

# 저탄소 도시관리를 위한 탄소배출과 토지이용변화 분석 -진주시를 중심으로-

## Analysis of Carbon Emissions and Land Use Change for Low -Carbon Urban Management - Focused on Jinju

어재훈\* · 김기태\*\* · 정길섭\*\*\* · 유환희\*\*\*\*  
Eo, Jae Hoon · Kim, Ki Tae · Jung, Gil Sub · Yoo, Hwan Hee

### 要 旨

저탄소 녹색성장은 국내외적으로 중요한 정치적 이슈가 되고 있으며, 한국정부는 최근 저탄소 녹색성장을 위한 비전을 발표하였다. 이런 관점에서 탄소배출 추정은 도시계획에 있어서 중요한 요소가 되고 있다. 탄소저감 계획을 수립하기 위하여 본 연구에서는 과거 40년 동안 진주시의 탄소배출 추정과 토지이용변화의 상호추이변화를 분석하였다. 토지적성평가 데이터베이스와 항공영상의 영상처리자료는 과거 40년간의 토지이용변화를 분석하는데 유효한 정보를 주었으며, 신주거지 개발에 의한 토지이용변화는 급격한 인구집중과 탄소배출증가를 가져왔다. 앞으로 저탄소 녹색성장을 위한 도시관리계획에 있어서 토지이용변화에 따른 탄소배출 증가를 계획수립 시 반드시 고려해야하며, 향 후 토지이용과 연료소비추정이 포함된 정확한 탄소배출 추정모델개발에 대한 추가적인 연구가 필요하다고 사료된다.

핵심용어 : 저탄소 녹색성장, 도시관리계획, 탄소배출량, 토지이용변화, 인구집중

### Abstract

Low-carbon Green Growth is highlighted as the main political issue from in and out of Korea. Recently Korean government announced the vision for low-carbon green growth. Considering this as a starting point the carbon emission estimation has become an important factor in the city planning. In order to realize the carbon reduction planning, this research was focused on the trend analyzes between the carbon exhaust estimation as well as the land use change for the past 40 years in Jinju. The image processing data of past aerial photography and the land suitability assessment databases were used to collect the useful information's for the land trend analysis for 40 years. As the results, the land use changes by new residential developments have led to increase the carbon emissions and population concentration rapidly. The urban management planning for low carbon and green growth should consider carbon emissions by population growth derived from land use change. Further research need to estimate the accurate carbon exhaust using relationship model with fuel consumption, carbon estimation, and land use.

Keywords : Low-carbon Green Growth, urban management planning, carbon emission, land use change, population concentration

### 1. 서 론

최근 국내외적으로 온실가스배출 감축을 위한 노력

이 다각도로 이뤄지는 가운데 추진전략이나 국제협약 등이 이뤄지고 있으며, 온실가스 규제는 환경규제나 국내외적으로 탄소거래시장 형성이 예상되고 있다. 정부

2010년 2월 19일 접수, 2010년 3월 15일 채택

\* 경상대학교 대학원 도시공학과 박사과정(newogo@korea.kr)

\*\* 정희원 · 경상대학교 대학원 도시공학과 석사과정(BK21)(bbiggij@naver.com)

\*\*\* 정희원 · 경상대학교 대학원 도시공학과 석사과정(BK21)(jgsclride@naver.com)

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

에서도 신 국가발전 패러다임으로 제시한 저탄소 녹색 성장을 실현하기 위한 방안들로서 ‘제1차 국가에너지 기본계획(2008~2030)’, ‘제4차 기후변화대응 종합기본 계획(2008~2012)’, ‘제3차 신재생에너지 기술개발 및 이용·보급 기본계획(2009~2030)’ 등의 국가계획과 ‘그린 에너지산업 발전전략’, ‘지식·혁신주도형 녹색 성장 산업발전전략’, ‘녹색뉴딜방안’ 등의 전략들이 발표되었다(국무총리실 기후변화대책기획단, 2008). 저탄소 녹색성장은 온실가스와 환경오염을 줄이는 지속 가능한 성장으로서 녹색 기술과 청정에너지로 신성장동력과 일자리를 창출하는 신국가발전 패러다임이다(윤순진, 2009). 또한 선진국의 지방자치단체들은 기후변화에 능동적으로 대처하기 위하여 자체 온실가스 감축 목표를 설정하고 구체적인 정책과 조치를 시행하고 있다. 스웨덴 스톡홀름시는 2050년까지 화석연료를 사용하지 않는 도시를 목표로 1인당 이산화탄소 배출량을 제로(Zero)화하는 계획을 수립하고 있고, 미국 포틀랜드시는 자동차 온실가스 배출감소를 위해 인터넷을 이용하여 카풀정보의 제공을 추진하고 있으며, 호주 밀두라시는 인공바람에 의한 전력을 생산하기 위해 1km의 솔라타워 건설을 추진 중에 있다. 독일 하이델베르크시는 환경도시로 거듭나기 위해 기존의 시정계획을 지속 가능한 발전을 위한 시정계획으로 바꾸고 광범위한 공공 참여를 거쳐 7개영역의 새로운 발전계획을 수립하여 추진하고 있다. 일본 도쿄시는 도민 및 기업의 온실가스 배출량 저감 의식을 높이고 참여를 높이기 위해 ‘지구를 보호하는 도청 계획’(2001년)을 마련하였다. 한편 국내 지자체의 추진현황을 보면, 서울시 강남구는 서울시 자치구 중에서 처음으로 에너지기본조례를 제정하는 등 에너지 절약을 주축으로 하는 기후 변화 대응 종합대책을 마련하여 추진하고 있다. 수원시는 2007년 환경부 지원을 받아 ‘수원시 시민과 함께하는 CO<sub>2</sub> 배출 제로화 사업’을 실시하고 있으며, 과천시 환경부, 경기도와 기후변화대응 시범도시 조성 협약을 체결하여 온실가스를 2015년까지 2005년 대비 5% 감축하는 목표를 세우고 향후 기후변화대응 기반조성, 친환경 도시기반 구축사업으로 가로변 녹지량 확충, 생활주변 자투리땅 녹화사업, 건물 옥상녹화사업, 도시공원 조성 사업, 하천변 녹지확충 사업 등을 추진하여 온실가스를 줄일 계획이다. 이러한 지자체의 사업추진과 더불어 학계에서도 환경성과지수를 활용한 도시환경지속성평가, 도시녹지와 도시기후를 고려한 토지이용계획, 기후변화 대응을 위한 지구단위계획 등에 대한 연구가 진행되었다(김유나 등 1인, 2009; 변혜선 등 2인, 2009; 이재훈 등 1인, 2009). 이상과 같은 동향을 고려하여 본 연

구에서는 진주시를 대상으로 동별 인구변화를 1970년부터 2007년까지 조사하고 이를 토대로 과거 약 40년간의 인구변화에 따른 탄소배출추정량을 1970년, 1982년, 1995년, 2007년으로 4단계로 구분하여 탄소배출량 변화추이를 추정하고, 항공영상분석에 의한 토지이용변화를 분석함으로써 토지이용변화에 따른 탄소배출 추정이 수반된 녹색성장 도시발전계획을 수립하는데 근거자료를 제공하는데 목적이 있다.

## 2. 탄소배출량 추정

미국 에너지정보부(EIA, Energy Information Administration)에서는 세계 각국의 에너지 사용에 따른 탄소배출량을 추정하여 발표하였는데, 각국의 2030년까지의 탄소배출량의 추세를 보면 2000년대 초반까지는 큰 증가 추세를 보였으며 그 이후에는 점진적인 증가나 증가량이 거의 없이 일정량을 유지하는 경향을 보여주고 있다. 그러나 중국이나 개발도상국가들의 탄소배출량은 급속한 증가를 보여주고 있는 경향이 뚜렷하게 나타나고 있다. 세계 총에너지 수요전망에 따라 CO<sub>2</sub> 배출은 2001년 65억톤에서 2010년 77억톤, 2025년 104억톤으로 늘어날 전망이다. 전망기간 동안 CO<sub>2</sub> 배출에 대한 개도국의 연평균 증가율은 2.9%로 선진국의 1.3%보다 2배 이상 높다. 개발도상국의 경우 여전히 석탄 등 화석에너지에 대한 의존도가 높기 때문에 선진국을 중심으로 CO<sub>2</sub> 배출을 감소시키려는 노력을 한다고 해도 전세계적으로 보면 배출량은 상당량 증가할 것으로 예상된다. 기준전망에서 2025년 CO<sub>2</sub> 배출량 전망은 104억톤으로 1990년 대비 76.4%가 많은 수준이다(석유협회보, 2003). 미국 에너지부(U.S. Department of Energy, EIA release carbon emissions)에 의한 대한민국의 탄소배출량에 대한 추정량을 EIA 홈페이지 통계자료를 이용하여 그래프로 표시하면 그림 1과 같다.

그림 1에 근거하여 국민 1인당 배출하는 탄소배출량을 1970년, 1982년, 1995년, 2007년으로 구분하여 추

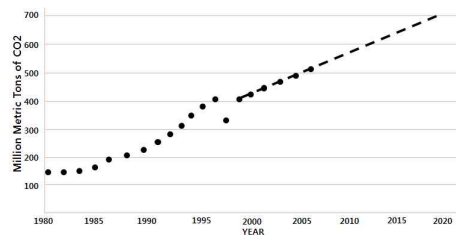


그림 1. 대한민국 탄소배출 추정량  
(미국 에너지부 EIA자료)

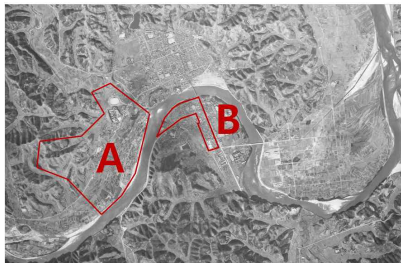
표 1. EIA자료에 근거한 연도별 탄소배출량 추정

연도	총 배출량(ton)	인구 수(인)	1인당연간 배출량(ton)
1970	80,000,000	30,882,386	2.59
1982	130,000,000	37,406,815	3.48
1995	380,000,000	44,553,710	8.53
2007	520,000,000	49,194,085	10.57

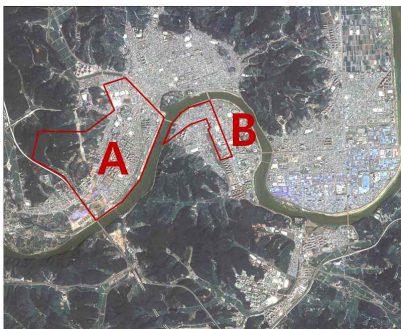
정한 결과 표 1과 같이 계산되었으며, 본 연구에서는 인구수에 따른 탄소배출추정량을 그림 1과 표 1에 근거하여 추정하였다.

3. 연구자료 취득 및 토지이용현황분석

진주시의 과거 약 40년간에 걸친 도시공간구조의 변화를 분석하기 위해 1970년도와 2007년도의 진주시 항공사진과 위성영상을 구입하여 토지이용변화를 분석하였다. 1970년도 항공사진을 볼 때 A지역(신안동, 평거동)은 남강변을 따라서 농경지로 구성되어 있는 미개발지로 되어 있었으나 최근 지속적으로 개발되어 신홍주택지로 변하여 진주지역에서 가장 많은 인구가 밀집하여 거주하고 있는 주거지역으로 변화되었다. 또한 B지역(강남동)은 1970년도에는 진주지역에서 가장 많은 인구가 거주하는 지역 중 하나였으나 그 후 특별한



(a) 진주시항공사진(1970년)



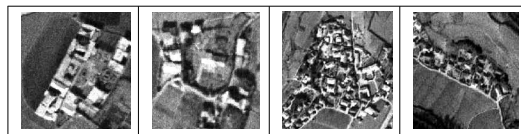
(b) 진주시KOMPSAT-2영상(2007년)

그림 2. 진주시 항공 및 위성영상(1970년과2007년)

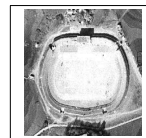
개발이 없이 구 도심권을 형성하고 낙후되어 인구가 크게 감소된 지역이 되었다.

따라서 본 연구에서는 21개동으로 구성된 진주시의 인구변화를 토대로 예상되는 탄소배출량을 추정하고 이들 동중에서 변화가 가장 크게 발생한 A지역과 과거 도시구조를 그대로 유지하면서 낙후된 지역인 B지역을 선정하여 보다 상세한 연구를 수행하였다.

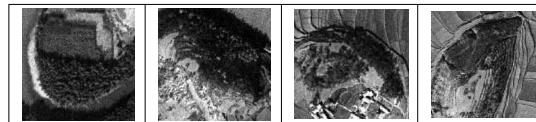
1970년도 진주시 토지이용현황자료가 현재 보존되고 있지 않은 관계로 1970년도 항공사진을 구입하여 토지이용현황을 추출하였다. 그림 3은 1970년 항공사진 중 용도지역을 주거지역, 상업지역, 녹지지역, 생산녹지지역, 학교, 하천으로 추출하기 위하여 분류된 토지이용 형태를 나타내고 있다.



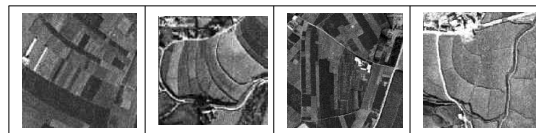
(a) 주거지역



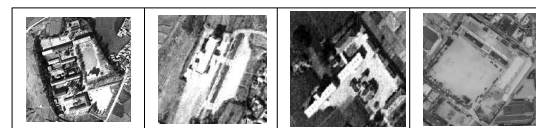
(b) 상업지역



(c) 자연녹지지역



(d) 생산녹지지역



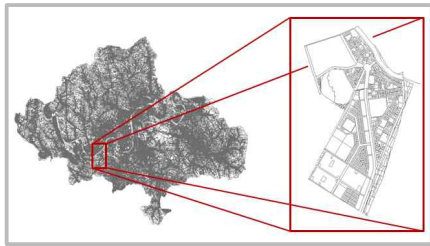
(e) 학교



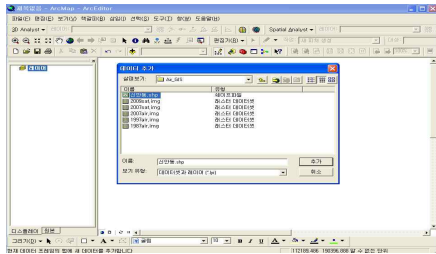
(f) 하천

그림 3. 항공영상으로부터 토지이용현황 추출

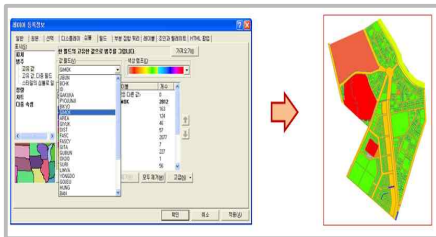
또한 2007년도는 진주시 토지적성평가체계에 구축된 토지적성평가 DB자료 처리에 의해 2007년도 토지이용 현황자료를 생성하였다. 토지적성평가 자료를 ArcGIS S/W에서 입력한 후 자료추출지역을 선정하고, 해당지역의 지목과 용도지역자료코드를 확인한 후 분석에 필요한 항목으로 재정리하였다. 지목의 경우 28개로 분류되어 있어서 도시지역에 주로 분포하고 있는 대지, 전, 답, 학교용지, 도로 등과 같은 항목을 위주로 추출하였으며, 용도지역의 경우 주거용지(전용, 일반, 준), 상업용지, 공업용지 등으로 구분하여 추출하였다.



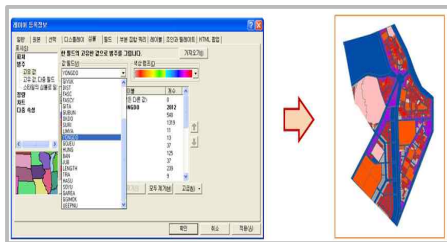
(1) 지역선정



(2) 지목/용도지역 코드



(3) 지목 분류 및 생성



(4) 용도지역 분류 및 생성

그림 4. 토지적성평가DB에 의한 지목 및 용도지역 생성

#### 4. 결과분석

##### 4.1 탄소배출량 추정

미국 에너지부 EIA의 우리나라 탄소배출 추정자료에 근거하여 진주시역의 과거 40년간의 탄소배출 추정량을 계산하기 위해 1970년부터 2007년까지 진주시 동별 인구수를 조사하였으며, 인구수에 따른 탄소배출량을 추정하기 위해 1970년을 시작으로 2007년까지를 4단계로 구분하여 1970, 1982년, 1995년, 2007년을 기준으로 탄소배출량을 산출하였다. 그림 5는 1970년, 1982년, 1995년의 계산값을 이용하여 과거 약 40년간의 탄소배출 추정량 변화를 그림으로 분석한 결과이고, 표 2는 2007년을 기준으로 한 인구수와 EIA 추정값에 근거한 탄소배출 추정량을 계산한 결과이다. 그림 5에서 진주시에는 현재 21개동이 있으나 그 동안 동이 병합 또는 분리되어 탄소배출량 추이분석을 위해 과거의 동명칭과 비교하여 재정리하였다. 즉, 평거동과 신안동은 과거 분리되기 전의 상태를 고려하여 평거·신안동으로 조정하고, 상대 1,2동, 상봉 동, 서동은 상대동, 상봉동으로 합쳤다. 기타 새로 생긴 동이나 없어진 동은 추이분석을 위해 제외하고 6개 동을 선정하여 그림 5에 표시하였다. 그 결과 과거 40년간의 동별 탄소배출추정량을 볼 때 평거·신안동이 가장 큰 증가를 보였으며 강남동은 1995년까지 미소하게 증가하다가 급격한 감소를 보였다.

표 2에서 나타난 것과 같이 최근 신항주택지로 지속적으로 개발이 이뤄진 평거·신안동 지역이 인구 약 47,000명으로서 499,929톤의 가장 많은 탄소를 배출하는 지역으로 분석되었으며, 공동주택이 밀집된 상대동, 하대동 등도 많은 탄소배출을 하는 지역으로 평가되었다. 그러나 1970년도에 인구가 가장 많았던 상봉동, 강남동 등은 그 후 특별한 토지이용변화가 없어서 최근 인구가 감소하는 추세를 보여 탄소배출 추정량도 감소하여 왔다.

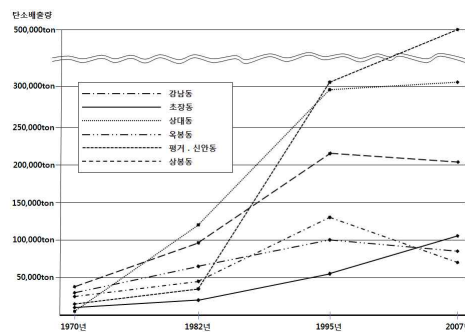


그림 5. 진주시 탄소배출량 추정(연도별 및 동별)

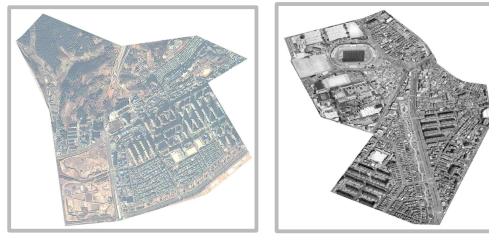
표 2. 2007년도 진주시 동별 탄소배출량 추정값

행정동	인구수(인)	년간 탄소배출량(톤)
망경동	18,809	198,811.13
강남동	6,595	69,709.15
칠암동	11,607	122,685.99
성지동	6,610	69,867.70
중앙동	4,497	47,533.29
봉안동	7,081	74,846.17
상봉동동	8,089	85,500.73
상봉서동	11,697	123,637.29
봉수동	5,359	56,644.63
옥봉동	7,678	81,156.46
상대1동	15,589	164,775.73
상대2동	13,686	144,661.02
하대1동	16,816	177,745.12
하대2동	14,777	156,192.89
상평동	13,551	143,234.07
초장동	10,168	107,475.76
평거동	31,069	328,399.33
신안동	16,228	171,529.96
이현동	13,073	138,181.61
관문동	10,952	115,762.64
가호동	20,786	219,708.02
계	264,717	2,798,058.69

4.2 토지이용현황분석

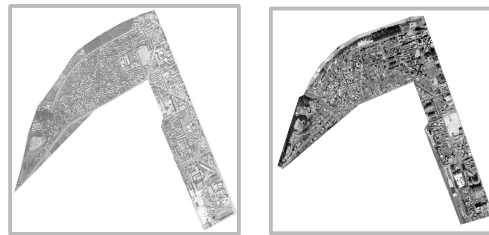
평거·신안동지역은 최근 공동주택건설에 의한 급격한 개발이 이뤄져서 인구집중이 이뤄진 지역이며, 강남동 지역은 1970년도에는 인구가 가장 많이 거주한 지역이었으나 그 후 큰 변화 없이 정체하다가 점차적으로 감소하여 현재는 매우 낙후되어 재개발 예정지역으로 지정된 곳이다.

그림 6, 그림 7, 그림 8은 평거·신안동과 강남동의 1970년과 2007년도의 항공/위성영상을 나타낸 것으로서 1970년도의 평거·신안동 지역은 자연녹지와 생산녹지가 주로 분포하고 있으며, 농민들의 생활을 위한 마을이 드물게 분포하고 있음을 알 수 있다. 그러나 2007년도 영상에서는 택지개발이 이뤄져서 공동주택과 단독주택을 중심으로 한 주거용지와 상업용지 등이 크



(a) 평거동지역 (b) 신안동지역

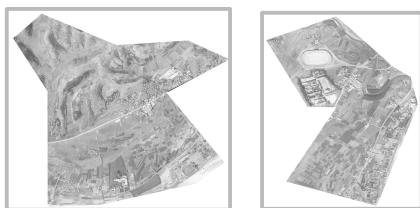
그림 7. 평거동·신안동 지역의 위성 및 항공영상(2007년)



(a) 1970년 (b) 2007년

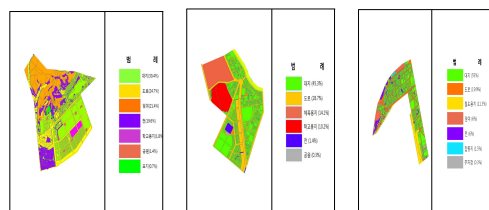
그림 8. 강남동 지역의 항공영상

게 증가된 것을 알 수 있다. 2007년을 기준으로 평거동 지목분포에 대해 불 대지 30.4%, 도로 24.7%, 신안동은 대지 45.3%, 도로 28.7% 등이 가장 많은 분포를 차지하고 있다(그림 9). 토지이용에 대한 용도지역도 주거지역(전용, 일반, 준)이 평거동은 35.5%, 신안동은 46.1%로서 가장 많은 비율을 차지하고 있으며 상업지역, 공업지역, 녹지지역 등이 함께 분포하고 있다(그림 10). 또한, 강남동은 1970년도에 이미 시가화가 이뤄져서 도시공간구조를 이루고 있었으며 그 후 특별한 개발이 이뤄지지 않았으므로 1970년과 2007년도 영상에서는 큰 차이점이 없다. 다만 시간이 흐르면서 건물이나 기반시설물 등의 낙후로 인하여 인구가 줄었고 이에 따른 환경개선사업이나 재개발사업 등이 예정된 상태이다. 강남동도 2007년 기준으로 대지 55%, 주거용지가 44%를 차지하고 있어서 주거와 상업시설이 주를 이루고 있음을 알 수 있다(그림 11).



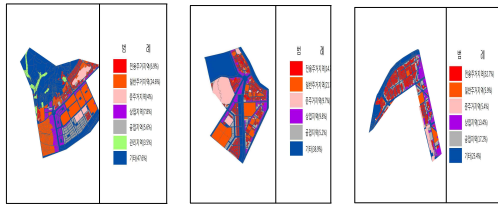
(a) 평거동지역 (b) 신안동지역

그림 6. 평거동·신안동 지역의 항공영상(1970년)

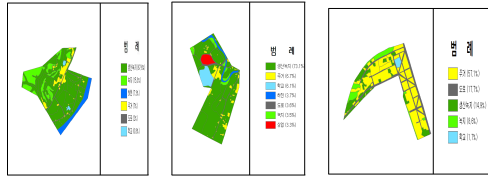


(a) 평거동 (b) 신안동 (c) 강남동

그림 9. 평거·신안·강남동의 지목분포(2007년)



(a) 평거동 (b) 신안동 (c) 강남동  
그림 10. 평거 · 신안 · 강남동의 용도지역분포(2007년)



(a) 평거동 (b) 신안동 (c) 강남동  
그림 11. 평거 · 신안 · 강남동의 용도지역분포(1970년)

과거 40년간 토지이용변화가 가장 큰 평거 · 신안동 지역의 토지이용변화를 비교 분석하기 위해 1970년과 2007년의 용도지역 자료가 필요하나 1970년도 자료가 현재 존재하지 않는 관계로 1970년도에 촬영된 항공사진을 이용하여 토지이용자료를 추출하였다. 그 결과 그림 11과 같은 결과를 얻었으며, 평거동은 녹지지역이 82.9%로 주를 이루고 주거지역은 7%에 불과하였다. 또한 신안동은 녹지지역이 76.6%, 주거지역이 6.7%로 역시 녹지지역이 대부분인 것으로 나타났다. 즉, 1970년도에 주거지역이 6-7%에 머무르던 지역이 2007년에는 35-46%로 크게 증가되어 인구유입에 의한 탄소배출 추정량이 15,345.75톤에서 499,929.29톤으로 32.6배 증가되었음을 알 수 있었다. 이와 같이 토지이용변화는 인구유입 및 유출을 동반하며, 인구증가에 의한 탄소배출 증가는 필연적인 상황으로 판단된다. 따라서 인구증가에 따른 탄소발생 요인을 감소시키거나 발생된 탄소량을 저감시키기 위해서 도시관리계획 수립 과정에서 탄소배출추정이나 저감대책이 함께 이뤄져야 할 것으로 판단된다.

5. 결 론

저 탄소 녹색성장을 위해서는 토지이용변화에 따른 인구유입과 이에 따른 탄소배출량을 추정하고 장기적인 안목에서 탄소배출량을 관리하기 위한 도시관리계획이 마련되어야 하며, 저탄소 녹색성장을 위해서는 탄소배출 추정 및 저감대책이 도시관리에 중요한 요소가

되고 있다. 본 연구에서는 진주시를 대상으로 약 40년간의 인구변화와 토지 이용변화를 분석하여 탄소배출량의 변화를 추정함으로써 도시관리계획수립에 필요한 자료를 제공할 수 있었으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 진주시를 대상으로 과거 40년간의 동별 토지이용변화와 탄소배출량을 추정한 결과 신시가지 조성에 따른 택지개발이 인구의 집중을 가져왔고 이에 따른 탄소배출 추정량도 지역간의 큰 변화를 가져왔으며, 저탄소 녹색성장을 위한 도시관리계획수립시 탄소 배출 및 저감대책을 함께 수립해야 함을 알 수 있었다.

둘째, 과거와 현재의 토지이용변화를 비교 분석할 때 대축척의 과거항공사진을 이용한 용도지역 추출은 시계열적 토지이용변화를 분석 할 수 있었으며, 이를 통한 도시의 미래 성장축을 예측할 수 있을 것으로 생각된다.

셋째, 본 연구에서 저탄소 녹색성장계획의 기초자료인 탄소배출 추정을 시범적으로 제시하였으나 향후에는 보다 정확한 탄소배출량 산정을 위해 에너지 소비자료 등을 이용한 산출방법과 토지이용변화와의 상관관계를 추정할 수 있는 연구가 추가적으로 이뤄져야 할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 한국연구재단 2009기초연구사업(일반연구지원사업-지역대학우수과목자)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. 국무총리실 기후변화대책기획단. 2008. “기후변화대응 종합기본계획.”
2. 김유나, 문태훈, 2009, “환경성과지수를 활용한 도시환경지속성 성과평가에 관한연구”.
3. 대한민국토 · 도시계획학회지, 국토계획, 제44권, 제6호, pp.171-182.
4. 변혜선, 송영배, 한봉호, 2009, “도시녹지와 도시기후를 고려한 토지이용계획 기법”, 대한민국토 · 도시계획학회지, 국토계획, 제44권, 제4호, pp.37-49.
5. 석유희회보, 2003, “세계에너지 장기전망 EIA(2001-2025)”, pp.40-45.
6. 윤순진. 2009. “녹색성장의 문제점과 거꾸로 가는 에너지정책,” 『환경과생명』 60:17-50.
7. 이재훈, 최석환, 2009, “기후변화 대응을 위한 지구단위계획 차원에서의 탄소완화 계획요소 개발에 관한 연구”, 대한민국토 · 도시계획학회지, 국토계획, 제44권, 제 4호, pp.119-131.
8. <http://www.eia.doe.gov/>