

멀티센서 융합 측위 시스템을 이용한 가로수 탄소저장량 산정 시스템 개발

김정섭, 양금철*
공주대학교 건설환경공학

Development of System for Calculating Carbon Storage Amount of Roadside Tree Using Mobile Mapping System

Jeong-Seob Kim, Keum-Chul Yang*

Department of Civil and Environmental Engineering, Kongju National University

요약 본 연구에서는 멀티 센서 융합 측위 시스템(Mobile Mapping System, MMS) 기술을 도입하여 가로수의 생육 전 과정에 따른 탄소저장량을 효과적으로 산정할 수 있는 최적화된 가로수 탄소저장량 산정 시스템을 개발하였다. 본 연구에서 개발한 멀티 센서 융합 측위 시스템(MMS)을 이용한 가로수 탄소저장량 산정 시스템은 데이터베이스, 메모리, 프로세서 및 사용자 인터페이스, 통신모듈로 구성되어있다. 천안-아산 신도시의(총 거리: 2.1 km, 면적: 283,698 m²) 가로수 약 261개를 대상으로 탄소 저장량을 산정을 산정하였다. 평균 현존생물량과 탄소저장량의 경우 메타세콰이어가 각각 34.5 kg, 17.3 kg C로 가장 높았고, 이팝나무에서 각각 19.5 kg, 9.8 kg C로 가장 낮게 나타났다. 총 현존생물량과 총 탄소저장량은 은행나무에서 각각 5028.8 kg, 2514.4 kg C로 가장 높게 나타났으며, 이팝나무에서 각각 780.7 kg, 390.3 kg C로 가장 낮게 나타났다. 또한, 가로수 측정 대상지역 내 가로수의 데이터베이스를 구축하였고, 가로수 데이터베이스를 토대로 GIS 분석기법을 활용하여 가로수 탄소저장량을 구글 형식으로 변환, 3D로 시각화하였다.

Abstract This study developed a new methodology to evaluate the carbon storage using a Mobile Mapping System according to the life cycle of street trees. The system for calculating the carbon storage of a roadside tree using the MMS developed in this study consisted of a database, memory, processor, user interface, and communication module. The carbon storage was calculated for 261 trees in the Cheonan-Asan New Town (distance: 2.1 km, area: 283,698 m²). The average biomass and carbon storage of *Metasequoia glyptostroboides* were highest at 34.5 kg and 17.3 kg C and *Chionanthus retusa* were lowest at 19.5 kg and 9.8 kg C, respectively. The total biomass and total carbon storage of *Ginkgo biloba* were highest at 5028.8 kg and 17.3 kg C and *Chionanthus retusa* were lowest at 780.7 kg and 390.3 kg C, respectively. Based on the roadside tree database, the amount of carbon storage in a given area was converted to Google format and visualized in 3D by GIS analysis.

Keywords : Biomass, Carbon absorption, Carbon storage, Mobile mapping system, Roadside tree

1. 서론

2000년대에 들어 공공기관 등의 GIS(Geographic Information Systems)사업을 잇따라 추진함에 따라 국내 GIS 산업이 본격적인 성장에 돌입하였다. 최근 측량을

비롯한 교통, 금융, 보험, 공공보건, 물류 등 산업적 응용 분야까지 GIS 활용 범위가 넓어지면서 이에 대한 수요가 급속히 증가하고 있다. 또한, 3차원공간정보 자료를 취득하기 위한 수단으로 항공사진, 위성사진, 항공 LiDAR, MMS(Mobile Mapping System) 등 다양한 방

본 논문은 공주대학교 2015년도 해외파견연구지원을 받아 연구된 것으로 이에 감사드립니다.

*Corresponding Author : Keum-Chul Yang(Kongju Univ.)

Tel: +82-41-521-9504 email: yangkc@kongju.ac.kr

Received January 3, 2017

Revised (1st February 14, 2017, 2nd February 17, 2017)

Accepted April 7, 2017

Published April 30, 2017

법이 사용되고 있고, 사진 영상을 이용하는 방법보다는 접근자료를 취득할 수 있는 항공LiDAR, MMS 등을 이용하는 사례가 점차적으로 늘어나고 있는 추세이다 [1]. 차량 MMS 기술은 1991년에 처음으로 개발되어 현재 산업화 단계로 지형·지물 측량용 센서의 탑재체가 차량이기 때문에 변화가 발생한 지역에 접근하기 용이하고, 빠른 시간 내에 현장에서 데이터를 획득·처리하여 지리 정보 데이터를 취득할 수 있는 특징을 가지고 있다 [2]. MMS 측량은 차량에 영상 시스템과 레이저 스캐너, GNSS수신기, 관성항법장치, 컴퓨터 등을 탑재·통합하여 지형·지물 정보를 취득하고 고품질의 공간정보 자료구축을 위해 항법기술과 사진측량 및 영상처리기술을 적용하여 지상에서 실시간으로 다양하고 복잡한 지형지물정보를 측정할 수 있는 시스템이다 [1]. 지상 MMS 기술은 국가기본도 제작에 있어서 현지조사, 현지보완측량 및 수치지형도의 수시갱신 등 다양한 분야에 활용된다. 공중기반 측량기술의 한계인 측량 사각지역의 발생, 관측 가능한 정보의 제한, 높은 제작비용과 긴 갱신주기 등을 보완함으로써 보다 좋은 품질의 지리정보 구축에 활용될 수 있다. MMS에 관한 연구는 주로 취득한 자료의 정확도 검증, GPS 수신불량지역에서의 정확도 확보를 위한 보완방법, 항공측량 및 항공 LiDAR의 단점을 보완하기 위한 방법, 국가기본도 수정을 위한 보완방법, 도로관련 분야에서의 활용방안에 대한 연구 등이 많이 이루어지고 있다 [1].

국외에서 Ishikawa. *et. al.*,(2006) [3]이 지상 MMS의 모바일 레이저 스캐너 데이터와 영상자료를 연계하여 도로 정보 자동 구축 연구를, Haala. *et. al.*,(2008) [4]은 모바일 레이저 스캐너를 측량용 센서로 장착한 지상 MMS로 도심지의 3차원 포인트 자료 구축 방안을 연구하였다. 멀티센서 융합 측위 시스템을 활용한 GIS 기술을 도로시설 관리 분야에 활발히 적용하고 있다. 특히, 최근 지구온난화가 주요 현안으로 대두되고 있으며, 국내에서도 도심 가로수의 중요한 기능을 인지하여 가로수의 생육환경, 관리제도 등 온실가스 감축 목표 및 산업계로의 할당 등을 설정해 지구온난화에 대응하고자 하고 있다. 현재 도시시설물(가로수 포함)에 대한 온실가스 배출량 및 흡수량 산정 및 관리를 위해서는 지역별 통계방식에 의한 지역별 수치로 나타내고 있다. 최근에는 위성영상을 이용한 토지피복지도 제작을 통하여 탄소흡수량 산정, 도시 공간 모델링 등 온실가스 배출량 및 흡수량 산

정에 관한 연구가 수행 되고 있으나, 아직은 도시시설물별 저탄소 관련정보 GIS DB화여 탄소저장량과 흡수량을 산정하여 관리하기 위한 방안은 미흡한 실정이다. 국외에서는 이미 도시녹지에 의한 탄소 흡수량과 에너지 절감효과에 대한 연구가 활발히 전개되고 있다. Nowak and Crane(2002) [5]은 미국의 10개 도시에 대한 수목의 상세 자료와 미국 전체 도시 피복도 자료로부터 미국의 도시수목에 의한 연간 탄소흡수량을 22.8 Mt/y(0.8 t/ha/y)로 추정하였다. 캘리포니아의 Climate Action Team(2006) [6]은 5백만 그루의 수목을 도시에 식재할 경우 3.5 Mt의 CO₂를 흡수할 것으로 보고하다. McPherson. *et. al.*(2007) [7]에서는 LA에 1백만 그루의 나무를 심는 “Million Trees LA program”이 35년간 1 Mt의 대기 CO₂를 저감할 것으로 추정하였다. 그러나, 국내에서는 조현길 등(1995, 1998) [8, 9], Jo(2002) [10], 박과 강(2010) [11] 등이 연구를 진행하였으나, 도시 가로수의 탄소 저장량 및 흡수량 산정에 대한 연구는 부족한 실정이다. 국내의 도시 녹지 또는 수목에 의한 이산화탄소 흡수량 산정은 도시 내에 식재되어 있는 수목의 종류와 생리적인 성장특성 등에 대한 매우 구체적인 현황자료와 기초연구 자료가 필요하다.

따라서, 본 연구에서는 가로수의 생육 전 과정에 따른 탄소저장량을 효과적으로 산정하여 기후변화 대응 전략의 하나로 도시 녹지의 기능적 중요성 파악, 이산화탄소 흡수를 포함한 도시 녹지의 통합적 기능 제고 및 녹지 관리 방향을 제시할 수 있는 멀티센서 융합 측위 시스템(MMS)을 이용한 가로수 탄소저장량 산정 프로그램을 제공하는데 목적이 있다.

2. MMS를 이용한 가로수 탄소량 산정 시스템의 구성

2.1 멀티센서 융합 측위 시스템(MMS)을 이용한 가로수 탄소저장량 산정 시스템의 구성

본 연구에서 개발한 멀티센서 융합 측위 시스템(MMS)을 이용한 가로수 탄소저장량 산정 시스템은 데이터베이스(11), 메모리(12), 프로세서(13) 및 사용자 인터페이스(14), 통신모듈(15)로 구성되어있다[Fig. 1]. 데이터베이스(11)는 MMS에 의해 수집된 3차원 스캔 데이터와 카메라 영상이 저장하였다. MMS 주행시 획득한

소스데이터(Raw Data)뿐 아니라 소스데이터에서 위치/자세를 처리한 데이터와 3D 처리한 데이터가 저장되고, MMS의 데이터 처리 도중이나 완료시에 발생하는 중간 데이터 및 결과 데이터, 특정 지역 내 가로수 객체의 전생장에 따른 시간별 혹은 시기별 데이터를 저장한다. 메모리(12)에는 프로그램이 저장되며, RAM(Random Access Memory)과 ROM(Read Only Memory) 같은 저장 매체 형태의 메인 메모리(121), 하드 디스크, 플래시 메모리 등의 장기(long-term) 저장 매체 형태의 보조 메모리(122)로 구성되어 있다. 프로그램(123)은 멀티센서 융합 측위 시스템에 의해 획득한 3차원 스캔 데이터 및 카메라 영상을 토대로 가로수의 탄소저장량을 산출하며, 3차원 스캔 데이터에서 가로수 객체를 추출하고 3차원 모델링을 실시한다. 응용 프로그램으로 Autodesk사의 Autodesk 3D등 이용 가능하다. 프로세서(13)는 시스템의 중앙 처리 장치로서, 계산을 수행하는 연산장치(Arithmetic Logic Unit: ALU, 131), 데이터 및 명령어의 일시적인 저장을 위한 레지스터(132) 및 시스템의 각 구성요소를 제어하는 컨트롤러(133)로 구성되어있다. 사용자 인터페이스(14)는 입력력 장치로서 입력 포트, 출력력 포트, 키보드, 마우스, 디스플레이 장치, 터치 패널 등으로 구성하였다. 통신모듈(15)은 사용자 단말기나 유무선 네트워크에 연결되어, 근거리 무선통신, 차량간 통신, 이동통신망, 위성망 등의 다양한 통신 방식을 지원하도록 구성하였다.

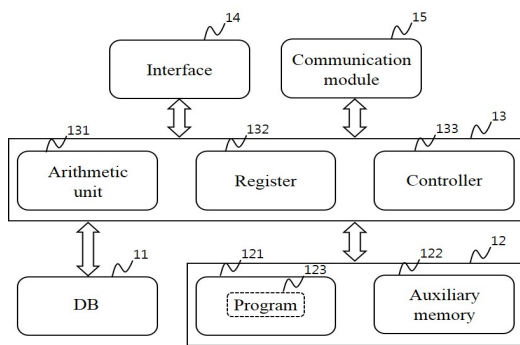


Fig. 1. Diagram of a system for estimating the amount of carbon storage in roadside tree using MMS.

2.2 멀티센서 융합 측위 시스템(MMS)을 이용한 가로수 탄소저장량 산정 원리

본 연구에서 개발된 멀티센서 융합 측위 시스템을 이용한 가로수 탄소저장량 산정 시스템의 작동원리의 순서

도를 [Fig. 2.]에 나타내었다. 가로수 탄소저장량 산정 시스템은 먼저 차량에 탑재된 멀티융합 측위 시스템(Mobile Mapping System, MMS)을 이용하여 특정 지역의 가로수에 대한 3차원 스캔 데이터 및 카메라 영상을 획득한다(S10). 획득한 3차원 스캔 데이터를 토대로 가로수를 3차원 모델링을 실시하고(S11), 3차원 스캔 데이터에서 가로수 객체의 3차원 모델링을 추출한다. 가로수 탄소저장량 산정 시스템은 가로수 객체의 3차원 모델링을 분석하여 가로수 객체의 수고(Tree height), 수관폭(Width of crown), 흉고직경(Diameter at breast height), 근원직경(Root-collar caliper) 등을 측정한다(S12). 수고는 지표면에서 나무 정상까지의 수직 거리를 나타내고, 수관폭은 나무 전체의 폭으로 수목이 타원형일 경우 최단폭과 최장폭의 평균값을 적용한다. 흉고직경은 지표에서 1.2 m 높이의 직경, 근원직경은 지표면 부위의 직경을 나타낸다. 수고 측정 시 측정 오차를 최소화하기 위해 침엽수, 활엽수 등 수종에 따라 스캐너와 카메라의 시야각에 적절한 보정값을 적용한다. 위의 단계(S10 ~ S12)에서 수집, 생성되는 3차원 스캔데이터, 가로수 3차원 모델링 데이터 및 분석 데이터는 데이터베이스(DB)에 저장되고(S20), DB에 저장되는 데이터는 가로수 탄소저장량 산정 방법의 계산이나 분석에 이용되고, 각 단계에서 측정, 계산, 분석 결과로서 저장하였다. 다음, 측정된 결과를 바탕으로 가로수의 현존생물량(Biomass)을 산출하고(S32), 가로수 측정 대상지역 내의 전체 가로수 각각에 대하여 바이오매스 산출 과정을 수행한다(S33). 각각의 가로수에 대한 바이오매스 산출 과정이 완료되면, 전체 가로수의 총 바이오매스를 추정하여 산출한다(S34). 전체 가로수의 총 바이오매스는 가로수 측정 대상지역 내의 각 가로수에 대한 바이오매스의 합으로 계산한 다음 전체 가로수의 탄소저장량을 산출한다(S35). 전체 가로수의 탄소저장량은 각 가로수의 바이오매수에 탄소전환계수를 적용하여 각 가로수의 탄소저장량을 계산한 후 각 가로수의 탄소저장량을 합하여 계산한다. 마지막으로, 가로수 탄소저장량 산정 시스템은 가로수의 탄소저장량을 3차원(3D) 시각화하여 출력한다(S40). 가로수의 탄소저장량의 3D 시각화는 구글어스와 연계하도록 구축할 수 있다. 기존의 가로수 탄소저장량 산정은 수고, 흉고직경(DBH), 바이오매스(Biomass) 등의 측정을 수동적인 작업에 의해 근사치적인 기법으로 수행하였으며 탄소저장-흡수량에 대한 모델 역시 고려 인자의 부정

확성으로 인해 신뢰도가 떨어지는 한계가 있는 반면, 본 연구의 멀티센서 융합 측위 시스템을 이용하여 가로수의 실제 형상을 3차원(입체적)으로 모델링하고 이를 통해 가로수의 탄소량 측정을 과학적이고 체계적으로 수행하는 시스템을 제공할 수 있는 장점이 있다.

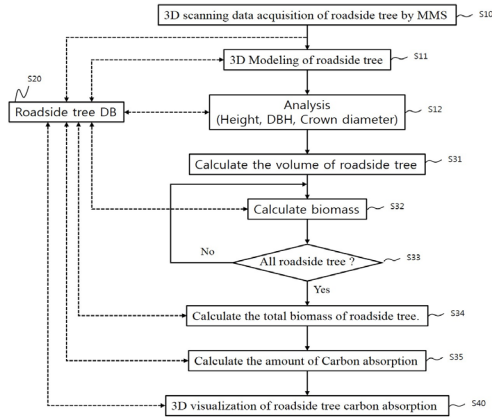


Fig. 2. Flow chart of system for estimating the amount of carbon storage in roadside tree using MMS.

2.3 멀티센서 융합 측위 시스템을 이용한 가로수 탄소저장량 산정 시스템의 작업 흐름

멀티센서 융합 측위 시스템을 이용한 가로수 탄소저장량 산정 시스템의 작업 흐름도를 [Fig. 3]에 나타내었다. 멀티센서 융합 측위 시스템은 소정 시간 동안의 차량 주행을 통해 도로 주변의 가로수에 대한 3차원 스캔 데이터와 카메라 영상을 획득한다(S1). 3차원 스캔 데이터의 예를 [Fig. 4]의 (a)에 나타내었으며, 획득된 3차원 스캔 데이터는 MMS의 데이터베이스에 저장되고, 데이터의 정밀도는 10 mm 이상으로 확보하여 구축한다. MMS는 레이저 스캐너, 구형 카메라 및 비디오 카메라의 위치와 자세를 처리한다(S2). 즉, MMS는 카메라 이미지 데이터, 영상 및 레이저 스캔 데이터가 영역 내 가로수를 적절하게 포함하는지 소정의 기준에 따라 판단하고 판단 결과에 따라 레이저 스캐너 및 카메라의 위치와 자세를 조정한다. 위치와 자세의 조정은 레이저 스캐너 및 카메라 각각에 결합된 팬-틸트 구동부에 의해 자동 수행된다. MMS는 주행을 통해 획득한 데이터를 분석 프로그램을 이용하여 3차원(3D) 처리한다(S3). 가로수 영상의 획득 시, MMS는 데이터 병합(merge), 편집(editing), 모델링(modeling) 등의 영상 처리 과정을 통해 영상 데이터를

샘플링 하고, 가로수 영역에 대하여 1:1 스캔 데이터와 이에 대응하는 고해상도의 카메라 이미지를 추출한다. 그 다음 스캔 데이터와 카메라 이미지의 대조를 통해 3D 스캔 데이터의 폴리곤 매쉬 모델링(Polygon mesh modeling)의 최적화 및 표면상태, 질감 등 세부적인 특성을 확인할 수 있다. 폴리곤 매쉬는 [Fig. 4]의 (b)에 나타낸 바와 같이 깊이 이미지(Depth image)와 색상 이미지(Color image)를 맵핑한 것으로 3차원 스캔 데이터에서 다면체의 형태를 구성하는 다각형(polygon)과 정점들(peaks)의 집합을 의미하며 렌더링이 가능한 삼각형, 사각형 또는 불록한 다각형 등으로 구성하여왔다. 3차원 스캔 데이터는 소정의 상위기관의 서버 혹은 데이터베이스에 등록(Registration) 될 수 있고, 관청 조사(Office survey)의 회신용으로도 이용될 수 있다. 다음 과정은 가로수 DB에 저장되는 3차원 스캔 데이터의 후처리 과정으로서, MMS는 옛지 혹은 라인을 자동 검출하고(S5), 파일 변환을 통해 표준 포맷(Edge.3ds, Line.3ds 등)으로 전환하여(S6, S7) 컴퓨터 판독 가능한 저장 기록매체에 저장한다(S8). 저장된 데이터는 Autodesk사의 3DMAX 등의 응용프로그램에서 이용할 수 있다. 또한, MMS는 3차원 스캔 데이터로부터 가로수 객체의 3D 모델링을 수행하고(S5a), 이를 파일 변환을 통해 표준 포맷(Model.3ds 등)으로 전환하여 컴퓨터 판독 가능한 저장 기록매체에 저장한다(S8). 또한, MMS는 가로수 즉 가로

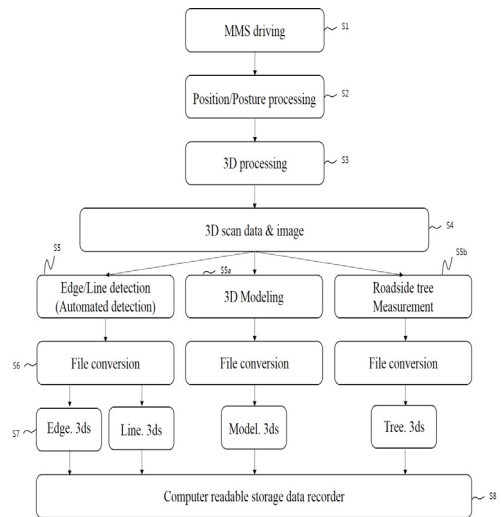


Fig. 3. Flow chart of a system for estimating the amount of carbon storage in roadside tree using MMS.

수 객체를 측정하고(S5b), 이를 파일 변환을 통해 표준 포맷(Tree.3ds)으로 전환하여 컴퓨터 판독 가능한 저장 기록매체에 저장한다(S8).

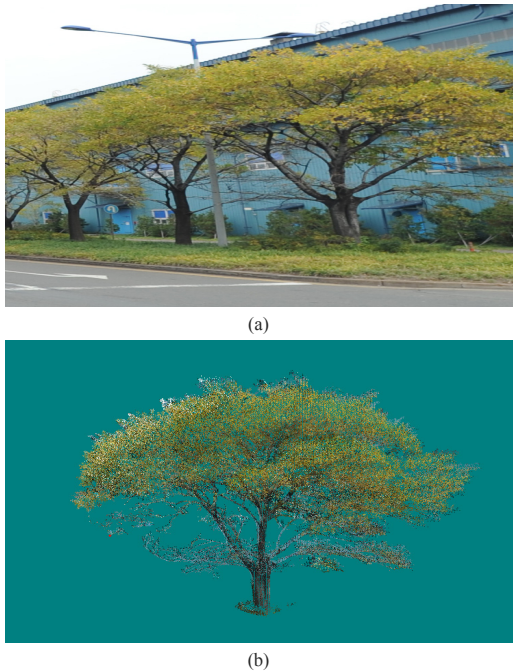


Fig. 4. Example of 3D scan data.

3. MMS를 이용한 가로수 탄소저장량 산정 시스템의 구축 및 분석

3.1 MMS 기술에 의한 가로수의 탄소저장량 산정

본 연구에서는 천안-아산 신도시의(총거리: 2.1km, 면적: 283,698 m²) 가로수 약 261개를 대상으로 MMS 기술을 이용하여 수목물리정보(수고, 흉고직경 등)를 측정하여 수종의 물리적 특성에 따른 수종의 Biomass를 추정하는 모델을 개발하고 탄소전환계수를 적용하여 수목의 탄소저장-흡수량을 산출하는 기술을 적용하였다(Table. 1). 가로수의 바이오메스 및 탄소저장량 산정은 박과 강(2010) [11]의 상대생장식에 의해 수종별 흉고직경(DBH)을 측정된 후 활엽수와 침엽수를 구분하여 계수를 적용하는 상대생장식으로부터 Biomass(Wi)를 산

정하고, 탄소전환계수를 0.5로 하여 탄소저장량(Ci)을 산정하였다.

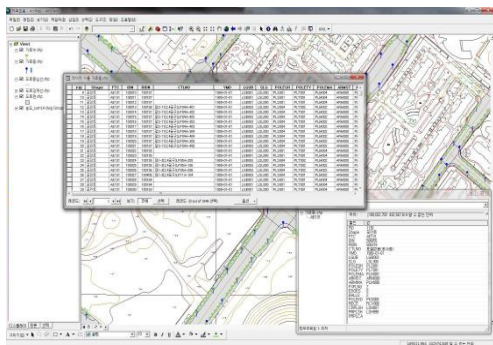
Table. 1. Species and numbers of Roadside trees.

Scientific name	no. of trees	Ratio(%)
<i>Chionanthus retusa</i>	40	15.3
<i>Ginkgo biloba</i>	159	60.9
<i>Metasequoia glyptostroboides</i>	62	23.8
Total	261	100.0

멀티 센서 융합 측위 시스템(MMS)을 이용한 가로수 탄소량 산정 시스템을 적용하여 측정된 천안-아산 신도시의 가로수의 물리적 정보와 탄소저장량을 Table. 2에 나타내었다. MMS 시스템을 적용하여 연구대상지의 대표적인 가로수의 수고와 흉고직경을 측정 결과 평균 수고의 경우 은행나무가 6.7 m로 가장 크고 이팝나무가 4.7 m로 가장 작았으며, 평균 흉고직경은 메타세콰이어가 11.2 cm로 가장 크고 이팝나무가 7.4 cm로 가장 작았다. 평균 현존생물량과 탄소저장량의 경우 메타세콰이어가 각각 34.5 kg, 17.3 kg C로 가장 높았고, 이팝나무에서 각각 19.5 kg, 9.8 kg C로 가장 낮게 나타났다. 총 현존생물량과 총 탄소저장량은 은행나무에서 각각 5028.8 kg, 2514.4 kg C로 가장 높게 나타났으며, 이팝

Table. 2. Biomass and C storages of Roadside trees.

Roadside tree		Mean	Max	Min
<i>Chionanthus retusa</i>	Height(m)	4.7 ± 0.7	6.3	3.9
	DBH(cm)	7.4 ± 0.8	10.0	6.0
	Biomass (kg/tree)	19.5 ± 5.5	40.4	11.5
	C storage (kgC/tree)	9.8 ± 2.8	20.2	5.8
<i>Ginkgo biloba</i>	Height(m)	6.7 ± 1.0	9.4	5.1
	DBH(cm)	10.8 ± 1.1	14.0	8.0
	Biomass (kg/tree)	31.6 ± 7.0	54.8	16.5
<i>Metasequoia glyptostroboides</i>	C storage (kgC/tree)	15.8 ± 3.5	27.4	8.3
	Height(m)	5.4 ± 1.6	8.3	2.4
	DBH(cm)	11.2 ± 1.1	14.0	9.0
	Biomass (kg/tree)	34.5 ± 7.1	54.8	21.3
	C storage (kgC/tree)	17.3 ± 3.6	27.4	10.6



(b)

Fig. 6. Examples of carbon storage in roadside tree.

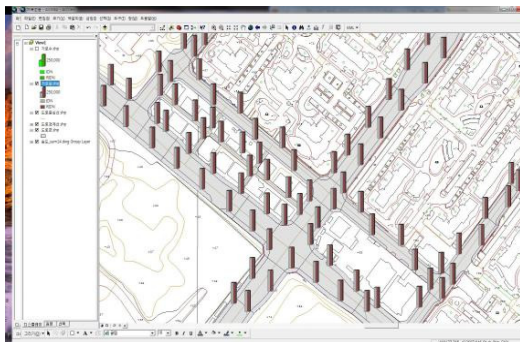


Fig. 7. Example of visualization using GIS analysis method of carbon storage system.

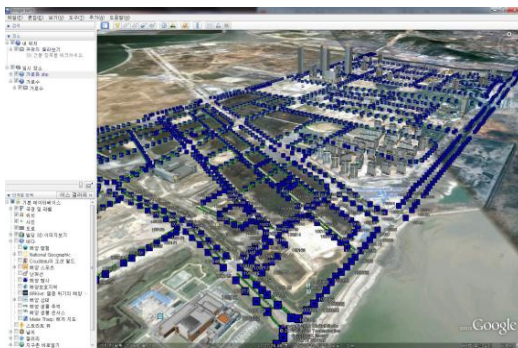


Fig. 8. Google - type 3D visualization example of a roadside tree carbon calculation system database.

정 시스템 개발하여 천안·아산 신도시의(총거리: 2.1 km, 면적: 283,698 m²) 가로수 약 261개를 대상으로 탄소 저장량을 산정하였다. 대상지의 평균 현존생물량과 탄소 저장량의 경우 메타세콰이어가 각각 34.5 kg, 17.3 kg C로 가장 높게 나타났다. 총 현존생물량과 총 탄소저장량은 은행나무에서 각각 5028.8 kg, 2514.4 kg C로 가장 높게 나타났다.

본 연구에서 개발한 멀티센서 융합 측위 시스템(Mobile Mapping System) 기술을 이용한 가로수 통합 관리를 통해 가로수 관리에 소모되는 인력, 비용 및 시간을 경제적으로 절약할 수 있으며 가로수뿐만 아니라, 도로 시설물(신호등, 표지판, 도로 노면 상태, 가드레일), 가로 등, 터널 등의 시설물 관리에도 다양하게 데이터를 활용할 수 있을 것을 판단된다. 또한, 기존 가로수의 탄소량 측정 모델 개발은 현재까지 지엽적이고 단기적인 방법으로 수행되어 왔으나 멀티센서 융합 측위 시스템(Mobile Mapping System) 기술을 활용한 데이터와 공간정보 기법과의 융합 연구를 통해 얻은 객관적, 과학적인 방법으로 가로수 탄소저장량을 산정하는 시스템 및 이에 이용되는 프로그램을 기록한 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록매체를 제공할 수 있다. 또한, 멀티센서 융합 측위 시스템을 이용하여 수집한 가로수의 3차원 스캔 데이터 및 카메라 영상과, 3차원 스캔 데이터에서 추출한 가로수 객체의 3차원 모델링과, 3차원 모델링을 토대로 계산한 가로수 객체의 체적과, 가로수의 수종별 생육상태와 탄소 저장능을 토대로 계산한 가로수 객체의 체적별 생물체 총량(Biomass)을 토대로 특정 지역 내 전체 가로수의 탄소저장량을 효과적으로 그리고 주기적으로 산정하고 이를 데이터베이스화할 수 있다. 또한, 데이터베이스화된 가로수의 탄소저장량, 이산화탄소 저장량을 토대로 기후 변화 대응 전략의 하나로서 도시 녹지의 기능적 중요성을 파악하면서 도시 녹지의 통합적인 기능 제고를 위한 녹지 관리 방향 등을 효과적으로 제시할 수 있는 가로수 탄소저장량 산정 시스템 및 이에 이용되는 기록매체를 제공할 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 멀티센서 융합 측위 시스템(Mobile Mapping System) 기술을 이용한 가로수 탄소저장량 산

References

[1] W. S. Yoo, A 3Dimensional Object Modeling via Integrated Data Processing of MMS and Laser Scanning Data, University of Seoul, 2015.

- [2] K. H. Lee, Low-Cost Mobile Mapping System Development based on MEMS-INS, University of Seoul, 2016.
- [3] Ishikawa, K., Takiguchi, J.-I., Amano, Y. and Hashizume, T., A Mobile Mapping System for road data capture based on 3D road model. Computer Aided Control System Design, 2006 IEEE International Conference on Control Applications, 2006 IEEE International Symposium on Intelligent Control, pp. 638-643, 2006.
DOI: <https://doi.org/10.1109/CACSD-CCA-ISIC.2006.4776720>
- [4] Haala, N., Peter, M., Kremer, J., Hunter, G., Mobile LiDAR Mapping for 3D Point Cloud Collection in Urban Areas - a Performance Test, IAPRS, vol. 37, (B5), pp. 1119f. 2008.
- [5] Nowak, D. J., Crane, D. E., Carbon storage and sequestration by urban trees in the USA, Environmental Pollution 116, pp. 381-389, 2002.
DOI: [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(01\)00214-7](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(01)00214-7)
- [6] Climate Action Team, Climate action team report to governor Schwarzenegger and the Legislature, California Environmental Protection Agency, 2006.
- [7] McPherson, E.G., J.R. Simpson, Q. Xiao and C. Wu., Los Angeles One Million Tree Canopy Cover Assessment - Final Report: Pacific Southwest Research Station. USDA Forest Service, Albany, CA, 48pp, 2007.
- [8] H. K. Jo., Y.H. Yun., K.E. Lee., Atmospheric CO₂ sequestration by urban greenspace - In the case of Chuncheon, Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture, 23(3): 80-93, 1995.
- [9] H. K. Jo., D. H. Jo., Annual CO₂ uptake by urban popular landscape tree species, J. of Kor. Institute of Landscape Architecture, 26(2): 38-53, 2008.
- [10] H. K. Jo., Impacts of urban greenspace on offsetting carbon emissions for middle Korea, Journal of Environmental Management, 64: 115-126, 2002.
DOI: <https://doi.org/10.1006/jema.2001.0491>
- [11] E. J. Park., K. Y. Kang., Estimation of C storage and annual CO₂ uptake by street trees in Gyeonggi-do, 24(5): 591-600, 2010.
- [12] C. Kim., Research on Carbon Sequestration of Urban Park - In the Case of Nadry Park in Pangyo, Graduate School of Kyungwon University, 2011.
- [13] Oh. M. K., Kwon. O. S., Choi. B. G. and Na. Y. W., Development of automatic carbon absorption system using spatial information, Korean Society for Geospatial Information System, KOGSIS 2013 Spring proceedings, pp. 163-164, 2013.
- [14] Choi. B. G., Na. Y. W., Kwon. O. S.. Low-Carbon Information Management of Street Lamps and Street Trees Using GIS, Journal of the Korean Society for Geospatial Information System, vol. 22, no. 1 pp. 55-62, 2014.
DOI: <https://doi.org/10.7319/kogsis.2014.22.1.055>

김 정 섭(Jeong-Seob Kim)

[준회원]



- 2011년 2월 : 공주대학교 일반대학원 건설환경공학과 (환경공학 석사)
- 2016년 8월 : 공주대학교 일반대학원 건설환경공학과 (환경공학 박사)

<관심분야>
환경공학

양 금 철(Keum-Chul Yang)

[정회원]



- 1995년 8월 : 중앙대학교 일반대학원 (생태학 석사)
- 2002년 2월 : 중앙대학교 일반대학원 (생태학 박사)
- 2002년 4월 ~ 2005년 2월 : 천안공업대학교 전임강사
- 2005년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 건설환경공학부 교수

<관심분야>
환경공학