

樹冠通過雨, 樹幹流 및 林外雨에서 Al, Mn 및 Ni의 濃度 變化

李總揆* · 金佑龍** · 金鍾甲***

慶尙南道 山林環境研究院*, 晉州産業大學校 山林資源學科**, 慶尙大學校 山林科學部***

적 요: 山林地域의 降雨分析에 의한 重金屬 濃度를 分析한 결과, Al의 樹種別 濃度는 工團地域의 해송림이 상수리나무림보다 1.3배 높았고, 都市地域은 해송림이 2.1배 높았다. 工團地域과 都市地域 樹幹流의 Al 농도는 樹冠通過雨와 林外雨 보다 각각 2.3배와 192.5배, 4.8배와 55배 높은 농도였고, 林外雨는 두 地域에서 같은 농도로 낮았다. Mn의 농도는 樹種別 농도는 都市地域의 해송림이 1.4배 높았다. Mn의 降雨別 농도는 樹幹流가 樹冠通過雨 보다 6.1배 높았고, 林外雨 보다 121배 높은 농도였다. 降雨의 季節別 농도를 분석한 결과에서 Al은 工團地域에서 12월의 降雨가 가장 높았고, 다음으로 3월, 6월, 8월 順으로 분석 되었지만, 都市地域은 계절별 뚜렷한 변화가 없었다. 地域別 重金屬의 濃度는 工團地域에서 Al>Mn>Ni의 順이었고, 都市地域은 Mn>Al>Ni의 順으로 조사되었다.

검색어: 상수리나무, 수간류, 수관통과우, 임외우, 중금속, 해송

基礎資料로 활용코자 실시하였다.

緒 論

오늘날 문명과 산업의 발달로 인하여 地球環境의 파괴가 심각한 문제로 대두되어지고 있다. 環境汚染 가운데 重金屬에 의한 피해는 인간을 포함한 동물뿐만 아니라 식물이 존재하는 山林生態系에서 큰 영향을 미치고 있는 실정이다.

工業地域과 都市地域의 大氣汚染과 더불어 산성비의 피해가 점차 可視化되고 있으며, 이들 지역에서 계속적인 대기 중의 중금속 농도의 증가는 樹木의 樹冠에 沈着되어 地上으로 流入되고 있으며, 이러한 重金屬은 토양을 汚染시키고 있다 (李 등, 1995).

외부로부터 많은 量의 重金屬이 流入이 예상되는 特定 山林地域에 있어서 토양내 중금속 蓄積量이 山林衰退의 加速化를 초래할 만큼 유해수준에 도달할 수 있다 (李 등 1995). 또한 植物體 中の 중금속 농도는 토양으로부터의 흡수와 아울러 대기로부터의 침적에 의하여 左右된다 (李 등 1986). 이러한 중금속 성분중 Al과 Mn 등은 土壤內의 毒物物質 가용화가 촉진되며 산림수목의 전체적인 衰退를 가져온다 (이 1988, Binkley et al. 1994). 이러한 Al, Mn, Ni 등의 중금속은 식물뿌리의 활력을 저하시키며, 土壤微生物의 활동을 鈍化시켜 山林生態의 전반적인 生産性 低下를 초래한다 (Ulrich 1980). 식물의 生育低下는 토양내 중금속 성분이 植物體에 과도하게 흡수된 것이 그 원인(茅野 1982, 伊豆田 1992)으로 考察하였고, 수목의 樹皮, 잎 등의 植物體 重金屬 研究에서 식물의 被害現象에 대한 보고(張 등 1990, 韓 등 1992) 등이 있다.

따라서 본 연구는 大氣汚染 物質의 영향으로 산성비와 중금속의 영향을 받고 있는 산림에 대하여 工團地域, 都市地域을 구분하여 海송림과 상수리나무림에서 樹冠通過雨, 樹幹流, 임외우에 대하여 Al, Mn, Ni의 溶存成分을 분석하여 山林內로 流入을 구명하고 山林生態系 被害對策 수립의

材料 및 方法

본 研究의 조사지역은 현재 산성비에 의한 山林被害가 深刻한 울산광역시 울주군 온산읍 이진리의 溫山工團地域과 최근 人口過密에 의한 暖房燃料의 증가와 더불어 自動車の 증가로 인하여 大氣汚染이 極甚한 부산시 사상구 학장동 구덕터널 주변지역의 산림을 都市地域의 조사구로 선정하였다.

山林樹種은 樹冠通過雨와 樹幹流를 채취하기 위하여 침엽수는 海송(Pinus thunbergii)을, 활엽수는 상수리나무(Quercus acutissima)를 선정하였다.

山林內 樹木의 樹冠에 1차적으로 차단된 후 樹幹을 타고 林地內로 流入되는 樹冠通過雨의 중금속을 조사하기 위하여 地域別, 樹種別 3반복으로 폴리에틸렌 용기(20ℓ)를 12개를 설치하였고; 다음은 樹木의 樹冠에 차단된 후 樹幹을 타고 林地內로 流入되는 樹幹流의 重金屬을 조사하기 위하여 山林內에서 海송림과 상수리나무림 중에서 평균이 되는 수목을 지역별, 수종별 3반복으로 12본을 선정하였다.

강우의 채취법은 酸性雨調査法(環境廳 1993)에 의하여 樹冠通過雨와 林外雨는 20ℓ의 폴리에틸렌 용기에 異物質의 流入을 막기 위하여 그물망을 씌워 이용하였는데, 林外雨는 주위에 건물이나 수목 등의 장애물이 없는 곳을 선정하였으며, 地面으로부터 튀어 오르는 降雨를 방지하기 위하여 採取裝置를 地上 60 cm 높이에 철근으로 고정하였다. 樹幹流의 採取裝置는 樹木에 거즈를 둘러 採取하였는데, 地上 2 m의 높이에서 거즈를 아래로 向하여 감으면서 내려 거즈 끝을 고무호스로 연결하여 폴리에틸렌 용기에 접속시키고 외부의 異物質 유입을 막기 위하여 실리콘으로 고무 호스와 폴리에틸렌의 연결부위를 밀봉하였다.

조사기간은 1998년 1월부터 12월까지 3월, 6월, 8월, 12

월의 4회 강우를 해송림과 상수리나무림을 구분하여 樹冠通過雨(throughfall), 樹幹流(stemflow), 林外雨(rainfall)를 구분하여 조사하였으며, 翌日 全降雨의 강우량을 측정하였다. 試料分析을 위하여 樹冠通過雨, 樹幹流 그리고 林外雨를 200 ml씩 채취하였다. 채취 시료는 실험용 채취병에 담아 실험실로 옮겨서 냉장고(4°C이하)에 보관하여 여과후 분석용 시료로 사용하였으며, 분석기기는 ICP-AES로 강우중 Al, Mn 및 Ni의 증금속을 측정하였다 (김 1988).

조사된 자료의 統計處理는 統計 package SAS system (SAS 1989)을 이용하여 降雨의 重金屬 濃度間에 ANOVA를 실시하고 有意差가 인정되면 각 조사치의 평균값의 差異를 Alpha=0.05 범주에서 Duncan's multiple range test에 의하여 비교하였다.

結果 및 考察

樹冠通過雨, 樹幹流, 林外雨의 Al, Mn 및 Ni 농도

Fig. 1은 조사지역에서의 樹種別로 채취한 4계절의 평균 농도로서 樹冠通過雨, 樹幹流, 林外雨의 Al, Mn 및 Ni를 분석한 결과, Al의 樹種別 농도는 공단지역의 해송림이 상수리나무림 보다 1.3배 높았고, 都市地域은 해송림이 2.1배 높았다. 그리고 降雨別 농도는 工團地域의 해송림의 樹幹流가 상수리나무림의 樹幹流 보다 1.4배 높았고, 都市地域에서는 해송림의 樹幹流가 2.3배 높았다. 工團地域에서 樹幹流가 樹冠通過雨, 林外雨 보다 각각 2.3배, 192.5배 높았고, 都市地域은 樹幹流가 樹冠通過雨, 林外雨 보다 각각 4.8배, 55배 농도로 높았다. 林外雨는 두지역에서 같은 농도로 낮았다. 이것은 대기중 증금속 성분이 樹木의 잎과 줄기에 부착되어 있다가 降雨시 씻겨 土壤으로 流入된다 (辰己 1973)고 보고하였는데, 본 조사에서 樹幹流와 樹冠通過雨가 林外雨 보다 농도가 높은 결과와 類似한 것으로 사료된다. 이러한 결과에서 工團地域의 Al의 농도가 降雨에 높게 검출되므로 樹木의 잎에 대한 직접적인 피해와 함께 降雨時 地上으로 流入되어 土壤 內에서 毒物質로 되어 樹木의 뿌리 발달의 阻害로 인하여 生態系에 被害가 발생될 것으로 생각된다.

Mn의 농도는 수종별로 공단지역의 해송림이 상수리나무림 보다 1.3배 높았고, 都市地域은 해송림이 1.4배 높았다. 降雨別로는 工團地域의 樹幹流가 樹冠通過雨, 林外雨 보다 각각 4.9배, 183배 높았다. 都市地域은 樹幹流가 樹冠通過雨, 林外雨 보다 6.1배, 121배로 높았다. Mn의 경우는 都市地域의 강우에서 Al의 농도보다 높게 나타나므로 都市地域의 자동차 배기가스, 타이어의 마모로 인한 것으로 판단되며, 이러한 증금속 성분이 수관에 沈着된후 降雨時 地上으로 流入, 土壤에 沈着되므로 生態系에 피해를 미칠 것으로 사료된다. Ni의 농도는 樹冠通過雨, 樹幹流 및 林外雨에서 차이가 없었다.

降雨中 Al, Mn 및 Ni 濃度の 季節別 變化

Fig. 2는 降雨의 季節別로 농도를 분석한 결과로서 Al은

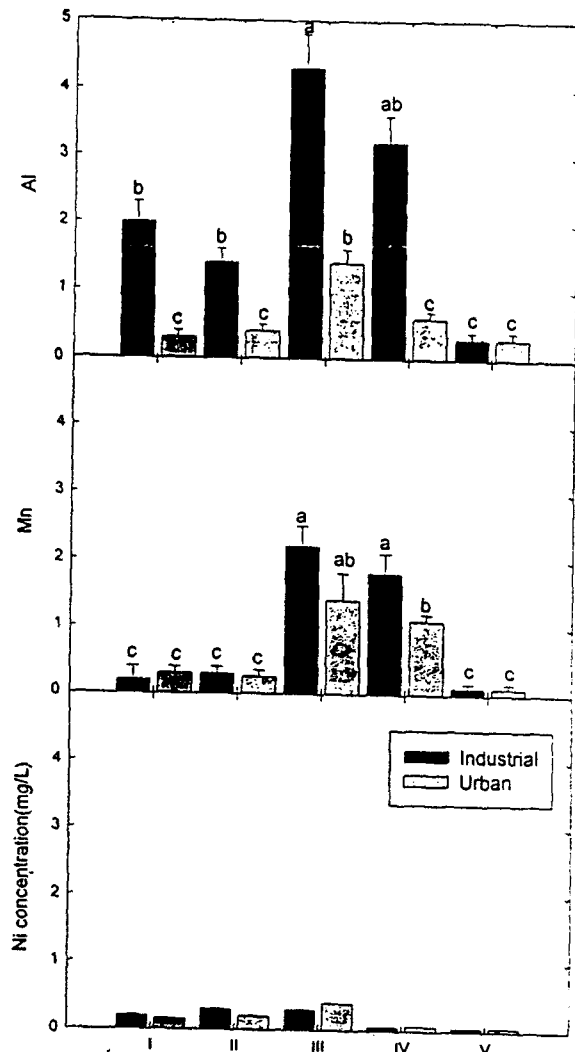


Fig. 1. Concentration of Al, Mn and Ni in throughfall, stemflow and rainfall at survey areas. I: coniferous throughfall, II: broad-leaved throughfall, III: coniferous stemflow, IV: broad-leaved stemflow, V: rainfall. Means with the same letter are not significantly different at the 5% level for Duncan's multiple range test.

공단지역에서 12월의 降雨가 가장 높았고, 다음으로 3월, 6월, 8월 순으로 낮은 結果였지만, 都市地域은 계절별 뚜렷한 변화가 없었다. 이러한 結果는 降雨의 분석에서 겨울의 降雨 이은 농도가 높고 여름의 降雨에서 濃도가 낮다(金 등 1988)고 報告하였는데, 이것은 증금속의 농도에서 같은 結果가 나타나므로 겨울과 봄의 大氣汚染으로 인한 大氣中 重金屬 成分이 樹木의 樹冠과 樹幹에 沈着 되었다가 降雨時 地上으로 流入되는 것으로 생각되며, 工團地域의 대기중의 증금속에서 의한 生態系 피해가 발생할 것으로 생각된다.

Mn의 농도는 工團地域과 都市地域에서 12월의 降雨가 가장 높았고, 다음으로 6월 降雨와 3월 降雨는 농도가 비슷한 수준이었고, 8월 降雨는 낮았다. 이러한 結果는 Al은 3

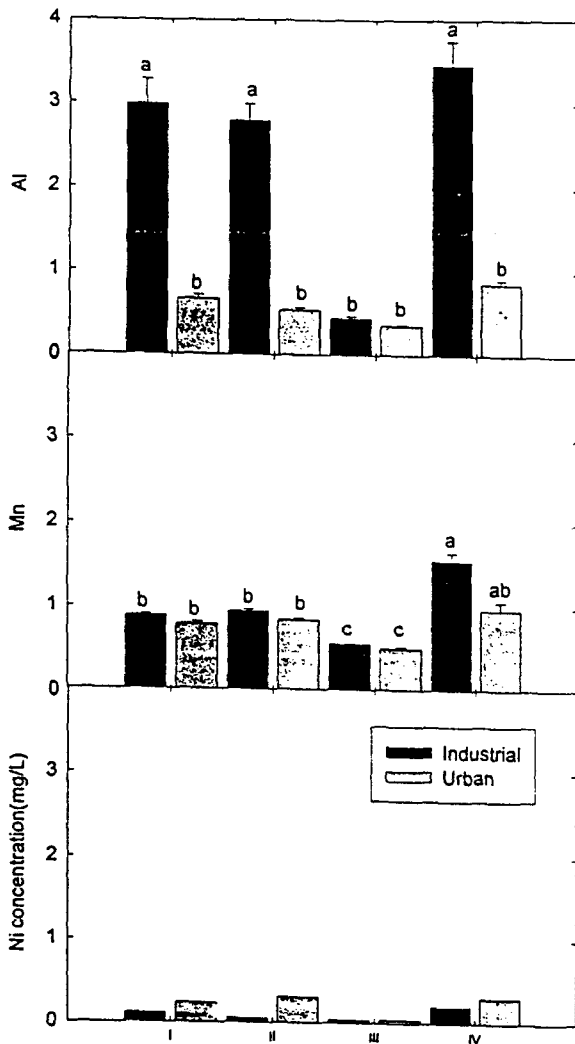


Fig. 2. Seasonal changes of concentration of Al and Ni in rainfall at survey areas. I: March, II: June, III: August, IV: December. Means with the same letter are not significantly different at the 5% level for Duncan's multiple range test.

월의 降雨에서 濃度가 높게 나타나므로 季節別 차이가 있었다.

工團地域에서 Mn이 土壤으로 많은 量의 流入되므로 土壤에서의 毒性的 溶出은 樹木의 細根의 被害 및 樹木의 衰退에 關係한다고 보고(Mahendrappa 1982)하였는데, 본 조사에서도 工團地域 降雨에서 높은 濃度로 分析되므로 工團地域의 樹木의 衰退에 關與하는 것으로 사료된다.

Ni의 濃도는 工團地域과 都市地域에서 모두 낮았다. 工團地域에서 Al의 경우는 12월>3월>6월>8월 順으로 分析되었다.

地域別 降雨中 Al, Mn 및 Ni의 濃度

Fig. 3은 지역별 강우의 Al, Mn 및 Ni의 분석 결과로서 Al의 濃도는 工團地域이 都市地域 보다 4.6배 높았다. 이리

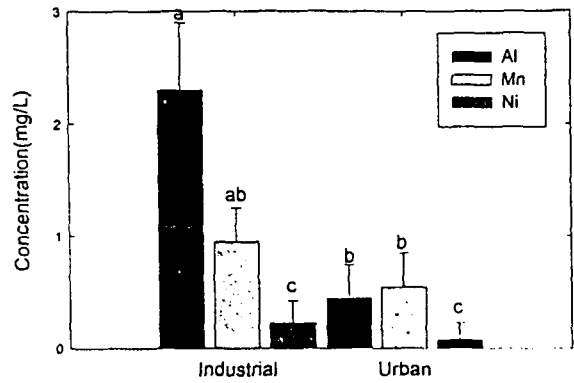


Fig. 3. Concentration of Al, Mn and Ni in rainfall at survey areas. Means with the same letter are not significantly different between two survey areas the 5% level for Duncan's multiple range test.

한 結果는 茅野(1982), 李(1988), Binkley 等(1994) 등의 보고에 의하면 汚染地域에서 높은 重金屬의 流入은 토양내 중금속의 축적 및 酸性汚染物質에 의한 토양의 酸性化로 Al 등의 毒性物質이 增加한다고 보고하였는데, 본 연구에서 工團地域과 都市地域에서 강우에 의한 重金屬 成分의 檢出은 강우에 의하여 大氣中の 重金屬이 土壤內로 流入되는 것으로 사료되었다. 따라서 Mn의 경우는 工團地域이 都市地域보다 1.6배 높게 檢出되었는데, 工團地域의 대기중 존재하는 중금속에 의한 강우중 중금속의 濃도가 높아진 것으로 사료되며, 도시지역에서는 자동차 배기가스, 타이어의 마모 등에 의하여 重金屬 成分의 대기중 확산으로 濃도가 높아진 것으로 판단되었다. 또한 Ni의 경우는 工團地域과 都市地域에서 차이가 없었으며, 다른 重金屬과 比較하여 濃도가 가장 낮았다. Ulrich(1980)는 Al, Mn, Ni 등의 중금속이 식물뿌리의 活力을 저하시키며, 土壤微生物의 활동을 둔화시켜 山林生態系의 전반적인 生産성 저하로 초래한다고 지적한 바 있다.

降雨의 地域別 成分分析 結果에서 工團地域은 Al>Mn>Ni의 順으로 조사되었고, 도시지역은 Mn>Al>Ni의 順으로 조사되었다.

引用文獻

金東秀. 1988. 土壤化學分析法. 農村振興廳 農業技術研究所. 450 p.
 金鍾甲, 田中淳一, 福岡義隆. 1998. 오염지역과 비오염지역의 강우의 이온특성. 韓國生態學會誌 21: 195-201.
 李瑞來, 宋基俊. 1986. 溫山工團 周邊 農作物의 重金屬 濃度 調查. 環境農學會誌 5: 43-47.
 李承雨, 李壽煜. 1995. 蔚山 工團周邊 山林土壤의 酸性化가 山林生態系의 養料과 重金屬 分布에 미치는 影響. 韓國 林學會誌 84: 286-298.
 李昌根. 1988. 大氣汚染과 酸性雨가 山林生態系에 미치는 影

- 響. 科學技術處, 191 p.
- 張楠基, 裴眞浩, 金承喆. 1990. 서울地域의 大氣汚染이 降雨와 生物에 미치는 影響. 4. 地域別 소나무 樹皮의 Pb와 Cd의 含量變化. 環境農學會誌 13: 173-179.
- 韓康完, 崔賢玉. 1992. Peat에 의한 重金屬 Cd, Cu, Zn의 吸着. 環境農學會誌 11: 195-200.
- 環境廳. 1993. 酸性雨調査法. 日本酸性雨調査研究會, pp. 123-171.
- 辰己修三. 1973. 重金屬と樹木. 公害對策 9: 1-12.
- 伊豆田猛. 1992. 酸性雨等による植物衰退現象實態/尾尾銅山被害跡地土壤汚染. 資源環境對策 28: 1321-1327.
- 茅野充南. 1982. 土壤pH의異常と生育. 田中明編, 作物比較榮養生理. 學會出版センター. pp. 77-89.
- Binkley, D., Y. Son and Z. S. Kim. 1994. Impacts of air pollution on forests: a summary of current situations. Jour. Korean. For. Soc. 83: 229-238.
- Mahendrappa, M. K. 1982. Prediction of throughfall quantities under different forest ecosystems. 227: 981-985.
- SAS Institute Inc. 1989. SAS/STAT user's guide. version 6. (4th ed.) SAS Institute, Cary, NC. 846 p.
- Ulrich, R. 1980. Chemical changes due to acid precipitation in a loss derived soil in central Europe. Soil Soci. 130: 193-199.

(1999년 5월 3일 접수)

Changes of Concentration of Al, Mn and Ni in Throughfall, Stemflow and Rainfall

Lee, Chong-Kyu, Oue-Ryong Kim* and Jong-Kab Kim**

Forest Environment Research Institute of Gyeongsangnamdo, Chinju, 660-870, Korea

Department of Research Forest, Chinju National University, 660-758, Korea*

Faculty of Forest Science, College of Agriculture, Gyeongsang Univ., Chinju, 660-870, Korea**

ABSTRACT: This study was carried out to investigate the changes in concentration of heavy metals in throughfall, stemflow and rainfall at the survey area. The Al concentration of *Pinus thunbergii* forest was 1.3 times higher than those of *Quercus acutissima* forest at industrial area, and 2.1 times higher at urban area. The Al concentration of stemflow was 2.3 times and 113 times, 4.8 times and 55 times, respectively, higher than those of throughfall, and rainfall at both industrial and urban area. The Al concentration of rainfall was lower at industrial and urban area. The Mn concentration of *Pinus thunbergii* forest was 2.4 times higher than those of *Quercus acutissima* forest at urban area. Heavy metal concentrations in rain water were the higher in stemflow, and in the order of throughfall and rainfall. Seasonal changes of heavy metal concentration were the highest on December at industrial area, and were higher in the order of March>June>August. Seasonal changes were not remarkable at urban area. Heavy metal concentrations were higher in the order of Al>Mn>Ni at industrial area, and Mn>Al>Ni at urban area.

Key words: Heavy metal, *Pinus thunbergii*, *Quercus acutissima*, Rainfall, Stemflow, Throughfall