

## <sup>40</sup>K을 이용한 畚土壤의 加里 供給力 測定法 研究

金 台 淳

生理營養學研究室

原子力廳 放射線農學研究所

### A Study on the determination of the potassium supplying power of paddy soils by <sup>40</sup>K application

TaiSoon Kim

Plant nutrition and physiology laboratory,  
Radiation Research Institute in Agriculture,  
Office of Atomic Energy

#### Summary

Based on the concentration of <sup>40</sup>K naturally occurring radioisotope of potassium, a method for the determination of total potassium in soils and plants was developed.

The method was extended to evaluate the potassium supplying power of soils by taking the ratio of exchangeable potassium to total potassium ( $K_{ex}/K_t$ ), termed the potassium buffering capacity.

Using this as index, it was observed that the release of potassium from soil follows the first order reaction.

A linear relationship was found between the potassium buffering capacity and the release constant of potassium or mica content of the clay. Similarly the potassium buffering capacity was also closely correlated with total uptake of potassium by rice plant.

Hence it is concluded that the method for determining of the potassium buffering capacity could be well applied to characterize the potassium availability of soils.

The method for the determination of potassium is characterized by (1) The efficient measurement of the weak beta activity emissions from the samples, (2) identification of <sup>40</sup>K, (3) calculation of total potassium content using the proportional constant of <sup>40</sup>K of samples to that of the standard.

Difference in the potassium supplying power of soils due to soil types was also evaluated with the use of this technique.

The degree of the potassium supplying power was in the order of soil types as red-yellow podzolic and lateric soils, basaltic materials(Rvd) > low-humic gley and alluvial soils, alluvial plains and flood plains(Apa) > low-humic gley soils, nearly level to sloping local alluvial plains and slopes(Afb) > low-humic gley and alluvial soils, fluvio-marine plains (Fma).

## I 結 論

水稻栽培에 있어서加里施肥量을決定하는 데는土壤의加里供給力을正確,迅速하게把握하여야한다. 現在우리나라에서는加里의施肥量決定에 앞서 1N-NH<sub>4</sub>Ac 可溶置換性加里의多少를相對的으로比較하고 있는데土壤의置換性加里含量만으로는加里供給力을正確하게評價하기가어렵다.

土壤中에서加里의여러가지形態間的平衡概念은이미確固해졌거나非置換性加里가加里의平衡에있어서重要な役割을하고있다는것도잘알려져있다.

그러므로加里供給力의評價는置換性加里의含量과아울러그置換性加里가作物에依해吸收除去되었을때非置換性加里의放出速度또는平衡到達時間이考慮되어야한다.

非置換性加里가作物에依해吸收되는量은作物의生育段階에따라각기다르다水稻의경우生育後期에갈수록非置換性加里를더吸收하는것으로 밝혀지고 있다. 그러므로非置換性加里의放出能力이正確히把握되어야한다. 그런데非置換性加里의定量法은아직滿足할만한方法이없이現在非置換性加里를定量하는代身에이固相과平衡狀態에있는土壤溶液의濃度を間接的으로測定하고있으나加里濃度は土壤의有効加里含量과는直接的인關係가없는것으로알려져있다. 따라서土壤溶液의加里濃度만을間接的으로測定한다는것은別로意義가없다.

以上の事實을감안하여非置換性加里의供給力을直接測定하는것이合理的이라生覺되었기에<sup>40</sup>K의自然放射能을利用한全加里定量法과置換性加里와非置換性加里의放出能力을同時에考慮한Quantity-Intensity (Q/I) relationships概念을導入하여加里의供給力을測定해보았다. 그結果加里供給力은土壤의加里放出速度,土壤中の粘土含量,雲母含量,및水稻의加里吸收量과는高度의相關關係가있음이 밝혀졌다. 따라서이Q/I方法은加里供給力을評價하는尺度가될수있을것이라生覺되어그測定法을報告하고자한다.

## II 研究 史

土壤中에있는加里의化學的形態는水溶性加里置換性加里및非置換性加里로區分되며이

를相互間에는動的平衡을이루고있다.<sup>10,41</sup> 이같이平衡狀態에있는水溶性加里가作物에依하여吸收除去되거나加里鹽類가添加되면土壤溶液의加里濃度は變化하여따라서그平衡은깨어지며放出또는固定機作에依하여다시原狀으로復元된다.<sup>5,6,24,40,108</sup>

加里平衡은鑛物の風化程度, 1次鑛物과粘土鑛物の種類및그量에따라다르며<sup>32</sup> 또한土壤水分<sup>32</sup>, 溫度,<sup>9,21,22,50,66,89,92,97</sup> pH<sup>8,9,67,101</sup> 등에依해서도크게影響을받는다.

土壤溶液에溶解된水溶性加里와粘土粒子的外部表面에附着된加里사이에는迅速하고繼續的인交換反應이이루워진다.<sup>17</sup> Tendille들이<sup>83</sup> <sup>42</sup>K를利用한同位元素稀釋法을使用하여加里移動性を研究한바粘土表面에서土壤溶液에의K<sup>+</sup>이온의移動(또는反對方向에의移動)은平衡狀態에서도持續된다.

置換性加里의大部分은두께가50~100Å인擴散二重層의가장깊은內部層또는Stern layer에存在한다.<sup>17</sup>

粘土粒子周邊의이온分布에關한Gouy-Chapman理論에<sup>25,39</sup>依하면粘土粒子周圍의이온分布는陽이온과粘土粒子的陰이온間的靜電氣的引力과이온의熱運動으로表面에서離脫되어水中에移動하려고하는힘이作用하고있으며이相反된힘의均衡狀態에서粘土表面에擴散二重層이形成되어均衡이破壞되었을때陽이온은有効空間에擴散하는傾向이있다.加里이온은擴散二重層內外에서같은速度로移動하므로土壤溶液中의이온과擴散二重層안에있는이온은作物에對한有効도가같은것이다.<sup>38</sup>

Illite나雲母類에있는天然加里및固定加里는擴散에依하여置換性加里와數週또는數個月間에걸쳐比較的徐徐히이온交換反應이일어나平衡을이룬다.<sup>17</sup>

土壤中에있어서加里固定은土壤에存在하는2:1型鑛物の結晶格子層間에일어난다.固定에關與하는主要鑛物은花崗岩,結晶片岩 등의風化土에서는Vermiculite, Hydrobiotite (Vermiculite와Illite와의混層鑛物)이며海成沖積土에서는Illite-montmorillonite이다.<sup>82</sup> 土壤中에서는이밖에Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>나Ca(OH)<sub>2</sub>가添加되거나珪酸鹽으로써加里가添加되었을때는加里固定은增加된다.<sup>82</sup>

Frap은<sup>39</sup>作物에依하여利用되는土壤의加里

給源을加里形態別로研究한結果作物은置換性加里뿐만아니라非置換性加里도利用하고있음을알았다.其後여러研究에依한非置換性加里吸收實驗結果도모두다Frap의結果와一致하였다.

Chandler는<sup>27)</sup>New York의代表土壤에對한加里供給力을研究한結果어느土壤에서는連作에서도加里缺乏을일으킬程度로置換性加里가急激하게減少하였으나다른土壤에서는6連作을했음에도不拘하고土壤의置換性加里가比較의 높은水準을一定하게維持하고있음을報告하였다後者의土壤은加里供給力이 높으며作物은非置換性加里가直接 또는置換性加里로轉換된다음多量吸收한것으로生覺했다.

非置換性 가리의放出量은作物別加里要求量에 따라 다르다.<sup>22,31,74,75,88)</sup>Gholstone들이<sup>43)</sup>粟에對하여實驗한結果非置換 가리의寄與는全加里吸收量の52~87%였고,Evans들이<sup>36)</sup>依하면alfalfa의 경우에는31~76%였다는報告다.우리나라水稻에對한實驗結果를金이<sup>84)</sup>調査한바에依하면21~79%였다.

末風화된1次鑛物안에 있는加里는環境要因과生物의活動強度에依하여不可逆적으로K<sup>+</sup>이온을放出한다.<sup>17)</sup>

Rouse들이<sup>80)</sup>土壤粒子の粒徑에따르는加里供給力에關한研究結果에依하면加里供給力の切半이微砂와모래部分에起因한다고했고Merwin들은<sup>73)</sup>土壤加里의置換程度는모래에서는작고微砂에서는15~50%,粘土에서는40~80%였다한다.

Mortland들은<sup>77)</sup>黑雲母를0.1N-NaCl로浸出した니浸出初期에는粒徑이큰粒子보다微細粒子로부터加里가더많이溶出除去되나後期에는큰粒子에있어서도微細粒子에못지않게除去되며그리고溶出된全量の比較는큰差異가없었다고한다.

末風화된鑛物에서의加里의放出速度는置換性加里 또는非置換性 가리의現存量과는無關한것이며그放出量은年間0~448 kg/ha이나된다.<sup>17)</sup>

末風化 가리의放出은長石類나白雲母는 적은편이고黑雲母에서相當量이放出되는데이放出은어느一定過程이 지나면土壤化作用이進行됨에따라緩慢해진다하지만熟成된土壤에서는鑛物分解에依한加里放出은別로큰意義가없는것으로알려져있다.<sup>28)</sup>

非置換性 가리의放出速度는土壤의粘土含量<sup>4,6,22,68,72,94)</sup> 및粘土中の加里含量<sup>22,88)</sup>에比例하며,또置換性 가리의어느時點에서의含量과그들間의平衡值와의差에比例한다.<sup>71,93,94)</sup>固定加里의放出은乾燥<sup>10,14,22)</sup> 또는加熱에<sup>21)</sup>依하여促進된다.

Tucker는<sup>100,101)</sup>Illite에서의加里의放出은可逆的이며또平衡溶解度는그交換系의pH에만依存하는것이며鑛物의風化度는固定加里放出과는無關하다고한다또한그는<sup>102,103)</sup>陽이온의加里置換能은그陽이온의크기에달려있고陰이온들은加里放出에아무런影響을주지않는다고한다.

雲母類粘土에서Ca<sup>2+</sup>와같은陽이온이內層加里와置換할때에는雲母의內層空間이增加되므로加里가밖으로擴散하기쉽게된다.<sup>14,77)</sup>

우리나라에서는畚土壤의有効加里를檢定하는데IN-NH<sub>4</sub>Ac法을使用하고있으나水稻栽培實驗結果에依하면土壤의有効加里와水稻의加里吸收量과는一定한傾向이없기때문에NH<sub>4</sub>Ac法만으로는加里供給力을評價할수없다고한다.<sup>53)</sup>

또한外國에있어서도NH<sub>4</sub>Ac法이널리使用되고있는데NH<sub>4</sub>Ac法으로浸出した置換性加里와作物의加里効果는高度의相關關係가있는경우도<sup>14,40)</sup>있지만全혀없는경우도있다.<sup>23)</sup>

Matthews들은<sup>71)</sup>NH<sub>4</sub><sup>+</sup>이온에依하여交換浸出되어나오는加里濃도와自然狀態의交換平衡에있어서土壤溶液中의加里濃도와는서로반드시같지않다면서NH<sub>4</sub>Ac法은交換平衡에있어서의K<sup>+</sup>이온量의變化를正確하게測定할수는없다고했다.

이밖에加里供給力測定方法으로서Neubauer technique<sup>86,87)</sup>爲始한作物栽培法<sup>16,26,27,65)</sup>과HNO<sub>3</sub>法,<sup>86,89)</sup>HCl法,<sup>8,89)</sup>H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>法,<sup>55)</sup>percolation<sup>70)</sup>電氣透析,<sup>11)</sup>陽이온交換樹脂法<sup>12,49,96)</sup> 등이있으나이와같은方法들은모든土壤類型에適用할만한一般的인方法은되지못한다.Nelson은<sup>81)</sup>이것은土壤集團의heterogeneity와土壤의膠質特性差에起因한다고한다.

現在加里의動力學的인見地에서본加里供給力の評價基準<sup>17,28,33,87,88)</sup>으로서(1)어느瞬間에있어서의有効加里濃度(2)加里平衡이깨어졌을때非置換性加里로부터의放出速度등을考慮에넣은이온交換法이<sup>18,19,71,106)</sup>가장合理的

인 것으로 알려졌다. 이 이온 교환법은 土壤中の加里와 dominant cation (普通 Ca를 使用)과의 交換反應에 關與하는 exchange energy를 測定하여加里 供給力을 評價하는 方法이다. 즉 Woodruff<sup>106)</sup> Arnold는<sup>7)</sup> 土壤의 加里 供給力을 評價하는데 加里의 有効度를 free energy의 函數로서 規定짓고 있다.

Woodruff는 各種 土壤의 固相과 平衡 狀態에 있는 土壤 溶液 中の  $K^+$ ,  $Ca^{+2}$ 의 溶存量을 基礎로 하여 그 土壤에서의 置換性 Ca와 K 交換에 따르는 free energy의 變化를 求한바 있다. 그러나 Duthion<sup>83)</sup>에 依하면 free energy의 變化와 作物의 加里 吸收 間에는 高度의 相關 關係가 있는 경우와 없는 경우가 있어 그 傾向이 一定치가 않다.

Schofield는<sup>90)</sup> Donnan 膜 平衡 理論에 基礎를 두어 이온 交換體에 附着된  $K^+$   $Ca^{+2}$ 와 土壤 溶液 사이의  $K^+$ ,  $Ca^{+2}$  分布 理論을 發展시켜 ratio law를 提案하였다. ratio law에 依하면 土壤의 膠質 二重層안에 있는  $K^+$ ,  $Ca^{+2}$ 의 濃度는 土壤 溶液의 組成 變化에는 無關하며 粒子 表面에 있는 이들 이온의 相對量 (濃度比 또는 活量比)에 依存한다.

Beckett는<sup>18,19,20)</sup> Woodruff와 Schofield 概念을 基礎로하여 土壤의 加里 供給力은 平衡 前後에 있어서의 置換性 加里 含量差(Quantity, Q)와  $Ca^{+2}$  또는  $Ca^{+2}+Mg^{+2}$ 에 對한  $K^+$  이온의 活量比(Intensity, I)로서 決定된다고 하였다. 活量比는 石灰質 土壤에서는  $aK^+/\sqrt{aCa^{+2}}$ , Mg이 많은 土壤에서는  $aK^+/\sqrt{aMg^{+2}}$ , alkali 土壤에서는  $aK^+/aNa^+$ , 酸性 土壤에서는  $aK^+/aH^+$  또는  $aK^+/\sqrt[3]{aAl^{+3}}$ 로 表示된다.<sup>79)</sup>

Schofield는<sup>91)</sup> 活量比와 有効 養分量과의 關係에서 養分 給源 中の 有効量 變化에 따르는 活量比의 變化를 養分 Buffering Capacity라 했다. 이것은 土壤을 통한 擴散移動 程度를 表示하는 것이다.

Craig는<sup>29)</sup> Schofield의 Buffering Capacity 概念을 (1)置換性 加里에서 水溶性 加里의 buffering (2)非置換性 加里 給源에서 置換性 加里의 buffering 二段階로 分類해서 生覺했다.

이온 交換法에 依한 加里 供給力 評價는 土壤 溶液의 組成과 濃度 範圍가 限定되어 있고<sup>79)</sup> 또한 Ca 含量이 많은 土壤에서는 適用하기가 困難하다고 한다.<sup>18)</sup>

Woodruff와 Beckett 方法은 모두 다 植物에 對한 活量比의 生理的 意義는 考慮되고 있지 않다.<sup>33)</sup>

活量比를 使用하여 加里의 供給力 評價를 試圖

한 作物 栽培 實驗 結果는 一定치 않다. Nafady는<sup>79,80)</sup> Denmark 土壤에 對해서는 活量比에 依한 評價法이 適用되나 Wild등에<sup>104)</sup> 依하면 加里 吸收는 土壤 溶液의 活量比 보다는 土壤 溶液의 加里 濃度에 달려 있다고 한다. 따라서 活量比의 適用 可能性을 完全히 把握하는데는 더 많은 實驗이 必要한 實情에 있는 것이다.

全 加里는 強酸 分解 浸出이나 熔融法을 使用하고 있으나 加里의 供給力 測定을 爲한 常法으로 使用 할만한 方法은 없다.

天然 加里에는 放射性 同位體로서  $^{40}K$ 이 含有되어 있다.  $^{40}K$ 의 同位體 存在比는 一定하므로<sup>83)</sup> 天然 加里中の  $^{40}K$ 의 放射能을 測定하여 全加里를 定量할수 있는 것이다.

Barnes등은<sup>13)</sup> 이와같은 點을 着案하여  $^{40}K$ 의  $\beta$ 線을 利用한 加里 鹽類 中の 加里 含量을 처음 求하였다. 其後  $^{40}K$ 의  $\beta$ 線을 利用하여 鑛石,<sup>42)</sup> 硝子,<sup>15)</sup> 肥料,<sup>52,105)</sup> 食品中の 加里定量法에<sup>64)</sup> 關한 研究가 試圖되었다.

土壤中에는  $^{40}K$  以外에  $^{238}U$ ,  $^{232}Th$ ,  $^{87}Rb$ , 核分裂 生成物等 여러 放射性 核種이 含有되어 있어 간단히  $^{40}K$ 의  $\beta$ 線만을 測定하기가 困難하므로 土壤과 作物體에 對해서는 別로 試圖된바 없다.

### III 材料 및 方法

#### 1. 土壤 :

母岩 및 地質 系統 別로 採取한 畚 土壤 表土를 風乾 시킨 後 2mm 以下の 細土를 試料로 하였다. 試料의 採取 地域 및 土壤의 特性은 表 7에 記述되어 있는 바와 같다.

#### 2. 試料의 採取 :

水稻體에 依한 加里 吸收量을 比較기 爲하여 加里 肥効가 큰것으로 알려진 玄武岩質<sup>61)</sup>로된 全谷의 水稻 展示 圃場 및 加里 肥効가 낮은 片麻岩質의<sup>61)</sup> 白石의 水稻 展示 圃場에서 生育한것을 試料로 하였다.

水稻體는 그 生育 時期別로 各各 7月 19日, 8月 20日, 9月 9日, 9月 28日 즉 4회에 걸쳐 採取하였고 한편 土壤 試料는 水稻體 採取時 마다 根圈 土壤을 採取하여 이를 바로 風乾, 分析用 試料로 하였다.

水稻의 供試 品種은 두 土壤 모두 다 振興을 使用하였으며 栽植密度는 27cm×15cm, 加里 施肥量은 10 kg/10a 였다.

#### 3. 置換性 加里 定量 :

風乾 細土 10 gr.에 IN-NH<sub>4</sub>Ac (pH 7) 100 ml를 加하여 往復 振盪器로 30分間 振盪한 다음 浸出液을 遠心 分離하고 上澄液의 加里 濃度を 原子 吸光 焰光 光度計 (Jarrell Ash, AA-1E型)로 測定하였다.

#### 4. 加里 放出 速度 測定 :

風乾 細土 20 gr.에 1N-NH<sub>4</sub>Ac (pH 7) 100 ml씩 各各 5回 添加하여 往復 振盪器로 每回 0.5, 1, 3, 6, 10分 間씩 振盪 時間을 늘리면서 振盪한 다음 每回 마다 浸出液을 遠心 分離하고 上澄液의 加里 濃度を 方法 3과같이 測定하여 加里 放出 速度 (ppm/min)를 求하였다.

#### 5. 粘土 鑛物의 分析 :

風乾細土로 부터 2 $\mu$  以下의 粘土를 分離하는 操作은 常法에 準하였으며 粘土 鑛物 分析은 X-ray diffractometer (島津 GX-3型)를 利用하였다. X-ray diffractometer의 測定 條件은 銅對陰極 X線管, Ni-filter, 30 kV, 10 mA, slit 幅 0.4~1 mm, 走査 速度 2 $\theta$ /分, 記錄計 速度 2 cm/分으로 하였다.

粘土 鑛物 組成의 定量은 標準 粘土 鑛物의 混合物를 만들어 X線 廻折 Spectrum의 總體의 強度 比를 求하고 이로부터 7.2Å, 10Å, 14.5Å 鑛物의 組成 百分率을 求하였다.

#### 6. <sup>40</sup>K을 利用한 土壤 및 水稻體의 全加里 定量

土壤 또는 作物體의 全加里를 定量하는 常法은 分析 試料의 分解 或은 其他 物理 또는 化學的 處理에 많은 時間이 걸릴 뿐만 아니라 定量法의 熟練度 沈澱組成의 不均一, 沈澱의 再溶解, 共存 이온의 影響 等에<sup>56)</sup> 依한 正確度の 低下 等 여러 가지 어려운 問題를 考慮하여 著者는 <sup>40</sup>K을 利用한 全加里의 迅速 定量法을 試圖해 보았다.

##### (1) 微量의 <sup>40</sup>K β線의 計測用 試料調製

試料 中の <sup>40</sup>K 含量은 微量이므로 計測의 正確度를 높여야한다. 그래서 計數率을 增加하기 爲하여 試料를 多量으로 取했고 그 調製는 土壤 試料의 경우 風乾 細土를, 水稻體 試料는 70~80°C에서 8時間 乾燥시켜 振動 粉碎器(Siebtechnik, T-100型 橫山工株)에서 200 mesh의 粉末로 해서 油壓 電動式 Briquetting press(島津, MP-30型)의 press head (直徑 35mm)안에 粉末試料 6 gr.를 넣고 10~20ton의 壓力에서 1~2分間 加壓하여 Briquette로 成型했다.

##### (2) β線 計測器 및 微量 β線 計測法

計數 裝置 로는 Scalar (Tracerlab, transistorized model 132 MA type)와 廣面積의 端窓型 GM 計數

管(雲母窓 有效徑 50mm, 窓厚 2.6mg/cm<sup>2</sup>)을 使用하였다. (그림 1). GM 計數管의 雲母窓과 Briquette 試料 間의 空氣層에 依한 β線의 吸收를 되도록 減少 시키고자 雲母窓 近接 測定을 試圖하였다. 즉 Briquette 試料를 O ring 위에 接着시킨 두께 6 $\mu$ 의 mylar 위에 언진 다음 이것을 雲母窓위에 놓고 計測하였다. (그림 2)

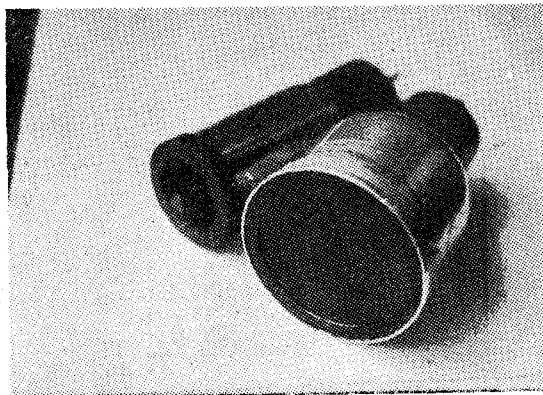


Fig. 1 The large end window GM tube is used to measure weak  $\beta$  activity of <sup>40</sup>K

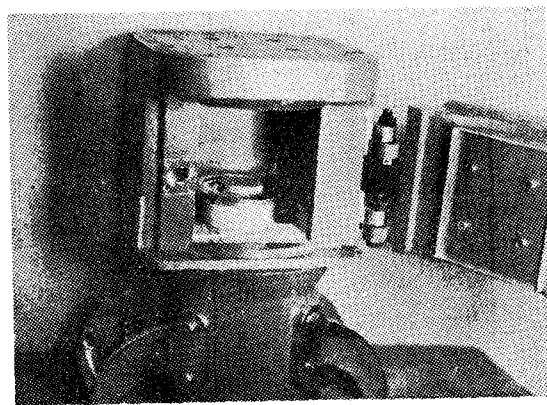


Fig. 2 The briquette sample was arranged to the closest distance to the mica window

##### (3) <sup>40</sup>K의 同定

<sup>40</sup>K의 β線의 質量 吸收 係數를 測定하기 爲하여 標準 物質로서 KCl, K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, K<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub>, KNO<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>Fe(CN)<sub>6</sub>, K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>, K<sub>2</sub>Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>4</sub>를 使用하였다. 한편 <sup>40</sup>K 質量 吸收 係數 測定 方法의 正確度를 檢定하기 爲하여 <sup>40</sup>K 以外에 <sup>45</sup>Ca, <sup>36</sup>Cl, <sup>32</sup>P, <sup>42</sup>K 等에 對해서 도 質量 吸收 係數를 實驗的으로 測定하고 Gleason의 質量 吸收 係數와 β線의 最大 energy 關係式<sup>45)</sup>으로 부터 求한 理論值과 比較하였다. (表 4)

(4)  $^{40}\text{K}$ 의  $\beta$ 線 飽和 計數率에 의한 全加里의 定量

飽和 放射能은 試料의 全加里 含量에 比例하므로 比例 常數  $a$ 와 試料의  $^{40}\text{K}$  飽和 計數率  $A_{\infty}$ 로 부터 다음의 (1) 式에 依하여 全加里 含量을 計算하였다.

$$\% K = a A_{\infty} \quad (1)$$

比例 常數는  $^{40}\text{K}$  標準試料 中の 加里 含量과 飽和 計數率과의 關係 ( $a = ^{40}\text{K}$  標準試料의 加里含量 /  $^{40}\text{K}$  標準試料의 飽和 計數率)로 부터 求하여 진다.

그리고 이 方法으로 求한 加里 含量을 焰光分析 方法으로 定量한 加里의 含量과도 比較하였다. (表5).

## IV 結 果

### 1. $^{40}\text{K}$ 을 利用한 全加里의 定量

#### (1) $^{40}\text{K}$ $\beta$ 線의 計測 效率

試料中에 微量으로 含有된  $^{40}\text{K}$   $\beta$ 線을 效率적으로 計測하고자 廣面積 端窓型 GM 計數管을 使用하여 試料를 Briquette 로 만들어 近接 計測을한 計測 效率을 一般 計測法과 比較했다. (表 1).

Table 1. Counting efficiency of beta activity of  $^{40}\text{K}$  in KCl

activity* (dpm)	observed count** (cpm)	efficiency*** (%)	type of detector	distance (mm)	diameter of sample
2709	98.0	20.0	1. GM tube (TGC-2, Tracerlab)	10	27 mm KCl briquette
"	155.0	31.6	2. the same type as the type 1	1	"
"	217.1	44.2	3. large window GM tube (5006 type, Aloka)	0.5	"
"	214.4	43.7	4. low background beta counter (Beckman)	—	"
"	152.0	31.0	5. Carbon Counter (TGC-14, Tracerlab)	—	"
"	161.8	33.0	6. 2 pi gas flow counter (D-47 Nuclear Chicago)	—	"
"	176.5	36.0	7. Internal proportional counter (PC-3A, Nuclear Measurement Corp.)	—	"
"	444.2	49.4	8. the same as the type 3	0.5	35 mm KCl briquette

\*  $^{40}\text{K}$   $\beta$  disintegration rate is calculated from the Suttle's value (29.6 dps  $\beta^-$ /gr K).

\*\* Counting error is 1% as the nine tenths error.

\*\*\* efficiency is calculated after self absorption correction.

Table 2. The fraction of the maximum activity and the mass absorption coefficient of  $^{40}\text{K}$

Salt	weight(gr)	thickness (mg/cm <sup>2</sup> )	activity, cpm*		The fraction of the maximum activity (A/A <sub>∞</sub> )	mass absorption coefficient (cm <sup>2</sup> /mg)
			A	A <sub>∞</sub>		
KCl	1.0	104.1	287.8	445.5	0.646	0.0099
KCl	1.5	156.2	348.4	445.5	0.782	0.0097
KCl	2.0	208.2	396.4	445.5	0.889	0.0105
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1.0	104.1	239.5	362.3	0.661	0.0103
K <sub>2</sub> CrO <sub>4</sub>	1.0	104.1	214.7	331.2	0.648	0.0100
KNO <sub>3</sub>	1.0	104.1	209.0	320.0	0.653	0.0101
K <sub>4</sub> Fe(CN) <sub>6</sub>	2.0	208.2	258.2	291.3	0.886	0.0104
K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	1.0	104.1	137.3	210.2	0.653	0.0101
K <sub>2</sub> Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>4</sub>	1.5	156.2	57.4	71.0	0.808	0.0105
						Av. 0.0101 ± 0.0003

\* 1% error of the nine tenths error

(2) <sup>40</sup>K의 同定

<sup>40</sup>K 標準 物質을 使用하여 <sup>40</sup>K β線의 質量 吸收 係數 測定 結果는 表 2에 表示한바와 같이 0.0101 cm<sup>2</sup>/mg 이 었다.

土壤의 β放射能의 質量 吸收 係數와 <sup>40</sup>K 標準試 料의 β線 質量 吸收 係數를 比較하여 보면 서로

一致하였다. (表 3) 또한 <sup>40</sup>K 을 包含한 몇가지 β放 射體의 質量 吸收 係數를 Gleason의 質量 吸收 係數와 β線의 最大 energy 關係式<sup>45)</sup>으로 부터 計算 한 값과 飽和 放射能 比로 부터 質量 吸收 係數를 求한 값의 比較를 表 4에 表示했다.

**Table 3.** The fraction of the maximum activity and the mass absorption coefficient of beta activity in soils

parent material of soil	activity, cpm*		the fraction of the maximum activity (A/A <sub>∞</sub> )	mass absorption coefficient (cm <sup>2</sup> /mg)
	A	A <sub>∞</sub>		
granite	33.0	57.4	0.575	0.0101
gabbro	22.1	39.0	0.566	0.0098
diorite	25.0	42.0	0.595	0.0107
porphyry	26.5	46.0	0.576	0.0101
basalt	22.8	41.2	0.555	0.0096
porphyrite	28.0	49.6	0.564	0.0098
Silla series	24.0	41.0	0.585	0.0104
schist	34.9	59.9	0.584	0.0103
gneiss	31.9	56.6	0.563	0.0098
lime stone	28.2	50.8	0.557	0.0096
tuff	27.9	47.5	0.588	0.0105
				Av. 0.0100±0.0003

\* 1% error of the nine tenths error

**Table 4.** Mass absorption coefficients of beta emitters

nuclide	E <sub>max</sub> (Mev)	mass absorption coefficient		difference (%)
		observed	calculated*	
<sup>45</sup> Ca	0.254	0.117	0.120	2.5
<sup>36</sup> Cl	0.714	0.026	0.027	3.7
<sup>40</sup> K	1.33	0.010	0.010	0
<sup>32</sup> P	1.70	0.008	0.008	0
<sup>42</sup> K	3.55	0.003	0.003	0

\* Gleason's equation ( $\mu=0.017_{\lambda} E_{max}^{-1.43}$ )

**Table 5.** Comparison of <sup>40</sup>K contents with <sup>40</sup>K and flame method

Sample No.	plant (%)		Sample No.	Soil (%)		Sample No.	Clay (%)	
	<sup>40</sup> K	flame		<sup>40</sup> K	flame		<sup>40</sup> K	flame
1	2.0	1.9	11	3.0	3.1	21	2.5	2.5
2	2.0	2.1	12	3.0	2.9	22	2.7	2.4
3	1.5	1.5	13	4.1	4.1	23	2.5	2.3
4	1.9	2.0	14	2.7	2.6	24	2.6	2.5
5	1.2	1.2	15	2.3	2.3	25	2.6	2.4
6	1.7	1.8	16	3.7	3.5	26	1.8	1.8
7	1.9	1.9	17	2.8	3.0	27	2.0	1.9
8	1.8	2.1	18	4.9	5.2	28	2.9	2.8
9	2.5	2.6	19	4.0	4.2	29	2.7	2.9
10	1.8	1.8	20	2.2	2.2	30	2.9	2.9

Table 6. Accuracy of <sup>40</sup>K radiometric method

Salt	% K		difference	C.V. (%)
	theoretical	observed		
KCl	52.44	52.4	-0.04	0.07
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	44.87	44.5	-0.37	0.83
KNO <sub>3</sub>	38.67	38.7	+0.03	0.07
K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	26.57	26.4	-0.17	0.64
K <sub>2</sub> Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>4</sub>	8.24	8.4	+0.16	1.90

이경우도 觀測値와 計算値가 一致했다.

(3) 加里의 定量 및 正確度

土壤, 粘土, 水稻體의 加里 含量을 <sup>40</sup>K β線을 利用하여 定量한 값과 焰光法으로 定量한 값을 比較하여 본 結果는 表 5와 같이 두 方法사이에 有意差가 없었다. 또한 加里 鹽類中の 加里 理論 含量値와 <sup>40</sup>K β線을 利用한 이들 鹽類의 加里 定量 結果를 比較하여 보면 表 6에서 알수 있듯이 <sup>40</sup>K β線을 利用한 加里 定量法은 이들 理論値에 相當히 接近했다.

2. 土壤의 加里 含量 및 그의 放出 特性

土壤의 加里含量과 加里의 放出 定數를 粘土의 分析 結果와 함께 表 7에 載었다. 土壤을 IN-NH<sub>4</sub>Ac로 浸出 時間을 달리하면서 連續 浸出해서 얻은 浸出液 中の 加里 濃度로부터 放出 速度를 求하여 (附表 1) 浸出 時間에 對한 放出 速度를 片對數紙에 圖示하여 보니까(그림 3) 指數 函數의 形式으로 減少하였다. 따라서 放出 定數는 1次 反應式에 依하여 求했다.

土壤으로부터 抽出한 置換性 加里의 含量은 35~128ppm 範圍안에 있는데(表 7) 이는 土壤 類型이나 母材의 種類에 따라 一定한 傾向은 없다.

土壤中の 全加里 含量은 2.3~3.9%의 範圍인데 母材가 鹽基性岩이면 全加里의 含量은 적어진다. 土壤中の 粘土 含量은 2.3~52.0% 範圍안에 있으며 이를 母材別로 보면 結晶 片岩質로된 報恩 土壤이 적은 편이고 玄武岩質로된 全谷 土壤이 가장 컸다.

土壤中の 雲母 含量은 0.7~21.8%이며 亦是 全谷 土壤에서 컸고 報恩 土壤에서 적었다.

土壤 類型 別로 加里 放出 定數, 土壤中の 粘土 및 雲母 含量을 全加里 含量과 같이 綜合하여 보면 粘土 鑛物 組成은 大體로 14.5Å 鑛物, 雲母, Kaolinite 順으로 높다. 土壤中에서나 粘土 組成中の 雲母 含量은 玄武岩質인 全谷 土壤(Rvd)에서 가장 많고 Kaolinite가 적는데 反하여 河海 混成 沖積土(Fma)에서는 Kaolinite가 가장 많고 雲母 含量은 적다.

Table 7. Potassium content, clay composition, and K release constant

Sample no.	location	soil symbol	parent material	K <sub>t</sub> (%)	K <sub>ex</sub> (ppm)	clay in soil (%)	clay composition, %			mica in soil (%)	K release constant (min <sup>-1</sup> )	K <sub>ex</sub> /K <sub>t</sub>
							7.2Å	10Å	14.5Å			
1	平澤	Fma	gneiss	3.2	70	4.1	52	31	17	1.3	0.96	22
4	插橋	Apa	granite	3.1	65	30.0	46	31	23	9.3	0.91	21
5	吾可	Apa	granite	3.6	90	24.2	31	36	33	8.7	0.82	25
12	報恩	Anb	schist	3.0	51	2.5	38	28	34	0.7	0.57	17
13	報恩	Afb	granite	3.5	70	3.8	40	33	27	1.2	0.73	20
14	外俗離	Apa	porphyry	2.8	42	9.0	30	26	44	2.3	0.55	15
15	春城	Apa	granite	3.0	45	15.1	38	28	34	4.2	0.61	15
18	富川	Fmc	gneiss	2.5	35	6.8	38	17	45	1.1	0.65	14
25	公州	Anb	porphyry	3.0	54	11.8	44	29	27	3.4	0.89	18
27	金泉	Apa	gneiss	3.3	76	2.3	47	31	22	0.7	0.98	23
28	永川	Apa	shale & sand stone	3.9	128	48.0	40	41	19	19.7	1.32	33
32	昌原	Apc	granite	3.3	92	20.2	46	32	22	6.4	1.04	28
33	金海	Fma	granite	2.9	55	20.4	46	25	29	5.1	0.76	19
36	金陵	Rad	granite	3.3	86	13.5	44	33	23	4.4	0.92	26



40	楊平	Rxa	granite	3.2	83	13.4	45	32	23	4.3	0.94	26
46	驪州	Apa	granite	3.0	75	19.7	57	29	14	5.7	1.20	25
58	全谷	Rvd	basalt	2.3	79	52.0	30	42	28	21.8	1.30	34
101	鎭安	Apa	shale & sand stone	2.8	45	15.5	38	26	36	4.0	0.62	16
108	光州	Ana	granite	2.9	61	18.9	42	28	30	5.3	0.91	21
109	和順	Anb	tuff	3.6	86	11.1	37	37	26	4.1	1.06	24
110	長興	Apb	gneiss	2.7	46	16.5	56	26	18	4.3	0.68	17
113	海南	Apa	porphyry	3.6	101	17.0	42	36	22	6.1	0.97	28

Table 8. Correlations between K release characteristics and soil clays

correlation Y	member X	number of sample	regression coefficient r	significancy	regression equation
mica content in soil	K release constant	22	0.738	※※	$Y = -10.24 + 18.00X$
mica content in clay	K release constant	22	0.781	※※	$Y = 13.69 + 19.67X$
14.5Å mineral in clay	K release constant	22	0.718	※※	$Y = 50.02 - 26.16X$

※※ : significant at 1% level

加里의 放出 定數는 雲母와 14.5Å 鑛物 含量과 높은 相關關係가 있다(表 8) 즉 雲母 含量이 많을 수록 加里의 放出 定數도 커진다.

그러나 14.5Å 鑛物의 含量과 加里 放出 定數와는 逆相關을 나타내고 있다.

3. 土壤의 加里 放出 特性和 水稻의 加里 吸收 全谷과 白石에서 栽培된 水稻의 生育時期別 加里 吸收量과 水稻體 採取 時의 根圈 土壤의 加里 含量 分析 結果는 表 9와 같다.

水稻의 加里 全吸收量은 白石 土壤에서 자란 水

Table 9. Amount of K uptake by rice and variation of K contents in soils

location	July 19			Aug. 20		
	K, kg/10a	Kex(ppm)	Kt (%)	K, kg/10a	Kex(ppm)	Kt (%)
全 谷	3.8±1.1	30	2.6	13.2±0.9	96	2.5
白 石	6.2±0.7	21	3.3	10.3±1.2	59	3.4
location	Sept. 9			Sept. 28		
	K, kg/10a	Kex(ppm)	Kt (%)	K, kg/10a	Kex(ppm)	Kt (%)
全 谷	17.0±1.6	100	2.6	19.2±0.2	93	2.4
白 石	17.7±1.9	91	3.5	17.9±1.2	80	3.3

稻가 17.9 kg/10a 인데 비해 全谷 土壤에서 자란 水稻는 19.2 kg/10a 이었다.

水稻 生育 時期別 土壤 中の 置換性 加里 含量은 두 地域 모두 7월 19일에 最低로 減少되었다가 漸次로 回復되는데 全谷 土壤에서는 8월 20日 부터 平衡 狀態를 維持하기 始作했고 白石 土壤의 平衡 到達 時期는 全谷 土壤 보다 늦어서 9월 9日 부터 였다.

土壤의 置換性 加里의 平衡 濃度는 全谷 土壤에

서 平均 96 ppm (8/20~9/28)였고 白石 土壤에서 平均 85 ppm (9/9~9/28)이 였다.

土壤의 全加里 含量은 全谷 土壤이 平均 2.5%, 白石 土壤이 平均 3.4% 였다. 다음 이들 土壤에 對한 水稻의 加里 吸收 速度, 非置換性 加里의 吸收量 및 置換性 加里의 回復 速度를 比較하였다(表 10).

水稻의 非置換性 加里의 吸收量은 全谷 土壤에서 자란 水稻가 加里 全 吸收量의 65%, 白石 土壤에서 자란 水稻가 64% 였다.

Table 10. K uptake and release characteristics in soils

location	amount of K uptake, kg/10a			K absorption rate, kg/10a/day	K recovery rate ppm/day	K release constant min <sup>-1</sup>
	total	Knonex*	Kex			
全 谷	19.2±0.2	12.6	6.6	0.21	0.22	1.05
白 石	17.9±1.2	11.4	6.5	0.16	0.10	0.42

\* Knonex=Kt-Kex

水稻體에 의한 加里의 日當 吸收量은 10a에 對하여 7月 19日부터 9月 28日까지 71日 동안에 全谷 土壤에서는 0.21 kg이 었고 白石 土壤에서는 0.16 kg이 었다.

置換性 加里가 最低로 減少되었던 7月 19日에 採取한 土壤을 6個月間 放置했다가 이동안에 回復된 置換性 加里의 濃度를 日當으로 表示하여 보면 全谷 土壤에서는 0.22 ppm이 었고 白石 土壤에서는 0.10 ppm이 었다.

### V. 考 察

#### 1. <sup>40</sup>K β線을 利用한 全加里의 定量

微量의 <sup>40</sup>K β線을 効率的으로 計測하기 爲하여 大型 GM 計數管을 選定하였고, 無限層 (Infinitely thickness layer) 試料를 Briquette化하여 計數率을 增加 하였으며, 計測 効率을 增加시키기 爲하여 試料 表面을 雲母窓에 0.5mm 까지 近接시켜서 計測하였다.

<sup>40</sup>K 標準試料로 여러 가지 形態의 檢出器 効率을 比較 (表 1) 해 보아도 直徑 50mm 大型 GM

計數管으로 近接 測定하는 것이 計測 効率が 가장 좋았다.

GM 計數管으로 <sup>40</sup>K β線을 計測할때에 試料 中에 含有되어있는 <sup>40</sup>K 以外의 다른 放射性 核種의 β放射能이 加勢될것이므로 充分히 檢討하여 試料의 β放射能이 <sup>40</sup>K의 β線만에 由來한것인지를 確認하여야 한다.

一般的으로 放射性 核種을 同定하는데는 β線 Spectrometer 로 β線의 energy 를 測定하여야 하는데 便宜上 最大 飛程이나 質量 吸收 係數를 測定하여 間接的으로 求한다.

最大 飛程 測定法으로는 알미늄 吸收板을 利用하는 Feather法을<sup>37)</sup> 비롯하여 여러 方法이<sup>46,51,58)</sup> 있으나 <sup>40</sup>K의 β放射能이 微量이어서 <sup>40</sup>K을 同定키 爲해서는 適當하지 않은 것이다.

따라서 著者는 <sup>40</sup>K의 β線을 同定하는 方法으로 β線의 飽和 放射能 現象을 利用하였다. 즉 β線의 自己 吸收 理論에<sup>3,107)</sup> 依하면 飽和 放射能比 A/A<sub>∞</sub>는 다음 (2)式으로 表示된다.

$$A/A_{\infty} = 1 - e^{-\eta t} \quad (2)$$

Table 11. Radioactivity of natural radionuclides in soils

nuclide	half life (year)	decay constant (sec <sup>-1</sup> )	actiyiy (μci/μg)	nuclide content in soil (μg/gr)	total actiyiy (μci/gr soil)
<sup>238</sup> U	4.51×10 <sup>9</sup>	4.87×10 <sup>-18</sup>	33.28	1	33.2
<sup>232</sup> Th	1.41×10 <sup>10</sup>	1.55×10 <sup>-18</sup>	10.89	6	65.3
<sup>40</sup> K	1.3×10 <sup>9</sup>	1.69×10 <sup>-17</sup>	6874.10	1.6	10998.5
<sup>87</sup> Rb	4.7×10 <sup>10</sup>	4.67×17 <sup>-19</sup>	8.73	17	148.4

A는 飽和되지 않은 어느 두께 t에 있어서의 計數率, A<sub>∞</sub>는 飽和 計數率, η는 β線의 energy에 따라 一定한 β放射體의 質量 吸收 係數이다. (2)式은 고쳐 쓰면 (3)式이 된다. 즉

$$\eta = \frac{1}{t} (1 - A/A_{\infty}) \quad (3)$$

따라서 試料 두께 t와 飽和 放射能比를 알면 η를 求할수 있다.

이와같이하여 <sup>40</sup>K의 β線 質量 吸收 係數와 試

料의 質量 吸收 係數를 比較해본 結果 表 3과 같이 土壤의 質量 吸收 係數는 <sup>40</sup>K의 값과 一致했다. 즉 土壤 試料의 β放射能은 모두 다 <sup>40</sup>K의 β線에 起因된 것임을 確認할수 있었다.

Altimov,<sup>2)</sup> Glaser의<sup>44)</sup> 報告에 依하면 生物 試料의 β放射能은 주로 <sup>40</sup>K에 起因한다고 한다. 金은<sup>60)</sup> 1968年度 우리나라 食品 38種 (이中的 35種은 農作物)의 灰分 試料의 β放射能을 分析해본 結果 93%以上이 <sup>40</sup>K에 依한것임을 報告하였다.

土壤, 作物體에 含有되어 있는  $^{40}\text{K}$  以外의 放射性 物質 存在 下에서  $^{40}\text{K}$   $\beta$  線만을 測定하려면 各 核種을 分離하여 이들 核種 別로 定量하는 것이 合理的인것 같이 生覺되기도하나 自然界에 存在하는 이들 放射性 物質은 核 特性이 서로 다를 뿐만 아니라 이들의 放射能 強度가 弱하기 때문에 放射能이 강한  $^{40}\text{K}$  만은 굳이 核種 分離를 하지 않더라도 全  $\beta$  放射能을 測定하여  $^{40}\text{K}$  의 放射能을 알아 낼수있다. 즉 土壤 中の  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$ ,  $^{87}\text{Rb}$  의 含量을<sup>38)</sup> 보면 表 11의 column 5와 같은데 이 資料를 가지고 이들 放射性 核種의 放射能을 計算하여 보면 表 11의 column 6과 같이  $^{40}\text{K}$  의 含量은  $^{232}\text{Th}$ 와  $^{87}\text{Rb}$  보다 적으나  $^{40}\text{K}$  의 放射能은 土壤 1gr 當 10998  $\mu\text{Ci}$  인데 比하여  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{87}\text{Rb}$  을 모두 다 合하더라도 不過 247  $\mu\text{Ci}$  로서  $^{40}\text{K}$  의 放射能이 44 倍나 強하다. 따라서  $^{40}\text{K}$  의 放射能만을 計測하기 爲하여  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{87}\text{Rb}$  의 放射能을 처음 放射能의 1/100 로 稀釋한다고 하면  $^{40}\text{K}$  은 109  $\mu\text{Ci}$  가되는데  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{87}\text{Rb}$  은 合해서 2.4  $\mu\text{Ci}$  로 減少된다. 가령 檢出 限界量 1 cpm 이 5.3  $\mu\text{Ci}$  에 該當하는 GM 計數管으로 計測할 경우에는  $^{40}\text{K}$   $\beta$  放射能만이 檢出될 것이며  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{87}\text{Rb}$  등은 設使 存在하더라도 放射能이 微量이기 때문에 檢出할수 없다. 이와같이 稀釋 操作으로  $^{40}\text{K}$  以外의 核種을 隱蔽하여 버리면  $^{40}\text{K}$  의  $\beta$  線만을 測定하게 된다. 그러나 實際로 稀釋하는 것이 아니라 試料를 非破壞 狀態인 原狀대로 使用하면 마찬가지로 일것이다. 즉 土壤을 浸出하거나 作物體를 灰化하면 放射性 核種이 濃縮되므로 試料를 風乾하여 그대로 計測 試料로 했다. 이와같이 自然界에 存在하는 物質中에서 唯獨  $^{40}\text{K}$  의 放射能만이 強하다는 點을 本實驗에서 捕捉 利用했다. 또 이밖에 個個 放射性 核種의 崩壞 特性이라든가  $\beta$  線의 線質을 比較하건데  $\beta$  線의 energy 만 하더라도  $^{40}\text{K}$  의  $\beta$  線 (1.33 Mev)은 훨씬 強한데 比해  $^{87}\text{Rb}$  는  $^{40}\text{K}$   $\beta$  線의 約 1/3 程度에 지나지 않는다.

本實驗에서 使用한 大型 GM 計數管의 雲母窓 (2.6 mg/cm<sup>2</sup>) 透過率을  $\mu$ 의 式으로<sup>39)</sup> 計算하여 보면  $^{40}\text{K}$  은 96%인데 比해  $^{87}\text{Rb}$  는 73%에 不過하다.

$^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  은  $\beta$  線을 直接 放出하지 않고 이들 娘核中에  $\beta$  放射體가 들어 있기는 하나 元來 親核의 放射能이 弱하므로 別로 問題가 되지 않는다. 金은<sup>50)</sup> 土壤에 硝酸 토륨 (7.8 $\times 10^{-5}$ gr Th/gr

soil)과 醋酸 우라늄 (1.3 $\times 10^{-5}$ gr U/gr Soil)을 添加하여 土壤 中の  $^{40}\text{K}$   $\beta$  線 測定 時에 이들 核種의 影響을 檢討하여 本 結果 이 程度의 濃度에서는 아무런 影響을 주지 않는다고 報告하였다. 實際로 土壤 中の  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  濃度는 10 ppm 以下로 알려져 있다.<sup>38)</sup>

核 分裂 生成物 中에는  $^{40}\text{K}$  의  $\beta$  線 energy와 비슷한  $^{80}\text{Sr}$ ,  $^{132}\text{I}$ ,  $^{135}\text{I}$ ,  $^{143}\text{Ce}$ ,  $^{140}\text{La}$  등이 있으나 이들 核種의 半減期 (6 hrs.~50 d), 核分裂收率이 적기 때문에 現在의 放射性 汚染 水準에서는  $^{40}\text{K}$   $\beta$  線 計測에 있어 問題가 되지 않으리라 生覺된다.

$^{40}\text{K}$  計測에 있어서는 空氣에 依한 散亂, 後方散亂, 檢出器 遮蔽物과 planchette에 依한 散亂, 空氣와 雲母窓에 依한 質量 吸收 等の 影響은 近接 計測을 하므로 無視할수 있는 것이다. 따라서  $^{40}\text{K}$   $\beta$  線의 近接 測定으로  $^{40}\text{K}$   $\beta$  崩壞率을 求할려면 Gleason의  $\beta$  崩壞率 計算式에서 考慮하고 있는 吸收, 散亂 補正因子는 省略하고 (4)에 依하여 計算할수 있다.

$$D(\text{dpm}) = n/G \cdot f_{sa} \quad (4)$$

D는  $^{40}\text{K}$  의  $\beta$  崩壞率, n은 計數率, G는 計測 效率,  $f_{sa}$ 는 自己 吸收 補正 因子이다.  $^{40}\text{K}$  의  $\beta$  崩壞率을 加里 鹽類의 計數值 (表 2)를 使用하여 (4) 式으로 求해본바 29.3 dps,  $\beta^-/\text{gr K}$  였다. 이값은 現在 使用하고 있는 Suttle 들의<sup>58)</sup> 값인 29.6dps,  $\beta^-/\text{gr K}$  와 一致한다.

$^{40}\text{K}$   $\beta$  線의 近接 測定에 依한 加里 定量法의 正確度(表 6)와 再現精度 (附表 2,3)는 現行 焰光 分析法과 有意差가 없다 一見 精度面에서  $^{40}\text{K}$   $\beta$  線에 依한 加里 定量法이 若干 떨어지는 傾向이 있지만 그래도 有意差는 없다.

精度는 計測 時間과 關聯되며 計測 目的에 따라서 計測 時間을 任意로 選定하는데 大體로 計測 時間을 길게 하는것 (附表 4) 보다는 計測 回數를 늘리는 것이 (附表 5) 效果의이다. 따라서 通常 計測 時에는 3分間 計測에 5回 程度 計測하면 變異 係數가 8.3% (1~3% K), 3.7%(4~10% K), 0.8% (26~52% K) 以下에서 加里 定量이 可能하다.

$^{40}\text{K}$  의  $\beta$  線을 利用한 加里 定量法의 變異 係數를 다른 分析法과 比較해 보면 焰光 分析法과는 10% (1~5% K), TPB法이<sup>34)</sup> 11% (4.3~7.3% K) X-ray Spectrograph法에서는<sup>48)</sup> 8.1% (1.4~8.5% K), 螢光 X線法이<sup>50)</sup> 13.2% (1~4% K)이다.

이와 같이  $^{40}\text{K}$   $\beta$  線을 利用한 全加里의 定量法은

正確라든가 精度面에서 다른 機器 分析法과 遜色이 없을 뿐만 아니라 化學 處理도 거치지 않고 現物 그대로 非破壞 測定이 可能하여 多量으로 그리고 迅速하게 計測이 된다는 利點이 있다.

## 2. 土壤의 加里 含量 및 그의 放出 特性

土壤을 1N-NH<sub>4</sub>Ac 로 連續 浸出하여 溶出되어 나오는 加里의 放出 速度는 指數 函數의 形式으로 減少 (그림 3) 하므로 放出 定數는 다음 式으로 計算하였다.

$$-\frac{dK}{dt} = \rho K_0 \text{ 또는 } K_t = K_0 e^{-\rho t} \quad (5)$$

$dK/dt$ 는 加里의 放出 速度,  $\rho$ 는 放出 定數,  $K_0$ 는 浸出 時間  $t=0$  일때 固相에 있는 置換性 加里 含量,  $K_t$ 는  $t$  時間에 浸出되어 나오는 置換性 加里 含量이다.

Ellis<sup>85)</sup>, Mortland가<sup>77,78)</sup> 行한 加里의 放出 速度에 關한 研究 結果에 依하면 加里의 放出 速度는 (1) 雲母類 特히 黑雲母의 風化 程度와 直接 關係가 있으며 (2) 加里의 放出은 初期에 있어서 天然 加里와 固定 加里 間에 放出 特性이 다르다고 하였다. 즉 黑雲母를 0.1N-NaCl로 浸出 할때에 加里 放出은 放出量의 約 70%까지는 濃度에 無關 (零次 反應) 하나 時間이 經過됨에 따라서 指數 函數의 形式으로 減少하는데 對하여 固定 加里의 放出은 처음 부터 1次 反應에 따른다고 한다.

土壤의 加里 放出 定數와 關聯하여 粘土 組成中 (表 7)의 雲母 含量은 加里 放出 定數가 큰 永川과 全谷 土壤에서 41~42%인데 比하여 放出 定數가 작은 報恩 土壤에서는 21~28%에 不過하다. 따라서 이들 土壤 間의 加里 放出 定數 差異는 粘土中의 雲母 含量과 直接的인 關係가 있음이 明白하다.

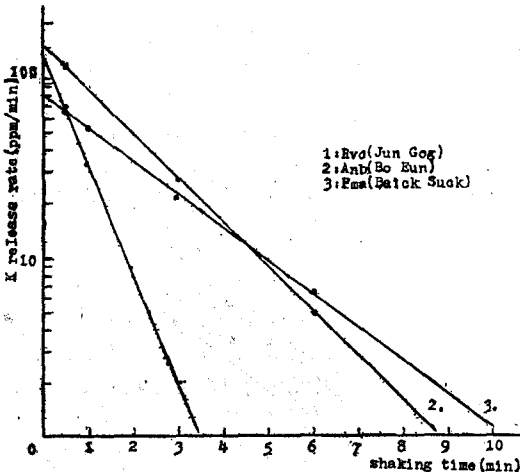


Fig 3. K release characteristics of soils

이와 같이 加里 放出이 土壤의 粘土中의 雲母나 Illite 含量에 달려 있다는 事實은 이미 確認된 바 있다. 1, 23, 30, 32, 35, 47, 54, 69, 76, 80)

따라서 玄武岩質의 全谷 土壤에서 加里 放出 定數가 큰 것은 黑雲母가 많기 때문이라고 生覺된다.

一般的으로 火成岩에서는 酸性岩에서 鹽基性岩 쪽으로 갈수록 黑雲母를 비롯하여 角閃石, 輝石, 等の 有色 鑛物이 增加하기 때문에 그 빛이 暗黑色으로 變하며 Fe, Mg, Ca 等은 增加되고 Si, K, Na 等은 減少된다고 알려져 있다.<sup>82)</sup>

實際 母岩이 玄武岩인 全谷 土壤의 全加里 含量 (表 6)은 2.3%로서 제일 적은데 이는 위의 事實을 잘 立證하고 있는 것이다.

土壤의 加里 放出 定數와 粘土 組成 間의 關係를 보면 表 8과 같이 高度의 相關이 있다. 즉 加里 放出 定數와 雲母 含量은 正의 相關이며 14.5Å 鑛物과는 逆의 相關이 있다. 土壤中에 14.5Å 鑛物이 많을 수록 加里의 放出 速度는 減少하는데 이것은 14.5Å 鑛物이 土壤의 加里 固定과 放出 機作에서 加里의 fixer<sup>82)</sup> 役割을 하기 때문이다.

## 3. 土壤의 加里 放出 特性과 水稻의 加里 吸收

玄武岩質의 全谷 土壤과 河海 混成 沖積土인 白石 土壤에서 자란 水稻의 加里 吸收 特性을 比較하여 보면 (表 9) 全谷 土壤에서 자란 水稻의 加里 吸收量이 白石 土壤에서 자란 水稻 보다 크다. 지금 이 두 土壤에서 자란 水稻의 加里 吸收量의 差異와 그 土壤의 加里 放出 特性과 比較하여 보면 表 10과 같다.

또한 水稻의 加里 吸收로 因하여 置換性 加里 濃度가 最低로 떨어졌던 7월 19일에 이 두 土壤을 採取한 다음 6個月間 放置하였다가 다시 置換性 加里 濃度を 測定하여 이 期間에 增加된 置換性 加里를 比較하여 보니까 加里 放出 定數가 큰 全谷 土壤이 回復된 量도 많았다.

水稻의 生育 時期別 加里의 吸收 推移를 보면 (表 9) 全谷 土壤에서 자란 水稻는 9월 28일까지 加里 吸收는 持續되었으나 白石 土壤에서 자란 水稻는 9월 9日 以後 부터는 加里가 別로 吸收되지 않았다.

水稻 生育期 別로 土壤中의 置換性 加里 含量의 變動을 보면 全谷 土壤에서는 8월 20日 以後에는 置換性 含量에 變動이 없으나 白石 土壤에서는 9월 9日 以後부터 變動이 없다. 白石 土壤에서는 水稻의 계속적인 加里 吸收로 因하여 置換性 加里 濃度는 漸次로 低下되어 加里의 供給과 需要가 不均衡 狀態에 있게 된다.

一般的으로加里放出은作物的加里吸收速度보다 더 시간이 所要되며 또加里放出은耕作을 오래 한土壤에서는 더 늦다고한다.<sup>28)</sup>事實白石土壤은開畝歷史가全谷의殘積土보다 긴것이다.

이와 같이 가리의需要와供給의不均衡으로因하여土壤의置換性加里濃도가 계속低下되어臨界濃度以下로 떨어지면水稻는加里를吸收하지 못한다.

Nye는<sup>85)</sup> 어느特定養分の供給力을評價하는데養分の臨界濃도가重要하다고 하였으며Woodruff는<sup>106)</sup> free energy로加里供給力을評價하였는데  $-\Delta F$ 가 3,500cal/mol K以下이면作物은加里를吸收하기 어렵게 된다고 한다.

따라서加里供給力을評價하는데는土壤中的加里形態間에平衡이 깨어졌을때 이를回復하는能力 즉平衡到達時間의緩速如何가加里供給力의優劣을 판가름하는基準이 되는 것이다.

現在와 같이置換性加里만을定量하여加里供給力을評價할수는 없다.

水稻生育期間中加里形態別로吸收量을 보면表10과 같이非置換性加里에서由來된加里

의吸收量은 두土壤에서各各全吸收量의64%와65%였다. 이는土壤中的加리의形態는恒常與件에 따라서變化하고 있음을示唆한다.

이렇게 해서作物은生育初期에非置換性加里도吸收利用한다.<sup>5,22,27,41,68,94)</sup> 따라서水稻의加里吸收에 있어서는水稻生育期間中の 어느時點의置換性加里濃度뿐만 아니라加리의消耗가 있을때加리의供給源으로부터置換性加里形態로轉換하는能力을考慮하지 않으면 안된다.

이러한生覺에서土壤의加里供給力의尺度로서  $K_{ex}/K_t$ 를取하여 이것과土壤의加里放出定數,土壤中的雲母含量,粘土中の雲母와14.5Å礦物の含量 및水稻이加里吸收量과의相關分析을 하여 보면表12와 같이 이들要因間에는高度의相關이 있음을 알았다.

全加里는弗化水素酸分解나alkali熔融法으로定量하는데實際에 있어서常法으로使用하기에는不便이 많다.<sup>63)</sup> 한편非置換性加리의放出은緩慢하므로加리의供給力을評價하는方法으로全加리의定量은適當치 않았다.

Table 12. Correlations between  $K_{ex}/K_t$  and K release factors

Correlation Y	member X	number of sample	regression equation	regression coefficient r	significancy
clay content in soil	$K_{ex}/K_t$	22	$Y = -18.71 + 1.63X$	0.716	※※
mica content in soil	$K_{ex}/K_t$	22	$Y = -10.6 + 0.74X$	0.769	※※
mica content in clay	$K_{ex}/K_t$	22	$Y = 11.86 + 0.87X$	0.878	※※
14.5Å content in clay	$K_{ex}/K_t$	22	$Y = 47.85 - 0.95X$	0.661	※※
K release constant	$K_{ex}/K_t$	22	$Y = 0.10 + 0.03X$	0.909	※※
amount of K uptake	$K_{ex}/K_t$	30	$Y = 3.55 + 0.52X$	0.969	※※

\*\* significant at 1% level

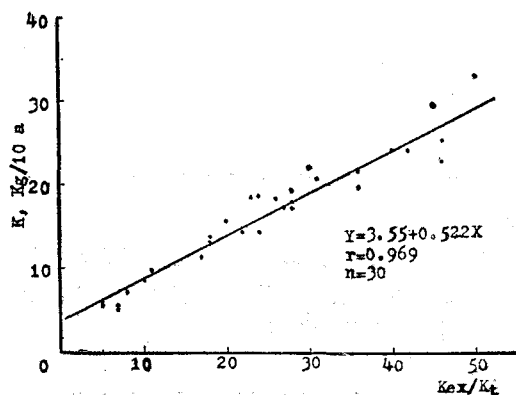


Fig. 4 The relation between  $K_{ex}/K_t$  and amount of K uptake

Beckett의 Q/I 방법은<sup>18,19)</sup>作物은固相에서는加里를吸收하지 않고液相에서만吸收하는 것으로假定하고加里平衡狀態에 있어서는置換性加里와土壤溶液中的加里사이의buffering capacity를間接적으로測定하는 것으로써非置換性加리의放出은考慮하지 않는다.

그러나水稻를 비롯하여餘他作物에서는加里全吸收量의31~87%<sup>36,43,84)</sup>가非置換性加里에서由來된 것이므로 이를考慮하지 않고서는加里供給力을正確하게評價할수 없다. Wild 들에<sup>104)</sup>依하면土壤溶液의加里含量은土壤의有效加里含量과는直接關係가없다고 한다.

土壤溶液이稀釋되면加里濃度は減少되지만Ca, Mg 등의溶解量은增加 또는減少한다는報告가<sup>57)</sup> 있다. 따라서 Q/I 方法을畚土壤에對해

서 試圖할려면 이를 考慮하여야 할것이다. 以上과 같이 現在 加里 供給力 評價法의 問題點을 解決하기 爲하여  $^{40}\text{K}$ 의  $\beta$ 線을 利用한 全 加里 定量法과 土壤의  $K_{ex}/K_t$ 를 使用하므로써 加里 供給力을 簡單히 評價 할수 있는 것이다.

## VI. 結 論

畚 土壤의 加里 供給力을 測定하기 爲하여  $^{40}\text{K}$ 을 利用한 全 加里 定量法, 土壤의 加里 放出 特性 水稻의 加里 吸收 特性에 關한 一連의 實驗을 거쳐 다음과 같은 結論을 얻었다.

土壤의 加里 放出은 土壤中の 雲母 含量과 密接한 關係가 있으며 放出 速度는 指數 函數의 으로 減少되므로 加里의 放出 特性은 放出 定數로 規定 지워 진다. 母材가 다른 全谷의 玄武岩質 土壤과 片麻岩質의 白石 土壤에서 生育된 水稻의 加里 吸收 特性을 土壤의 加里 放出 特性과 서로 比較해 본 結果 水稻의 加里 吸收 狀態는 그 土壤의 加里 放出 特性을 如實히 反映하고 있다.

즉, 水稻의 加里 全 吸收量은 土壤의 加里 放出 定數가 큰 全谷 土壤에서 컸으며 放出 定數가 작 은 白石 土壤에서 적었다.

또한 두 土壤에서 자란 水稻의 日當 加里 吸收 量도 全谷 土壤에서 컸고 白石 土壤에서 적었다. 置換性 加里가 減少되었다가 回復되는 速度는 亦 是 全谷 土壤에서 빨랐고 白石 土壤에서 더었다.

結局 두 土壤에서의 作物體의 加里 吸收量의 差 異는 加里 放出 速度 差에 起因되었다.

$K_{ex}/K_t$ 는 加里 放出 定數, 粘土中の 雲母,  $14.5\text{\AA}$  礦物 含量, 土壤中の 粘土와 雲母 含量 및 水稻의 各 生育 時期別 加里 吸收量과 다음과 같 이 高度의 相關 關係가 있었다. 즉

- (1) 加里 放出 定數,  $Y=0.10+0.035 X$
- (2) 粘土中の 雲母 含量,  $Y=10.34+0.898 X$
- (3) 粘土中の  $14.5\text{\AA}$  礦物 含量,  $Y=47.85+0.948 X$
- (4) 土壤中の 粘土 含量,  $Y=-18.71+1.628 X$
- (5) 土壤中の 雲母含量,  $Y=-10.65+0.740 X$
- (6) 水稻의 加里 吸收量,  $Y=3.55+0.522 X$

但  $X=K_{ex}/K_t$

$K_{ex}/K_t$ 를 使用하여 畚 土壤의 土壤 類型 및 母 材別 加里의 供給力 評價를 試圖한 結果는 表 13 과 같이 玄武岩質 土壤이 가장 크고 河海 混成 沖 積土가 가장 적다. 즉 그 順位는  $Rvd > Rad > Apa$

Table 13. Potassium supplying power of paddy soils.

Soil type	$K_{ex}/K_t$	area covered (ha)	% to total paddy field	amount of K taken up by rice plant*, kg/ha	parent material	$K_{ex}/K_t$	% to total/land area**
Rvd	31	6,260	0.5	190.0	basalt	31	2.3
Rad	24	970	0.1	—	Silla series	26	15.7
Apa	21	243,680	18.8	128.7	granite	21	31.1
Anb	20	107,545	8.3	118.3	porphyry	21	4.5
Afb	20	69,120	5.3	116.8	gneiss	17	26.1
Fma	16	170,205	13.1	110.3			

\* The native potassium supplying power of soils; calculated from the Office of Rural Development data <sup>84)</sup>

\*\* estimated.

$\geq Anb \geq Afb > Fma$  이다.

全 加里를  $^{40}\text{K}$ 의  $\beta$ 線 測定으로 定量할수 있는 새로운 方法을 試圖하여 그의 正確度와 精度를 焰 光 分析法과 比較한 結果 兩者 間에 有意差가 없 었다.  $^{40}\text{K}$ 의  $\beta$ 線을 利用한 加里 定量法은 加里 含量 1~3% 範圍內的 試料를 3分間씩 5回 計測 하였을때 變異係數는 8.3% 以下였으며 加里 含量 4~10% 範圍內的 試料를 같은 條件에서 計測하 였을때 變異係數는 3.7% 以下였다. 이 새로운 方

法으로 加里를 定量하는데 所要되는 時間은 不過 20分 內外이 었다.

또한 이 方法은 土壤의 全 加里를 비롯하여 粘 土中の 加里, 作物體, 肥料, 岩石等의 加里를 定 量 할때에도 利用할수 있다.

要約하건데

(1) 畚 土壤의 加里 供給力은  $K_{ex}/K_t$ 로 測定할 수있으며

(2)  $K_{ex}/K_t$  利用法에 있어 置換性 加里의 定量은

風乾 細土를 1N-NH<sub>4</sub>Ac (pH 7)로 浸出하는 現行  
方法을 使用하였다. 그리고

(3) 全 加里는 아래와 같이 <sup>40</sup>K의 β線을 計測  
하여 定量 하였다.

試料의 加里 含量(%) = 試料의 飽和 計數率  
(<sup>40</sup>K의 β線) × 比例 常數

但 比例常數=52.4/KCl 飽和計數率(<sup>40</sup>K의 β線)  
52.4 : KCl의 加里 含量

Appendix 1. Potassium release rate of soils (ppm/min)

Sample no.	Shaking time (min)				K release constant min <sup>-1</sup>	Sample no.	Shaking time (min)				K release constant min <sup>-1</sup>
	0.5	1	3	6			0.5	1	3	6	
1	119	74	11	0.6	0.96	32	127	76	9	0.4	1.04
4	78	50	8	0.5	0.91	33	94	64	14	1.4	0.76
5	30	20	4	0.3	0.82	36	51	32	5	0.3	0.92
12	111	84	26	4.8	0.57	40	102	64	10	0.6	0.94
13	26	18	4	0.4	0.73	46	91	50	4	0.0	1.20
14	45	34	11	2.2	0.55	58	65	34	2	0.0	1.30
15	27	2	6	0.61	101	166	122	35		5.4	0.62
18	38	28	7	1.0	0.65	108	79	50	8	0.5	0.91
25	34	22	4	0.2	0.89	109	44	26	3	0.0	1.06
27	19	12	2	0.0	0.98	110	76	54	14	1.8	0.68
28	54	28	2	0.0	1.32	113	29	18	2	0.0	0.97

Appendix 2. Reproducibility of <sup>40</sup>K radiometric method

% K	S.D.	C.V. (%)	% K	S.D.	C.V. (%)	% K	S.D.	C.V. (%)
3.0	0.1580	5.2	10.0	0.1930	1.9	52.4	0.040	0.1
2.8	0.1414	5.0	8.2	0.1600	1.9	44.8	0.370	0.8
2.4	0.1580	6.5	5.6	0.1448	2.6	38.6	0.486	1.2
2.2	0.1870	8.5	5.3	0.2000	3.8	28.7	0.387	1.3
1.8	0.2141	11.9	5.1	0.1522	2.9	26.4	0.170	0.6
1.5	0.1223	8.2	4.7	0.3545	7.5			
1.3	0.1414	10.1	4.4	0.1048	2.4			
1.0	0.1000	11.1	4.2	0.3000	7.1			
1-3%		8.3	4-10%		3.7	26-52%		0.8

Appendix 3. Comparison of precision with <sup>40</sup>K and flame method

Sample no.	% K		unbiased variance		F test		number of determination
	flame	<sup>40</sup> K	flame	<sup>40</sup> K	F <sub>0</sub>	F	
1	1.8	1.9	0.007	0.018	2.57	3.18	10
2	2.1	2.0	0.014	0.033	2.36	3.18	10
3	1.7	1.7	0.007	0.018	2.57	3.18	10
4	1.5	1.6	0.008	0.013	2.25	3.18	10
5	1.5	2.1	0.012	0.045	3.75	4.28	7
6	2.0	2.2	0.041	0.035	1.17	4.28	7
7	1.5	1.8	0.015	0.071	3.13	4.28	7
8	3.0	2.9	0.005	0.045	9.00	19.0	3
9	3.3	3.5	0.005	0.050	10.00	19.0	3
10	4.1	4.2	0.020	0.030	1.50	19.0	3

F<sub>0</sub>=V<sub>B</sub>/V<sub>A</sub>, V<sub>A</sub><V<sub>B</sub>; V: unbiased variance; A,B: analytical method; F(φ<sub>B</sub>,φ<sub>A</sub>;α/2); φ=n-1

**Appendix 4.** Comparison of precision and difference of potassium contents with different counting time

Sample (%)	Counting time, min					F test		t test	
	2	5	10	30	60	F <sub>0</sub>	F	t <sub>0</sub>	t
KCl			52.3		52.4	2.89	6.39	0.299	2.306
KCl		52.1		52.2		1.97	6.94	0.287	2.447
KCl	52.8	52.5				0.08	4.46	0.932	2.228
Plant		2.9	2.6			1.46	3.86	1.795	2.179
Clay(#1)		2.8	2.9			4.33	9.55	0.490	2.571
Clay(#2)		2.2	2.3			6.00	19.00	0.950	2.776
Clay(#3)		2.4	2.5			5.60	6.94	0.550	2.447
Clay(#4)		2.4	2.5			1.07	5.05	0.467	2.228
Clay(#5)		3.0	3.3			1.85	3.86	1.100	2.179

**Appendix 5.** Comparison of precision and difference of potassium contents with different number of counting

Sample (%)	number of counting					F test		t test	
	3	7	8	10	13	F <sub>0</sub>	F	t <sub>0</sub>	t
Std-1	3.1	3.3				1.80	5.14	1.154	2.306
KNO <sub>3</sub>	38.8				38.5	2.47	3.95	1.080	2.160
K <sub>2</sub> Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>4</sub>	8.0				8.1	1.86	3.98	0.380	2.160
Caly	3.3			3.0		1.80	4.26	0.980	2.201
Plant(#1)	2.0			1.9		2.04	4.26	0.707	2.201
Plant(#2)	1.9		1.7			1.43	4.74	1.490	2.262
Plant(#3)	1.8			1.7		1.14	4.26	0.550	2.201

### Literature Cited

1. Abed, F.M.A.H. and J.V. Drew, The importance of illite as a source of potassium in Nebraska soils, *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 30, 242-245 (1966).
2. Altimov, N.N. and E.M. Lesiovskii, Characterization of natural radioactivity of marine algae, *Botan. Zhur.*, 44, 516-518(1959); through Fowler, E.B., *Radioactive fall-out, soils, plant, foods, man*, Elsevier Publishing Comp., p.143 (1965).
3. Aronoff, S., *Self absorption, Techniques of radiobiochemistry*, Iowa State University Press, p.56
4. Arnold, P. W., Potassium-supplying power of some British soils, *Nature*, 187, 436-437(1960).
5. Arnold, P.W. and B.M. Close, Potassium releasing powers of soils from the Agdell rotation experiment assessed by glasshouse cropping. *J. Agric. Sci., Camb.*, 57, 381-386 (1961)
6. Arnold, P.W. and B.M. Close, Release of nonexchangeable potassium from some British soils cropped with in the glasshouse, *J. Agric. Sci., Camb.*, 57, 295-304 (1961).
7. Arnold, P.W., The potassium status of some English soils considered as a problem of energy relationships, *Proc. Fertilizer Soc.*, 72, 25-43 (1962).
8. Attoe, O.J. and E. Troug, Exchangeable and acid-soluble potassium as regards availability and reciprocal relationships, *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 10, 81 (1946).
9. Attoe O.J., Potassium fixation and release in soils occurring under moist and drying conditions, *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 11, 145-149 (1947).



10. Attoe, O.J., Fixation and recovery by oats of potash applied to soils, *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 13, 112-115 (1948).
11. Ayres, A.S., M. Takahashi, and Y. Kanehiro, Conversion of non-exchangeable potassium to exchangeable forms in a Hawaiian soil, *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 11, 175 (1947).
12. Barber, T.E. and B.C. Matthews, Release of non-exchangeable soil potassium by resin equilibrium and its significance for crop growth, *Cand. J. Soil Sci.*, 42, 266-272 (1962).
13. Barnes, R.B. and D.J. Salley, Analysis for potassium by its natural radioactivity, *Ind. Eng. Chem., Anal. Ed.*, 15, 4-7 (1943).
14. Barshed, I. The effect of the interlayer cations on the expansion of mica type of crystal lattice, *Amer. Mineral.*, 35, 225(1950); through Addiscott, T.M. and O. Talibudeen, The buffering capacity of potassium reserves in soils, *Potash Review*, Sept, 1969.
15. Barth, K., Radiological potassium determination in glasses, *Silikat, Tech.*, 11, 554-558 (1960).
16. Bear, F.E., A.L. Prince, and J.L. Malcolm, The potassium-supplying power of twenty New Jersey soils, *Soil Sci.*, 58, 139-149 (1944).
17. Beckett, P.H.T., Potassium potentials, *Teh. Bull. No. 14*(1961).
18. Beckett, P.H.T., Studies on soil potassium I Confirmation of the ratio law; measurement of potassium potential, *J. Soil Sci.*, 15, 1-8(1964).
19. Bekcett, P.H.T., Studies on Soil potassium II The immediate Q/I relations of labile potassium in the soil, *J. soil Sci.*, 15, 9-23 (1964)
20. Beckett, P.H.T. and J.B. Craig, The determination of potassium potentials. 8th International Congress of Soil Science, 249-256 (1964).
21. Beckett, P.H.T., J.B. Craig, M.H.M. Nafady, and J.P. Watson, Studies in soil potassium V. The stability of Q/I relations, *Plant and Soil*, 25, 435-455 (1966).
22. Beckett, P.H.T., Fixed potassium and the residual effects of potassium fertilizer, *Potash Review*, Sept/Oct, 1970.
23. Beckett, P. H. T., Potassium potentials-A review, *Potash Review*, April/May 1971.
24. Blackmore, M., Seasonal changes in the amount of phosphorus and potassium dissolved from soils by dilute  $\text{CaCl}_2$  solutions, *J. Agric. Sci., Camb.*, 66, 139-146 (1966).
25. Bolt, G.H., Ion adsorption by clays, *Soil Sci.*, 79, 267-276 (1955).
26. Breland, H.L., B.R. Bertramson, and J.W. Borland, Potassium supplying power of several Indiana soils, *Soil Sci.*, 70, 237-247 (1950).
27. Chandler, R.F., M. Peech, and C.W. Chang, The release of exchangeable and non-exchangeable potassium from different soils upon cropping, *J. Amer. Soc. Agron.*, 37, 709-721(1941).
28. Chevalier, M., Principal aspects of the potassium nutrition of plants, *Potash Review*, Jan. 1971.
29. Craig, J.B., Quantity/potential relationships in nutrient studies, *Scottish Forestry*, 18, 318 (1964); through Addiscott, T.M. and O. Talibudeen, The buffering capacity of potassium reserves in soils, *Potash Rev.*, Sept. (1969).
30. DeMembrum, L.E. and C.D. Hoover, Potassium release and fixation related to illite and vermiculite as single minerals and in mixtures, *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 22, 222-225 (1958).
31. Dennis, E.J. and E. Roscoe, Potassium ion fixation, equilibrium and lattice changes in vermiculite, *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 26, 230-233(1962).
32. Dowdy, R.H. and T.B. Hutcheson, Effect of exchangeable potassium level and drying on release and fixation of potassium by soils as related to clay mineralogy, *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 27, 31-34 (1963).
33. Duthion, C., Potassium in the soil, *Potash Review*, Nov./Dec. 1968.
34. Engelbrecht, R.M. and F.A. McCoy, Determination of potassium by a tetraphenyl borate method, *Anal. Chem.*, 28, 1772-1733 (1956).
35. Eillis, B.G. and M.M. Mortland, Rate of potassium release from fixed and native forms, *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 23, 451-453(1959).
36. Evans, C.E. and R.H. Simon, Nonexchangeable potassium removal from soils by successive

- acid extractions as related to removal by greenhouse crops, *Soil. Sci. Soc. Amer. Proc.*, 14, 126-130 (1949).
37. Feather, N., *Proc. Camb. Phil. Soc.*, 34, 599 (1939).
38. Fowler, E.B., *Radioactive fallout, Soils, plants, foods, man, Elsevier Publishing Comp.*, p.121 (1965).
39. Fraps, G.S., *Relation of the potash removed by crops to the active, total, acid soluble, and acid-insoluble potash of the soil, Texas Agric. Exp. Stat. Bull.*, 335 (1927); through Black, *Soil-plant relationships, John Wiley & Sonc, Inc.*
40. Garbouchev, I.P., *Changes occurring during a year in the soluble phosphorus and potassium in soil under crops in rotation experiments at Rhothamsted, Woburn and Saxmundham, J. Agric. Sci., Camb.*, 66, 399-412 (1966).
41. Garman, W.L., *Potassium release characteristics of several soils from Ohio and New York, Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 21, 52-58 (1957).
42. Gaudin, A.M. and J.H. Panell, *Radioactive determination of potassium in solids, Anal. Chem.*, 20, 1154-1156 (1948).
43. Gholston, L.E. and C.D. Hoover, *The release of exchangeable and non-exchangeable potassium from several Mississippi and Alabama soils upon continuous cropping, Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 13, 116-121 (1948).
44. Glaser, R., *Über die Radioaktivität des planktons des Stechlin und Nehmitzsee bei Rheisberg (Mark Brandenburg), Z. Kernforsch. Kerntech. Kerntech.*, 4, 398-399 (1961).
45. Gleason, G., J.D. Taylor, and D.L. Tabern, *Absolute beta counting at defined geometries, Nucleonics*, 8, 12-21 (1951).
46. Glendenin, I.E., *Determination of the energy of beta particles and photons by absorption, Nucleonics*, 6, 12-32 (1948).
47. Grrissinger, E. and C.D. Jeffries, *Influence of continuous cropping on the fixation and release of potassium in three Pennsylvania soils, Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 21, 409-412 (1957).
48. Gulbransen, L.B., *Potassium determination with X-ray spectrograph, Anal. Chem.*, 28, 1632-1634 (1956).
49. Haagsma, T. and M.H. Miller, *The release of non-exchangeable soil potassium to cation-exchange resins as influenced by temperature, moisture and exchanging ion, Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 27, 153-156 (1963).
50. Hanway, J.J. and A.D. Scott, *Soil potassium moisture relations: II profile distribution of exchangeable potassium in Iowa soils as influenced by drying and rewetting, Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 20, 501-504 (1957).
51. Harley, J.H. and N. Hallden, *Analyzing beta absorption graphically to identify emitters, Nucleonics*, 13, 32-35 (1955).
52. Harris, W.G., W.V. Kessler, J.E. Christian and E.D. schall, *Determination of potassium in Solids and liquid by measurement of the gamma activity of naturally radioactive <sup>40</sup>K, J. Agr. Food Chem.*, 12, 144-146 (1964).
53. 洪鍾雲, 우리나라 查土壤의 有效加里 檢定과 벼에 對한 加里肥料의 效果에 對한 考察, 加里 심포지움, 韓國農化學會 p.43-47 (1966).
54. Hoover, C.D., U.S. Jones, and L.E. Gholston, *Release of non-exchangeable potassium as influenced by weathering soil mineral type, soil reaction and potassium fertilization, Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 13, 347-351 (1948).
55. Hunter, A.H. and P.E. Pratt, *Extraction of potassium from soils by sulfuric acid, Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 21, 595-598 (1957).
56. 今泉吉郎, 松板泰明, 白井照登, 吉田昌一, *Kalignost 試藥에 依한 加里 迅速定量法, 農業 及 園藝* 29, 1565-1567 (1954).
57. Khasawneh, F.E. and F. Adams. *Effect of dilution on Ca and K contents of soil solutions, Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 31, 172-176(1967).
58. Katz, L.A.S., H.J. Penfold, R.N. Haslam and H.E. Jones. *Determination of the maximum energy of beta rays from Cu-62 by a new method of analyzing absorption data, Phys. Rev.*, 77, 289-291 (1950).
59. 金台淳 <sup>40</sup>K의 β放射能 測定에 依한 加里定量 一植物, 土壤, 肥料에의 利用— 研究論文集, 原子力院, 6輯. 134-148 (1966).
60. 金台淳, 土壤 및 農作物의 放射能 汚染調查研

- 究, 科學技術處, E-68-58 (1968).
61. 金台淳, 韓康完, 裴英子,  $^{40}\text{K}$  自然放射能을 利用한 韓國畚土壤의 加里供給力에 關한 研究, 韓國土壤肥科學會誌, 4, 33-40(1971).
  62. 川口桂三郎, 土壤學, p.20, 34-37 朝倉書店 (1970)
  63. Kolterman, D.W. and E. Truog, Determination of fixed soil potassium, Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 17, 347-351 (1953).
  64. 李春寧, 朴泰源, 金台淳, 自然放射能에 依한 食品灰分의 K 定量, 農化學會誌, 1, 41-42 (1960).
  65. Legg, J.O. and R.L. Beacher, The potassium-supplying power of representative Arkansas soils, Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 16, 210-214 (1952).
  66. Luebs, R.E., G. Stanford, and A.D. Scott, Relation of available potassium to soil moisture, Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 20, 45-50 (1956).
  67. Mac Kay, D.C. and C.R. MacEachern, The influence of liming on several properties of soil potassium in a loamy podzol, Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 26, 54-57 (1962).
  68. Maclean, R.J., L.E. Lutwick, and R.E. Bishop, Fertility studies on soil types the effect of continued cropping in the greenhouse on the potassium-supplying power of soils, Canad. J. Agric. Sci., 35, 397-409 (1955).
  69. Maclean, A.J., Potassium-supplying power of some Canadian soils, Canad. J. Soil Sci., 41, 196-206 (1961).
  70. Matthews, B.C., The fixation and release of soil potassium, Ph. D. Thesis. Cornell University.
  71. Matthews, B.C. and P.H.T. Beckett, A new procedure for studying the release and fixation of potassium ions in soils, J. Agric. Sci., 58, 59-64 (1962).
  72. McEwen, H.B. and B.C. Matthews, Rate of release of non-exchangeable potassium by Ontario soils in relation to natural soil characteristics and management practices, Canad. J. Soil Sci., 38, 36-43 (1958).
  73. Merwin, H.D. and M. Peech, Exchangeability of soil potassium in the sand, silt, and clay fractions as influenced by the nature of the complementary exchangeable cations, Soil. Sci. Soc. Amer. Proc., 15, 125-128 (1950).
  74. Miller, C.E., L.M. Turk, H.D. Foth, Fundamentals of soil science, John Wiley & Sons. Inc., New York, p.311 (1965).
  75. Mortland, M.M., K. Lawton, and G. Uehara, Alteration of biotite to vermiculite by plant growth, Soil Sci., 82, 477-481(1956)
  76. Mortland, M.M., K. Lawton, and G. Uehara, Fixation and release of potassium by some clay minerals, Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 21 381-384 (1957).
  77. Mortland, M.M., Kinetics of potassium release from biotite, Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 22, 503-508 (1958).
  78. Mortland, M.M. and B.G. Eillis, Release of fixed potassium as a diffusion controlled process, Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 23, 363-364 (1959).
  79. Nafady, M.H. and C.G. Lamm, Plant nutrient availability in soils studies on potassium in Danish soils, 1. Quantity/Intensity relationships, Acta Agric. Scand., 21 145-149 (1971).
  80. Nafady, M.H. and C.G. Lamm, Plant nutrient availability in soils studies on potassium in Danish soils 5. The equilibrium activity ratios and the Q/I relations of representative soil samples and their relation to soil properties, Acta Agric. Scand., 21, 156-162 (1971).
  81. Nelson, W.L., A. Mehlich, and E. Winters, The development, evaluation, and use of soil tests for phosphate availability. Amer. Soc. Agron. Mono. 4. p.153-188 (1953).
  82. 粘土 Handbook, 日本粘土學會編, 技報堂, p. 847-848 (1967).
  83. Nier, A.O., A redetermination of the relative abundances of the isotopes of carbon, nitrogen, argon, and potassium, Phys. Rev., 77, 789-793 (1950).
  84. 農村振興廳, 植物環境研究所, 水稻三要素試驗成績 (1965-1969)
  85. Nye, P.H., Soil analysis and the assessment of fertility in tropical soils, J. Sci. Food Agric., 14, 277-280 (1963).
  86. Reitmeier, R.F., R.S. Holmes, J.C. Brown, L.W. Klipp, and R.Q. Parks, Release of non-

- exchangeable potassium by greenhouse, Neuba-  
uer, and laboratory methods, *Soil Sci. Soc.  
Amer. Proc.*, 12, 158 (1948).
87. Reitmeier, R.F., R.S. Holmes, and J.C.  
Brown, Available non-exchangeable soil potas-  
sium at three northern great plains locations  
by Neubauer procedure, *Soil Sci. Soc. Amer.  
Proc.*, 14, 101-105 (1949).
88. Reitmeier, R.F., *Advances in Agronomy*, 3,  
113-164 (1951).
89. Rouse, R.D. and B.R. Bertramson, Potassium  
availability in several Indiana soils: its nature  
and methods of evaluation, *Soil Sci. Soc. Amer.  
Proc.*, 14, 113-123 (1949).
90. Schofield, R.K., A ratio law governing the  
equilibrium of cations in the soil solution, *Proc.  
11th Int. Congr. Pure Applied Chem.*, 3, 257-261  
(1947).
91. Schofield, R.K., Can a precise meaning be  
given to available soil phosphorus?. *Soils and  
Fertilizer*, 18 373-375 (1955)
92. Scott, A.D., J.J. Hanway, and E.M. Stickney,  
Soil potassium moisture relations I: Potassium  
release observed on drying Iowa soils with  
added salts or HCl, *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*,  
21, 498-501 (1957)
93. Seatz, L.F. and E. Winters, *Soil Sci Soc  
Amer. Proc.*, 8, 150 (1943); through Beckett  
P.H.T., Fixed potassium and the residual eff  
ects of potassium fertilizers. *Potash Review*  
Sept/Oct. 1970.
94. Smith, J.A. and B.C. Matthews, Release of  
potassium by 18 Ontario soils during continuous  
cropping in the greenhouse. *Canad. J. Soil Sci.*,  
37, 1-10 (1957)
95. Smythe. W.R. and A. Hemmendinger; The  
radioactive isotope of potassium, *Phys. Rev.*,  
51, 146 and 178-182 (1937).
96. Solomon, M. and J.B. Smith, A comparison  
of methods for determining extractable soil  
potassium in fertilizer test plots, *Soil Sci. Soc.  
Amer. Proc.*, 21, 222-225 (1957)
97. Steenkamp, J.L., The effect of dehydration  
of soils upon their colloid constituents: I, *Soil  
Sci.*, 25, 163-182 (1928).
98. Suttle, A.D. and W.F. Libby, Absolute assay  
of beta radioactivity in thick solids, *Anal.  
Chem.*, 27, 921-927 (1955)
99. 瀧島康夫, 螢光 X 線法에 의한 岩石, 土壤의  
元素分析 (第5報), *日本土壤肥料學會誌*. 34,  
449-452 (1963)
100. Tucker, B.M., The solubility of potassium from  
soil illites, I, The dependance of solubility on  
pH, *Aust. J. Soil Res.*, 2, 56 (1964); through  
Addiscott, T.M. and O. Talibudeen, The  
buffering capacity of potassium reserves in  
soils, *Potash Review*, sept. 1969.
101. Tucker, B.M., The solubility of potassium  
from soil illites II, Mechanism of potassium  
release, *Aust. J. Soil Res.*, 2, 67 (1964);  
through Addiscott, T.M. and O. Talibudeen,  
*Potash Review*, sept, 1969.
102. Tucker, B.M., The solubility of potassium  
from soil illites III, Reactivity towards other  
ions, *Aust. J. Soil Res.*, 5, 173(1967); through  
Addiscott, T.M. and O. Talibudeen, *Potash  
Review*, Sept. 1969.
103. Tucker, B.M., The solubility of potassium  
from soil illites V, Interlayer hydrogen ions,  
heats of reaction and synopsis, *Aust. J. Soil  
Res.*, 5, 203 (1967); through Addiscott, T.M.  
and O. Tailbudeen, *Potash Review*, sept. 1969.
104. Wild, A., D.L. Rowell, and M.A. Ogunfo-  
wora, The activity ratio as a measure of the  
intensity factor in potassium supply to plant,  
*Potash Rev.*, July 1971.
105. Wilson, S., N.P.S. Leco, and W. Broomfield,  
Radioactive determination of potassium content,  
*Analyst*, 76, 355 (1951)
106. Woodruff, C.M., Ionic equilibrium between  
clay and dilute salt solution, *Soil Sci. Soc.  
Amer. Proc.*, 19, 36-40 (1955).
107. Yankwich. P.E., T.H. Norris, and J. Huston,  
Correction for the absorption of weak beta  
particles in thick samples, *Anal. Chem.* 19.  
439-441 (1947),
108. York, E.T., R. Bradfield, and M. Peech,  
Calcium-potassium interactions in soils and  
plants I, Lime induced potassium fixation, *Soil  
Sci.*, 76, 379-387 (1953),