한국농화학회지 Vol. 29, No. 3, Sep. 1986
J. Korean Agricultural Chemical Society

砂質土壤에서의 Zeolite 流失 可能性의 推定

姜 信 正·崔 烋

慶北大學校 農科大學 農化學科

(1985년 10월 29일 수리)

The Estimation of the Loss Possibility of Zeolite in Sandy Soil

Shin-Jyung Kang and Jyung Choi

The department of Agricultural Chemistry, Kyungpook National University, Taegu, Korea

Abstract

This experiment was conducted to find out the minimum size of pores through that Zeolite particles moved vertically out with percolated solution in the sand column and to estimate whether they were lost through the pores in the field sandy soil.

The results were as follows.

1. The amount of Zeolite loss through sand columns was increased in the order of the columns filled with 2~1>1~0.5>0.5>0.25mm sand particles.
2. The Zeolite particles lost through columns filled with 1~0.5 and 0.5~0.25mm sand were clay fraction.
3. The pore size that clay fraction of Zeolite mineral could migrate through was determined to be above 150μm and Jangchŏn subsoil was presumed to have possibility of Zeolite loss in consideration of its pore size distribution.
4. The suitable particle size of Zeolite for application in sandy soil was presumed to be above 2μm.

緖 論

砂質土壤은 保水保肥力이 弱하기 때문에 土壤을 改良할 必要가 있으며 이러한 土壤에 적합한 改良劑로서는 保水保肥力이 큰 天然産 Zeolite를 들 수 있다.[1]

砂質土壤의 改良劑로서의 天然産 Zeolite는 여러 學者들에 의해 그 施用効果가 認定되었으며[1,2,3,4] 특히 後藤들[5]은 Zeolite가 NH_4-N의 流失 防止에 큰 効果가 있다고 하였다. 그러나 施用된 Zeolite가 쉽게 流失되어 버린다면 期待했던 効果는 거둘 수 없을 것이다. 砂質土壤은 大孔隙이 많은 土壤이기 때문에 너무 작은 粒徑의 Zeolite 施用은 流失의 위험성을 內包하고 있다. 그러므로 Zeolite의 施用 最適粒度나 効果的인 流失 防止策이 硏究될 必要가 있다.

實際土壤에서는 여러 種類의 粘土鑛物이 混在되어 있기 때문에 Zeolite가 施用되어 土壤과 섞이게 되면 Zeolite만을 正確히 分離 定量하기란 어렵다. 따라서 Zeolite 流失 實驗을 實際土壤內에서 직접 遂行하기에는 상당한 어려움이 따른다. 姜[6]은 이러한 어려움을 피하기 위해 粘土를 完全히 除去한 모래만을 充塡한 column 내에서 Zeolite 流失實驗

Table 1. The physico-chemical properties of Zeolite*.

pH (1 : 5)	Particle size distribution(%)			Ex-cations(me/100g)				CEC[1] (me/100g)
	0.1~0.02 (mm)	0.02~0.002 (mm)	<0.002 (mm)	Na	K	Mg	Ca	
6.4	35.0	42.3	20.6	35.2	25.7	3.4	25.4	106.8

[1] *Cation exchange capacity determined by Schöllenberger method.*
* quoted from Kang[7]

Table 2. The packing conditions of sand columns

Sand fraction size(mm)	Packing amount(g)	Bulk density (g/cm^3)
2~1	864.0	1.64
1~0.5	849.3	1.60
0.5~0.25	835.9	1.58

을 試圖하여 砂質土壤에서의 Zeolite 流失 可能性을 類推하였으나 體系的이고 正確한 推定은 하지 못하였다. 따라서 本 硏究에서는 土壤改良劑로 施用할 경우 Zeolite의 効果的인 施用法을 알아내기 위한 方法의 一環으로 sand column內에서 Zeolite의 流失 通路가 되는 孔隙의 最少 크기를 推定하여 實際砂質土壤의 孔隙分布와 比較하여 實際土壤에서의 Zeolite流失 可能性, 流失 粒徑, 流失量 등을 調査하였다.

材料 및 方法

1. 材 料

供試 Zeolite는 慶北 月城郡 陽北面 所在 Zeolite 原鑛을 採取, 粉碎하여 0.1mm篩를 通過한 鑛粉을 使用하였다. 供試 Zeolite의 理化學的 特性은 Table 1과 같았다.

Column의 充填用 모래는 川砂를 篩別하여 2~0.25mm 크기의 粒子를 모아 鹽酸으로 씻은 다음 묽은 NaOH로 中和시키고 蒸溜水로 洗滌, 風乾하여 2~1, 1~0.5, 0.5~0.25mm sand fraction으로 區分 篩別하여 使用하였다.

2. 流失 實驗

Zeolite의 流失實驗은 姜의 方法[7]에 의하였다. 두께 2mm, 內徑 5cm인 PVC 管을 38cm 크기로 切斷하고 원통속의 모래를 支持할 수 있도록 下端에 0.25mm stainless網을 附着하였다. 아랫部位에 2~1mm 굵기의 모래 100.8g을 3cm 두께로 미리 채운 다음 Table 2에 나타낸 假比重 狀態가 되도록 充填하였다. 充填方法은 모래를 50g씩 나누어서 column에 넣고 上下 및 둘레를 均一하게 두드리면서 높이가 27cm 되도록 充填하였다. sand column內 空氣를 最少化하기 위하여 蒸溜水를 上昇, 飽化시킨 다음 姜의 裝置[7]에 부착시켜 1N-NaCl 溶液을 3000ml 通過시켰다. Column의 hydraulic head가 35cm 되도록 調整하여 排出 cock를 잠그고 column 上部에 Zeolite 2g을 懸濁시켜 모래 表面에 試料를 均一하게 沈澱시켰다. 그 위에 2~1mm 굵기의 모래를 1cm 두께로 덮은 다음 一夜 放置하였다. 1, 0.1, 0.01N의 세 種類의 NaCl 溶液을 高濃度에서 低濃度 순으로 2000ml씩 column에 透過시킨 후 蒸溜水로서 계속 透過시켰다. 透過되어 나오는 溶液은 100ml씩 分劃採取하여 姜의 方法[8]으로 粘土含量을 測定하였다.

2~1mm 모래로 充填된 column은 1N濃度 溶液

Table 3. The physico chemical properties of Jangchŏn soils

		Jangchŏn A	*Jangchŏn* B
pH(H_2O 1 : 5)		6.8	6.8
Ex-cations (me/100g)	Ca	2.14	1.92
	Mg	0.10	0.02
	K	t.	t.
	Na	t.	0
CEC(me/100g)		3.67	3.42
Base saturation(%)		61.04	56.73
H_2O(%)		4.89	4.3
Texture(%)	Clay	14.9	9.7
	Silt	7.9	12.0
	Sand	77.15	79.05
Soil class		S.L.	S.L.
O.M.(%)		0.488	0.105
T.N.(%)		0.036	0.007
P_2O_5(ppm)		23.3	19.0
H.C.*(cm/hr)		9.7×10^{-1}	

* Hydraulic conductivity of soil column measured by constant water head method.

의 透過時부터 Zeolite가 流失되었기 때문에 column에 流出되는 溶液을 모아 一夜 放置하여 Zeolite를 沈澱시킨 뒤에 미리 乾燥하여 秤量된 濾紙(Toyo filter paper No. 5 B)로 濾過하여 105°C에서 8時間 乾燥하여 殘渣의 무게를 달아서 Zeolite 流失量으로 하였다. 天然產 Zeolite流失 實驗은 天然產 Zeolite를 鹽의 溶液으로 沈澱시키면 置換性鹽基組成이 달라지므로 透過溶液은 蒸溜水만을 使用하여 1~0.5mm sand column에서 前述한 方法과 同一하게 流失實驗을 하였다.

3. Core sample

1) Sand column: 100cm³ stainless core 한쪽에 0.25mm Stainless網을 附着한 다음 Table 2에 表示된 假比重 狀態로 모래를 充塡하여 sand column의 孔隙狀態와 同一한 狀態의 sand core를 製作하였다.

2) 野外圃場 : 慶北 善山郡 海平面 文亮洞 所在 砂質畓 土壤을 表土와 心土로 區分하여 100cm³ stainless core로 採取하였다. 本 試料는 長川統[9]으로 表土를 長川 A, 心土를 長川 B로 稱號하였으며 그의 理化學性은 Table 3과 같았다.

4. 孔隙分布 測定

1) 直徑 30μm 以上의 孔隙 : 試料 core를 물로 完全히 飽和시킨 다음 method of soil analysis의 方法[10]에 準하여 吸引高(suction height)別 含水量을 測定하고 (1)식에 의해 孔隙크기를 計算하였다.

$$d(mm) \fallingdotseq \frac{3}{h(cm)} \quad \cdots\cdots(1)$$

여기에서 d는 孔隙의 直徑, h는 水柱의 吸引高이다.

2) 直徑 30μm 以下의 孔隙 : 直徑 30μm 以上의 孔隙分布 測定이 完了된 試料 core를 使用하여 30~0.18μm 사이의 孔隙分布는 遠心法[11]으로 測定하였고 0.18μm 以下의 孔隙은 0.18μm以上의 孔隙測定이 끝난 core를 105°C에서 24時間 乾燥하여 水分減量을 測定하여 求하였다. 遠心法은 (2)식에 의해 計算된 pF에 해당되는 回轉速度에서 試

Table 4. The ratio of Zeolite removed from sand columns with distilled water(8000cm³)

Sand fraction size (mm)	Removed ratio(%)	
	Na-Zeolite	Natural-Zeolite
2~1	81.1±5.5*	
1~0.5	13.2±1.5	0.37±0.25
0.5~0.25	2.9±1.0	

* The amount of Na-Zeolite removed during leaching sand column with 2000cm³ of 1N-NaCl solution.

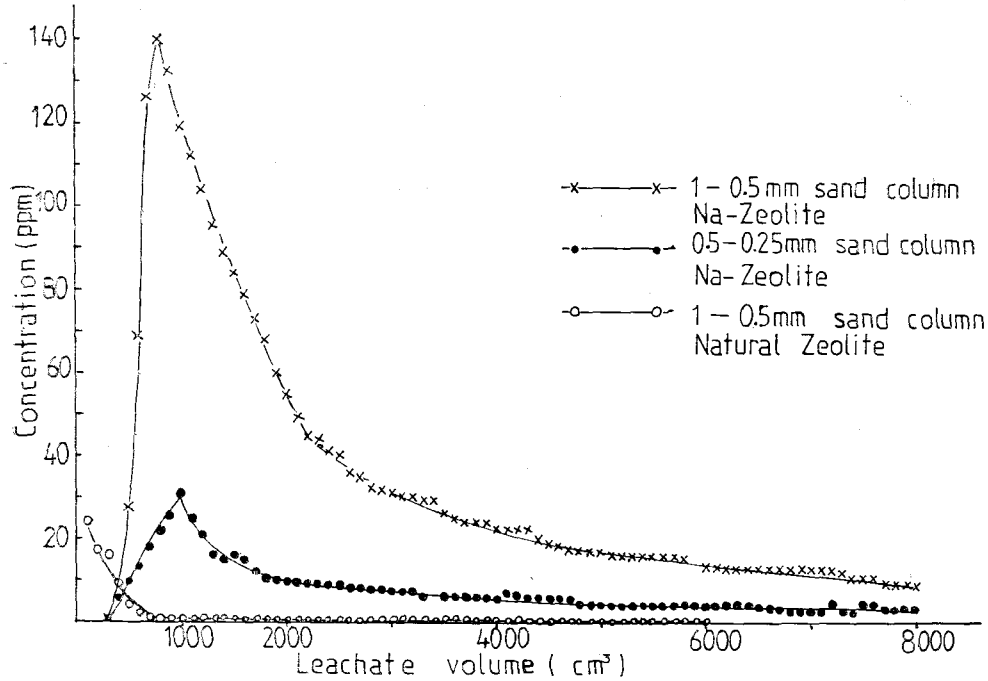

Fig. 1. The Zeolite concentration in the distilled water leachate.

料로부터 脫水된 水分量을 測定하여 pF曲線을 作成한 뒤, (3)식으로 h를 求하여 (1)식에 의해 孔隙 크기를 計算하였다.

$$pF=2\log n+\log r-4.95 \cdots\cdots (2)$$

$$pF=-\log h \cdots\cdots (3)$$

여기에서 n는 回轉速度(rpm), r는 回轉半徑이다. 使用된 遠心分離機는 Hitachi社 Model 20PR-52D에 RPR11-124 土壤脫水型 rotor를 附着하여 使用하였다.

結果 및 考察

孔隙 크기에 따른 Zeolite의 流失量을 調査하기 위해 모래의 粒徑을 달리하여 充塡한 sand column 上部에 0.1mm 以下의 Zeolite 2g을 處理하여 Zeolite 流失量을 調査한 結果는 Fig. 1 및 Table 4와 같았다. Table 4에 나타낸 것과 같이 Zeolite의 流失量은 column에 充塡된 모래의 粒徑이 클수록 많았으며 2~1, 1~0.5, 0.5~0.25mm sand column에서 각각 81.1±5.5, 13.2±1.5, 2.9±1.0%였었다.

1~0.5, 0.5~0.25mm 모래 粒子로 充塡한 column에서는 1.0, 0.1, 0.01N 濃度의 NaCl 溶液을 透過시킬 때까지는 透過溶液內에 Zeolite가 含有되어 있지 않았으나 蒸溜水를 透過시킴과 同時에 透過溶液內에 Zeolite가 檢出되었다. 이는 Zeolite 粒子들이 1.0, 0.1, 0.01N 濃度의 NaCl 溶液內에서는 서로 flocculation 되어 있어 sand column의 孔隙크기 보다 큰 狀態임으로 孔隙을 빠져나오지 못한 듯하다. 溶液이 0.01N 濃度의 溶液에서 蒸溜水로 바뀔 때는 flocculation되어 있던 Zeolite가 分散되어 孔隙크기 보다 훨씬 작아져서 column 밖으로 빠져나온 것으로 解釋된다.

2~1mm 모래로 充塡한 column에서는 1N濃度의 溶液을 透過시킴과 同時에 Zeolite가 流失되었으며 1N濃度의 溶液 1000ml가 透過되었을 때 80% 以上이 流失되었고 그 以後에는 流失이 거의 없었다. 이는 1N-NaCl 溶液內에서 Zeolite는 flocculation되어도 2~1mm 모래로 充塡한 column의 孔隙이 훨씬 컸기 때문에 1N濃度의 溶液內에서도 column에 保有되지 못하고 쉽게 流失된 듯하다.

天然產 Zeolite의 sand column 內에서의 流失有無를 調査하기 위해 1~0.5mm 모래로 充塡한 column에 0.1mm 以下 粒子의 Zeolite 2g을 處理하여 透過溶液으로 蒸溜水만을 使用하여 流失量을 測定하였다(Fig. 1 參照). 天然產 Zeolite의 流失樣相은 Na-Zeolite 流失樣相과는 전혀 달랐다. 天

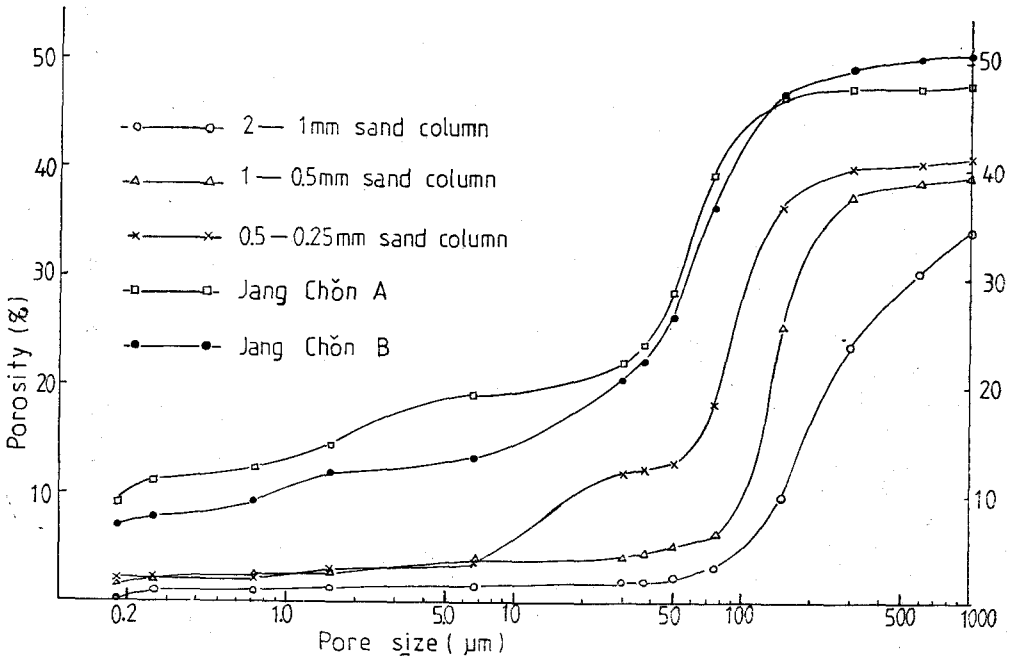

Fig. 2. Pore size distributions of sand columns and Jangchŏn soils.

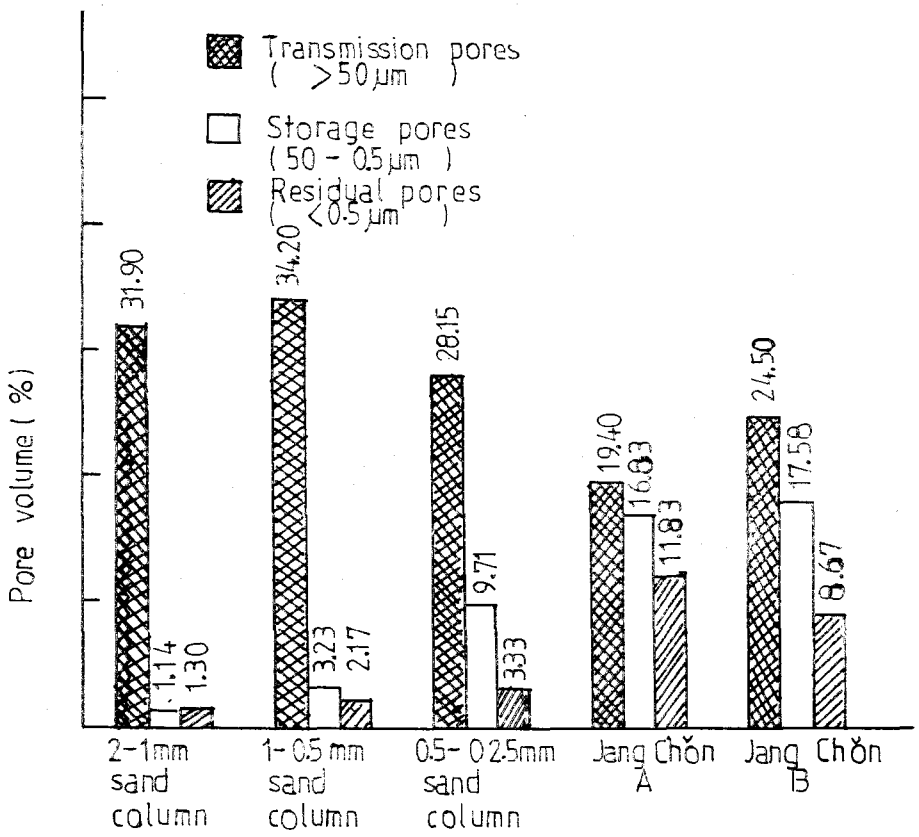

Fig. 3. The volumes of transmission, storage, and residual pores per 100cm³ of sand columns and Jangchŏn soils.

然產 Zeolite는 透過溶液이 透過될 때 透過初期(200ml 透過時)에 流失濃度가 24ppm으로 가장 높았고 透過液量이 累增함에 따라 流失程度는 계속 줄어들어 透過液量 2000ml 以上에는 流失이 거의 確認되지 않았다. 800ml 透過 후의 天然產 Zeolite의 流失 總量은 處理量의 0.37%였다. 한편 移動實驗 直前에 湛水層內에 Zeolite가 完全히 沈澱되지 않고 약간 分散되어 있었기 때문에 分散量을 測定해 본 結果 處理量의 0.375%였다. 따라서 天然產 Zeolite의 流失은 sand column에 Zeolite를 處理할 때 이미 물 속에 分散되어 있었던 것만 流失된 것이며 모래 表面에 沈澱되어 있던 Zeolite는 流失되지 않았음을 의미한다.

Zeolite 粒子의 垂直移動은 주로 孔隙의 크기에 左右되며 附隨的으로 用水에 溶存하는 이온이나 Zeolite에 吸着되어 있는 이온의 種類의 影響을 받음을 알 수 있다.

따라서 sand column의 孔隙分布를 調査하여 Zeolite가 移動 可能한 孔隙의 크기를 알아낸 다음 砂質土壤인 長川統 土壤을 core sampling하여 sand column의 孔隙分布와 對照하므로써 砂質土壤에 Zeolite를 施用했을 경우 그의 流失 可能性을 調査하였다. Sand column과 長川土壤의 孔隙分布를 求한 結果는Fig. 2와 같았다. 全孔隙量은 長川 B, 長川 A, 0.5~0.25mm sand column, 1~0.5mm sand column, 2~1mm sand column 순으로 많았으며 그 양은 각각 50.75, 48.06, 41.19, 39.60, 34.34%였다. Zeolite의 流失이 많았던 column일수록 大孔隙이 많이 分布되어 있다. 이 結果로서 Zeolite의 流失은 大孔隙에 의해 決定됨을 알 수 있다.

Geregory 등[12]은 孔隙은 直徑이 50μm 以上의

Table 5. The size distributions of transmission pores of sand columns and Jangchŏn soils

P.M.* / PD**(μm)	2~1mm (%)	1~0.5mm (%)	0.5~0.25mm (%)	Jangchŏn A (%)	Jangchŏn B (%)
1000~600	3.70	0.60	0.50	0.35	0.40
1000~300	10.55	3.60	1.10	0.85	1.50
1000~150	24.39	14.05	4.80	1.45	4.05
1000~ 75	30.95	33.00	22.95	8.50	14.25
1000~ 50	31.90	34.20	28.15	19.40	24.50
Total porosity	34.34	39.60	41.19	48.06	50.75

* Packing sand fraction size and soils.　　** Pore diameter(μm)

transmission pores와 0.5~50μm 사이의 storage pores와 0.5μm 以下의 residual pores로 分類하였다. 그들은 그중에서 transmission pores는 重力水가 自由롭게 移動되며 植物 뿌리가 通過하는 孔隙이라고 하였다.

Zeolite의 流失에는 항상 물을 隨伴함으로 Zeolite가 流失될 수 있는 孔隙은 물의 移動이 自由로운 transmission pores에 의해서 일어난다고 볼 수 있다. 따라서 각 試料의 孔隙量을 區分하여 調査한 結果는 Fig. 3과 같았다. 모든 試料 共히 transmission pores가 가장 많았다. 2~1, 1~0.5, 0.5~0.25mm sand column에서 transmission pores의 양은 각각 31.9, 34.2, 28.15%로서 1~0.5 mm sand column에서 가장 많았다. 그러나 Zeolite流失이 가장 많았던 column은 2~1mm sand column이었으며, 0.5~0.25mm sand column은 1~0.5mm sand column 보다 Zeolite 流失이 훨씬 적었다. 이 結果로 보아 Zeolite 流失은 transmission pores 중에서도 pore size가 큰 것에 의해 일어나는 것으로 推測된다. 그러므로 column별 transmission pores의 크기 및 分布를 調査하였으며 그 結果는 Table 5와 같았다.

2~1, 1~0.5, 0.5~0.25mm sand column에서 流失되었던 Zeolite量은 각각 81.1, 13.2, 2.9%로서 Column에 充塡한 모래의 粒徑이 작아짐에 따라 Zeolite流失量이 급격히 줄어드는 것으로 보아 Zeolite의 流失通路가 되는 孔隙은 sand column 간에 量的으로 差異가 많았던 크기의 孔隙量에 의한 것으로 考察된다. 2~1, 1~0.5, 0.5~0.25mm sand column에서 1000~75μm 사이의 孔隙量은 각각 30.95, 33.00, 22.95%이고 1000~50μm의 孔隙量은 각각 31.90, 34.20, 28.15%로서 column間에 量的으로는 큰 差異가 없었으며 2~1mm sand column 보다 1~0.5mm sand column에서 孔隙量이 오히려 많았다. 그러나 1000~150μm 사이의 孔隙量은 24.39, 14.05, 4.80%로서 column間에 큰 差異를 보였다. 따라서 column間의 Zeolite 流失量과 孔隙量의 差異와의 相關에서는 Zeolite 粒子의 移動路가 되는 最少 孔隙의 크기는 150μm程度로 判定된다.

長川土壤에서의 150μm 以上 크기의 孔隙量은 表土(長川 A) 1.45%, 心土(長川 B) 4.05%로서 客土가 이루어진 表土는 그 量이 매우 적었으나 心土는 0.5~0.25mm sand column의 150μm 以上의 孔隙量과 비슷하였다. 따라서 長川 B 土壤은 0.5~0.25mm sand column에서의 流失量과 비슷한 樣相을 보일 것으로 豫想된다. 長川 A도 客土한 土壤임으로 客土前의 土壤은 長川 B와 類似할 것이므로 客土하지 않은 長川土壤이라면 0.5~0.25mm sand column에서의 流失量 程度는 流失될 可能性이 있을 것으로 推定된다.

要　約

孔隙의 크기가 다른 sand column에서 Zeolite의 流失實驗을 하여 Zeolite의 移動路가 되는 最少 孔隙크기를 추적한 다음 實際 圃場에서의 Zeolite 流失可能性 및 流失 可能 粒子의 크기를 推定實驗한 結果는 다음과 같다.

1. Sand column별 Zeolite의 流失量은 2~1>1~0.5>0.5~0.25mm sand column 순으로 증가하였다.

2. 1~0.5, 0.5~0.25mm sand column에서 流失된 Zeolite는 모두 2μm 以下의 粒子였다.

3. Zeolite가 流失될 수 있는 孔隙의 크기는 150μm 以上 이었고 長川土壤의 心土는 2μm 以下의 Zeolite가 流失될 可能性이 있는 것으로 推定되었다.

4. 砂質土壤에 施用될 Zeolite의 最適粒度는 2μm 以上의 劃分으로 推定되었다.

引 用 文 獻

1. 崔烋, 張南日, 張淳德 : 農村과 科學 1 : 47 (1978).
2. 崔柱鉉, 曺康鎭, 文乙鎬, 鄭鍊泰 : 農試報告, 25 : 103(1983)
3. 金昌培, 崔烋 : 韓土肥誌 14 : 95(1981).
4. 李在奭 : 建國大學校, 大學院, 博士學位論文 (1980).
5. 後藤逸男, 蜷木翠 : 農學集報 24 : 164(1979).
6. 姜信正 : 慶北大學校, 大學院, 碩士學位論文 (1981).
7. 姜信正, 崔烋 : 變化韓土肥誌 18 : 352(1985).
8. 姜信正, 崔烋 : 韓國農化學會誌 29 : 159(1986).
9. 농촌진흥청, 농업기술연구소, 영남작물시험장, 정밀토양도(선산군) : 6(1975).
10. C.A. Black: Method of Soil Analysis, Agronomy No. 9 (part 1) : 301~303, Am. Soc. Agron. Wisconsin, USA(1965).
11. 土壤物理性測定法委員會編, 土壤物理性測定法, 150~375, 養賢堂, 東京, 日本(1978).
12. Geregory, C. Mott, S. Nortoliff, and D. Rowell: Soil Science (practical course) Soil science Department, Reading University, England(1982).