

다중체 낙하법에 의한 상대밀도 재현에 관한 연구

The Reappearance of Relative Density by the Multiple Sieving Pluviation Method

주 제 우*, JAE-WOO JU*
곽 정 민**, JUNG-MEEN KWAG**

순천대학교 공과대학 토목공학과 부교수*
Associate Professor, Dept. of Civil Engineering, Sunchon National University*

순천대학교 대학원 토목공학과**
Dept. of Civil Engineering, The Graduate School, Sunchon National University**

ABSTRACT

The relative density seems to be important as a factor of controlling the physical properties in the case of cohesionless soil ground as sand. Therefore, the study is more important about the method for reappearing the same relative density when the specimen of shearing test is to be produced or the model test of ground is to be made. In this study, the apparatus making use of the multiple sieving pluviation method - one of the reappearance of relative density - could be made. Using this apparatus, tests were practiced varying the factors such as the size of sieve mesh and the number of sieve, the amount of falling discharge, the falling height etc. about the standard sand in Jumunjin and Hadong sand. When laboratory test is performed by the cohesionless soil, it presents the method for reappearing of the relative density in field.

1. 序論

모래와 같은 粒狀土에 있어서 相對密度란 現在의 다짐상태가 아주 密한 상태와 아주 느슨한 상태 사이에 어느 정도의 상태에 있는가를 말한다. 일반적으로 粒狀土의 力學的 特性을 결정하는데 間隙比나 밀도가 중요한 인자로서 인식되고 있지만 粒狀土의 間隙比는 粒度造成이나 粒子形態 등의 조건에 따라서 동일한 에너지로 다짐하여도 달라진다. 즉 粒子 크기의 범위가 작을수록 粒子가 등극수록 最小密度는 작아지며 粒子 크기의 범위가 클수록 最大密度는 커진다⁶⁾. 따라서 間隙比가 작아도 상대적으로 잘 다져지지 않는 경우가 있고 반대로 間隙比가 커도 상대적으로 잘 다져진 경우가 있기 때문에 密度나 間隙比만으로 粒狀土의 力學的 性質이 결정된다고 할 수 없다. 그러나 종류가 다른 粒狀土에 대해 相對密度를 같게 하여 試驗을 행할 때 모래의 종류에 관계없이 力學的 特性이 결정되는 경우가 많다^{1), 13), 14)}. 또한 相對密度란 粘性土의 중요한 성질인 Consistency에 상당하는 중요한 指數이기 때문에 密度指數라고도 말한다. 相對密度를 구하는 경우 粒狀土가 갖는 最大 및 最小密度를 구하지 않으면 안 되는데 이에 대한 試驗方法으로 한국의 KSF. 2345⁵⁾, 일본의 JSF. T 161-1990⁴⁾, 미국의 ASTM 523³⁾ 등이 있다. 그러나 이들 試驗方法도 最大 및 最小密度를 구하는 절대적인 방법이라 할 수 없는데 이것은 다른 試驗方法에 의해서도 더 큰 最大密度나 더 작은 最小密度를 구할 수 있기 때문이다¹²⁾.

모래와 같은 粒狀土의 力學的 性質을 室內試驗에서 정확히 파악하고자 하는 경우 공시체나 모델地盤의 均一性, 동일 相對密度의 再現性 및 인위적 오차에 유의하지 않으면 안된다. 이것은 供試體 作成法에 있어서 약간의 차이에 의해 粒子 配列構造가 달라지고 均一性이 상실되어 靜的剪斷特性이나 液狀化現狀에 큰 영향을 끼치기 때문이다. 따라서 본 研究에서는 이러한 점에서

우수성이 입증된 多重체 落下法을 이용 할 수 있는 裝置를 製作하였다.

다중체 落下法에 대한 研究로서 土岐¹³⁾ 등은 체의 直徑이 100mm, 체눈의 크기는 1번체가 1.41mm, 2번체에서 6번체가 3.66mm를 사용하였고 체 사이의 간격은 25mm로 하여 Toyura sand에 대해 相對密度 再現試驗을 실시하였다.

이 방법을 이용하여 20%~103%에 이르는 廣範圍한 相對密度를 再現시켰고, 落下流量이나 落下高가 相對密度의 크기에 영향을 미치는데 落下高에 비해 落下流量이 큰 영향을 미친다는 결과를 발표하였다. Wayne⁹⁾ 등은 均등계수 1.7을 갖는 가는 모래를 이용하여 큰 규모의 均일한 透水試驗用 모델地盤을 제작 하는데 있어 Rotating rainer, Single hose rainer, Circular rainer 등을 사용하여 그 우수성에 대한 試驗을 행하였는데 Circular rainer가 가장 만족스럽다는 결과를 발표하였다. 鎌田¹⁵⁾은 多重체 落下法에 의해 供試體를 제작하여 粒狀材料의 構造特性과 Ko 壓縮試驗 등을 행하여 多重체 落下法에 의해 제작된 供試體나 모델地盤이 原地盤의 力學的 特性과 유사하다는 결과를 발표하였다. 또한 海砂에 대한 낮은 相對密度를 구하기 위해 多重체 落下法에서 海砂의 落下時 空中落下가 아닌 水中落下法을 이용하였고 所要의 相對密度를 구하는 데 粒狀土 粒子의 크기와 落下法에서 사용하는 체눈의 크기에 관한 研究의 필요성에 대해 언급하였다.

본 研究에서는 이들 研究結果를 바탕으로 첫째, 多重체 落下裝置를 제작하고 둘째, 落下裝置의 제작과 관련된 流出口에서 1번체와의 距離, 장치에서 사용하는 체의 수, 체눈의 크기 등이 相對密度를 再現시키는 데 있어서의 미치는 영향 등을 규명하고 셋째, 한국에서 現場密度 측정시 사용되는 在文津 標準砂와 河東에서 채취한 모래 등에 落下流量과 落下高 등을 변화시키면서 試驗을 행하였을 때 相對密度가 어느정도 再現 될 것인지를 밝히며 넷째, 粒狀土 地盤에 대한 室內試驗을 행할 경우 現場相

相對密度를 再現 할 수 있는 方法을 提案 하고자 한다.

2. 相對密度

相對密度란 현재의 다짐상태가 아주 밀한 상태와 아주 느슨한 상태 사이에 있어서 어느 정도의 상태에 있는가를 나타내는 지표이다. 일반적으로 相對密度가 동일한 조건에서 종류가 다른 모래의 力學的 性質을 비교하면 모래의 종류에 관계없이 力學的 성질이 결정되는 경우가 많다. 따라서 모래의 壓縮性, 變形特性, 液狀化狀態에 대한 比較試驗에서 종류가 다른 모래를 相對密度가 같게하여 試驗하는 경우가 많다.

모래의 相對密度를 구하는 식은 다음과 같다.

$$Dr = \frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}} = \frac{1/\gamma_{dmin} - 1/\gamma_d}{1/\gamma_{dmin} - 1/\gamma_{dmax}} = \frac{\gamma_{dmax}(\gamma_d - \gamma_{dmin})}{\gamma_d(\gamma_{dmax} - \gamma_{dmin})} \quad (2-1)$$

여기서

e : 間隙比	γ_d : 乾燥密度
Dr : 相對密度	e_{min} : 最小間隙比
γ_{dmax} : 最大乾燥密度	e_{max} : 最大間隙比
γ_{dmin} : 最小乾燥密度	

相對密度는 粘性土의 Consistency를 나타내는 指數에 상당하기 때문에 密度指數라고 말하며, 最近 모래地盤인 경우 各種工事의 土質調査에서는 相對密度의 利用範圍가 增加하고 있다. 모래의 相對密度를 구하는 方法에는 모래의 最大密度나 最小密度를 이용하여 구하는 方法이 있고 最大間隙比나 最小間隙比를 이용하여 구하는 方法 등이 있다.

2.1 最大密度와 最小密度

最大密度란 다짐상태가 가장 밀한 상태를 말하며 最小密度는 다짐상태가 가장 느슨한 상태를 말한다. 注文津 標準砂와 河東 모래의 最大密度 및 最小密度 試驗은 KSF, JSF, ASTM 등에 규정 되어 있는 試驗方法 중 本 試驗에서는 JSF T 161-1990 方法⁴⁾에 의해 最大密度와 最小密度를 구하였다.

2.2 多重계 落下裝置에서의 相對密度

식 (2-1)로부터 試驗裝置에 사용된 모울드의 體積을 V , 모울드내 모래의 重量을 W_s 라 하면 相對密度는 다음과 같은 函數式으로 표시된다.

$$Dr = Dr(e, e_{max}, e_{min}) \quad (2-2)$$

$$Dr = Dr(r, r_{min}, r_{max}) \quad (2-3)$$

$$Dr = Dr[e(G_s, r_w, w, v)] \quad (2-4)$$

$$Dr = Dr[e(W(Q, h))] \quad (2-5)$$

$$\therefore Dr = Dr(Q, h) \quad (2-6)$$

윗 式에서 最大間隙比(e_{max}), 最小間隙比(e_{min})는 사용된 모래의 고유값 이므로 일정하고, 모울드의 體積(V), 比重(G_s), 물의 單位重量(γ_w)은 一定하므로 相對密度(Dr)는 多重계 落下裝置에 의해 형성된 모래의 重量(W_s)의 函數라 말 할 수 있다. 따라서 相對密度(Dr)의 變數들은 流量(Q)과 落下高(h)에 의한 變數임을 알 수 있다. 여기서 流量(Q)이라 함은 모래의 저장통

으로부터 모래가 流出되는 流量이므로 直徑(D)의 函數라고 보면 流出口 直徑(D)과 모울드 底面에서 맨 밑체 까지의 높이(h)를 바꿔 줌으로 여러가지 相對密度(Dr)의 變化가 豫想된다. 多様な 相對密度의 再現을 위해 流出口 直徑(D)과 높이(h)를 變化 시키므로서 相對密度의 變化를 測定 할 수 있다.

3. 試驗裝置

3.1 試驗裝置의 概要

本 試驗에서 사용된 試驗裝置는 Fig. 3-1 및 Photo. 3-1에 나타난 바와 같다.

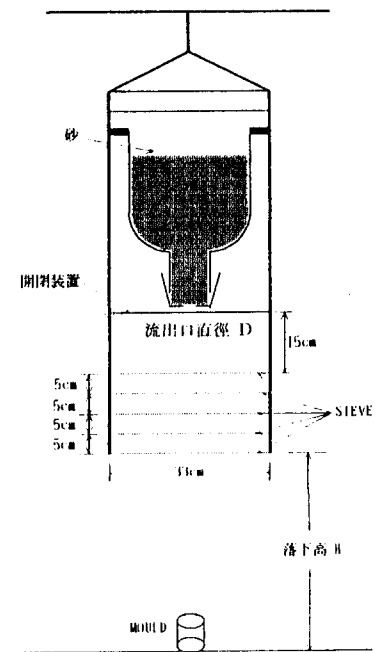


Fig. 3-1. Experimental apparatus



Photo. 3-1 Experimental set-up

4. 試驗

4.1 使用試料의 物理的 性質

試驗에 사용된 注文津 標準砂와 河東모래의 物理的 性質은 Table 4-1과 같으며 粒度曲線은 Fig. 4-1과 같다.

河東모래는 #10체를 100% 通過하고 #200체에 99% 남는 모래를 사용했다.

Table 4-1. Physical properties of sand used

物理的 性質 試料種類	比重	最大密度 $\gamma_{dmax}(g/cm^3)$	最小密度 $\gamma_{dmin}(g/cm^3)$	最小間隙比 e_{min}	最大間隙比 e_{max}
注文津 標準砂	2.666	1.633	1.344	0.633	0.984
河東모래	2.676	1.595	1.312	0.678	1.04

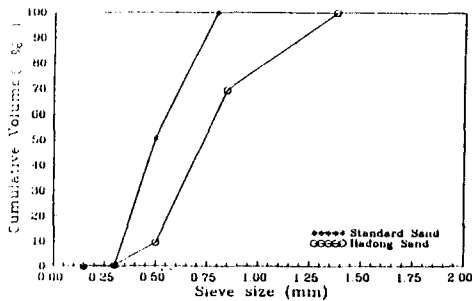


Fig. 4-1. Gradation curves of the Standard sand and the Hadong sand

4.2 相對密度 再現試驗

裝置의 製作에 關聯된 몇가지 試驗結果를 기준하여 相對密度 再現試驗을 Table 4-2의 내용과 같이 실시하였다.

Table 4-2. Experimental conditions in the reappearance of relative density

試料種類	注文津 標準砂	河東모래
試驗條件		
체의 層數	5	5
체눈의 크기 (mm)	1.4 (B= 1.75)	—
	3.0 (B= 3.75)	5.3 (B= 2.14)
	5.3 (B= 6.63)	5.3 (B= 3.79)
落下高, H (cm)	30	30
	50	50
	70	70
	90	90
	110	110
流出口의 直徑, D (mm)	10	10
	15	15
	20	20
	30	30
	40	40
	60	60
	80	80
100	100	

5. 試驗 結果 및 考察

本 研究에서 製作된 多重체 落下裝置를 이용하여 裝置와 關聯된 試驗 및 相對密度 再現試驗 등을 수행하였다. 使用試料는 注文津 標準砂 및 河東에서 채취된 모래를 사용하였다.

5.1 流出口와 첫번째 체와의 距離에 따른 影響

本 裝置에서 모래가 流出되는 지점으로부터 첫번째 체와의 距離가 相對密度에 미치는 影響을 검토하기 위해 流出口와 첫번째 체와의 距離를 17cm, 22cm, 27cm, 32cm 등으로 變化시키면서 試驗을 실시하였다. 여기서 사용된 체눈의 크기는 5.3mm, 체의 層數는 5층, 流出口의 直徑은 10mm, 40mm, 100mm이다.

Fig. 5-1은 流出口와 첫번째 체와의 距離에 따른 相對密度의 變化를 표시한 것이다. Fig. 5-1에 나타난 바와 같이 流出口의 直徑 10mm, 40mm, 100mm 어느 경우에나 流出口와 첫번째 체와의 距離에 따른 相對密度의 차이는 거의 나타나지 않는 傾向을 보이고 있다. 이것은 多重으로 重疊된 체들에 의해 落下速度가 조절 되기 때문인 것으로 생각되며 自由落下가 시작되는 맨 하부 체로부터의 落下高가 相對密度에 影響을 줄 것으로 생각된다. 따라서 裝置製作時 流出口로부터 첫번째 체와의 距離는 試驗에 편리한 適當한 距離를 취하면 무방 할 것으로 판단된다.

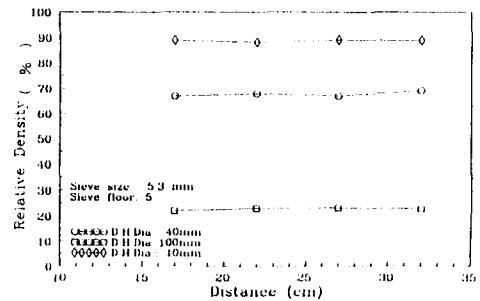


Fig. 5-1. Relative densities according to the change of the distance between discharge hole and first sieve (Standard sand)

5.2 체의 層數에 따른 모래의 落下形狀

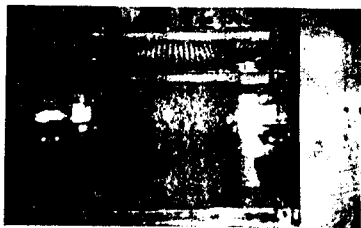
三軸試驗 등의 試驗에 사용 할 시료나 모델地盤 제작에서 중요한 것은 均등한 밀도의 試料 및 地盤을 만들어 내는 것이다. 따라서 모래를 落下시킬때 고른 분포로 落下 할 수 있도록 落下 裝置가 제작 되어져야 할 것이다. 이러한 방법의 일종으로 본 落下裝置에서는 체를 多重으로 하여 모래를 통과시키는데 체의 層數에 따라 어떤 形狀으로 落下 하는가를 관찰하기 위해 체의 層數를 1, 2, 3, 4층로 變化시키면서 試驗을 실시하였고 낙하형상을 사진으로 촬영하여 비교 분석하였다.

Photo. 5-1(a, b, c, d)은 체의 層數가 1, 2, 3, 4층인 경우에 대해 실시한 落下試驗의 모래 落下形狀을 나타내고 있다. Photo. 5-1로부터 관찰해 보면 체의 層數가 1 및 2층인 경우에는 모래가 하부체를 통과 할 때 線狀으로 낙하하고 있어 모델地盤이나 試料가 製作 되어지는 하부에서는 均일한 분포가 되지 못함을 관찰 할 수 있다. 체의 層數가 3, 4층의 경우에는 모래가 하부체를 통과할때 더 均일한 분포로 落下됨을 관찰 할 수 있다. 이것은 多重으로 된 체를 모래가 통과 할 때 체의 크기 (330mm×330mm)에 비해 모래가 流出하기 시작하는 流出口의 直徑

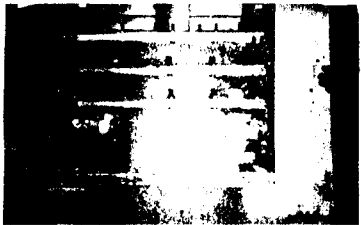
(10mm~100mm)이 상대적으로 작기 때문에 체의 層數가 크면 클수록 分散되어지는 정도가 커지면서 맨 하부체를 통과 할 때는 균일한 분포로 落下가 시작되는 것으로 생각 할 수 있다. 따라서 본 試驗결과로 볼 때 체의 層數가 최소 4층 이상이면 고른 分布의 낙하가 가능하리라 생각 된다.



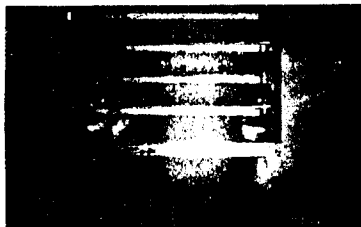
(a) 1st Floor



(b) 2nd Floor



(c) 3rd Floor



(d) 4th Floor

Photo. 5-1. Falling form with number of sieve

5.3 체눈의 크기와 모래의 最大粒徑과의 關係

本 試驗裝置에서 모래는 流出口를 통과 한 후 체를 통과 할 때 分散되어 균일한 분포의 試料가 만들어진다. 모래의 最大粒徑보다 체눈의 크기가 작다면 모래의 일부는 체를 통과하지 않고 첫번째 체에 쌓일 것이다. 따라서 체눈의 크기는 모래의 最大粒徑보다 커야 하지만 체눈의 크기에 대한 모래의 最大粒徑의 比(B)가 相對密度에 어떠한 영향을 미칠 것인가를 검토하기 위해 Table 4-2에 나타난 바와 같이 3종류의 체눈의 크기 즉 B가

1.75, 3.75, 6.63의 경우에 대해 試驗을 실시하였다.

Fig. 5-2는 落下高 50cm, Fig. 5-3은 落下高 70cm일때 체눈의 크기가 1.4mm, 3.0mm, 5.3mm로 변할 때 流出口 直徑에 따른 相對密度를 나타낸 것이다. Fig. 5-2와 Fig. 5-3에서 보면 落下高 50cm, 70cm 두 경우가 비슷한 경향을 보여주고 있는데 체눈의 크기가 1.4mm의 경우 즉 B가 1.75의 경우에는 流出口의 直徑에 관계없이 80%에서 90%사이의 높은 相對密度를 나타

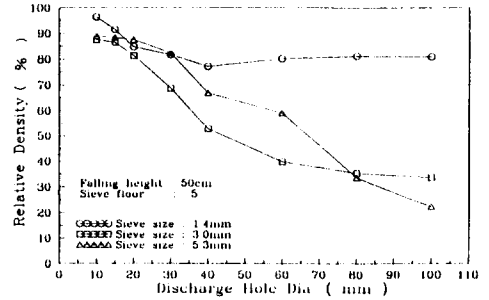


Fig. 5-2 Relative densities according to the change of sieve size (Standard sand)

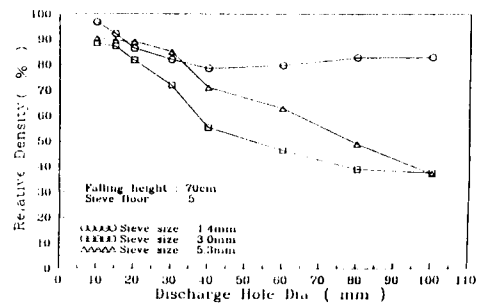


Fig. 5-3 Relative densities according to the change of sieve size (Standard sand)

내고 있다. 즉 B가 어느 크기 이하의 경우에는 모래의 첫 流出量과 관계되는 流出口 直徑의 크기에 영향을 받지 않는다는 것을 알 수 있다. B가 3.75, 6.63의 경우에 相對密度는 각각 35%~90%, 20%~90%로서 流出口 直徑이 크면 클수록 相對密度는 거의 직선적으로 저하하고 있으며 상당히 廣範圍한 相對密度가 再現되고 있음을 나타내고 있다. 試驗도중 모래의 落下에 대해 관찰한 바에 의하면 B가 크면 클수록 落下流量이 많아지고 빠른 속도로 체를 통과한다. 따라서 流出口 直徑이 크면 클수록, 체눈의 크기가 크면 클수록 모래의 체 通過速度 및 落下流量이 커지므로 이는 相對密度가 낮은 試料 및 모델地盤을 제작하게 되는 결과를 초래한다. 또한 落下流量이 클 경우에는 빠른 속도로 모델地盤 및 製作試料가 형성되어 모래가 다짐이 되지 않으며 落下流量이 작을 경우에는 모델地盤 및 試料가 製作되는 시간이 길어 상당히 큰 다짐에너지를 받아 조밀한 密度의 試料가 製作되어지는 것으로 생각된다.

즉 廣範圍한 相對密度를 구하기 위해서 本 試驗裝置에 사용하는 체눈의 크기는 本 試驗 결과에 의하면 B가 4~7 사이의 경우가 적절 할 것으로 판단된다. 그러나 높은 相對密度를 구하는 경우에는 B가 2정도로 작아도 문제가 되지 않을 것으로 판단된다.

5.4. 相對密度 再現試驗 結果

試驗裝置의 제작과 관련하여 수행한 試驗을 기준으로 砂의 層數는 5층, 砂粒의 크기 3.0mm, 5.3mm에 대해 다양한 密度의 再現을 위한 試驗을 실시하였다. 즉 多重체 落下裝置에서 相對密度의 徑도를 통하여 砂의 層數나 砂粒의 크기가 결정되면 相對密度와 관련된 변수는 落下流量과 관계되는 流出口 直徑(D)과 落下에너지와 관계되는 落下高(H)라고 말 할 수 있다. 따라서 本 試驗에서는 Table 4-3에서와 같이 落下高(H)는 30cm, 50cm, 70cm, 90cm, 110cm 등으로 변화시키고 流出口의 直徑(D)은 10mm, 15mm, 20mm, 30mm, 60mm, 80mm, 100mm 등으로 변화시켜서 두종류의 모래 즉 注文津 標準砂와 河東모래에 대해 試驗을 실시하였고 그 결과를 비교 분석하였다.

5.4.1 落下流量에 따른 相對密度

Fig. 5-4, Fig. 5-5는 注文津 標準砂에 대한 試驗結果로 砂粒의 크기 3mm, 5.3mm의 경우 落下流量의 변화에 따른 落下高별 相對密度를 나타낸 것이다. 砂粒이 3mm인 경우에는 流出口 直徑이 15mm에서 60mm까지는 어느정도 경사로 직선적으로 감소하다가 60mm부터 100mm 사이에는 감소의 경향이 완만해지고 있으며 最小相對密度는 30% 정도이다. 砂粒이 5.3mm인 경우에는 流出口 直徑이 20mm까지는 완만히 감소하는 경향을 보이다가 20mm부터 100mm까지는 상당히 큰 경사로 직선적으로 감소하고 있으며 약 17% 정도에 이르는 相對密度까지 再現이 가능함을 보여주고 있다.

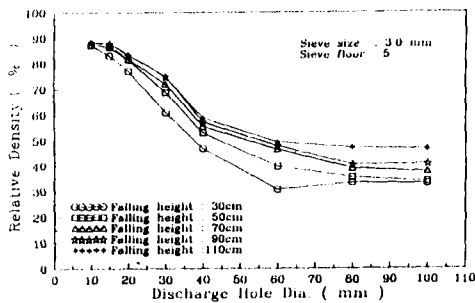


Fig. 5-4 Relative densities according to the diameter of discharge hole (Standard sand)

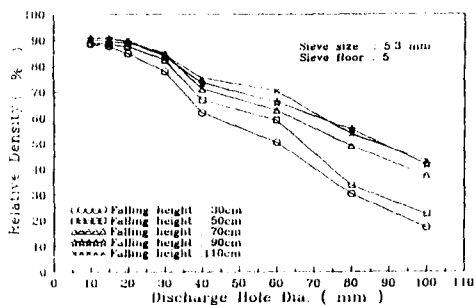


Fig. 5-5 Relative densities according to the diameter of discharge hole (Standard sand)

Fig. 5-6은 河東모래에 대해 砂粒의 크기 5.3mm를 사용하여 落下流量에 따른 落下高別 相對密度를 나타낸 것이다. 流出口 直徑이 10mm에서 30mm까지는 相對密度가 완만히 감소하고 30mm에

서 60mm까지는 약간 경사가 급해지며 60mm에서 100mm의 경우에는 相對密度의 경사가 감소하는 경향을 보인다. 이때 相對密度는 26%에서 101%에 이르는 相對密度의 再現이 가능함을 보여준다. 流出口 直徑 10mm, 落下高 110cm에서 101%에 이르는 相對密度가 再現되어 있는데 이것은 本 裝置를 이용하여 100%보다 큰 相對密度도 再現이 가능함을 보여 주는 것이다.

그러므로 낮은 相對密度를 얻기 위해서는 먼저 流出口의 直徑을 크게하여 모래의 流出量을 늘리고 반대로 높은 相對密度를 얻기 위해서는 流出口直徑을 작게하여 모래의 流出量을 줄이는 것이다. 土岐¹³⁾의 경우 多重체 落下法에서, Mullis⁷⁾의 경우 플라스틱컵에서 相對密度에 큰 影響을 주는 因子는 落下流量이라 하였고 本 研究結果와 일치하고 있다.

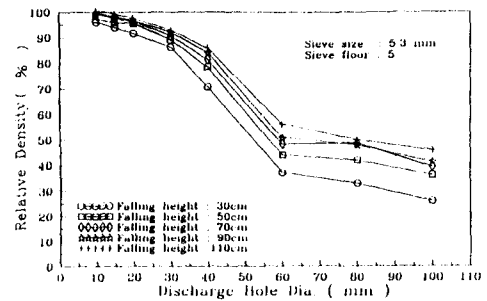


Fig. 5-6 Relative densities according to the diameter of discharge hole (Hadong sand)

5.4.2 落下高에 따른 相對密度

Fig. 5-7, Fig. 5-8은 注文津 標準砂에 대한 試驗結果로 砂粒의 크기 3mm, 5.3mm에 대해 落下高의 변화에 따른 落下流量별 相對密度를 나타낸 것이다. Fig. 5-7, Fig. 5-8에 나타난 바와

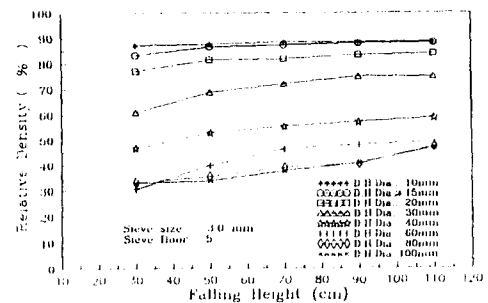


Fig. 5-7 Relative densities according to the falling height (Standard sand)

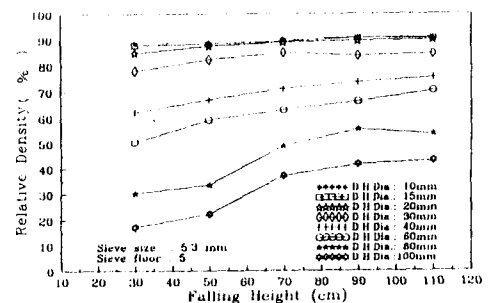


Fig. 5-8 Relative densities according to the falling height (Standard sand)

같이 落下高가 증가함에 따라서 전반적으로 相對密度가 증가하는 경향을 보이고 있다. 이것은 落下에너지의 증가에 따른 것으로 볼 수 있는데 流出口의 直徑이 작은 경우에는 落下에너지의 증가에 대한 영향이 크지 않으며 流出口의 直徑이 커지면 커질수록 落下에너지의 영향이 커짐을 알 수 있다. 그러나 Fig. 5-8에서 나타난 바와 같이 流出口 直徑이 80mm, 100mm의 경우에는 落下高 110cm보다 90cm의 경우가 더 큰 相對密度를 나타내고 있어 落下高가 어느정도 이상 커지면 落下에너지에 대한 영향이 무시되는 현상을 나타내고 있다.

Fig. 5-9는 河東모래에 대한 것으로 체눈의 크기 5.3mm에 대해 落下高의 변화에 따른 落下流量별 相對密度를 나타낸 것이다. 注文津 標準砂의 경우에서의와 같이 落下高가 증가함에 따라 전반적으로 相對密度가 증가하는 경향을 나타내고 있고 또한 流出口의 直徑이 커지면 커질수록 相對密度의 증가속도는 커짐을 알 수 있다. 土岐^{13), 14)}에 의하면 流出口 直徑이 클 경우 落下高가 커짐에 따라 오히려 작은 相對密度를 얻고 있는데 이것은 본 연구 결과와 상반된 결과를 보이는 것이다.

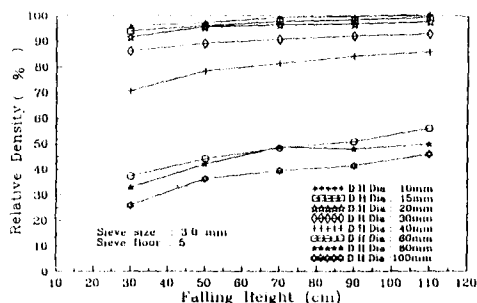


Fig. 5-9 Relative densities according to the falling height (Hadong sand)

5.5 相對密度 再現方法의 提案

이미 언급했던 바와 같이 相對密度는 粘性土의 경우 Consistency에 해당하는 중요한 指數로서 密度指數라고도 한다. 모래의 壓縮性이나 變形特性 또는 모래地盤의 液狀化現狀 등의 比較試驗에서는 相對密度를 같게하여 比較試驗을 행하며 또한 原地盤 퇴적구조와 多重체 落下法에 의하여 제작된 地盤의 퇴적구조가 유사하다는 것이 研究結果¹⁵⁾에 의해 증명되고 있기 때문에 原地盤과 유사한 三軸壓縮試料나 모델地盤을 제작하는데 本 多重체 落下裝置가 유효 적절하게 이용 될 수 있으리라고 판단 된다.

Fig. 5-10은 注文津 標準砂에 대한 것으로 B(체눈의 크기에 대한 모래의 最大粒徑의 比)의 변화에 따라 本 裝置를 이용하여 얻을 수 있는 相對密度의 범위를 나타낸 것으로 B가 커질수록 제작 가능한 相對密度의 범위가 커지는 것을 알 수 있다.

Fig. 5-11은 注文津 標準砂에 대한 것으로 流出口 直徑을 고정시키고 落下高만을 변화시켰을 때 本 裝置를 이용하여 얻을 수 있는 相對密度의 範圍를 나타낸 것이다. 流出口 直徑을 크게하여 고정시킬수록 落下高의 변화에 따라 낮은 범위의 相對密度가 얻어지는 경향을 보인다.

Fig. 5-12는 落下高를 고정시키고 流出口 直徑을 변화시켰을 때 本 裝置를 이용하여 얻을 수 있는 相對密度의 범위를 나타낸 것이다. Fig. 5-12에 나타난 바와 같이 落下高를 크게하여 고정시키는 경우 流出口 直徑의 변화에 따른 相對密度의 범위는 작

아지는 경향을 보이고 있다. 이러한 相對密度의 범위로 볼 때 本 裝置를 이용하여 상당히 廣範圍한 相對密度를 再現하는 것이 가능하리라 생각된다.

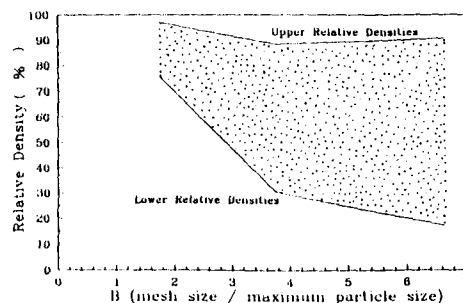


Fig. 5-10. Relative densities V.S. B(mesh size / maximum particle size) (Standard sand)

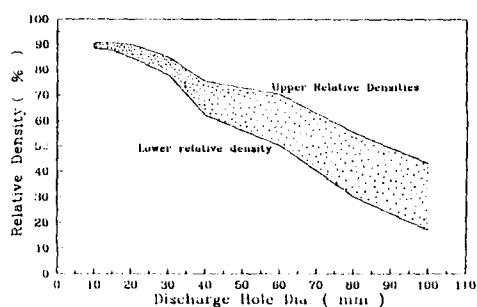


Fig. 5-11. Relative densities according to the diameter of discharge hole (Standard sand)

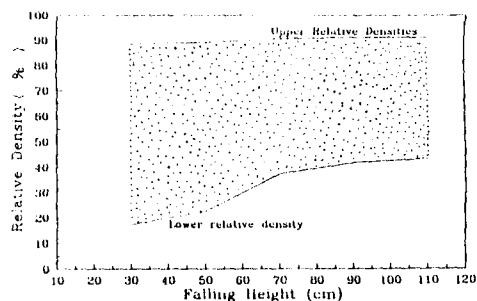


Fig. 5-12. Relative densities according to the falling height (Standard sand)

따라서 本 研究에서 제작된 多重체 落下裝置를 이용하여 相對密度를 再現 할 수 있는 방법에 대해 提案하고자 한다.

- 1) 再現하고자 하는 現場密度를 측정하고 모델地盤의 경우에는 所要密度를 결정한다.
- 2) 現場에서 試料를 채취하여 最大 및 最小密度試驗을 행하여 最大 및 最小密度를 결정하고 이 값을 이용하여 요구되는 相對密度를 결정한다.
- 3) 試料의 粒度試驗을 행하여 最大粒徑을 결정한다.
- 4) 체눈의 크기에 대한 比(B)가 4~7이 되는 체를 사용하여 多重체 落下裝置에 장착한다.
- 5) 多重체 落下裝置에서 사용하는 모듈드의 體積 및 重量을 측정한다.

6) 多重체 落下裝置의 流出口 直徑(D)과 落下高(H)를 임의로 결정한다.

7) 多重체 落下法에 의한 試驗을 실시하여 密度를 측정한다.

8) 측정된 密度, 最大密度, 最小密度 등을 이용하여 相對密度를 구한다.

9) 相對密度가 요구되는 密度보다 작거나 클 경우에는 流出口 直徑(D) 또는 落下高(H)를 조절하여 다시 試驗을 실시한다.

10) 9)의 방법을 반복함으로써 요구된 相對密度를 구할 수 있는 流出口 直徑(D)나 落下高(H)를 결정한다.

상기 방법에 의해 결정된 D나 H를 이용하여 三軸用 모울드나 모델地盤에서 試料나 모델地盤을 제작 할 수 있으며 Fig. 5-13은 상기 방법을 Flow Chart화 하여 나타낸 것이다. 또한 체눈의 크기, 流出口 直徑(D), 落下高(H) 등을 결정 할 때 Fig. 5-10, 5-11, 5-12 등은 참고 자료로서 이용이 가능하리라 판단된다.

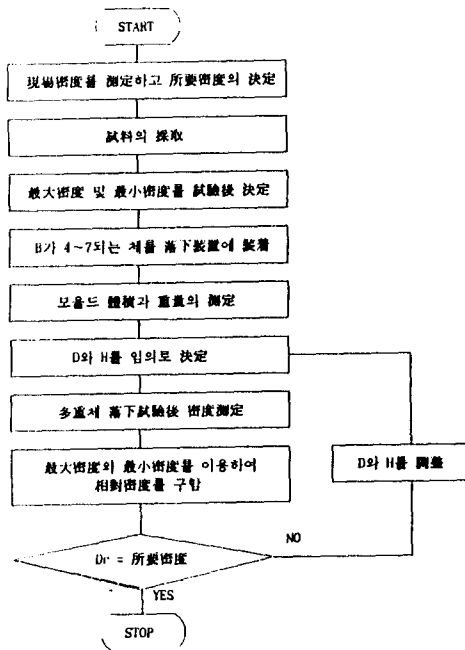


Fig. 5-13. The reappearance of relative density by the Multiple Sieving Pluviation Method

6. 結論

모래와 같은 粒狀土 地盤의 경우 그 力學의 特性을 지배하는 요소로서 相對密度가 중요시 되고있다. 따라서 剪斷試驗의 供試體를 제작하거나 模型試驗의 地盤을 만드는 경우 동일한 相對密度가 再現 될 수 있는 방법에 대한 研究가 중요하다. 本 研究에서는 相對密度 再現方法中의 하나인 多重체 落下法을 이용 할 수 있는 장치를 제작하고 그 장치를 이용하여 注文津 標準砂 및 河東모래에 대하여 체눈의 크기, 체의 수, 落下流量, 落下高 등을 다양하게 변화시키면서 試驗을 실시하였고, 粒狀土를 이용하여 室內試驗을 행할 경우 現場 相對密度를 再現 할 수 있는 방법에 대하여 제안하였다. 이러한 研究結果를 요약하여 정리하면 다음과 같다.

1) 多重체 落下試驗裝置에서 流出口로부터 첫번째 체와의 距離는 相對密度에 영향을 미치지 않기 때문에 試驗에 편리한 적당한 거리를 정하여 제작하는 것이 가능하다.

2) 多重체 落下試驗裝置에서 사용되는 체의 層數가 4층 이상이면 시료가 낙하 할 때 충분히 분산되어 균일한 密度의 供試體 製作이 가능하다.

3) 廣範圍한 相對密度를 얻기 위해 多重체 落下試驗裝置에서 사용되는 체눈의 크기는 B(체눈의 크기에 대한 모래의 最大粒徑의 比)가 4~7 정도가 적절 할 것으로 판단되며 B가 크면 클수록 낮은 相對密度를 再現하는 것이 가능하였다.

4) 多重체 落下法을 이용한 試驗에서 相對密度는 落下流量과 관계가 있는 流出口 直徑(D)이 크면 클수록 작아지는 경향을 보이며, 落下에너지와 관계가 있는 落下高(H)가 크면 클수록 커지는 경향을 나타냈다.

5) 廣範圍한 相對密度의 再現時 影響을 미치는 주요 因子는 落下流量과 落下高인데 이들중 落下流量의 영향이 크다.

6) 相對密度 再現試驗에서 注文津 標準砂의 경우는 B가 6.63일 때 17% ~ 91%, 河東모래의 경우는 B가 3.79일 때 26% ~ 101%에 이르는 相對密度가 再現되었다. 따라서 本 研究에서 提案된 方法에 의해 流出口 直徑(D)과 落下高(H)를 변화시키면서 試驗을 수행 할 경우 요구되는 相對密度를 갖는 剪斷試驗用 供試體나 모델地盤의 製作이 가능 할 것으로 판단된다.

參考文獻

1. ASTM, Evaluation of Relative Density and its Role in Geotechnical Projects Involving Cohesionless Soil, ASTM, Special Technical Publication 523, 1973.
2. Braja M. Das, Principles of Geotechnical Engineering, pp. 35-37, 1985.
3. Joseph E. Bowles, Engineering Properties of Soils and Their Measurement, pp. 185 - 187, 1978
4. JSF, T 161-1990, 砂의 最大密度, 最小密度試驗法, 日本土質工學會論文集.
5. KSF 2345, 非粘性土의 相對密度 試驗方法, 1992.
6. Lambe and Whitman, Soil Mechanics, SI version, John Wiley & Sons, pp 30-31, 1979.
7. Mulilis, J.P., Report No. EERC 75-18, Univ of California, 1975.
8. Wayne A. Bieganosky and William F. Marcuson, Uniform Placement of Sand, Journal of Geotechnical Engineering Division, GT3, pp. 229 - 233, March, 1976.
9. Walker, B.P., and Whitaker, T., An Apparatus for Forming Uniform Bods of Sand for Model Foundation Tests, Geotechnique, London, England, Vol. 17, No. 2, June, 1967.
10. William H. Perloff and William Baron, Soil Mechanics, Ronald, pp 42-44, 1976.
11. 山内豊總, 土質力學
12. 蔭合英後, 砂の直接せん断における主應力軸の回轉とその應用に關する研究, 工學博士論文, 九州大學, 1976.

13. 土岐, 三浦, 室内実験に用いる砂供試體の作成法について, 第24回土質工學シンポジウム論文集, pp. 173-180, 1979.
14. 土岐, 三浦, 浅見, 多重ふるい落下法による砂供試體の作成法について, 第14回土質工學發表會, pp. 193-196, 1979.
15. 鎌田幸治, 多重ふるい落下法による砂供試體の作成した粒狀材料供試體構造特性と K_o 値, 卒業研究論文, 九州大學, 1987.
16. 池見元宜, 工藤康二, 砂礫材料の相對密度について, 第19回土質工學研究發表會講演集, pp. 127-128, 1983.