

도시녹지의 이산화탄소 및 중금속 저감¹⁾

박주영¹⁾ · 주진희²⁾ · 윤용한³⁾*

Mitigation of Carbon Dioxide and Heavy Metals by Urban Greenspace

Joo-young Park · Jin-Hee Ju · Yong-Han Yoon

1), 2), 3) 건국대학교 산림과학과

제 출 : 2009년 9월 30일 승 인 : 2010년 3월 8일

국 문 요 약

본 연구는 청주시와 충주시를 대상으로 도시녹지(가로수 및 도시공원)에 의한 중금속 및 누적이산화탄소 고정량을 산출한 결과를 토대로 도시녹지의 환경개선효과를 평가하고자 하였으며, 얻은 결과는 다음과 같다.

1. 청주시와 충주시 가로수 전체에 대한 누적이산화탄소 고정량을 산출한 결과, 청주시의 총량은 약 1,230,000kg-C로, 충주시는 약 1,270,000kg-C로 산출되었다. 청주시 발산공원과, 충주시 대가미체육공원에 누적이산화탄소 고정량을 산출한 결과, 청주시 발산공원의 총량은 약 25,000kg-C로, 충주시 대가미체육공원은 약 6,400kg-C로 산출되었다.
2. 청주시 가로수에 가장 많이 축적된 중금속은 Zn이었으며, 가장 적게 축적된 중금속은 Ni이었다. 청주시 가로수를 대상으로 중금속을 측정된 결과 Zn > Cu > Cr > Ni > 순으로 나타났다. 청주시 용도지역별 가로수의 중금속 총합량은 주거지역(157.26 mg/kg) > 공업지역(141.71 mg/kg) > 상업지역(118.55 mg/kg) > 녹지지역(61.95 mg/kg)의 순으로 나타났다.
3. 대체적으로 충주시는 청주시보다 모든 항목에서 낮은 함량을 보였는데 이는 도시규모와 교통량의 차이에 따른 대기오염물질 발생량이 다르기 때문이다. 용도지역별 가로수의 중금속 총합량은 상업지역(84.48 mg/kg) > 주거지역(83.70 mg/kg) > 녹지지역(48.23 mg/kg)의 순으로 나타났다.
4. 청주시 용도지역별 가로수 식재지 토양의 중금속 함량은 Zn > Cu > Pb(> Ni > Cr > As > Cd)의 순으로 Zn이 가장 높게 나타났으며, Cd가 가장 낮게 축적된 것으로 분석되었다. 용도지역별 가로수 식재지 토양의 총 중금속 총 함량은 상업지역(91.82mg/kg) > 공업지역(85.96mg/kg) > 주거지역(67.55mg/kg) > 녹지지역(43.13mg/kg)의 순으로 나타났다.
5. 충주시 용도지역별 가로수 식재지 토양의 중금속 함량은 Zn > Pb > Cu(> Ni > Cr > As > Cd)의 순으로 Zn이 가장 높게 나타나 청주시와 유사한 경향을 보였다. 용도지역별 가로수 식재지 토양의 중금속 총합량은 상업지역(87.66mg/kg) > 녹지지역(72.73mg/kg) > 주거지역(70.10mg/kg)의 순으로 나타났다.

■ 주제어 ■ 누적이산화탄소 고정량, 중금속농도, 가로수, 도시공원, 용도지역

1) 이 논문은 2008년 충북지역환경기술개발센터 지원에 의한 논문입니다.

Abstract

These objectives of this study were to compute heavy metal and accumulation carbon dioxide fixing quantity from urban green space(street trees and urban parks) in Cheong-ju city and Chungju-city and thus to estimate the effect of urban green space for improving the urban environment. The results are summarized below.

1. Results of the total accumulation of the carbon dioxide fixing quantity of street trees, Cheong-ju city and Chungju-city street tree was 1,230,000kg-C, 1,270,000 kg-C, respectively. Total accumulation carbon dioxide fixing quantity of Balssan urban park had a 25,000kg-C in Cheong-ju city, Degami sports park had a 6,400kg-C in Chungju-city.
2. Results of heavy metal for street trees, fell in the order Zn > Cu > Cr > Ni > , the highest accumulated heavy metal was Zn, and the lowest was Ni. Total heavy metal concentration according to land-use area, was observed in order, for residential areas(157.26 mg/kg) > industrial areas(141.71 mg/kg) > commercial areas(118.55 mg/kg) > and greenspace areas(61.95 mg/kg) in Cheong-ju city.
3. Total heavy metal concentration for street trees fell in the order of commercial areas(84.48 mg/kg) > residential areas(83.70 mg/kg) > and greenspace(48.23 mg/kg) according to land-use area in Chungju-city. Comparatively, Cheong-ju city had more total heavy metal concentration than Chungju-city.
4. Heavy metal for soil that planted street trees was observed in order of Zn > Cu > Pb(> Ni > Cr > As > Cd), and Zn was highest, and Cd was lowest. Total heavy metal concentration for soil fell in the order commercial area(91.82mg/kg) > industrial area(85.96mg/kg) > residential area(67.55mg/kg) > greenspace(43.13mg/kg) according to land-use area in Cheong-ju city.
5. Heavy metal for soil that planted street trees was observed in order of Zn > Pb > Cu(> Ni > Cr > As > Cd), and Zn was highest. Total heavy metal concentration for soil fell in the order commercial area(87.66mg/kg) > greenspace(72.73mg/kg) ≥ residential area(70.10mg/kg) in Chungju-city.

■ **Keywords** ■ Accumulation Carbon Dioxide Fixing Quantity, Heavy Metal Concentration, Street Tree, Urban Park, Land-Use Area.

I. 서 론

산업이 발달하면서 온실효과나 기후변화, 대기오염과 같은 심각한 환경문제가 세계 곳곳에서 발생하고 있다. 도심지의 각종 식물은 대기와 토양이 오염되면서 많은 중금속을 흡수하게 되어 생육에 직접 피해를 줄 뿐만 아니라 중금속이 식물의 체내에 축적되어 악영향을 주는 경우가 많다(천선희, 1995). 또한, 대기 중 CO₂는 화석연료의 사용과, 산림이 벌채되면서 매년 큰 폭으로 증가하고 있다. 이러한 CO₂의 지속적인 증가는 수십년 이내에 자연생태시스템에 악영향을 미칠 것으로 예상된다. 이러한 배경을 바탕으로 교토의정서 및 기후변화협약 당사국 회의(COP) 같은 지구온난화방지에 관한 국제적인 논의 중에서도 온실효

과가스의 흡수원 대책으로 도시녹지가 주요 대책으로 제시되었다(環境省, 2006; 市村와 黒澤, 2005).

도시의 대기오염물질은 공장이나 건물의 배출물, 자동차 배기가스, 도로에서 발생하는 먼지 등 다양하며, 우리나라의 경우 대도시의 대기오염은 자동차 배기가스가 주원인인데, 자동차 배기가스로부터 나오는 카드뮴은 생물에 큰 피해를 주는 것으로 알려져 있다. 또한 배기가스에 포함되어 배출되는 유해물질 중 납의 함량이 많기 때문에 도심지나 도로변 토양에는 납 함량이 높게 나타나고 있다(손요환·유재운, 2003; 이찬형 등, 2002). 자동차에서 배출되는 유해물질들이 대기 중으로 희석 또는 확산되지 못한 채 주변 자연환경에 직간접으로 피해를 주고 있으며, 그 유해물질들 중 몇몇 중금속은 부유상태에서 사람과 동물에게 흡기되어 건강을 해치고, 식물의 기공이나 토양에 흡착되어 식물의 성장에도 많은 장애를 주는 것으로 알려져 있다. 또한, 최근에는 중국 등 주변 국가들의 대기가 확산 및 이동하면서 대기오염물질이 우리나라 서해안으로 유입될 가능성이 높은 것으로 알려져 있다(한진석 등, 2006; 이승복 등, 2004; 여민주 등, 2003). 카드뮴과 납과 같은 중금속 오염물질이 환경에 유입되면 분해되지 않고 오랫동안 여러 환경매체에 축적되어 장기간 잔류하는 지속성 유기오염물질(Persistent Organic Pollutants, POPs)이 되어 여러 경로를 통하여 토양에 잔존하면서 환경에 악영향을 끼치게 된다.

지금까지 이산화탄소 흡수고정의 산정방법에 관한 연구로는 주로 산림을 대상으로 이루어져 왔다. 이는 기후변화에 관한 정부 간 패널(IPCC)에서 이산화탄소 고정량 산정을 위한 원단위(原單位)가 되는 산림면적당 연간 바이오매스 성장량이 제시되어 있기 때문이다. 지금까지 국내에서 이루어져 온 이산화탄소 고정량의 추정방법은 산림의 벌목한 나무를 대상으로 하는 파괴적인 방법인 생중량과 건조량의 차이에 따른 이산화탄소 고정량을 추정해 왔다. 그러나 도시녹화 등에 의한 식재수목은 산림과 같은 형태를 지니지 않는 단목 및 열상(列狀)의 것이 많고, 단목 형태로 생육하는 수목은 산림 내의 수목과 서로 다른 생육특성을 지닌다는 점에서 산림의 원단위를 적용할 수 있는 범위는 한정되게 된다. 따라서 도시녹화 등에 의한 식재수목의 이산화탄소 흡수 고정의 평가에 관한 연구는 매우 적고, 또한 도시의 수목들을 대상으로 파괴적인 방법으로 이산화탄소 고정량을 추정하는 일은 매우 어렵다. 일찍이 일본에서는 도시수목의 특성상 파괴적인 방법이 아닌 비파괴적인 방법으로 도시수목의 이산화탄소 고정량을 추정하였다. 도시녹화 수목의 총량은 산림에 비해 이산화탄소 저감에 대한 공헌이 상대적으로 적지만 지구온난화문제가 초미의 관심사로 대두된 작금의 실태를 감안한다면 다양한 분야에서의 대처방안은 매우 필요하다. 이러한 상황에서 도

시녹화에 의한 이산화탄소 저감 효과를 평가하는 것은 매우 중요하다. 그러나 충청북도 지역을 대상으로 이루어져 온 연구는 미약하다.

이에 본 연구는 충청북도의 주요 도시인 청주시와 충주시를 대상으로 도시녹지(가로수 및 도시공원)에 의한 중금속에 대한 분석과 누적이산화탄소 고정량을 비파괴적인 방법으로 평가하여 대기환경개선을 위한 기초적 데이터를 제공하고자 한다.

II. 연구내용 및 범위

1. 연구 대상지

충청북도 도시 중 청주시와 충주시를 대상으로 2008년 4월 1일부터 실험하였고, 가로수 및 식재지 토양의 중금속 원소 함량을 알아보기 위해 토지의 이용과 건축물의 용도·건폐율·용적률·높이 등을 제한하기 위해 책정한 구역을 용도 지역이라고 하는데 두 지역을 용도에 따라 구분하였다. 청주시는 용도지역에 따라 시료채취 대상지역을 녹지지역, 주거지역, 상업지역, 공업지역 등 4지역으로 구분하였고, 각각의 지역에 대해서 녹지지역의 경우 솔밭공원과 발산공원 일대, 주거지역은 용암동 주거 밀집지역, 상업지역은 도청 주변 문화동 일대, 공업지역은 봉명동 공업단지로 설정하였다.

충주시와 마찬가지로 충주시도 용도지역에 따라 중금속 원소 함량을 알아보기 위해, 시료채취 대상지역을 녹지지역, 주거지역, 상업지역 등 3지역으로 구분하여, 각각의 지역에 대해서 녹지지역은 대가미체육공원, 주거지역은 연수주공아파트, 상업지역은 충주공용버스터미널로 설정하였다.

2. 측정방법

충주시와 충주시의 용도지역(상업지역, 주거지역, 녹지지역, 공업지역)을 대상으로 선정하여 각 3지점에서 가로수 식물체와 토양을 채취하여 유도결합플라스마 발광광도계(ICP-OES, Optima 5300DV, USA)로 중금속을 분석하였다(조성근, 2008; 환경부, 2002).

도시 가로수 및 도시공원의 누적이산화탄소 고정량 측정은 비파괴적인 방법을 사용하여 추정하였다. 매목조사에서 얻어진 조사수목의 흉고직경의 데이터를 관계식에 대입해 교목을 중심으로 각각의 수목의 누적이산화탄소량을 산출하였다(林野庁, 1970).

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 가로수 및 도시공원의 누적이산화탄소 고정량

1) 가로수의 누적이산화탄소 고정량

청주시와 충주시의 이산화탄소 고정량은 연구 내용 및 방법에 따라 계산하였고, 재적표는 서일본에 식재되어 있는 수종을 대상으로 측정한 임목간재적표를 이용하였다. 용적밀도는 일본임업시험장목재부·목재이용부(1982)에 기재되어 있는 각 과 및 활엽수 각각의 용적밀도수의 평균을 산출한 결과를 사용하였다. 위의 방법으로 청주시와 충주시의 가로수 및 공원에 있는 수목의 이산화탄소 고정량의 데이터는 아래와 같다. 충주시 가로수 6수종(은행나무, 플라타너스, 느티나무, 느릅나무, 회화나무, 메타세쿼이아)을 대상으로 누적이산화탄소 고정량을 추정된 결과는 <표 1>과 같다.

수종별 1그루당 누적이산화탄소 고정량은 플라타너스가 84.0kg-C로 가장 높았으며, 그 다음으로 느티나무 32.9kg-C, 은행나무 30.0kg-C, 느릅나무 25.2kg-C 등의 순으로 나타났다. 1그루당 평균 누적량을 토대로 청주시에 식재되어 있는 6종의 가로수 전체에 대한 누적이산화탄소 고정량을 산출한 결과, 총 1,231,919kg-C로 추정되었다. 수종별로는 플라타너스가 602,952kg-C로 가장 높았으며, 그다음으로 은행나무 320,880kg-C, 느티나무 191,939kg-C, 메타세쿼이아 52,696kg-C 등의 순으로 나타났다.

표 1 충주시 가로수의 누적이산화탄소 고정량

수종	1그루당 평균 누적량 (단위:kg-C)	수종별 총누적량 (단위:kg-C)
은행나무	30.0	320,880
플라타너스	84.0	602,952
느티나무	32.9	191,939
느릅나무	25.2	32,684
회화나무	24.0	30,768
메타세쿼이아	17.3	52,696
합 계	-	1,231,919

충주시 가로수 5수종(은행나무, 플라타너스, 느티나무, 뽕나무, 사과나무)을 대상으로 누

적이산화탄소 고정량을 추정한 결과는 <표 2>와 같다. 수종별 1그루당 누적이산화탄소 고정량은 은행나무가 51.0kg-C로 가장 높았으며, 그다음으로 느티나무 47.6kg-C, 뽕나무 37.4kg-C 등의 순으로 나타났다. 1그루당 평균 누적량을 토대로 충주시에 식재되어 있는 5종의 가로수 전체에 대한 누적이산화탄소 고정량을 산출한 결과, 총 1,276,255kg-C로 추정되었다.

수종별로는 은행나무가 674,526kg-C로 가장 높았으며, 그다음으로 뽕나무 502,207kg-C, 플라타너스 45,521kg-C, 느티나무 42,031kg-C의 순으로 나타났으며, 충주시 시목(市木)인 사과나무는 11,970kg-C로 추정되었다. 충주시와 충주시의 같은 수종의 가로수에 누적이산화탄소 고정량이 다른 것은 식재시기 등의 차이에 따른 흉고직경과 수고 등 생육에 차이가 있기 때문으로 사료된다.

표 2 충주시 가로수의 누적이산화탄소 고정량

수종	1그루당 평균 누적량 (단위:kg-C)	수종별 총 누적량 (단위:kg-C)
은행나무	51.0	674,526
플라타너스	15.6	45,521
느티나무	47.6	42,031
뽕나무	37.4	502,207
사과나무	15.0	11,970
합 계	-	1,276,255

2) 도시공원의 누적이산화탄소 고정량

충주시 발산공원(28,581㎡)에 식재되어 있는 관목류와 지피류를 제외한 총 751그루에 대한 누적이산화탄소 고정량을 추정한 결과는 <표 3>과 같다. 발산공원에 식재되어 있는 수목 중 1그루당 누적이산화탄소 고정량은 상수리나무가 116.6kg-C로 가장 높았으며, 그다음으로 메타세쿼이아 103.7kg-C, 리기다소나무 72.5kg-C, 느티나무 63.0kg-C, 목백합나무 60.0kg-C 등의 순으로 나타났다. 발산공원에 식재되어 있는 751그루의 총누적이산화탄소 고정량은 25,272kg-C로 추정되었으며, 수종별로는 소나무가 11,014.1kg-C로 가장 많았으며, 그 다음으로 낙엽송 4,478.8kg-C, 리기다소나무 1,958.6kg-C, 자귀나무 1,896.0kg-C, 상수리나무 1,866.2kg-C 등의 순으로 나타났다.

충주시 대가미체육공원(44,473㎡)에 식재되어 있는 387그루에 대한 누적이산화탄소 고정량을 추정한 결과는 <표 4>와 같다. 식재수목 1그루당 누적이산화탄소 고정량은 리기다

소나무가 37.0kg-C로 가장 높았으며, 그다음으로 은행나무 27.0kg-C, 플라타너스 24.0kg-C, 스트로부스잣나무 16.4kg-C 등의 순으로 나타났다. 대가미체육공원의 총 누적이산화탄소 고정량은 6,457.9kg-C로 추정되었으며, 수종별로는 리기다소나무 2,069.8kg-C, 은행나무 1,161.0kg-C, 스트로부스잣나무 1,031.9kg-C, 벚나무 612.0kg-C 등의 순으로 나타났다.

표 3 청주시 발산공원의 누적이산화탄소 고정량

수종	1그루당 평균 누적량 (단위:kg-C)	수종별 총 누적량 (단위:kg-C)
은행나무	12.0	396.0
느티나무	63.0	315.0
신갈나무	16.2	178.2
졸참나무	7.8	39.0
상수리나무	116.6	1,866.2
목백합나무	60.0	240.0
참느릅나무	17.3	362.9
산사나무	12.0	228.0
청단풍	6.5	136.1
목련	12.0	108.0
자귀나무	24.0	1,896.0
산딸나무	12.0	300.0
아그배나무	10.8	86.4
복자기나무	6.0	42.0
산수유	6.0	126.0
소나무	37.0	11,014.1
리기다소나무	72.5	1,958.6
메타세쿼이아	103.7	414.7
낙엽송	51.5	4,478.8
스트로부스잣나무	25.7	1,081.1
주목	2.4	4.9
합 계	-	25,272.0

표 4 충주시 대가미체육공원의 누적이산화탄소 고정량

수종	1그루당 평균 누적량 (단위:kg-C)	수종별 총 누적량 (단위:kg-C)
벚나무	12.0	612.0
은행나무	27.0	1,161.0
플라타너스	24.0	144.0
느티나무	12.0	360.0
팽나무	6.0	18.0
살구나무	3.0	12.0
계수나무	4.8	24.0
모과나무	9.0	45.0
상수리나무	9.7	58.3
일본목련	6.0	12.0
칠엽수	7.7	54.2
잣나무	9.4	18.7
메타세쿼이아	11.5	391.7
리기다소나무	37.0	2,069.8
스트로부스잣나무	16.4	1,031.9
단풍나무	6.5	155.5
전나무	6.3	289.8
합 계	-	6,457.9

1995년 춘천시에서 교목과 관목을 중심으로 별목하여 추정한 누적이산화탄소 고정량과 위에서 나타난 두 도시에서 나타난 누적이산화탄소 고정량을 토대로 하여 비교해 보면 다음과 같다(조현길, 1995).

먼저 춘천시의 교목과 관목 중심으로 식생에 의해 흡수 고정된 탄소량은 총 42,842톤으로 추정되었으며 청주시 가로수와 공원의 총누적이산화탄소 고정량은 각각 약 1,232톤, 25.3톤으로 추정되었으며, 충주시 가로수와 공원의 총누적이산화탄소 고정량은 각각 약 1,276.3톤, 6.5톤으로 추정되었다. 이산화탄소 고정량의 총량으로 보면 춘천시에 비해 청주시와 충주시의 두 지역 모두 이산화탄소 고정량이 약 35배 가까이 차이가 나지만 춘천시는 모든 교목과 관목을 대상으로 선정하였고 춘천시 전체의 식생을 대상으로 하였다. 반면 청주시와 충주시는 도시녹지의 일부분인 가로수와 공원녹지만 대상으로 선정하여 따져 본 결과 청주시나 충주시의 전체 녹지를 놓고 보았을 때 도시녹지의 일부분인 가로수와 공원이 차지하는 비율은 미약하지만 이산화탄소를 흡수하는 비율은 적지 않은 것으로 판단된다

2. 가로수의 중금속 함량

청주시 가로수의 중금속 함량을 분석한 결과는 <표 5>와 같다. 공업지역의 플라타너스 중금속 농도는 Zn 18.59mg/kg, Cu 7.41mg/kg, Cr 1.22mg/kg, Ni 1.10mg/kg의 결과를 보였으며, 느티나무의 중금속 농도는 Zn 76.07mg/kg, Cu 11.22mg/kg, Cr 3.29mg/kg, Ni 2.78mg/kg으로 나타났으며, 은행나무는 Zn 14.48mg/kg, Cu 2.28mg/kg, Cr 1.95mg/kg, Ni 0.81mg/kg을 보였다. 수종별 중금속 함량을 비교해 보면 Zn과 Cu, Ni은 느티나무 > 플라타너스 > 은행나무 순으로 나타났다.

상업지역의 플라타너스 중금속 농도는 Zn 46.37mg/kg, Cu 14.51mg/kg, Cr 2.15mg/kg, Ni 1.64mg/kg으로 나타났으며, 느티나무는 Zn 26.00mg/kg, Cu 7.01mg/kg, Cr 2.36mg/kg, Ni 1.38mg/kg을 은행나무는 Zn 10.92mg/kg, Cu 3.50mg/kg, Cr 1.94mg/kg, Ni 0.81mg/kg을 보였다. 수종별 중금속 함량을 비교해 보면 Zn과 Cu, Ni은 플라타너스 > 느티나무 > 은행나무 순으로 나타났다.

주거지역의 플라타너스 중금속 농도는 Zn 40.29mg/kg, Cu 11.84mg/kg, Cr 2.60mg/kg, Ni 2.39mg/kg을, 느티나무는 Zn 54.21mg/kg, Cu 14.46mg/kg, Cr 3.09mg/kg, Ni 2.25mg/kg을 보였으며, 은행나무는 Zn 23.84mg/kg, Cu 3.15mg/kg, Cr 1.65mg/kg, Ni 0.51mg/kg으로 나타났으며, 수종별 중금속 함량은 느티나무 ≥ 플라타너스 > 은행나무의 순으로 나타났다.

녹지지역의 플라타너스 중금속 농도는 Zn 22.17mg/kg, Cu 7.61mg/kg, Cr 1.32mg/kg, Ni 0.96mg/kg으로 나타났으며, 느티나무는 Zn 24.44mg/kg, Cu 4.86mg/kg, Cr 2.09mg/kg, Ni 1.79mg/kg을 보였다. 은행나무의 중금속 농도는 Zn 6.59mg/kg, Cu 1.58mg/kg, Cr 1.40mg/kg, Ni 0.59mg/kg의 결과를 보였다. 수종별 중금속 함량은 주거지역과 같은 경향을 보였다.

가로수에 가장 많이 축적된 중금속은 Zn이었으며, 가장 적게 축적된 중금속은 Ni이었다. 이러한 결과는 정기채 등(1993)의 연구결과와 비슷한 경향을 보였으나, 신현식 등(2000)은 청주시내 가로수를 대상으로 중금속을 측정된 결과 Fe > Cu > Zn > Pb > Mn > Cd 순으로 나타났는데, 이번 측정에서는 Zn이 Cu보다 더 높은 것으로 나타났다. 이는 조사기간의 차이에 따른 대기오염물질의 차이에 기인하는 것으로 사료된다.

표 5 청주시 용도지역별 가로수의 중금속 농도(단위 : mg/kg)

용도지역	수 종	Zn	Cu	Cr	Ni
공업지역	플라타너스	18.59	7.41	1.22	1.10
	느티나무	76.07	11.22	3.29	2.78
	은행나무	14.48	2.82	1.95	0.81
상업지역	플라타너스	46.37	14.51	2.15	1.64
	느티나무	26.00	7.01	2.36	1.38
	은행나무	10.92	3.50	1.94	0.81
주거지역	플라타너스	40.29	11.84	2.60	2.39
	느티나무	54.21	11.46	3.09	2.25
	은행나무	23.84	3.15	1.65	0.51
녹지지역	플라타너스	22.17	7.61	1.32	0.96
	느티나무	24.44	4.86	2.09	1.79
	은행나무	6.54	1.58	1.40	0.56

청주시 가로수의 중금속 함량을 분석한 결과는 <표 6>과 같다. 상업지역의 플라타너스 중금속 농도는 Zn 27.65mg/kg, Cu 11.06mg/kg, Cr 2.09mg/kg, Ni 2.18mg/kg으로 나타났으며, 느티나무는 Zn 45.00mg/kg, Cu 2.67mg/kg, Cr 1.92mg/kg, Ni 0.86mg/kg을, 은행나무는 Zn 14.60mg/kg, Cu 2.97mg/kg, Cr 2.39mg/kg, Ni 1.13mg/kg을 보였다. 수종별 중금속 함량을 비교해 보면 청주시 상업지역과 같은 경향인 플라타너스 > 느티나무 ≥ 은행나무 순으로 나타났다.

주거지역의 플라타너스 중금속 농도는 Zn 29.30mg/kg, Cu 3.84mg/kg, Cr 2.15mg/kg, Ni 0.72mg/kg을 느티나무는 Zn 24.99mg/kg, Cu 3.29mg/kg, Cr 2.12mg/kg, Ni 1.07mg/kg을 보였으며, 은행나무는 Zn 11.39mg/kg, Cu 2.18mg/kg, Cr 1.92mg/kg, Ni 0.77mg/kg으로 나타났으며, 수종별 중금속 함량은 플라타너스 > 느티나무 > 은행나무의 순으로 나타났다.

녹지지역의 플라타너스 중금속 농도는 Zn 13.73mg/kg, Cu 5.03mg/kg, Cr 1.65mg/kg, Ni 0.92mg/kg으로 나타났으며, 느티나무는 Zn 14.90mg/kg, Cu 0.98mg/kg, Cr 1.04mg/kg, Ni 0.62mg/kg을, 은행나무의 중금속 농도는 Zn 5.79mg/kg, Cu 1.64mg/kg, Cr 1.34mg/kg, Ni 0.63mg/kg의 결과를 보였다. 수종별 중금속 함량은 플라타너스 > 느티나무 > 은행나무의 순으로 나타났다.

청주시보다 모든 항목에서 낮은 농도를 보이는 것으로 나타났는데, 이는 도시 규모의 차이에 따른 대기오염물질 발생농도의 차이에 기인하는 것으로 사료된다.

표 6 충주시 용도지역별 가로수의 중금속 농도(단위 : mg/kg)

용도지역	수 종	Zn	Cu	Cr	Ni
상업지역	플라타너스	27.65	11.06	2.09	2.18
	느티나무	15.00	2.67	1.92	0.86
	은행나무	14.60	2.97	2.39	1.13
주거지역	플라타너스	29.30	3.84	2.15	0.72
	느티나무	24.99	3.29	2.12	1.07
	은행나무	11.39	2.18	1.92	0.77
녹지지역	플라타너스	13.73	5.03	1.65	0.92
	느티나무	14.90	0.98	1.04	0.62
	은행나무	5.79	1.64	1.34	0.63

3. 가로수 식재지 토양의 중금속 농도

충주시 가로수 식재지 토양의 중금속 농도를 분석한 결과는 <표 7>과 같다. 상업지역 플라타너스 식재지 토양의 중금속 농도는 Zn 8.42mg/kg, Cu 2.18mg/kg, Pb 2.19mg/kg, Cr 0.11mg/kg, Cd 0.03mg/kg, Ni 0.42mg/kg, As 0.11mg/kg의 결과를 보였으며, 느티나무 식재지 토양의 중금속 농도는 Zn 23.79mg/kg, Cu 8.60mg/kg, Pb 7.03mg/kg, Cr 0.22mg/kg, Cd 0.10mg/kg, Ni 0.47mg/kg, As 0.22mg/kg을 보였다. 은행나무 식재지 토양은 Zn 22.97mg/kg, Cu 4.56mg/kg, Pb 3.70mg/kg, Cr 0.26mg/kg, Cd 0.07mg/kg, Ni 0.31mg/kg, As 0.20mg/kg을 보였다. 상업지역 가로수 식재지 토양별 중금속 농도는 Zn > Cu > Pb > Ni > Cr=As > Cd의 순으로 나타났다.

상업지역 플라타너스 식재지 토양의 중금속 농도는 Zn 16.88mg/kg, Cu 5.04mg/kg, Pb 4.15mg/kg, Cr 0.27mg/kg, Cd 0.06mg/kg, Ni 0.44mg/kg, As 0.23mg/kg의 결과를 보였으며, 느티나무 식재지 토양의 중금속 농도는 Zn 12.25mg/kg, Cu 5.04mg/kg, Pb 7.63mg/kg, Cr 0.16mg/kg, Cd 0.08mg/kg, Ni 0.56mg/kg, As 0.25mg/kg을 보였다. 은행나무 식재지 토양은 Zn 24.60mg/kg, Cu 8.19mg/kg, Pb 3.95mg/kg, Cr 0.48mg/kg, Cd 0.08mg/kg, Ni 1.05mg/kg, As 0.43mg/kg을 보였다. 상업지역 가로수 식재지 토양별 중금속 농도는 Zn > Cu > Pb > Ni > Cr > As > Cd의 순으로 나타났다.

주거지역 플라타너스 식재지 토양의 중금속 농도는 Zn 12.36mg/kg, Cu 4.39mg/kg, Pb 2.38mg/kg, Cr 1.86mg/kg, Cd 0.04mg/kg, Ni 0.43mg/kg, As 0.11mg/kg의 결과를 보였으며, 느티나무 식재지 토양의 중금속 농도는 Zn 16.75mg/kg, Cu 6.67mg/kg, Pb 3.31mg/kg, Cr

1.29mg/kg, Cd 0.04mg/kg, Ni 0.51mg/kg, As 0.10mg/kg을 보였다. 은행나무 식재지 토양은 Zn 9.88mg/kg, Cu 3.48mg/kg, Pb 2.43mg/kg, Cr 0.71mg/kg, Cd 0.06mg/kg, Ni 0.54mg/kg, As 0.19mg/kg을 보였다. 주거지역 가로수 식재지 토양별 중금속 농도는 Zn > Cu > Pb > Cr > Ni > As > Cd 순으로 나타났다.

녹지지역 플라타너스 식재지 토양의 중금속 농도는 Zn 8.16mg/kg, Cu 1.40mg/kg, Pb 1.89mg/kg, Cr 0.19mg/kg, Cd 0.02mg/kg, Ni 0.35mg/kg, As 0.20mg/kg의 결과를 보였으며, 느티나무 식재지 토양의 중금속 농도는 Zn 3.19mg/kg, Cu 0.17mg/kg, Pb 2.23mg/kg, Cr 0.06mg/kg, Cd 0.04mg/kg, Ni 0.26mg/kg, As 0.20mg/kg을 보였다. 은행나무 식재지 토양은 Zn 20.53mg/kg, Cu 1.11mg/kg, Pb 1.77mg/kg, Cr 0.16mg/kg, Cd 0.06mg/kg, Ni 0.44mg/kg, As 0.13mg/kg을 보였다. 녹지지역 가로수 식재지 토양별 중금속 농도는 Zn > Pb > Cu > Ni > Cr > As > Cd 순으로 나타났다.

용도지역별 가로수 식재지 토양의 중금속 함량은 Zn > Cu > Pb > Ni > Cr > As > Cd의 순으로 Zn이 가장 높게 나타났으며, Cd이 가장 낮게 축적된 것으로 분석되었다. 이러한 결과는 창원시(구자근, 1996; 조성근, 2008), 마산시(천선희, 1995), 경기도 북부 공장지역(최윤정 · 이종석, 2005)과 유사한 경향을 보였다. 용도지역별 가로수 식재지 토양의 중금속 농도는 상업지역(91.82mg/kg) > 공업지역(85.96mg/kg) > 주거지역(67.55mg/kg) > 녹지지역(43.13mg/kg)의 순으로 나타났다.

표 7 청주시 용도지역별 가로수 식재지 토양의 중금속 농도(단위 : mg/kg)

용도 지역	가로수 식재지	Zn	Cu	Pb	Cr	Cd	Ni	As
공업 지역	플라타너스	8.42	2.18	2.19	0.11	0.03	0.42	0.11
	느티나무	23.79	8.60	7.03	0.22	0.10	0.47	0.22
	은행나무	22.97	4.56	3.70	0.26	0.07	0.31	0.20
상업 지역	플라타너스	16.88	5.04	4.15	0.27	0.06	0.44	0.23
	느티나무	12.25	5.04	7.63	0.16	0.08	0.56	0.25
	은행나무	24.60	8.19	3.95	0.48	0.08	1.05	0.43
주거 지역	플라타너스	12.38	4.39	2.38	1.86	0.04	0.43	0.11
	느티나무	16.75	6.67	3.31	1.29	0.04	0.51	0.10
	은행나무	9.88	3.48	2.43	0.71	0.06	0.54	0.19
녹지 지역	플라타너스	8.16	1.40	1.89	0.19	0.02	0.35	0.20
	느티나무	3.19	0.74	2.23	0.06	0.04	0.26	0.20
	은행나무	20.53	1.11	1.77	0.16	0.06	0.44	0.13

충주시 가로수 식재지 토양의 중금속 농도를 분석한 결과는 <표 8>과 같다. 상업지역 플라타너스 식재지 토양의 중금속 농도는 Zn 18.86mg/kg, Cu 5.64mg/kg, Pb 3.49mg/kg, Cr 0.22mg/kg, Cd 0.07mg/kg, Ni 0.41mg/kg, As 0.15mg/kg의 결과를 보였으며, 느티나무 식재지 토양의 중금속 농도는 Zn 34.20mg/kg, Cu 4.47mg/kg, Pb 4.16mg/kg, Cr 0.29mg/kg, Cd 0.10mg/kg, Ni 0.79mg/kg, As 0.13mg/kg을 보였다. 은행나무 식재지 토양은 Zn 9.88mg/kg, Cu 2.17mg/kg, Pb 1.91mg/kg, Cr 0.17mg/kg, Cd 0.03mg/kg, Ni 0.36mg/kg, As 0.16mg/kg을 보였다. 상업지역 가로수 식재지 토양별 중금속 농도는 Zn > Cu > Pb > Ni > Cr > As > Cd의 순으로 나타났다.

주거지역 플라타너스 식재지 토양의 중금속 농도는 Zn 41.35mg/kg, Cu 2.14mg/kg, Pb 6.36mg/kg, Cr 0.49mg/kg, Cd 0.10mg/kg, Ni 0.75mg/kg, As 0.28mg/kg의 결과를 보였으며, 느티나무 식재지 토양의 중금속 농도는 Zn 5.51mg/kg, Cu 1.81mg/kg, Pb 2.56mg/kg, Cr 0.05mg/kg, Cd 0.03mg/kg, Ni 0.20mg/kg, As 0.22mg/kg을 보였다. 은행나무 식재지 토양은 Zn 4.18mg/kg, Cu 2.33mg/kg, Pb 1.43mg/kg, Cr 0.06mg/kg, Cd 0.02mg/kg, Ni 0.19mg/kg, As 0.04mg/kg을 보였다. 주거지역 가로수 식재지 토양별 중금속 농도는 Zn > Pb > Cu > Ni > Cr > As > Cd의 순으로 나타났다.

녹지지역 플라타너스 식재지 토양의 중금속 농도는 Zn 30.26mg/kg, Cu 2.91mg/kg, Pb 3.95mg/kg, Cr 0.32mg/kg, Cd 0.14mg/kg, Ni 0.62mg/kg, As 0.21mg/kg의 결과를 보였으며, 느티나무 식재지 토양의 중금속 농도는 Zn 13.77mg/kg, Cu 1.54mg/kg, Pb 1.95mg/kg, Cr 0.31mg/kg, Cd 0.08mg/kg, Ni 0.47mg/kg, As 0.15mg/kg을 보였다. 은행나무 식재지 토양은 Zn 12.50mg/kg, Cu 1.55mg/kg, Pb 1.24mg/kg, Cr 0.18mg/kg, Cd 0.06mg/kg, Ni 0.29mg/kg, As 0.23mg/kg을 보였다. 녹지지역 가로수 식재지 토양별 중금속 농도는 Zn > Pb > Cu > Ni > Cr > As > Cd의 순으로 나타났다.

용도지역별 가로수 식재지 토양의 중금속 함량은 Zn > Pb > Cu > Ni > Cr > As > Cd의 순으로 Zn이 가장 높게 나타나 청주시와 유사한 경향을 보였다. 용도지역별 가로수 식재지 토양의 중금속 농도는 상업지역(87.66mg/kg) > 녹지지역(72.73mg/kg) ≥ 주거지역(70.10mg/kg)의 순으로 나타났다.

표 8 충주시 용도지역별 가로수 식재지 토양의 중금속 농도(단위 : mg/kg)

용도 지역	가로수 식재지	Zn	Cu	Pb	Cr	Cd	Ni	As
상업 지역	플라타너스	18.86	5.64	3.49	0.22	0.07	0.41	0.15
	느티나무	34.20	4.47	4.16	0.29	0.10	0.79	0.13
	은행나무	9.88	2.17	1.91	0.17	0.03	0.36	0.16
주거 지역	플라타너스	41.35	2.14	6.36	0.49	0.10	0.75	0.28
	느티나무	5.51	1.81	2.56	0.05	0.03	0.20	0.22
	은행나무	4.18	2.33	1.43	0.06	0.02	0.19	0.04
녹지 지역	플라타너스	30.26	2.91	3.95	0.32	0.14	0.62	0.21
	느티나무	13.77	1.54	1.95	0.31	0.08	0.47	0.15
	은행나무	12.50	1.55	1.24	0.18	0.06	0.29	0.23

청주시와 충주시의 가로수와 가로수 식재지 토양의 중금속 농도는 대체적으로 비슷한 결과를 나타냈으며, 창원시 주변의 토양과 가로수 중금속 농도와 미약한 차이를 보였으나 대체적으로 비슷한 결과를 보였다(김영식, 2008).

먼저 청주시와 충주시의 가로수 식재지 토양의 중금속 함량은 두 지역 모두 Zn의 함량이 가장 높았고, Cd이 가장 낮았다. 이는 토양 오염기준으로 볼 때 대부분 우려기준의 농도 기준 크기 순으로 나타났다. 청주시에서는 우려했던 공업지역보다 주거지역의 중금속 함량이 더 높게 나타났고, 상업지역과도 두 지역의 중금속 함량이 크게 차이가 나지 않는 이유는 청주시의 공업형태가 경공업 중심이어서 오염물질 배출이 적고, 측정된 중금속들 대부분이 금속제련과 쓰레기 소각, 자동차 배기가스, 타이어 마모 등으로 발생하는 특성이 있어 교통량과 관련이 있는 것으로 분석되었는데, 이는 창원시와 유사한 결과를 띠고 있다. 청주시 공업지역의 경우 대로변의 교통량은 많으나 공단지역 내의 도로의 교통량은 많지 않은 것으로 나타났고, 주거지역의 경우 도로폭은 좁으나 주변을 지나가는 버스노선의 종류가 많았고, 근처에 학교의 수가 많아 등하교 시 교통량이 늘어나는 등 교통량에 의한 차이에 기인하는 것으로 사료된다. 충주시도 역시 주거지역보다 녹지지역의 중금속 함량이 높게 나타난 것은 공원 근처에 위치한 법원, 검찰청 등의 관공서가 위치해 있고, 근처에 버스터미널이 있어 상대적으로 많은 교통량의 영향을 받은 것으로 판단된다. 두 지역의 용도지역과 교통량에 따라 중금속의 차이는 나타나지만 토양오염기준을 토대로 중금속 함량의 농도를 비교해 보았을 때 오염기준보다 낮아 건강한 토양임을 알 수 있었다(환경부, 2002).

청주시와 충주시의 가로수 중금속 함량의 경우 두 지역 모두 다른 지역에 비해 녹지지역이 낮게 나타났으며 다른 지역에서는 중금속 함량이 차이가 났지만 비슷한 수치를 나타냈다. 두 지역 모두 토양에서 검출되었던 Pb은 가로수에서는 검출되지 않았으나, 토양에서 나타난 중금속들의 농도와 비슷한 순서를 보였다. 두 지역 모두에서 나타난 가로수의 중금속 농도가 토양 중금속의 농도보다 높은 이유는 오랫동안 식물체의 체내에 축적되어 나타난 것으로 판단된다.

IV. 결 론

본 연구는 청주시와 충주시를 대상으로 도시녹지(가로수 및 도시공원)에 의한 중금속 및 누적이산화탄소 고정량을 산출한 결과를 토대로 도시녹지의 환경개선효과를 평가하고자 하였으며, 얻어진 결과는 다음과 같다.

1. 청주시와 충주시 가로수 전체에 대한 누적이산화탄소 고정량을 산출한 결과, 청주시의 총량은 약 1,230,000kg-C로 , 충주시는 약 1,270,000kg-C이었다. 청주시 발산공원과, 충주시 대가미체육공원에 누적이산화탄소 고정량을 산출한 결과, 청주시 발산공원의 총량은 약 25,000kg-C로 , 충주시 대가미체육공원은 약 6,400kg-C로 산출되었다.
2. 청주시 가로수를 대상으로 중금속을 측정된 결과 Zn > Cu > Cr > Ni > 순으로 나타났으며, 청주시 가로수목에 가장 많이 축적된 중금속은 Zn이며, 가장 적게 축적된 중금속은 Ni이었다 . 청주시 용도지역별 가로수목의 중금속 총합량은 주거지역(157.26 mg/kg) > 공업지역(141.71mg/kg) > 상업지역(118.55mg/kg) > 녹지지역(61.95mg/kg)의 순으로 나타났다.
3. 충주시 용도지역별 가로수의 중금속 총합량은 상업지역(84.48mg/kg) > 주거지역(83.70 mg/kg) > 녹지지역(48.23mg/kg)의 순으로 나타났다.
4. 청주시 용도지역별 가로수 식재지 토양의 중금속 함량은 Zn > Cu > Pb > Ni > Cr > As > Cd의 순으로 Zn이 가장 높게 나타났으며, Cd이 가장 낮게 축적된 것으로 분석되었다. 용도지역별 가로수 식재지 토양의 중금속 총합량은 상업지역(91.82mg/kg) > 공업지역(85.96mg/kg) > 주거지역(67.55mg/kg) > 녹지지역(43.13mg/kg)의 순으로 나타났다.
5. 충주시 용도지역별 가로수 식재지 토양의 중금속 함량은 Zn > Pb > Cu > Ni > Cr

> As > Cd의 순으로 Zn이 가장 높게 나타나 청주시와 유사한 경향을 보였다. 용도지역별 가로수 식재지 토양의 중금속 총합량은 상업지역(87.66mg/kg) > 녹지지역(72.73mg/kg) ≥ 주거지역(70.10mg/kg)의 순으로 나타났다.

참고문헌

- 구자근. 1996. 「창원시 대기오염 물질간의 상관도 및 대기·토양·나뭇잎 중의 중금속 함량간의 상관성에 관한 연구」. 창원대학교 석사학위논문.
- 김영식. 2008. 「창원시 주변 토양과 가로수 중 중금속 농도에 관한연구」. 부산대학교 석사학위논문.
- 손요환, 유재윤. 2003. “서울시 가로수의 연륜층 및 식재주변 토양의 중금속 농도와 연륜생장”. 「한국환경농학회지」 22(2):118-124.
- 신현식 외. 2000. “대기중 중금속과 가로수의 상관성에 관한 조사 연구”. 「충청북도 보건환경연구원보」 9:91-109.
- 여민주, 한성희, 김용표. 2003. “중국 대기오염물질의 장거리 이동에 따른 영향과 정책적 대안”. 「한국대기환경학회 춘계학술대회 발표집」 pp.257-258.
- 이승복 외. 2004. “황해 직선 항로상 대기오염물질의 측정”. 「한국대기환경학회지」. 20(1):33-46.
- 이찬형 외. 2002. “대구지역 가로수잎의 중금속”. 「한국환경과학회지」 11(12):1189-1194.
- 정기채, 김복진, 한상국. 1993. “야연광산 인근지역 야생식물중의 중금속 함량 조사”. 「한국환경농학회지」 12(2):105-111.
- 조성근. 2008. 「창원시 주변 토양과 가로수 중 중금속 농도에 관한 연구」. 부산대학교 석사학위논문.
- 조현길. 1995. “도시녹지에 의한 대기 CO₂의 흡수 -춘천시를 대상으로-”. 「한국조경학회지」 23(3):80-93.
- 천선희. 1995. 「마산시 도로 주변 가로수(*Ginkgo biloba*, *Platanus occidentalis*)와 그 토양의 중금속함량에 관한 연구」. 경남대학교 석사학위논문.
- 최윤정, 이종석. 2005. “공장지역 도로변 야생식물들의 중금속 축적”. 「한국환경복원녹화기술학회지」 8(5):39-46.
- 한진석 외. 2006. “장거리이동 대기오염물질 이동량의 공간적 분포와 변화 추이(1997년-2004년)”. 「한국대기환경학회지」 22(1):99-106.
- 환경부. 2002. 「토양오염공정시험방법」.
- _____. 2002. 「토양환경보전법」.
- 加藤順子. 2005. “地球温暖化防止と都市緑化等の推進”. 「都市緑化技術」 56:15-26.
- 林野庁. 1970. 「立木幹材積表-西日本編」. 東日本編.

- 市村恒士. 黒澤和隆. 2005. “都市林の二酸化炭素固定効果に関する研究:北海道帯広市「帯広の森」を事例として”. 「日本建築学会環境系論文集」 597:81-87.
- 地球温暖化対策推進本部. 2002. 「地球温暖化対策推進大綱」.
- 環境省. 2006. 「都市大気環境改善方策検討調査報告書の概要について」.