

# 粗粒材가 흙의 다짐에 미치는 影響

## Effect of Coarse Materials on Compaction of Soil

尹 忠 燮\* · 金 浩 一\* · 金 賢 泰\*\*  
Yoon, Choong Sup · Kim, Ho Il · Kim, Hyun Thi

### Summary

The compaction ratio of the field dry density to the maximum dry density is generally adopted as the index of quality control for embankment of earthfill structures such as Earth Dam, Sea Dike, River Bank and Road.

In case of coarse materials are included in the earth material, the compaction ratio will be varied in wide range since the dry density is influenced by quantity of coarse material in the soil. The treatment for the coarse material should be controlled carefully in testing.

In this study, the compaction characteristics of the soil contained the coarse materials were researched and calibration of the suitability of field quality control methods were carried out.

28 Samples were made of clay(CL) and sandy soil (SM) mixed with gravel whose content were 0, 4, 6, 8, 10, 12, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, and 60% in Weight. The compaction characteristics depending on the coarse material content were analysed through 4 types of compaction tests which are A-1, B-1, C-1 and D-1.

The adjusting coefficients for density and moisture content namely  $\alpha$  and  $\beta$  respectively were proposed in order to consider the effects depending on content of the coarse materials.

The test methods to control reasonably and promptly the quality of earthfill were proposed after analysing the ranges of possible errors on the relative compaction ratio between laboratory compaction methods and field density testing methods.

\* 慶尙大學校 農科大學

\*\* 農漁村振興公社 農工技術研究所

키워드 : 粗粒材의 다짐, 最大乾燥密度係數, 最適函  
數比係數, 相對다짐率, 室內다짐誤差, 相對  
다짐率誤差

## I. 緒 論

흙댐,防潮堤,도로 및 河川堤防과 같은 土工構造物은 築造材料인 흙의 工學的 性質을 糾明하여 그 構造物에 適合한 條件으로 設計 및 施工을 함으로써 安全하고 經濟的으로 建設할 수 있다.

흙은 母岩의 性質, 粒度分布, 含水比등 여러 가지 構成要素에 따라 그 特性이 다르며, 특히 盛土材料는 다짐程度에 따라 그 特性이 變化된다. 또한 試料調製 및 다짐方法에 따라서 다짐密度 및 工學的 特性의 差가 매우 크다.

그러므로 다짐試驗을 할때는 構造物의 種類, 規模 및 現場與件과 그 盛土材料에 適合한 다짐方法을 택하여야 하며 施工중 品質管理 試驗의 土質定數가 設計時의 土質定數와 一致되도록 하여야 한다.

盛土의 다짐程度를 判定하는 品質管理 試驗에는 흙의 空隙率에 의한 法, 透水試驗에 의한 法, 密度試驗에 의한 法 등이 있으나 現場密度試驗에 의한 相對 다짐率로서 施工狀態를 判定하는 것이 가장 일반적인 方法이다.

盛土材料의 다짐試驗 및 現場密度 測定方法에서 粗粒材含有量에 따른 試料調製方法 및 試驗方法에 따라 다짐밀도의 差가 크므로 다짐율의 오차가 크게 발생될 수 있다.

따라서 本 研究에서는 粗粒材 含有量 別로 다짐試驗을 實施하여 粗粒材를 含有한 흙의 다짐特性을 分析하고 粗粒材 含有量別 密度 補正係數( $\alpha$ )와 含水比補正係數( $\beta$ )을 提案하고, 現場盛土다짐에 대한 品質管理에 室內 다짐方法과 現場密度 測定方法에 따른 다짐율의 測定誤差를 糾明하여 盛土의 品質管理 試驗을 合理的이고 迅速하게 실시할 수 있는 方法에 대하여 研究하였다.

## II. 흙의 다짐特性

### 가. 最大乾燥密度와 含水比

흙의 다짐密度는 最適含水比에서 最大가 되고 흙의 含水比가 乾燥側으로 減少되거나 濕潤側으로 增加될수록 다짐密度가 減少하는 다짐曲線을 나타낸다. 이러한 關係를 式으로 나타내면 다음과 같다.

$$\gamma_d = \frac{\gamma_w}{1/G_s + w/S} \dots\dots\dots(1)$$

여기서  $\gamma_d$ : 建造密度( $gf/cm^3$ )

$G_s$ : 흙의 比重

$w$ : 흙의 含水比(%)

$S$ : 飽和度(%)

$\gamma_w$ : 물의 密度( $gf/cm^3$ )

위 式에서 乾燥密度( $\gamma_d$ )는 比重 및 飽和度가 클수록 增加하고 含水比( $w$ )가 增加할수록 減少하는 關係를 나타낸다.

Fig. 1을 보면 흙의 含水比가 最適含水比보다 적은 條件 즉 乾燥側에서는 含水比의 減少 보다 飽和度의 減少가 크며, 最適含水比 보다 많은 條件 즉 濕潤側에서는 飽和度의 增加가 含水比의 增加보다 적으므로 最適含水比 前後의 乾燥密

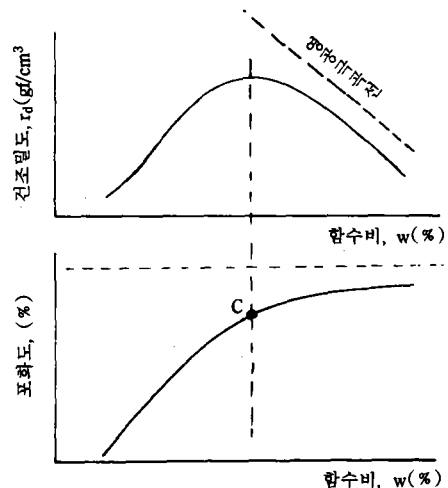


Fig. 1. 흙의 다짐곡선도

도는 減少한다. 즉 w/S가 최소가 되는 만큼점 C의 含水比가 最適含水比가 된다.

또한 w/S가 最少가 되는 最適含水比(w)는 흙의 種類에 따라 變化되며, 특히 흙의 입자가 클수록, 粒度分布가 양호할수록, 그리고 다짐 에너지가 클수록 最適含水比가 적어지며 最大乾燥 密度는 크게 된다.

나. 粗度材의 含有量과 흙의 密度

盛土施工에서 실제로 흙이 다져지는 것은 粗粒材가 아닌 細粒材로서, 粗粒材가 많을수록 밀도가 커지며, 粗粒材를 含有한 全體 흙의 密度( $\gamma_{d \cdot t}$ )와 흙G4.75mm 통과량)만의 乾燥密度( $\gamma_{d \cdot s}$ )와의 관계는 다음과 같다.

$$\gamma_{d \cdot t} = \frac{1}{\frac{P_f/100}{\gamma_{d \cdot s}} + \frac{P_g/100}{G_g}} \dots\dots\dots(2)$$

- 여기서  $P_g$  : 粗粒材 含有率(%)
- $P_f$  : 細粒材 含有率(1- $P_g$ )(%)
- $G_g$  : 자갈의 粒보기 比重

위 式의 각 變數 중에서  $G_g$ ,  $P_f$ 와  $P_g$ 는 흙의 種類에 따라 일정하게 주어지는 값이므로 粗粒材 含有量에 따른 細粒材의 密度( $\gamma_{d \cdot s}$ )를 알 수 있으면 粗粒材 含有量에 따른 全體 흙의 密度를 계산할 수 있다. 그러나 실제로 흙을 다질 때에는

같은 에너지로 다져도 粗粒材가 많을수록 粗粒材의 摩擦에 의하여 다짐效率이 떨어져 細粒材만의 密度는 減少될 것이다. 이 關係를 密度修正係數  $\alpha$ 를 사용하여 式으로 나타내면 다음과 같다.

$$\gamma_{d \cdot s} = \alpha \times \gamma_{dmax \cdot s} \dots\dots\dots(3)$$

여기서  $\gamma_{dmax \cdot s}$  : #4번체 通過量만을 다짐한 最大乾燥密度(gf/cm<sup>3</sup>)

위 式에서  $\alpha$ 값은 1보다 작으며 粗粒材가 많을수록 減少할 것이다. 그러므로 粗粒材 含有量별  $\alpha$ 값을 알면 粗粒材 含有量別 全體 흙의 最大乾燥密度( $\gamma_{dmax \cdot t}$ )를 다음식으로 구할 수 있다.

$$\gamma_{dmax \cdot t} = \frac{1}{\frac{P_f/100}{\alpha \times \gamma_{dmax \cdot s}} + \frac{P_g/100}{G_g \cdot s}} \dots\dots(4)$$

여기서  $\gamma_{dmax \cdot s}$  : 細粒材만을 다짐시 最大乾燥密度

식(4)에서 粗粒材가 많을수록 細粒子만의 最適含水比( $w_{o \cdot s \cdot t}$ )는 增加하며 細粒材만의 다짐 密度( $\gamma_{d \cdot s}$ )는 減少되지만, 細粒子만의 乾燥密度(1.4~1.8)가 細粒材의 比重  $G_g$ (2.5~2.7)보다 작으므로 細粒材가 많을수록 全體 흙의 乾燥密度는 增加된다.

다. 細粒材의 含有量과 最適含水比

細粒材를 含有한 全體 흙의 最適含水比( $w_{o \cdot t}$ )와 #4번체를 通過한 흙만의 含水比(w.s)와의 關係를 式으로 나타내면 다음과 같다.

$$w_{o \cdot t} = w_{o \cdot s} \times P_s/100 + w_{ag} \times P_g/100 \dots\dots(5)$$

여기서  $w_{ag}$  : 細粒材의 吸收率(%)

위 式에서 粗粒材 含有量에 따른 細粒土만의 含有比( $w_{o \cdot s}$ )는 粗粒材의 摩擦에 의한 다짐 에너지의 減少로 細粒土만의 다짐 最適含水比( $w_{o \cdot s}$ )보다 더 큰 含水比가 必要하게 되고 이

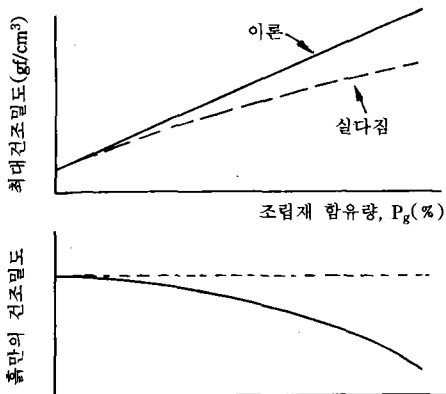


Fig. 2. 조립재 함유량과 건조밀도

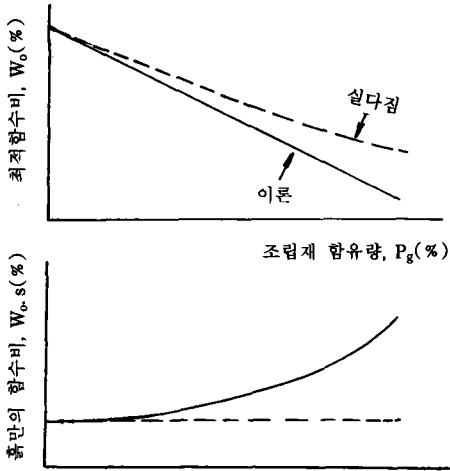


Fig. 3. 조립재 함유량과 최적함수비

關係를 最適含水比係數  $\beta$ 를 使用하여 式으로 나타내면 다음과 같다.

$$w_s = \beta \times w_{o,s} \dots\dots\dots(6)$$

위 式에서 最適含水比 修正係數  $\beta$ 는 1보다 크며 粗粒材 含有量이 많을수록 增加한다.

粗粒材含有量別  $\beta$ 값을 알면 다음式으로 전체 最適含水比( $w_{o,t}$ )를 구할 수 있다.

$$w_{o,t} = \beta \cdot w_{o,s} \times 100/P_s + w_{ag} \times 100/P_g \dots\dots(7)$$

위 式에서 最適含水比 修正係數( $\beta$ )는 一般的으로 1보다 크나  $w_{o,t} > w_{a,g}$ 이므로 粗粒材가

많을수록  $w_{o,t}$ 는 작아진다.

### III. 다짐試驗 基準

#### 가. 室內試驗

室內 다짐試驗은 試料의 粗度(4번체以上の 粗粒材)에 따라서 다음의 8종으로 실시하며 일반적으로 많이 사용하는 標準다짐 試驗方法은 A-1과 C-1 方法이다.

#### 나. 現場다짐 品質管理試驗

現場密度(單位體積重量)測定은 置換法, 카터法(Cutter method), RI법(Radioisotope method)등이 있으며 置換法에는 물置換法, 모래置換法 등이 있다. 粗粒材가 있는 흙에서는 4.75 mm체 통과량만의 密度와 전체試料의 密度로 나누어 나타낼 수 있다.

現場다짐率을 구하는 方法으로는 ①粗粒材 除去方法(Elimination method), ②修正最大乾燥密度方法(Adjusted Maximum Dry Density Method), ③置換方法(Substitution Method)등이 있다.

##### 1) 粗粒材 除去方法(Elimination Method)

- #4체 또는 19mm체 통과량만으로 室內 다짐試驗(A-1 또는 C-1)을 實施하여 最大乾燥密度( $\gamma_{dmax,s}$ )를 구하고 現場密度도 4번체 또는 19mm 通過된 試料에 대해서만 구한다. 이때

Table-1. 다짐方法의 種類

다짐方法	호 칭	래머重量 (kg)	몰드值數 (mm)	다짐층수	매 층 당 다짐회수	最大許容 粒 徑
제 1	A-1	2.5	100	3	25	4.75mm
	B-1	2.5	150	3	55	4.75mm
	C-1	2.5	100	3	25	19mm
	D-1	2.5	150	3	55	19mm
제 2	A-2	4.5	100	5	25	4.75mm
	B-2	4.5	150	5	55	4.75mm
	C-2	4.5	100	5	25	19mm
	D-2	4.5	150	5	55	19mm

다짐률은 다음과 같다.

$$D = \frac{Y_d \cdot f}{Y_{dmax} \cdot s} \times 100(\%)$$

2) 修正最大乾燥密度法(Adjusted Maximum Dry Density Method)

- #4체 또는 19mm체 통과량만으로 室内 다짐試驗(A-1 또는 C-1)을 하여 最大乾燥密度( $Y_{dmax \cdot s}$ )를 구하고

- 이로부터 #4체 및 19mm체 잔량의 含有量別 修正 最大乾燥密度( $Y_{dmax \cdot a}$ )를 計算한다.

- 現場의 粗粒材를 含有한 전체 乾燥密度( $Y_{d \cdot p}$ )를 測定하여 다음과 같이 다짐률을 구한다.

$$D = \frac{Y_d \cdot f}{Y_{dmax \cdot a}} \times 100(\%)$$

3) 置換方法(Substitution method)

- 19mm체 잔량에 대하여 #4체 부터 19mm자갈로 置換하여 室内 最大乾燥密度( $Y_{dmax}$ )를 구하고

- 現場의 粗粒材를 含有한 전체 乾燥密度( $Y_{d \cdot p}$ )를 測定하여 다짐률을 계산한다.

$$D = \frac{P_d \cdot f}{Y_{dmax}} \times 100(\%)$$

위의 方法中에서 粗粒材 除去 方法은 粗粒材 含有量이 많을수록 現場密度가 작게 측정되어 필요이상의 다짐이 되며, 修正 最大乾燥密度法과 置換方法의 結果는 現場 및 室内다짐 密度가 比較的 一致한다.

그러나 置換方法은 19mm以上の 자갈이 30% 以上일때에는 使用이 不適合하다.

이와같이 4.75mm체 잔량의 含有率에 따라 흙의 다짐密度의 差異가 크다. 그러나 現行 盛土材料의 品質管理試驗에서는 粗粒材가 많이 섞여 있을 경우 다짐試驗時의 試料調製 基準이나 다짐試驗方法의 選定基準이 明示되어 있지 않아

設計에 적용한 土質定數와 品質管理 試驗方法으로 구한 土質定數가 一致하지 않아 경우에 따라서는 構造物의 安全度가 不足한 경우와 過多設計로 經濟的으로 不合理한 경우가 發生할 수 있다.

IV. 材料 및 方法

가. 材 料

本試驗에 使用한 흙材料는 土工構造物에 많이 使用되는 無機質 盛土材의 粘質土(CL: 1번시료)와 砂質土(SM: 2번시료)를 選擇하고 4.75mm以上の 粗粒材로서는 크랏사자갈로 입경 4.75mm~10mm와 10mm~19mm로 나누어 使用하였다.

각 盛土試料에 자갈을 0%, 4, 6, 8, 10, 12, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 60%씩 混合하여 28개의 試料를 調製하였다.

나. 試驗方法

1) 物理性試驗

本試驗에 使用한 粘質土 및 砂質土와 粗粒材로 使用한 罨자갈에 對한 物理性試驗은 KS F 規定에 依하여 實施하였으며, 試驗 結果는 Fig. 4와 같다.

2) 다짐試驗

다짐試驗은 KS F 2312의 規定에 依하여, 그리고 다짐方法은 자갈이 없는 試料는 A-1 및 B-1 다짐試驗을, 자갈이 含有된 試料에 對하여는 C-1 다짐을 하였으며 자갈 含有率 20%~60% 試料에 對하여는 D-1다짐을 實施하였다.

試驗中 含水比 測定은 자갈含量에 따른 含水比 誤差를 줄이기 위하여 #4체를 通過한 흙만의 含水比를 測定하고 전체 含水比는 (5)式으로 다음과 같이 구하였다.

$$w_t = w_s \times (1 - P_g/100) + (w_{ag} \times P_g/100) \quad \dots(8)$$

粗粒材가 흙의 다짐에 미치는 影響

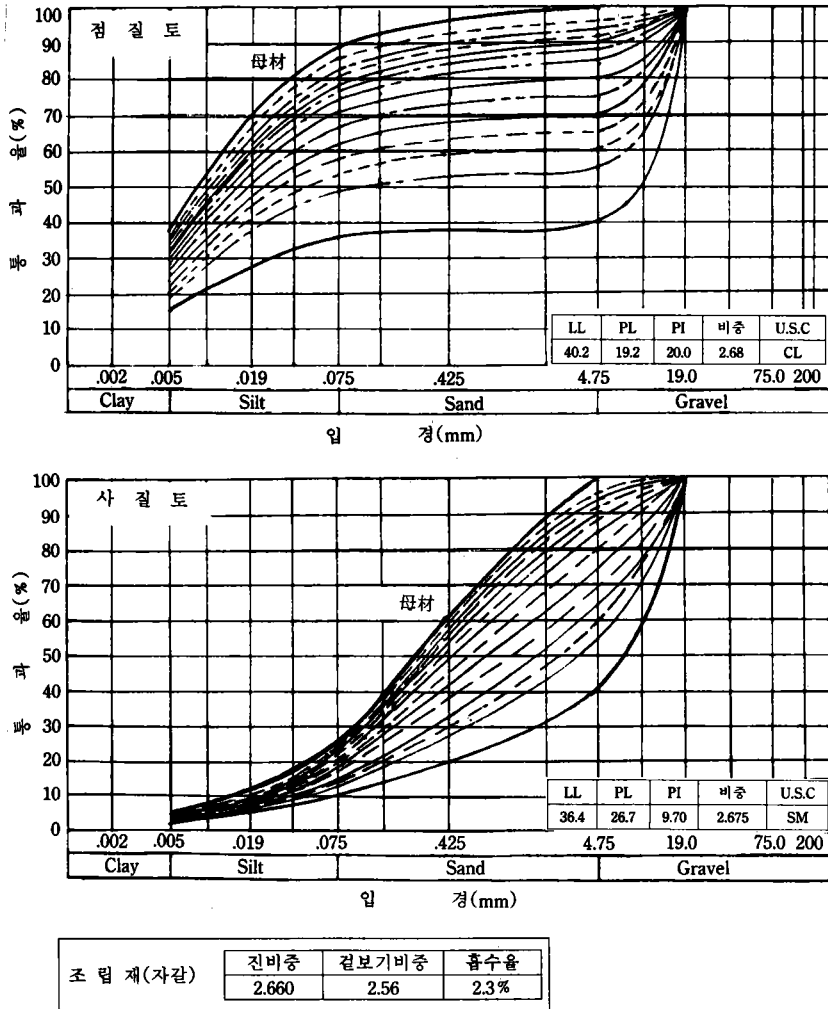


Fig. 4. 물리성시험 및 입도곡선

각 다짐試驗結果는 Table-2와 같다.

V. 結果 및 考察

가. 粗粒材 含有量과 乾燥密度

粗粒材(4번체에 남은 試料) 含有量別 最大乾燥密度의 關係를 보면 Fig. 5와 같다.

Fig. 5에서 粗粒材의 含有量이 클수록 즉 흡수에 자갈이 많을수록 乾燥密度는 거의 直線的으로 增加하며 실제 다짐試驗으로 부터 구한

乾燥密度는 이론 計算式(3)으로 구한 값보다 粗粒材가 많을 수록 적어짐을 보이고 있다.

이와 같은 現象은 實際 다짐試驗에서 細粒材만의 密度는 粗粒材가 많을수록 작아지기 때문이다. 이는 흙을 다질때 실제로 다짐이 되는 細粒土가 전달되는 다짐에너지가 細粒材의 摩擦에 의하여 減少되기 때문이며 이는 다짐에너지가 작을수록 最大乾燥密度가 작아지는 다짐特性和 一致한다.

細粒土만의 密度가 감소하는 現象은 粗粒材

Table-2. 다짐시험결과표

(단위 : gf/cm<sup>3</sup>, %)

자갈 함유량	점질토				사질토			
	C-1 다짐		D-1 다짐		C-1 다짐		D-1 다짐	
	$\gamma_{dmax}$	$W_{opt}$	$\gamma_{dmax}$	$W_{opt}$	$\gamma_{dmax}$	$W_{opt}$	$\gamma_{dmax}$	$W_{opt}$
0	1.615	20.5	1.620	20.5	1.715	17.3	1.730	16.5
4	1.630	20.0			1.730	16.8		
6	1.645	19.5			1.750	16.2		
8	1.660	19.0			1.760	15.8		
10	1.675	18.5			1.775	15.5		
12	1.690	18.0			1.780	15.0		
15	1.705	17.5			1.790	14.8		
20	1.725	17.0	1.735	16.5	1.815	14.2	1.835	13.8
25	1.745	16.0	1.760	15.5	1.835	13.6	1.865	13.2
30	1.765	15.0	1.785	14.5	1.865	13.0	1.885	12.5
35	1.795	14.4	1.810	13.8	1.885	12.5	1.905	12.1
40	1.820	13.8	1.835	13.2	1.915	12.2	1.935	11.6
45	1.855	13.4	1.870	12.6	1.940	11.7	1.980	10.8
60	1.935	11.7	1.955	11.5	2.000	9.8	2.060	10.5

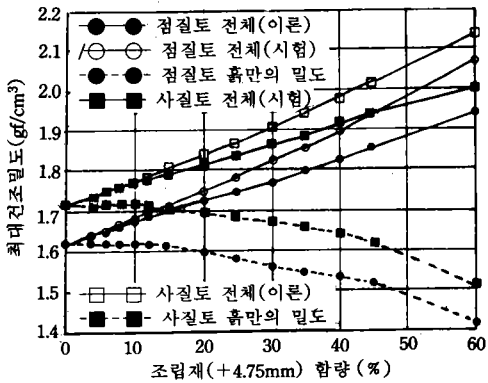


Fig. 5. 조립재의 함유량과 최대건조밀도

함유량이 20% 부터 나타나며 50% 이상에서는 顯著하게 감소된다.

낮은 댐에서 粗粒材가 25% 未滿에서는 最少의 다짐율을 95%로, 26~50%에서는 92.5%로 그리고 50% 이상에서는 90%로 규정하는 것과 자갈함유량이 25% 이하에서는 자갈의 영향을 고려하지 않아도 된다는 것과 일치한다.

나. 粗粒材 含有量과 最適含水比 및 飽和度

現場 施工時에는 다짐의 효과를 높이기 위해서 흙의 含水比를 最適含水比에 가깝게 調節해야 함으로 흙의 最適含水比를 알아야 한다.

Fig. 6은 粗粒材의 含有量과 最適含水比의 關係를 나타낸 것으로서 전체 흙에 대한 最適含水比는 粗粒材 含有量에 反比例하여 거의 直

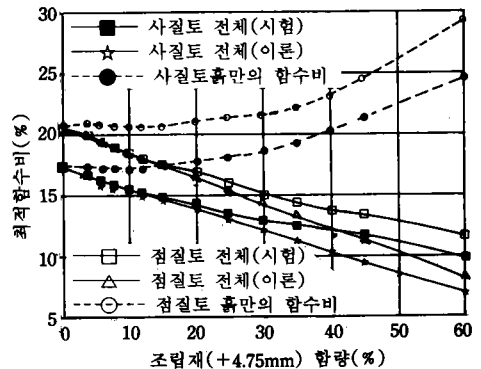


Fig. 6. 조립재의 함유량과 최적함수비

線的으로 작아진다.

그러나 細粒材만의 最適含水比는 粗粒材가 약 15%까지는 含水比의 變化가 없으며 이러한 現象은 坩設計 基準에 明示된 것과 거의 一致되고 있다.

그러나 細粒材가 약 30%以上 되면 含水比의 增加 比率이 커짐을 알 수 있다. 性土材料의 飽和度를 보면 Fig. 7과 같이 粘質土나 砂質土의 飽和度가 거의 같으며 粗粒材 含有量에 關係없이 약 78~83% 範圍로 一定함을 알 수 있다.

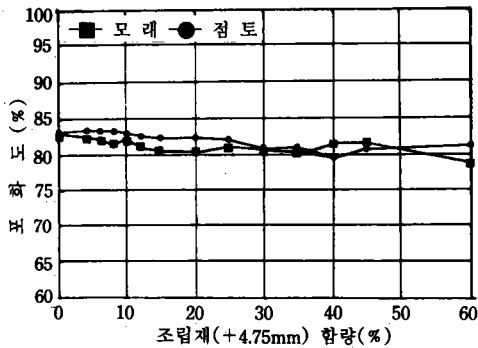


Fig. 7. 조립재 함유량별 포화도

다. 最大乾燥密度와 最適含水比

Fig에서 C-1다짐時驗 結果를 보면 粗粒材의 含有量이 많을 수록 最大乾燥密度는 커지고 最適含水比는 작아진다.

最大乾燥密度와 最適含水比의 關係는 Fig. 8과 같으며 이들을 關係式으로 나타내면 다음과 같다.

$$\gamma_{dmax} = \frac{\gamma_w}{0.374 + w/(70.6 + 0.623w)} \dots\dots(9)$$

이는 式(1)에서 흙의 比重이 일정할 경우 含水比와 乾燥密度의 關係 곡선과 같은 모양이다.

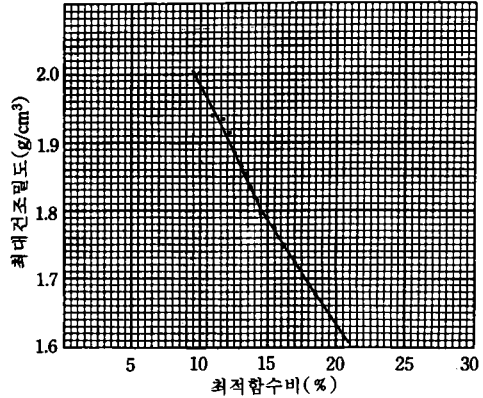


Fig. 8. 최적함수비와 최대건조밀도

라. 粗粒材 含有量에 따른 修正係數

粗粒材가 많을수록 전체 密度는 커지나 細粒材만의 密度는 작아지는데 이들의 關係는 密度 修正係數(α)로서 나타낼 수 있다. 또한 最適含水比는 粗粒材增加에 따라 전체 試料에 대한 最適含水比는 작아지나 細粒土만의 含水比는 오히려 커지며 이 關係를 含水比 修正係數(β)로서 나타낼 수 있다.

Fig. 9는 粗粒材 含有量에 따른 密度 修正係數와 含水比 修正係數를 나타낸 것으로 密度 修正係數(α)의 變化는 작으나 含水比 修正係數(β)는 粗粒材가 30%이상이 되면, 크게 增加됨을 알 수 있다.

Fig. 10은 本 試驗과 다른 研究資料의 粗粒材 含有量別 修正係數(α, β)의 關係를 함께 나타낸

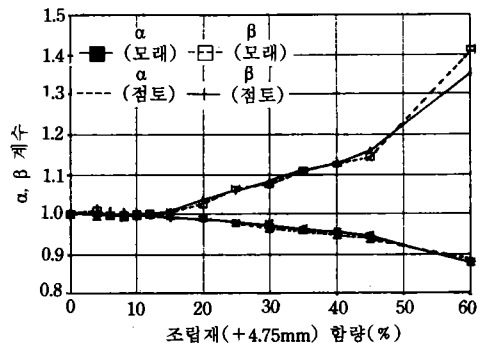


Fig. 9. 조립재의 함유량에 따른 수정계수



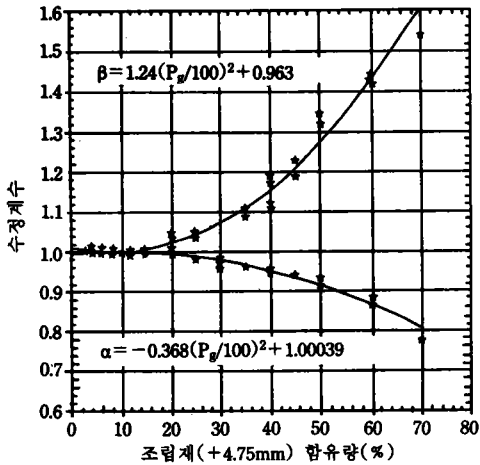


Fig. 10. 수정계수곡선

것으로 다른 研究에서도 비슷한 결과가 나타났다.

密度修正係數  $\alpha$ 는 1보다 작은값으로 그 관계식은 다음과 같다.

$$\alpha = -0.368(P_g/100)^2 + 1.0 \dots\dots\dots(10)$$

이러한 관계는 AASTO T 224-67 다짐방법에서 설명된 粗粒材 補正係數  $\gamma$ 와 잘 일치되고 있다.

그리고 最適含水比 修正係數  $\beta$ 는 1보다 큰값으로 다음관계식으로 나타낼 수 있다.

$$\beta = 1.24(P_g/100)^2 + 1.0 \dots\dots\dots(11)$$

위 식에서 粗粒材 含有量이 약 17%까지는  $\beta \approx 1$ 이다.

$\beta$ 값의 오차가 10%일때 式(5)의 전체 試料의 最適含水比의 오차는 4~6%로 含水比  $\pm 1\%$  範圍이므로 다짐곡선에서 最適含水比의 決定

오차를 고려하면 許容範圍內에 있다.

따라서 (10)으로  $\alpha$ 를 구해서 (4)式에서 代入하여 粗粒材를 含有한 흙의 實際最大乾燥密度를 구하고, (11)式으로  $\beta$ 를 구해서 (7)式으로 부터 전체 흙의 最適含水比를 推定할 수 있으며 現場 施工時에는 含水比 調節을 할 수 있다.

마. A-1 다짐과 B-1 다짐의 比較

#4번제 通過試料에 대하여 A-1 다짐( $\phi$  10cm몰드)과 B-1 다짐( $\phi$  15cm몰드) 試驗結果를 比較하여 보면 Table-4와 같이 거의 差異가 없는 것으로 나타났다. 이것은 細粒材만의 다짐에서는 몰드크기에 의한 다짐의 影響은 거의 없는 것으로 判斷된다.

바. 다짐方法의 誤差

粗粒材 含有量에 따른 다짐의 발생 오차를 구하기 위하여 A-1 다짐의 粗粒材 含有量別 발생 오차를 나타내면 Fig. 11과 같다.

Fig. 11은 粗粒材 含有量別 理論密度와 실제 C-1 다짐에 대한 A-1 다짐값의 오차곡선으로

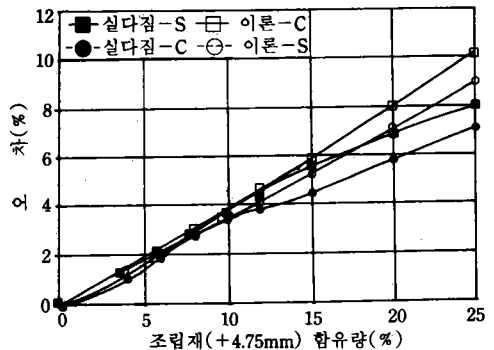


Fig. 11. 조립제 함유량별 A-1 다짐오차

Table-3. A-1 다짐과 B-1 다짐의 比較

區 分	A-1		B-1		A-1과 B-1 比較		備 考
	$\gamma_{dmax}$	$w_o$	$\gamma_{dmax}$	$w_o$	$\gamma_{dmax} B/A$	$w_o B/A$	
粘質土	1.615	20.5	1.620	20.5	1.003	1.00	단위 $\gamma_{dmax}$ : $gf/cm^3$ $w_o$ : %
砂質土	1.715	17.0	1.730	16.5	1.009	0.97	

A-1 다짐에 대한 다짐오차(EA)는 다음과 같다.

$$EA = 0.349 P_g(+4.75\text{mm}) \dots\dots\dots(12)$$

ASTM에서는 다짐의 오차를 작게 하기 위해서 A-1 다짐은 粗粒材 含有量을 7% 이내로 하도록 하고 있으며, Fig. 10에서 보면 粗粒材가 10% 미만에서는 다짐오차가 4% 미만이다.

또 자갈이 많은 경우는 C-1 다짐을 하는 것이 일반적이며 이 경우 19mm 이상의 粗粒材 含有量에 따른 C-1 다짐의 오차를 구하기 위해서 4.75mm와 19mm사이의 粗粒材 含有量이 20%와 30%인 시료의 C-1 다짐결과와 19mm이상의 粗粒材를 置換하여 D-1 다짐을 한 결과를 비교한 오차는 Fig. 12와 같다.

Fig. 12에서 보면 C-1 다짐의 오차(EC)는 粗粒材 含有量에 比例하여 거의 직선적으로 增加되고 있다.

$$EC = 0.345 P_g(+19\text{mm}) + 0.372 \dots\dots\dots(13)$$

Fig. 12에서 보면 粗粒材가 10% 이상이면 試驗方法에 따른 오차가 많으므로 19mm이상의 粗粒材가 10% 이상되면 D-1 다짐방법으로 하는 것이 바람직하다.

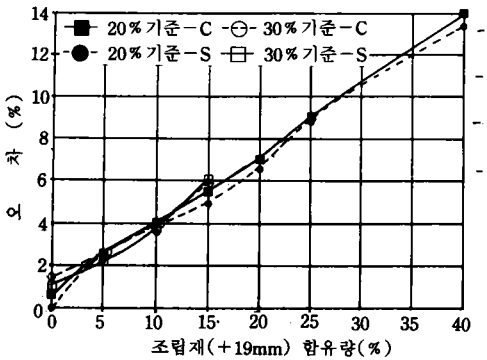


Fig. 12. 조립재 함유량별 C-1 다짐오차

사. 室内다짐과 現場密度 測定

一般的으로 現場다짐의 品質管理는 다짐후의 現場密度를 測定하여 실내 다짐密度에 대한 다

짐率을 구하여 基準 다짐率 이상이 되도록 관리하는 것으로 現場密度를 精確하게 측정하는 것도 중요하지만 現場密度와 室内 다짐 密度의 決定方法이 일치하여야 한다. 특히 粗粒材가 많이 含有된 경우에는 粗粒材를 處理하는 方法에 따라서 密度에 차이가 크다.

室内 試驗方法으로는 A-1, C-1, D-1의 3 가지 方法과 現場密度 測定을 #4체 통과량만의 密度(第1方法), 19mm 통과량만의 密度(第2方法), 전체 密度(第3方法) 측정의 3가지 方法에 대한 상호적용상에 있어서 粗粒材 含有量別 發生可能性 誤差를 本 研究試驗 結果를 利用하여 計算한 結果를 Fig. 13에 나타내었으며 각각의 상호적용상의 발생오차에 대하여 검토한 결과는 다음과 같다.

1) A-1 다짐方法

室内다짐을 A-1 方法으로 하고 現場密度 測定을 ① 第1方法으로 할 경우 다짐율은 적게 測定되거나 粗粒材 含有量 20%까지는 그 오차가 매우적고 ② 第2方法으로 할 경우 다짐율은 크게 측정된다. (Fig. 13(a))

그러므로 A-1 다짐방법으로 室内다짐을 할 경우 現場密度 測定은 第1方法이 原則이며 第2 方法으로 할 경우 粗粒材 含有量에 대한 다짐 率을 補正하여야 한다.

2) C-1 다짐方法

室内다짐을 C-1 方法으로 하고 現場密度 測定을 ① 第1方法으로 할 경우 다짐율은 작게 測定되며 ② 第2方法으로 할 경우 19mm이상 粗粒材가 없을 경우 잘 一致하나 19mm이상 粗粒材가 있을 경우는 相對다짐率은 작게 測定되며 粗粒材 含有量이 15%까지는 오차가 적고 ③ 第3 方法으로 할 경우 19mm이상 粗粒材가 있을 경우 다짐率은 크게 測定된다. (Fig. 13(a), (b))

그러므로 C-1 다짐方法으로 室内다짐을 할 경우는 現場密度測定은 第2方法이 原則이며 第 1,2,3方法에 대하여 粗粒材 含有量에 대한 다 짐率을 補正하여야 한다.

Table-4. 기준다짐과 現場密度 測定方法別 補正다짐率 關係式

室内基準 다짐方法	現場密度 測定方法	補正다짐率(%) 關係式	備 考
A-1	第1方法	補正다짐率 = $0.176P_g(+4.75\text{mm}) - 2.2$ 단 $P_g = 12.5\%$ 까지는 $D_e = 0$	$P_g = 20\%$ 까지 오차 2% 미만
A-1	第2方法	〃 = $-0.31 P_g(+4.75\text{mm})$	$P_g = 7\%$ 미만이면 오차 2% 미만
C-1	第1方法	〃 = $0.36 P_g(+4.75\text{mm})$	〃
C-1	第2方法	〃 = $0.08 P_g(+19\text{mm})$	$P_g(+19\text{mm}) = 25\%$ 미만이면 오차 2% 미만
C-1	第3方法	〃 = $-0.305 P_g(+19\text{mm})$	$P_g(+19\text{mm}) = 8\%$ 이면 오차 2% 미만
D-1	第2方法	〃 = $0.312 P_g(+19\text{mm})$	$P_g(+19\text{mm}) = 10\%$ 이상이면 오차 3.2% 이상
D-1	第3方法	一 致	

3) D-1 다짐方法

室内다짐을 D-1方法으로 하고 現場密度 測定을 ① 第2方法으로 할 경우 相對다짐率은 작게 測定되며 ② 第3方法으로 하면 잘 一致된다. (Fig. 13(c), (d)) 그러므로 D-1 다짐方法으로 室内다짐을 할 경우 現場密度 測定은 第3方法이 原則이며 第2方法에 대하여는 粗粒材 含有量에 대한 다짐率을 補正하여야 한다.

VI. 結 論

粗粒材를 含有한 흙에 대하여 다짐特性和 現場 品質管理試驗方法의 適正性을 糾明하기 위하여 粘質土(CL)와 砂質土(SM)에 자갈을 0%, 4, 6, 8, 10, 12, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 60 %씩 混合한 28개의 盛土材料를 만들고 A-1, B-1, C-1, D-1 다짐을 實施하여 粗粒材 含有量別 다짐特盛을 把握하였다.

그리고 現場盛土 다짐에 대한 品質管理에 있어서 室内基準 다짐 方法과 現場密度測定方法에 대한 다짐율의 發生 誤差를 糾明하였으며 그 結果는 다음과 같다.

1. 粗粒材를 含有한 흙의 最大乾燥密度( $\gamma_{d\max \cdot t}$ )는 粗粒材의 含有量( $P_g$ ), 粗粒材의 粒보기 比重( $G_g$ ), 細粒土의 密度( $\gamma_{d\max \cdot s}$ )의 關係로서

$\gamma_{d\max \cdot t}$ 는 粗粒材의 含有量( $P_g$ ), 粗粒材의 粒보기 比重( $G_g$ ), 細粒土의 密度( $\gamma_{d\max \cdot s}$ )의 關係로서

$$\gamma_{d\max \cdot t} = \frac{1}{\frac{1 - P_g/100}{(\alpha \cdot \rho_{\max \cdot s})} + \frac{P_g/100}{G_g}}$$

式으로 구한다.

여기서  $\alpha$ 는 密度의 修正係數로서

$\alpha$ 는  $\alpha = 1 - 0.368(P_g/100)^2$  관계가 있다.

2. 粗粒土의 最適含水比( $w_{o \cdot t}$ )는 다음 式으로 구한다.

$$w_{o \cdot t} = \beta \times w_{o \cdot s} \times \frac{1 - P_g}{100} + w_{ag} \times \frac{P_g}{100}$$

여기서  $\beta$ 는 含水比의 修正係數로서  $\beta = 0.963 + 1.24(P_g/100)^2$ 의 관계가 있다.

단,  $P_g = 17\%$ 까지는  $\beta = 1$ 이다.

3. 粗粒材가 많을 수록 전체 흙의 密度는 커지나 細粒材만의 密度는 작아지며 粗粒材가 약 20% 미만에서는 細粒材만의 密度에 변화가 적다.

4. 粗粒材가 많을수록 전체 흙의 最適含水比는

작아지나 細粒材만의 最適含水比는 반대로 커지며 粗粒材의 含有量이 약 15%까지는 最適含水比가 거의 一定하다.

5. 飽和度는 粗粒材 含有量에 관계없이 약 78~83%로서 거의 一定하다.

6. #4번체 통과시료에 대한 다짐은 다짐물드의 크기에 영향을 받지 않는다.

7. 다짐오차는 粗粒材 含有量에 比例하여 커진다.

A-1 다짐의 오차  $EA=0.349 P_g(+4.76\text{mm})$

C-1 다짐의 오차  $EC=0.345 P_g(+19\text{mm})+0.372$

8. 粗粒材(약10% 이상)가 含有되어 있으면 다짐試驗方法 및 現場密度 測定方法에 따른 測定다짐率의 誤差가 크므로 이에 대한 補正을 하여야 한다.

### 參 考 文 獻

1. AASHTO T224-67
2. ASTM D, 698, D 1557
3. Day, R. W., 1989, Relative Compaction of Fill Having Oversize Particles, Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 115, No. 10.
4. Garga V. K. and C. J. Madureira, 1985, Compaction Characteristics of River Terrace Gravel, Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 111, No. 8.

5. J. I. S. A. 1991, JIS 1210, 突固めによる土の締固め試験方法.
6. 韓國工業規格協會, 1986, 제3호 1989, KSF 2313, 흙의 다짐試驗方法.
7. 韓國建設技術研究員, 1986. 댐設計基準에 대한 比較檢討 p. 568-581.
8. 金翔圭1991, 土質力學(異論과 응용)淸文閣, p. 197-221.
9. 농수산부, 1982, 농지개량사업 계획 설계기준 (댐편), p. 783-800.
10. NAVFAC, 1982, Soil Mechanics Design Manual, 7, 1 p. 137-139.
11. Saxena, S. K. and D. E. Lourie, 1987, Compaction Criteria for Eastern Coal waste Embankments, Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 113, No. 1.
12. 土質工學會, 1979, 土質調査 試驗結果의 解析と 適用 例. (第1改正板) p. 325-365
13. 土質工學會, 1981, 盛土의 調査, 設計から施工まで, p. 45-84.
14. 土質工學會, 1990, 土質試驗의 方法と 解説, p. 201-212.
15. U. S. B. R., 1973, Design of small dam(2nd), A Water Resources Technical Publication, p. 624-644.
16. 尹忠燮, 金浩一, 1989, 粗粒材가 흙의 역학적 性質에 미치는 影響, 한국농공학회지, 제31권, 제3호.