

# KOMPSAT-2호 위성영상을 이용한 도시지역 탄소저장량 추정 Carbon Storage Estimation of Urban Area Using KOMPSAT-2 Imagery

김기태\* · 조진우\*\* · 유환희\*\*\*  
Kim, Ki Tae · Cho, Jin Woo · Yoo, Hwan Hee

### 要 旨

최근 한국정부는 저탄소 녹색성장 비전을 제시하였고, 도시지역에서 수목의 분포나 탄소저장량을 추정하는 것은 도시 식생의 역할을 이해하는데 중요한 역할을 하며, 도시계획수립에 있어서도 탄소저장량 추정은 중요한 요소가 되고 있다. 본 연구에서는 KOMPSAT-2 위성영상으로부터 시계열적 정규식생지수를 계산하고 이를 이용하여 탄소저장량을 예측할 수 있는 방법을 제시하였다. 또한 진주시에 위치한 6개 행정동에 대해 2007년과 2009년 영상을 이용하여 탄소저장량변화를 분석하였다. 따라서 본 연구에서는 KOMPSAT-2 위성영상을 이용하여 도시수목의 객체 추출과 탄소저장량 계산 및 시계열적 변화를 추정할 수 있는 방법을 제시하였다.

핵심용어 : 탄소저장량, 저탄소 녹색성장, 도시계획, KOMPSAT-2 위성영상, 정규식생지수

### Abstract

Recently Korean government announced the vision for low-carbon green growth. Quantifying of the carbon storage, distribution, and change of urban trees is vital to understanding the role of vegetation in the urban environment. In the city planning the carbon storage estimation has become an important factor. In this paper, KOMPSAT-2 satellite imagery was used to develop a method to predict the urban forest carbon storage from the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) computed from a time sequence image data. The total carbon storage change by trees in the 6 administrative zonings of Jinju was estimated using the image data in 2007 and 2009. Therefore the paper presents a method based on the satellite images, which can estimate the spread of urban tree and carbon storage variation using KOMPSAT-2.

**Keywords :** carbon storage, low-carbon green growth, city planning, KOMPSAT-2 satellite imagery, Normalized Difference Vegetation Index(NDVI)

## 1. 서 론

도시환경문제 중에서도 현재 전 세계적으로 가장 많은 관심을 모으고 있는 것이 온실가스이다. 도시개발과 더불어 온실가스의 증가로 많은 부분에서 문제점이 발견 되고 있으며, 온실가스를 줄이기 위한 노력의 일환으로 1997년에 교토의정서에서 온실가스 감축을 위한 협약이 이루어 졌다. 배출된 온실가스를 감소시키기 위한 다양한 노력이 이뤄지고 있는데 그중 조림에 의해 탄소저장을 증가시키는 것이다. 탄소저장은 산림이 대표적인 탄소저장원으로서 식물의 광합성과정에서 이산

화탄소가 탄소로 전환되어 바이오매스나 토양에 저장된다는 것을 말한다. 산림에서 흡수 및 저장한 탄소량을 온전히 인정받기 위해서는 IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)가이드라인에 따른 온실가스 통계를 구축해야 한다(김소라 등, 2009). 국내의 경우 온실가스통계 구축을 위해 국립산림과학원을 비롯한 많은 관련 연구 및 통계구축사업이 이루어지고 있다(이경학 등, 2006). 또한 이러한 사업과 함께 탄소저장원의 확충을 위한 사업 역시 산림청에서 진행 중에 있다. 탄소저장량은 산림별 바이오매스에 의해 결정된다. 기존의 바이오매스 측정은 노동집약적으로 직접적인

2011년 4월 15일 접수, 2011년 5월 18일 채택

\* 학생회원 · 경상대학교 공학연구원 연구원(bbigij@naver.com)

\*\* 학생회원 · 경상대학교 대학원 도시공학과 석사과정(BK 21)(dukbaeya@hotmail.com)

\*\*\* 교신저자 · 정희원 · 경상대학교 공과대학 도시공학과 교수(ERI, BK21)(hhyoo@gnu.ac.kr)

산림조사를 통하여 개체목의 수고, 흉고직경 및 수관폭 등을 측정하기 때문에 시간이 많이 소비되는 문제점이 있었다. 또한, 접근하기 어려운 대상지의 경우 실제 현장조사 및 측정이 어려운 문제도 있다. 이러한 문제를 극복하고자 KOMPSAT-2 위성영상을 이용할 경우 광범위한 식생면적을 추출할 수 있다. 특히 도시지역일 경우 식생면적이 작고 여러 지역으로 분산되어 있어서 보다 고해상도의 위성영상자료가 요구되고 있다. 위성영상을 이용하여 광범위한 산림이나 식생지역을 단일 지역으로 고려하여 바이오매스와 탄소저장량 등을 추정하는 연구가 지속적으로 이뤄지고 있다(Garbulsky 등, 2008; Huang, J 등, 2010; Ouma 등, 2008). 이러한 연구배경에 근거하여 저탄소 녹색성장을 위한 도시관리 계획수립 시 요구되는 탄소 저장능력에 대한 평가 자료를 제공하기 위해서 고해상도 위성영상인 KOMPSAT-2 위성영상을 이용하여 행정동별 녹지지역 면적추출과 이에 따른 탄소저장량을 추정하는 방법을 제시하였다.

2. 녹지면적 추출과 탄소저장량 추정

2.1 녹지면적 추출

위성영상을 이용하여 녹지면적을 추출하기 위해서 정규식생지수(NDVI : Normalized Difference Vegetation Index)를 계산하여 녹지지역과 비 녹지지역으로 구분하였다. 정규식생지수는 식물이 가지는 각 파장대별 특성을 이용하여 식물의 활력도를 나타내는 지표로 위성영상을 이용하여 식생지역이나 산림지역을 추출하는데 사용되고 있다. 정규식생지수는 식물의 활력도 및 녹피율에 따른 가시광선과 근적외선 파장대 광선 외 반사량 차이와 비를 이용하여 계산한다(이수현, 2007).

$$NDVI = \frac{Band4 - Band3}{Band4 + Band3} \quad (1)$$

식 (1)에서 Band3의 경우 가시광선 중 적색영역을 나타내며 Band4는 근적외선 영역을 나타낸다. NDVI는

표 1. 수종에 따른 건중량 산출 계수

| 수종         | 계수                           |          |         |
|------------|------------------------------|----------|---------|
|            | W=a+b*DBH+c*DBH <sup>2</sup> |          |         |
|            | a                            | b        | c       |
| rigida     | 12.17400                     | -3.28612 | 0.36354 |
| koraiensis | 31.60970                     | -5.44588 | 0.42022 |
| leptolepis | 1.42534                      | -1.98035 | 0.40005 |
| acutissima | -3.66166                     | -0.51529 | 0.35117 |

Source : Korea Forest Research Institute

-1에서 1사이의 값을 가지게 되는데, 일반적으로 눈이나 구름, 식물은 0~1사이의 값을 갖게 된다. 또한 식물이 있는 지역 내에서도 식물의 양이 많거나 건장한 식물이 있는 지역이 병충해나 노화된 식물에 비해서 높은 값을 가지게 된다.

2.2 탄소저장량 추정

단일수목의 탄소저장량을 추정하는 추정식은 바이오매스(biomass)와 탄소전환계수가 변수(표 2)로 사용된다(한정수, 2008).

바이오매스의 추정식에는 흉고직경(DBH : Diameter at Breast Height)과 수고를 적용한 식이 있으나, 실제 위성영상으로는 수고의 높이를 알 수 없으므로, 수관을 이용하여 흉고직경을 추측하고 탄소저장량을 추정하는 방법을 사용하였다. 흉고직경은 수목의 1.3m높이의 직경을 말하며, 바이오매스란 에너지 전용의 작물과 나무, 농산품과 임산폐기물과 부스러기, 수초 에서 추출한 재생 가능한 유기물질을 일컫는다. 총 바이오매스 산출에 필요한 건중량은 수종별 계수와 흉고직경을 사용하여 개체목 당 건중량을 산출식에 적용하여 계산하였다(손영모 등, 2007).

$$W = a + b \times DBH + c \times DBH^2 \quad (2)$$

여기서 W는 건중량(kg/tree)를 나타내며, 이때 건중량은 총 바이오매스 확장계수(침엽수:1.6512, 활엽수:1.7202)와 곱해져서 총 바이오매스의 양으로 환산된다. 총 바이오매스에서 IPCC에서 정해진 탄소전환계수인 0.5를 곱하면 식생 탄소저장량이 구해진다(김소라 등, 2009).

넓은 식생지역의 경우 실제 개체수를 이용한 탄소저장량 추정이 쉽지 않다. 지역과 기후와 토양상태 등에 따라서 식생의 탄소저장량이 달라지며, 넓은 면적일수

표 2. 식생유형별 탄소저장량

| 식생 유형 | 바이오매스    |                 | 탄소저장량    |                 | CO <sub>2</sub> 흡수량 |                 |
|-------|----------|-----------------|----------|-----------------|---------------------|-----------------|
|       | 총량 (ton) | 단위면 적당 (ton/ha) | 총량 (ton) | 단위면 적당 (ton/ha) | 총량 (ton)            | 단위면 적당 (ton/ha) |
| 교 목   | 침엽수      | 254             | 9.9      | 127             | 4.9                 | 18.1            |
|       | 활엽수      | 907             | 15.3     | 453             | 7.7                 | 28.1            |
| 관목    | 264      | 9.1             | 132      | 4.6             | 484                 | 16.8            |
| 초본    | 144      | 1.6             | 65       | 0.7             | 238                 | 2.6             |

록 그 오차가 커진다. 따라서 본 연구에서는 서울시립대 교내의 수목을 조사하여 녹지면적에 따른 탄소저장량을 산출한 연구(한정수, 2008)에 근거하여 도시지역에서의 식생면적을 추출하고 그에 대한 탄소저장량을 추정하였다(표 2). 식생 및 수목의 탄소저장량을 추정하기 위해서는 나무표준 직경과 전체나무 높이수관 등을 이용할 수 있으며, 재배지의 형태에 따라서 탄소저장량에서도 차이가 나는 것으로 분석되고 있다.

### 3. 연구대상지 선정

연구 대상지는 경남 진주시를 대상으로 2007년 8월 25일과 2009년 5월 13일에 촬영된 KOMPSAT-2호 위성영상을 이용하였다. 도시지역 내에서의 녹지면적을 정규식생지수를 계산하여 추출할 목적으로 여름에 촬영된 위성영상을 구입하려고 하였다. 그러나 동일 시기나 날짜에 촬영된 영상이 없어서 다소 차이가 있을 것으로 판단되지만 5월 중순 정도에는 식생의 활엽이 어느 정도 이뤄진 것으로 생각되어 두시기의 결과값을 비교분석하였다. 그림1에서 연구대상지역으로 선정된 6개 행정동을 표시하고 있으며 면적과 인구현황은 표 3

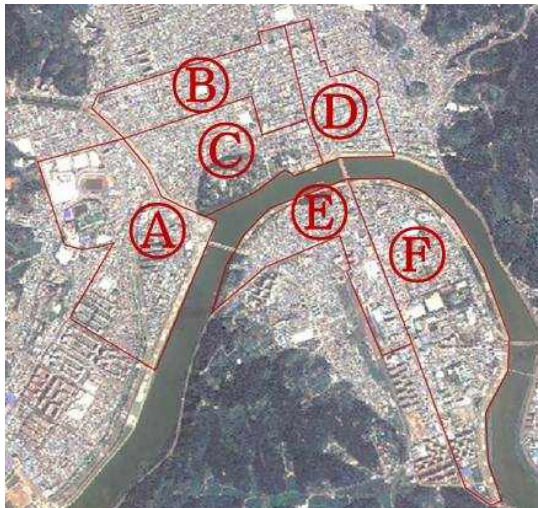


그림 1. 진주시 KOMPSAT-2 위성영상과 행정동

표 3. 연구대상지의 행정동 현황

|   | 행정동명 | 인구(명)  | 면적(km <sup>2</sup> ) |
|---|------|--------|----------------------|
| ① | 신안동  | 16,228 | 1.07                 |
| ② | 봉안동  | 7,081  | 0.48                 |
| ③ | 성지동  | 6,610  | 0.68                 |
| ④ | 중앙동  | 4,497  | 0.46                 |
| ⑤ | 강남동  | 6,595  | 0.55                 |
| ⑥ | 칠암동  | 11,607 | 1.32                 |


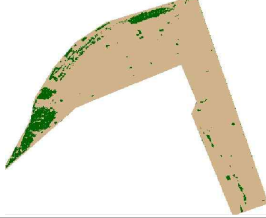



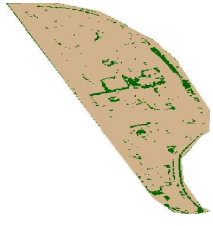

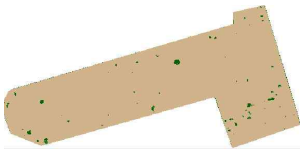
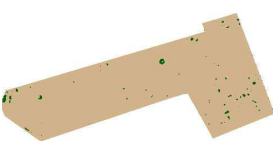


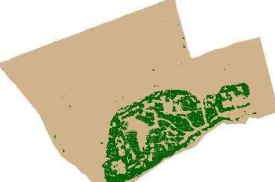


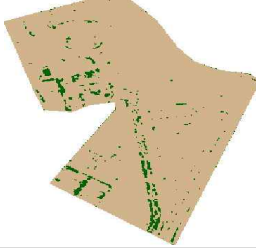

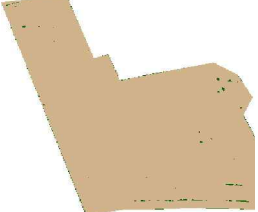
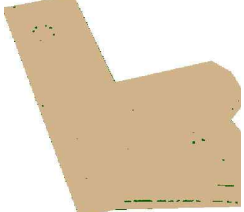
과 같다. 강남동과 칠암동의 경우 과거 진주시의 주요 주거지였으며, 대부분 단층주택으로 구성되어 있는 지역이다. 그러나 강남동과 칠암동 두 개의 행정동은 남강을 접하고 있어서 수변공간으로 활용도가 높으며 수목이 많이 식재되어 있어 탄소저장량이 높을 것으로 보인다. 반면 신안동은 과거에는 논과 밭으로 사용되었지만 현재는 신항주거지로 개발된 곳으로 도시계획적 요소를 반영하여 녹지공간이 조성된 지역이다. 반면 성지동과 봉안동, 중앙동의 경우 과거부터 현재까지 진주시의 도심으로 상업중심지가 되고 있다. 이와 같이 동별 특성이 다른 행정동을 선정하여 녹지면적을 추출하고 탄소저장량을 산정하여 그 특성을 비교분석 하였다.

### 4. 결과분석

본 연구는 2007년 8월 25일과 2009년 5월 13일에 촬영된 KOMPSAT-2 위성영상을 이용하여 정규식생지수를 계산하고 이를 이용하여 녹지지역을 추출하여 2007년 과 2009년 사이에 발생한 녹지지역의 변화를 계산하고 이에 따른 탄소저장량의 변화도를 분석하였다. 도시지역의 녹지면적을 추출하기 위해 보다 정밀한 영상자료가 요구되므로 1m급 Pan.영상과 4m급 다중영상을 융합하여 1m급 다중영상으로 영상융합을 한 후 녹지지역을 추출하였다. 진주시 지역에 위치한 행정동 중 선정된 6개동에 대해 정규식생지수를 구하고 임계값을 설정하여 녹지지역과 비녹지지역으로 구분하여 행정동별 녹지면적을 구하였다. 표 4는 그 결과를 나타낸 표로서 강남동은 남강과 접해 있는 동으로서 남강변에 조성된 공원으로 인하여 도심지역임에도 불구하고 녹지지역이 많이 추출되었다. 2007년의 경우 강남동의 녹지지역은 전체면적의 약 9.24%를 차지하고 있었으며 대부분이 수변지역에 접한 공원지역에 집중되어 있었으며, 면적은 5.08ha에 해당한다. 2009년은 12.86%를 차지하고 있어서 2007년에 비하여 1.99ha가 증가한 7.07ha이었다. 칠암동은 강남동과 비슷하게 수변공간에 접하고 있는 동으로서 2007년 녹지면적이 전체 면적의 8.52% 즉 11.25ha로 나타났고, 2009년에는 소폭 감소하여 11.00ha(8.34%)로 측정되었다.

봉안동과 중앙동은 과거부터 도심지로 개발된 곳으로 식생면적이 비교적 작은 지역으로 예측되었으며, 위성영상분석에서도 봉안동이 0.60ha(2007년), 0.51ha(2009년), 중앙동이 0.33ha(2007년), 0.34ha(2009년)로 나타났다. 성지동은 축석루가 위치한 동으로서 도시공원이 크게 형성되어 도심지역에 위치하면서도 식생이 많은 지역이며, 11.10ha(2007년), 9.32ha(2009년)로 분석되

표 4. 행정동별 녹지지역 추출결과

|     | KOMPSAT-2 위성영상  | 녹지지역(2007년)   | 녹지지역(2009년)   |
|-----|---|---|---|
| 강남동 |    |    |    |
| 칠암동 |    |    |    |
| 봉안동 |    |    |    |
| 성지동 |   |   |   |
| 신안동 |  |  |  |
| 중앙동 |  |  |  |

었다. 또한 신흥 주거지역으로 개발된 신안동은 4.74ha (2007년), 4.67ha(2009년)로 분석되어 주거지를 중심으로 도시공간에 조성된 녹지공간으로 판단된다.

4.1 행정동별 탄소저장량 비교분석

정규식생지수를 계산하여 행정동별 녹지면적을 추출한 결과를 이용하여 동별 탄소저장량을 산정하였다. 진주시 도심지역에 분포한 수목들이 주로 활엽수인 점을

고려하여 표 2에서 제시된 수목별 탄소저장량 중 활엽수의 저장량, 즉 7.7ton/ha를 사용하여 행정동별 탄소저장량을 추정하였다(표 5, 그림 2).

동별 탄소저장량의 변화추이를 분석하면 강남동의 경우 진주시에서 남강변에 시민을 위한 휴식공간을 제공하는 차원에서 산책을 위한 도시 숲조성과 주변경관과 어우러질 수 있는 다양한 도시공원을 지속적으로 조성해온 결과로 녹지공간이 2007년에 비해 2009년에



표 5. 행정동별 탄소저장량 증감분석

| 동명칭 | 2007년     |           | 2009년     |           | 탄소 증감량(t) |
|-----|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|     | 녹지 면적(ha) | 탄소 저장량(t) | 녹지 면적(ha) | 탄소 저장량(t) |           |
| 강남동 | 5.08      | 39.12     | 7.07      | 54.44     | 15.32(증)  |
| 칠암동 | 11.25     | 86.62     | 11.00     | 84.70     | 1.92(감)   |
| 봉안동 | 0.60      | 4.62      | 0.51      | 3.93      | 0.69(감)   |
| 성지동 | 11.10     | 85.47     | 9.32      | 71.76     | 13.71(감)  |
| 신안동 | 4.74      | 36.50     | 4.67      | 35.96     | 0.54(감)   |
| 중앙동 | 0.33      | 2.54      | 0.34      | 2.62      | 0.08(증)   |

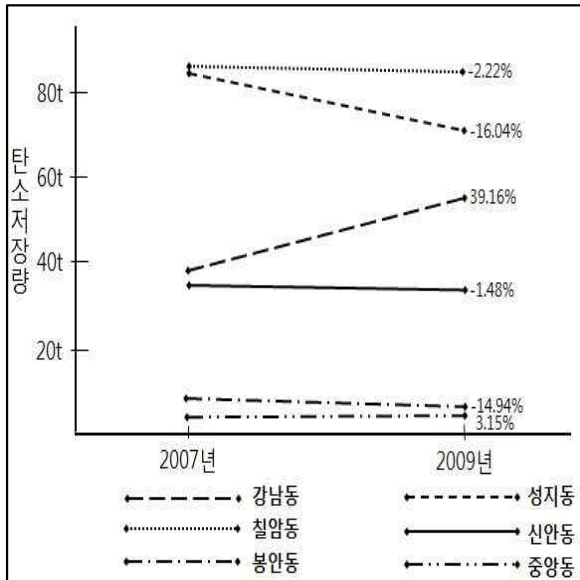


그림 2. 동별 탄소저장량 변화추이

증가되었고, 이에 따른 결과로 탄소저장량이 증가하였다. 그러나 대부분의 동은 전반적으로 미소한 감소를 보이고 있다. 특히 성지동의 경우 축석루가 위치한 동으로서 공원면적의 변화가 없는데도 불구하고 감소된 것은 2009년 영상이 5월에 관측되어 8월에 관측된 2007년 영상에 비해 녹지면적이 작게 추출된 것으로 판단된다. 따라서 시계열적 녹지공간의 변화를 정확하게 분석하기 위해서는 위성영상 구입 시 연구에 적합한 관측시기의 자료를 편리하게 구입할 수 있는 영상구입 체계가 필요한 실정이다.

4.2 개체목별 탄소저장량 산정

산림지역이나 공원지역은 수목이 균집되어 있으나 도시지역내에서 도로변에 있는 가로수의 경우 개별적으로 식재된 것으로서 개별적으로 판독하여 추출해야 한다. 향후 고해상도의 위성영상이 계속 출현할 것으로 판단하여 KOMPSAT-2 위성영상을 이용하여 도로변 수목을 추출 할 경우의 정확도를 분석하였다. 그림 3은 도시지역에서 도로변에 식재된 수목을 보여 주고 있으며 이들 수목을 KOMPSAT-2 위성영상을 이용하여 개별적으로 추출하고 이에따른 탄소저장량을 추정하였다. 그림 3은 도로변에 위치한 가로수를 대상으로 KOMPSAT-2 위성영상을 이용하여 개체목을 추출한 결과를 보여주고 있다.

위성영상처리에 의해 추출된 수목수는 19개로 판독 되었으며 현지에서 직접 조사한 개체수는 21개였다. 영상처리에서 누락된 수목은 주로 작은 크기의 소나무로

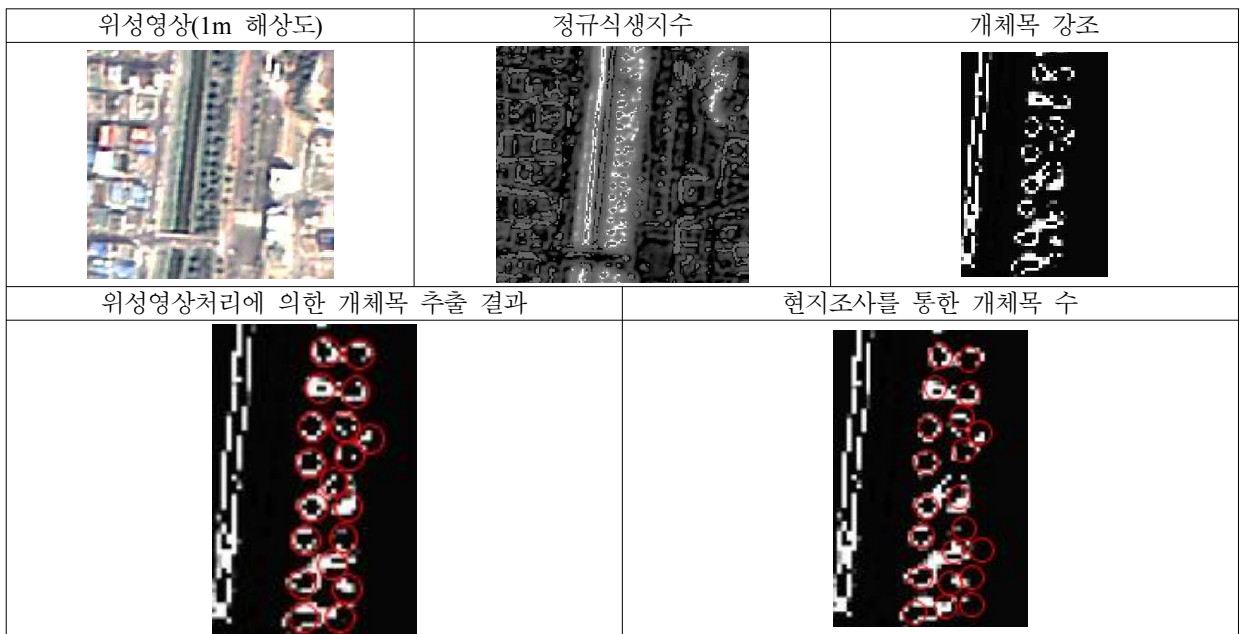


그림 3. 도로변 개체목 추출

서 활엽수에 비해 활력도가 낮아서 위성영상의 해상도를 고려 할 때 관독에서 누락되는 결과를 보여주었다. 그러나 본 연구 대상지에서 추출된 개체목의 정확도는 약 90%를 보여 주고 있어서 보다 정확도가 향상된 위성영상이 공급될 경우 도시지역 내에 위치한 수목을 개체별로 추출하여 탄소저장량을 정확하게 추출할 수 있을 것으로 예측된다. 추출된 수목을 대상으로

표 1과 식 2를 이용하여 수관, 흉고직경, 탄소저장량을 추정하였으며, 표 6은 개체목별 탄소저장량을 보여 주고 있다. 식재된 개체목이 활엽수이므로 위성영상에서 수관의 크기를 산정하고, 수관과 흉고직경의 관계를 그림 4에 의해 계산하며, 이를 식 (2)에 적용하여 각각의 수목에 대한 탄소저장량을 계산하였다.

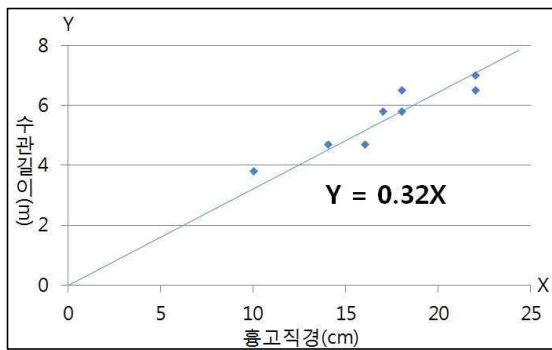


그림 4. 수관과 흉고직경의 관계식

표 6. 개체목별 탄소저장량 추정

| 개체목 | 수 관   | 흉고직경   | 탄소저장량(Kg) |
|-----|-------|--------|-----------|
| 1   | 6.84m | 22cm   | 133.3     |
| 2   | 4.75m | 14cm   | 49.8      |
| 3   | 5.72m | 17cm   | 77.9      |
| 4   | 4.99m | 16cm   | 67.1      |
| 5   | 6.44m | 22cm   | 133.5     |
| 6   | 6.20m | 18cm   | 86.7      |
| 7   | 4.43m | 10cm   | 38.9      |
| 8   | 5.72m | 18cm   | 86.7      |
| 9   | 5.76m | 18cm   | 86.7      |
| 10  | 4.33m | 13.5cm | 45.9      |
| 11  | 6.46m | 20.2cm | 111.1     |
| 12  | 4.39m | 13.7cm | 47.5      |
| 13  | 4.55m | 14.2cm | 51.5      |
| 14  | 5.86m | 18.3cm | 89.9      |
| 15  | 6.12m | 19.1cm | 98.6      |
| 16  | 6.38m | 19.9cm | 107.6     |
| 17  | 5.43m | 17cm   | 77.9      |
| 18  | 5.11m | 16cm   | 67.1      |
| 19  | 5.36m | 16.8cm | 74.7      |
| 계   |       |        | 1,532.4   |

### 5. 결 론

도시관리계획수립시 요구되는 탄소저장능력에 대한 평가자료를 제공하기 위해서 고해상도 위성영상을 이용한 도시지역 탄소저장량 추정방법을 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, KOMPSAT-2 위성영상을 이용하여 정규식생 지수를 계산하고, 도시지역을 녹지지역과 비 녹지지역으로 분류하여 행정동별 녹지면적을 추출하고 이를 이용하여 시계열적 탄소저장량 변화를 추정할 수 있는 방법을 제시하였다.

둘째, 도시지역에서 고해상도 위성영상을 이용하여 수목의 개수와 수관크기를 추출하고 이로부터 수목별 탄소저장량을 추정하는 방법을 제시하였다.

셋째, 위성영상이 고해상도로 발전하고 있고 센서의 스펙트럼도 다양화되는 추세에 있으므로 녹지면적 자동추출과 개체목 자동인식 및 수종판별 등에 대한 연구가 추가로 이뤄질 경우 위성영상에 의한 탄소저장량 추정방법의 활용은 더욱 확대될 것으로 생각된다.

### 감사의 글

본 연구는 한국연구재단 2009기초연구사업(일반연구자 지원사업-지역대학우수과학자)에 의해 수행되었습니다.

### 참고문헌

1. 김소라, 이우균, 곽한빈, 최성호, 2009, "KOMPSAT-2 영상을 이용한 산림의 이산화탄소 흡수량 추정", *한국 임학회지*, 98권, 3호, pp.324-330
2. 손영모, 김종찬, 이경학, 김래현, 2007, "우리나라 산림 바이오매스 자원평가", 국립산림과학원.
3. 이경학, 손영모, 서정호, 김래현, 박인협, 손요환, 이영진, 2006, "기후변화협약대응 산림부문온실가스 통계체계구축", 국립산림과학원.
4. 한정수, 2008, "수도권매립지 수목에 의한 CO<sub>2</sub> 흡수량 산정 및 증대를 위한 식생관리 방안 연구", 석사학위논문, 서울시립대학교.
5. Bakr, N., Weindorf, D.C., Bahnassy, M.H., Marei, S.M., El-Badawi, M.M., 2010, "Monitoring Land Cover Changes in a Newly Reclaimed Area of Egypt Using Multi-temporal Landsat Data", *Applied Geography*, Vol.30, No.4, pp.592-605.
6. Garbulsky, M.F., Peñuelas, J., Papale, D., Filella, I., 2008, "Remote Estimation of Carbon Dioxide Uptake by a Mediterranean Forest", *Global Change Biology*, Vol.14, No.12, pp.2860-2867.