

연구노트

우리나라 산림에 의한 염기성 양이온과 질소의 흡수량 산정

이상덕* · 한진석* · 정일록* · 이상용**

국립환경과학원 환경진단연구부*, 강원대학교 산림자원보호학과**

(2008년 9월 26일 접수, 2009년 1월 31일 승인)

Assessment of the Uptake of Base Cation and Nitrogen in Korean Forest

Sang-Deok Lee* · Jin-Seok Han* · Il-Rok Chung* · Sang-Yong Lee**

Department of Environmental Diagnostics, National Institute of Environmental Research, Korea*

Department of Forest Resources Protection, Kangwon National University, Chuncheon, Korea**

(Manuscript received 26 September 2008; accepted 31 January 2009)

Abstract

Using the "Statistical Yearbooks of Korean forestry", we assessed the uptake of nitrogen and base cations by Korean forest.

Combined amount of base cations uptake by forest tress during its growth and that of at the time of harvest reached to 1,034 eq/ha/yr. The base cations uptake in the range of 900 ~ 1,100 eq/ha/yr occupied approximately 48.6% out of total. Coniferous forest in the range of 170 ~ 200 eq/ha/yr was 59.9%, deciduous forest in the range of 430 ~ 530 eq/ha/yr was 42.6%, and mixed forest in the range of 270 ~ 370 eq/ha/yr was 35.7% out of total. Deciduous forest recorded higher uptake rate of nitrogen and base cation than coniferous forest in Korea.

Combined amounts of nitrogen uptake by forest tress during growth and that at the time of forest, was 1,108 eq/ha/yr and nitrogen uptake was in the range of 1,000 ~ 1,200 eq/ha/yr, Within Korea, forest with nitrogen uptake in the range of 1,000 ~ 1,200 eq/ha/yr account for 45.7% of the entire country. Locations in the range of 320 ~ 390 eq/ha/yr occupied 43.9% of all coniferous forest while deciduous forest in the range of 470 ~ 570 eq/ha/yr was 40.4% of total deciduous forest. As for mixed forest in the range of 270 ~ 370 eq/ha/yr, it occupied 35.9% of all mixed forest of Korea.

Keywords : Base Cation(Bc), Nitrogen(N), Uptake

1. 서론

산성강하물로 인하여 발생하는 환경 문제들에 관한 많은 관심으로 인해 지난 수십 년간 산성강하물에 관한 집중적인 연구들이 수행되었다(Galloway, 1995; 한진석 등, 2006). 산업 사회로의 급속한 발전은 에너지 소비의 증가를 불러 일으켰고 이로 인하여 산업화가 진행 중인 국가에서는 국지적, 광역적 대기환경문제들이 사회적 관심사로 부각되었다(Kandler and Innes, 1995; Bussotti and Ferretti, 1998). 대리석 건축물의 부식, 호수나 강의 산성화로 인한 생태계의 파괴 및 산림의 황폐화 등이 이미 너무 잘 알려져 있다(Heij *et al.*, 1991; Kandler and Innes, 1995). 주로 사람들의 활동에 의해 생기는 산성비와 눈은 풍향과 풍속에 따라 차이가 있으나, 수 백km를 이동하여 주변국가에도 피해를 주고 있고 각국은 이에 따라 산성비 피해에 공동으로 대처하고 있다(Cowling, 1982). 우리나라의 황산화물 배출량은 1999년에 545,729 ton/yr에서 2001년에 552,173 ton/yr 으로 다소 증가하다가, 2003년에 이르러 499,010 ton/yr 으로 감소하는 추세를 보였고, 질소산화물의 배출량 경우는 1999년에 974,760 ton/yr 에서 2001년에 1,050,997 ton/yr 으로, 2003년에는 1,167,329 ton/yr 으로 자동차가 주요배출원인 NOx는 1999년에서 2003년 기간동안 연평균 4.6%의 증가율을 보였다(국립환경과학원, 2005). 대기 중으로 방출된 인위적 대기오염물질들(아황산가스, 이산화질소, 이차생성입자)등은 강우의 rainout, washout에 의해 산성우의 주된 조성을 이루게 되며 이들의 조성은 지역적인 배출원의 영향에 의해 측정지점, 측정지역에 따라 서로 다른 조성이 나타나게 된다. rainout은 오염물질이 운적과 빙정의 응축핵이 됨으로서 빗방울에 의해 제거되는 것을 의미하고, washout은 생성된 빗방울이 떨어질 때 대기 중에서 오염물질과 충돌하여 흡수 및 흡착되는 것을 의미하는데 구름의 아래쪽에서 일어나기 때문에 구름 아래에서의 세정 작용이라고도 한다. 즉, 가스나 입자상 물질은 구름 입자 등의 물방울이 있으면 확산이나 관성충돌 등

에 의해 그 안으로 흡수 및 흡착되고 흡습성의 입자상 물질은 구름입자의 핵으로도 제거된다. 가스의 흡수는 헨리의 법칙에 의해 설명되지만(Stumm and Morgan, 1990; Seinfeld, 1986), 입자상 물질은 입경에 따라 공기역학적 거동이 다르게 되어 제거메커니즘도 다르게 된다(Hopke, 1985). 오염물질이 생태계에 미치는 영향을 평가하는 방법으로 산성 임계부하량 개념이 널리 사용되고 있다(Posch *et al.*, 1995). 이 방법의 인자로서 사용 전체 삼림의 연순생산량과 염기성 양이온($Bc = K^+ + Mg^{2+} + Ca^{2+}$) 및 질소(N)의 흡수량 산정이 선행되어야 한다.

따라서 본 연구에서는 기존의 연구 결과와 국가통계자료로부터 우리나라 산림에 의한 염기성 양이온과 질소의 흡수량을 산정하여 우리나라의 산림생태계에 대한 임계부하량 산출 과정에 필요한 기본 자료를 마련하고자 한다.

II. 연구 방법

1. 산림자원조사

주요 수종별 구성비를 보면 침엽수림에서는 천연 소나무림이 1,507,000ha (55.1%), 낙엽송 469,000ha (17.1%), 리기다소나무 420,000ha(15.3%), 잣나무 234,000ha (8.6%) 으로 나타났으며, 지역별 분포를 보면 강원도, 전라남북도, 경상남북도, 제주도 지역은 소나무가, 경기도 지역은 잣나무가, 충청북도 지역은 낙엽송이, 충청남도 지역은 리기다소나무가 가장 많이 분포하고 있다(산림청, 2005). 활엽수림의 경우 수종구분이 세분화 되지 않은 관계로 수종별 구성비를 정확하게 파악하기가 곤란하지만, 활엽수자원조사(1993~1995)의 결과를 토대로 추정된 결과 참나무림이 95.3%를 차지하고 있었다. 수종별로 살펴보면 상수리나무, 신갈나무, 굴참나무, 졸참나무, 아까시나무, 갈참나무, 오리나무, 산뽕나무, 서어나무, 밤나무 순으로 분포하고 있는 것으로 나타났다(산림청, 2005). 지역별 분포를 살펴보면 경기도, 충청북도, 전라북도, 경상북도 지역은 상수

리나무가 우점종으로 자리 잡고 있으며, 강원도 지역은 신갈나무, 충청남도과 경상남도 지역은 굴참나무가 우점하고 있으며, 전라남도 지역은 오리나무, 제주도 지역은 서어나무가 가장 많이 생육하고 있는 것으로 나타났다(산림청, 2005).

2. 수간(樹幹)과 지조(枝條)의 연순생산량 산정

장기적인 관점에서 앞에서의 흡수량은 낙엽으로의 환원량과 평형을 이루게 되고, 뿌리에서의 흡수량도 토양으로의 환원량과 평형을 이루는 것으로 가정하였다.

수간(樹幹)과 지조(枝條)의 연순생산량(Net Primary Production, *NPP*)은 아래와 같이 추정할 수 있다(UBA, 1996).

$$NPP = K_{gr} \times \rho_{st} (1 + f_{br,st}) \tag{1}$$

여기서 K_{gr} 는 단위면적당 연평균 성장량($m^3/ha/yr$)이고, ρ_{st} 는 단위 임목 재적 당 건조량의 비인 밀도(kg/m^3)를 나타내며, $f_{br,st}$ 는 수간재적에 대한 지조재적의 비율 즉, 지조율(枝條率)을 의미하는 것이며, st 는 수간(stem)을 br 은 지조(branch)를 나타낸다.

3. 생장에 의한 염기성 양이온과 질소의 흡수량 산정

수목의 생장에 필요한 연간 염기성 양이온의 흡수량(Bcu)과 질소의 흡수량(Nu)을 아래와 같이 산정할 수 있다(UBA, 2004).

$$Bcu = K_{gr} \times \rho_{st} (ctBc_{st} + f_{br,st} \times ctBc_{br}) \tag{2}$$

$$Nu = K_{gr} \times \rho_{st} (ctN_{st} + f_{br,st} \times ctN_{br}) \tag{3}$$

여기서 Bc 는 Na^+ 를 제외한 양이온의 합($K^+ + Mg^{2+} + Ca^{2+}$)이다. $ctBc_{st}$ 와 $ctBc_{br}$ 는 수간과 지조 내의 Bc 의 함량(g/kg)이고 ctN_{st} 와 ctN_{br} 는 수간과

지조 내의 N 의 함량(g/kg)이다.

표 1은 임상별 수간과 지조 내의 염기성양이온(Bc)과 질소(N)의 함량을 나타낸 것이다.

4. 수확에 의한 염기성 양이온과 질소의 흡수량 산정

수확에 의한 염기성 양이온과 질소 흡수량의 산정은 산림청 홈페이지에 제공되는 통계자료방(www.foa.go.kr)의 자료를 이용하여 최근 5년간 2001년부터 2005년까지의 우리나라 시·도별 용재수확량 중 침엽수와 활엽수의 자료를 이용하여 시·도별 임상별 연평균 용재수확량(m^3/yr)을 이용하여, 생장에 의한 흡수량 산정과 같은 방법으로 구하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 우리나라의 토지이용도

우리나라의 산림면적은 총 6,246,229 ha(죽림과 무림목지는 제외)로서 그 중 침엽수림이 43.3%, 활엽수림이 26.7%를 차지하고 있으며, 나머지 30.0%는 혼효림으로 이루어져 있다(산림청, 2005).

우리나라의 산림면적은 64.2%로 행정자치부(2005)에서 보고한 65.1%와 유사한 수준을 나타냈다. 산림 면적에 대한 임상별 비율은 침엽수림이 42.3%를 차지하고 있으며, 활엽수림이 26.0% 그리고 혼효림이 29.3%를 차지하고 있음을 알 수 있었다. 강원도가 82.5%로 가장 높은 산림면적 비율을 나타내고 있으며, 경상북도에서 70.8%로 높은 산림면적 비율을 나타냈다. 서울지역의 경우 산림이 차지하는 비율이 26.0%로 가장 낮은 부분을 차지하고 있으며, 그 중 활엽수림의 비율이 48.6%로 침엽수림 9.2%보다 상당히 높은 값을 보였으며, 전라남도에서

Table 1. Mean of the element contents in stems and branches of forest type (UBA, 2004)

Forest type	Bc (g/kg)		N (g/kg)	
	Stems(ctBcst)	Branches(ctBcbr)	Stems(ctNst)	Branches(ctNbr)
Coniferous Forest	1.97	4.17	1.09	3.61
Deciduous Forest	3.70	6.85	2.10	6.19
Mixed Forest	2.84	5.51	1.60	4.90

는 침엽수림이 57.0%로 우점을 나타내고 있었다.

2. 연평균 임목축적량 산정

임목의 영급은 I영급(10년생 이하) ~ VI영급(51년생 이상)으로 구분되는데 2004년 우리나라 산림의 영급구조를 보면 I영급 5.9%, II영급 15.4%, III영급 39.3%, IV영급 28.9%, V영급 8.2%, VI영급 2.1%로 III영급 이상 장령림이 전체의 약 79%를 차지하고 있다(산림청, 2005).

산림 전체의 최근 10년간(1996~2005) 연평균 단위 면적당 임목 축적량은 3.13 m³/ha/yr를 나타냈으며, 침엽수가 3.14 m³/ha/yr를 나타냈고, 활엽수의 경우 3.09 m³/ha/yr, 혼효림의 경우 3.35 m³/ha/yr를 나타냈다(Table 2). 산림 전체에 대해서 지역별로 살펴보면 광주광역시와 가장 높은 단위면적당 임목축적량 5.38 m³/ha/yr을 보였으며, 대전광역시에서 2.66 m³/ha/yr의 가장 낮은 값을 보이고 있다.

임상별로 살펴보면, 침엽수림의 경우 광주광역시 > 부산광역시 > 울산광역시의 순으로 높은 값을 보였으며, 활엽수림의 경우 광주광역시 > 제주도 > 경기도의 순으로 높은 값을 보였고 혼효림의 경우에는 제주도 > 광주광역시 > 대구광역시의 순을 나타냈다. 그리고 대전광역시의 경우 침엽수림과 활엽수림에서 가장 낮은 값을 보였으며, 서울특별시에서는 혼효림의 값이 가장 낮은 특징을 보이고 있다.

지조율은 2004년 임업통계자료기준(산림청, 2005) 침엽수 중 55.7%를 차지하는 소나무의 평균 지조율 26%를 적용하였고, 활엽수 중 95.3%를 차지하는 참나무의 평균 지조율 33%를 적용하였다. 또한 단위 임목 재적 당 건중량의 비인 건밀도(산림청, 2000)는 침엽수의 경우 387 kg/m³, 활엽수는

Table 2. Values of productivity, dry density, and branch volume percent in forest over Korea, 2004

Forest type	K_{gr} (m ³ /ha/yr)	$f_{br,st}$ (m ³ /m ³)	ρ_{st} (kg/m ³)
Coniferous	3.14	0.26	387
Deciduous	3.09	0.33	572
Mixed	3.35	0.30	479

572 kg/m³, 혼효림은 479 kg/m³ 이다(표 2). 침엽수림 에서는 강원지방의 소나무가 401 kg/m³, 중부지방의 소나무가 372 kg/m³를 낙엽송이 402 kg/m³, 잣나무가 377 kg/m³을 나타냈고, 활엽수림에서는 상수리나무가 633 kg/m³을, 신갈나무가 512 kg/m³를 나타냈다. 독일의 경우 수종별 건밀도는 소나무가 490 kg/m³, 낙엽송이 550 kg/m³을 보였고, 스트로브 잣나무가 370 kg/m³, 참나무가 640 kg/m³을 나타냈다(Kramer, 1996).

3. 수간(樹幹)과 지조(枝條)의 연순생산량 산정

표 3은 1996년부터 2005년까지의 최근 10년간 우리나라 산림의 단위면적당 임상별 수간(樹幹, stem)과 지조(枝條, branch)만을 고려한 연순생산량을 추정한 결과이다.

우리나라 산림의 평균 연순생산량은 2.0 ton DM/ha/yr으로 그 중 침엽수림이 1.5 ton DM/ha/yr, 활엽수림이 2.4 ton DM/ha/yr를 그리고 혼효림이 2.1 ton DM/ha/yr를 나타냈다. Choi Y. C. and Park I. H.(1993)은 전남 모후산의 굴참나무를 대상으로 연순생산량을 추정한 논문에서 II영급 굴참나무의 줄기와 가지의 연순생산량을 2.3 ton DM/ha/yr 보였고, 경기도 광주 지역의 III영급 참나무(굴참, 상수리, 떡갈, 신갈나무)를 대상으로 추정한 결과(Park *et al.*, 1996) 줄기와 가지의만을 고려할 때 굴참나무의 경우 4.24 ton DM/ha/yr, 상수리나무 4.21 ton DM/ha/yr, 떡갈나무 1.61 ton DM/ha/yr 및 신갈나무 4.82 ton DM/ha/yr의 연순생산량을 보였다. 이는 우리나라 산림에서 79%를 차지하는 III영급의 4개 수종 평균 연순생산량이

Table 3. Forest area and annual mean net primary production in Korea forest

Forest type	Forest Area (ha)	Forest Area (%)	NPP (kg DM/ha/yr)
Coniferous	2,706,987	43.3	1,531
Deciduous	1,665,893	26.7	2,350
Mixed	1,873,349	30.0	2,087
Mean	-	-	1,989
Total	6,246,229	100.0	-

3.7 ton DM/ha/yr를 보여, 전체 활엽수림을 대상으로 추정된 연순생산량 3.5 ton DM/ha/yr과 비슷한 수준임을 알 수 있었다.

최근 10년간 시·도별 임상별 수간과 지조만을 고려한 연순생산량을 추정한 결과, 가장 큰 연순생산량을 보인 광주광역시로 그 값이 평균 3,321 kg DM/ha/yr로 침엽수가 2,746 kg DM/ha/yr, 활엽수가 3,901 kg DM/ha/yr의 높은 생산량을 보이고 있으며, 혼효림은 3,317 kg DM/ha/yr의 값을 나타냈다. 임상별로 살펴보면, 침엽수의 경우에 광주광역시와 부산광역시가 각각 2,746 kg DM/ha/yr과 2,083 kg DM/ha/yr으로 높은 연순생산량을 보였고, 활엽수의 경우 광주광역시와 제주도에서 3,901 kg DM/ha/yr과 3,764kg DM/ha/yr으로 높은 연순생산량을 보였다. 그리고, 혼효림의 경우 제주도에서 가장 높은 4,056 kg DM/ha/yr 값을 보였으며 그 다음으로 광주광역시의 3,317 kg DM/ha/yr 순이었다.

4. 성장과 수확에 의한 염기성 양이온(Bc)와 질소(N)의 흡수량 산정

생장에 의한 염기성양이온과 질소의 흡수량은 최근 10년간(1996~2005) 평균 자료를 이용하였고, 수확에 의한 흡수량은 최근 5년간(2001~2005) 평균 자료를 이용하여 산정하였다.

최근 5년간 침엽수와 활엽수의 용재수확량은 총 1,335,682 m³/yr로서 침엽수가 908,949 m³/yr, 활엽수가 426,733 m³/yr이었다. 그 밖에 기타 수확이 전체 중 0.2% 정도 차지하는데 여기서는 침엽수와 활엽수에 의한 용재수확량 값을 이용하였다. 용재수확량이 가장 많은 곳은 강원도 지역으로 226,759 m³/yr이었고, 그 다음이 충청남도과 전라북도의 순이었다. 침엽수의 경우는 강원도가 175,660 m³/yr으로 가장 많은 수확량을 보였고, 그 다음이 전라북도과 충청남도가 기록했고, 활엽수의 경우 경상북도가 87,557 m³/yr로 가장 많은 수확량을 보였고, 충청남도가 그 뒤를 잇고 있다. 단위면적당(ha) 용재수확량에서는 충청남도과 전라북도가 각각 0.476 m³/ha/yr과 0.464 m³/ha/yr

로 높은 값을 나타냈으며, 강원도는 0.168 m³/ha/yr의 낮은 수확량을 보였는데 이는 산림면적이 다른 지역에 비해 현저히 높기 때문이다.

표 4는 최근 10년간(1996 ~ 2005년) 평균 성장에 의한 염기성양이온(Bc)과 질소(N)의 흡수량과 수확량에 포함된 Bc와 N을 산정하여 식생에 의한 Bc와 N의 흡수량을 산정한 결과이다.

생장에 의한 염기성양이온(Bc)의 흡수량은 침엽수림이 166 eq/ha/yr, 활엽수림이 481 eq/ha/yr, 혼효림이 329 eq/ha/yr으로 총 976 eq/ha/yr의 흡수량을 보였으며, 질소(N)의 흡수량은 침엽수림이 179 eq/ha/yr, 활엽수림이 522 eq/ha/yr, 혼효림이 345 eq/ha/yr으로 총 1,046 eq/ha/yr의 흡수량을 나타냈다. 수확에 의한 염기성양이온(Bc)의 전체 흡수량은 58 eq/ha/yr, 질소(N)의 전체 흡수량은 62 eq/ha/yr를 나타냈으며, 성장과 수확으로 인한 염기성 양이온의 총 흡수량은 1,034 eq/ha/yr, 질소의 총 흡수량은 1,108 eq/ha/yr 이었다. 성장과 수확으로 인한 염기성양이온(Bc)에 대한 침엽수의 흡수량은 184 eq/ha/yr이었고, 활엽수의 흡수량은 521 eq/ha/yr를 보였으며, 성장과 수확으로 인한 질소(N)에 대한 침엽수림의 흡수량이 198 eq/ha/yr, 활엽수림의 흡수량 565 eq/ha/yr를 보였다. 프랑스 산림에 대해 David *et al.*(2004)이 발표한 염기성 양이온에 대한 침엽수림의 흡수량 500 eq/ha/yr, 활엽수림의 흡수량을 319 eq/ha/yr과 질소의 흡수량은 침엽수림이 423 eq/ha/yr, 활엽수림이 139 eq/ha/yr과 임상별로 비교해 볼 때 우리나라 산림은 염기성 양이온과 질소의 흡수량 모두 침엽수림보다는 활엽수림에서 높게 나타났으나,

Table 4. Annual mean uptake of base cation(Bc) and nitrogen(N) by growing and harvested aboveground biomass in Korea forest, 1996 ~ 2005

Forest type	Growth (eq/ha/yr)		Harvest (eq/ha/yr)	
	Bc _u	N _u	Bc _u	N _u
Coniferous	166	179	18	19
Deciduous	481	522	40	43
Mixed	329	345	-	-
Total	976	1,046	58	62

프랑스의 산림에서는 활엽수림 보다 침엽수림에서 흡수량이 높게 나타났다. 네덜란드의 산림에서 연생장률을 고려한 줄기의 평균 질소 흡수량은 침엽수림과 활엽수림에서 각각 300 eq/ha/yr과 500 eq/ha/yr의 수준이었다(De Vries, 1993). 중국(Lei Duan *et al.*, 2004) 침엽수림의 경우 염기성 양이온의 흡수량이 900 eq/ha/yr이었으며, 질소의 경우 520 eq/ha/yr이었고, 중국 활엽수림의 경우

염기성양이온의 흡수량은 1,892 eq/ha/yr이었고, 질소의 경우 1,330 eq/ha/yr 수준을 보였다.

그림 1은 생장과 수확에 의한 염기성 양이온의 흡수량을 공간적 분포로 나타낸 것이다.

생장과 수확에 의한 염기성 양이온의 전국 평균 산림의 흡수량은 1,034 eq/ha/yr 이었으며, 900 ~ 1,100 eq/ha/yr 범위에서 48.6%의 흡수량을 나타냈다. 임상별로 살펴보면, 침엽수림에서는 170 ~

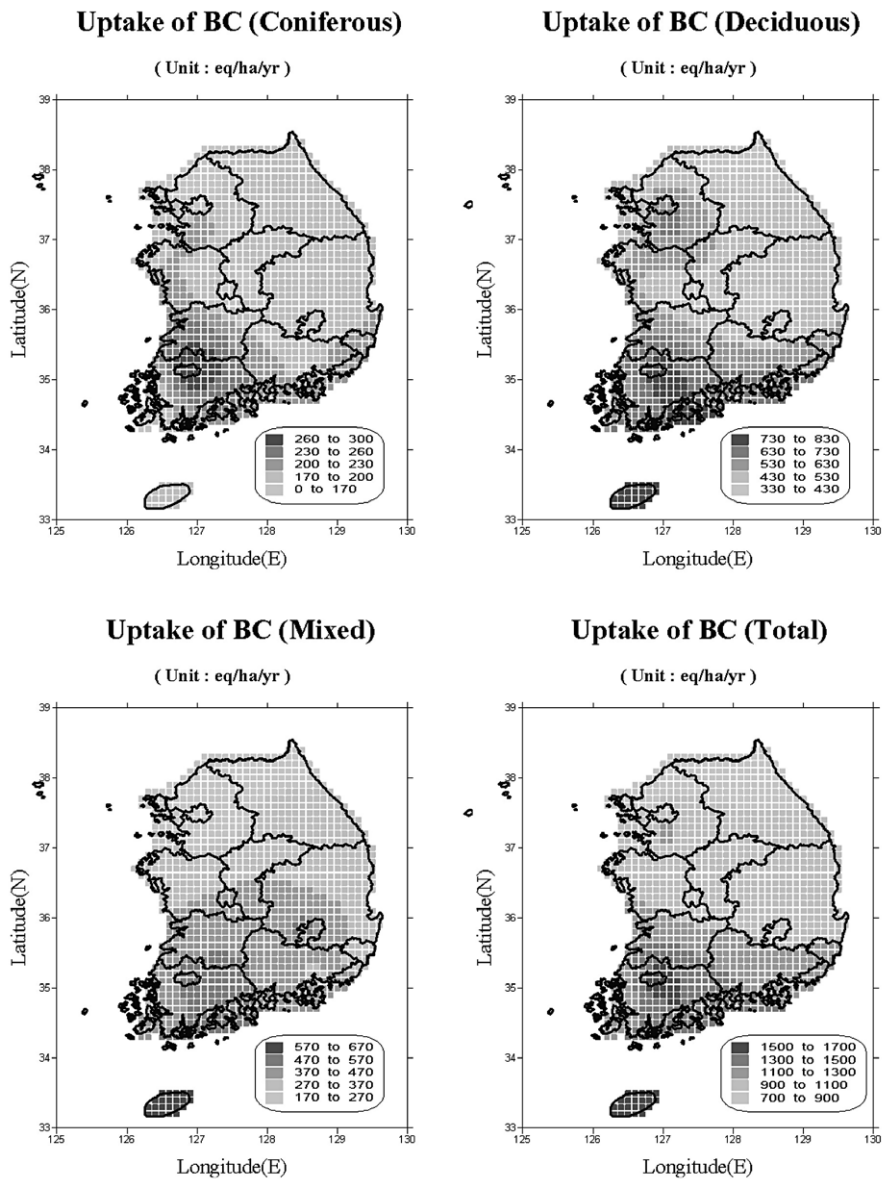


Figure 1. Spatial distribution(0.1° × 0.1°) of annual mean uptake of base cation by growth and harvest in Korean Forest

200 eq/ha/yr 범위에서 59.9%를, 활엽수림에서는 430 ~ 530 eq/ha/yr 범위에서 42.6%를, 혼효림에서는 270 ~ 370 eq/ha/yr 범위에서 35.7%를 차지하였다. 지역별로는 전체 산림에 대해서 광주광역시와 제주도에 높은 흡수량을 보이고 있으며, 강원도와 인천광역시에서 낮은 흡수량을 보였다. 침엽수림에서는 광주광역시와 전라북도에서 높은 흡수량을 보였다. 그리고 활엽수림에서는 광주광역시와 제

주도에서 높은 흡수량을 보였고, 혼효림에서는 제주도와 대구광역시에서 높은 흡수량을 보였다.

그림 2는 생장과 수확에 의한 질소의 흡수량을 공간적 분포로 나타낸 것이다.

생장과 수확에 의한 질소의 전국 평균 산림의 흡수량은 1,108 eq/ha/yr 이었으며, 1,000 ~ 1,200 eq/ha/yr 범위에서 45.7%의 흡수량을 나타냈다. 임상별로 살펴보면, 침엽수림에서는 320 ~ 390

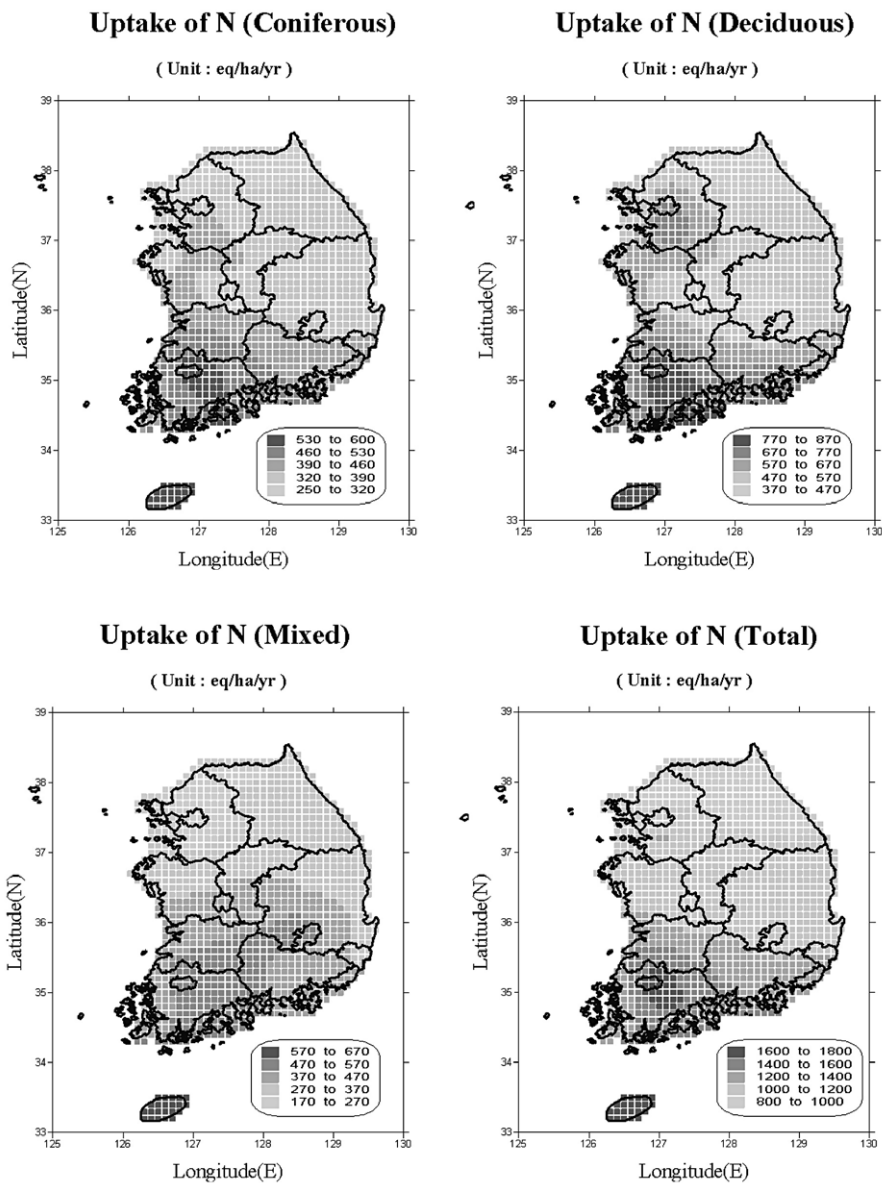


Figure 2. Spatial distribution(0.1° × 0.1°) of annual mean uptake of nitrogen by growth and harvest in Korean Forest

eq/ha/yr 범위에서 43.9%를, 활엽수림에서는 470 ~ 570 eq/ha/yr 범위에서 40.4%를, 혼효림에서는 270 ~ 370 eq/ha/yr 범위에서 35.9%를 차지하였다. 지역별로는 전체 산림에 대해서 염기성 양이온과 동일한 추세인 광주광역시와 제주도에 높은 흡수량을 보이고 있으며, 강원도와 인천광역시에서 낮은 흡수량을 나타냈다. 침엽수림에서는 광주광역시와 전라북도에서 높은 흡수량을 보였다. 그리고 활엽수림에서는 광주광역시와 제주도에 높은 흡수량을 보였고, 혼효림에서는 제주도와 광주광역시에서 높은 흡수량을 보였다.

이는 독일가문비 나무의 경우 연년생생장량과 평균생장량을 조사한 결과 연년생생장량의 경우 연년생생장 최대점이 IV영급(31 ~ 40년생)에서 형성되어 V영급(41 ~ 50년생)부터 서서히 감소하였고, 평균생장량의 경우도 V영급까지 꾸준히 증가한 후, VI(51년생 이상)영급에 이르러 서서히 생장량이 중지되는 곡선의 추세를 보이는데(Kramer, 1996), 광주광역시의 경우 II·III·IV영급의 임목축적이 전체의 94%로 높은 수준이었고, V영급과 VI영급에서 6%로 나타난데 비해, 강원도의 경우 II·III·IV영급의 임목축적이 전체의 65%로 낮은 수준이었고, V영급과 VI영급에서 35%로 우리나라 산림의 V·VI영급 10.3%보다 높은 수준이기 때문에 산림의 면적이 82.5%로 높은 수준임에도 불구하고 염기성 양이온의 흡수량에 있어서는 낮은 수치를 보이는 이유라고 사료된다.

IV. 결론

본 연구는 시·도별 임상별 산림면적과 임목축적 자료를 기초로 하여 우리나라 산림에 의한 염기성 양이온과 질소의 흡수량 산정하였다. 생장과 수확에 의한 염기성 양이온의 전국 평균 산림의 흡수량은 1,034 eq/ha/yr 이었으며, 900 ~ 1,100 eq/ha/yr 범위에서 48.6%의 흡수량을 나타냈다. 임상별로 살펴보면, 침엽수림에서는 170 ~ 200 eq/ha/yr 범위에서 59.9%를, 활엽수림에서는 430 ~ 530

eq/ha/yr 범위에서 42.6%를, 혼효림에서는 270 ~ 370 eq/ha/yr 범위에서 35.7%를 차지하였다. 생장과 수확에 의한 질소의 전국 평균 산림의 흡수량은 1,108 eq/ha/yr 이었으며, 1,000 ~ 1,200 eq/ha/yr 범위에서 45.7%의 흡수량을 나타냈다. 임상별로 살펴보면, 침엽수림에서는 320 ~ 390 eq/ha/yr 범위에서 43.9%를, 활엽수림에서는 470 ~ 570 eq/ha/yr 범위에서 40.4%를, 혼효림에서는 270 ~ 370 eq/ha/yr 범위에서 35.9%를 차지하였다.

생장과 수확에 의한 염기성 양이온과 질소에 대한 흡수량의 전국 분포를 $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ 격자별로 산출하였을 때, 전체 산림에 대해서 광주광역시와 제주도에 높은 흡수량을 보이고 있으며, 강원도와 인천광역시에서 낮은 흡수량을 나타냈다. 침엽수림에서는 광주광역시와 전라북도에서 높은 흡수량을 보였고, 활엽수림에서는 광주광역시와 제주도에 높은 흡수량을 보였으며, 혼효림에서는 제주도와 광주광역시에서 높은 흡수량을 보였다.

참고문헌

- 국립환경과학원, 2005, 국가 대기오염물질 배출량 - 연도별 배출량 추이(1999 ~ 2003) -, 환경부, pp. 205.
- 산림청, 2001, 산림과 임업기술, 259-260.
- 산림청, 2005, 임업통계연보, pp. 462.
- 한진석, 이상덕, 홍유덕, 공부주, 신선아, 정일록, 2006, 2005년 우리나라 습성강하물의 특성과 분포, 한국대기환경학회지, 22(4), 459-467.
- 행정자치부, 2005, 지적통계연보, pp. 512.
- Bussotti F. and Ferretti M., 1998, Air pollution, forest condition and forest decline in Southern Europe: an overview, *Environ Pollut*, 101(1), 49-65.
- Choi Young Cheol and Park In Hyeop, 1993, Biomass and Net Production of a Natural *Quercus variabilis* Forest and a

- Populus alba × P. glandulosa Plantation at Mt. Mohu Area in Chonnam, *Journal of Korean Forest Society*, 82, 188-194.
- Cowling, E. B., 1982, Acid precipitation in historical perspective, *Environmental Science Technology*, 16, 110A-123A.
- David M., Anne P., and Jean-Paul P., 2004, Weathering, atmospheric deposition and vegetation uptake : role for ecosystem sensitivity to acid deposition and critical load. External Geophysics, *Climate and Environment*, 336, 1417-1426.
- De Vries W., G. J. Reinds, and M. Posch, 1994, Assessment of critical loads and their exceedances on European forests using a one-layer steady-state model. *Water, Air and Soil Pollution*, 72, 357-394.
- Galloway J. N., 1995, Acid deposition: perspectives in time and space, *Water Air Soil Pollut.*, 85, 15-24.
- Heij G. J., de Vries W., Posthumus A. C., Mohren G. M. J., 1991, Effects of air pollution and acid deposition on forests and forest soils, In: Schneider T, Heij GJ, editors. Acidification research in the Netherlands Final report of the Dutch Priority Programme on Acidification, studies in environmental science; wol. 46, Amsterdam: Elsevier, 97-137.
- Hopke, P. K., 1985, Receptor modelling in environmental chemistry. John Wiley & Sons. 91-110.
- Jo, N. S., 2006, Statistical yearbook of forestry, www.foa.go.kr.
- Kandler O. and Innes J. L., 1995, Air pollution and forest decline in central Europe, *Environ Pollut.*, 90(2), 171-180.
- Kramer, H., 1996, Waldwachstumslehre, Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin.
- Seinfeld, J. H., 1986, Atmospheric chemistry and physics of air pollution, John Wiley & Sons, 699.
- Lei Duan, Yongmei Huang, Jiming Hao, Shaodong Xie, Min Hou, 2004, Vegetation uptake of nitrogen and base cations in China and its role in soil acidification, *Science of the total environment*, 330, 187-198.
- Seinfeld J. H., 1986, Atmospheric chemistry and physics of air pollution, John Wiley & Sons, pp. 699.
- Stumm, W. and J. J. Morgan, 1990, Aquatic chemistry; an introduction emphasizing chemical equilibria in natural waters, 2nd Ed. John Wiley & Sons, New York, 121-170.
- Park, I. H, D, K, Lee, K. J. Lee, and G. S. Moon., 1996, Growth, Biomass and Net Production of Quercus Species(I) - With Reference to Natural Stands of Quercus variabilis, Q. acutissima, Q. dentata and Q. mongolica in Kwangju, Kyonggi Do -, *Journal of Korean Forest Society*, 85, 76-83.
- Posch. M., P. A. M. de Smet, J. P. Hettelingh and R. J. Downing (eds.), 1995, Calculation and mapping of critical thresholds in Europe: in CCE Status Report, National Institute of Public Health and the Environment(RIVM) Rep. 259101005, Bilthoven, Netherlands.
- UBA 1996, ICP Modelling and Mapping: Manual on Methodologies and Criteria for Mapping Critical Levels/Loads and geographical areas where they are

exceeded. Federal Environmental Agency (Umweltbundesamt), Texte 71/96, Berlin.

UBA 2004, ICP Modelling and Mapping : Manual on Methodologies and Criteria for Mapping Critical Levels/Loads and

geographical areas where they are exceeded. Federal Environmental Agency (Umweltbundesamt), Texte 52/04, Berlin.

최종원고채택 09. 02. 10