

地域別 山林土壤의 K(Potassium) 供給 特性^{1*}

陳鉉五^{2*} · 金煥燮²

Potassium Supply Characteristics in Different Forest Soils^{1*}

Hyun-O Jin^{2*} and Jun-Hwan Kim²

要 約

토양 중에서 K은 수용성 K, 치환성 K, 유효태 K으로 존재하고 있으며, 이러한 각 형태별 K은 서로 동적인 평형관계를 유지하고 있다. 본 연구는 우리나라의 지역별 산림토양을 대상으로 각 형태별 K의 존재양식, 상호관계 및 공급특성을 구명할 목적으로 수행하였으며 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 0.01N-HCl 연속추출법에 의한 유효태 K은 A층에서 포항지역(회갈색산림토양군), 장성지역(갈색산림토양군), 영월지역(암적색산림토양군)이 0.2~0.8me/100g, 태안지역(적황색산림토양군)이 0.1~0.6me/100g, 가평지역(갈색산림토양군)은 0.2~0.4me/100g 범위의 적산량을 나타내고 있었다. 또한, B층에서는 영월지역이 0.1~0.5me/100g, 포항, 태안, 가평지역이 0.1~0.4me/100g, 장성지역은 0.1~0.3me/100g 범위의 적산량을 나타내고 있었다.
2. 10회의 연속추출 중 A층에서는 포항, 장성, 영월지역이 2회째 추출에서, 가평, 태안지역이 3회째 추출에서 전체 유효태 K의 80%이상이 방출되는 결과를 보였으며, B층에서는 모든 지역에서 2회째 추출에서 전체 유효태 K의 80%이상이 방출되었다.
3. 치환성 K과 수용성 K과의 관계에 있어서 A층에서는 뚜렷한 경향을 나타내고 있지 않았으나, B층에서는 수용성 K의 값이 일정한데 비하여 치환성 K은 증가하는 경향을 나타내었다. 또한 치환성 K과 유효태 K과의 관계에서는 A, B층 모두 치환성 K이 증가함에 따라 유효태 K이 지역에 따라 1.2~1.5배 증가하는 경향을 나타내었다.
4. 각 형태별 K의 분포율은 모든 지역에서 유효태 K의 양이 가장 많았으며, 그 다음은 치환성 K, 수용성 K의 순으로 나타났다.
5. 앞으로의 연구과제로서는 유효태 K과 임목의 성장과의 관계를 구명함과 동시에 실험에 소요되는 시간적 손실과 실험규모 등의 생력화를 목적으로 한 0.01N-HCl 연속추출법에 대체할 수 있는 간이추출법의 개발이 필요하다고 사료된다.

ABSTRACT

Generally potassium in the soil can be remained as water soluble, exchangeable, and available types, respectively. These types of potassiums are also known to keep their kinetic relationships to each other. The purpose of this research was to investigate types and relationships of potassium in the soil, and the characteristics of potassium supply in different forest soils. The results could be summarized as follows;

1. The amounts of available potassium in A and B horizon soils by continuous leaching with 0.01N-HCl were as follows : For A horizon soils, Pohang(Gray brown forest soils), Changsung (Bown forest

¹ 接受 2000年 11月 20日 Received on Novemver 20, 2000.

審査完了 2001年 1月 19日 Accepted on January 19, 2001

² 경희대학교 임학과 Dept. of Forestry, Kyunghee Univ., Youngin 449-701, Korea.

* 본 연구는 1999년도 경희대학교 교비지원에 의한 결과임.

* 연락처자 E-mail : hojin@nms.kyunghee.ac.kr

soil), and Youngwol(Dark red forest soils) were ranged from 0.2me/100g to 0.8me/100g, Taeon(Red and Yellow forest soils) was 0.1~0.6me/100g, Kapyung(Brown forest soils) was 0.2~0.4me/100g. For the B layer, Youngwol was 0.1~0.5me/100g, Pohang, Taeon, Kapyung were 0.1~0.4me/100g, Changsung was 0.1~0.3me/100g, respectively.

2. Of ten times-pulse leaching with 0.01N-HCl for A layer soil, more 80% of total available potassium leaching were recovered by the second pulse as leachate for Pohang, Changsung, Youngwol, while similar amounts of potassium in the leachate were obtained with the third pulse leaching for Kapyung, Taeon, respectively. On the other hand, the 80 % release of available potassium from the B layer soil was obtained by the second pulse leaching for all areas investigated.
3. For the relationships between soluble potassium and exchangeable potassium, the exchangeable potassium was increased while the soluble potassium was not changed significantly in B layer. And both soluble potassium and exchangeable potassium in A layer were similar. For the relationship between exchangeable potassium and available potassium in both A and B layers, the amounts of available potassium increased by 1.2 to 1.5 times as the exchangeable potassium increased.
4. For distribution of all types of potassium throughout locations investigated, the types of potassium were in the decreasing orders of available, exchangeable, and soluble.
5. The simplified method for an analysis of all types of potassium by sequential leaching with 0.01N-HCl should be developed not only with respect to time-saving and efficiency but also verification of the relationship between available potassium and tree growth.

Key words : potassium, supply characteristics, forest soils, 0.01N-HCl continuous leaching, available potassium

緒 論

임목의 성장과 이에 영향을 미치는 여러 환경 요인들과의 관계에 있어서는, 특히 임목의 성장과 토양의 화학적 성질과의 관계를 구명하는 연구가 많다. 산림토양의 화학적 성질이 조사되어 양분 함유량을 안다고 하여도 그것이 실제로 임목에 흡수, 이용되기 위해서는 그 토양중에 있는 양분의 존재양식이 문제가 되고 또한 임목의 내적·외적 제조건의 영향에 의한 복잡한 생리작용이 개입되어 있기 때문에 토양과 임목의 성장과의 관계는 반드시 단순하지만은 않다(진현오, 1994). 그러므로 임지생산력을 파악하기 위한 임지비옥도의 해석에 있어서는 토양의 가급대 양분의 구명이 필요하다.

K은 식물체내의 세포분열이 왕성한 부위와 탄수화물이 생성되는 부위에 많이 함유되어 있으며, 특히 임목의 심재부위에 다른 양분 원소에 비하여 고농도로 존재한다는 연구결과(Neish, 1964)는 임목의 주생산 기관인 수간의 생산을 증진시키려면 많은 양의 K이 지속적으로 공급되어야 한다는 것으로 해석할 수 있다.

일반적으로 식물에 공급되는 토양 중 K은 치환

성 K이 대부분 이용된다고 할 수 있지만, 치환성 K의 양은 비치환성 K의 일부가 치환성 K으로 방출되므로 이러한 K의 양을 측정하는 것이 과제가 되어 많은 학자들의 연구대상이 되어 왔다. 비치환성 K의 일부가 치환성 K으로 방출될 수 있다는 사실에 관심을 갖게 된 이후 Bray와 DeTurk(1938)는 몇 개의 Illinois 토양을 향한 처리한 결과, 상당량의 비치환성 K이 치환성 K으로 전환됨을 지적한 이래 많은 연구가 진행되었다. Evans와 Attoe(1948), Gholston과 Hoover(1948)는 토성이 각기 다른 토양에 작물을 장기간 재배한 결과, 양토는 비치환성 K의 공급력이 사토의 그것에 비하여 크고, 작물에 따라서는 흡수한 K의 70% 이상이 비치환성 K으로부터 방출되었음을 밝힌 바 있으며, McLean과 Simon(1958)은 토양중의 치환성 K을 매일 1N-NH₄OAc로 49일간 추출시켰을 때 시험 전 토양이 지녔던 치환성 K만큼의 비치환성 K이 방출되었음을 보고하였다. 또한, Garman(1957)은 미국의 Ohio와 New York주의 토양을 0.01N-HCl 연속추출법을 이용하여 분석한 결과, 방출된 K의 적산량은 각각 그 토양군 고유의 방출곡선을 나타내었다고 하였다. 국내연구에 있어서 진현오(1993)는 제주도 삼나무 임분의 토양을

0.01N-HCl 연속추출법으로 분석한 결과 비치환성 K로부터 방출되는 K도 삼나무 생장에 중요한 K의 공급원이라고 보고하였다.

이상과 같이, 토양 중에서의 K은 다른 양이온에 비하여 그 존재양식에 있어서 다른 특성을 보이고 있는데, 이러한 K은 수용성 K, 치환성 K, 비치환성 K으로 존재하며 이들은 각각 동적인 평형관계를 유지하고 있는 것으로 보아 일반적으로 식물이 이용할 수 있는 K인 유효태 K, 특히 비치환성 K으로부터 유효태 K으로 방출되는 부분도 고찰할 필요가 있다.

K 이용도의 정확한 측정과 수용성 K, 치환성 K 그리고 유효태 K으로 불리우는 각 형태별 K의 공급력 측정을 위하여 다양한 화학적 분석방법, 즉, 熱 1N-HNO₃ 추출법(Wood and DeTurk, 1941)과 熱 1N-HNO₃ 연속추출법(Haylock, 1956), 冷濃 H₂SO₄ 추출법(Hunter and Pratt, 1957) 그리고 0.01N-HCl 연속추출법(Garman, 1957) 등이 제안되어 왔는데, 모든 방법에서 식물에 의한 흡수량과 K의 추출량과의 높은 상관성이 인정되었다. 특히 이 중 0.01N-HCl 연속추출법의 경우 K의 추출량과 연속재배법을 통한 식물의 흡수량과의 상관성이 높을 뿐만 아니라 양자는 양적으로도 거의 같다고 하는 연구결과(Garman, 1957; 北岸, 1962; 河合와 高柳, 1966; 原田와 篠原, 1968; 諸遊, 1979)로 보아 유효태 K의 양을 검정하는데 가장 적절한 방법이라 인식되고 있다.

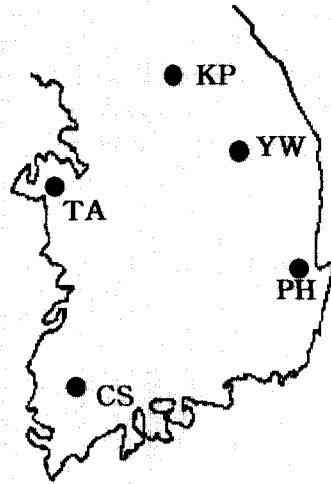
또한, 산림토양의 경우에도 임목이 흡수 이용 가능한 토양중 K의 정량법으로서 현재 널리 이용되고 있는 1N-NH₄OAc추출법(치환성 K)에 대하여 문제점을 제기한 연구(White and Leaf, 1964; 永尾, 1983; 生原, 1989) 및 토양중 K의 존재형태에 관한 연구(Unamba-Oparah, 1985; Parker 등, 1989a, 1989b; Sharpley, 1990; Van Rees 등, 1990; Comerford 등, 1990)가 활발하게 수행되고 있다. 따라서, 상기한 K의 특성으로 보아 임지생산력에 관여하고 있는 토양중 K의 존재형태-평가법-에 대하여 검토할 필요가 있다고 생각된다.

본 연구는 우리 나라에 분포하는 지역별 산림 토양을 대상으로 수용성 K, 치환성 K 그리고 0.01N-HCl추출액을 이용한 연속추출법을 이용한 유효태 K의 상호관계의 고찰을 통하여 임지의 지력증진과 임지비배의 체계 확립을 위한 기초자료를 제공하기 위해 수행하였다.

材料 및 方法

1. 시험지 개황

우리 나라에 분포하고 있는 주요 산림토양군(임업연구원, 1989)을 대상으로 우리 나라의 주요 산림토양이 분포하고 있는 가평(갈색산림토양; 잣나무림), 장성(갈색산림토양; 삼나무림), 태안(적황색산림토양; 리기다소나무림), 영월(적갈색산림토양; 낙엽송림), 포항(회갈색산림토양; 해송림) 등 5개 지역에서 각각 10~12개소의 조사 임분(Figure 1)을 선정하였다.



Location	Forest soil group*
KP : Kapyung	Brown forest soils
CS : Changsung	Brown forest soils
TA : Tae-an	Red · Yellow forest soils
YW : Youngwol	Dark red forest soils
PH : Pohang	Gray brown forest soils

* Kim 등.(1988)

Figure 1. Location map of experimental sites and soil group.

2. 분석방법

토양 조사는 조사구의 중심이 되는 임지의 대표적 인 곳을 선정하여, 토양 단면의 A층, B층에서 토양을 1kg 정도 채취하여 실험실로 옮겨 1주일간 풍건 후 뿌리, 석력을 제거하고 2mm 체를 통과한 세토를 분석재료로 하였다. 토양의 화학적 성질 분석 방법은 탄소는 Tyurin 법, 질소는 Micro-Kjeldahl

법, pH(1 : 2.5)는 pH-meter, C.E.C는 Peech법에 의해 측정하였다. 치환성 Ca, Mg, K은 1N-NH₄OAc(pH 7.0) 추출 후, 또한 수용성 K은 1N-NH₄OAc추출법에 준하여 증류수로 추출 후 원자흡광법에 의해 측정하였다. 유효태 K은 Garman(1957)의 0.01N-HCl 연속추출법(Figure 2)을 이용하였다. 즉, 풍건세토(10.0g)와 석영사를 1 : 1의 비율로 column에 혼합하여 1회에 1ℓ 0.01N-HCl을 5시간에 추출이 종료되도록 유하 속도를 조절하여 총 10회에 걸쳐서 추출하였으며, 추출용액은 원자흡광법에 의해 측정하였다.

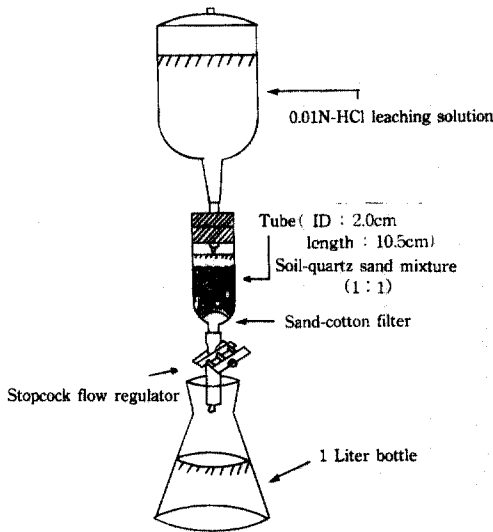


Figure 2. Apparatus for 0.01N-HCl continuous leaching.

結果 및 考察

1. 토양의 화학적 성질

지역별 산림토양의 화학적 성질을 나타내면 Figure 3과 같다. C, N에서는 A층, B층 모두 갈색산림토양인 가평, 장성지역에서 다른 지역에 비하여 높게 나타났으며, 적황색산림토양인 태안지역과, 회갈색산림토양인 포항지역에서는 낮게 나타났다. A층의 C/N 값에서는 갈색산림토양인 장성지역에서 C/N값이 13 전후의 낮은 값을 나타내고 있어 유기물 분해가 다른 산림토양에 비하여 양호함을 알 수 있었으나, B층에 있어서는 회갈색산림토양인 태안지역에서 높게 나타났을 뿐

다른 지역에서는 25 전후의 값을 나타내고 있어 산림토양별 차이는 뚜렷하지 않았다.

pH는 암적색산림토양인 영월지역이 pH 6.2 값을 보인 것 이외에는 A층, B층 모든 지역에서 pH 4.5의 전후의 값을 나타내고 있었다. 암적색산림토양에서 높은 pH값을 보인 것은 모재인 석회암의 영향에 의한 것이라 사료된다.

치환성 Ca, Mg에서는 암적색산림토양인 영월지역에서 높은 값을, 적황색산림토양인 태안지역에서 낮은 값을 나타냈다. 암적색산림토양에서 치환성 Ca이 높은 값을 보인 것은 전술한 바와 같이 모재인 석회암의 영향에 의한 것이라 생각된다. 치환성 K에서 A층은 장성, 포항, 영월지역에서 높은 값을 나타내고 있었으며, 가평, 태안지역에서는 낮은 값을 나타냈다. 반면에 B층에서는 낮은 값을 나타내는 장성지역을 제외하고는 산림토양별 차이는 뚜렷하지 않았다. CEC에서 A층은 장성, 가평, 영월지역에서 높은 값을 보인 반면 포항, 태안지역에서 낮은 값을 나타내었으며, 또한, B층에서는 영월지역에서 높은 값을 보인 반면 태안지역에서 낮은 값을 나타내었다. 이상의 토양의 화학적 성질은 이전의 연구결과(김태훈 등, 1988)와 일치하였다.

2. 유효태 K의 방출 특성

0.01N-HCl 연속추출법에 의한 K적산량의 모식도(Garman, 1957)를 보면(Figure 4)수용성 K, 비교적 용이하게 치환되는 K, 토양 colloid표면에 강하게 흡착되어 있는 K 및 결정격자 내의 K과 같은 비치환성 K으로부터 방출되는 K을 합쳐 유효태 K이라 한다. 이러한 유효태 K은 토양의 종류에 따라서 그리고 같은 토양이라도 비치환성 K으로부터 방출되는 K의 양에 따라 차이가 있다는 것이 많은 연구에서 밝혀졌다(Gholston and Hoover 1948; Garman, 1957; 河승와 高柳, 1966; 原田와 篠原, 1968; 諸遊, 1979; 長井 등, 1981; 倉島, 1981; 藤山 등, 1986; 진현오, 1993).

따라서, 우리나라에 분포하고 있는 지역별 산림토양에 대하여 0.01N-HCl 연속추출법을 이용하여 K적산량 및 K방출곡선을 구하였다(Figure 5). 지역별 K적산량은 모든 토양에서 B층에 비하여 A층이 전체적으로 높은 값을 나타내고 있었으며, 같은 갈색산림토양인 가평지역이 장성지역에 비하여 층위간 차이가 뚜렷하지 않았다. A층에 있어서 K적산량은 장성, 포항, 영월지역이 0.2~

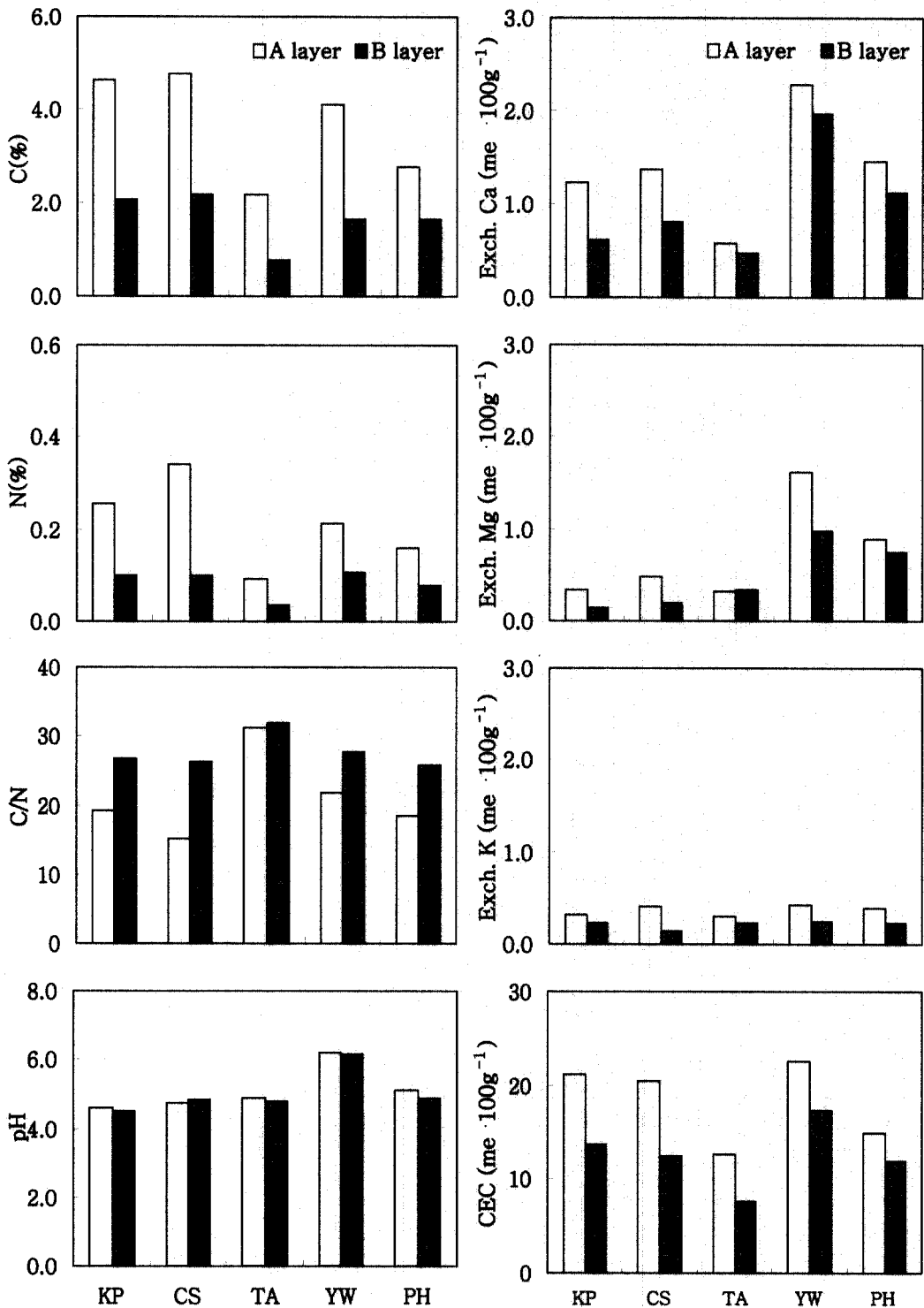


Figure 3. Chemical properties of experimental soils.

0.8me/100g, 태안지역이 0.1~0.6me/100g, 가평지역이 0.2~0.4me/100g 범위의 적산량을 나타내고 있었으며, B층에 있어서는 영월지역이 0.1~0.6me/100g, 포항, 가평, 태안 지역이 0.1~0.4me/100g, 장성지역이 0.1~0.3me/100g 범위의 적산량을 나타내었다. 0.01N-HCl 연속추출법에 의한 K적산량은 0.01N-HCl 유하량을 10ℓ 까지로 하여 구하는데, 본 연구에 있어서는 6ℓ 제부터 모든 토양의 K적산량에 큰 변화가 없어 유효태 K의 방출이 종료됨을 알 수 있었다. 그러나, 총 적산량에 대한 1ℓ 제에 방출되는 K량의 비율이 토양의 종류에 따라 다른 경향을 보였는데, 적갈색산림토양인 영월에서 다른 토양에 비하여 4~8% 적게 방출되었다. 이러한 결과는 적갈색토양인 영월 지역에 비하여 다른 지역의 토양이 가지는 약한 K흡착력과 용이하게 토양수 중에 K이 방출되는 특징을 가지고 있음을 시사하는 것이라 사료된다. 또한 같은 토양이라도 1ℓ 제 추출에 있어서 6~10% 차이를 보였는데 이는 제주도 화산회토양에서의 유효태 K의 방출특성의 경향과(진현오, 1993) 일치하였다.

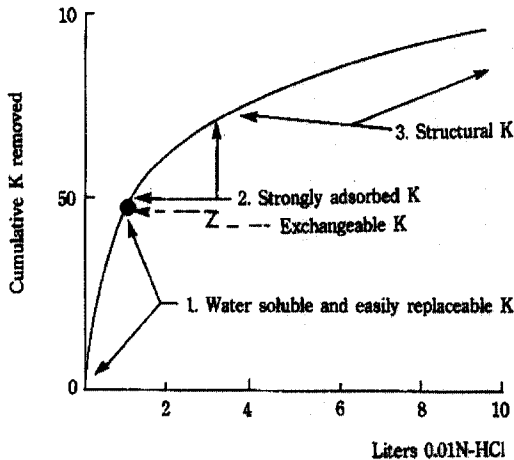


Figure 4. Characteristic potassium release curve leached with 0.01N-HCl(Garman, 1957).

3. 각 형태별 K의 상호관계

수용성 K과 치환성 K과의 관계(Figure 6)를 보면, 예외는 있으나 일반적으로 A층에 있어서는 수용성 K의 증가함에 따라 치환성 K이 증가하는 경향을 보이고 있었는데 특히 갈색산림토양인 장성지역에서는 치환성 K이 수용성 K에 비하여 약

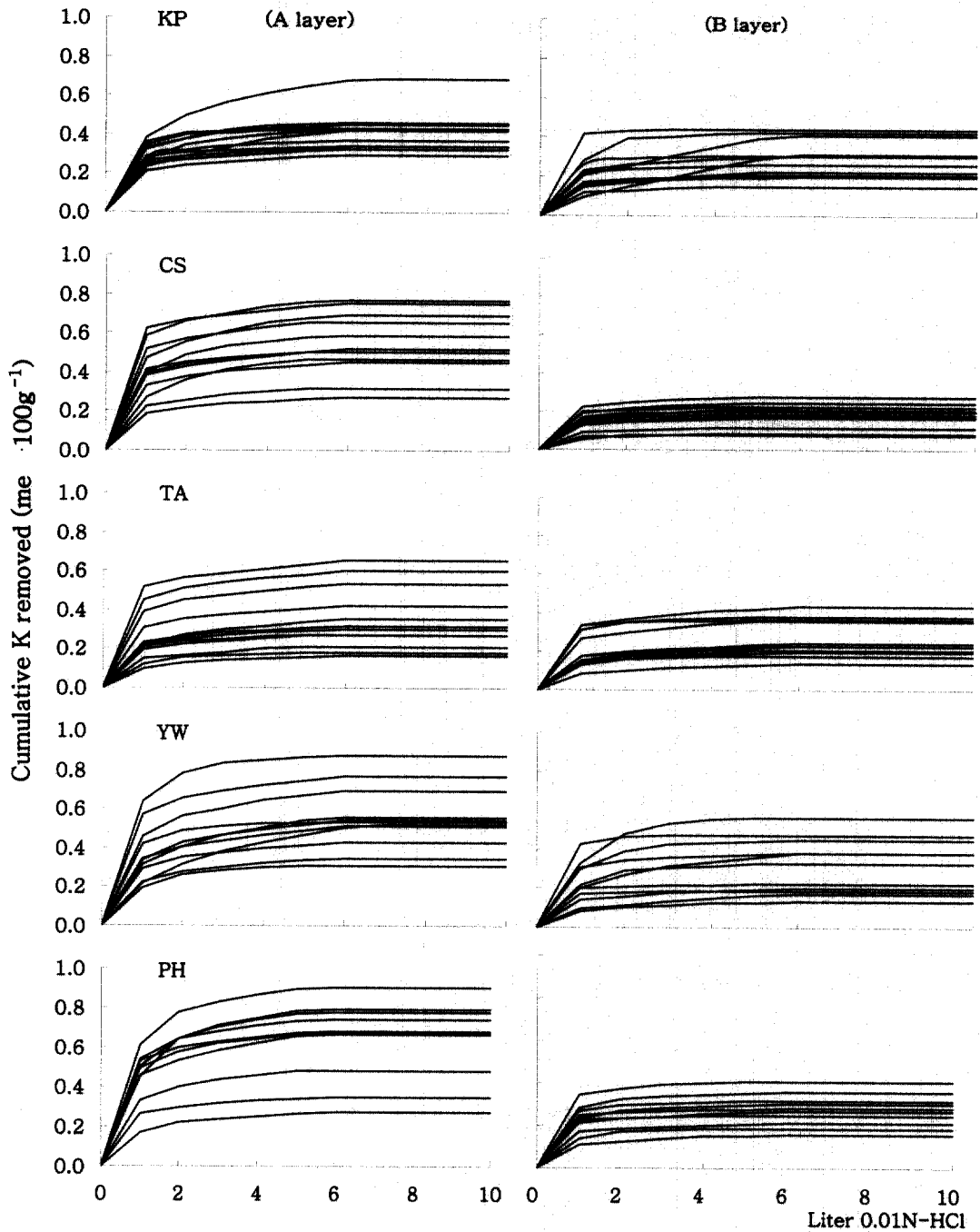
5배 정도 높은 값을 보이고 있었다. 그러나, B층에 있어서는 수용성 K이 증가함에 따라 치환성 K도 증가하는 경향을 보이고 있는 장성, 포항지역 이외의 다른 지역에 있어서는 수용성 K은 거의 일정한 값(0.01~0.05me/100g)을 나타내고 있는 반면 치환성 K은 0.1~0.5me/100g의 범위에 분포하고 있었다. 또한, 치환성 K과 유효태 K과의 관계(Figure 7)를 보면, 앞에서 설명한 수용성 K과 치환성 K과의 관계와는 다른 경향, 즉 회갈색산림토양인 포항지역의 A층을 제외하고는 치환성 K이 증가함에 따라 유효태 K이 증가하는 경향을 보이고 있었는데 A, B층 모두 치환성 K에 비하여 유효태 K에서 높은 값을 나타내었다.

이와 같은 결과는 Bray와 DeTurk가(1938)이 일정기간 치환성 K으로 방출되는 비치환성 K의 양은 그 토양이 갖고 있는 치환성 K의 양과 정비례한다는 연구결과와 일치하고 있으며, 토양의 종류에 따라 그리고 같은 토양이라도 각 형태별 K에 있어서 토양고유의 방출특성이 존재하고 있음을 알 수 있었다. Hogland와 Martin(1933)은 15종의 California토양의 K공급력에 대한 연구에서 비치환성 K으로부터 치환성 K으로의 K방출속도가 매우 작은 토양에서의 작물은 현저한 K결핍증상을 나타내었지만, 비치환성 K으로부터 K방출속도가 매우 큰 토양에서의 작물은 정상적인 생육을 보였다고 보고한 것으로 보아 비치환성 K으로부터 유효태로 방출되는 K은 식물의 생육에 중요한 K공급원이라는 것을 알 수 있다.

4. 유효태 K에 대한 수용성 K 및 치환성 K의 비율

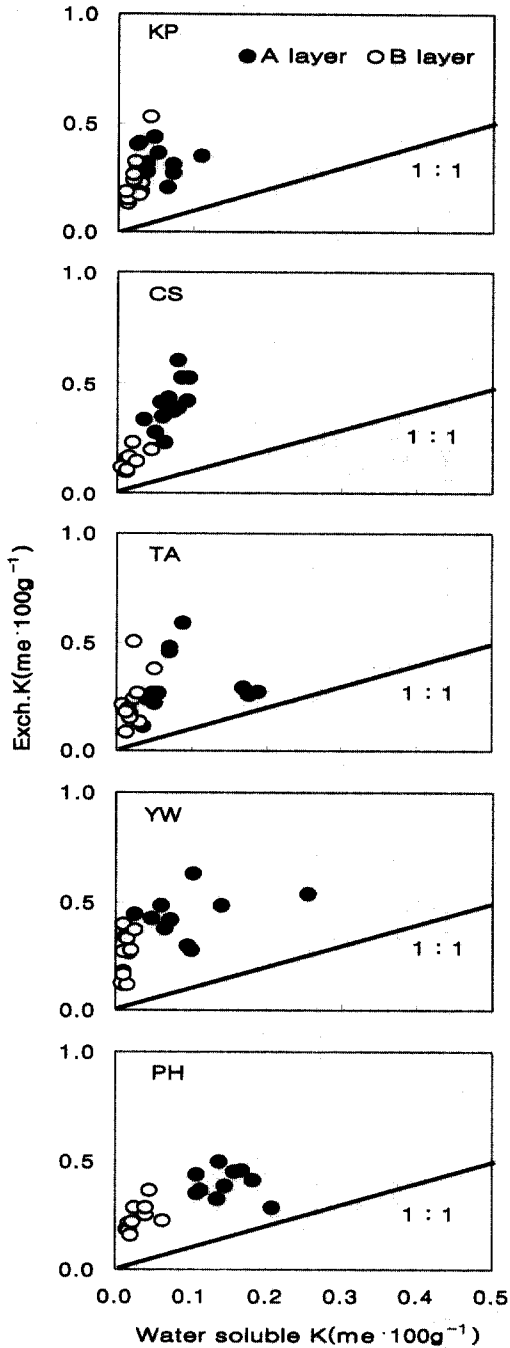
지역별 산림토양의 유효태 K에 대한 수용성 K 및 치환성 K의 비율을 나타내면 Figure 8과 같다. 유효태 K에 대한 수용성 K이 차지하는 비율은 모든 지역에서 A층이 B층에 비하여 높은 값을 나타내었으며, 회갈색산림토양인 포항지역과 적갈색산림토양인 태안지역이 다른 지역에 비하여 A층에서 각각 22%, 25%의 높은 값을 나타내었으나, B층에서는 타지역과 비교하여 뚜렷한 차이를 보이지 않았다. 유효태 K에 대한 치환성 K의 비율에 있어서는 층위간 차이는 보이지 않으며, 85%전후의 값을 보이는 태안지역의 A, B층, 포항지역의 B층을 제외하고는 다른 지역의 A, B층 모두 60~80%의 값을 나타내고 있었다.

이러한 연구 결과로 볼 때, 토양으로부터 임목이 이용할 수 있는 K을 유효태 K이라고 가정하

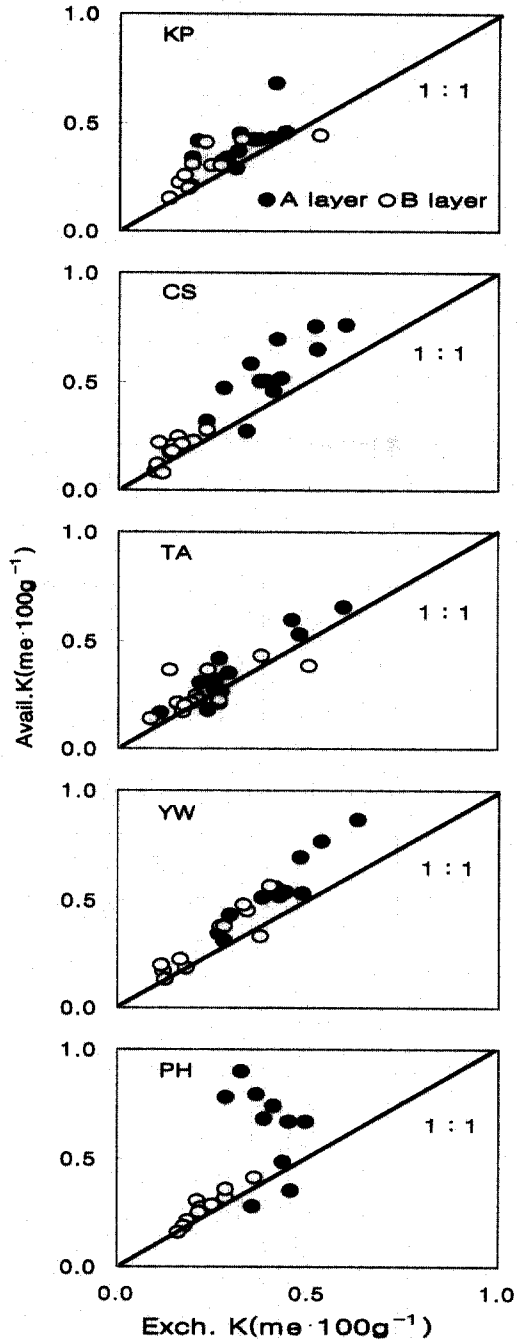


KP : Kapyung CS : Changsung TA : Taeon YW : Youngwol PH : Pohang

Figure 5. Accumulative K release curves of experimental soils resulting from continuous leaching with 0.01N-HCl.



KP : Kapyung CS : Changsung
 TA : Taeon YW : Youngwol
 PH : Pohang



KP : Kapyung CS : Changsung
 TA : Taeon YW : Youngwol
 PH : Pohang

Figure 6. The relationship between water soluble K and exch. K.

Figure 7. The relationship between avail. K and exch. K.

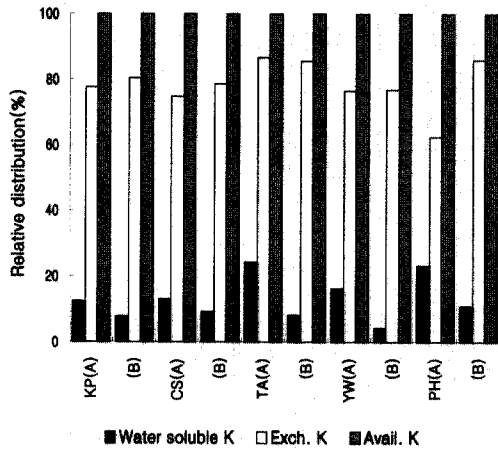


Figure 8. Distribution ratio of water soluble K and exch. K to avail. K.

였을 때, 지금까지 임목이 이용하는 K(치환성 K)을 측정하기 위한 $1N-NH_4OAc$ 분석법은 실제 임목이 흡수이용하는 K의 60~80% 정도 과소평가되어 왔다고 추측할 수 있겠다.

유효태 K에 대한 수용성 K 및 치환성 K의 비율이 높은 경우, 임목의 흡수나 강우에 의한 용탈 등에 의해 토양중의 수용성 K이 소비되어도 그 후 비치환성 K으로부터 수용성 K이나 치환성 K으로의 방출속도가 극히 작아 잠재적 K공급력이 작다고 할 수 있는 반면 유효태 K에 대한 수용성 K 및 치환성 K의 비율이 낮은 경우에는 비치환성 K으로부터 K방출속도가 크므로 잠재적 K공급력이 크다고 사료된다.

금후, 산림생태계의 양분순환 및 임지생산력 등에 관한 연구를 수행할 경우, 수용성 K, 치환성 K 및 유효태 K를 병행하여 토양중의 K공급력을 평가할 필요가 있다고 판단된다. 앞으로의 연구 과제로서는 K공급력과 임지생산력과의 관계를 구명함과 동시에 대규모 실험에 소요되는 시간적 손실 등의 생략화를 목적으로 한 $0.01N-HCl$ 연속 추출법에 대체될 수 있는 간이 추출법의 개발이 필요하다고 판단된다.

引用 文 獻

- 김태훈의 7인. 1988. 산림토양분류에 관한 연구. 임시연보 37 : 19-34.
- 임업연구원. 1989. 산림토양단면도집. 서광문

화사. 55pp.

3. 진현오. 1993. 제주도 삼나무(*Cryptomeria japonica*) 조림지의 영양환경에 관한 연구. III. 토양의 K 공 급력과 지위. 한국토양비료학회지 26 : 230-235.
4. 진현오·이명종·신영오·김정제·전상근. 1994. 산림토양학. 향문사. 54-63.
5. 藤山英保·長井武雄·柴原壽男. 1986. 砂丘土 壤のカリウム供給力の測定. 日本土壤肥料學雜 誌 57 : 292-300.
6. 北岸確三. 1962. 火山灰土壤における牧草の集 約栽培に關する土壤肥料學的研究. 東北農試研 報 23 : 1-67.
7. 生原喜久雄. 1989. わが國造林におけるK施肥 不要説(1). 造林地でのKの循環. 森林と肥培 141 : 14-18.
8. 永尾嘉孝. 1983. ソルガムの收量, 品種に及 ぼす加里の影響. -ソルガムに對する土壤別の 加里供給力の推測-. 火山灰と土壤 : 177-189.
9. 原田 勇·篠原 功. 1968. 草地農業における 加里輪廻に關する研究. (第1報) 土壤中加里の 溶出と植物吸收加里との關係. 日本土壤肥料學 雜誌 30 : 292-299.
10. 長井武雄·藤山英保·柴原壽男. 1981. 砂丘 土壤の養分供給力について. 砂丘研究 28 : 1-6.
11. 諸遊永行. 1979. 土壤の養分狀態と作物の營養 診斷. 飼料作物のカリウム吸收例として. 日本 土壤肥料學雜誌 50 : 368-378.
12. 倉島健次. 1981. 東北地方における草地土壤の ミネラル供給力. 第2報 土壤の鹽基供給力. 東 北農試研報 64 : 1-52.
13. 河合忽吾·高柳博次. 1966. 茶園土壤の特性に ついて(第10報)-加里供給力-. 茶業技術研究 3 2 : 59-63.
14. Bray, R. H. and E. E. DeTurk. 1938. The release of potassium from non-replaceable forms in Illinois soil. Soil Science Society of America Proceedings 3 : 101-106.
15. Comerford, N. B., W. G. Harris and D. Lucas. 1990. Release of nonexchangeable potassium from a highly weathered, forested Quartzipsamment. Soil Science Society of America Journal 54 : 1421-1426.
16. Evans, C. E. and U. J. Attoe. 1948. Potassium supplying power of virgin and cropped soils. Soil Science 66 : 323-334.

17. Garman, W. L. 1957. Potassium release characteristics of several soils from Ohio and New York. Soil Science Society of America Proceedings 21 : 52-58.
18. Gholston, L. E. and C. D. Hoover. 1948. The release of exchangeable and nonexchangeable potassium from several Mississippi and Alabama soils upon continuous cropping. Soil Science Society of America Proceedings 13 : 116-121.
19. Haylock, C. F. 1956. A method for estimating the availability of nonexchangeable potassium. Trans. Intern. Congr. Soil Sci. 6th Congr. Paris B : 403-408.
20. Hoagland, D. R. and J. C. Martin. 1933. Absorption of potassium by plants in relation to replaceable, non-replaceable, and soil solution potassium. Soil Science 36 : 1-33.
21. Hunter, A. H. and P. F. Pratt. 1957. Extraction of potassium from soils by sulfuric acid. Soil Science Society of America Proceedings 21 : 595-598.
22. McLean, E. O. and R. H. Simon. 1958. Potassium release and fixation in Ohio soils as measured by cropping and extraction. Ohio Agr. Expt. Sta. Bull. : 560.
23. Neish, A. C. 1964. The formation of wood in forest trees. (Edited by H. H. Zimmermann) New York. 234pp.
24. Parker, D. R., D. L. Sparks, G. J. Hendricks and M. C. Sadusky. 1989a. Potassium in Atlantic Coastal Plain soils : I. Soil characterization and distribution of potassium. Soil Science Society of America Journal 53 : 392-396.
25. Parker, D. R., G. J. Hendricks and D. L. Sparks. 1989b. Potassium in Atlantic Coastal Plain soils. II. Crop response and changes in soil potassium under intensive management. Soil Science Society of America Journal 53 : 397-401.
26. Sharpley, A. N. 1990. Reaction of fertilizer potassium in soils of differing mineralogy. Soil Science 149 : 44-51.
27. Unamba-Oparah, I. 1985. The potassium status of the sandy soils of northern Imo State, Nigeria. Soil Science 139 : 437-445.
28. Van Rees, K.C.J., N.B. Comerford and W. W. McFee. 1990. Modeling potassium uptake by slash pine seedlings from low-potassium-supplying soils. Soil Science Society of America Journal 54 : 1413-1421.
29. White, E. E. and A. L. Leaf. 1964. Soil and tree potassium contents related to tree growth : II. Tissue K as determined by total tree analysis techniques. Soil Science 99 : 109-114.
30. Wood, L. K. and E. E. DeTurk. 1941. The absorption of potassium in soil in non-replaceable forms. Soil Science Society of America Proceedings 5 : 152-161.