 같다. 또한 CaCl<sub>2</sub>는 10% 용액을 사용했고 그 比重은 1.05 이었다.

표-1 使用된 흙의 物理的 性質

土質別	粒度分布	比 重	分 類		均等 係數
			三角座標分類	統一分類	
KJ	sand : 64% silt : 20% clay : 16%	2.60	砂質 loam	SC	110
JJ	sand : 58% silt : 22% clay : 20%	2.74	砂質粘土 loam	SM	122
MH	sand : 42% silt : 31% clay : 27%	2.58	粘土 loam	ML	43
SS	sand : 90% silt : 7% clay : 3%	2.64	砂	SW-SM	20

### 2. 方 法

다짐試驗은 各試料에 對하여 使用하는 물의 溫度를 -1°C~22°C까지 變化시키면서 最適含水比를 求했다. 다짐試驗用 물드는 Iowa state Compaction Apparatus와 Davidson<sup>(2)</sup>이 使用한 方法을 適用해서 內容積 150.87cm<sup>3</sup>, Rammer의 重量 984gr., 落下高 25.68cm로 하여 3層 12회씩 다짐으로서 다짐에너지는 12375 ft-lb/ft<sup>3</sup>으로 固定하여 CaCl<sub>2</sub> 10% 용액을 使用했을 경우와 蒸溜水를 使用했을 경우의 各各에 對해서 다짐試驗을 하고 最適含水比와 最大乾燥密度

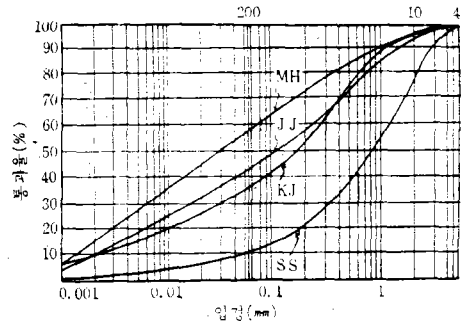


그림 1. 입도곡선

를 求해서 比較하였다. 壓縮強度試驗用 試片은 上記 試驗에서 求한 最適含水比에 맞도록 蒸溜水와 CaCl<sub>2</sub> 10% 용액을 各各 加하여 最大(乾燥)密度로 다지고 물드에서 抽出한 試片은 直徑 4.58cm, 높이 9.16cm 로서 높이가 直徑의 2倍가 되게 하였다. 壓縮強度 試片은 各各 3個씩 만들어서 3復試驗을 하였고 다짐試驗과 壓縮強度試驗은 8月 1일부터 12月 30日 사이에 大氣溫度가 變化함에 따라 實施하였고 흙에 加하는 蒸溜水 및 CaCl<sub>2</sub> 10% 용액의 溫度를 大氣中에서 -1, 1, 3, 5, 7, 10, 15, 19, 22°C로 維持하였고 實驗中의 溫度變化가 없는 範圍에서 實施하였다. 壓縮強度試驗은 Proving ring의 容量 100kg, Strain 測定用 Dial gage는 容量 10mm, 精密度 1/100mm의 一軸壓縮試驗機를 使用하였다. 또한 液性限界 및 塑性限界試驗은 KSF 2303, 2304의 規定에 依해서 蒸溜水를 使用한 경우에 對해서만 水溫을 -1°C~19°C까지 變化시키면서 試驗하였고 溫度變化에 따르는 液性限界와 塑性指數의 變化를 調査하였다.

## III. 結果 및 考察

### 1. 結 果

그림 1에 나타난 4가지 試料에 對하여 溫度를 變化시키면서 증류수와 CaCl<sub>2</sub> 10% 용액을 使用하여 다짐試驗 및 一軸壓縮試驗을 한 結果를 要略하면 표-2와 같다.

### 2. 考 察

#### 가. 溫度變化가 다짐效果에 미치는 影響

##### (1) 溫度變化와 最大乾燥密度와의 關係

##### (가) 다짐試驗에 蒸溜水를 使用한 경우

흙에서의 다짐이 重要하다는 것은 周知의 事實로서 水分을 加하면서 試料를 다지면 單位重量은 含水比의 어느 限界까지는 增加한다. 높은 強度를 내기 위해서는 흙의 다짐에서 乾燥密度가 最大로 되도록 하

표-2 Atterberg 限界와 다짐試驗 및 一軸壓縮試驗結果

土質別	溫 度 (°C)	最適含水比 (%)		最大乾燥密度 g/cm <sup>3</sup>		一軸壓縮強度 kg/cm <sup>2</sup>		液性限界 (%)	塑性指數
		CaCl <sub>2</sub> 0%	CaCl <sub>2</sub> 10%	CaCl <sub>2</sub> 0%	CaCl <sub>2</sub> 10%	CaCl <sub>2</sub> 0%	CaCl <sub>2</sub> 10%		
KI	-1	24.5	24.0	1.520	1.570	1.1212	1.3079	—	—
	1	23.6	23.0	1.580	1.604	1.2912	1.5248	47.5	17.
	3	23.0	22.2	1.612	1.630	1.4500	1.7587	46.2	17.2
	5	22.5	21.5	1.632	1.662	1.5789	2.2061	45.2	17.0
	7	22.2	20.8	1.662	1.668	1.6716	2.3228	44.2	16.5
	10	22.2	20.5	1.670	1.680	1.8198	2.1810	44.2	16.4
	15	22.1	20.4	1.674	1.706	1.9513	2.0666	43.5	15.8
	19	22.0	20.4	1.675	1.740	1.7810	2.0666	43.0	15.3
	22	22.0	—	1.677	—	1.7241	—	42.7	15.0
JJ	-1	19.2	18.0	1.688	1.720	0.7420	0.8499	—	—
	1	17.0	15.6	1.790	1.830	0.9413	1.0438	28.2	7.5
	3	15.5	13.9	1.800	1.870	1.1345	1.3045	26.5	7.2
	5	14.6	13.3	1.830	1.880	1.3084	1.7813	25.6	7.0
	7	14.4	13.0	1.840	1.890	1.5609	2.0669	25.0	6.5
	10	14.0	12.8	1.856	1.910	1.9513	1.7997	24.1	6.2
	15	14.0	12.1	1.860	1.933	1.6072	1.8050	24.0	5.6
	19	13.8	12.0	1.865	1.950	1.5968	1.8050	23.8	5.4
	22	13.3	—	1.874	—	1.5800	1.7862	23.6	5.3
MH	-1	29.0	27.0	1.512	1.530	1.3391	1.4341	—	—
	1	27.0	25.5	1.528	1.564	1.4507	1.5248	49.0	18.7
	3	26.7	23.0	1.548	1.614	1.5249	1.8672	48.2	17.9
	5	26.4	22.7	1.560	1.617	1.6875	2.5942	47.5	17.8
	7	26.0	22.5	1.560	1.630	2.0559	2.8335	45.4	17.2
	10	26.0	22.0	1.562	1.638	1.8505	2.5488	45.0	16.5
	15	25.9	21.5	1.566	1.640	1.7923	2.3321	44.0	16.3
	19	25.2	21.3	1.568	1.670	1.6659	2.2001	43.8	15.2
	22	25.0	—	1.569	—	1.6695	—	43.5	15.0
SS	-1	20.5	19.5	1.665	1.680	0.5107	0.5405	—	—
	1	18.7	18.6	1.772	1.792	0.5451	0.5738	37.0	Non p.
	3	17.2	16.5	1.787	1.841	0.6168	0.7775	35.0	—
	5	16.2	15.9	1.795	1.858	0.7775	1.0442	33.5	—
	7	15.7	15.8	1.810	1.868	0.8941	1.0804	32.5	—
	10	15.5	15.8	1.820	1.880	1.0796	1.2078	32.0	—
	15	15.5	15.5	1.830	1.880	0.9391	1.0996	31.3	—
	19	15.3	15.5	1.840	1.900	0.9400	1.0906	31.5	—
	22	15.3	—	1.845	—	0.8375	—	31.0	—

는 것이 유리하며 흙의 乾燥密度는 다짐方法, 다짐 含水比, 다짐에너지, 다짐溫度等に 影響을 받는 것으로 생각된다.

그림 2는 溫度變化에 따르는 最大乾燥密度를 나타낸 것으로 4個地區가 모두 溫度가 높아짐에 따라 最大乾燥密度는 增加하는 傾向을 나타냈다. 溫度變化에 따르는 最大乾燥密度의 增加率은 -1~

+7°C에서 컷고 그以上에서는 작게 나타났다.

Youssef (1961)<sup>(18)</sup>는 모래(0.05mm이상) 3%, silt (0.05~0.005mm) 92%, 점토(0.005mm以下) 5% 인 흙에 對해서 溫度變化에 따른 다짐試驗에서 溫度가 높아짐에 따라 最大乾燥密度는 增加하는 傾向을 發表한 바 있다. 이것은 溫度가 變化하면 물의 粘性係數도 變化하는 것으로 溫度 20.2°C 에서 粘性係數는

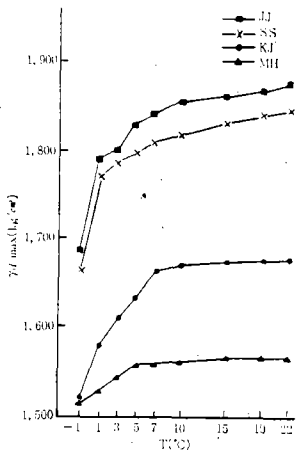


그림 2. 다짐온도(T)와 최대 건조 밀도( $\gamma_d \max$ )와의 관계(증류수)

1이며 20.2°C 이하에서는 粘性係數는 커지고 20.2°C 이상에서는 粘性係數는 작아지는<sup>(9)</sup> 것에 起因되는 것으로 생각된다. 溫度가 0°C에 가까워지면 水分에 凝結現象이 일어나게 되어 흙속의 水分은 흙의 粒子 사이에 均一하게 흡수되지 않아 흙다짐에 影響을 주는 것으로 생각된다. 그림 2에서 보는 바와 같이 溫度가 1°C에서 -1°C로 變할때 最大乾燥密度는 급격히 떨어지는 現象을 보이고 있는 것도 水分이 凝結 또는 凍結되는데 基因되는 것으로 생각되며 4地區中 最大乾燥密度는 JJ, SS, KJ, MH의 順으로 작은 경향을 보였다. 이것은 흙의 粒度組成과 比重에 影響되는 것으로 생각한다. 그림 2에서 溫度의 變化에 따른 最大乾燥密度는 -1°C를 基準으로 할때 22°C에서 KJ, JJ, SS가 約10%, MH는 그보다 떨어진 3.7% 增加하였다. MH는 silt質(31%)과 粘土質(27%)이 다른 試料에 比하여 많이 包含되어 있기 때문에 다짐試驗時의 溫度가 흙에 加한 水溫보다도 높아지므로 低溫다짐에 있어서 같은 溫度의 물을 加하여 다졌을 경우 MH는 다른 試料보다 實際의 다짐溫度는 높게되어 水溫에 따르는 다짐의 影響이 작게 나타난 것으로 믿는다.

(나) 다짐試驗에 CaCl<sub>2</sub> 10%溶液을 使用한 경우 蒸溜水 代身에 CaCl<sub>2</sub> 10% 溶液을 使用한 경우 溫度變化와 最大乾燥密度와의 관계는 그림 3과 같이 나타났다. 溫度가 높아짐에 따라 最大乾燥密度도 增加하는 傾向은 蒸溜水를 使用한 경우와 같은 現象을

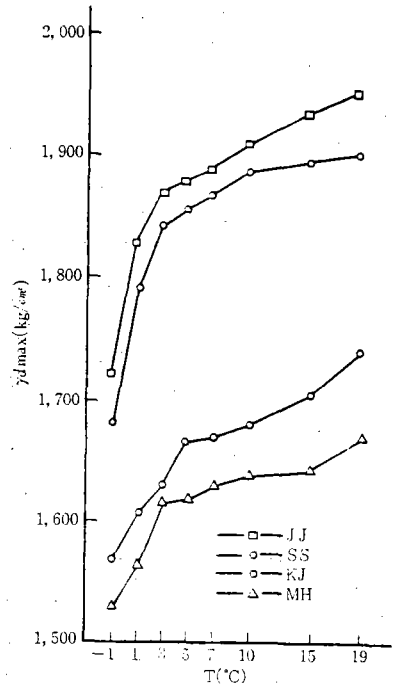


그림 3. 다짐온도(T)와 최대 건조 밀도 ( $\gamma_d \max$ )와의 관계 (CaCl<sub>2</sub> 10%)

나타냈으나 CaCl<sub>2</sub> 10% 溶液을 使用한 경우가 더큰 乾燥密度를 나타냈다. 또 溫度가 -1°C에서 19°C로 上昇함에 따른 最大乾燥密度는 JJ, SS가 約13%, KJ가 11%이고 MH는 蒸溜水의 경우와 같이 제일 작은 9% 增加하였다.

各試料의 最大乾燥密度에 增加경향은 蒸溜水使用時 보다 增加率이 컸으며, 특히 MH는 CaCl<sub>2</sub> 使用으로 더욱 큰 增加率을 나타내어 效果가 뚜렷이 認定되었다. 그림 4, 5, 6, 7은 蒸溜水를 使用한 경우와 CaCl<sub>2</sub> 10% 溶液을 使用한 경우에 있어서의 KJ, JJ, MH, SS의 最大乾燥密度를 比較한 것으로 CaCl<sub>2</sub> 10% 溶液을 使用한 경우가 蒸溜水를 使用한 경우보다 각각의 溫度에서 最大乾燥密度는 더 높았으며, 19°C의 경우는 KJ가 4%, JJ가 5%, MH가 7%, SS가 3% 증가하였다. 이것은 蒸溜水 보다 CaCl<sub>2</sub> 10% 溶液의 比重이 크고 또 物理的 現象으로서 CaCl<sub>2</sub>가 흙의 Colloid를 變化시켜 水分의 流通을 원활하게 함으로써 Colloid 粒子 사이에 凝固現象이 일어나는 것<sup>(8)</sup>에 기인 된다고 생각된다. -1°C의 경우는 CaCl<sub>2</sub> 10% 溶液을 使用한 경우가 蒸溜水 使用時 보다 KJ는 3%, JJ, MH는 2%, SS는 1%의 最

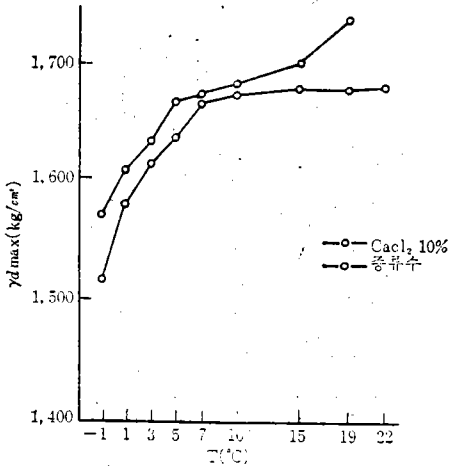


그림 4. KJ 시료에 대한 다짐온도(T)와 최대건조밀도( $\gamma_d \max$ )와의 관계

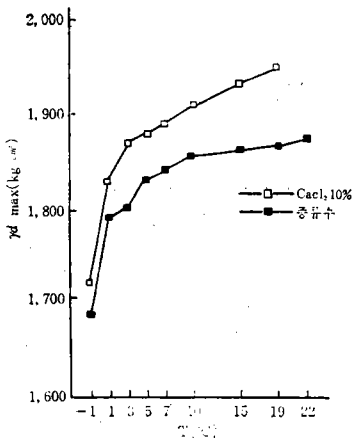


그림 5. JJ 시료에 대한 다짐온도(T)와 최대건조밀도( $\gamma_d \max$ )와의 관계

大乾燥密度에 증가를 나타냈다.

Floyd<sup>(6)</sup>(1960)는 montmorillonite clay를 使用해서 實驗한 結果 CaCl<sub>2</sub>를 넣지 않았을 때 보다 CaCl<sub>2</sub>를 넣었을 때가 最大乾燥密度는 컸고, CaCl<sub>2</sub>량이 많을 수록 더 크게 나타났다고 發表하였다. 그는 또 4%의 CaCl<sub>2</sub>를 넣었을 때는 最大乾燥密度가 약 11% 르 增加된다고 하였다.

Sambhandharaksa<sup>(14)</sup>(1971)는 방록의 점토를 다질때

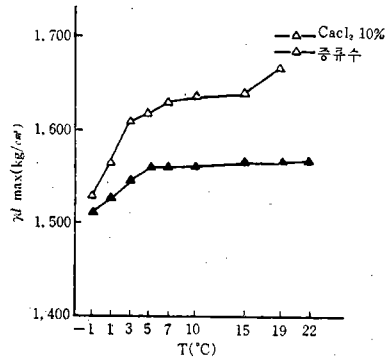


그림 6. MH 시료에 대한 다짐온도(T)와 최대건조밀도( $\gamma_d \max$ )와의 관계

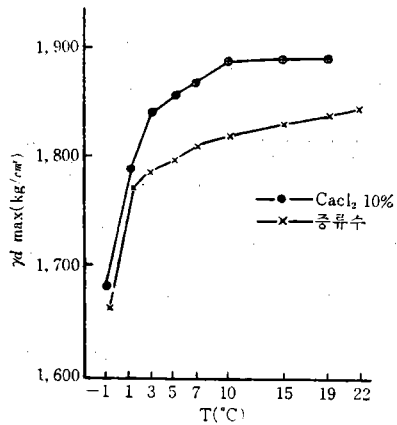


그림 7. SS 시료에 대한 다짐온도(T)와 최대건조밀도( $\gamma_d \max$ )와의 관계

NaCl의 量을 增加시키면 單位乾燥重量이 增加한다고 發表하였다. 이들 두 사람의 研究結果에서 CaCl<sub>2</sub> 溶液과 NaCl 溶液의 效果를 認定할 수 있으며 本研究에서도 CaCl<sub>2</sub> 10% 溶液을 使用하여 乾燥密度가 增加되었고 低溫다짐의 경우 다짐作業溫度의 範圍를 넓힐 수 있는 바 그 範圍는 土質에 따라서 다른 것으로 생각된다. 土質과 CaCl<sub>2</sub> 溶液의 濃度에 따라 정도의 차이는 있겠으나 CaCl<sub>2</sub> 溶液이 蒸溜水 보다 氷點이 낮기 때문에 다짐에 CaCl<sub>2</sub> 溶液의 使用效果를 認定할 수 있으며 5°C 以下の 低溫다짐에서 CaCl<sub>2</sub> 10% 溶液을 使用함으로써 다짐最低溫度의 範圍를 2~4°C 낮출 수 있다.

(2) 溫度變化와 最適含水比와의 關係

(가) 다짐試驗에 蒸溜水를 使用한 경우

溫度變化에 따른 最適含水比의 變化는 그림 8에 나타난 바와 같이 溫度가 增加함에 따라 最適含水比는 減少하는 現象을 나타냈다, 이런 現象은 溫度가 增加함에 따라 粘性係數는 작아지고 低溫에서는 反대로 粘性係數가 크므로 흙에 水分이 充分히 흡수되

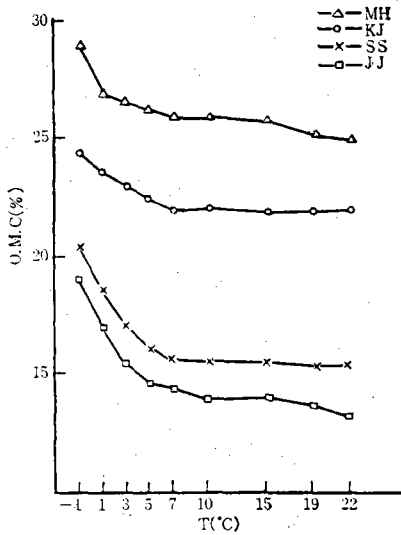


그림 8. 다짐온도(T)와 최적함수비(O.M.C)와의 관계(중류수)

지 못하고 零下에서는 凍結되는 것으로 생각된다.

Youssef<sup>(18)</sup>(1961)도 모래(0.05 mm 이상) 3%, silt(0.05~0.005mm)92%, 粘土(0.005mm 以下) 5%인 한種類의 흙에 대한 다짐試驗에서 溫度가 높아짐에 따라 最適含水比는 減少한다고 發表한 바 있다.

一般的으로 흙에 있어서 最適含水比와 最大乾燥密度와의 關係는 最適含水比가 增加함에 따라 最大乾燥密度는 減少하는 傾向을 보이는 것<sup>(1)(11)</sup>과 같이 本實驗에서도 最大乾燥密度는 溫度가 높아짐에 따라 增加했으며, 反대로 最適含水比는 減少하는 結果가 나타났다.

溫度上昇에 따른 最適含水比의 減少는 -1°C에서 22°C로 變할때 JJ가 30%, SS가 25%, MH, KJ는 약 11% 減少하였다.

(나) 다짐試驗에서 CaCl<sub>2</sub> 10% 溶液을 使用한 경우 그림 9에서 蒸溜水를 使用했을 경우와 같이 溫度가 높아짐에 따라 最適含水比는 減少하는 傾向을 보였다. 온도상승에 따른 最適含水比와의 減少는 -1°C를 基準으로 한 경우 19°C에서 JJ가 33%, SS, MH가 21%, KJ가 15% 減少하였다. 그림 10~13

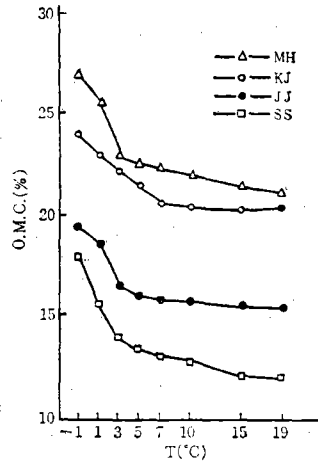


그림 9. 다짐온도(I)와 최적함수비(O.M.C)와의 관계(CaCl<sub>2</sub> 10%)

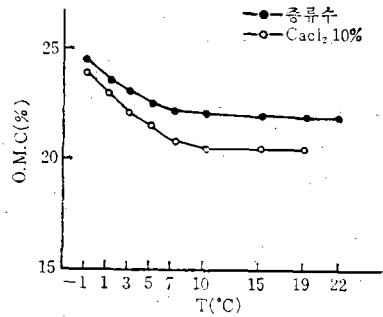


그림 10. KJ 시료에 대한 다짐온도(T)와 최적함수비(O.M.C)와의 관계

에서 보는바와 같이 CaCl<sub>2</sub>를 使用한 경우가 사용하지 않은 경우 보다 각각의 온도에서 최적함수비는 더 작은 傾向을 보였고 19°C에서의 減少率은 KJ 7%, JJ가 13%, MH가 15.5%이었고 SS는 別로 變化가 없었다.

Floyd<sup>(6)</sup>(1960)도 montmorillonite clay를 使用한 시험에서 일정한 온도에서 CaCl<sub>2</sub>를 넣는것이 넣지 않는것 보다 최적함수비는 작다고 발표하였다. 이런 현상은 CaCl<sub>2</sub>의 比重이 1.05로서 중류수 보다 크며 最大乾燥密度에서 論한 바와 같이 다짐效果가 良好해짐으로써 토립자가 치밀하게 다져지기 때문에 토립자 사이에 공극이 작으네 기인된다고 본다. 이상의 결과와 그림 1에 나타난 입도곡선을 比較 할때 細粒을 많이 包含한 흙에서 최적함수비의 減少는 컸

溫度變化가 흙의 다짐과 壓縮強度에 미치는 影響

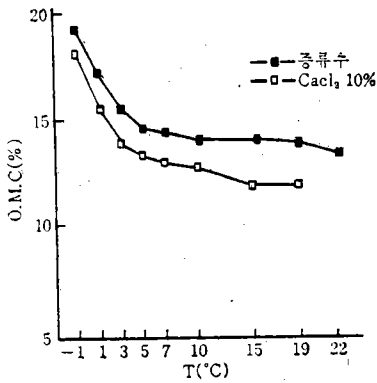


그림 11. JJ 시료에 대한 다짐온도 (T)와 최적함수비(O. M. C)와의 관계

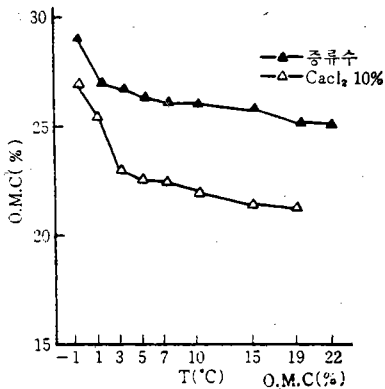


그림 12. MH 시료에 대한 다짐온도(T)와 최적함수비(O. M. C)와의 관계

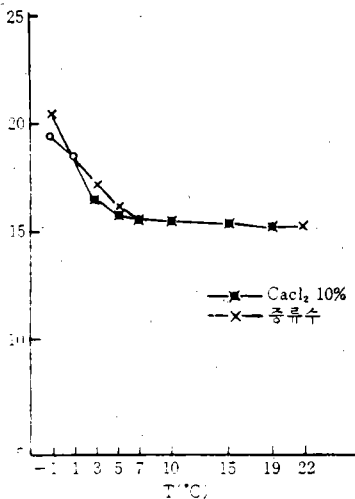


그림 13. SS 시료에 대한 다짐온도(T)와 최적함수비(O. M. C)와의 관계

고 粗粒이 많은 흙에서는 최적함수비의 變化가 적었다. 즉 다짐작업에 있어서 CaCl<sub>2</sub> 溶液의 使用은 粗粒土 보다 細粒土에서 그의 效果가 큰 것으로 생각한다.

나. 다짐溫度가 壓縮強度에 미치는 影響

(1) 蒸溜水를 使用한 경우의 溫度變化와 壓縮強度와의 關係

다짐에 依하여 흙의 乾燥密度가 增加하면 粘着力과 內部摩擦角이 增加하여 剪斷強度는 增大된다.

Eno<sup>(6)</sup>(1929)는 高速道路의 畝鋪裝다짐에서 氣象要因의 重要性을 指摘하였으며 이들 要因들로서는

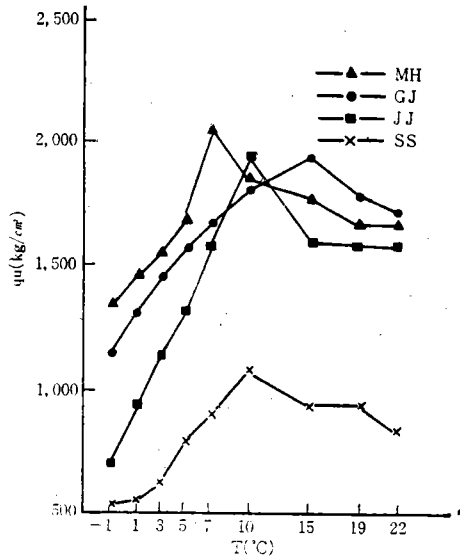


그림 14. 다짐온도(T)와 압축강도(qu)와의 관계(중류수)

氣溫, 서리, 햇빛, 바람, 습기, 降水, 流出, 증발등이 包含된다고 하였고, Richards<sup>(14)</sup>(1969)도 도로의 畝鋪裝다짐에서 溫度가 重要한 要因이라고 發表한 바 있다. 溫度가 흙다짐에 큰 影響을 미치는 因子로서 最近에 와서 더욱 관심이 높아져 가고 있으나 우리 주위에서는 工程關係로 冬期工事를 하는 것을 볼수 있는데 溫度가 흙다짐에서 乾燥密度와 強度에 큰 影響을 미친다는 것을 생각하면 결코 소홀히 取扱해서는 안될 것으로 생각한다.

本實驗에서는 -1°C에서 22°C까지 溫度를 變化시키면서 다져서 壓縮試驗用試片을 製作하고 一軸壓縮試驗을 하여 그림 14, 15와 같은 結果를 얻었다.

그림14는 溫度變化에 따른 壓縮強度의 變化를 나타낸 것으로 砂質이 많은 SS가 強度는 제일 낮았고

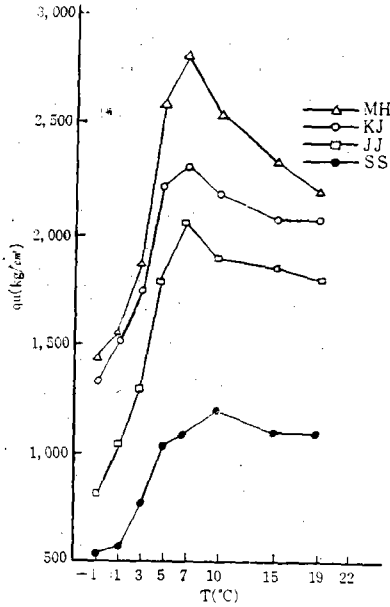


그림 15. 다짐온도 (T)와 압축강도 (qu)와의 관계 (CaCl<sub>2</sub>, 10%)

KJ, MH, JJ는 비슷한 강도를 보였다.

Joakim<sup>(7)</sup>(1969)은 Kaolinitic, illitic, montmorillonitic, montmorillonitic-illitic 등 4 종류의 흙에 대해서 35°F, 70°F, 105°F 일때 각각 강도 실험을 한 결과 illitic의 경우는 70°F에서 가장 높았고 다른 3 종류는 온도가 증가함에 따라 점점 증가하였다고 발표하였고, Mehmet<sup>(10)</sup>(1969)는 乾燥된 분말 Kaolinite 粘土를 사용해서 75°F, 100°F, 125°F, 150°F에서 압축강도 실험을 한 결과 온도가 증가함에 따라 압축강도는 減少하는 경향을 보였다고 發表한 바 있다. 온도 변화에 따른 最大강도는 KJ가 15°C, JJ는 10°C, MH는 7°C, SS는 10°C에서 그리고 最低강도는 -1°C에서 각각 나타났다. 最低강도를 基準으로 하여 最大강도는 JJ가 180%, SS가 110%, KJ가 74%, MH가 55% 증가하였다. 가장 理想的인 강도가 나타나는 다짐온도는 7°C~15°C이었다. 또한 7°C에서는 강도가 급격히 低下되며 低温다짐이 강도 면에서 不利한 것을 알 수 있다.

(2) CaCl<sub>2</sub> 용액을 사용한 경우의 온도 변화와 압축 강도와와의 關係

그림 15는 CaCl<sub>2</sub> 10% 용액을 사용하였을 경우의 온도 변화에 따른 압축강도를 나타낸 것으로 증류수를 사용한 경우와 같이 압축강도는 MH, KJ, JJ, SS의 順으로 나타났으며 압축강도의 最大값이 SS는 10°C에서, KJ, JJ, MH는 7°C에서 각각 나타났

으며 最低강도를 基準으로 하여 最大강도는 JJ가 155%, SS가 118%, MH가 93%, KJ가 77%로 各各增加되었으며, 특히 MH의 경우는 CaCl<sub>2</sub>를 넣음으로써 더욱 큰 강도를 나타냈다. 그림 16, 17, 18, 19는 KJ, JJ, MH, SS에서 CaCl<sub>2</sub> 10% 용액을 사용하였을 경우와 증류수를 사용한 경우의 강도를 比較한 것으로 각 온도에 對한 강도는 CaCl<sub>2</sub> 10% 용액을 사용한 경우가 큰 값을 나타냈고 最大강도의 差를 比較하면 KJ가 18%, JJ가 6%, MH가 32%, SS가 14%씩 각각 증가하였다. 최대강도를 나타내

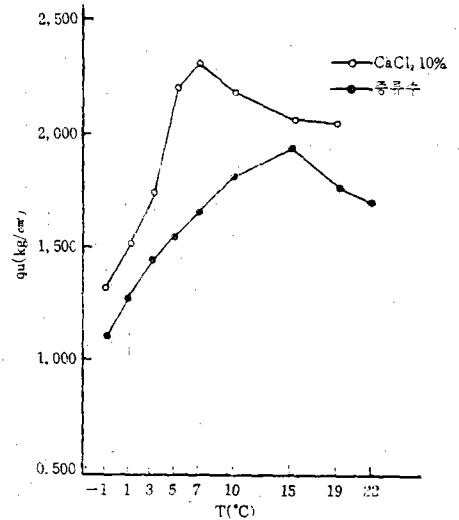


그림 16. KJ 시료에 대한 다짐온도 (T)와 압축 강도 (qu)와의 關係

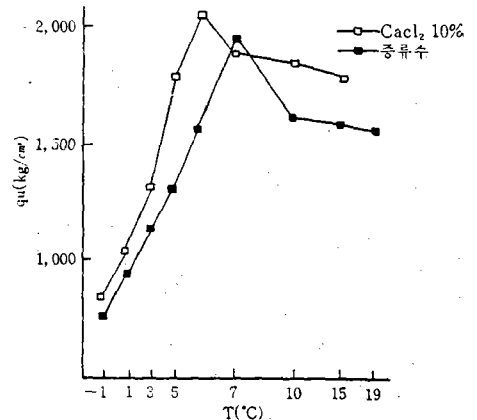


그림 17. JJ 시료에 대한 다짐온도 (T)와 압축 강도 (qu)와의 關係

는 다짐온도는 일반적으로 CaCl<sub>2</sub> 10% 용액을 사용한 경우가 증류수를 사용한 경우보다 낮았다.



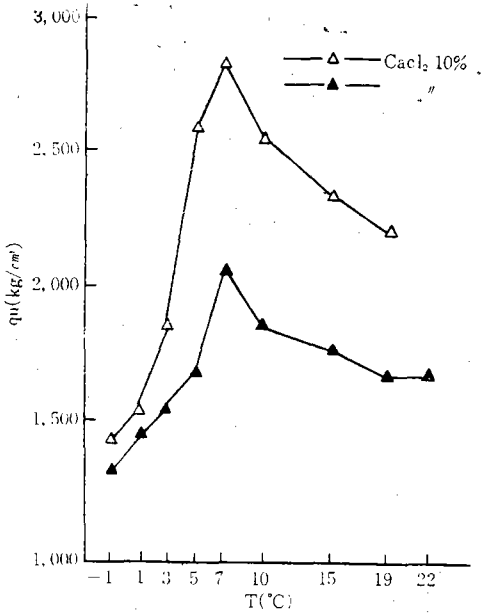


그림 18. MH 시료에 대한 다짐온도 (T)와 압축강도(qu)와의 관계

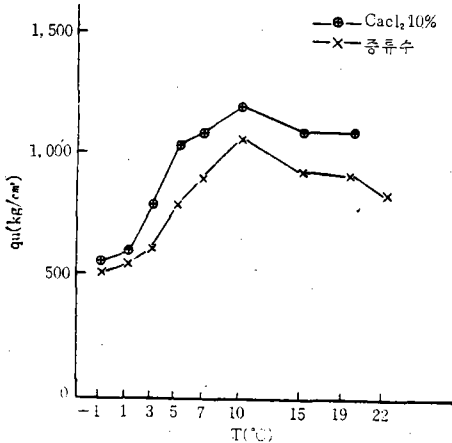


그림 19. SS 시료에 대한 다짐온도(T)와 압축강도(qu)와의 관계

다. Atterberg Limit 와 溫度와의 關係

그림 20과 21은 온도변화에 따른 液性限界와 塑性指數의 變化를 나타낸 것으로 溫度가 높아질수록 液性限界, 塑性指數는 減少하는 現象을 나타내고 있으며 그 값은 MH, KJ, SS, JJ의 順으로 나타났다. Joakin<sup>(7)</sup>(1969), Youssef<sup>(18)</sup>(1961), Radhakrishman<sup>(13)</sup>(1967)도 온도가 높아짐에 따라 液性限界와 塑性指數는 減少한다고 발표하였다. 이들 現象은 그림 8에 나타난 最適含水比와 같은 現象을 보이고 있으므로 液性限界 및 塑性指數와 最適含水比는 密接한 關

係가 있는 것으로 믿어진다. 溫度가 增加함에 따라 液性限界와 塑性指數가 減少하는 現象은 溫度變化에 따르는 물의 粘性係數에 關係되는 것으로 생각한다.

IV. 結 論

溫度變化에 따른 다짐試驗, 壓縮強度試驗 Atterberg 限界試驗에 對한 結果를 要約하면 다음과 같다.

1. 증류수와 CaCl₂ 10% 溶液을 사용한 경우 溫度가 增加함에 따라 最大乾燥密度는 增加하였고, -1°C에서 22°C까지 變함에 따라 증류수를 사용한 경우에 최대건조밀도는 KJ, JJ, 및 SS는 10%, MH는 3.7% 증가하였고, 또 CaCl₂ 10% 溶液을 使用하였을 경우에 JJ 및 SS는 13%, KJ는 11%, MH는 9%

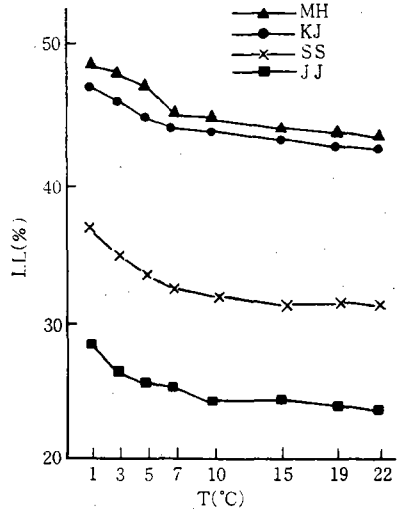


그림 20. 다짐온도(T)와 액성함계(LL)와의 관계

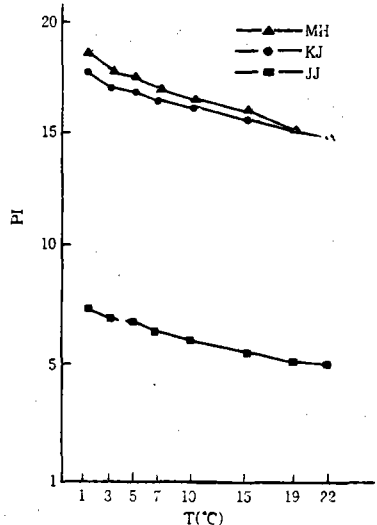


그림 21. 다짐온도(T)와 소성지수(PI)와의 관계

增加하였으며, CaCl<sub>2</sub> 10% 溶液을 사용한 경우가 더욱 큰 乾燥密度를 나타냈다.

2. 온도가 높아짐에 따라 最適含水比는 減少하였고, -1°C 에서 22°C 까지 변함에 따라 증류수를 사용한 경우는 JJ가 30% SS가 25%, MH 및 KJ는 11% 감소를 나타냈고, CaCl<sub>2</sub> 10% 溶液을 사용한 경우는 JJ가 33%, SS 및 MH가 21%, KJ가 15% 減少되었으며, CaCl<sub>2</sub> 10% 溶液을 사용한 경우가 最適含水比는 더 낮았다.

3. 증류수를 사용한 경우 KJ는 15°C, MH는 7°C SS와 JJ는 10°C에서 또 CaCl<sub>2</sub> 10% 溶液을 사용한 경우는 SS가 10°C KJ, JJ 및 MH가 7°C에서 최대 강도를 나타냈으며, 이상적인 강도가 나타나는 다짐 온도는 7~15°C이었다.

4. 증류수 사용시 최대강도는 최저강도를 기준으로 할 때 JJ가 180%, SS가 110%, KJ가 74%, MH가 55%, 또, CaCl<sub>2</sub> 10% 溶液사용시는 JJ가 155%, SS가 118%, MH가 93%, KJ가 77%의 강도를 나타냈다.

5. 온도증가에 따른 液性限界 및 塑性指數는 減少하는 現象을 나타냈다.

6. 5°C 以下の 低溫다짐에서 CaCl<sub>2</sub> 10% 溶液을 사용함으로써 다짐最低溫度의 範圍를 2~4°C 낮출수 있는 것으로 본다.

參 考 文 獻

1. 赤井浩一 (1957), “土の粒度配合による締固め特性の変化” 土と基礎. 10(9):12-16.
2. Davidson, D. T. and Bruns, B. W. (1960) “Comparison of Type 1 and Type 2 Portland Cements for Soil Stabilization” H. R. B. Bull. 267.
3. Doxton, H. T. (1953). “Soil Moisture and Density Measurements at Australian Airdromes” Proc., 3rd Int. Conf., on SM & FE. II: 112-117.
4. Dubose, L. A. (1953). “A full scale Investigation of the Thermo-Osmotic Hypothesis” Proc., 3rd Int. Conf., on SM & FE. I: 8-12.
5. Eno (1929). “Influence of Temperature and other Climatic Factors on the Performance of Soil-Pavement Systems” Proc., Int. Conf., H. R. B. Special Report. 103: 173-184.
6. Floyd, O. Slate (1960). “Preliminary Findings and Future Programming of a Basic Research

- Project Involving Calcium Chloride with Pure Clay” H. R. B. 282: 9S-103.
7. Joakim, G. Laguros(1969). “Effect of Temperature on Some Engineering Properties of Clay Soils” Proc., Int. Conf., H. R. B. Special Report. 103: 186-193.
8. 趙成鎭外 1人(1962). 土壤肥科学 pp. 27. 文運堂
9. McGraw-Hill “Hand Book of Chemistry” Hand Book Publ., Inc.: 1668.
10. Mehmet, A. S. and Burrons, C. M. (1960). “Temperature Effects on the Unconfined Shear Strength of Saturated, Cohesive Soil” Proc., Int. Conf., H. R. B. Special Report. 103: 267-272.
11. 森満雄(1962). “土の最大乾燥密度と最適含水比について” 土と基礎 10(9): 12-16.
12. Proctor, R. R. (1933) “Fundamental Principles of Soil Compaction” Engineering News Record. 111 (9, 10, 12 and 13).
13. Radhakrishnan, N., Kaff, R. K. and Hussain, M. (1967). “Studies on Thermal Stabilization of Black Cotton Soils” Proc., 3rd Asian Reg. Conf. on SM & FE, Haife. 111-115.
14. Richards, B. G. (1969). “Pavement Temperature and Their Engineering Significance in Australia.” Proc., Int. Conf., H. R. B. Special Report. 103: 254-265.
15. Sambhandharaksa, S. and Moh, Z. C. (1971) “Effects of Salt Content on Thixotropic Behaviour of a Compacted Clay” Proc., 1st Australia-N. Z. Conf. Geomech., Melbourne, 1: 16-23.
16. Terzaghi, K. (1955). “Influence of Geological Factors on the Engineering Properties of Sediments” Harvard Univ., Soil Mech. Series(50).
17. U. S. Corps of Engineers (1950). “Soil Compaction Investigation” Report No. 5 Miscellaneous Laboratory Tests. U. S. Waterway Exp. Sta. Tech. Memo. 3-271 quoted by H. R. B. Bull. 319: 21-22.
18. Youssef, S., Sabry, A. and EI Ramli, A. H. (1961). “Temperature Changes and Their Effects on Some Physical Properties of Soils” Proc., 5th Int. Conf., on SM & FE. I: 419.
19. Zeigler, E. J. (1948). “Effect of Material Retained on the No. 4 Sieve on the Compaction Test of Soils” H. R. B. Proc. 28, 409-414.