

연구논문

전라북도 초등학교 천연 잔디운동장에 식재된 잔디의 무기성분, 중금속 오염물질, 총대장균군 및 벤조피렌의 함량

박봉주* · 조재영**

전북대학교 조경학과*, 전북대학교 농업생명과학대학 농업과학기술연구소**

(2006년 5월 3일 접수, 2007년 7월 2일 승인)

Content of Mineral Elements, Heavy Metals, Total Coliform and Benzo(a)pyrene of Turfgrass Planting at Playground Soil in Elementary School of Jeollabuk-do

Bong-Ju Park* · Jae-Young Cho**

Department of Landscape Architecture, Chonbuk National University*

Institute of Agricultural Science and Technology, Chonbuk National University**

(Manuscript received 3 May 2006; accepted 2 July 2006)

Abstract

A study was carried out on the level of heavy metals, total coliform and benzo(a)pyrene that may be introduced through by-product fertilizers or air pollution to turfgrass in natural turfgrass playground in elementary schools around the western coast and eastern mountain areas in Jeollabuk-do, Korea. The level of heavy metals found in turfgrass was in the order of $Cu > Zn > Pb > Cd$. The majority of heavy metals was found in the roots. It is presumed that the absorption of some air pollutants and by-product fertilizers or chemical fertilizers. The level of benzo(a)pyrene showed an average of 0.05ng/g with a range between 0.02 to 0.08ng/g in the leaves. In the meantime, none was detected in the stems, while the average for roots was 0.02ng/g with a range between 0.01 and 0.03ng/g. The level detected is that found background level, however, benzo(a)pyrene can be introduced partly from the unstable combustion of fossil fuel or through vehicle emissions. Total coliform distributed in grass showed an average of 12MPN/100ml with a range between 2 and 36MPN/100ml. The density of total coliform displayed no regional predominance. However, in some urban areas, the density was slightly higher. The feces of pets or by-product fertilizers may have contributed to the input of pathogenic micro-organism. Yet the level was found to be negligible.

Key words : Elementary School Playground, Turfgrass, Total Coliform, Heavy Metals, Benzo(a)pyrene

1. 서론

교육인적자원부와 문화관광부는 각 지방자치단체와 공동으로 2010년까지 전국 443개 학교에 인조 잔디운동장을 건설할 계획인 것으로 알려지고 있다. 현재 전국 학교시설 10,000여 곳 가운데 인조 잔디운동장은 대략 31개교이고, 천연 잔디운동장은 166개교 정도인 것으로 알려져 있다. 천연 잔디운동장에는 잔디의 생육 촉진과 병해충 및 잡초를 방제하기 위해 불가피하게 합성 및 천연물 농약 그리고 유기질 및 화학비료를 사용할 가능성이 높아지고 있다. 이와 함께 천연 잔디운동장은 관리상의 어려움 때문에 학생들의 사용횟수 제한 등 체육활동에 지장을 초래하기도 하고, 사계절 활용에 다소 어려움이 예상된다. 상기와 같은 천연 잔디운동장이 갖는 제한성 때문에 최근 인조 잔디운동장 건립이 활발하게 추진하고 있다. 그러나 인조 잔디운동장의 경우 배수불량과 이용자들의 부상우려가 상존하고 있는 반면에 경관·생태학적인 측면과 식물이 갖는 순기능을 고려한 천연 잔디운동장의 확대에 대한 요구도 증가하고 있는 추세이다.

그동안 토양개량제(이상재, 2003; 김성규 등, 2002; 박성준 등, 2005b; 함선규 등, 1994; 김계훈과 홍숙진, 2004; 태현숙 등, 2002), 화학비료 시비량 및 시비시기(박성준 등, 2005a; 염도의 등, 1987; 이인덕과 이형석, 2005; 최병주 등, 1994; 함선규 등, 1993)에 따른 잔디의 생육 촉진과 관련된 다수의 연구가 수행되었지만, 잔디에 함유되어 있는 중금속, 대장균군과 지속성 유기독성물질(Persistent Organic Pollutants, POPs)에 대한 연구는 거의 수행되지 않은 상태이다. 우리나라 학교의 천연 잔디운동장은 기존 토양에 유기물 자원을 혼합한 후 잔디를 파종 또는 이식한 경우와 기존토양 위에 외부에서 마사토와 같은 사질 토양을 객토 후 잔디를 식재하는 형태로 이루어져 왔다. 그 결과, 학교 잔디운동장 토양은 답압에 의한 토양 물리적 악화, 화학비료의

시비에 의존한 잔디 영양관리로 염류집적 심화, 대기오염물질의 확산과 이동에 의한 오염물질의 축적 및 토양 산성화 등 여러 가지 문제를 안고 있다(박봉주와 조재영, 2007).

학교 주변 지역 주민들과 학생들의 문화·체육의 공간으로서 기능을 담당하고 있는 학교 운동장은 여러 가지 측면에서 보건·환경적인 안전성이 담보되어야 한다. 화학비료의 과다사용으로 인한 토양의 질적 하락과 수질오염의 가능성 때문에 최근에는 농경지 및 천연 잔디운동장에서 부산물비료의 사용량이 급증하고 있는 실태이다. 그러나 시중에서 유통되고 있는 일부 부산물비료는 산업폐기물 사용으로 인한 중금속 및 유기독성물질의 기준 초과, 정상적인 발효기간 부족으로 인해 발생하는 악취 유발가스, 기생충알 및 대장균군으로 인한 보건 위생상의 문제, 그리고 일부 음식물 쓰레기 중에 다량 함유되어 있는 염분으로 인한 토양오염 및 작물의 생산성 저하 등 해결해야 할 여러 과제가 남아있다. 또한 지속성 유기독성물질들은 자연상태에서 분해가 느리기 때문에 환경생태계에 오랜 기간 동안 잔류하게 될 뿐만 아니라 발생원으로부터 장거리까지 확산·이동되어 생물농축을 통한 독성문제를 야기할 가능성도 존재하고 있다. 잔디라는 식물 자체가 비식용이고 경관식물이기 때문에 직접적인 건강 위해성 문제를 야기하지는 않을지라도, 많은 사람들이 이용하는 문화·경관생태학적인 공간에 위치하기 때문에 2차적인 환경·독성 문제를 야기할 가능성이 늘 존재하고 있다.

본 연구에서는 전라북도 서부 해안지역과 동부 산악지역에 분포하고 있는 초등학교 천연 잔디운동장에 생육중인 잔디를 대상으로 부산물비료 또는 대기오염물질을 통해 유입될 수 있는 중금속 오염물질의 함량, 잔디의 식물영양 상태, 애완권 및 야생동물의 배설물에 의한 미생물학적 오염도를 평가하기 위한 총 대장균군(Total coliform) 분포, 그리고 자동차 배기가스 및 화석연료의 연소과정에서

배출되어 생물농축을 통한 위해성이 제기될 수 있는 벤조피렌의 함량을 조사하여 학교 운동장에서 생육중인 잔디의 식물영양 및 환경학적 실태를 평가하는 기초자료를 제공하고자 하였다.

II. 재료 및 방법

1. 식물체 시료

본 연구에서는 박봉주와 조재영(2007)의 토양시료 채취지점과 동일한 장소에서 생육중인 잔디시료를 채취하였다. 채취지점은 전라북도 서부 해안지역(고창(GC) 2지점, 군산(GS) 6지점, 김제(GJ) 5지점, 부안(BA) 2지점, 정읍(JY) 7지점) 22지점과 동부 산악지역(남원(NW) 2지점, 완주(WJ) 2지점, 임실(IS) 3지점, 진안(JA) 3지점) 10지점으로 총 32개 지점을 대상으로 하였다. 시료채취는 2005년 6월부터 9월 사이에 이루어졌으며, 각 조사지점당 3군데에서 잔디의 지상부와 지하부로 분류하여 각각 2kg씩 채취하였다. 채취한 식물체 시료는 폴리에틸렌 비닐팩에 밀봉하여 실험실로 옮겼으며, 시료를 증류수로 수세하는 과정에서 지상부를 잎과 줄기로 세분하였으며, 지하부는 뿌리만을 시료로 이용하였다. 그 후 40℃ 건조기에서 강제통풍 건조시킨 후 100mesh 이하로 분쇄하여 분석시료로 사용하였다.

2. 식물체 시료중 무기성분과 중금속 함량 분석

식물체 성분분석은 농촌진흥청(1988)의 토양·식물체·미생물 분석법에 기준하였다. 총질소는 식물체 시료 2g을 취하여 Macro kjeldahl 법으로, 총인산 식물체 시료 2g을 취하여 습식분해(HNO_3 - H_2SO_4)후 Molybdenum blue법으로, 양이온과 중금속은 시료 2g을 정확히 칭량한 다음 250ml 킬달 플라스크에 넣고 진한 질산 30ml를 가하여, 가열판 위에서 100~120℃로 약 6시간 가열하였다. 가열이 끝난 시료를 방냉한 후 진한 황산 5ml를 가하여 분해액이 거의 백색이 될 때까지 다시 분해 여과시킨 후 유도결합플라즈마(Inductively coupled plasma, Shimadzu, ICPS-7500)를 이용하여 분

석하였다.

3. 식물체 시료중 벤조피렌(Benzo(a)pyrene)의 함량 분석

지속성 유기독성물질의 일종인 다환방향족탄화수소(Polycyclic Aromatic Hydrocarbons; PAHs) 가운데 벤조피렌(benzo(a)pyrene)을 조사 대상 물질로 선정하였다. 벤조피렌은 거의 모든 동물종에서 발암성을 나타내는 물질로서 가장 주목이 되는 환경호르몬의 일종이다. 식물체중 벤조피렌의 분석방법은 박봉주와 조재영(2007)에 제시되어 있는 토양중 벤조피렌의 분석방법과 동일하게 수행하였다. 분쇄된 식물체 시료 10그램을 sodium sulfate anhydrous 10g과 활성화된 구리 0.1g을 혼합한 다음 surrogate standard를 1ppm 200 μl 를 주입하였다. Extraction thimble에 넣고 250ml의 추출용매(dichloromethane)을 넣은 후 24시간 추출하였다. 추출이 끝난 시료를 대상으로 clean-up 과정을 수행한 후 용출액으로 dichloromethane:pentane (2:3, v/v) 50ml를 이용하여 용출시킨 다음 농축기에서 질소로 1ml까지 농축하였다. 농축이 끝난 시료를 대상으로 내부표준용액 4 $\mu\text{g/ml}$ 농도 10 μl 를 첨가한 후 HP 5972 mass selective detector (electronic impact mode: 70 eV)를 장착한 GC-MS (Hewlett-Packard, 5890 series II gas chromatograph)에서 DB 5 capillary column (JW, Folsom, CA, USA; 30 m \times 0.25 μm film thickness)을 이용하여 분석을 수행하였다.

4. 잔디 식물체 표면에 존재하는 대장균군 (total coliform, TC)의 분포

초등학교 천연 잔디운동장에 식재중인 잔디가 애완견이나 야생동물의 배설물 또는 부산물비료를 통하여 유입될 수 있는 보건·위생적인 평가를 위해 조사지점별로 채취해 온 잔디를 50그램씩 별도의 세정과정을 거치지 않고 직접 비이커(1l)에 넣은 다음 증류수 100ml를 넣었다. 그 후 잔디가 들어있는 비이커를 초음파 세척기에 넣고 5분 동안 초음파 세척(20KHz)을 수행하였다. 세척이 완료된 용액을

여과하여 EMB 한천배지에서 35℃, 24시간 배양한 후 적적확수계산법에 의해 대장균군(total coliform, MPN/100ml) 조사를 수행하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 무기성분

초등학교 천연 잔디운동장에 식재된 잔디를 대상으로 총질소와 총인산의 함량을 조사한 결과는 Figure 1에 나타나 있다. 질소는 녹색식물에서는 질소 전체량의 80~85%가 단백질 형태의 질소이고, 핵산 형태의 질소가 10% 그리고 가용성 아민 형태의 질소가 약 5% 정도이며, 이 밖에도 질소는 조효소(coenzyme)와 엽록소의 구성에 필수적이 원소이다. 인산은 생물체의 막을 구성하거나, 식물체의 대사과정에 필요한 에너지를 수송하는 기능을 담당하고 있다. 질소의 경우 부위별로 잎 > 뿌리 > 줄기의 순으로 분포하였고, 지역별로는 서부 해안지역보다 동부 산악지역에서 생육중인 잔디에서 그 함량이 더 높게 나타났다. 채취지점별로는 전라북도 진안과 남원지역 초등학교에 식재된 잔디중 총질소의 함량이 높은 반면, 전라북도 부안과 완주지역 초등학교에 식재된 잔디중 총질소의 함량이 낮게 나타났다. 총인산의 경우 잎 > 줄기 > 뿌리의 순으로 분포하였고, 지역별로는 총질소와 동일하게 동부 산악지역이 서부 해안지역 보다 더 높게 나타나는 경향이였다. 채취지점별 총인산의 함량 분포는 총질소와 동일한 경향이였다.

식물의 생장에 필요한 필수 다량원소인 칼슘, 마그네슘, 칼륨의 잔디중 성분함량을 조사한 결과는 다음과 같다(Figure 2). 식물체중 칼슘은 효소 amylase의 구성분이며, 세포벽 middle lamella의 주요 구성분으로 조직의 기계적 강도 유지에 매우 중요한 역할을 하고 있으며, 또한 칼슘은 세포의 분열활동에도 크게 기여하고 있다(김계훈과 홍숙진, 2004). 마그네슘은 식물 광합성의 핵심요소로서 잔디의 생육을 돕고 녹색을 향상시킬 수 있는 필수 다량원소이다(태현숙 등, 2002). 칼륨의 식물조직내에서 기능은 주로 수분조절작용, 광합성 산물의 전류를 증진시키고, 광인산화작용과 상호관련되어 있는 것으로 알려져 있다. 칼슘은 잎 > 뿌리 > 줄기, 마그네슘은 잎 > 줄기 > 뿌리 그리고 칼륨은 잎 > 줄기 > 뿌리의 순으로 분포하였고, 지역별로는 서부 해안지역 보다 동부 산악지역에서 생육중인 잔디에서 그 함량이 더 높게 나타나는 경향이였다. 채취지점별 칼슘, 마그네슘 그리고 칼륨의 함량 분포 경향도 위에서 논의한 총질소, 총인산과 동일하게 나타났다. 예외적으로 나트륨은 잎 > 뿌리 > 줄기의 순서로 그 함량이 높게 나타났는데 예외적으로 지역별 함량은 동부 산악지역 보다 서부 해안지역에서 2배 이상 더 높게 나타났다. 채취지점별로 군산지역 초등학교 운동장에 식재된 잔디에서 나트륨의 함량이 가장 높게 나타났다(Figure 2).

전라북도 군산지역 초등학교 운동장에 식재된 잔디에서 나트륨의 함량이 높게 나타난 것은 해염의 영향으로 토양중 나트륨의 함량이 높았기 때문인

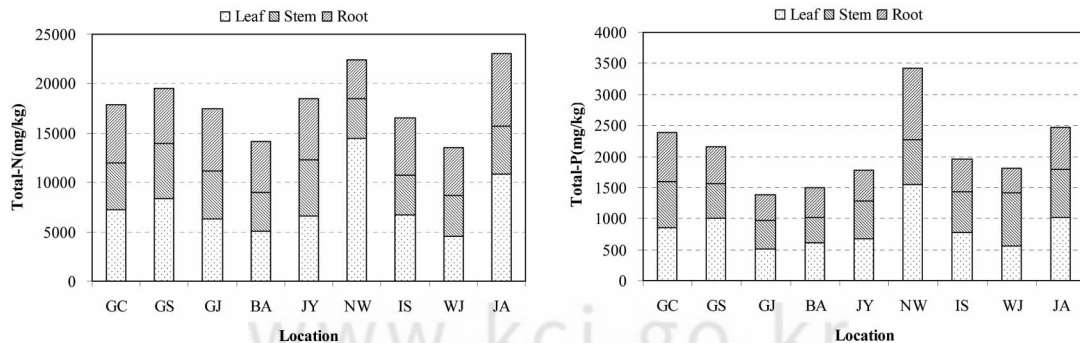


Figure 1. Content of total-N and total-P of turfgrass planting at playground soil in elementary school of Jeollabuk-do

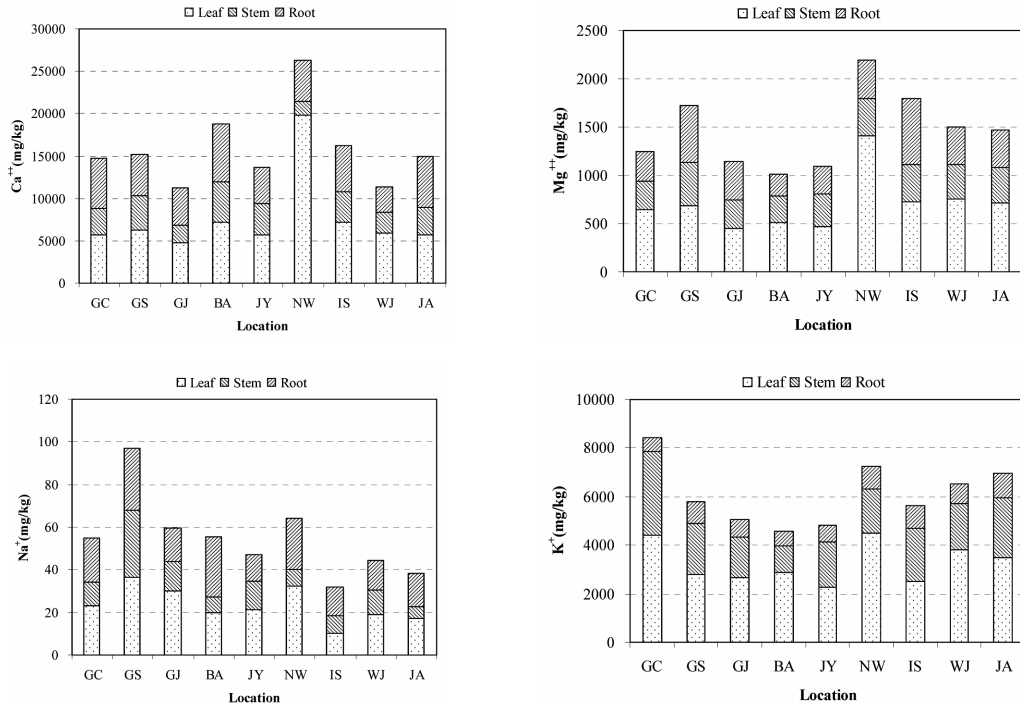


Figure 2. Content of Ca, Mg, Na and K of turfgrass planting at playground soil in elementary school of Jeollabuk-do

것으로 추정되며, 전체적으로 전라북도 진안과 남원지역 초등학교 운동장에 식재되어 있는 잔디는 어느 정도 식물양분화적인 측면에서 잘 관리되고 있는 것으로 추정된다.

2. 중금속

중금속 오염물질은 도시 및 산업폐기물의 소각에 의하여 방출되는 에어로졸 입자의 침전, 소형 건전지 등의 불법 매립이나 처분, 채굴이나 제련지역의 먼지 및 유출수, 중금속 함유 도시 쓰레기 및 하수슬러지, 소각재의 불법 매립이나 처분, 가정이나 농장 및 공장 등에서 배출되는 고품 폐기물을 비롯해서 농지나 산림에 살포하는 비료나 농약, 자동차 배기가스, 도금산업 지역의 연기나 먼지 등에 의해서 토양에 오염되고 있다. 따라서 각종공단 부근이나 자동차 통행량이 빈번한 지역에서는 타 지역에 비해 토양에 중금속이 오염될 가능성이 높아지며, 이미 많은 연구자들에 의해 공단지역 및 도시주변 토양에서 중금속 함량이 높다고 보고되었다. 교통량의 증

가로 인하여 Pb, Cd, Mn, Zn 등의 중금속 물질들이 도로변의 토양을 오염시키고 있으며, 교통량이 적고 도로변에서 떨어져 있을수록 토양이나 식물체 내에 축적되는 중금속의 양은 감소되며, 토양의 깊이에 따라서 그 함량이 달라진다(조은하 등, 2004)

잔디 뿌리중 Pb의 함량은 서부 해안지역 0.49~2.04mg/kg의 범위로 평균 1.23mg/kg을, 동부 산악지역 0.34~2.04mg/kg의 범위로 평균 1.18mg/kg을, 전체적으로 0.34~2.04mg/kg의 범위로 평균 1.21mg/kg을 나타내었다. 잔디 줄기중 Pb의 함량은 서부 해안지역 0.04~7.59mg/kg의 범위로 평균 1.19mg/kg을, 동부 산악지역 0.08~3.11mg/kg의 범위로 평균 0.86mg/kg을, 전체적으로 0.04~7.59mg/kg의 범위로 평균 1.09mg/kg을 나타내었다. 잔디 잎중 Pb의 함량은 서부 해안지역 0.11~2.50mg/kg의 범위로 평균 1.54mg/kg을, 동부 산악지역 0.07~9.97mg/kg의 범위로 평균 2.35mg/kg을, 전체적으로 0.07~9.97mg/kg의 범위로 평균 1.80mg/kg을 나타내었으며, 잔디 식물체 부위

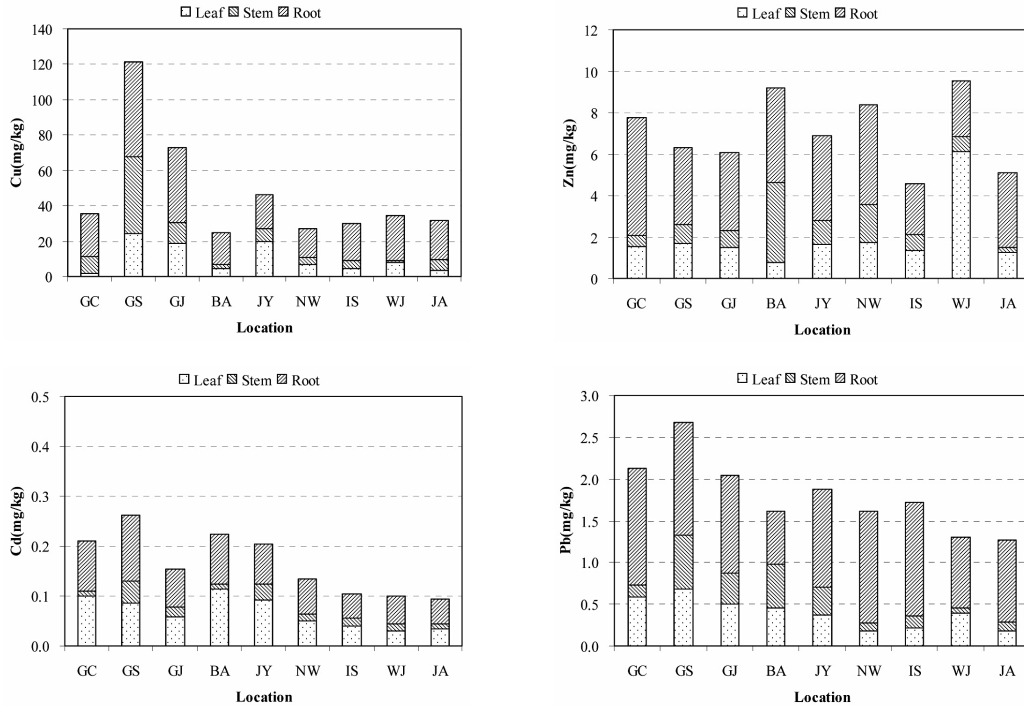


Figure 3. Content of Cu, Zn, Cd, and Pb of turfgrass planting at playground soil in elementary school of Jeollabuk-do

별 Pb의 함량 분포는 잎 > 뿌리 > 줄기의 순서로 나타났으며, 지역별로는 뿌리와 줄기는 서부 해안지역이 동부 산악지역 보다 Pb의 함량이 더 높은 반면, 잎은 동부 산악지역에서 더 높게 나타나는 경향이 있었다(Figure 3). 조은하 등(2004)이 대구 광역시 지역에 자생하는 쑥에 함유된 Pb의 함량을 조사한 결과, 쑥 잎에서는 0.24~0.62mg/kg을, 쑥 뿌리에서는 0.09~0.67mg/kg을 나타내었다고 보고하였는데 본 조사결과에서 대상으로 하고 있는 잔디 식물체에서 Pb의 함량이 더 높게 나타나는 경향이 있었다. 조은하 등(2004)은 별도의 재배관리가 이루어지지 않는 야생 쑥을 대상으로 하였고, 본 조사에서는 어느 정도 재배관리가 인위적으로 이루어졌기 때문에 외부에서 투입되는 영농화학물질에 의해 잔디 식물체중 Pb의 함량이 더 높아진 것으로 판단된다. Pb의 경우는 자연계에 널리 분포하고 있으며, 대기오염물질의 분진이나 농업용 화학자재를 통하여 토양생태계 또는 식물체의 서식지에 유입될 수 있는데, 조은하 등(2004)이 조사지점으로 연구한

대구광역시 보다는 본 조사에서 대상으로 하고 있는 전라북도 동부 산악지역(남원, 임실, 완주, 진안)은 상대적으로 대기오염물질의 유입원이 더 적음에도 불구하고 2~4배 이상 높게 나타난 점은 추후 보다 정밀한 모니터링을 통해 구명해야 할 것으로 판단된다.

잔디 뿌리중 Cu의 함량은 서부 해안지역 10.75~84.74mg/kg의 범위로 평균 35.01mg/kg을, 동부 산악지역 14.16~34.75mg/kg의 범위로 평균 21.04mg/kg을, 전체적으로 10.75~84.74mg/kg의 범위로 평균 30.37mg/kg을 나타내었다. 잔디 줄기중 Cu의 함량은 서부 해안지역 2.11~16.13mg/kg의 범위로 평균 7.86mg/kg을, 동부 산악지역 0.80~8.95mg/kg의 범위로 평균 4.02mg/kg을, 전체적으로 0.80~16.13mg/kg의 범위로 평균 6.05mg/kg을 나타내었다. 잔디 잎중 Cu의 함량은 서부 해안지역 0~72.66mg/kg의 범위로 평균 17.81mg/kg을, 동부 산악지역 1.50~8.61mg/kg의 범위로 평균 5.32mg/kg을, 전체적으로

0~72.66 mg/kg의 범위로 평균 13.91mg/kg을 나타내었으며, 잔디 식물체 부위별 Cu의 함량 분포는 뿌리 > 잎 > 줄기의 순서로 나타났으며, 지역별로는 서부 해안지역이 동부 산악지역 보다 Cu의 함량이 더 높게 나타나는 경향이었다(Figure 3). 조은하 등(2004)이 대구광역시 지역에 자생하는 쑥에 함유된 Cu의 함량을 조사한 결과, 쑥 잎에서는 0.41~2.10 mg/kg을 쑥 뿌리에서는 0.40~1.39mg/kg을 나타내었다고 보고하였는데 본 조사결과에서 대상으로 하고 있는 잔디 식물체에서 Cu의 함량이 더 높게 나타나는 경향이었다. 조은하 등(2004)은 별도의 재배관리가 이루어지지 않는 야생 쑥을 대상으로 하였고, 본 조사에서는 잔디의 정상적인 생육을 위하여 일부 화학비료 또는 부산물비료의 처리가 이루어진 점을 고려하면 이들 화학비료 또는 부산물비료의 유입에 의해 잔디 식물체중 Cu의 함량이 높아진 것으로 판단된다. 특히 돈분을 주 재료로 제조하는 부산물 비료중에는 다량의 Cu가 함유되어 있기에 돈분 부산물비료를 사용에 의해 Cu의 함량이 증가한 것으로 추정된다.

잔디 뿌리중 Zn의 함량은 서부 해안지역 2.10~6.25mg/kg의 범위로 평균 4.10mg/kg을, 동부 산악지역 1.87~7.22mg/kg의 범위로 평균 3.31mg/kg을, 전체적으로 1.87~7.22 mg/kg의 범위로 평균 3.87mg/kg을 나타내었다. 잔디 줄기중 Zn의 함량은 서부 해안지역 0.01~1.48mg/kg의 범위로 평균 0.43mg/kg을, 동부 산악지역 0.01~0.30mg/kg의 범위로 평균 0.11mg/kg을, 전체적으로 0.01~1.48mg/kg의 범위로 평균 0.34mg/kg을 나타내었다. 잔디 잎중 Zn의 함량은 서부 해안지역 0.14~1.31mg/kg의 범위로 평균 0.51mg/kg을, 동부 산악지역 0.12~0.46mg/kg의 범위로 평균 0.23mg/kg을, 전체적으로 0.12~1.31mg/kg의 범위로 평균 0.42mg/kg을 나타내었으며, 잔디 식물체 부위별 Zn의 함량 분포는 뿌리 > 잎 > 줄기의 순서로 나타났으며, 지역별로는 서부 해안지역이 동부 산악지역 보다 Zn의 함량이 더 높게 나타나는 경향이었다(Figure 3). 기본적으로 Zn은 식물체의 생

육에 필요한 필수미량원소로서 환경생태학적으로 크게 문제가 되는 원소는 아니다. WHO/FAO의 합동식품규격위원회에서는 식품중 Zn의 허용량을 5.0mg/kg으로 설정하여 관리하고 있는데, 이 기준치와 본 조사에서 나타난 잔디중 뿌리, 줄기, 잎에 분포하는 Zn의 총량을 가지고 비교할 경우 잔디중 Zn의 함량이 약간 더 높게 조사되었다. 그러나 잔디 뿌리를 제외한 줄기와 잎의 총량만을 놓고 비교할 경우 기준치보다 훨씬 낮은 수준이었다.

잔디 뿌리중 Cd의 함량은 서부 해안지역 0.04~0.16mg/kg의 범위로 평균 0.10mg/kg을, 동부 산악지역 0.04~0.09mg/kg의 범위로 평균 0.05mg/kg을, 전체적으로 0.04~0.16 mg/kg의 범위로 평균 0.08mg/kg을 나타내었다. 잔디 줄기중 Cd의 함량은 서부 해안지역 0.01~0.10mg/kg의 범위로 평균 0.03mg/kg을, 동부 산악지역 0.01~0.02mg/kg의 범위로 평균 0.01mg/kg을, 전체적으로 0.01~0.10mg/kg의 범위로 평균 0.02mg/kg을 나타내었다. 잔디 잎중 Cd의 함량은 서부 해안지역 0.04~0.16mg/kg의 범위로 평균 0.09mg/kg을, 동부 산악지역 0.01~0.05mg/kg의 범위로 평균 0.04mg/kg을, 전체적으로 0.01~0.16mg/kg의 범위로 평균 0.07mg/kg을 나타내었으며, 잔디 식물체 부위별 Cd의 함량 분포는 뿌리 > 잎 > 줄기의 순서로 나타났으며, 지역별로는 서부 해안지역이 동부 산악지역 보다 Cd의 함량이 2배 이상 더 높게 나타나는 경향이었다(Figure 3). 조은하 등(2004)이 대구광역시 지역에 자생하는 쑥에 함유된 Cd의 함량을 조사한 결과, 쑥 잎에서는 0.07~0.12mg/kg을 쑥 뿌리에서는 0.06~0.15mg/kg을 나타내었다고 보고하였는데 본 조사결과와 유사한 함량 수준을 나타내고 있었다. 국제식품규격위원회(CODEX; Codex Alimentarius Commission) 식품첨가물오염물질부(CCFAC)에서 2005년 5월에 채소류중 카드뮴의 함량을 0.2mg/kg으로 잠정 결정한 바 있다. CCFAC의 잠정적인 허용기준치와 본 조사에서 나타난 잔디중 뿌리, 줄기, 잎에 분포하는 Cd의 총량을 가지고 비

교할 경우에도 잔디층 Cd의 함량은 높지 않은 것으로 판단된다. Cd은 도금, 건전지 및 도료제조 등 공업활동과 농작물 재배시 처리하는 인산비료 등으로부터 토양생태계에 유입되는 것으로 알려져 있다. 잔디의 재배관리 과정에서 특별히 인산비료를 처리하는 경우가 없고, Cd의 오염원이 존재하지 않는 관계로 조은하 등(2004)의 연구결과와 본 조사결과가 큰 차이를 나타내지 않은 것으로 판단된다.

본 연구에서 나타난 초등학교 운동장에 식재된 잔디 식물체내 중금속의 함량은 Cu > Zn > Pb > Cd의 순서로 분포하였으며, 검출된 중금속의 대부분이 뿌리에 분포하였다. 일부 중금속의 경우 잎에서도 상당량이 검출되었는데 이는 일부 대기오염물질의 침착 때문인 것으로 추정되고, 조은하 등(2004)이 조사하였던 야생식물 싹과 비교시 천연 잔디에서 대체적으로 중금속이 함량이 높게 나타났는데 이는 천연 잔디운동장에 인위적으로 처리한 부산물비료 또는 화학비료에 의해 일부 유입되었을 것으로 판단된다.

3. 벤조피렌

WHO(1998)의 자료에 제시된 식품중 벤조피렌의 허용기준치는 0.03µg/kg(= 30 ng/kg)이다. 본 조사에서 나타난 전라북도 초등학교 운동장에 식재된 잔디에 존재하는 벤조피렌의 함량은 잎에서는 0.02~0.08ng/g의 범위로 평균 0.05ng/g을 나타내었으며, 줄기에서는 모든 시료에서 검출되지 않았고 뿌리에서는 0.01~0.03ng/g의 범위로 평균

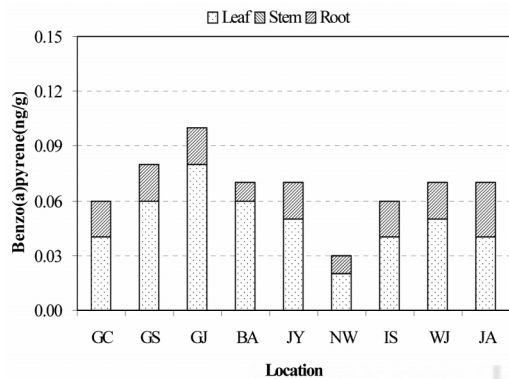


Figure 4. Content of benzo(a)pyrene of turfgrass planting at playground soil in elementary school of Jeollabuk-do

0.02ng/g을 나타내었다. 지역별로는 서부 해안지역이 동부 산악지역보다 약간 높게 나타났으나 유의성이 나타나지는 않았다(Figure 4). 이 결과는 WHO의 허용기준치와 비교시 자연함유량 수준으로 아직까지 지속성 유기독성물질의 오염 우려는 없는 것으로 나타났다. 하지만, 이들 벤조피렌은 화석연료의 불안전연소 또는 자동차 배기가스를 통해 일부 유입될 수 있으므로 지속적인 모니터링이 필요할 것으로 판단된다.

4. 대장균군

전라북도 초등학교 천연 잔디운동장에 식재되어 있는 잔디가 애완견이나 야생동물 또는 축산분뇨를 원료로 제조되는 부산물비료로부터 유래되는 병원성 미생물의 유입 여부를 조사한 결과는 다음과 같다(Figure 5). 대장균군은 항상 분변 중에서 배출되므로 대장균에 대한 조사는 분변에 의한 오염 기준으로서 가치가 있을 것이다. 어떤 시료에서 대장균군이 검출되면 사람과 가축의 배설물에 의한 오염이 이루어졌음을 뜻하고 검사결과 양성인 경우, 그 시료 중에는 병원성 바이러스군, 세균군, 기생충군도 존재할 가능성이 있을 것이다.

초음파 강제세척을 통해 조사한 잔디 식물체에 분포하는 대장균군은 2~36MPN/100ml 범위로 평균 12 MPN/100ml를 나타내었다. 지역별로 대장균군의 밀도가 큰 차이를 나타내지 않았으며, 일부 도시화 지역에서 약간 더 높게 나타나는 경향이였다.

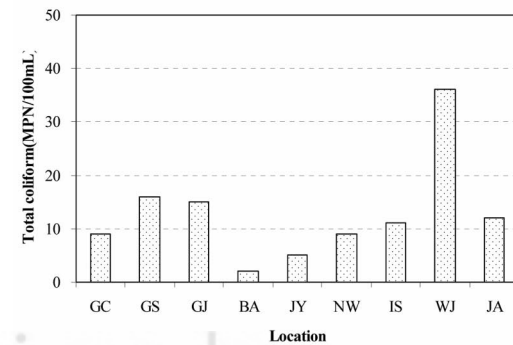


Figure 5. Distribution of total coliform(TC) of turfgrass planting at playground soil in elementary school of Jeollabuk-do

황인담 등(1989)이 만경강 주요 지천수를 대상으로 대장균군의 분포현황에 대해 조사한 결과, total coliform이 전주천에서 2.1×10^6 MPN/100ml, 고산천에서 3.6×10^2 MPN/100ml로 검출되었다고 보고한 바 있는데, 본 조사환경의 경우 일부 애완건의 배설물 또는 부산물비료를 통하여 병원성 미생물이 천연 잔디 운동장에 유입될 것으로 추정되지만 본 조사결과 대장균군의 오염실태는 매우 낮은 수준으로 평가되었다.

IV. 결 론

전라북도 서부 해안지역과 동부 산악지역에 분포하고 있는 초등학교 천연 잔디운동장에 생육중인 잔디를 대상으로 부산물비료 또는 대기오염물질을 통해 유입될 수 있는 중금속 오염물질, 잔디의 식물 영양 상태, 총 대장균군(Total coliform) 분포 그리고 지속성 유기독성물질인 벤조피렌의 함량을 조사한 결과는 다음과 같다.

본 연구에서 나타난 초등학교 운동장에 식재된 잔디 식물체내 중금속의 함량은 $Cu > Zn > Pb > Cd$ 의 순서로 분포하였으며, 검출된 중금속의 대부분이 뿌리에 분포하였다. 일부 대기오염물질의 침착과 천연 잔디운동장에 인위적으로 처리한 부산물비료 또는 화학비료에 의해 일부 중금속이 유입된 것으로 추정된다.

잔디중 벤조피렌의 함량은 잎에서는 0.02~0.08ng/g의 범위로 평균 0.05ng/g을 나타내었으며, 줄기에서는 모든 시료에서 검출되지 않았고 뿌리에서는 0.01~0.03ng/g의 범위로 평균 0.02ng/g을 나타내었다. 현재 검출된 벤조피렌의 함량은 자연함유량 수준이지만, 이들 벤조피렌은 화석연료의 불안전연소 또는 자동차 배기가스를 통해 일부 유입될 수 있으므로 지속적인 모니터링이 필요할 것으로 판단된다.

잔디 식물체에 분포하는 대장균군은 2~36MPN/100ml 범위로 평균 12MPN/100ml를 나타내었다. 지역별로 대장균군의 밀도가 큰 차이를 나타내지 않

았으며, 일부 도시화 지역에서 약간 더 높게 나타나 는 경향이였다. 일부 애완건의 배설물 또는 부산물 비료를 통하여 병원성 미생물이 천연 잔디 운동장에 유입될 것으로 추정되지만 본 조사결과 대장균군의 오염실태는 매우 낮은 수준으로 평가되었다.

사 사

이 논문은 2004년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었습니다(KRF-2004-037-F00016).

참고문헌

- 김계훈, 홍숙진, 2004, 부산물 석고를 이용한 잔디 품질개선. 한국환경복원녹화기술학회지, 7(3), 56-63.
- 김성규, 강 훈, 소인섭, 2002, Ca^{++} 처리가 한지형 잔디의 생육 및 무기성분 함량에 미치는 영향, 한국잔디학회지, 16(1), 1-10.
- 농촌진흥청, 1988, 토양·식물체·미생물 분석법.
- 박봉주, 조재영, 2007, 전라북도 초등학교 잔디운동장 토양의 물리·화학적 특성과 벤조피렌 및 중금속 오염물질의 함량, 환경영향평가 (투고중).
- 박성준, 조남기, 강영길, 송창길, 조영일, 2005a, 질소 분시횡수가 Creeping Bentgrass 잔디초지의 식생에 미치는 영향. 한국초지학회지, 25(2), 119-124.
- 박성준, 조남기, 강영길, 송창길, 현해남, 조영일, 2005b, 지렁이분 시비가 잡초의 침입과 벤프트그라스 잔디초지에 미치는 영향, 한국초지학회지, 25(3), 211-216.
- 염도의, 주영규, 허건호, 1987, 한국잔디의 종자생산에 미치는 시비의 효과, 한국원예학회지, 28(2), 165-172.
- 이상재, 2003, 종합토양개량제 KOB-Soil이 잔디 생육에 미치는 영향, 한국잔디학회지, 17(1), 13-17.

- 이인덕, 이형석, 2005, 학교 운동장용 Kentucky bluegrass 초지의 N 시비수준이 건물 수량과 품질에 미치는 영향, 한국초지학회지, 25(3), 199-204.
- 조은하, 이동훈, 박병윤, 2004, 대구광역시 지역에 자생하는 식물체의 중금속 함량, 한국위생과학회지, 10(2), 155-167.
- 최병주, 심재성, 박 훈, 1994, 잔디 생육에 대한 유기물, 활성탄소 및 마그네슘의 효과, 한국잔디학회지, 8(3), 193-199.
- 태현숙, 고석구, 김용선, 2002, 토양개량제로서 사문석이 잔디의 생육에 미치는 영향, 한국조경학회지, 30(3), 86-94.
- 함선규, 이정재, 김인섭, 1993, 유기질비료의 사용이 한국잔디(*Zoysia matrella* L. Merr.)의 생육에 미치는 영향, 한국잔디학회지, 7(2), 61-66.
- 함선규, 이정재, 장기운, 임재신, 1994, 정수장 슬러지 퇴비가 한국잔디(*Zoysia japonica* Steud.)의 생육에 미치는 영향, 한국잔디학회지, 8(2), 93-100.
- 황인담, 기노석, 정인호, 최문철, 이재형, 1989, 만경강 주요 지천수의 이화학적 검사 및 대장균군의 분포에 관한 연구, 한국환경위생학회지, 15(2), 11-23.
- WHO, 1998, Environmental Health criteria 202, Selected Non-heterocyclic Polycyclic Aromatic Hydrocarbons.

최종원고채택 07. 07. 10