

畚土壤에서 Strontium-90의 脫着에 關한 研究

金在成* · 林秀吉** · 李榮日* · 鄭圭會*

(1987. 2. 23 접수)

Studies on the Desorption of Sr⁹⁰ from Paddy Soil

Jae-Sung Kim*, Soo-Kil Lim**, Young-Il Lee* and Kyu-Hoi Cheong*

Abstract

The present study was carried out to determine the effect of the physical, chemical and mineralogical properties of paddy soil on the adsorption and desorption of Sr⁹⁰ from absorbed soils. The results obtained were as follows:

1. Most of the adsorbed Sr⁹⁰ was exchangeable and water soluble. Sr⁹⁰ extracted by ammonium acetate was very high compared to the water soluble fractions, and the amount decreased with the increase of calcium application, but increased proportionally with the increase of Sr⁹⁰ treatment.
2. The distribution of Sr⁹⁰ in paddy soil depend on the soil type. Average-distribution rates of water soluble, exchangeable and non-exchangeable fractions of Sr⁹⁰ in the soils were 28.6%, 59.3% and 12.1% respectively.
3. The non-exchangeable from of Sr⁹⁰ was high in the soils of high illite and low vermiculite content.
4. The desorption of Sr⁹⁰ from adsorbed soils decreased with the increase of pH and ex-cations of the soils, but increased with the amount of organic matter and clay content in the soil.

緒 論

급진적인 科學의 發達과 이에 따른 人間文明의 發展은 다양한 資源의 利用과 에너지資源의 開發利用을 加重시켜 放射性物質과 原子力利用의 확대에 따른 核燃料의 生産量이 增加하였으며 또한 이에 따른 放射性廢棄物의 量도 增加하게 되어 放射性物質에 의한 環境汚染 問題가 高潮되고 있다. 國內에서도 장기적인 에너지對策의 일환으로 이미 10여基의 原子力發電所가 이미 稼動, 또는 建設中에 있으며, 이에 따른 放射性廢

棄物 處理, 處分施設도 준비중에 있다. 이들 모든 原子力施設의 周邊 環境에 대한 影響을 檢討하는 것은 매우 意味 있는 일이며, 특히 이들 放射性物質의 農耕地 및 農作物에 대한 影響을 檢討, 評價하는 것은 매우 重要한 일이다. 이에 本 研究는 前報¹⁾의 Sr⁹⁰ 水稻吸收實驗과 병행하여 Sr⁹⁰을 吸着시킨 水稻栽培地 畚土壤에서 Sr⁹⁰의 分布狀態와 脫着現像을 調查하였다.

材料 및 方法

水稻栽培環境인 土壤內에서의 Sr⁹⁰ 存在狀態를 調查

* 韓國에너지研究所(Korea Advanced Energy Research Institute, P.O. Box 7, Cheong Ryang, Seoul)

** 高麗大學校 農科大學(College of Agriculture, Korea University, Seoul)

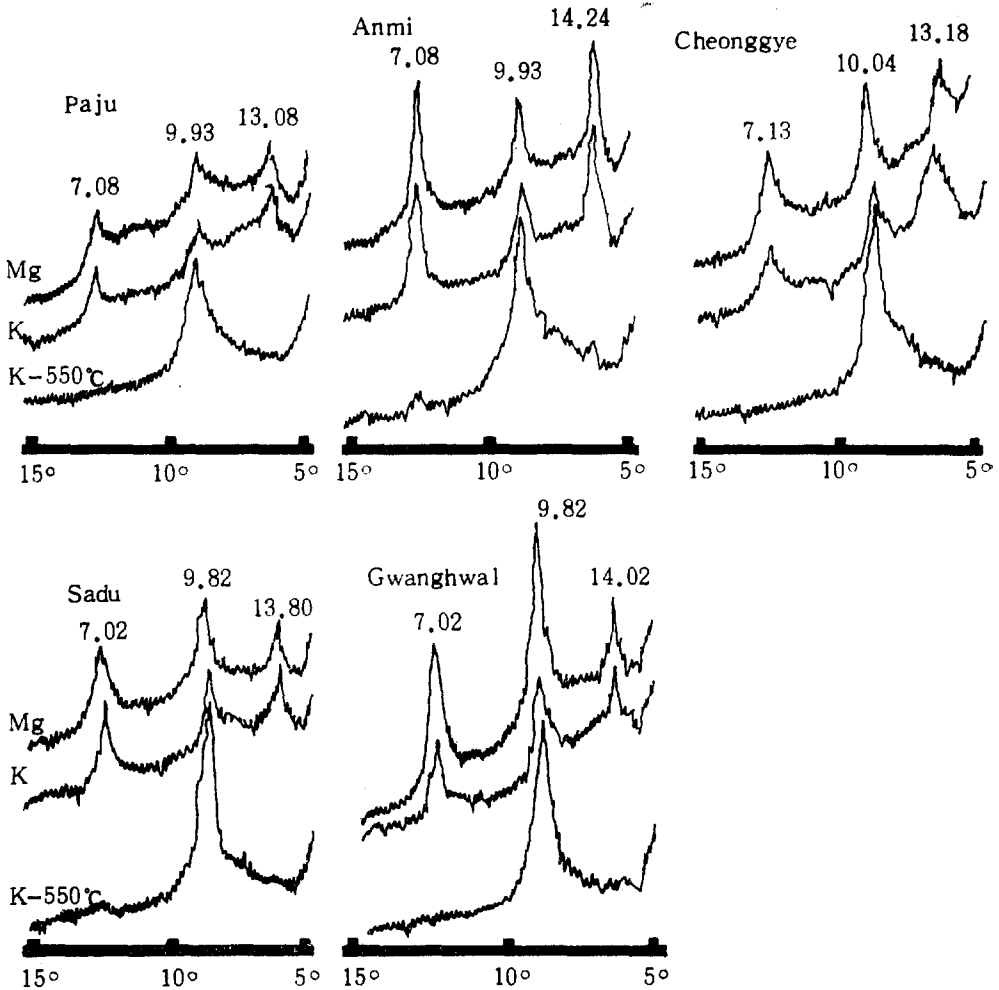


Fig. 1. X-ray diffraction spectra(Cu K α) of soil samples used in the Sr⁹⁰ experiment.

하기 위하여 水稻栽培實驗에서와 같은 土壤을 室内에서 風乾, 체질(2mm)하여 50g(pot土壤 10kg의 $\frac{1}{200}$)씩을 원심분리관에 담고 前報⁵⁾의 水稻栽培實驗에서와 同一狀態로 하기 위해 같은 形態와 量의 Sr⁹⁰(土壤 10 kg 당 Sr⁹⁰Cl로 0 μ Ci, 10 μ Ci, 20 μ Ci, 40 μ Ci 處理)과 Ca(OH)₂(土壤 10kg 當 0g, 15g, 30g, 60g 添加) 및 其他 肥料施肥量(土壤 10kg 當 2.84g N, 1.67g P₂O₅, 1.75g K₂O)을 添加하기 위하여 栽培土壤에 處理한 各溶液을 200 배 稀釋하여 試驗土壤에 添加하고 소량의 물로 混合하여 잘 흔들어 준 다음 空溫에서 風乾하여 吸着시민후에 증류수 100ml을 加하여 가끔 진탕하여 주면서 1 개월간 放置시킬 후 Vinyl house 水稻體 1 차 試料採取時期에 맞추어 30 分間 진탕하고, 원심분리하여 상등액을 취해 成分 分析에 사용하였다. 이하 상세한 實驗方法과 化學成分 分析法 및 Sr⁹⁰ 放射能計測은

前報⁵⁾와 著者等⁶⁾이 이미 報告한 Cs¹³⁷의 土壤 吸·脫着實驗과 같은 方法으로 遂行하였으며 供試土壤의 理化學의 特性은 前報⁵⁾와 같고 粘土鑛物의 分析 結果는 그림 1에 보였다. 5개 試驗土壤 모두가 1:1型 광물인 Kaolinite(7.2~7.3Å)鑛物과 2:1型인 Vermiculite(14Å)와 Illite(10Å) 및 混層型 Chlorite(14Å) 등이 含有되어 있으며 坡州統, 安美統, 淸溪統等은 Illite가 적고 Vermiculite가 많았으며 砂頭統과 廣活統은 반대로 Illite가 많고 Vermiculite가 적었다. 5개 試驗土壤 모두 Kaolinite는 많았다.

結果 및 考察

土壤에 吸着시킬 Sr⁹⁰中 증류수 4회 浸出에 의해 脫着되는 부분은 水溶性, 증류수 浸出後 1N-NH₄OAc(pH

Table 1. Chemical composition of 1N-NH₄OAc extracted from the soil treated with various Sr⁹⁰ levels after experiment

Ca added (kg/10a)	Ca	Mg	K	Sr ⁹⁰ (pCi/ml)
	(m.e./100g)			
Sr ⁹⁰ -0				
0	3.58	1.59	0.21	0.0
150	5.09	1.45	0.20	0.0
300	6.56	1.44	0.19	0.0
600	10.32	1.22	0.20	0.0
\bar{x}	6.39	1.43	0.20	0.0
Sr ⁹⁰ -10				
0	3.57	1.83	0.19	346
150	5.15	1.45	0.16	305
300	6.85	1.36	0.20	283
600	10.37	1.76	0.20	256
\bar{x}	6.49	1.60	0.19	298
Sr ⁹⁰ -20				
0	3.68	1.93	0.22	725
150	5.03	1.66	0.21	656
300	6.64	1.70	0.20	603
600	11.03	1.46	0.20	545
\bar{x}	6.60	1.69	0.21	632
Sr ⁹⁰ -40				
0	3.65	2.22	0.20	1373
150	5.12	1.81	0.22	1256
300	6.76	1.42	0.21	1213
600	10.61	1.53	0.21	1075
\bar{x}	6.54	1.75	0.21	1229

7.0)에 의해 脫着되는 부분을 置換性으로 하여 表 1에 나타내었다. Ca 添加量의 增加에 따른 置換性 Ca의 脫着量은 코도의 有의성있는 正의 相關($r=0.620^{***}$)을

보였고, 置換性 Mg은 반대로 Ca 添加量의 增加에 따라서 다소 減少하는 경향을 보였으나 有의성은 없었으며 置換性 K는 어떤 경향을 보여 주지 않았다. 또한 각 Sr⁹⁰ 處理區 모두에서 置換性 Sr⁹⁰의 脫着量은 Ca 添加量의 增加에 따라서 코도의 有의성 있는 負의 相關($r=-0.675^{**}$)을 보였다. 水溶性 Ca, Mg, K도 置換性과 비슷한 경향을 보였으며 절대량에 있어서 置換性에 비해 낮은 含量을 보였다. Sr⁹⁰ 處理量에 따른 置換性 Ca, Mg, K의 脫着量은 어떤 경향을 보이지 않았으나 置換性 Sr⁹⁰ 脫着量은 Sr⁹⁰ 處理量의 增加에 따라서 비례적으로 增加하는 正의 相關($r=0.990^{***}$)을 보였으며 水溶性 Sr⁹⁰ 脫着量도 置換性과 비슷한 경향을 보였다.

중류수 浸出에 따른 土壤別 水溶性 Sr⁹⁰의 脫着量을 보면(그림 2); 모든 土壤에서 1차 침출에서 가장 높은 含量을 보이면서 浸出回數 增加에 따라 급격히 減少하였으나 土壤別로 差異가 있으며 1차 浸出에서는 廣活統이 다른 土壤에 비해 훨씬 낮은 含量을 보였으나, 2, 3, 4차 浸出에서는 훨씬 높게 나타나는 반면, 坡州統은 1차에서 가장 높은 浸出量을 보이면서 2, 3, 4차에서는 다른 土壤과 비슷한 순서로 현저히 減少되었다. 土壤別 水溶性 Sr⁹⁰의 含量은 Ca 添加量의 增加에 따라서 모든 土壤에서 增加하였다(그림 3). 특히 坡州統, 安美統, 砂頭統은 Ca 添加量의 增加에 따라서 계속해서 增加하였고 淸溪統은 無處理區에서 150kg 첨가까지는 높은 增加를 보였으나 以上の 添加區에서는 완만한 增加를 보였고, 廣活統은 Ca 添加量의 增加에 따른 水溶性 Sr⁹⁰ 脫着量에 거의 변화를 보이지 않았다. 또한 供試土壤 모두에서 置換性 Sr⁹⁰ 脫着量은 添加量이 Ca 增加함에 따라 減少하는 경향이었는데(그림 4) 土壤別로 보면 坡州統과 安美統이 가장 뚜렷한 減少 경향을 보였고 廣活統이 그 경향이 가장 낮았다. 또한 置換性 Sr⁹⁰의 절대 脫着量에 있어서는 坡州統에서 가장 높았고 廣活統에서 가장 낮았다.

表 2는 土壤別로 水溶性, 置換性 및 非置換性形態

Table 2. Water-soluble, exchangeable, and nonexchangeable fractions of Sr⁹⁰ in soils after experiment

Soil series	Water soluble		Exchangeable		Non-exchangeable	
	(pCi)	(%)	(pCi)	(%)	(pCi)	(%)
Paju	34,767	29.8	75,950	65.1	5,950	5.1
Anmi	34,417	29.5	68,950	59.1	13,299	11.4
Cheonggye	35,583	30.5	67,199	57.6	13,883	11.9
Sadu	31,149	26.7	69,533	59.6	15,983	13.7
Gwanghwal	30,799	26.4	64,517	55.3	21,349	18.3
\bar{x}	33,367	28.6	69,183	59.3	14,117	12.1

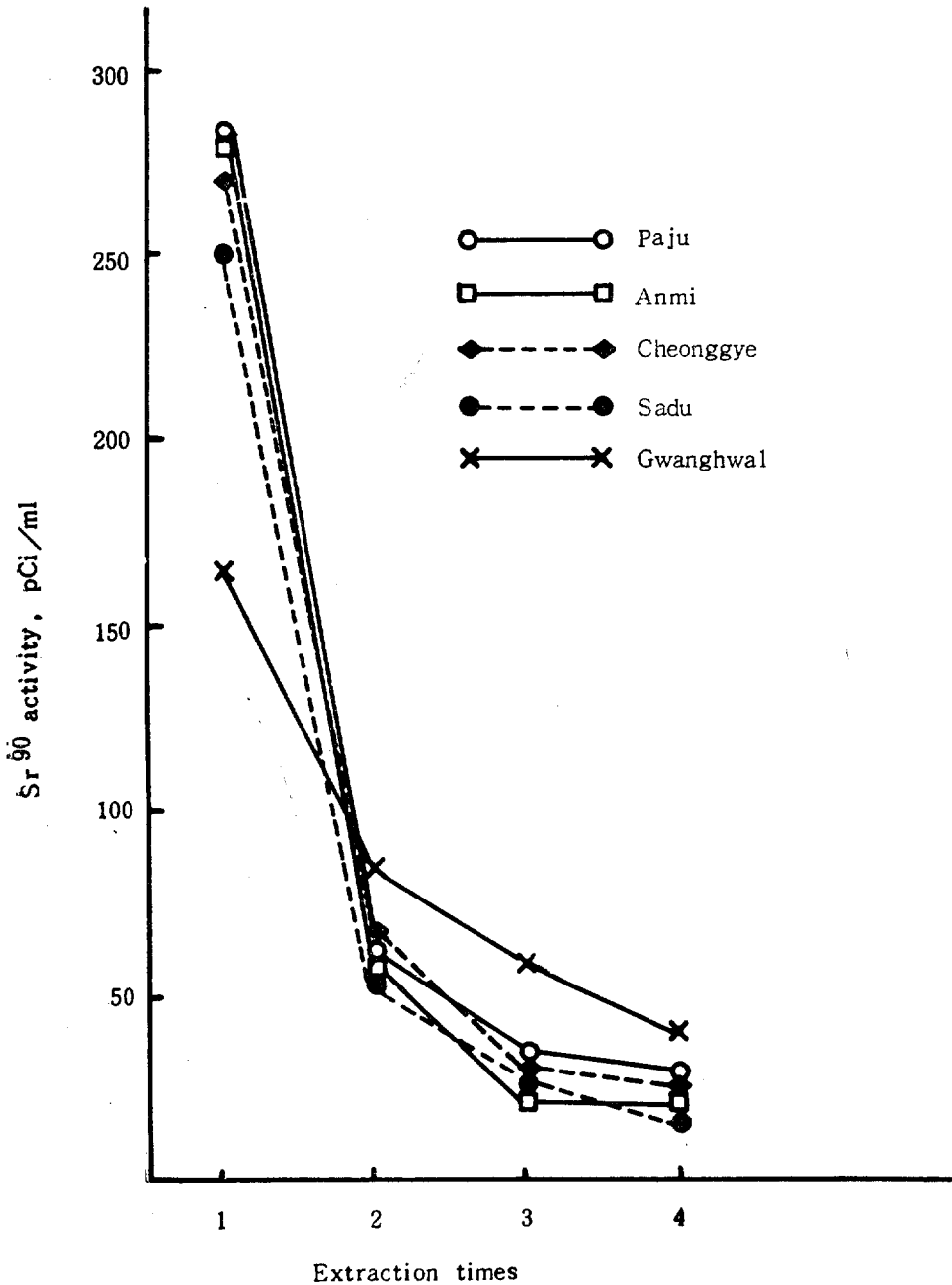


Fig. 2. Desorption of Sr⁹⁰ from soils with successive extraction by distilled water.

의 Sr⁹⁰의 存在狀態를 나타낸 것이다. 이때 非置換性 部分은 土壤에 添加된 總量에서 水溶性과 置換性을 빼 값으로 하였다. 평균 Sr⁹⁰ 分布를 보면 水溶性이 28. 6%, 置換性이 59.3%였고, 非置換性은 12.1%에 불과 했다. 토양별로는 水溶性 Sr⁹⁰은 淸溪統이 가장 높았

고 砂頭統과 廣治統은 낮았으며 置換性 Sr⁹⁰은 坡州統 이 65.1%로 가장 높았고 廣治統이 55.3%로 가장 낮았 다. 土壤中 非置換性含量의 順位는 坡州統 < 安美統 < 淸溪統 < 砂頭統 < 廣治統이었는데 이것은 前報⁵⁾에서 보 고한 水稻의 Sr⁹⁰ 吸收量에 대한 土壤別 順序의 逆順이

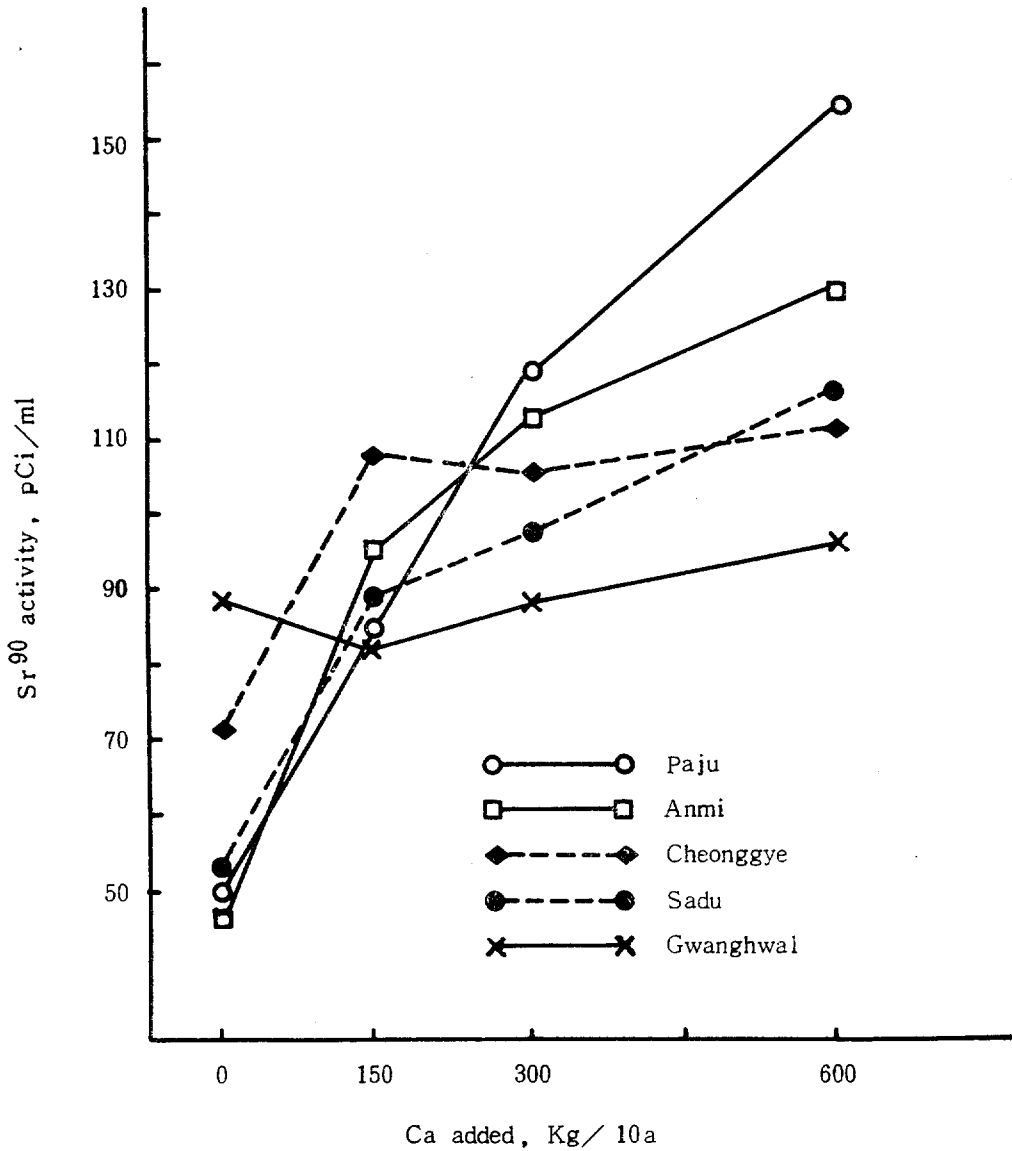


Fig. 3. Effect of lime levels on desorption of water soluble Sr⁹⁰ from soils.

었다. Borland 와 Reitemeier¹²⁾, Schulz 等¹³⁾은 土壤에 添加된 加溶性 Sr⁹⁰은 모두 水溶性 또는 置換性形態로 變化하고 서서히 長기간(6 개월~1年)에 걸쳐 固定된다고 보고하였던 바 본 實驗의 調查期間(4 개월) 동안에는 대부분이 水溶性和 置換性形態로 存在하고 있었다. 또한 Mitsni 와 Tensho¹⁴⁾, Tensho 等¹⁵⁾은 土壤에 存在하는 Sr⁹⁰은 水溶性和 置換성이 많고 非置換성이 적다고 하였고, Roberts 와 Menzel¹⁶⁾은 土壤中에서 非置換性形態로 Sr⁹⁰의 吸着은 약 15% 정도였다고 하며, Nishita 等^{8,9)}도 土壤中 Sr⁹⁰의 分布調查에서 水溶性은 5~10%,

置換성은 80~90% 범위이고, 非置換성은 2~15% 범위였다고 한다. 이런 結果는 본 實驗에서의 形態別 分布와 일치하였으나 본 實驗의 다소 높은 水溶性部分은 Borland 와 Reitemeier¹²⁾가 調查한 Ammonium acetate 에 置換될 수 있는 Ca은 水溶性 Ca 과 平衡狀態에 있다고 한 보고와 비교할 때 室溫에서 長기간 보존중의 土壤溶液속에서 置換性 Sr⁹⁰이 水溶性으로 變할 것으로 사료된다.

土壤에서 Sr⁹⁰의 脫着과 土壤의 理·化學的性質과의 相關關係는 表 3 에서와 같고 水溶性和 置換성이 비슷

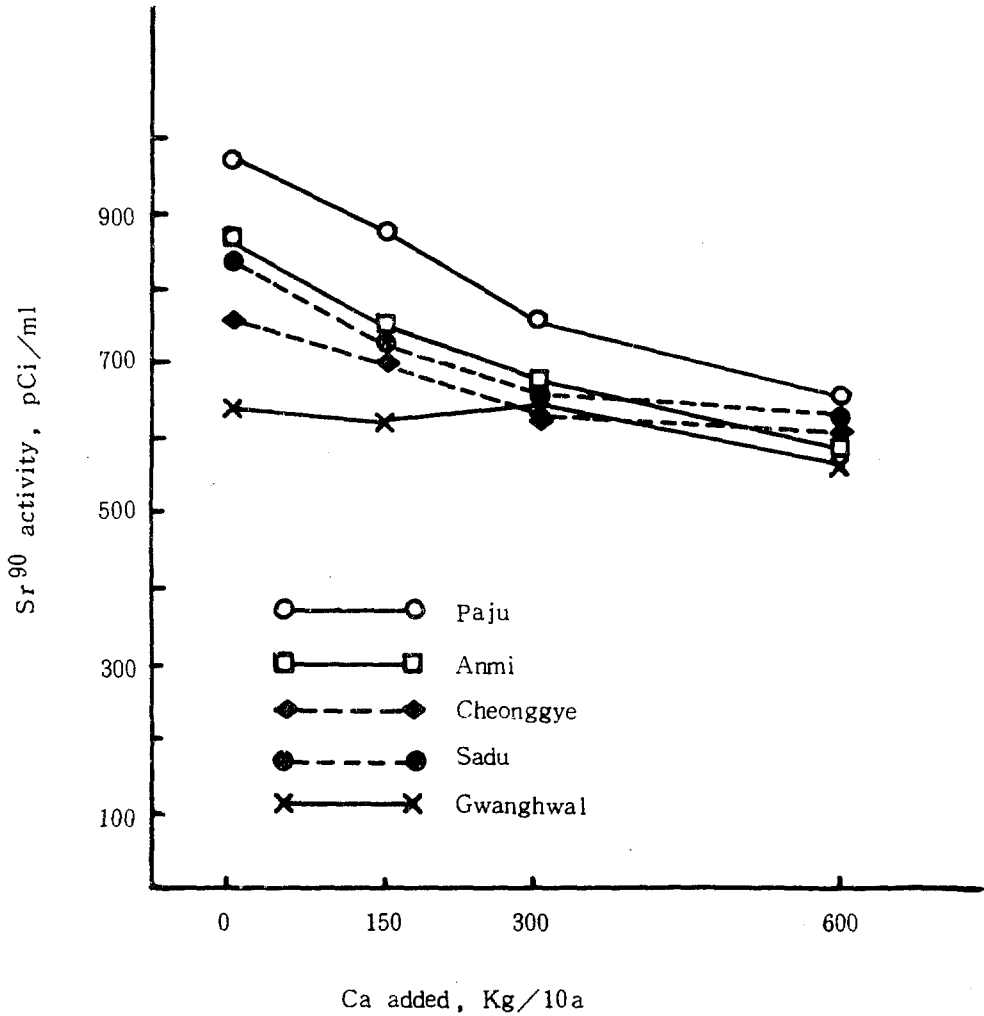


Fig. 4. Desorption of Sr⁹⁰ from Sr⁹⁰-treated soils by 1N-NH₄OAc after four times extraction with distilled water.

한 경향을 보였으나 置換性이 다소 높은 相關을 보였다. 置換性 Sr⁹⁰ 과 土壤의 pH는 有의성없는 負의 相關을 보였다. 즉 土壤 pH의 增加에 따라 Sr⁹⁰의 脫着은 減少하여 전보에 보고한⁵⁾ 水稻體의 吸收에서와 같은 경향을 보여 주었다. 土壤別로는 廣治統을 제외한 4개 土壤이 모두 비슷한 pH 값을 갖고 있어서 pH에 대한 有의성이 없는 것으로 생각되며 試驗土壤中 pH가 가장 높은 廣治統에서 가장 높은 吸着을 보였다. Juo와 Baber²⁾, McHenry⁶⁾, Rhodes¹⁰⁾들도 pH 增加에 따라 Sr⁹⁰의 吸着도 增加하였다는 結果를 보고하였고, Spalding¹³⁾은 Sr⁹⁰을 土壤에 添加한 후 非置換態로의 변화는 pH 7~8 사이에서 最大인 것을 보였다 하고 하였던 바 본 실험의 結果도 이들과 비슷하였다. 置換

性 Sr⁹⁰ 脫着量과 土壤中 窒素와 有機物 含量과는 有의성없는 正의 相關을 보였고, 土壤 CEC와는 어떤 相關을 보이지 않았고 土壤의 置換性 陽이온들과는 有의성은 없으나 모두 負의 相關을 나타내어 前報⁵⁾에서 調査한 水稻體의 Sr⁹⁰ 吸收와 土壤特性에서 보여 준 相關關係와 비슷한 경향을 얻었다. Sr⁹⁰ 脫着과 試驗土壤의 粘土含量과는 正의 相關을 보였으나 有의성은 없었다. 粘土鑛物과의 關係를 보면 Illite 含量이 높고 Vermiculite가 적은 土壤일수록 Sr⁹⁰의 非置換性 吸着량이 많았다. 다른 鑛物에 비하여 Illite가 Sr⁹⁰을 많이 吸着하고 Illite에 吸着된 Sr⁹⁰은 많이 固定되는 것으로 생각되나, 이 분야의 調査는 많지 않아 비교할 수는 없고 Graham과 Killion²⁾은 Sr⁹⁰ 吸着은 Kaolinite에서

Table 3. Correlation between Sr⁹⁰ extractability from soil and soil properties

Correlation member		Sr ⁹⁰ Fraction*	Correlation coefficient(r)
X	Y		
Soil pH	Sr ⁹⁰ extractability	W. S	-0.137
		Ex	-0.357
T-N content in soil	"	W. S	0.201
		Ex	0.269
O.M content in soil	"	W. S	0.201
		Ex	0.239
P ₂ O ₅ content in soil	"	W. S	-0.069
		Ex	-0.191
CEC content in soil	"	W. S	0.022
		Ex	0.095
Ex-Ca content in soil	"	W. S	0.084
		Ex	-0.148
Ex-Mg content in soil	"	W. S	-0.054
		Ex	-0.218
Ex-K content in soil	"	W. S	-0.075
		Ex	-0.182
Ex-Na content in soil	"	W. S	-0.125
		Ex	-0.305
Clay content in soil	"	W. S	0.165
		Ex	0.361

* W.S : Water soluble, Ex : Exchangeable

적고 기타 粘土鑛物 등에서는 吸着에 큰 차이가 없었고 하여 본 실험과는 다른 結果를 보고하였다.

摘 要

放射性核種中 植物 吸收率에 높은 Sr⁹⁰을 5개 畚土壤에 處理하여 吸着시킨 후 Sr⁹⁰ 脫着에 대한 畚土壤의 理·化學의 性質의 影響과 土壤內에서의 形態別 分布 狀態를 調査하여 다음과 같은 結果를 얻었다.

1. 畚土壤에 吸着시킬 Sr⁹⁰의 대부분은 置換성과 水溶性이었고 특히 置換性含量이 매우 높았고 그 量은 Sr⁹⁰ 處理量과 正比例的으로 增加하였으나 이에 반하여 Ca 處理에 의해서는 減少되었다.

2. 畚土壤에서의 Sr⁹⁰ 存在形態는 土壤統에 따라서 차이가 있으나 평균적으로 置換性이 59.3%, 水溶性이 28.6%, 非置換性이 12.6%로 나타났다.

3. 非置換性形態로 전환되는 Sr⁹⁰ 量은 Illite 含量이 높고 Vermiculite 含量이 적은 土壤에서 높았다.

4. 土壤에 吸着된 Se⁹⁰의 形態中 水溶성과 置換性

Sr⁹⁰의 脫着量은 土壤 pH와 置換性鹽基 含量의 增加에 따라 減少하였고 有機物과 粘土含量의 增加에 따라서는 增加하였다.

引 用 文 獻

1. Borland, J.W. and Reitemeier, R.F. 1950. Kinetic exchange studies on clays with radioactive calcium. *Soil Sci.* 69, 251~260.
2. Graham, E.R. and Killion, D.D. 1962. Soil colloids as a factor in the uptake of cobalt, cesium and strontium by plants. *Soil Sci. Soc. Proc.* 545~547.
3. Juo, A.S.R. and Barber, S.A. 1970. The retention of strontium by soils as influenced by pH, organic matter and saturation cations. *Soil Science.* 109(3). 143~148.
4. 金在成, 林秀吉. 1986. 畚土壤에서 Cesium-137 吸·脫着에 關한 研究. 韓國土壤肥料學會誌, 19(2), 115~121.
5. 林秀吉, 金在成, 李榮日. 1986. 畚土壤에서 水稻의 Strontium 90 吸收와 水稻體內 分布. 韓國環境農學會誌. 5(1), 48~54.
6. McHenry, J.R. 1958. Ion-exchange properties of strontium in a calcareous soil. *Soil Sci. Soc. Proc.* 514~518.
7. Mitsui, S. and Tensho, K. 1958. Behaviour of fission products in the system of soil and plant with special reference to Sr and Cs. *J. Sci. Soil Manure, Japan.* 29(11), 510~520.
8. Nishita, H., Kowalewsky, B.W., Steen, A.J. and Larson, K.H. 1956. Fixation and extractability of fission products contaminating various soils and clays: I. Sr⁹⁰, Y⁹¹, Ru¹⁰⁶, Cs¹³⁷, and Ce¹⁴⁴. *Soil Sci.* 81, 317~326.
9. Nishita, H., Steen, A.J. and Larson, K.H. 1958. Release of Sr⁹⁰ and Cs¹³⁷ from vana loam upon prolonged cropping. *Soil Sci.* 86, 195~201.
10. Rhodes, D.W. 1957. The effect of pH on the uptake of radioactive isotopes from solution by a soil. *Soil Sci. Soc. Proc.* 21, 389~392.
11. Roberts, H. and Menzel, R.G. 1961. Availability of Exchangeable and nonexchangeable strontium-90 to plants. *Agri. and Food chem.* 9(2). 95~100.
12. Schulz, R.K., Overstreet, R. and Babcock, K.L.

1958. On the chemistry of radio-strontium. *Hilgardia*. 27(13), 333~342.
13. Spalding, B.P. 1980. Adsorption of radiostrontium by soil treated with alkali metal hydroxides. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44, 703~709.
14. Tensho, K., Yeh, K. and Mitsui, S. 1959. The uptake of Sr-90 and Ca by lowland and upland rice from soil and their distribution in the plants. *J. Sci. Soil Manure, Japan*. 30, 83~89.