

기본연구
2009-20

행정구역단위 CO₂배출량
추정을 위한 기초연구(I)
-위성영상을 이용한 토지피복·이용도 구축-

이인희 · 장은미



CDI 충남발전연구원
Chungnam Development Institute

www.cdi.re.kr

기본연구
2009-20

행정구역단위 CO₂배출량 추정을 위한 기초연구(I)

2009.12

충남발전연구원



ISBN : 978-89-6124-108-3 93530

기본연구 2009-20

행정구역 단위 CO₂배출량 추정을 위한 기초연구 (I)

- 위성영상을 이용한 토지피복 이용도 구축 -

이인희 · 장은미

발 간 사

현재 진행되고 있는 전 세계적인 기후변화는 생태계, 산업·경제 및 생활양식 전반에 영향을 미친다. UN 기후변화에 관한 정부간협의체(IPCC)는 지구 평균 온도가 지난 100년간 0.74°C 상승하였으며, 향후 지구 온도가 2°C 증가할 경우 지구의 약 15~40%의 동식물이 멸종할 것으로 예측하였다. 이러한 지구온난화 문제의 근본적인 대책을 찾기 위해 온실가스에 대한 관측, 분석, 예측 등의 연구가 국내외적으로 활발히 수행되고 있으며 우리나라 정부는 기후변화 대응책으로서 '저탄소 녹색성장'을 새로운 국가비전으로 제시하였다. 미래의 경제적 발전과 환경과의 조화를 이루어 넷 이산화탄소 저감정책을 위해서는 그 기본 데이터인 탄소배출 inventory가 구축되어야 한다. IPCC에서는 국가별, 지자체별 탄소배출 인벤토리 작성을 위한 가이드라인을 제시하고 온실가스의무감축국가에 대해서는 주기적인 탄소배출 인벤토리의 제출을 요구하고 있다.

현재 우리나라에서 발표하고 있는 온실가스 배출량은 지역 내에 투입된 에너지량 또는 에너지 소비량을 산출하고 이를 IPCC의 이산화탄소 환산식에 적용하여 추정하는 방식을 취하고 있다. 이 방법론은 토지이용에 따른 자연적 배출량과 흡수량을 간과하고 있다는 약점이 있다. 따라서 이를 보완할 수 있도록 국가, 광역 지자체, 시·군, 읍면동 단위에 모두 적용할 수 있으면서 자연적 배출량과 흡수량을 포함하는 CO_2 배출량 추정 방법론의 적용이 필요하다. 이에 적합한 방법론 중 하나가 remote sensing과 GIS 기법을 이용한 토지피복·이용별 CO_2 배출량/흡수량의 추정방법이다.

본 연구는 충남의 보령시 지역을 사례로, 토지피복·이용 정보를 이용하는 방법론을 통하여 행정구역 단위 이산화탄소 순 배출량을 추정하고자 한다. 이러한 방법은 연구지역을 하나의 생태계로 인식한다는 점에서 기존의 탄소배출량 방법론과 차별되며, 시·군 지역 및 그 하위 행정단위의 CO_2 순배출량의 추정을 가능케 하는 장점을 지닌다. 본 연구는 2년간(2009, 2010) 연구로 수행된다. 1차년도에는 고해상도 위성영상(Quickbird, KOMPSAT-2)을 이용한 토지피복·이용도의 정확도 향상에 초점을 맞추며 2차년도에는 토지피복·이용별 배출·흡수계수를 산정하고, 그 결과를 적용하여 연구지역의 CO_2 순 배출량을 추정하고 그

분포도를 작성하게 된다.

본 연구는 지방자치단체의 기후변화대응정책 수립을 위한 저비용·고효율 방법론의 모형 수립과, 충남의 행정구역별 이산화탄소 배출량 추정을 위한 방법론을 제공함으로써, 저탄소 녹색성장 정책의 기초 자료의 제공과, 오염배출량 규제 및 이산화탄소 거래 제도를 대비하기 위한 기본 정책자료의 제공에 그 의의가 있다. 본 연구가 충청남도의 기후변화대응 정책과 다른 지자체의 기후변화정책에 조금이라도 보탬이 될 수 있기를 바란다.

2009년 12월 31일

충남발전연구원장 김 용 응

연구요약

1. 연구 배경 및 목적

현재 진행되고 있는 전세계적인 기후변화는 생태계, 산업·경제 및 생활양식 전반에 영향을 미친다. UN 기후변화에 관한 정부간협의체(IPCC)는 지구 평균 온도가 지난 100년간 0.74°C 상승하였으며, 향후 지구 온도가 2°C 증가할 경우 지구의 약 15~40%의 동식물이 멸종할 것으로 예측하였다. 이러한 지구온난화 문제의 근본적인 대책을 찾기 위해 온실가스에 대한 관측, 분석, 예측 등의 연구가 국내외적으로 활발히 수행되고 있으며 우리나라 정부는 기후변화 대응책으로서 '저탄소 녹색성장'을 새로운 국가비전으로 제시하였다. 미래의 경제적 발전과 환경과의 조화를 이루어 넷 이산화탄소 저감정책을 위해서는 그 기본 데이터인 탄소배출 inventory가 구축되어야 한다. IPCC에서는 국가별, 지자체별 탄소배출 인벤토리 작성을 위한 가이드라인을 제시하고 온실가스의무감축국가에 대해서는 주기적인 탄소배출 인벤토리의 제출을 요구하고 있다.

현재 우리나라에서 발표하고 있는 온실가스 배출량은 지역 내에 투입된 에너지량 또는 에너지 소비량을 산출하고 이를 IPCC의 이산화탄소 환산식에 적용하여 추정하는 방식을 취하고 있다. 이 방법론은 토지이용에 따른 자연적 배출량과 흡수량을 간과하고 있다는 약점이 있다. 따라서 이를 보완할 수 있도록 국가, 광역 지자체, 시·군, 읍면동 단위에 모두 적용할 수 있으면서 자연적 배출량과 흡수량을 포함하는 CO_2 배출량 추정 방법론의 적용이 필요하다. 이에 적합한 방법론 중 하나가 remote sensing과 GIS 기법을 이용한 토지피복·이용별 CO_2 배출량/흡수량의 추정방법이다.

본 연구의 목적은 충남의 보령시 지역을 사례로, 토지피복·이용 정보를 이용하는 방법론을 통하여 행정구역 단위 이산화탄소 순 배출량을 추정하는 것이다. 이러한 방법은 연구지역을 하나의 생태계로 인식한다는 점에서 기존의 탄소배출량 방법론과 차별되며, 시·군 지역 및 그 하위 행정단위의 CO_2 순배출량의 추정을 가능케 하는 장점을 지닌다.

2. 주요 연구내용

구체적인 연구내용은 크게 3단계로 구분된다. 첫째, 고해상도 위성영상과 디지털 지적도를 이용하여 보다 정밀한 토지피복·이용도를 작성한다. 둘째, 각 토지피복·이용별 배출·흡수계수를 기존 연구와 사례지역 조사(field work)를 통하여 산출한다. 셋째, 산출된 토지피복·이용도에 각 토지피복·이용별 배출·흡수계수를 적용하여 CO₂배출량을 추정한다. 이상에서 추정된 CO₂ 배출량은 먼 오염/흡수원으로부터의 추정량이며, 이에 기존의 점 오염원, 선 오염원의 CO₂ 배출량을 합산하면 연구지역의 CO₂ 순 배출량 및 분포 지도 작성이 가능해진다.

본 연구는 2년간(2009, 2010) 연구로 수행되며, 2009년에는 위의 첫 번째 단계인 고해상도 위성영상(Quickbird, KOMPSAT-2)과 디지털 지적도를 이용한 토지피복·이용도의 정확도 향상에 초점을 맞춘다. 2010년에는 두번째 단계로서 토지피복·이용별 배출·흡수계수를 산정하고, 그 결과를 토지피복·이용도에 적용하여 연구지역의 CO₂ 순배출량을 추정하고 그 분포도를 작성한다.

3. 요약 및 결론

본 연구를 통해 Quickbird 영상과 KOMPSAT-2 영상을 이용하여 작성된 토지피복·이용도는 둘 모두 기존의 환경부 토지피복도보다 더 정밀하고 업데이트된 토지피복·이용도를 저비용으로, 또한 효과적으로 만들어낼 수 있음을 알 수 있다. 위성을 활용한 토지피복도로부터는 배경농도의 현황을 실제와 유사하게 파악할 수 있는 근거가 마련될 수 있는 자료로 제시 가능하며 배경농도의 이해에 도움을 줄 수 있다.

환경부의 토지피복·이용도는 수치지도, 수치임상도 등의 중첩을 위해 digitizing 할 때 담당자의 체계적이지 않은 인위적 판단이 개입되었다는 비판을 받고 있으며, 2002년 작성된 이후 같은 방식으로 갱신이 되고 있으나 이에 대한 정확도 부분에 대한 논의 자체도 제기되지 못한 실정이다. 위성영상을 이용하여 만들어진 토지피복·이용도는 그 이후의 변화를 보여주며 보다 더 정밀하다. 현재의 수치지도와 수치지적도는 이산화탄소 배출량을 계산하기 위한 목적으로는 정확성이 떨어지며, 상호간 경계의 불일치를 보인다.

충남 보령시를 사례로 한 Quickbird 위성영상의 분석을 통해 제시된 결과는 다음과 같

다. 첫째, 토지피복·이용도의 정밀한 작성을 위해서는, NIR(근적외선) 밴드가 필수적이라는 것이다. 충남도청이 보유·제공한 Quickbird 위성영상은 RGB 3밴드 뿐이었다. RGB 밴드의 조합으로는 토지피복·이용의 적합한 분류가 용이하지 않다. 이를 극복하기 위해 식생지수 대체 밴드(NDVI replacement band)를 생성하여 분류를 시도하였지만, 더욱 정밀한 식생 분류를 위해서는 근적외선(NIR)의 확보가 필요하다는 결론이 도출되었다.

둘째, 수치지적도 데이터(KLIS자료)를 그냥 활용하면, 피복문제가 다 해결되며, 영상을 이용한 피복도 작성이 필요 없다는 일부의 의견은 옳지 못하다는 것이다. 수치지적도(KLIS 자료) 자체의 분류는 CO₂ 배출을 위한 조건과 매칭되지 않기 때문이며, 간척지 및 습지 등의 분류의 문제가 발견되었다. 또한 농지 전용 및 산지 전용으로 인한 불법활동에 대한 내용은 수치지적도로는 확인할 방법이 없으나 위성영상에서는 확인이 가능하다.

셋째, IKONOS, Quickbird와 같은 초고해상도도 각도 촬영이 다양한 스테레오 중·고 해상도 다분광 위성영상 이미지(multi-spectral image)를 사용하면 더욱 적합한 프로젝트 결과를 추출할 수 있을 것으로 판단된다. 예로서, EO-1 Ali, SPOT와 같은 위성영상을 이용할 경우 저비용으로 효율적이며 적합한 과제 결과를 산출할 수 있을 것이다. 또한 이들 영상을 16bit로 pan-sharpening하면 숲 및 초지 분류의 정확성을 더 정밀화할 수 있다. 70 센티급의 정밀한 위성영상은 픽셀 혼합 현상 및 그림자 등의 노이즈 효과가 오히려 증가하고 Quickbird를 단계해상도 8bit 대역으로 pan-sharpening 한 결과 saturation이 발생하여 밀생된 숲의 구별이 어려웠으며, 물과 그림자의 분류 역시 문제가 되었다. 도심지역의 인공구조물의 반사도 값(DN) 역시 포화되어 경계선이 모호해졌으며, 현재의 일반 위성영상 소프트웨어에서 제공하는 분류법만 의존해서는 분류의 정확성이 현저히 떨어진다.

KOMPSAT-2 영상을 이용하는 것이 Quickbird 영상을 이용한 것 보다 더 정밀한 토지이용·피복도를 작성을 가능케 하였다. KOMPSAT-2 위성영상은 1개의 면에 적용하여 세부 주제도를 제작하였으나, 타 지역 모두 제작 후에, 동리 별로 분할하여 정리할 경우, 대기 중 CO₂ 기여도가 행정동별로 추출될 수 있을 것이며, 읍면동간의 상대적인 비교도 가능하다.

다섯 개의 클래스 분류체계는 분류가 확실하게 되어 오류는 찾기 어렵지만 건물, 도로, 빌딩의 구별이 힘들다는 단점을 갖고 있다. 15 클래스의 분류체계는 주택, 도로, 건물(building), 댐·보 등 인공구조물의 분류체계를 세분화할 수 있으며, 또한 해변(seashore), 갯벌(foreshore), 습지(shallow water) 등 자연 구조물의 분류체계 역시 세분화 할 수 있다. 그러나 분류과정에서 잘못 분류될 가능성은 증가한다.

지역단위 CO₂ 배출량 추정 또는 비오톱 생태지도 작성의 base map인 토지피복·이용도 작성은 위성영상을 이용하는 것이 기존의 수치지도, 수치지적도를 이용한 방법보다 더 정밀한 결과를 보이는 것으로 판단된다.

향후 2차년도에 LiDAR 자료 및 10미터 급 DEM 자료를 함께 사용할 경우 더 나은 분류기법 개발이 가능하다. 또한 알고리즘(algorithm)의 측면에서는 training vector와 비교 topology, possibility function들을 적절히 결합하는 분류기법을 개발할 경우 결과물의 질적인 향상을 기대할 수 있을 것으로 기대된다. 수치표고모델 (LiDAR, stereo pair를 통한 고도추출)을 multi-spectral 영상과 함께 사용할 경우 정확도를 매우 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다. 예로서 논과 밭의 구분, 비닐하우스의 판별, 숲과 초지의 구분, 건물의 그림자와 수체의 분류, 갯벌과 나대지의 구분 등 보다 정밀하고 정확한 토지피복·이용의 분류가 가능하다. 이를 위해서는 국토지리정보원의 10미터 보다 촘촘하게 추출된 수치표고데이터의 확보가 필수적이다. 기존의 인공지물의 분류기준과의 비교를 통해 최적의 피복 분류체계 도출할 필요가 있으며, 개별 기후변화 요인 CO₂ 배출 및 흡수효과에 대한 모델결과와의 결합을 통한 개별 오브젝트 별 영향요소를 정량화 하도록 설계를 강화할 필요가 있다.

차 례

제1장 서론	1
1.1 연구 배경	1
1.2 연구의 필요성	7
1.3 연구 목적	8
1.4 방법론과 데이터	9
1.5 연구의 차별성과 의의	10
제2장 선행연구 및 문헌고찰	12
2.1 에너지 투입량에 의한 추정 연구	13
2.2 산업연관분석을 이용한 CO ₂ 배출량 추정	13
2.3 발전 및 폐기물 소각에 의한 이산화탄소 배출량 추정	14
2.4 축산, 농기계, 가정부문에서 배출되는 온실가스 배출량 추정	16
2.5 RS와 GIS를 이용한 이산화탄소 배출량 추정에 관한 연구	17
2.5.1 토지피복을 이용한 온실가스 배출량 추정	17
2.5.2 녹지에 의한 CO ₂ 흡수	20
제3장 RS와 GIS를 이용한 토지이용/피복도 작성	22
3.1 유사 주제의 고해상도 영상분석 관련 연구동향 및 차별성	22
3.2 영상분석과정	25
3.2.1 원영상의 분석과 특성	25
3.2.2 토지이용과 토지피복의 관점의 차이	28
3.2.3 지리위치 보정과정 (GeoRectification)	28

3.2.4 분석을 위한 전(前) 처리 과정	29
3.2.5 킥버드 영상의 분석 흐름	29
3.1.1.1 Training vector의 추정	31
3.1.1.2 이외의 입력자료	32
3.1.1.3 이외의 입력자료를 이용한 분류법	32
3.2.6 다목적 실용위성 2호(KOMPSAT 2)의 분석	35
3.1.1.4 원시자료	35
3.1.1.5 원시자료의 분석 처리단계	36
3.3 영상분석결과	42
3.3.1 킥버드 영상의 결과	42
3.3.2 다목적 실용위성 2호 영상의 분석결과	47
3.4 분석결과의 정밀도 분석	51
3.4.1 주요주제도의 경계 불일치와 분류의 부정합성	52
3.4.2 환경부 중분류토지피복도와 위성영상 분석결과의 비교	54
3.4.3 수치지적도, 킥버드와 KOMPSAT 2 위성영상의 분석결과의 비교	54
3.4.4 혼재된 토지피복의 구분: 초지와 숲의 분해 사례	56
3.4.5 소결	57
3.5 향후 계획 (2차년도, 2010년)	58
 제4장 요약 및 결론	 63

표 차 례

<표 1> KLIS의 17개 분류단계	44
<표 2> IPCC에 대응 재분류	44
<표 3> 분석결과: 보령시 토지이용	45
<표 4> 대천3동의 토지이용 현황	46
<표 5> 보령시의 토지피복 이용 현황	49
<표 6> 대천 3동의 토지피복 이용 현황	51
<표 7> 토지피복 중분류 별 CO ₂ 배출변수	61

그림차례

[그림 1] 우리나라의 기온과 강수량의 변화	3
[그림 2] 우리나라 온실가스 총 배출량	4
[그림 3] 우리나라 이산화탄소 총배출량	4
[그림 4] 우리나라 부문별 온실가스 배출량 증가	4
[그림 5] 연구 흐름도	9
[그림 6] 이산화탄소 배출량 추정 모델	10
[그림 7] 국토 모니터링 시스템 proto-type 구성도	24
[그림 8] Quick bird 영상	26
[그림 9] KOMPSAT-2 multispectral image (RGB IR)	27
[그림 10] KOMPSAT panchromatic 영상	27
[그림 11] ENVI의 메뉴	29
[그림 12] 1단계 분류작업(6단계 클래스화 자동화 작업) 흐름도	30
[그림 13] 2차 분류 및 조정 작업 흐름도	31
[그림 14] 보령시 Quickbird 위성영상	33
[그림 15] KLIS자료를 사용한 트레이닝 벡터	33
[그림 16] 1차 분류 결과	33
[그림 17] 2차 분류 전 segmentation 결과	33
[그림 18] R band + GLCM variance + NDVI replacement band	34
[그림 19] RGB 퀵버드 영상	34
[그림 20] 90미터급 수치고도자료(DTM)	35
[그림 21] 4개 밴드의 multispectral image	35

[그림 22] 전정색 분광영상(panchromatic) image	36
[그림 23] 다목적 실용위성 영상의 분석 처리흐름도	36
[그림 24] 융합된 정사영상을 실제 RGB값으로 표현한 것	37
[그림 25] 융합된 정사영상의 가상색채형	38
[그림 26] 다목적 실용위성의 분류흐름도	38
[그림 27] 훈련지역의 선택 프로세스 화면	40
[그림 28] training vector 를 AOI에서 저장 생성하는 화면	41
[그림 29] 최종적으로 키크버드 영상으로 분류된 결과	42
[그림 30] 대천3동 위성영상	43
[그림 31] KLIS data (tentative ground truth)	43
[그림 32] 대천 3동의 분류결과	43
[그림 33] 5class 다목적실용위성 2호 영상 분석결과	47
[그림 34] 다목적실용위성 2호 영상의 16클래스 분석결과	48
[그림 35] 다목적실용위성 2호 영상의 16클래스 분석결과(대천3동)	50
[그림 36] 주요 수치 주제도의 경계 불일치 사례	53
[그림 37] 환경부 중분류 토지피복도와 KOMSAT-2 위성영상분석결과와의 비교 ...	54
[그림 38] KOMPSAT-2 결과 : 대천3동	55
[그림 39] KOMPSAT 분석결과와 주요 주제도의 비교	56
[그림 40] 초지와 숲의 분해	57
[그림 41] LiDAR와 고해상도 영상을 결합한 DTM의 산출	59
[그림 42] 빌딩의 추출	60
[그림 43] 보령시의 행정구역별 토지피복에 기인한 CO ₂ flux	62

제1장 서론

1.1 연구 배경

우리는 급격한 기후변화의 시대에 살고 있다. 이러한 기후변화는 인간의 활동에 의한 온실가스의 증가에 의한 것이라는 설이 현재 지배적이지만, 지구가 지금까지 겪어 왔던 장기간에 걸친 기후변화에 속한 자연적인 현상이라는 설도 있다. 인위적이든 자연적이든, 분명한 것은 지구 기온의 상승률이 매우 급격하다는 것이다. 전 세계적인 기후변화는 생태계, 산업·경제 및 생활양식 전반에 영향을 미친다. UN 기후변화에 관한 정부간협의체(International Panel on Climate Change, IPCC)는 온실가스의 증가로 인해 지구 평균 온도가 지난 100년간 0.74°C 상승하였으며, 해수면도 매년 1.8 mm씩 상승하였다고 분석하였다. 또한 이러한 기온 상승이 지속되어서 지구 온도가 2°C 증가할 경우 지구의 약 15~40%의 동식물이 멸종할 것으로 예측하였다.

이러한 지구온난화 문제의 근본적인 대책을 찾기 위해 온실가스에 대한 관측, 분석, 예측 등의 연구가 국내·외적으로 활발히 수행되고 있다(IPCC, 2001; WMO, 2004). 지구의 CO₂ 농도는 18세기 후반 약 280 ppmv 에서 1999년 367 ppmv로 31% 증가하였다. 이는 주로 화석연료의 연소와 산림의 파괴에 따른 탄소 유기물의 산화에 의한 것으로 지난 20년간 배출량의 대부분은 화석연료의 연소이며 나머지(10-30%)는 주로 토지이용의 변화 특히 삼림의 황폐화에 의한 것이다¹⁾.

1980년대 중반 이후 온실가스의 지속적인 농도 증가가 중대한 기후변화를 일으킬 가능

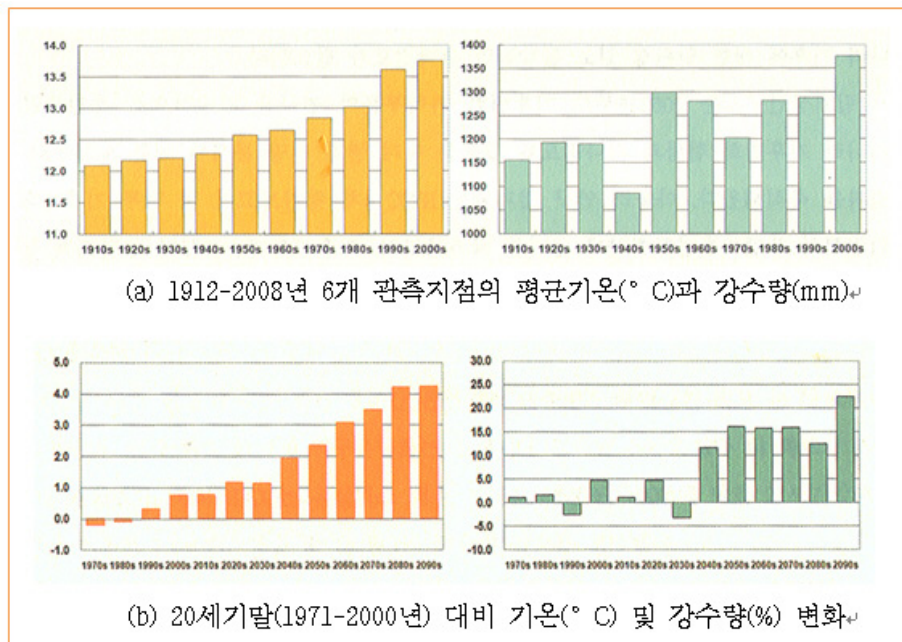
1) Green house gas는 이산화탄소 이외에 메탄(CH₄), 아산화질소(N₂O), CFCs가 포함된다. 메탄(CH₄)의 대기 중 농도는 1750년 이후 약 150% 증가하였다. 메탄은 습지와 같은 자연 발생원과 경작, 천연가스나 매립지와 같은 인위적인 발생원을 모두 가지고 있는 온실가스로 현재 메탄 배출의 반 이상이 인위적이다. 아산화질소(N₂O)의 대기 중 농도는 산업화에 의해 지속적으로 증가하였으며 1970년에 비하여 현재 16% (46ppb) 높아졌다. CFCs는 불소, 염소, 브롬 또는 요오드를 함유하고 있는 탄소화합물로서 대부분은 인간 활동이 유일한 발생원이다. 염소와 브롬을 포함하고 있는 할로카본은 성층권의 오존층 파괴를 유발하며 몬트리올 협약에 의해 규제되고 있다.

성이 크다는 경고가 학계로부터 제기되었다. 1988년 세계기상기관(WMO)과 UN환경계획(UNEP)이 세계의 과학자들로 구성된 UN 기후변화에 관한 정부간협의체(IPCC)를 설립하여 향후 기후변화협상을 촉진하는 과학적인 근거를 제시하였다. 1997년 일본의 교토에서 열린 유엔기후변화협약(UNFCCC) 당사국회의에서 『교토의정서』가 채택되었다. 교토의정서에서 선진국들(협약부속서1 국가; OECD 국가 대부분, 우리나라는 제외)은 1차 의무이행기간인 2008~2012년 동안 자국의 인위적 온실 가스 배출량을 1990년 수준보다 최소 5%를 감축하기로 합의하였고, 2001년 11월 모로코의 마라케시에서 개최한 7차당사국총회(COP7)에서 구체적인 『마라케시 합의』를 채택함으로써 장기간의 교섭을 통한 『교토의정서』의 골격이 비로소 완성되었다. 제13차 당사국총회에서는 post-2012 체제 논의를 위한 『발리 로드맵』이 채택되었다²⁾.

1999년-2005년 기간 안면도에서 관측³⁾된 온실가스 농도의 변동 분석(박기준 외, 2006)을 보면 하와이 마우나로아/ 일본의 료리/ 중국의 왈리구완 관측소에서 측정한 월평균 CO₂ 농도의 연변화와 같은 패턴으로 CO₂ 농도가 증가하고 있으며 다른 관측소에 비해 낮은 농도를 보이고 있다. 이는 전 지구적인 온난화가 우리나라에서도 일어나고 있음을 나타낸다. 우리나라의 경우 약 100년간(1912~2008) 6개 관측지점(서울, 부산, 인천, 강릉, 대구, 목포)의 평균기온 상승률은 1.7°C로 전 지구 평균기온 상승률($0.74^{\circ}\pm 0.03^{\circ}\text{C}$)보다 훨씬 높은 수치이다(국립기상연구소 기후연구과, 2009a). 1950년대 이후의 기온상승률은 20세기 전반에 걸친 상승률의 1.5배 이상이다(그림 1). 100년간의 평균 연 강수량은 변동성이 매우 크고, 겨울철의 강설이 온난화에 의해 강우로 바뀌는 비율이 높아지고 있다.

2) 「발리 로드맵」은 교토 의정서 상의 부속서 1 국가의 경우 '20년까지'90년 대비 25-40%를 감축하는 것을 목표로 정하였다. 또한 미국을 포함한 기타 선진국과 개도국간 post-2012 목표 설정을 위한 협상체제를 발족시키고 2008년 당사국총회에 중간결과를 보고하도록 하였다.

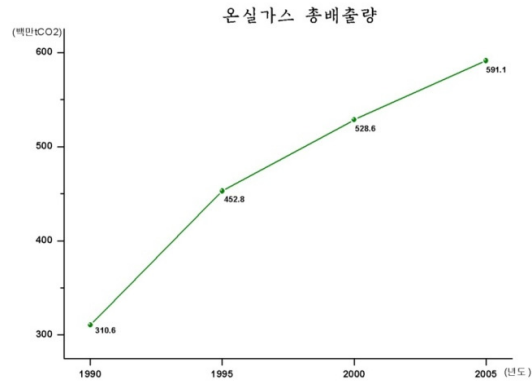
3) 세계기상기구(WMO) 지구대기감시관측(GAW)사업에 참여하여 지역급(regional) 관측소로 임무를 수행하고 있다.



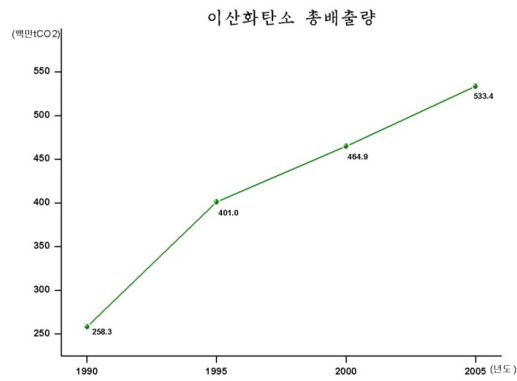
자료: (국립기상연구소 기후연구과, 2009b)

[그림 1] 우리나라의 기온과 강수량의 변화

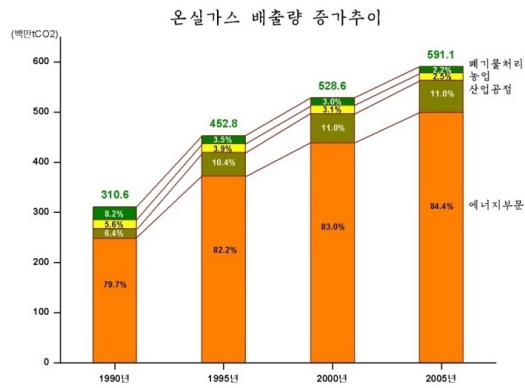
우리나라의 온실가스 배출량은 연간 약 6억 톤이며 그 중 CO_2 가 5억 톤(이상중·임정균, 2007)이다. 2006년 온실가스 배출량은 599.5백만t CO_2 로 전년 대비 0.9% 증가하였으며, 선진국의 온실가스 의무감축 기준연도인 1990년 배출량(298.1백만t CO_2)에 비해서는 2배 이상 증가한 것으로 나타난다(지식경제부, www.mke.go.kr, 국가 온실가스 배출통계). 1990년 이후 온실가스 배출량은 1990년 이후 연평균 4.5%의 비율로 증가 추세를 보이고 있으며, 1인당 온실가스 배출량도 지속적으로 증가하는 추세를 보이고 있다. 부문별 온실가스 배출량은 에너지부문이 84.3%, 산업공정부문이 10.6%, 농업부문이 2.5%, 폐기물부문이 2.6%를 차지하고 있는 것으로 조사되었다.



[그림 2] 우리나라 온실가스 총 배출량



[그림 3] 우리나라 이산화탄소 총배출량



[그림 4] 우리나라 부문별 온실가스 배출량 증가

우리나라의 경우 2013년 이후 교토의정서를 계승할 기후변화협약을 채택할 예정인 코펜하겐 총회(2009. 12)에서 기후협약 규제가 거의 확실시되고 있다⁴⁾. 이에 따라 온실가스의 배출목표에 대한 주기적 개선, 기후변화 완화 및 적응을 촉진하기 위한 정책 및 조치 등에 대한 부담이 예상된다. 기후변화 대응 정책은 기후변화 원인인 온실가스 배출을 완화(mitigation)하는 대책⁵⁾과 기후변화로 인한 피해와 영향의 취약 분야를 확인하여 피해를 최소화하는 적응대책(adaptation)⁶⁾의 두 가지가 상호 연계되어 균형을 이루어야한다(한화진 외, 2005; 2006; 2007). 이를 위해서 기후변화로 인한 위험의 현 상황을 토대로 미래에 발생할 변화를 예측하고, 취약성을 줄이기 위한 적절한 계획이 필요하다⁷⁾.

우리나라에서는 기후변화 대응에 있어 기후변화 영향과 취약성 및 적응에 대한 이해가 아직도 부족한 실정이지만, 최근 적응에 대한 중요성을 인식하기 시작하여 2008년부터 수행될 『제4차 기후변화협약 대응 종합대책』에는 적응이 주요 과제로 포함되어 국무조정실이 적응, 완화, 협상 분야에 대해 2030년까지의 국가 중장기계획을 마련할 예정이다. 또한 2008년 8월 우리나라 정부는 기후변화에 대응하는 돌파구로서, 미래의 신성장동력을 창출하기 위한 새로운 비전인 '저탄소 녹색성장⁸⁾'을 새로운 60년의 국가비전 및 패러다임으

- 4) 우리나라의 온실가스 배출량은 세계 10위권에 속하여 감축의무 부담에 대한 압력이 상승하고 있다. 유럽의 최고 에너지·기후 연구기관으로 유럽연합(EU)과 유엔 등의 기후변화정책에 적잖은 영향력을 행사하고 있는 기관인 독일 부퍼탈(Wuppertal)연구소는 우리나라를 '절대적이고 구속적 감축목표 설정 국가(Absolute and Binding Emission Limitation Target)'로 분류하고, 한국의 경우 비감축조치 대비 20~40%의 배출 감축 캡이 씌워질 수 있다는 분석을 제시하였다. 또한 교토의정서 상 의무감축국이 아니면서 온실가스 다 배출 국가인 한국·중국·인도 등 주요 6개국 중 한국만 독자 규제가능성이 매우 희다고 분석하였다(국무조정실 기후변화대책기획단).
- 5) 유럽 각국은 에너지 소비억제 및 온실가스 감축을 위해 탄소세 또는 기후변화부담금을 도입하고 있다. 독일은 1999년에 환경세를 도입하였고, 영국은 기후변화 부담금(Climate Change Levy)을 도입(2001)하고, 감축목표를 달성한 기업에게 기후변화부담금의 80%를 면제해주고 있다. EU와 네덜란드, 프랑스 등은 대중교통 이용 및 녹색교통 활성화 정책을, 프랑스는 CO₂ 배출 할인·할증제 정책을 취하고 있다.
- 6) 기후변화협약에서의 적응 관련 조항으로는 기후변화협약(UN Framework Convention on Climate Change : UNFCCC)에 '기후변화협약의 궁극적인 목적은 대기 중 온실가스 농도의 안정화를 달성하는 것이며 안정화 수준 및 기간에 있어서는 생태계가 자연적으로 기후변화에 적응할 수 있고, 식량생산에 위협이 없어야 하며 경제성장은 지속 가능한 방식으로 진행되어야 한다'고 명시되어 있고 협약 4조 1항 (b)에 '기후변화에 충분한 적응을 용이하게 하는 조치를 포함한 국가적 및 지역적 계획을 수립·실시·공표하고 정기적으로 갱신한다'라고 명시되어 있다.
- 7) 그러나 지금까지 국제사회나 각 국의 논의와 정책은 기후변화 완화에 무게가 실렸다. 국제사회에서 기후변화로 인한 영향과 적응(adaptation)에 대해 본격적으로 논의하기 시작한 것은 2001년 발간된 'IPCC 제3차 보고서' 이후부터이다. 특히 13차 기후변화협약 당사국총회(COP13)에서 '적응'에 관련된 내용이 담긴 발리 로드맵이 채택되면서 '기후변화에 대한 적응'이라는 주제는 포스트 교토(post-2012년)에서 주요 의제가 될 전망이다.
- 8) "녹색성장"은 UNEP, "Green Jobs" 보고서에서 언급되기 시작하였다. 녹색성장은 파괴된 생태계를 복원하는 등 생태(ecology)를 앞세우고, 신·재생에너지 등을 포함한 녹색기술 개발과 환경오염을 획기적으로 저감시키는 환경개발기술 등을 통해서 환경(environment) 오염을 줄이고 개선시키는 것을 동시에 추구하는 경제

로 제시하였다. 정책의 제도적인 틀을 갖추기 위해 2009년 2월 『녹색성장위원회』가 출범하였고 『저탄소 녹색성장 기본법(안)』이 입법되어 현재 국회에 계류 중이다. 녹색성장을 위한 우리나라의 주요사업은 4대강 살리기 및 주변 정비사업, 그린 카 및 청정에너지 보급, 자원재활용 확대, 그린 홈 등이다9).

녹색성장위원회는 『국가 중기 온실가스 감축 목표』로 BAU 대비 30% 감축안을 선택하였다. 그 내용은 2.44 억 톤CO₂을 감축한다는 것으로, 이는 2005년 대비 4% 감축한다는 것이다. 즉 2005년 5.94 억 톤CO₂의 배출량을 2020년 5.69 억 톤CO₂으로 줄인다는 것이다10). 이러한 온실가스 감축은 우리나라의 경제에 큰 부담을 안길 것으로 예측된다11). 기후변화협약에 따른 기업 경영 환경의 변화는 화석 연료 소비가 제약으로 인한 경제성장의 둔화(김세완·이기훈, 2008), 비관세 장벽 강화12)로 인한 수출환경 악화, 에너지 단가 인상, 공장의 신·증설 제약13) 등이다.

(economy) 성장이다(김은식 2009; 김정인 2009). 우리나라 정부는 『녹색성장기본법(안)』에서 녹색성장을 ‘에너지와 자원을 절약하고 효율적으로 사용하여 기후변화와 환경훼손을 줄이고 청정에너지와 녹색기술의 연구개발을 통하여 새로운 성장동력을 확보하며 새로운 일자리를 창출해 나가는 등 경제와 환경이 조화를 이루는 성장’이라고 정의하고 있다.

- 9) 정부는 2009년 1월 6일 『일자리 창출을 위한 녹색 New Deal사업 추진방안』을 발표하였고, 2월 16일에는 대통령 직속 녹색성장위원회가 『저탄소 녹색성장 추진방안』을 발표하였다. 한국형 녹색뉴딜의 특징은 취약계층에 대한 사회안전망 성격이 강해서 재정소요액 대부분을 녹색건설 및 토목사업에 배정하여 단기적 경기부양과 취약 계층의 신규 일자리 공급에 주력하고 있다(도건우, 이지훈, 신창목 2009)는 점이다. 녹색뉴딜예산은 국토정비 관련 사업의 비중이 압도적으로 9개 핵심사업에 2012년까지 50조원의 재정을 투입하여 약 96만개의 일자리를 창출할 계획이다. 9개 핵심사업별 재정투입계획규모를 보면, 4대강 살리기에 36.8%, 녹색교통망확충에 24.5%가 할당되어 국토정비 관련 사업의 비중이 61.3%를 차지한다.
- 10) 2020년 인구전망치인 4,930만 명이 모두 2,000cc인 소나타를 이용할 경우, 서울부산을 24.7회 왕복할 때 발생하는 이산화탄소의 양과 같다.
- 11) GDP는 -0.49%의 감소를 보일 것으로 예측되며, 가구당 부담액은 21.7만원이 될 것으로 예측하고 있다. 정부는 배출권 거래제, 탄소세의 도입을 통한 녹색성장을 통해 2009~2013년 107조원 투입하면GDP의 3.5~4% 증대가 가능할 것으로 기대하고 있다.
- 12) EU는 자동차 이산화탄소 배출 규제를 시행하고 있는데 EU 자동차업체는 신규 등록되는 승용차의 CO₂ 배출량을 2008년까지 1995년 대비 25% 감축하는 자율협정을 체결한 바 있다. 이에 따라 우리나라는 2009년까지 신규자동차의 CO₂ 배출량을 현행 186g/km에서 140g/km까지 감축하기로 EU와 협약을 체결하였다. 이러한 규제는 반도체 산업의 PFCs(PerFluoroCompounds, 과불화화합물) 배출 규제로까지 이어져서 세계반도체협회는 '99년 4월 이탈리아 카멜에서 유럽, 일본, 한국, 미국 등의 반도체 기업이 PFCs 배출량을 2010년까지 '95년(한국은 '97년) 기준으로 10% 이상 감축하도록 합의하였다.
- 13) 온실가스 총량 증가를 유발하는 신·증설 등의 기업활동이 제약되며, 온실가스 총량 규제 시 CO₂배출 한도로 인해 기업의 성장이 제한 받게 된다. 따라서 온실가스를 직접 줄이거나, 외부에서 배출권을 구매하지 못하면 생산활동 제한이 우려된다.

1.2 연구의 필요성

우리나라는 에너지 다소비형 경제구조를 가지고 있으며 에너지 해외 의존도가 매우 높은 나라로서, 국내총생산(GDP) 대비 에너지 투입비율은 일본의 세 배에 달한다. 세계 에너지 시장의 불안정, 2013년 예상되는 '온실가스감축 의무화'라는 상황에 대응하기 위해서는, 미래의 경제적 발전과 환경과의 조화를 이루어 넷 이산화탄소 저감정책이 필요하다.

이를 위해서는 이산화탄소 저감정책의 기본 데이터인 탄소배출 inventory가 구축되어야 한다. IPCC에서는 국가별, 지자체별 탄소배출 inventory 작성을 위한 가이드라인을 제시하고 온실가스의무감축국가에 대해서는 주기적인 탄소배출 인벤토리의 제출을 요구하고 있다. 그러나 우리나라의 경우 국가 탄소배출 인벤토리의 구축은 초기단계이며, 그 기초인 지자체별 탄소배출 인벤토리 구축은 미미한 실정이다.

탄소배출 인벤토리 구축을 위해서는 지역별 이산화탄소 배출량이 추정되어야 한다. 환경 지리정보분야에서 대기정보와 관련된 다양한 GIS 자료가 구축이 되어왔으나 대부분은 CO₂ 보다는 NO_x, SO_x, O₃ 등에 대한 연구가 대부분이다. 이산화탄소 저감에 대한 다양한 기술적 노력에도 불구하고, 정확한 CO₂ 배출량을 산정하고자 하는 방법론은 대상에 따라 상이한 프로세스를 견지하고 있다. 점 오염 및 비점오염원관련 배출 모형을 위한 환경부의 데이터베이스화 시스템은 여러 기관의 통계자료를 활용하여 격자단위의 자료로 전환하는 절차를 거쳤지만, 거기에 KLIS자료 및 위성영상 자료를 결합하여 검증하는 체계를 갖지는 못하고 있다.

현재 우리나라에서 발표하고 있는 국가 또는 온실가스 배출량은 지역 내에 투입된 에너지량 또는 에너지 소비량을 산출하고 이를 IPCC의 에너지량의 이산화탄소 환산식에 적용하여 추정하는 방식을 취하고 있다. 이러한 방법론은 국가, 대도시의 경우 데이터의 획득이 쉽고, 계산이 간단하다는 장점이 있다. 그러나 이 방법론은 토지이용에 따른 자연적 배출량과 흡수량을 간과하고 있다는 치명적인 약점이 있으며 지방 중소도시 및 읍면동 등 하위 레벨의 행정구역 단위에서는 그 적용이 매우 힘들다거나 불가능하다는 약점을 지니고 있다.

따라서 이를 보완할 수 있도록 국가, 광역지자체, 시·군, 읍면동 단위에 모두 적용할 수 있으면서 자연적 배출량과 흡수량을 포함하는 CO₂ 배출량을 추정할 수 있는 방법론의 개발이 필요하다. 이에 적합한 방법론 중 하나가 토지피복·이용 정보를 이용한 CO₂ 배출량·흡수량의 추정방법으로 remote sensing과 GIS 기법이 이용된다.

1.3 연구 목적

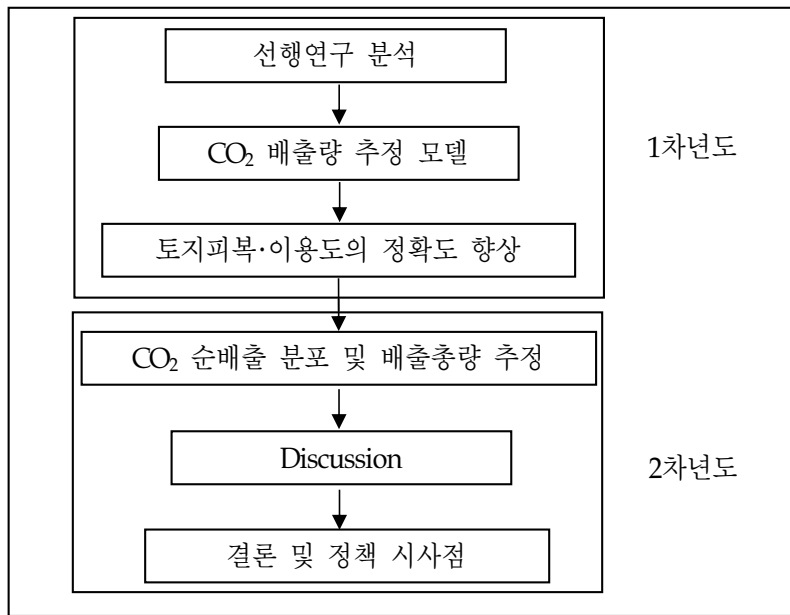
본 연구의 목적은 충남의 보령시 지역을 사례로, 토지피복·이용 정보를 이용하는 방법론을 통하여 행정구역 단위 이산화탄소 순 배출량을 추정하고 순 배출량분포도를 작성하는 것이다. 이러한 방법은 연구지역을 하나의 생태계로 인식한다는 점에서 기존의 탄소배출량 방법론과 차별화된다.

구체적인 연구내용은 크게 3단계로 구분된다. 첫째, 고해상도 위성영상과 디지털 지적도를 이용하여 보다 정밀한 토지피복·이용도를 작성한다. 둘째, 각 토지피복·이용별 배출·흡수계수를 기존 연구와 사례지역 조사(field work)를 통하여 산출한다. 셋째, 산출된 토지피복·이용도에 각 토지피복·이용별 배출·흡수계수를 적용하여 CO₂ 배출량을 추정한다.

이상에서 추정된 CO₂ 배출은 면 오염·흡수원으로부터의 추정량이며, 이에 기존의 점 오염원, 선 오염원의 CO₂ 배출량을 합산하면 연구지역의 CO₂ 순 배출량 및 분포 지도 작성이 가능해진다.

본 연구는 2년간(2009, 2010) 연구로 수행되며, 2009년에는 위의 첫 번째 단계인 고해상도 위성영상(Quickbird, KOMPSAT-2)과 디지털 지적도를 이용한 토지피복·이용도의 정확도 향상에 초점을 맞춘다. 2010년에는 두번째 단계로서 토지피복·이용별 배출·흡수계수를 산정하고, 그 결과를 토지피복·이용도에 적용하여 연구지역의 CO₂ 순배출량을 추정하고 그 분포도를 작성한다.

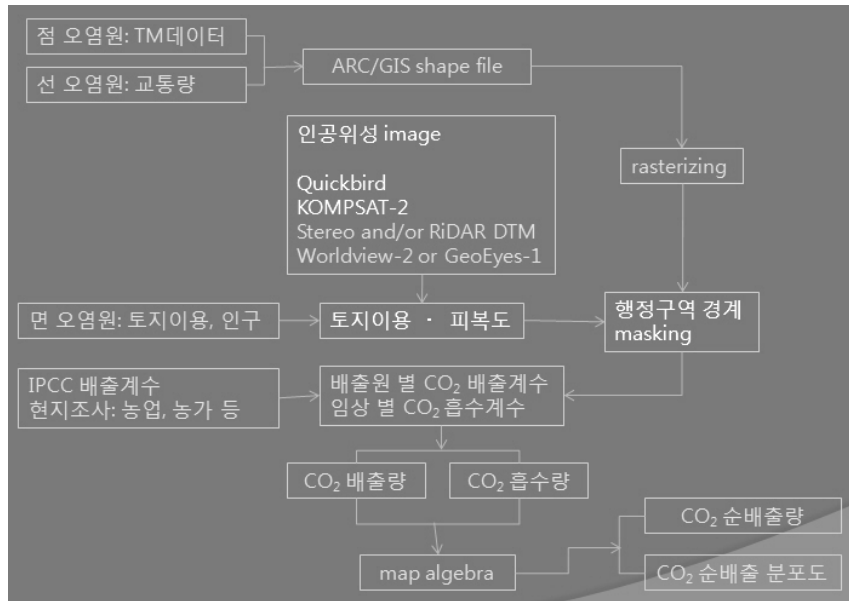
연구의 흐름은 우리나라의 이산화탄소 배출구조, 측정, 추정 방법 등에 대한 종합적 이론 고찰을 통하여 이산화탄소 배출모형 모델을 설정하고, 기존의 결과보다 정밀한 토지피복·이용도를 산출한다. 이후 2차년도에 각 토지피복, 토지이용별 CO₂ 배출계수를 산출하고 이를 적용하여 CO₂ 순배출량을 추정한 후 그 결과를 기존의 방법론, 이산화탄소 배출추정치와 비교 분석한다(그림 5).



[그림 5] 연구 수행 흐름도

1.4 방법론과 데이터

현행 이산화탄소 배출량 추정방법의 문제를 분석하고 이를 보완하기 위해 Remote Sensing과 GIS를 도입하였으며 이를 충남의 보령시를 대상으로 적용한다. 점 오염원 자료는 환경연구원의 "대기정보종합시스템"의 연간 배출량과 환경관리공단 (www.emc.go.kr)에서 통합 관리되고 있는 실시간 TM 데이터를 이용한다. 선 오염원자료는 교통량 자료를 이용하며 이는 교통연구원, 간선도로 교통량 자료와 교통연구원, 환경연구원의 1km 격자에 배분된 배출량 자료를 이용한다.



[그림 6] 이산화탄소 배출량 추정 모델

토지이용별 배출계수는 기존 배출·흡수계수 연구의 결과와 IPCC guideline에 따른 배출계수 산정을 위한 사례지역 조사를 통해 구득한다. 이용한 위성자료와 분석 프로그램은 Quickbird 위성자료 (70cm resolution, RGB band)와 KOMPSAT-2 (다목적 실용위성 2호; 1m resolution, RGB-IR band) 등 위성자료와 수치연속지적도(KLIS data)와 소프트웨어로는 Erdas Imagine 8.3, envi, ArcGIS 9.2, Idl 언어를 사용하였다.

1.5 연구의 차별성과 의의

기존의 CO₂ 배출량 추정 연구는 지역 내 에너지 투입량을 통한 추정, 산업연관 분석을 통한 지역의 배출량 추정이 주를 이루고 있다(자세한 사항은 2장 선행연구 참조)였다. 이러한 연구는 한 지역이 CO₂ 배출과 흡수가 순환되는 하나의 생태계를 이루고 있다는 사실을 간과하고 있다. 또한 이러한 방법은 시 군 수준에서는 가능할 수도 있으나, 그 하위 단위인 읍 면 동 수준의 단위지역에서는 배출량을 추정할 수 없다는 한계를 가지고 있다.

기존의 다른 연구들은 개별적인 인자들의 배출계수 추정 및 흡수계수 추정에 중점을 두고 있다. 또한 기후변화대응정책을 위해 서울, 부산 등 자치단체에서 각 지역의 CO₂ 배출

량 추정을 시도하고 있으나, 이들이 취하고 있는 방식 역시 지자체에 설치되어 있는 모니터링 장치의 기록, 또는 오염물질 배출시설에서의 CO₂ 배출량에 기반을 둔 지역 총 배출량 추정 방식을 취하고 있다. 이러한 방식은 오염물질 모니터링 장치가 대도시, 특히 수도권에 밀집되어 있고, 지방 도시에는 극소수의 모니터링 시설이 설치되어 있다는 점에서 한계를 갖고 있으며, 배출시설에서의 CO₂ 배출량 방식을 통한 방법 역시 위에서 언급한 기존의 연구가 갖는 한계를 극복할 수 없다.

본 연구는 수치 연속지적도의 토지이용자료와 고해상도 영상의 분류기법을 융합하는 방법을 취한다. 이는, 지방 시군 지역 및 하위 행정단위 CO₂ 배출량을 산정하기 위한 기초 입력자료로서 한 지역의 토지피복이용도를 구축하고, 각 토지피복이용 분류별 배출계수 및 흡수계수를 이용/산출하여 지역 생태계의 CO₂ 순배출량을 추정하고자 한다. 이러한 방식은 시군 지역의 하위 행정단위의 CO₂ 순배출량의 추정을 가능케 한다.

이를 통해 지방자치단체에서 기후변화대응정책(탄소 inventory, 탄소 배출권, CDM)과 관련 토지이용·피복 관련 계획을 작성하는 데 저비용·고효율적인 방법론 모형 수립을 제시한다. 향후 충남 전역의 행정구역별 이산화탄소 배출량 추정을 위한 방법론의 제공함으로써, 저탄소 녹색성장 정책의 기초 자료의 제공, 향후 예상되는 오염배출량 규제 및 이산화탄소 거래 제도를 대비하기 위한 기본 정책자료를 제공하는 데에 그 의의가 있다.

또한 부수적으로 지방자치단체에서 토지피복관련도 관련 지침의 작성, 바이오매스 생태지도의 작성 등에서 기존데이터의 활용가능성과 한계점을 파악함으로써, 적은 비용으로 원하는 모형을 수립할 수 있는 파생효과를 기대할 수 있다.

제2장 선행연구 및 문헌고찰

세계 각국은 지구온난화 대책의 일환으로 탄소감축 대책을 수립하고 있다¹⁴⁾. 또한 기업들 역시 환경시장의 중요성을 인식하고 있으며, 세계 환경산업 시장¹⁵⁾의 규모는 2008년 현재 약 1조 3,000억 달러로 의약산업 및 항공 산업의 시장규모를 초월하며, 2020년에는 약 2조 7,000억 달러 규모로 성장할 것으로 예상된다(독일의 컨설팅 회사인 Roland Berger).

온실가스 배출자료목록(Emission Inventory)은 기후변화협약 참여협상 및 저감대책 수립에 중요한 기초자료이다. 이를 구축하기 위한 기초자료로서 온실가스의 배출량 추정이 필요하다. 우리나라에서는 현재 에너지 분야를 제외하고는 온실가스의 배출원과 배출량에 대한 조사가 상대적으로 부족한 상태이다.

온실가스 및 CO₂ 배출량 추정과 관련된 연구들은 크게 6개로 구분된다. 첫째는 에너지 투입량/소비량에 의한 추정(최충규 1993; 정현식 1997; 박준영·허은영 2002; 최한주·이기훈 2002)이며, 둘째는 산업연관분석을 이용한 CO₂ 배출량 추정(박호진 2006)이다. 셋째는 발전, 폐기물 소각 과정에서의 CO₂ 배출(정재학 외 2006, 장영기 외 2007)이며, 마지막으로 RS와 GIS를 이용한 연구로서 이산화탄소 집중이 사람에 의한 활동에 의한 것뿐 아니라 그 지역의 자연지리적, 기상학적 요인에 의한 것이라는 문제의식에서 출발한 Koerner와 Klopatek (2002)의 연구, 녹지에 의한 CO₂ 흡수를 연구한 김명화(2005)의 연구가 대표적이다.

14) 일본은 2007년부터 2050년까지 저탄소 사회로 가기 위한 온난화 종합대책에서 2020년까지 온실가스 배출을 2005년 대비 14% 감축 계획을 수립하면서 온실가스 배출량 거래제를 도입하고, 태양광 발전량을 2020년까지 10배 확대키로 하였다. 또한 프랑스는 2020년 이후 건설하는 모든 건물에 신재생 가능 에너지 발전장치를 의무화하고, 2020년부터는 발전소의 화석연료 사용을 없앨 계획이다. 영국은 2050년까지 1990년 대비 온실가스 배출을 80% 줄이고 2020년까지는 26~32% 감축 계획. GDP는 늘어나고 자원의 소비량은 줄어드는 이상적인 관계를 보이고 있다.

15) 미래의 경영전략은 온실가스를 저감하는 탄소 경영체제가 되어야 할 것이며, 이것이 일류 기업의 핵심적인 경영전략이다. Google, Netscape, Amazon.com 등을 만들어 냈던 벤처 캐피탈 회사인 Kleiner Perkins도 지구온난화의 주범인 이산화탄소를 줄이는 기술을 가진 회사에 1억 달러를 투자한 것이 그 예이다.

2.1 에너지 투입량에 의한 추정 연구

이 연구들은 지역 내 에너지 투입량/소비량 데이터를 이용하여 IPCC 배출계수를 곱하는 방식을 취한다. 에너지 소비량은 에너지경제연구원에서 발간된 에너지총조사보고서 통계를 이용한다(박준영·허은녕, 2002; 에너지경제연구원, 2004; 정현식, 1997; 최충규, 1993; 최한주, 이기훈, 2002). 우리나라에서 적용하고 있는 IPCC Guideline의 Tier 1 배출계수 값은 연소기술을 고려하지 않고 에너지 소비에 대한 배출계수를 적용하는 기본 방법론으로 연소기술과 실제 사용하는 에너지원의 특성을 반영하지 못하므로, 실제 배출량과 상당히 다른 결과를 초래할 가능성이 높다. 따라서 에너지사용 부문의 연료 특성과 연소기술별로 세분화된 배출계수를 개발하여 이를 적용하는 Tier 2, 3 방법을 사용하기 위해서는 우리나라 고유의 배출계수를 개발하여야 할 필요가 있다.

2.2 산업연관분석을 이용한 CO₂ 배출량 추정

산업연관분석을 이용한 방법론은 산업의 에너지 소비로 인한 CO₂ 배출량을 줄이려면, 어떤 산업이 CO₂를 얼마나 배출하는지, 어떤 요인들이 산업의 CO₂ 배출량 변화에 영향을 미쳤는지를 분석할 필요가 있다는 점에서 출발하였다. 그리고 지금까지 우리나라의 산업별 CO₂ 배출량 추정은, 해당 산업의 직접 에너지 소비량에 IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change) 배출계수를 곱하는 방식이었으며, CO₂ 배출량 변화의 요인 분석도 대부분 이렇게 추정한 직접 배출량을 기준으로 수행하였는데 이러한 방식의 분석결과를 토대로 한 CO₂ 배출량 감소 정책은 실효성이 떨어질 수 밖에 없는데, 이는 그 산업활동에 간접적으로 필요한 에너지의 소비량이 제외되어있기 때문이라는 문제 인식도 중요한 역할을 하였다.

CO₂ 혼합 산업연관모형을 이용한 분석은, 산업활동에 투입된 직접 에너지는 물론 간접 에너지로 인한 배출량까지 추정할 수 있는 장점이 있다(Casler and Blair, 1997; Miller and Blair, 1985). 대표적인 관련 연구로는 EDEN의 1990년과 1995년 환경분석용 산업연관표를 이용하여 한·중·일의 산업구조, 에너지사용실태, CO₂와 CO₂ 발생량, 각국의 산업구조 차이가 유발시키는 환경에 대한 영향을 분석한(김윤경, 2002)의 연구와 환경 혼합 산업연관모형을 이용 수출입에 체화된 CO₂ 배출량을 추정한 (최한주·이기훈, 2004)의 연구가 있다.

관련 연구로는 산업부문별 CO₂ 배출량을 새로운 에너지열량환산기준 및 에너지 발란스

개정안을 이용, 산업연관표를 분석함으로써 1990년부터 2000년 동안의 CO₂ 배출량 변화 및 변화요인을 분석한 박호진(박호진, 2006)의 연구가 있다. 또한 이와 유사한 방법이지만 각 산업별 직·간접 CO₂ 배출량을 CO₂ 혼합 산업연관모형(CO₂ Hybrid Input Output Model)을 만들어 추정하고, 산업연관모형을 이용한 구조분해분석(input output structural decomposition analysis) 기법을 이용하여 추정된 1990년과 2000년의 각 산업별 직·간접 CO₂ 배출량의 변화 요인 분해한 최한주와 이기훈(최한주, 이기훈, 2006)의 연구가 있다.

건축물의 환경부하 산정을 위해 김대희(김대희, 2007)는 실제 분석대상 공동주택을 선정하고 건설자재 생산단계에서 환경부하 원단위 산출기법을 산업연관분석, IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)가 추천한 탄소배출계수를 이용하여 건설 단계에서 수행되는 각각의 공종별 내재에너지(embodied energy)와 지구온난화 기준물질인 이산화탄소의 배출량을 산출하였다.

유사 연구로 우리나라 전체 화석연료의 1/4 이상을 소비하는 건설, 건축 산업부문에서 건축물의 건설, 유지관리, 해체 및 재활용의 전체 라이프사이클 과정에서 환경에 미치는 부하를 정량적, 정성적으로 분석한 연구가 있다. 이에 착안하여 장성문 등(장성문 외, 2007)은 수도권에 건설되어 있는 52평형 아파트 단위세대를 기준으로 LCA 분석을 통하여 환경부하가 유지보수 단계에서 최고치에 이름을 밝혔다.

2.3 발전 및 폐기물 소각에 의한 이산화탄소 배출량 추정

우리나라의 경우, 에너지부문이 온실가스 총 배출량의 82.7%를 차지하여(산업자원부 자원정책실, 2006) 에너지 부문이 온실가스의 주 배출원이다. 그 중 발전 산업은 우리나라 CO₂ 배출량의 20% 이상을 차지하여, 화석연료의 소모량과 이에 따른 CO₂ 배출량을 monitoring하는 것이 매우 중요하다. 발전소의 CO₂ 가스 배출량에 영향을 주는 요소는 발전방식(열사이클의 종류), 사용연료 및 연소율, 설비의 열효율이며, 발전부문의 CO₂배출량은 1990년 3,847만 톤, 2001년 1억 2,262만 톤, 2015년에는 약 1억 6,248만 톤이 배출될 전망이다(이상중·임정균, 2007). 에너지부문의 온실가스 배출원에 대한 연구는 선진국을 중심으로(Garcia and Zorraquino, 2002; Hartikainen et al., 2004; Hondo, 2005; Kartha et al., 2004; Wijayatunga et al., 2004) 이루어졌다.

우리나라는 전의찬 등(2006)에 의한 연구(Shin et al., 2005; 전의찬 외., 2006)가 대표적이며 이 분야의 연구는 많지 않다. 관련 연구로 유연탄을 사용한 발전소를 대상으로, 사용하

는 연료의 특성(발열량과 탄소함량 등)과 연소시설의 산화율을 이용하는 IPCC Worksheet 방법, GC나 NDIR 등 측정장치를 이용하여 이산화탄소 농도를 측정하고 여기에 배기 가스를 고려하여 배출계수를 개발하는 방법, TMS(Tele-monitoring System)의 산소 및 유량 측정값을 이용하여 배출계수를 추정하는 방법 등 3가지 방법으로 이산화탄소 배출계수를 개발하고 비교한 정재학 외(정재학 외, 2006)의 연구가 있다.

권영성 등(2007)은 발전분야 중 유연탄 및 LNG를 연료로 사용하는 2개 사업장에 연속 측정이 가능한 CO₂ 측정기를 설치하여 자료를 수집하여 유연탄의 경우 IPCC 계수와 -0.73%, LNG의 경우와 2.13%의 차이가 났는데, 이는 사용된 발열량의 차이이며 이 차이가 사업장 고유의 특성이라고 주장하였다. 이상중과 임정균 (2007)은 발전소의 성능시험 결과 얻어지는 입출력 특성계수와 IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change)의 온실가스 추계 방법론을 이용하여 순시 발전출력에 따른 CO₂ 대기배출량을 계산하는 방법을 제시하였다.

전의찬 등(2007)은 2007년의 연구에서 무연탄을 사용하는 화력발전소를 대상으로 소비연료의 원소분석 및 열량분석에 의한 이산화탄소 배출계수와 배기가스 분석에 의한 이산화탄소 배출계수를 개발하였다. 또한 유연탄 화력발전소에 대한 선행 연구 결과(전의찬 외, 2006), IPCC. 기본 배출계수(26.8 kg/GJ), US EPA, (US EPA)(97,500kg/TJ)의 배출계수와 비교 분석도 행하였다.

폐기물소각처리 과정에서 배출되는 온실가스물의 주 배출물질인 이산화탄소에 대한 연구는 IPCC default method 에 의하여 이산화탄소의 배출량을 산출하고, 1997년과 2005년의 폐기물 소각 처리량을 이용하여 이산화탄소의 배출계수와 배출량의 변화를 분석한 장영기 등(장영기, 2007, 2000)의 연구가 대표적이다.

한국대기환경학회(한국대기환경학회, 2000a, b), 환경관리공단(환경관리공단, 2002, 2003) 등은 폐기물매립, 소각, 하폐수 처리 등 폐기물 부문에 대한 온실가스 배출량 조사에 관한 연구를 진행하였으나 매립 부문에는 아직도 신뢰도가 높지 않은 상태이다.

유사한 연구로 연소 및 오염물질 배출 시설의 탄소배출량 추정에 관한 연구가 있다. 이들 연구로는, 대기 배출원 사업장 정보를 토대로 SOCO₂(Source Data CO₂ Analyst)를 개발하여 이를 이용하는 Bottom-up 접근방법과, 직접적 방법인 배출원 배출구에서 이산화탄소의 농도를 직접 측정한 후 배출계수, 배출량을 산정하는 방법을 이용하여 IPCC 값과 비교 분석한 차준석 등(차준석 외, 2005)의 연구가 있다. 연구 결과 지역별로 총 CO₂ 배출량 중 충청남도 지역에서는 24.6%를 배출하였고, 경상남도 지역이 22.5%,를 배출하였는데 이

들 지역의 경우는 유연탄이 이산화탄소 배출에 가장 크게 기여하였다.

김홍록 등(2007)은 연속자동 측정방법을 통하여, 유연탄, LNG를 사용하는 연소시설에 대해서 CO₂ 배출량을 산정하고 이를 이용하여 CO₂ 배출계수를 개발하였다. 연구결과, 유연탄 사용 사업장은 평균 88,726 kg/T로, 2006 IPCC Guideline Default값에 비하여 6.21% 낮으며, LNG 사용 사업장은 평균 56,971 kg/T와 평균 55,012kg/T로 IPCC Default 값과 비교하여 측정기의 오차범위 (2 %) 내에서 일치하는 결과를 얻었다.

2.4 축산, 농기계, 가정부문에서 배출되는 온실가스 배출량 추정

온실가스 배출원 중 축산부문에서 발생하는 온실가스 배출량을 추정하기 위해 (장영기 외, 2004)는 농가 가축사육실태 설문조사(축산연구소, 2003)의 설문자료 중 분뇨처리 실태 설문 결과를 반영하여 배출량을 산정하였다. 축산부문을 분뇨처리와 장내발효로 나누어 2001년 온실가스(CH₄, N₂O) 배출량을 산정한 결과 분뇨처리에서 메탄은 약 140Gg 아산화 질소는 약 3.6Gg 이 배출되는 것으로 추정되었다.

대도시 지역의 대기질을 평가하고 관리하기 위해서는 비도로 오염원¹⁶⁾의 정확한 대기오염 배출량 산정과 현황 파악이 필요하다는 인식에서 출발하여(신문기 외, 2003)는 농기계에서 배출되는 온실가스 배출량 산정 및 배출계수 추정방법을 개발하고 그 배출량을 산정하였다.

도시가스보일러는 도시 지역을 중심으로 광역적으로 설치되어 있는 오염원으로 개개의 오염 정도는 크지 않지만 그 숫자가 대규모¹⁷⁾인 관계로, 온실가스 감축을 위해서는 가정용 가스보일러의 배기가스에 대한 경제성 및 환경영향 평가가 필요하다는 관점에서 (최진호·강주명, 2008)는 가정용 가스보일러의 이산화탄소 배출량 예측모델을 개발하였다. 연구결과 도시가스보일러 1대는 시간당 4.67kg의 이산화탄소를 배출하는 것으로 예측되었다. 또한 신규로 설치되는 보일러의 효율을 1% 향상시킬 경우 2030년까지 약 2,500만톤의 이산화탄소 배출량이 저감될 것으로 기대하였다.

16) 기존의 국내 비도로 대기오염물질 배출량 산정에 관한 연구로는 환경부(김의홍 1995), 국립환경연구원(2001), 경기도(2000)의 연구가 있다.

17) 현재 국내에 1천만대 규모의 가정용 가스보일러가 보급되어 있고, 연간 1백만대 규모의 신규 설치가 이루어지고 있다.

2.5 RS와 GIS를 이용한 이산화탄소 배출량 추정에 관한 연구

Koerner와 Klopatek (2002)는 미국, Phoenix 메트로폴리탄지역의 이산화탄소 집중이 사람에 의한 활동에 의한 것뿐 아니라 그 지역의 자연지리적, 기상학적 요인에 의한 것이라는 문제의식에서 출발하여 건조 도시환경에서 국지적인 이산화탄소의 집중이 어떻게 인간의 활동에 의하여 영향을 받는가를 밝히고자 하였다. 이 연구는 연구지역의 CO₂ 배출원을 정량화 하였는데, 사람의 활동에 의한 CO₂배출량(차량, 발전소, 인간의 호흡에 의한 CO₂ 배출¹⁸⁾)은 정부와 NGO의 데이터를, 주요 토지이용 별(사막, 농업지대, 도시지역 등) 토양으로부터의 CO₂배출량은 실측하였다. 또한 토지이용 형태에 따른 토양으로부터의 CO₂ 배출량과 인간의 활동에 의한 CO₂ 배출량을 GIS를 이용하여 지도화하였다. 연구결과, 인간과 차량 운행이 도시지역의 CO₂ 배출량의 80%를 설명하는 반면, 사막 생태계 토양으로부터의 CO₂ 배출량은 미미한 것으로 나타났다. 토지이용 형태별로는 농업지역이 토양으로부터의 CO₂ 배출량의 61%를 차지하였으며, 인간의 활동에 의한 CO₂ 배출에서는 차량이 최대의 배출원(80%)이었다¹⁹⁾.

이 연구는 또한 탄소의 토양 내 저장(the soil carbon pool)의 중요성을 강조하는데, 토지 이용의 변화에 의해 토양 내 탄소량의 변화가 대기 중 CO₂의 집중에 중요한 변화를 야기시키기 때문이며, 또한 토양 내 탄소 저장량이 대기 중 탄소량의 2배를 차지하고 있기 때문이다(Falloon et al., 1998; Raich and Schlesinger, 1992.).

유사 연구로 인공위성자료를 이용한 환경영향평가(문현생 외, 1995), Landsat TM자료를 이용한 서남해 연안 습지의 시공간 변화 분석을 통해 인공위성자료를 이용한 습지의 시공간 분석은 전형적인 지도분석보다 현황파악 및 변화추이 분석에 매우 효율적임을 나타낸(이기철 외, 1997)의 연구가 있다.

2.5.1 토지피복을 이용한 온실가스 배출량 추정

토지피복지도²⁰⁾를 대기부문에 활용할 경우 미래의 도시계획에 의한 도시 내 녹지공원

18) 인간의 호흡에 의한 CO₂배출량은 31.5 mol CO₂/person/day로 추정하고 이를 지역의 인구 데이터에 적용하였다. 이 수치는 그 지역에서 생산 또는 수입되어 소비된 식품으로부터의 CO₂ 배출량을 의미하기도 한다. 쓰레기 매립지 역시 외부로부터 들어온 CO₂를 배출한다.

19) 인간의 호흡에 의한 CO₂ 배출량은 피닉스의 5개 발전소에서 방출하는 CO₂의 양과 같았다.

20) 지표면의 물리적인 형태를 생태학적 기준에 따라 조사, 분류하여 동질의 특성을 지닌 지역을 지도의 형태로 표현한 지도. 지표면의 현 상황을 가장 잘 반영하고 있어 환경부문을 비롯한 각 분야에서 현황을 파악하고, 현실을 반영한 여러 모델링의 기초자료로 활용되어 정책수립의 효율성, 과학성을 높이는데 많은 기

조성사업과 같은 지표면 토지이용의 변화에 따른 도시의 열 환경 변화와 식생분포에 따른 자연오염원과 CO₂ 등의 발생량 등을 추정할 수 있다. 식생분포도에 따른 실시간 자연배출량과 CO₂ 플럭스 산정 등은 추후 예견되는 대기 질 예보시스템 구축뿐만 아니라 지구온난화 물질 감시 시스템 구축에 필수적이다. 토지피복자료는 토지표면의 물리적 현황(지표면의 상태)을 나타내는 자료로 자연환경, 수질, 대기분야의 GIS시스템 구축 및 모델링 프로그램의 구동 시 필수적인 정보를 제공하며, 자연환경분야에서 사용하는 토지피복분류 자료는 생물서식공간의 추정 및 산소생산량, 이산화탄소 흡수량 등 환경통계의 작성에 활용될 수 있다. 대기오염모델링에서 토지피복자료는 대상지역을 차지하고 있는 물체들의 높이와 밀도, 표면상태가 중요한 분류기준이 되며, 가장 최근에 소개된 대기모델인 ISC3(Industrial Source Complex)에서는 도시지역, 활엽수림, 침엽수림, 초지, 경작지, 습지, 나지, 물의 8개로 구분하여 사용하였다.

지표면 토지피복지도내의 식생분포에 기인한 자연오염원의 배출량 산정에 관한 연구는 국내의 경우 극히 제한적으로, 국립환경과학원이 대기보전정책지원시스템을 통하여 자연오염원에 의한 월평균 배출량 산정을 위하여 토지피복지도를 활용하였다(삼성 SDS, 2003; 환경정책평가연구원, 2002).

외국의 경우는 이와 관련한 연구들이 다수 있는데, 미국 EPA (Environmental Protection Agency)는 지리정보시스템과 위성영상, 삼림과 농업 등의 데이터베이스인 BELD (Biogenic Emissions Landuse Database)를 구축하고, BEIS (Biogenic Emissions Industry System)라고 명명된 자연오염원 배출량 산출 프로그램을 이용하여 자연오염원의 배출량을 실시간 추정하고 있다(Yareood, 2003). 미국의 콜로라도 주립대학은 토지피복지도 내 자연식생 분포도를 이용한 육지의 CO₂ 배출량을 추정하였다(Denning, 2003).

유럽연합 (EU, European Union)의 핀란드, 스페인, 이탈리아 등은 SPARTACUS (System for Planning and Research in Towns and Cities for Urban Sustainability) 사업에서 100m×100 m 분해능의 토지피복지도와 GIS의 공간정보 인자를 활용하여 대기오염

여를 gs다. 토지피복지도의 분류체계는 활용 목적에 따라 매우 다양하게 설정되는데, 대기오염 모델링에서는 자연오염원에 의한 배출량 산정을 위하여 지표면의 상태(산림지역, 농업지역, 나지, 시가화 건조지역)가 중요한 인자가 된다. 지적공부 상의 이용상태가 아닌 자연상태의 지표면이 갖는 물리적 상태가 중요한 인자로 하천 둔치의 경우 하천제방 경계 안쪽을 확일적으로 하천으로 분류하는 것이 아니라 초지, 나지, 경작지 등 현재의 토지피복 상태를 나타내는 것이 중요하다. 자연환경부문에서는 생물 종의 보전과 서식처 확대를 위한 식생현황, 습지의 형태와 각종 개발과 자연재해로 인한 훼손현황 등을 파악할 수 있는 시가화 건조지역, 골프장, 채광지역, 기타 나지 등이 매우 중요한 분류항목들이다. 토지피복도와 수치지형도의 관계는 부록 참조.

및 소음의 모델링 연구를 수행하고 있다. 또한 멕시코 Los Alamos 국립연구소의 에너지 및 환경 분석 그룹은 멕시코 시 내부와 주변의 대기질의 변화를 예측하기 위해 위성영상, 지도, 항공사진 등의 수치토지피복지도를 이용한 지역 대기모형을 개발하였다(전성우, 2002).

우리나라의 경우, 대기오염을 관리하기 위해서는 대기오염 농도와 함께 대기오염 배출량의 공간분포가 정확히 산정되어야 한다는 문제의식에서 출발한 최진무(최진무, 1998)의 연구가 있다. 그는 토지이용 분류도를 고해상도(28.5m×28.5m)로 작성함으로써 이것이 배출량의 공간분포 산정과 대기오염농도의 추정에 미치는 영향을 파악하고자 하였다. 이 연구는 대기오염원에 따라 토지이용을 재분류하고 각 오염원이 공간적으로 중복되지 않도록 특히, 도로를 효율적으로 고려할 수 있는 고해상도의 토지이용 분류도를 작성한 후, 연료사용자료와 배출계수를 이용하여 각 오염원별 대기오염물질 총 배출량을 산정하였다.

문운섭과 구운서(2006)은 수도권을 중심으로 상세규모 해상도의 토지피복지도의 수치자료를 작성하고, 동시에 자연 식생 분포에 따른 실시간 CO₂ 플럭스를 경험적으로 계산할 수 있는 소프트웨어 (software)를 개발하였다. 또한 수도권 지역에서 최근 3년 (2002~2004) 중 열대야를 동반한 최고 기온 발생일인 2004년 8월 10에 대한 CO₂ 플럭스의 시간별 공간적 분포를 작성하였다²¹⁾. 그는 아리랑 2호 우주선 발사를 통해 최신의 고해상도 토지피복지도가 계절적 분포에 따라 작성된다면 CO₂ 플럭스 수지의 계절적 분포뿐만 아니라 실시간 변화도 가능할 것으로 예상하였다. 또한 실시간 기상 및 대기질의 감시와 예보의 적중률 향상에 기여할 수 있으며, 온실기체 배출량 산정을 위해 매우 유용한 자료로 활용될 수 있으며 향후 이들 연구 결과는 행정수도 도시계획과 같은 대규모 토지이용변화와 환경영향평가 사업, 기상 및 광화학 수치모델의 초기 입력자료 등에 유용하게 쓰일 수 있을 것으로 기대하였다.

환경부에서는 대기보전정책지원시스템을 통하여 자연오염원에 의한 월평균 배출량 산정을 위하여 토지피복지도를 활용(삼성 SDS, 2003)하였으며, 서울대학교 대기과학과에서는 경인지역의 자연배출량을 고려한 CO₂ 의 3km x 3km 크기의 공간분해능의 모델링을 위하여 토지피복지도를 활용하였다(전성우, 2002).

문운섭 등(2004)은 대기 질 모델링을 위한 상세규모 해상도의 토지피복지도를 작성하여 실시간 자연오염원 산정과 함께 자연발생적인 대기 질(오존, VOC(Volatile Organic

21) 수도권지역에서 일중 최고 및 최저 기온 발생일 때의 식생에 기인한 CO₂ 플럭스는 낮동안 광합성에 의해 정오에 약 18.5톤/km²가 소모되었으며, 밤 동안 탄소 동화과정의 호흡에 의해서는 자정에 최대 약 2.5톤/km²가 생성되었다.

Compound)) 의 변화를 평가할 수 있는 지도를 구축하였다.

관련 연구로는 인공위성 영상자료를 이용하여 토지피복을 분류한 (전성우, 1999)의 연구와 원격탐사와 GIS기법을 이용하여 민간통제구역인 DMZ와 그 부근에 대한 토지피복과 식생상태를 분석하여 산림, 농경지 및 초지, 개발지, 나지, 물의 5가지로 구분한(전성우 외, 1998)의 연구가 있다.

최근 도시지역 토지피복 변화에 따른 도시 열 환경 변화를 보다 세밀하게 파악하기 위해 국지규모의 수치모델링을 이용하여 접근하려는 연구들이 활발히 진행되고 있다(이순환, 2004; 이화운, 2003; 김현구, 2003; 김유근, 2000; 김유근, 2002; 홍정혜, 2000; Elisson, 2000; Kimura, 1991; Vukovich, 1980). Shashua-Bar와 Hoffman(2000)은 도시지역에서 숲의 역할이 기온변동에 미치는 영향을 분석하고 숲이 있는 지역이 없는 지역보다 0.5°C 정도 낮게 나타나 토지피복이 도시기온변동에 중요한 인자임을 제시하였다. 이현영(1995)은 서울지역 토지이용이 변화함에 따라 도시가 점차 건조화·온난화 추세를 보여 도시지역 열 환경이 변하고 있음을 밝혔다.

2.5.2 녹지에 의한 CO₂ 흡수

녹지 또는 수목은 광합성을 통한 성장 과정에서 대기 CO₂를 흡수하여 농도를 낮추며, 먼지를 잎 면에 부착시키고, 황산화합물, 질산화합물 등의 가스상 오염물질을 잎 면에 흡착·흡수시켜 오염물질의 대기농도를 낮춘다. 따라서 오염물질 배출량에 대한 녹지의 총량적·공간적 부족량을 계량화하는 연구는 도시녹지의 효율적 조성 및 관리 정책에 중요하다.

이와 관련된 연구로는 용인시를 대상으로 도시수목의 연간 CO₂, SO₂, NO₂의 흡수 및 O₂의 생산을 계량화 하여 도시 내 수목 식재가 환경보전효과에 기여하는 가치를 규명한 조현길과 안태원(조현길·안태원, 2001)의 연구와 서울 중구를 대상으로 단위면적 차원의 CO₂, SO₂, NO₂의 흡수와 관련된 환경보전효과 역할을 규명한 조현길, 조용현, 안태원의 연구(2003)가 있다. 녹지의 환경보전효과 역할이 도시의 대기 오염배출량에 대하여 어느 정도의 정화력을 가지는지, 환경보전효과 능력의 측면에서 보았을 때의 녹지의 불균형 측정 등에 관한 연구(김명화, 2005)는 혼치 않다.

김명화(2005)는 GIS를 이용하여, 도시 녹지의 대기정화능력을 현재의 오염 실태와 비교하여 정확히 판단하기 위해, 도시의 대기환경저해물질 배출량과 도시녹지에 의한 흡수량을 추정하고, 단위면적당 배출량과 흡수량을 비교하여 총량적인 비교 및 상대적 녹지의 불균형을 측정함으로써 녹지정책방향의 기본 자료를 제시하였다. 그는 도시의 대기오염물질의

배출량 추정을 위해 통계자료를 수집하고 GIS 데이터를 작성하여 대상오염물질에 관한 배출도면을 작성하였는데, 도시녹지에 의한 흡수량은 서울시 도시생태 현황도와 임상도를 사용하고, CO₂ 교환을 실측을 통해 유도한 수종별 흡수량 방정식(조현길·조동하, 1998)을 이용하여 토지피복별 CO₂, SO₂, NO₂ 흡수량 원단위를 산출하였다²²⁾

22) 연구결과, 서울시 녹지에 의한 SO₂, NO₂, CO₂ 흡수량은 각각 297톤, 774톤, 420,829톤으로 나타났는데, 이는 서울시 SO₂ 배출량의 2.52%, NO₂ 배출량의 0.68%, CO₂ 배출량의 48.92%를 상쇄하였다. 서울시 녹지에 의한 SO₂, NO₂, CO₂ 흡수에 대한 경제적 가치는 SO₂ 14억, NO₂ 237억, CO₂ 657억으로 총 709억의 경제적 가치를 가지는 것으로 분석하였다.

제3장 RS와 GIS를 이용한 토지이용/피복도 작성

탄소배출량 산정을 위한 방법론은 주로 대기오염원 배출량 산정 모델을 기반으로 발전해 왔으나 기후 변동과 관련되어 별도의 배출계수 개발 및 표준화 적용사례가 증가되고 있는 상황이다. 이에 따라 토지피복 및 토지이용관련 국제표준화가 진행 중인데 IPCC와 ISO가 별개로 진행이 됨에 따라 2009년 6월 국제표준화 상임위원회에서 협력체계의 필요성이 대두되고 있다.

우리나라의 연구는 IPCC에 대응한 문서작성과 관련하여 국가전체 차원의 대응책은 KEI(한국환경정책·평가연구원)에서 일부 연구하고 있으며, 에너지연구원에서 일부 진행하고 있다. 지자체 수준의 대응은 매우 미미한 상태로 종합계획의 필요성이 대두되고 있다. 서울시와 일부 지자체에서 탄소저감을 위한 포인트 제도를 연구하고 있지만 자연 배출원 관련, 지구생화학적 모델링의 접근은 미미한 상태이다. 위성영상이 취득할 수 있는 정보는 토지이용의 경우 인간 중심의 구분 같은 초지라도 그것이 골프장인지, 목장인지, 자연 초지인지, 공원의 초지인지 등의 구별이 가능하다. 이러한 정보는 지적도, 지형도 등의 지도 및 통계정보, 실사 정보에서도 추출할 수 있다.

본 연구에서는 GIS 및 원격탐사 자료를 융합하였는데, 탄소 배출의 부분에서, 숲과 초지, 물 등의 구별은 위성정보를 활용하고(RS) 인위적 활동과 관련된 것은 수치지적도 및 지형도를 활용한다(GIS).

3.1 유사 주제의 고해상도 영상분석 관련 연구동향 및 차별성

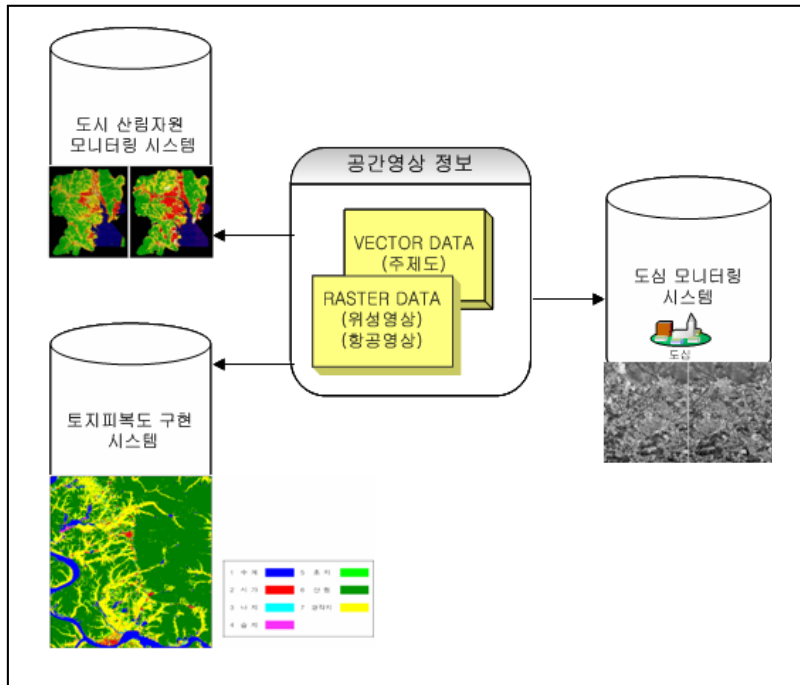
고해상도를 이용한 토지피복도 관련 연구는 2000년 발사된 IKONOS 영상의 도래와 함께 다양한 연구가 시작되었다. 특히 2001년 이후에 국토연구원에서 건설교통부(현 국토해양부)로부터 수주 받아 수행한 SIIS 사업(Spatial Imagery Information System 사업) 이후에 국토모니터링에 대한 관심이 고조되었고 기본적인 고해상도 영상을 활용할 분야는 도시지역과 산림지역에서 활발하게 진행되었다. 실용적인 측면에서 토지피복도의 구축과 지

형지물데이터의 통합을 통해서 지리적인 현상 이외에 인간활동이 토지피복에 미치는 현상을 종합할 수 있다는 생각에서 개념적인 연구가 실시되었다.

토지피복도의 작성을 위한 환경부의 노력과 결과는 1일 다운로드 횟수가 20회를 넘을 정도로 성과가 높은 수준으로 평가되었으며, 1999년의 시범사업 이후에 3차에 걸친 위성영상과 항공사진, 임상도를 이용한 토지피복도 구축사업을 2009년 까지 시행을 하여왔다. 주로 사용된 영상은 대분류에서는 LANDSAT과 SPOT 영상이 주로 사용되었지만, 22개의 중분류 이하에서는 항공사진, IKONOS와 같은 고해상도 위성영상이 활용되어왔다. 대분류 7개²³⁾와 중분류 22개에 대한 분류 체계는 미국의 USGS 분류체계와 유럽의 CORINE의 분류체계의 장단점을 고려하면서 동시에 한국적인 상황을 고려하여 2년의 연구결과 끝에 사실상의 표준(defacto standard)으로 자리를 잡고 수많은 환경 모델링에 근간이 되어왔다.

그러나 토지피복과 토지이용의 개념은 다소 혼동되기 쉬운데, 이는 중분류에서 상업지역 및 공업지역의 분류는 토지피복에 근거한 것이 아니라 토지이용에 대한 추가 정보를 가지고 인위적으로 분류한 것이므로 순수한 토지피복도라고 할 수 없다는 이유에서이다. 특히 구축 방법론과 가이드라인에서, 알고리즘(algorithm)과 객관적인 수치에 의한 분류보다는 기존의 임상도 및 토지이용도, 1: 5000 수치지형도 등의 자료를 사용자마다 서로 다른 정도의 비중으로 반영함에 따라 결과가 달라지는 정성적인 결과를 산출할 수밖에 없었으며, 또한 시각적인 판단과 스크린에서 마우스로 직접 선을 추출하는 방식 즉, 디지털타이징(digitizing)에 의한 조정방법을 사용하게 됨에 따라 해석자의 임의적인 판단을 배제할 기제가 없었다. 또한 다소 노동집약적인 절차에 의한 결과물이라는 비판을 받기도 하였다.

23) 대 분류 체계는 시가화건조지역, 산림지역, 초지, 습지, 나지, 수역 등의 7개의 클래스로 구성되며, 중분류는 각 대 분류 아래계층으로 주거지역, 공업지역, 상업지역, 위락시설지역, 교통지역, 공공시설지역, 논, 밭, 하우스재배지, 기타재배지, 활엽수림, 침엽수림, 혼효림, 자연 초지, 골프장, 기타 초지, 내륙습지, 연안습지, 채광지역, 기타 나지, 내륙수와 해양수 등 22개로 구성이 되어있다.



(2001, 한국전자통신연구원 국토모니터링 시스템 보고서)

[그림 7] 국토 모니터링 시스템 proto-type 구성도

위의 토지피복분류체계의 객관성을 확보하고자 한국전자통신연구원에서는 국토모니터링 시스템을 위한 정보처리 자동화를 시도하였으나, 완성된 소프트웨어로 보급되지 못하였다 (그림 7). 고해상도 영상의 분석처리에서 가장 중요한 학술적인 이슈는 정사영상을 제작할 수 있는 알고리즘과 지상기준점의 숫자 및 그 평가 방법에 대한 것이라고 볼 수 있으며 이는 유복모를 비롯한 측량분야의 주요 논쟁거리 중의 하나였다 (유복모, 2001). 이외에 도심의 빌딩 추출관련 방법론 및 그림자의 특성분석 (윤아영, 2006) 등의 도시지역 내 지형 지물에 대한 영상분석방법론이 논의 되었으며, 농촌지역 및 산림 지역의 경우에는 방재의 측면에서의 접근(김양수, 1997)과 산사태 분석(이차로, 2003) 등의 분석 등이 있으며, 수질 및 수량모델의 입력자료로서 고해상도 위성영상의 활용성을 검토한 논문은 여러 편에 걸쳐 나타난다(장은미, 정인균, 2004, 채효석, 2002, 김성준 2005).

대부분의 고해상도 위성영상 시스템 분석에 관한 연구는 중해상도에 비해서 오분류율이 높아 기존의 환경부의 토지피복도 분류체계 수준의 상세한 정보 분류가 적용되기 힘들다는 결론이 도출되기도 하였다. 영상의 각 채널의 특성을 중심으로 분석하는 것에서 픽셀의

상호관계와 반복성 변화성을 동시에 분석하는 텍스처(texture)를 반영하고자 하는 시도가 있다. 이는 학술적으로 동일한 분광해상도를 가지면서 연속된 픽셀의 집합체로 최소단위에 해당되는 세그먼트 분류 방법(segment classification)에 대한 논의와 솔루션 개발이 지속되어 왔으며(2003, 장은미) e-cognition 및 PG-streamer 등의 민간 상용소프트웨어가 보급되면서 일반에게 알려지기 시작하였다.

그러나 위의 모든 논쟁들은 직접적으로 위성영상의 분석목적은 CO₂ 흡수량 및 발생량에 대한 분석을 위한 관점으로 분류되지는 아니하였으며, 대기와의 관계 속에서 배경농도 추출 및 오존의 전구물질 분포를 위한 과제에서 일부 사용되기도 하였다(구윤서, 2005).

3.2 영상분석과정

3.2.1 원영상의 분석과 특성

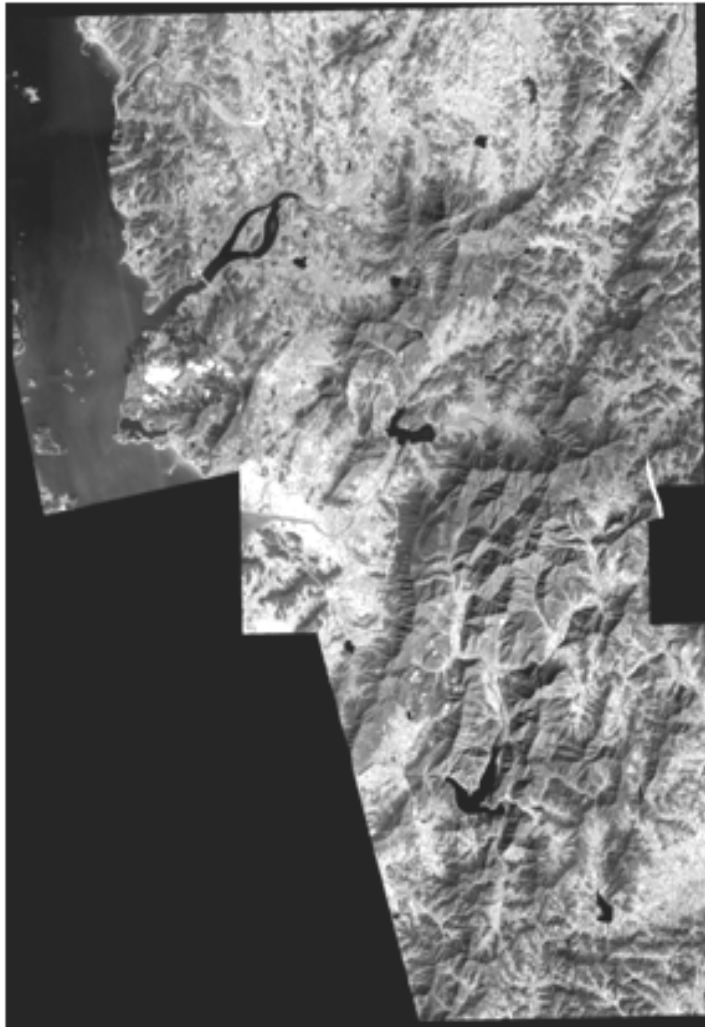
본 연구를 위하여 이용한 위성영상은 보령시에서 보유하고 있는 퀵버드(Quickbird) 영상과 보령시 비오톱 생태지도 구축을 위해 구입한 다목적 실용위성 2호의 영상으로(KOMPSAT-2; KOrea Multiple Purpose SATellite)이다. 퀵버드 영상은 2007년에 촬영된 영상으로 4개의 밴드를 보유하고 있으나, 충청남도에서 구매되어 제공된 영상은 적색, 녹색, 청색의 3개로 구성된 영상이었다. 퀵버드 영상은 미국의 DIGITAL GLOBE라는 회사에서 발사한 고해상도 위성영상으로서 군수용 첩보영상기술을 민영화 한 두 번째 사례로, 아이코노스(IKONOS) 영상과 더불어 특정 군수물자 제한지역을 제외한 전 세계에 판매되고 있다.

퀵버드 영상은 1미터 이하의 해상도의 영상이므로 촬영 취득 시 주요보안기관에서 주요 시설에 대한 보안처리가 실시된 후에 배포가 되며, 본 과제에서는 이미 위치 보정된 영상을 받아서 처리를 하게 되었으므로, 위치보정에 관련된 오류 정보는 수치적으로 확인할 수 없으나, 육안판별로 보아 CO₂ 산출을 위한 프로세스에 지장을 줄 정도의 오류는 발견하지 못하였다.

이와는 달리 다목적 실용위성 영상(KOMPSAT-2)은 2008년 4월에 촬영된 영상으로 적색, 녹색, 청색의 3개의 밴드 이외에 적외선 밴드를 포함하고 있으며, 취득 당시 정확한 위치 보정을 위하여 LEVEL 1R영상²⁴⁾ 즉 방사보정만을 마친 영상을 구매하여 처리를 하게 되

24) LEVEL 0: 아무런 처리를 하지 않은 영상, LEVEL 1 R: 방사보정만 처리한 영상, LEVEL 1G: 방사보정과 위치보정을 모두 수행한 영상, LEVEL 2: 시스템적 오류를 모두 보정한 영상, LEVEL 3: 두 개의 위성영상으로 정사보정까지 마친 영상으로 구매 시 조건으로 요청을 할 수 있으며, LEVEL이 올라갈수록 가격이 높아진다.

었다. 두 영상은 시기적으로 1년 정도의 차이가 있으나 그 특성은 거의 유사하며 상호보완적일 수 있을 것으로 사료된다. 단 다목적 실용위성 영상은 보령의 시내 중심지를 중심으로 하여 1개의 영상을 구매하여, 전 보령지역을 포함하고 있지는 못하지만, 산림지역의 경우에는 큰 차이가 없는 것으로 보아 연구의 큰 방향에는 지장을 주지 않을 것으로 사료된다.



[그림 8] Quick bird 영상



[그림 9] KOMPSAT-2 multispectral image (RGB IR)



[그림 10] KOMPSAT panchromatic 영상

3.2.2 토지이용과 토지피복의 관점의 차이

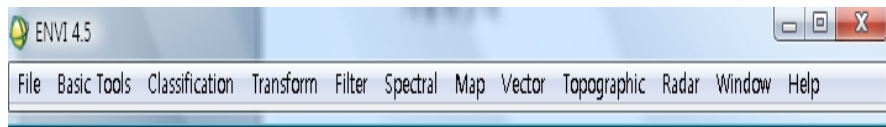
CO₂의 배출량의 문제는 사실 토지이용과 인간의 모든 활동에 관련된 문제이므로 상세한 프로세스에 대한 정보가 필요하나 본 과제에서는 위성영상을 활용한 표준화된 방식의 자료처리를 위하여 토지피복에 중점을 두기로 한다.

토지이용과 토지피복(Land Use and Land Cover)의 개념의 차이는 풀밭을 예로 들 수 있는데, grassland 라는 풀밭의 개념은 토지피복의 개념이며, 그것이 목장으로 이용될 경우에는 range라는 용어로, 골프장과 같은 여가활동으로 이용될 경우에는 country club 또는 golf course라는 골프장이라는 분류로 세분화된다. 따라서 CO₂를 배출하는 현상은 풀밭 그 자체로는 같은 것으로 계산을 해야 하므로 자연상태의 경관에 대한 평가에서는 과도한 토지이용정보보다는 위성영상에 의한 토지피복이 오히려 적합하다고 볼 수 있다.

3.2.3 지리위치 보정과정 (GeoRectification)

위성영상이 디지털화된 반사도 값의 행렬로 구성되어 있지만 그 행렬의 값이 실제 지표상의 위치와 일치하는 것은 아니다. 분류와 통계처리와 같은 과정을 본 처리과정이라고 할 때, 본 처리 이전에 수행할 내용이 바로 전처리 과정이며, 지리위치 보정과정은 전처리 과정 중에 대표적인 과정이다. 지리위치 보정과정은 촬영된 원시 영상에는 반사도 값만 나열되어 있는 것에 위치자료에 대한 정보가 없으므로 열과 행의 조합으로 이루어진 픽셀의 조합인 영상에 촬영된 지구표면의 좌표 값을 넣어주는 과정을 의미한다. 지리위치보정 과정은 주로 수치지형도를 이용하는 경우에는 지리위치보정과정이라고 하며, 이미 보정된 영상을 비교하여 같은 위치정보를 입력시키는 과정은 지리정보 등록과정(GeoRegistration)이라고 한다. 본 연구에서는 충청남도에서 보유하고 있는 연속지적도를 이용하여 지리위치 보정과정을 수행했으며, 그 과정에서 재배열 알고리즘으로는 9개의 픽셀을 비교 검토하여 저장하는 방식을 택하였으며, 이는 근거리 선택법 및 이원방향 선택법에 비해 시간은 더 소요되지만 정확도가 상대적으로 높게 나타났기 때문이다. 다시 말해서, 지표상의 다리 끝이나 특이한 건물 등 분명한 좌표가 인식될 수 있는 포인트와 영상의 행과 열의 값을 지정할 때 주변의 9개 픽셀을 함께 비교하여 조정하는 것을 말한다.

처리 소프트웨어는 ENVI 4.5를 사용하였으며, 윈도우 버전과 리눅스 버전에서 같은 결과를 나타내지만 속도향상을 위하여 리눅스 버전을 주로 사용하였다.



[그림 11] ENVI의 메뉴

3.2.4 분석을 위한 전(前) 처리 과정

연속지적도자료(KLIS: Korea Land Information System)의 자료는 점·선·면으로 구성된 지형지물 중심의 데이터이므로 공간분석에 불편하여 이를 3미터 간격의 격자형(格子型) 자료로 변경을 하였으며 이 프로세스는 ArcGIS(ESRI, 2008) 소프트웨어에서 제공하는 toolbox를 사용하여 변환을 하였다. 1미터로 변환을 하게 될 경우에는 픽셀의 수가 분석 하드웨어의 메모리 용량을 초과하여 사용이 불가능하였기 때문이다.

3.2.5 퀵버드 영상의 분석 흐름

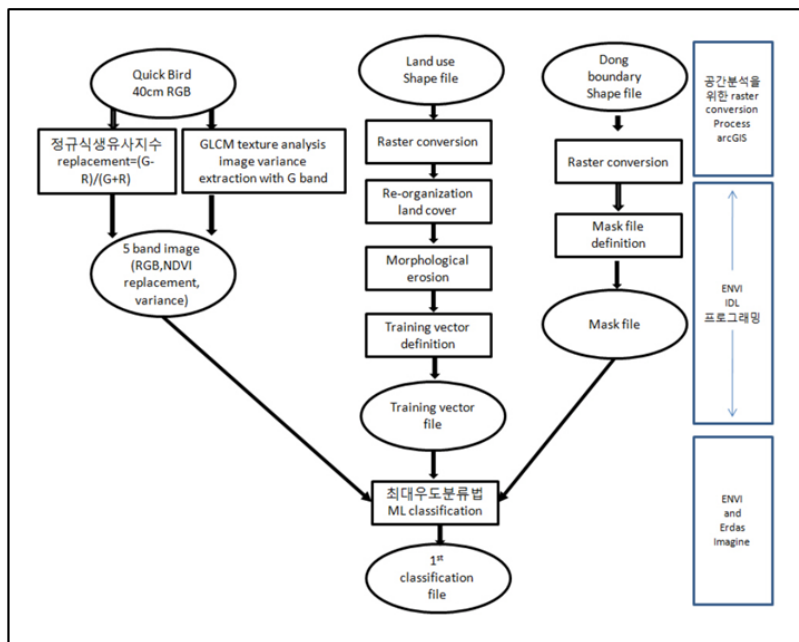
퀵버드 인공위성 영상과 GIS를 이용하여 보령시의 토지피복/이용도 작성을 위한 분석 프로세스를 2단계로 나누어 정리하면 다음 [그림 12]와 [그림 13]과 같다. 1차 분류과정은 다음과 같다. 획득된 공간해상도 1미터의 퀵버드 영상이 적색(R)·녹색(G)·청색(B)과 근적외선(NITR) 밴드로 구성된 데이터 셋이 아니라 RGB 값만 있는 자료여서 정규식생지수를 적용할 수 없었다. 정규식생지수는 광합성을 하는 식물의 조직의 특성과 생화학적인 반응특성으로 인하여, 적색은 반사도가 낮고, 근적외선은 반사도가 높게 나타남으로 그 차이 값을 두 값의 합에 대한 비율로 정규화한 지수를 의미한다. 근적외선이 없으므로 따라서 숲과 초지를 구별하기 위한 정규식생지수를 구하는 공식에 준하는 알고리즘, 즉 녹색 밴드의 평균과 분산(variance)을 이용한 질감분석을 수행하여 수학적 모델의 입력자료로 활용하였다.

수치 지적도 파일(KLIS data)은 각 필지별 특성이 다양하나 공간분석을 하기 위하여 격자형 체계자료로 변환하며, 같은 유형의 자료를 단위로 묶는 segmentation 프로세스를 진행한다. 유사지역으로 묶인 segment를 다시 훈련 벡터(vector) 값으로 지정하여 정의하는 과정을 거쳐 영상을 분류할 수 있는 훈련벡터 파일을 생성한다.

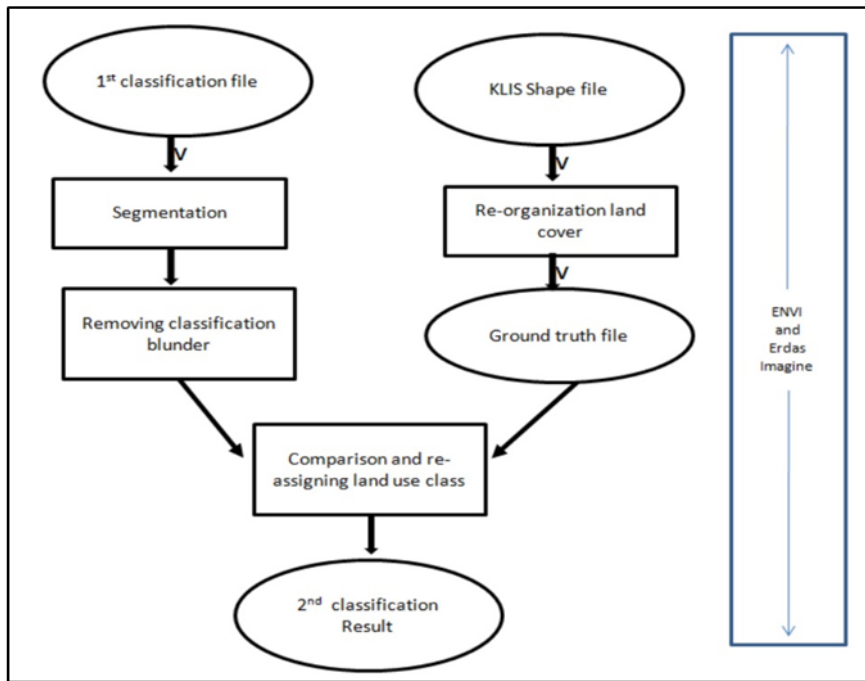
행정동(洞) 경계자료의 경우에도 격자자료로 변환을 하여 보령지역의 행정경계로 구별하여 분석하는 작업을 수행하고, 최대우도분류법에 의하여 영상처리가 나온 결과를 다시 2차 분류의 입력자료로 이용한다.

2차 분류과정(그림 14)은 1차 분류자료를 다시 유사한 세그먼트끼리 묶는 작업과 작은 크기의 분석단위 및 위치가 정상적으로 분류되지 아니한 자료를 정제하는 클린업과정을 거친다. 예로서, 습지 및 갯벌로 분류된 자료가 산지 사이에 있을 경우 해안선으로부터 100미터 buffer를 두어 주변지역의 segment로 변환하는 작업을 수행하는 것이다.

수치 지적도 파일 역시 정제하여 지적도 용도별로 묶었으며 Ground Truth (지상현황자료)로 비교하기 위한 데이터 셋으로 정의한다. 이후 이 둘을 함께 비교하여, 영상분류의 결과와 지적도 결과를 비교하는 작업을 수행한다.



[그림 12] 1단계 분류작업(6단계 클래스화 자동화 작업) 흐름도



[그림 13] 2차 분류 및 조정 작업 흐름도

3.1.1.1 Training vector의 추정

분석을 위한 첫 단계는 위성영상을 분류하기 위하여 지적도 상에 분명히 나타난 토지이용 면 단위(area unit)를 선택하여 명칭을 붙여주는 작업, 즉 training vector를 정해주는 작업이다(그림 15)²⁵⁾. 특히 이는 고해상도 영상의 경우에는 자연적인 반사도 값만으로는 오분류가 많기 때문인데, 예로 건물의 경우에 지붕의 색도 다양하고 숲이라 할 경우에도 사면에 따라 반사도가 서로 다른 경우에도 하나의 숲으로 분류되어야 하므로 이에 대한 인위적인 조작이 필요하게 된다. 즉 확실하게 영상의 일부를 지적도를 이용하여 '가'라는 조각은 갯벌이다, "나" 역시 갯벌이다, "다"역시 갯벌이다 라고 정의를 해주면, 눈으로 보기에 다른 갯벌도 각각 유사한 것을 찾아서 갯벌로 분류를 해주기 때문이다.

25) 색의 구별은 큰 의미가 없으며, 지적도상에 해상도가 달라도 인간의 눈으로 같은 분류에 해당된다고 생각하는 것을 같은 클래스로 정의해 주면서 훈련지역을 생성해내는 과정을 말함.

3.1.1.2 이외의 입력자료

이외에 적색밴드와 텍스처 분석²⁶⁾의 결과물과 정규식생지수를 각각 적색, 녹색, 청색에 배치를 시키도록 하면 광합성을 하는 지형지물 즉 숲과 농지와 초지가 적색으로 구별될 수 있었다. 정규식생지수²⁷⁾는 식생의 존재를 의미한다. 식물 잎 세포는 수분의 함량이 많은 세포와 각 세포간의 반사지수에서의 큰 대조 때문에 빛을 매우 효과적으로 산란시킨다. 이를 광학적으로 보면 식생은 앞에 있는 엽록체에서 가시광선부문을 매우 잘 흡수하기 때문에 어둡게 보이며, 550nm의 파장부근에서 반사 정도가 조금씩 증가 하는데 이는 이들 색소가 이곳에서 최소로 흡수되기 때문이다. 또한 700~1,300nm의 파장범위에서 식물은 매우 밝게 보이며, 1,300~2,500nm의 파장에서 비교적 어둡게 보이는데, 이는 대개 잎의 수분에서 빛이 흡수되기 때문이다(2008,e-GIS자료. 식생지수분석 편). 하지만 퀵버드 영상에서는 적외선 밴드가 없으므로 GLCM 변이 값²⁸⁾을 대신 사용하였다(그림 19). 1차 분석의 결과는 [그림 16]이며, 2차 분류 전 단계인 segmentation의 결과가 [그림 17]이다.

3.1.1.3 이외의 입력자료를 이용한 분류법

2차 분류 단계로 위의 [그림 18], [그림 19]의 영상과 퀵버드 3색(RGB) 영상(그림 20)을 같이 입력하면서 영상의 분류를 실시하였으며 이 분류 역시 ENVI 소프트웨어를 사용하였다. 분류체계는 17개의 클래스로서, 활엽수, 침엽수, 기타 수림 (과수원, 혼합림, 유원지) 초지(인공초지, 자연초지, 공원묘지), 경작지 (미경지정리, 경지정리 초지), 나대지 1 (보통, 특수 나대지, 채광지역), 나대지 2(처리장 등 공공시설), 수계 (하천, 호수), 도로 및 철도, 갯벌, 해안사빈, 기타해안지대 (양어장, 염전, 발전소), 주택지, 상업지, 축사, 공공용지 (교육 및 군사), 댐과 항만 등을 추출하였다.

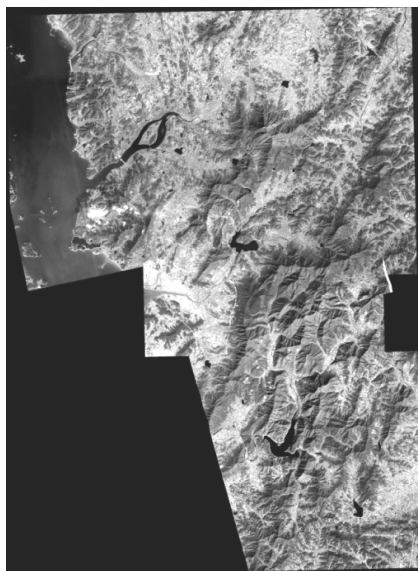
26) texture분석을 수행하는 방법으로 GLCM(Gray Level Cooccurrence Matrix)를 사용하였다. 이것은 특정 값이 나타나는 픽셀과 특정공간관계를 나타내주는 값의 농도변화 즉 밝기의 변화 값이 얼마만큼 자주 발생하는가로 변환하는 값이다(how often a pixel with the intensity (gray-level) value i occurs in a specific spatial relationship to a pixel with the value j). 예로, 반복되는 값이 많은 경우에는 텍스처가 매우 부드럽다는 것을 의미하고 반복되는 값이 적을 경우에는 변화가 크므로 울퉁불퉁하다는 것을 의미한다.

27) 이 성질을 이용하여 근적외선 밴드 값과 적색밴드의 값의 차이를 그 합으로 나누어 정리한 것이 바로 정규식생지수이다.

28) 적색밴드, Grey Level Co-occurrence Matrix 분산자료와 NDVI 유사 값으로 처리한 자료를 입력 처리한 값. 적색일수록 CO₂ 흡수량이 많은 광합성 활동, 즉 식생활동이 많음.



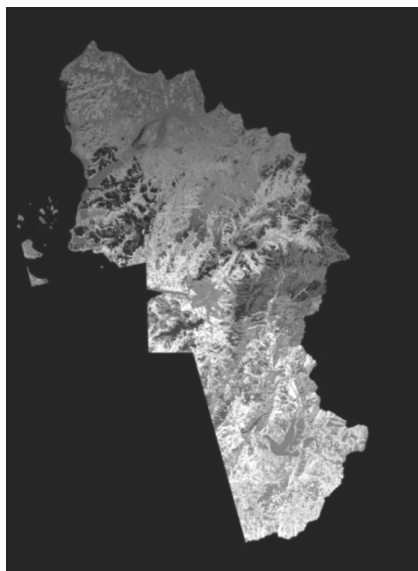
[그림 14] 보령시 Quickbird 위성영상



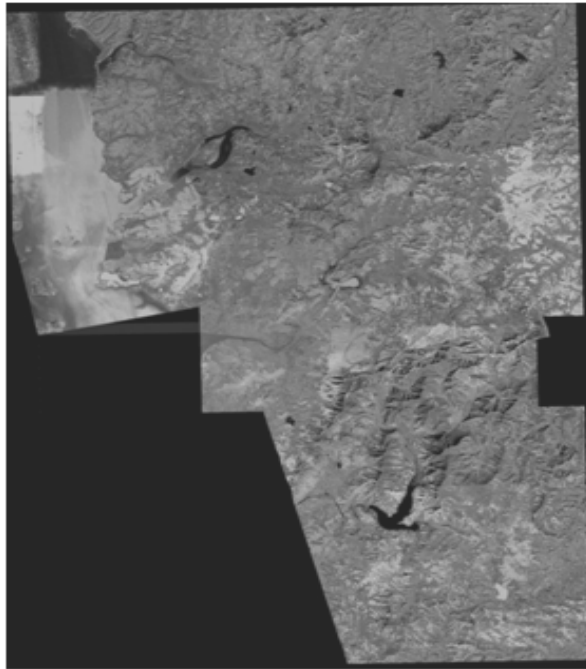
[그림 15] KLIS자료를 사용한
트레이닝 벡터



[그림 16] 1차 분류 결과



[그림 17] 2차 분류 전 segmentation 결과



[그림 18] R band + GLCM variance + NDVI replacement band



[그림 19] RGB 콕버드 영상

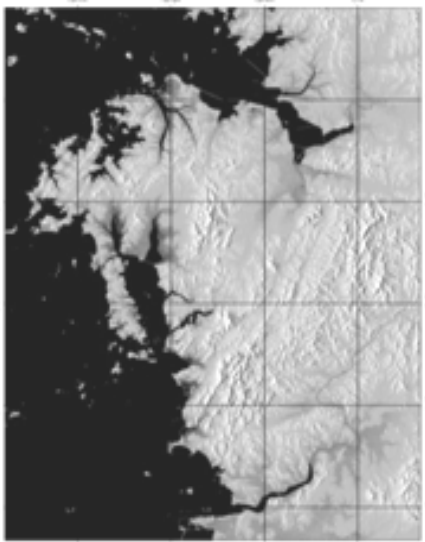
3.2.6 다목적 실용위성 2호(KOMPSAT 2)의 분석

KOMPSAT-2는 2006년 7월에 발사된 위성으로 대규모 재난감시, GIS 응용, 자원탐사, 농업, 어업, 임업자원 정보, 고해상도의 지구관측영상 등의 정보를 제공한다. 흑백 1m미터, 칼라 4미터 픽셀 해상도를 가진(식별 및 촬영이 가능한) 고해상도 카메라로서 관측 파장대역은 한 개의 전정색(全定色; panchromatic) 채널과 가시광선대의 3개 채널과 근적외선 1개의 다중분광(multispectral) 채널로 구성되어 있다.

적외선 밴드를 포함한 다목적 실용위성 2호(KOMPSAT-2)를 활용해 토지피복·이용 분류를 수행하면 식생부분에 보다 신뢰도 있는 분류가 가능해진다. 본 소절에서는 다른 데이터셋과 데이터 융합 방식의 레벨 1의 영상과 센서 데이터 모델을 활용하여 분류를 수행한다.

3.1.1.4 원시자료

분석에 이용한 원시자료로 미국의 NASA에서 제공한 90미터급 수치고도자료(DTM)와 RGB와 IR 밴드로 구성된 다중분광(multipectral) 영상, 그리고 전정색 분광영상(panchromatic image)를 이용하였다.



[그림 20] 90미터급 수치고도자료(DTM)

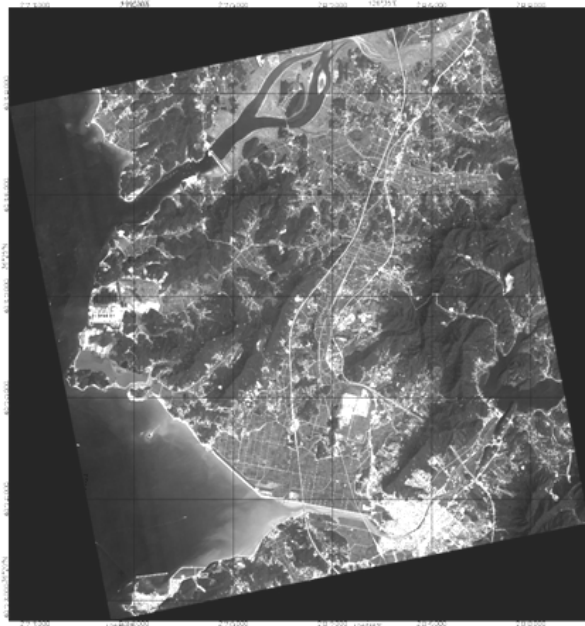


[그림 21] 4개 밴드의 multispectral image

다목적 실용위성은 콰이브드 영상에 없는 적외선 영상을 처리하기 위한 과정 이외에도 지상기준점과 카메라 센서정보를 이용한 센서정보를 갱신하는 과정이 필요하다. 이로써 정사영상(ortho-photography 또는 ortho-imagery)이 만들어지는데 정사영상은 수직으로 내려보도록 조정된 영상으로 건물은 어렵지만 지형기록에 의한 왜곡만을 잡아주는 과정을 거친 것이다. 이와 대조되는 것은 경사영상(oblique imagery)이다.

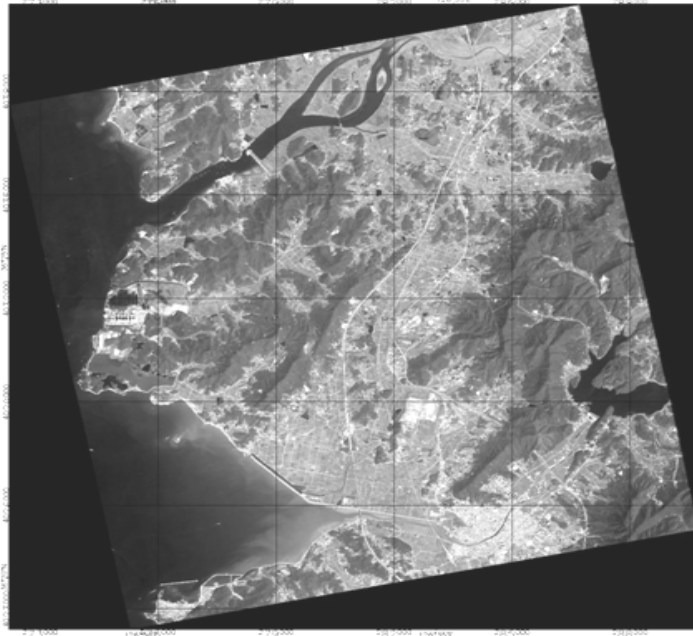
전정색 정사영상과 다중분광영상을 융합²⁹⁾하는 작업(data fusion)을 수행하였는데 이는 공간해상도가 좋은 전정색 영상과 분광해상도가 좋은 다중분광 영상을 서로 이미지 매칭하여 분광해상도와 공간해상도가 모두 좋은 영상으로 가공하는 과정이다.

위의 결과로 도출된 융합된 정사영상을 실제 RGB값으로 표현한 것이 아래의 [그림 24]이며, 청색 대신 적외선 밴드를 추가하여 RGB로 저장한 것이 아래 [그림 25]이다.

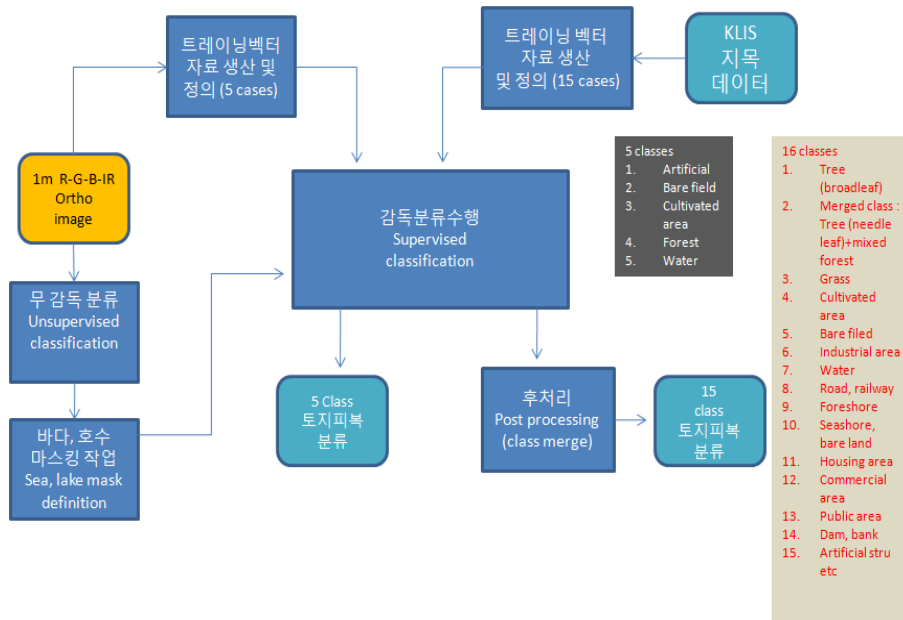


[그림 24] 융합된 정사영상을 실제 RGB값으로 표현한 것
(true color composite)

29) fusion(융합)의 문제는 픽셀 수준에서의 융합, 밴드상의 융합, 상이한 데이터 셋과의 융합 등 다차원적으로 접근되고 있으며, 2009년에는 개방형GIS 컨소시엄에서 융합의 방법론에 대한 표준을 제정하기 위한 테스트베드가 수행 중이다.



[그림 25] 융합된 정사영상의 가상색채형
(false color composite)



[그림 26] 다목적 실용위성의 분류흐름도

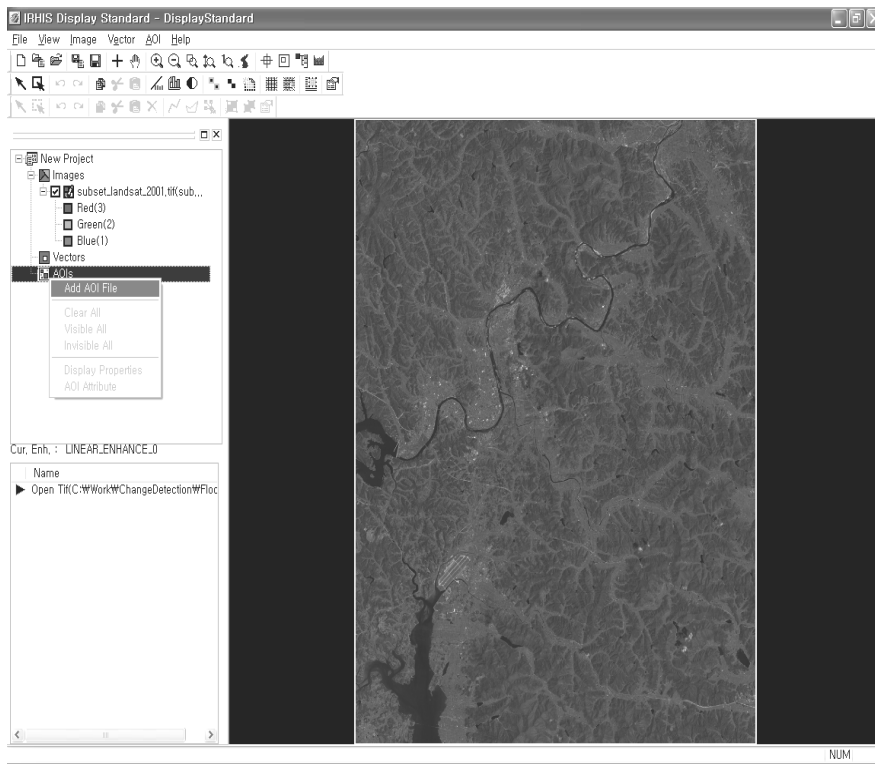
위의 [그림 26]에서 처리된 1미터급 4밴드 정사영상은 두 가지로 분석이 되는 데 첫째는 감독분류를 위한 트레이닝 벡터를 생산하는 과정이며, 다른 하나는 무감독(無監督) 분류를 시행하는 과정이다.

감독분류는 영상에서 분류하고자 하는 정보 집단의 위치나 분광특성을 사용자가 정확히 알고 있을 때 사용하는 방법이다. 분류를 수행할 때 도심지역, 농업지역, 습지, 숲 등의 지표피복에 대한 위치 및 정보를 항공사진, 지도, 경험 등의 분석으로 미리 알고 있을 때, 이 지역을 표본지역(훈련지역, training vector)으로 선정하여 통계량을 구한 후 이를 이용하여 영상을 구분하는 것이다.

무감독 분류는 표본 집단과 같은 사전정보 없이 영상을 구성하는 화소 값들의 공간적, 분광적 특성만을 이용하여 분류 작업을 수행하는 기법이다. 무감독 분류 방법을 이용하는 경우 사용자의 판단이나 경험은 전혀 요구되지 않고, 단지 작업 후 분광 집단을 정보 집단으로 전환해 주는 과정에서만 사용자가 개입하게 된다. 이 두 가지 방법을 다 사용하는 이유는 바다를 제외시키기 위한 작업을 원활히 하기 위해서 무감독 분류 별도로 시행했기 때문이다.

또 하나의 입력자료는 KLIS의 입력자료로 표본지역을 생산하는데 사용되었으며, 결국 감독분류를 하기 위해서는 수치정사영상에서 사람이 판독한 트레이닝 벡터와 기존의 KLIS 자료에서 정의된 트레이닝 벡터가 공히 사용이 되어 감독분류가 수행되었다.

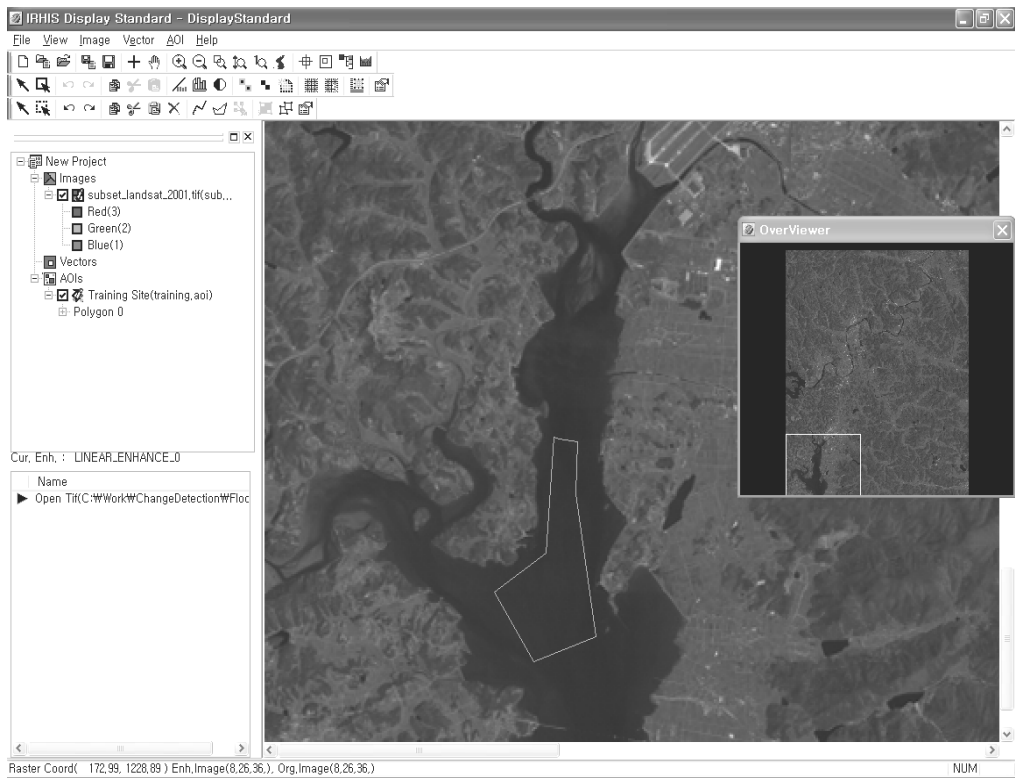
훈련지역은 관심영역(Area Of Interest, AOI)의 폴리곤(polygon) 추가를 통하여 정할 수 있다. 새로운 AOI를 추가하는 버튼이 존재하지 않기 때문에 Display 왼쪽에 존재하는 파일리스트의 AOIs를 오른쪽 클릭하고 Add AOI File을 클릭한다.



[그림 27] 훈련지역의 선택 프로세스 화면

이후 New AOI Layer Dialog 윈도우가 나타난다. AOI File 경로 및 파일명과 AOI Layer Name을 설정한다. 여기서 파일명은 Training.aoi, 레이어 명은 Training Site로 설정하고 OK 버튼을 클릭한다. Display에서 AOI 파일이 추가된 것을 확인할 수 있다. AOI는 면적을 설정해야 하므로 'Add Polygon'을 이용하여 AOI를 추가한다. 폴리곤을 추가할 경우 원하는 지점에서 클릭하여 다각형을 만들고, 꼭지점의 선택이 끝나면 더블 클릭하여 폴리곤을 완성한다(그림 28).

감독분류 역시 클래스를 5개로 간략화 한 것과 15클래스로 정리한 것 두 가지로 분류하였는데, 그 이유는 클래스가 간략한 CO₂ 배출계수가 정의된 경우와 복잡한 경우를 모두 염두에 두고 정의한 것이다.

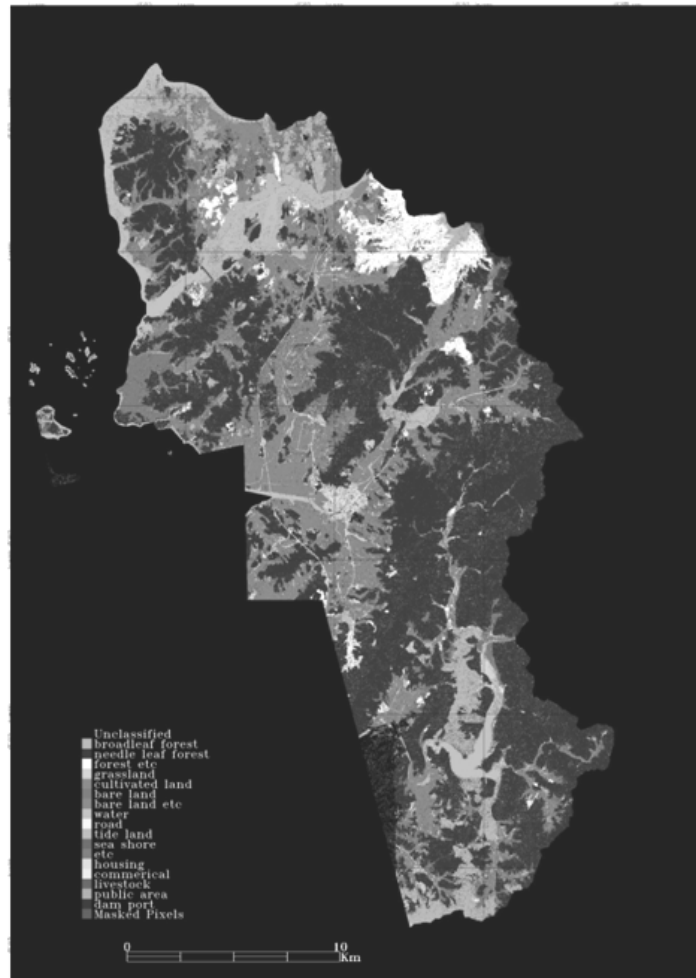


[그림 28] training vector 를 AOI에서 저장 생성하는 화면

3.3 영상분석결과

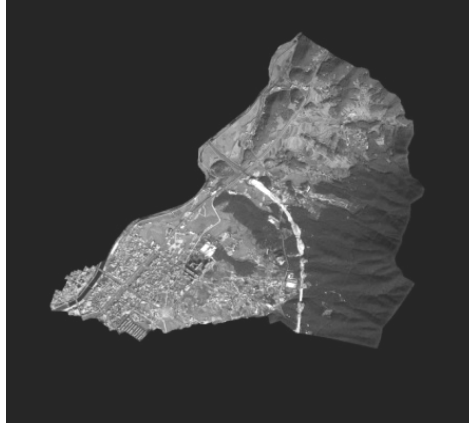
3.3.1 킥버드 영상의 결과

1단계, 2단계 분류작업을 거쳐 최종적으로 분류된 보령시의 결과는 아래와 같다.



[그림 29] 최종적으로 킥버드 영상으로 분류된 결과

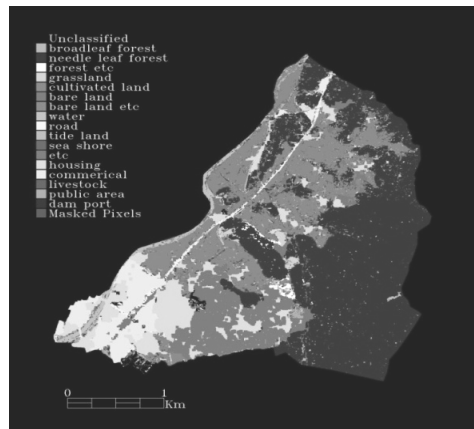
아래의 이미지는 검증을 위한 야외조사지로 지정된 대천 3동의 위성영상과 ground truth로 이용된 KLIS 데이터, 최종적으로 분류된 대천3동의 예이다



[그림 30] 대천3동 위성영상



[그림 31] KLIS data (tentative ground truth)



[그림 32] 대천 3동의 분류결과

최종 분석에 이용된 분류체계는 17개의 클래스로서, KLIS data의 분류단계(표 1)를 IPCC에 대응하는 자료로 재분류하였다(표 2). 최종 분류된 17개 클래스는 활엽수, 침엽수, 기타 수림 (과수원, 혼합림, 유원지) 초지(인공 초지, 자연 초지, 공원묘지), 경작지 (미경지 정리, 경지정리 초지), 나대지 1(보통, 특수 나대지, 채광지역), 나대지 2(처리장 등 공공시설), 수계 (하천, 호수), 도로 및 철도, 갯벌, 해안사빈, 기타 해안지대 (양어장, 염전, 발전소), 주택지, 상업지, 축사, 공공용지(교육 및 군사), 댐과 항만 등이다.

〈표 1〉 KLIS의 17개 분류단계

활엽수		갯벌	
침엽수		해안 백사장	
기타 수림	과수원, mixed forest, 유원지	기타 해안지대	양어장, 염전, 발전소
초지	자연 초지, 인공 초지, 공원묘지	주택지	
경작지	미경지 정리, 경지 정리	상업지	
Bare Land	보통 특수, 나대지, 채광 지역	축사	
Bare land 2	처리장 (하수처리장 외)	공공용지, 교육군사	
수계	하천, 호수	댐, 항만	
도로, 철도	(교통시설관련)		

[표 2] IPCC에 대응 재분류

활엽수		CO ₂ 흡수
침엽수		CO ₂ 흡수
기타 수림	과수원, mixed forest, 유원지	CO ₂ 흡수
초지	자연 초지, 인공 초지, 공원묘지	CO ₂ 흡수
경작지	미경지정리지, 경지정리지	논/밭 상이함, 논: 메탄발생시기
Bare Land	보통 특수, 나대지, 채광 지역	중립
Bare land 2	처리장 (하수처리장 외)	CO ₂ 발생
수계	하천, 호수	계절별 상이
도로, 철도	교통시설관련	CO ₂ 발생 (교통량자료로 대체
갯벌		메탄발생
해안 백사장		중립
기타 해안지대	양어장, 염전	발생지 +흡수지 혼재
주택지		야외조사로 상세화
상업지		CO ₂ 발생
축사		CO ₂ 발생
공공용지, 교육군사		CO ₂ 발생/ IPCC값없음
댐, 항만		CO ₂ 발생

Quickbird 영상의 분석 결과, 보령시 전체의 경우 가장 넓은 토지피복·이용은 침엽수림(29%)이다. 그 다음은 경작지(20%), 수계(15%), 활엽수림(10%), 나지(10%)의 순이다. 침엽수

림 등 수목지역이 42%로 수치지적도(KLIS) 상의 41.1%보다 미세한 차이를 보인다. 경작지(+1.4%), 수채(+3.01%), 나대지(-2.63%) 등은 수치지적도 상의 면적 토지피복·이용과 차이를 보인다. 기타 나대지의 경우 지적도상에는 존재하지 않지만 영상분석 결과에는 존재하는 것으로 나타난다.

[표 3] 분석결과: 보령시 토지이용

토지이용		영상분석결과		(%)	지적도상		(%)
		pixels	면적(m ²)		pixels	면적(m ²)	
1	broadleaf_forest	813,982	7,325,838	10.40	1,026,405	9,237,645	13.09
2	needleleaf_forest	2,268,720	20,418,480	28.98	1,963,280	17,669,520	25.03
3	forest_etc	208,486	1,876,374	2.66	234,544	2,110,896	2.99
4	grassland	78,419	705,771	1.00	54,450	490,050	0.69
5	cultivated_land	1,539,250	13,853,250	19.66	1,430,511	12,874,599	18.24
6	bare_land	803,975	7,235,775	10.27	1,011,782	9,106,038	12.90
7	bare_land_etc	4,848	43,632	0.06	0	0	0.00
8	water	1,179,484	10,615,356	15.07	947,547	8,527,923	12.08
9	road	24,933	224,397	0.32	39,809	358,281	0.51
10	tide_land	648,502	5,836,518	8.28	804,641	7,241,769	10.26
11	sea_shore	2,109	18,981	0.03	9,820	88,380	0.13
12	etc	46,077	414,693	0.59	54,827	493,443	0.70
13	housing	104,878	943,902	1.34	119,464	1,075,176	1.52
14	commercial	4,396	39,564	0.06	2,281	20,529	0.03
15	livestock	87,397	786,573	1.12	135,922	1,223,298	1.73
16	public_area	10,808	97,272	0.14	5,083	45,747	0.06
17	dam_&_port	1,630	14,670	0.02	1,890	17,010	0.02

대천 3동의 영상분석 결과 침엽수가 49%로 가장 넓은 면적을 차지한다. 그 다음은 경작지(24%), 나대지(9.6%), 주거지(6.2%)의 순으로 면적이 넓다. 침엽수, 활엽수 등 수목지는 51%)를 차지하여 지적도상의 수목지(46.4%)보다 더 넓은 지역에 분포하는 것으로 나타난다. 경작지는 지적도보다 2.4% 넓게, 주거지는 지적도보다 -2.3% 좁게 나타난다. 일반적으로 수치지적도의 경우와 유사하다고 할 수 있지만, 활엽수, 갯벌 등 수치지적도상에 나타나지 않는 토지피복이 나타난다.

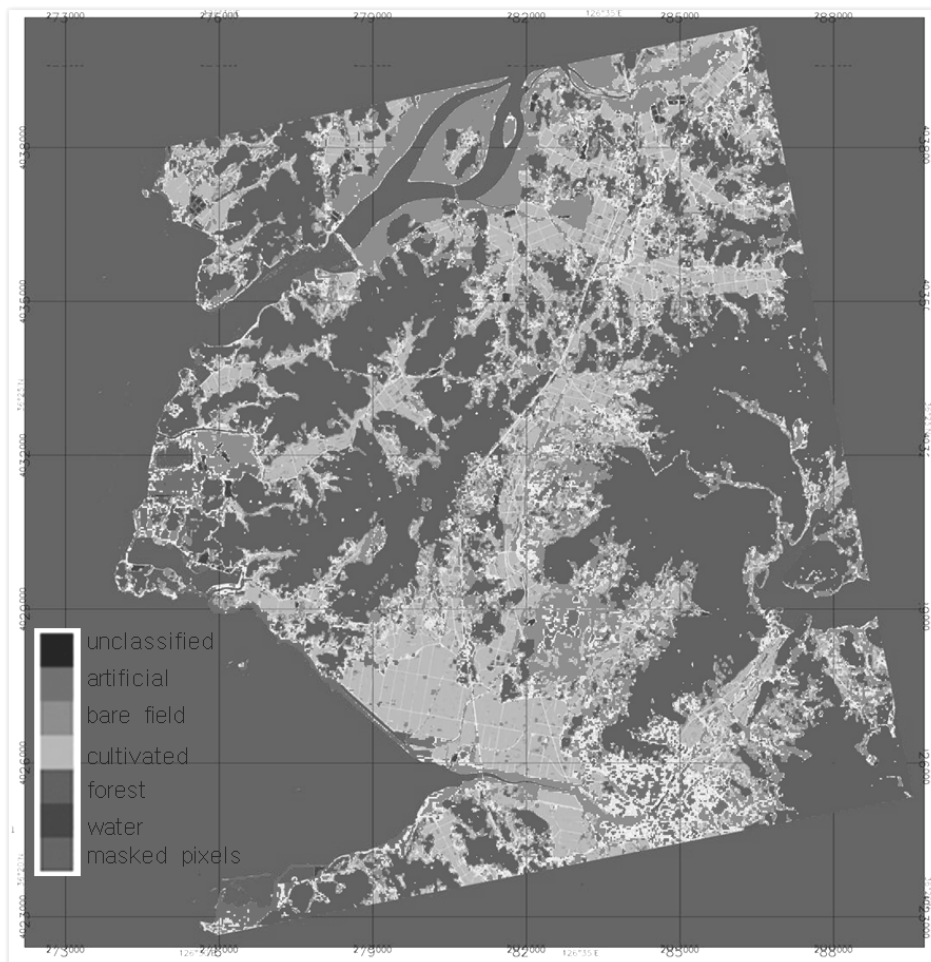
[표 4] 대천3동의 토지이용 현황

토지이용		영상분석결과		%	지적도상		%
		pixels	면적(m ²)		pixels	면적(m ²)	
1	broadleaf_forest	8,876	79,884	0.98	0	0	0.00
2	needleleaf_forest	442,847	3,985,623	48.91	411300	3,701,700	45.43
3	forest_etc	9,154	82,386	1.01	8665	77,985	0.96
4	grassland	5,859	52,731	0.65	11777	105,993	1.30
5	cultivated_land	212,838	1,915,542	23.51	190516	1,714,644	21.04
6	bare_land	86,534	778,806	9.56	97802	880,218	10.80
7	bare_land_etc	802	7,218	0.09	0	0	0.00
8	water	23,617	212,553	2.61	30168	271,512	3.33
9	road	15,427	138,843	1.70	31915	287,235	3.53
10	tide_land	1,479	13,311	0.16	0	0	0.00
11	sea_shore	30	270	0.00	0	0	0.00
12	etc	743	6,687	0.08	0	0	0.00
13	housing	56,465	508,185	6.24	77207	694,863	8.53
14	commercial	35,132	316,188	3.88	37348	336,132	4.13
15	livestock	692	6,228	0.08	0	0	0.00
16	public_area	4,896	44,064	0.54	8596	77,364	0.95
17	dam_&_port	32	288	0.00	0	0	0.00

3.3.2 다목적 실용위성 2호 영상의 분석결과

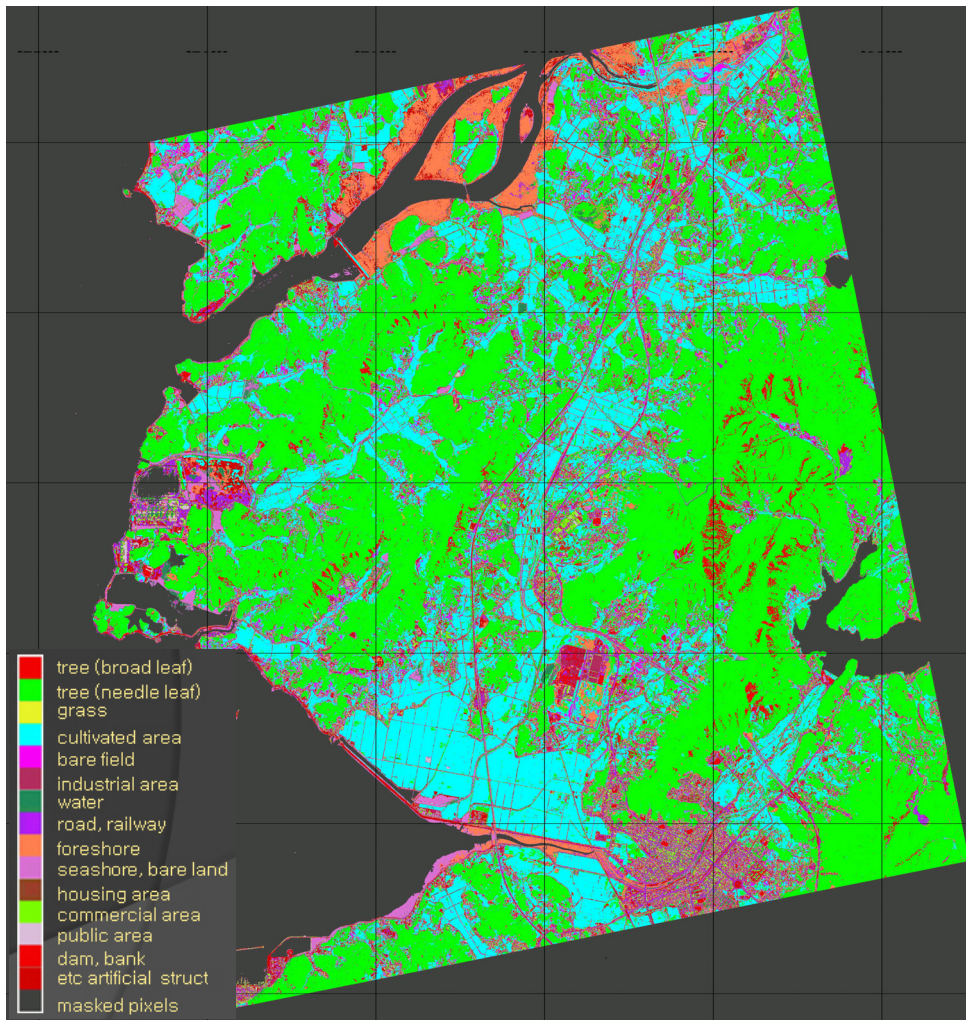
다목적 실용위성의 분석 결과 중 5 class로 분류된 결과는 아래와 같다(그림 33).

5개의 클래스 중 인공지형지물로 구성된 지역과 나대지, 경작지와 숲을 확인할 수 있으며 중간 중간에 호수와 같은 형태의 수체가 확인이 되며 분류가 애매한 복합적인 픽셀로 구분되는 일부의 지역으로 분류되었다.



[그림 33] 5class 다목적 실용위성 2호 영상 분석결과

16 Class로 분류한 영상 분석 결과는 아래의 [그림 34]와 같다. 16 클래스의 내용은 숲으로 분류된 활엽수림과 침엽수림 혼합림, 초지 등이 있으며 상업지역 및 수체, 갯벌 등의 해안지역, 도로, 해안 사빈 등의 나지, 주거지역, 공공시설지역, 사업지역, 댐 과 하안단구 및 기타 인공지물, 마지막으로 매스킹된 해양지역 및 미 분류지역이다.



[그림 34] 다목적 실용위성 2호 영상의 16클래스 분석결과

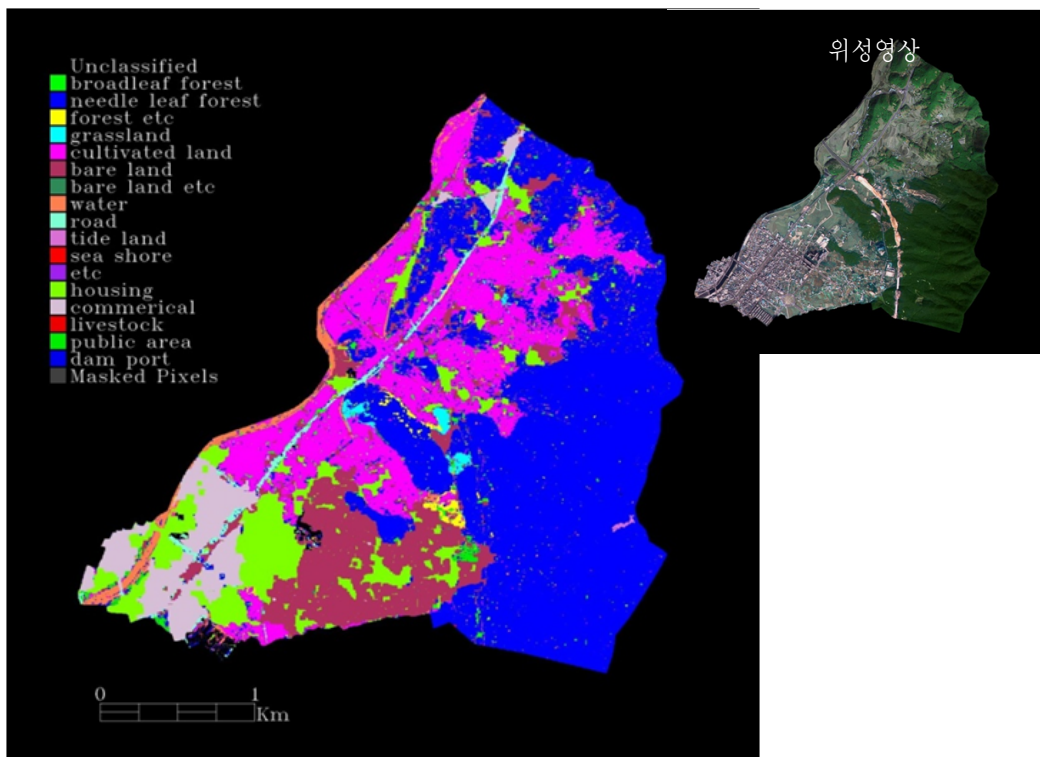
다목적 실용위성 2호(KOMPSAT2) 영상의 분석 결과, 보령시 전체의 경우 가장 넓은 토지피복·이용은 침엽수림(29%)이다. 그 다음은 경작지(19.6%), 수채(15%), 나대지(10.2%)의 순으로 이들 지역 역시 수치지적도 상의 면적과 유사하다. 침엽수림 등 수목지역이 42%로 수치지적도(KLIS) 상의 41.1%와 미세한 차이를 보인다. 경작지는 수치지적도 보다 1.4% 넓게, 수채 역시 수치지적도보다 2.9% 넓게 나타난다. 나대지는 수치지적도보다 2.7% 좁게 나타난다. 일반적으로 수치지적도와 유사하다고 할 수 있다. 대천 3동의 영상분석 결과 침엽수 등 수목지는 51%, 경작지는 23.5% 등 일반적으로 수치지적도의 경우와 유사하지만, 활엽수, 갯벌 등 수치지적도상에 나타나지 않는 토지피복이 나타난다.

[표 5] 보령시의 토지피복 이용 현황

(단위, 개, m²)

토지이용		영상분석결과		%	지적도상		%
		pixels	면적		pixels	면적	
1	broadleaf_forest	813,982	7325,838	10.4	1,026,405	9,237,645	13.1
2	needleleaf_forest	2,268,720	20,418,480	28.9	1,963,280	17,669,520	25
3	forest_etc	208,486	1,876,374	2.7	234,544	2,110,896	3
4	grassland	78,419	705,771	1	54,450	490,050	0.7
5	cultivated_land	1,539,250	13,853,250	19.6	1,430,511	1,2874,599	18.2
6	bare_land	803,975	7,235,775	10.2	1,011,782	9,106,038	12.9
7	bare_land_etc	4,848	43,632	0.1	0	0	0
8	water	1,179,484	10,615,356	15	947,547	8,527,923	12.1
9	road	24,933	224,397	0.3	39,809	358,281	0.5
10	tide_land	648,502	5,836,518	8.3	804,641	7,241,769	10.3
11	sea_shore	2,109	18,981	0	9,820	88,380	0.1
12	etc	46,077	414,693	0.6	54,827	493,443	0.7
13	housing	104,878	943,902	1.3	119,464	1,075,176	1.5
14	commercial	4,396	39,564	0.1	2,281	20,529	0
15	livestock	87,397	786,573	1.1	135,922	1,223,298	1.7
16	public_area	10,808	97,272	0.1	5,083	45,747	0.1
17	dam_&_port	1,630	14,670	0	1,890	17,010	0

아래의 이미지(그림 35)는 대천 3동의 다목적 실용위성 2호의 위성영상 분석 결과이다. 대천3동은 16 class 중 활엽수, 침엽수, 경작지, 공업지역, 주택 등 15개 토지피복이용이 나타난다. 영상분석 결과 침엽수가 46%로 가장 넓은 면적을 차지한다(표 6). 그 다음은 경작지(17.6%)가 넓은 면적을 차지한다. 침엽수, 활엽수 등 수목지는 47.8%)를 차지하여 지적도상의 수목지(45.4%)보다 더 넓은 지역에 분포하는 것으로 나타난다. 경작지는 지적도보다 -3.6% 좁게 나타난다. 일반적으로 수치지적도의 경우와 유사하다고 할 수 있지만, 활엽수, 갯벌 등 수치지적도상에 나타나지 않는 토지피복이 나타난다.



[그림 35] 다목적 실용위성 2호 영상의 16클래스 분석결과(대천3동)

[표 6] 대천 3동의 토지피복 이용 현황

토지이용		영상분석결과		(%)	지적도상		(%)
		pixels	면적(m ²)		pixels	면적(m ²)	
1	broadleaf_forest	153,192	1,378,728	1.9	0	0	0.00
2	needleleaf_forest	3,607,859	32,470,731	45.9	41,300	3,701,700	45.4
3	grassland	55,705	501,345	0.7	11,777	105,993	0.69
4	cultivated_land	1,383,195	12,448,755	17.6	190,516	1,714,644	21.04
5	bare_land	166,407	1,497,663	2.1	97,802	880,218	10.8
6	industrial_area	88,697	798,273	1.1	0	0	0
7	water	161,982	1,457,838	2.1	30,168	271,512	3.33
8	road_railway	675,350	6,078,150	8.6	31,915	287,235	3.53
9	foreshore	545,501	4,909,509	6.9	0	0	0
10	sea_shore	101,081	909,729	1.3	0		0
11	housing	92,653	833,877	1.2	77,207	694,863	8.53
12	commercial	319,256	3,671,577	4.1	37,348	336,132	4.13
13	public_area	89,166	802,494	1.1	8,596	77,364	0.95
14	dam_&_port	161,668	3,814,695	2.1	56,717	510,453	0.72
15	artificial_struc_etc	262,187	2,359,683	3.3	0	0	0

3.4 분석결과의 정밀도 분석

본 소절에서는 위성영상의 분석결과를 현재 우리나라에서 사용되고 있는 주요 주제도(환경부 토지피복도, 수치지적도, 수치지형도, 수치 임상도)와 비교하여 그 정밀성을 검토한다. 서론 부분에서도 언급하였듯이 우리나라의 주요 주제도 들은 경계불일치와 정밀하지 못한 분류라는 치명적인 약점을 갖고 있다.

3.4.1 주요주제도의 경계 불일치와 분류의 부정합성

먼저 토지피복도, 수치지형도, 수치지적도를 비교하여 그 문제점을 밝힌다. [그림 36]의 a)는 환경부의 중분류토지피복도의 일부이다. 이 지역은 보령시 대천3동의 case1지역으로 환경부의 중분류토지피복도 상 과수원, 주거지역, 밭, 침엽수림으로 구성되어 있는 지역이다. 이를 수치지형도에 중첩시킨 것이 [그림 36]의 b)이다. 그림에서 시각적으로 볼 수 있듯이 밭으로 분류된 지역은 수치지형도상 다수의 주택을 포함하고 있으며, 주거지역으로 분류된 지역은 수치지형도상 넓은 면적의 밭을 포함하고 있다. 또한 환경부 중분류토지피복도의 update가 느린 관계로 수치지형도상의 지역을 횡단하는 도로가 토지피복도에는 반영되어 있지 않다.

[그림 36]의 c)는 같은 지역의 수치지적도이다. 수치지적도는 도로, 논, 학교용지, 대지, 밭, 임야로 구성되어 있다. 수치지적도는 수치지형도 및 환경부의 중분류토지피복도와 토지피복이용 분류지역의 경계가 불일치한다. 그러나 중분류토지피복도 보다는 수치지형도와 경계가 일치하는 부분이 더 많으며, 분류가 더 정밀하다. 수치지적도를 수치지형도에 중첩시킨 결과가 [그림 36]의 d)이다. 수치지적도상의 대지와 논 지역의 상당부분이 수치지형도상 밭으로 포함되어 있다. 이상의 결과를 종합하면, 우리나라의 주요 주제도 특히 환경부의 중분류 토지피복도를 이용하는 것보다 인공위성영상을 주로 하고 수치지적도를 보조 자료로 하여 토지피복이용도를 구축하는 것이 타당할 것으로 판단된다.

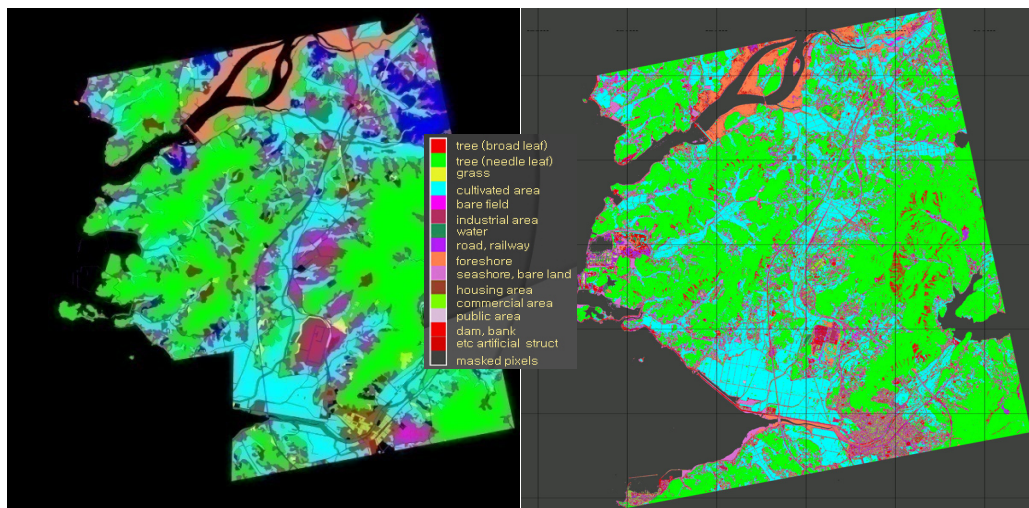


[그림 36] 주요 수치 주제도의 경계 불일치 사례

3.4.2 환경부 중분류토지피복도와 위성영상 분석결과의 비교

환경부의 중분류토지 피복도와 KOMPSAT-2 위성영상의 분류결과를 비교한 것이 [그림 37]이다. 그림 내 a)는 보령시의 환경부의 16 class 중분류 토지피복도이며, b)는 위성영상을 이용하여 16 class 분류한 결과이다. 시각적으로 확연히 들어나듯이 위성영상의 분석 결과가 월등하게 정밀한 것을 알 수 있다.

산림과 하천 부분은 두 영상이 유사하지만, 경작지와 도시화 지역, 나대지, 갯벌 등에서 위성영상 분석 결과를 바탕으로 한 토지피복이용도의 정밀성이 뛰어나다. 특히 갯벌의 경우 환경부의 중분류 토지피복도는 나타내지 못하는 한계를 보이고 있다.



a) 환경부 중분류토지피복도

b) KOMPSAT 분류결과

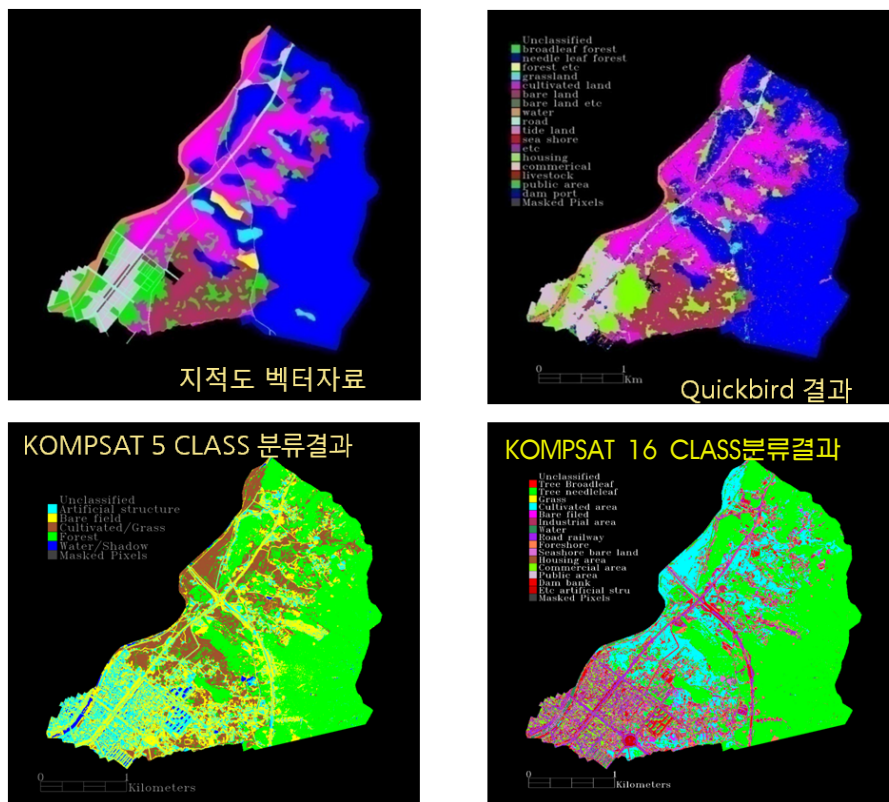
[그림 37] 환경부 중분류 토지피복도와 KOMPSAT-2 위성영상분석결과의 비교

3.4.3 수치지적도, 퀵버드와 KOMPSAT 2 위성영상의 분석결과의 비교

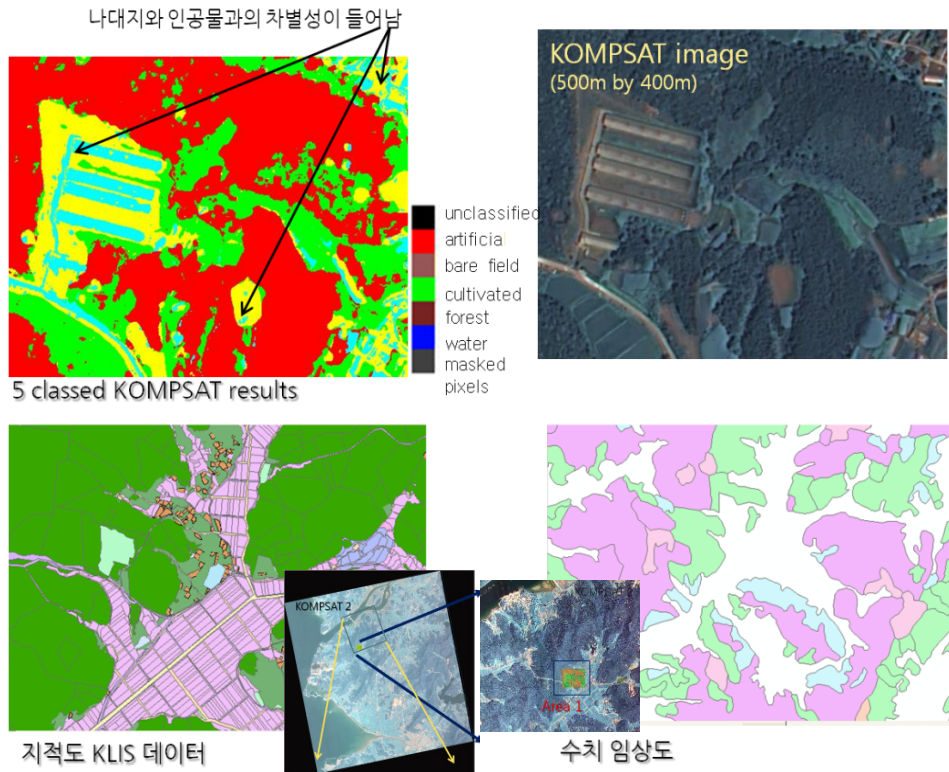
보령시 대천3동의 수치지적도와 퀵버드 위성영상 분석결과 및 다목적실용위성 2호 (KOMPSAT-2) 위성영상 분석 결과를 비교한 것이 [그림 38]이다. 좌상의 이미지는 대천3동의 수치지적도이며, 우상의 이미지는 퀵버드 위성영상의 분석 결과이다. 아래의 그림 2개는 다목적 실용위성 2호의 위성영상 분석 결과(5 class, 16 classs 기반)이다. 그림에서 보듯이 수치지적도보다는 퀵버드 위성영상 분석 결과가 더 정밀한 토지피복이용도를 만들어

내었다. 또한 퀵버드 위성영상 분석결과 보다는 다목적 실용위성 2호의 위성영상 분석결과가 더 정밀한 토지피복이용도를 창출하였다. 특히 도로망과 시가화 지역, 경작지의 분류가 정밀하게 구축된 것을 알 수 있다.

[그림 39]는 보령시의 한 사례지역의 다목적 실용위성 2호의 사진과 위성영상의 분석결과, 수치지적도, 수치 임상도를 비교한 것이다. 그림에서 나타나듯이 수치지적도와 수치임상도에서는 도출되지 않는 인공구조물이 위성영상의 결과에서는 나타난다. 특히 나대지와 인공건조물의 차별성이 확연히 들어난다.



[그림 38] KOMPSAT-2 결과: 대천3동

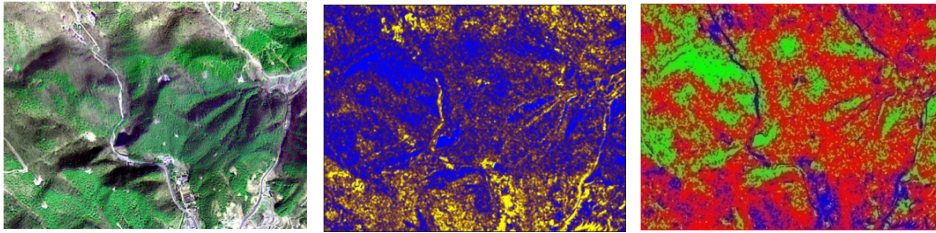


[그림 39] KOMPSAT 분석결과와 주요 주제도의 비교

3.4.4 혼재된 토지피복의 구분: 초지와 숲의 분해 사례

앞의 소절들에서 다목적 실용위성 2호의 위성영상 분석 결과 활엽수림과 침엽수림으로 구분되는 지역이 확인되고 시가화 지역과 주택지역 및 농경지역이 세밀하게 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 즉 환경부의 토지피복도 보다 위성영상의 결과와 비교하여 보면 더욱 세밀한 분류가 되었음을 시각적으로 알 수 있다.

수치지적도 자료에서는 한 지번이 하나의 분류항목으로 표시된 경우, 그 내부의 현재의 토지피복 현황 및 변화를 알 수 있는 방법이 없다. 산림의 경우, 한 지번 내에 수림과 초지가 혼재되어 있는 경우가 많다. 위성영상을 이용한 토지피복이용도 구축에서는 이러한 토지피복이 혼재를 구별할 수 있다. 그 방법은 텍스처 분석(거칠기 분석)으로, 아래의 [그림 40]이 수림과 초지의 혼재를 텍스처 분석을 통해 구분한 결과물이다. 분류체계 결과 적색은 숲으로 나무의 수관이 존재하는 곳이며, 녹색은 초지의 형태를 보이는 지역이다.



위성영상

texture 분석

분류체계로 색상 변환

[그림 40] 초지와 숲의 분해

3.4.5 소결

앞의 소절 들에서는 i) 우리나라의 주요 주제도의 경계 불일치와 분류의 부정합성, ii) 환경부의 중분류토지피복도와 KOMPSAT-2 위성영상의 분류결과 비교, iii) 수치지적도, 킥버드와 KOMPSAT-2 위성영상의 분석결과와의 비교를 통하여 다목적 실용위성 2호 (KOMPSAT-2)의 유용성을 살펴보았다. 연구결과, 환경부의 중분류 토지피복도를 이용하는 것보다 인공위성영상을 주로 하고 수치지적도를 보조자료로 하여 토지피복이용도를 구축하는 것이 보다 정밀하고 정확한 결과를 산출할 것으로 판단된다

구체적으로 보면 첫째, 주요 주제도들은 경계불일치와 정밀하지 못한 분류라는 약점을 갖고 있으며, 환경부 중분류토지피복도는 사람에 의한 디지털이징을 이용한 작성 방법의 한계와 update가 느린 관계로 토지피복의 분류가 정밀하지 못하며, 토지피복의 변화를 반영하는 데 한계가 있는 것으로 보인다. 현재 우리나라의 주요 주제도 중에서는 수치지적도가 중분류토지피복도 보다는 수치지형도와 경계가 일치하는 부분이 더 많으며, 분류가 더 정밀한 것으로 나타났다.

둘째, 환경부의 중분류토지피복도와 KOMPSAT-2 위성영상의 비교 결과, 산림과 하천 부분은 두 영상이 유사하지만, 경작지와 도시화 지역, 나대지, 갯벌 등에서 위성영상 분석 결과를 바탕으로 한 토지피복이용도의 정밀성이 뛰어나다. 셋째, 수치지적도보다는 킥버드 위성영상 분석 결과가, 킥버드 위성영상 분석결과 보다는 다목적 실용위성 2호의 위성영상 분석결과가 더 정밀한 토지피복이용도를 창출하는 것으로 나타났다.. 특히 도로망과 시가화 지역, 경작지의 분류가 정밀하게 구축된 것을 알 수 있다. 넷째, 보령시의 사례지역의 결과로 볼 때, 수치지적도와 수치임상도에서는 도출되지 않는 인공구조물이 위성영상의 결과에서는 나타나며, 특히 나대지와 인공건조물의 차별성이 확연히 들어나는 것을 볼 수 있었다. 다섯째, 수치지적도 자료에서는 한 지번이 하나의 분류항목으로 표시된 경우, 그 내

부의 현재의 토지피복 현황 및 변화를 알 수 있는 방법이 없지만 위성영상을 이용한 토지 피복이용도 구축에서는 텍스처 분석(거칠기 분석)을 통하여 토지피복의 혼재를 구별할 수 있었다.

이상을 종합하여 보면, 다목적 실용위성 2호의 위성영상 분석 결과가 연구지역의 산림구분(활엽수림과 침엽수림), 시가화 지역과 주택지역 및 농경지역의 세밀한 분류, 토지피복 혼재지역 내 피복의 구분 등을 가능케 함으로써, 환경부의 토지피복도 보다 더욱 세밀하고 정확한 분류로 구성된 토지피복이용도의 구축에 유용한 것으로 판단된다.

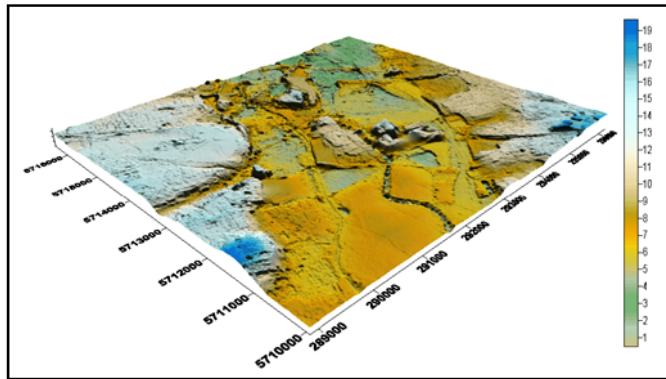
3.5 향후 계획 (2차년도, 2010년)

1차년도에서 수행한 분류의 정확도에 대한 검증 과정은 야외조사 수행의 어려움으로 오 분류 율을 정확히 산정할 수 없었으므로 별도로 제시될 수 없었다. 따라서 2차 연구에서는 두 위성영상의 분류 결과에 대한 정량적 평가 및 칼라항공사진과의 비교를 통한 정성적 평가를 우선 시행할 계획이다. 즉 1차년도 과제에서는 기존 수치지도의 속성을 바로 적용할 때의 문제점과 수치지적도의 지목을 바로 적용할 때의 문제점을 도출하고, 환경부의 토지피복도의 노동집약적인 토지피복분류와는 다른 방식의 토지피복도를 작성하는 다양한 시도를 한 것이라고 할 수 있다.

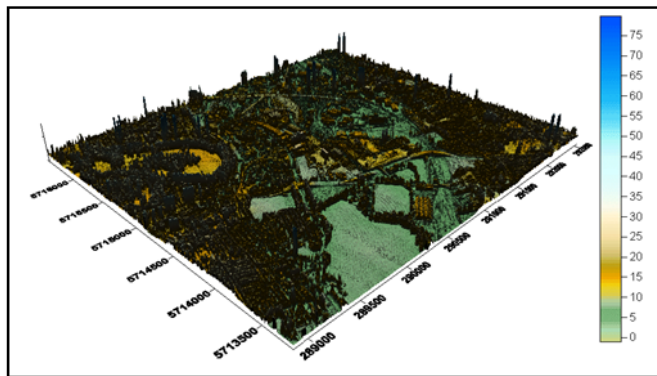
2차년도에는 토지피복·이용별 이산화탄소 배출계수의 산출에 중점을 두면서, 토지피복·이용도의 정확도 및 정밀도를 더욱 높이는 작업을 수행할 예정이다. 본 연구는 1장에서 언급하였듯이 먼 오염원인 토지피복·이용별 cell들을 추출하고 각 cell에 이산화탄소 배출계수를 적용함으로써 지역단위 이산화탄소 배출량을 추정하는 데 목적이 있다. 이를 위해서는 토지피복·이용별 이산화탄소 배출계수의 산출이 필요하다. 현재 먼 단위의 이산화탄소 배출계수 산출에 관해서는 소수의 외국의 연구와 국내 연구가 있을 뿐이다. 이와 관련하여 IPCC는 에너지 별, 토지피복·이용별 배출계수를 제시하고 있지만, 토지피복·이용별 배출계수는 산림지, 농지 등 한정된 부문이긴 하지만 온실가스 배출량 산정에 관한 가이드라인을 제시하고 있다. 이는 세계 각국의 고유 배출계수를 작성하여야 한다는 IPCC의 정책을 각 국가들이 따를 수 있도록 하기 위함이다. 따라서 본 연구는 기존 문헌의 이산화탄소 배출계수를 조사하고, IPCC의 배출계수 산출 가이드라인에 따라 필드 조사를 통해 우리나라 고유의 토지피복·이용별 배출계수를 산출할 예정이다.

토지피복·이용도의 정확도 및 정밀도를 더욱 높이기 위해서는 도시지역, 도시주변지역,

원예농업 밀집 지역 등 토지피복·이용이 복잡한 지역에 3차원 데이터 융합(LiDAR 또는 스테레오 영상을 활용)을 통해 분류 정확도를 증대시키는 것을 지향해야 한다.



a) 런던지역: LiDAR + 고해상도 영상 = 지형지물 정보 추출



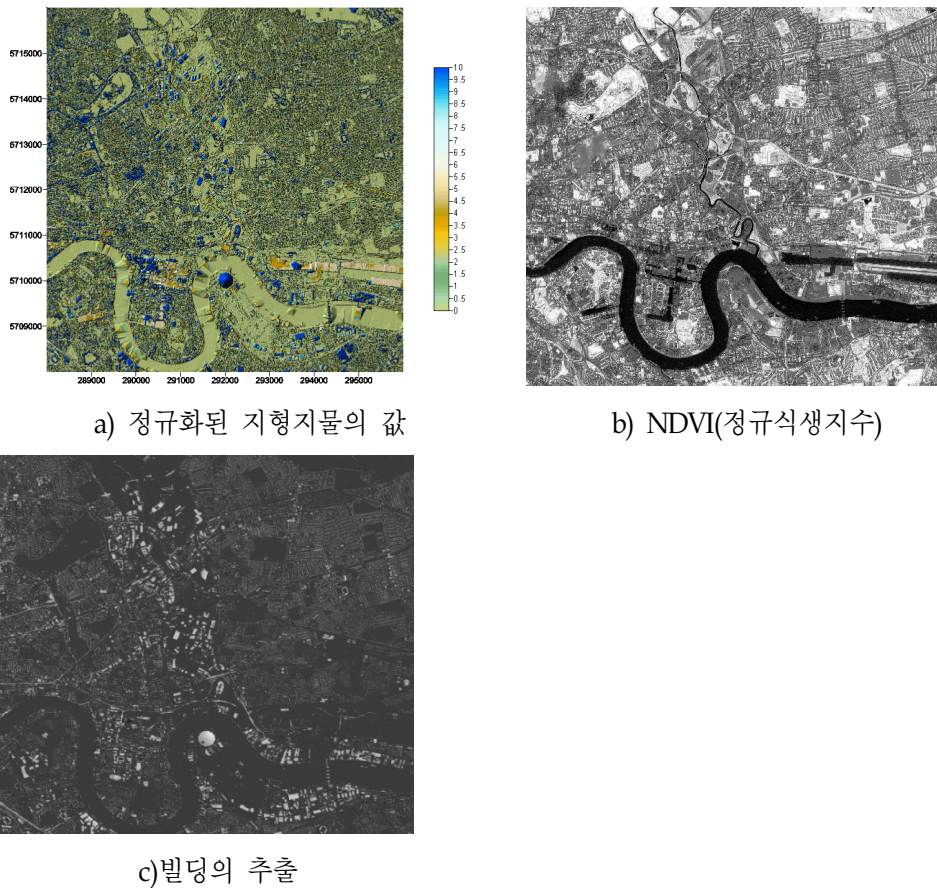
b) DTM

[그림 41] LiDAR와 고해상도 영상을 결합한 DTM의 산출

즉 2010년에 발사된 40cm 해상도의 위성영상인 Worldview-2, GeoEye-1와 같은 IR 밴드를 포함한 고해상도 위성영상과 결합하여 세그먼트 자동추출 등의 방식, 지형지물(object) 수준의 세부 분류 기법을 적용하는 것이다. 또한 건물의 높이와 재질 등의 정보 추출 및 에너지 손실 양을 센서로 측정할 수 있는 지상데이터와 결합하여 기존의 인공지물의 분류 기준과의 비교를 통한 최적의 피복 분류체계 도출한다. 이를 토대로 개별 기후변화 요인 CO₂ 배출 및 흡수효과에 대한 모델결과의 결합을 통한 개별 오브젝트(object)별 영향요소를 정량화 하도록 설계를 강화한다.

2차년도(2010년)의 위성영상 분석 사례는 런던지역을 대상으로 한 빌딩의 추출이다. 빌딩을 추출하기 위한 분석은 1단계로 LiDAR와 고해상도 영상을 결합하여 지형지물 정보를 추출함으로써 DTM(건물 등 지표 인공물들을 모두 제거한 지표의 높이 값)을 추출하는 것이다 (그림 41).

2단계는 1단계에서 산출된 정규화된 지형지물의 높이 값의 NDVI (정규식생지수)를 분석하여 빌딩을 추출하는 것이다. NDVI는 식생의 존재 및 변성을 나타내는 값으로 그 값이 낮은 cell들 중 높이가 높은 cell들이 빌딩으로 추출된다(그림 42).



[그림 42] 빌딩의 추출

토지피복도를 이용한 자연식생 분포에 기인한 CO₂ flux(발생량/흡수량) 추정 예는

[그림 43]과 같다. 이 결과는 중분류 토지피복지도 자료 중, 농업지역, 산림지역(침엽수림/활엽수림/혼효림), 초지에서의 CO₂ 플럭스는 다음의 경험식(Kondo et al., 2001)에 보령시의 시간별 일사량 및 온도를 입력자료로 하여 추정된 것이다.

$$F_{CO_2} = -[bI(1 + aI)] + R \quad (1)$$

$$R = R_{10} \exp[309[(1/(283.15 - T_0)) - (1/(T - T_0))]] \quad (2)$$

F_{CO_2} : CO₂ flux(mgCO₂m⁻²s⁻¹)

I: 지표면 일사량(J/sec, 경험식 또는 관측값)

R: 생태계 호흡에 의한 CO₂ flux 기여량(캐노피층 상부의)

R_{10} : 기온 10 °C에서의 R 값(0.12364 mgCO₂m⁻²s⁻¹)

T: 기온{ °K}

T_0 : 234.13 °K

a, b: 중분류 토지피복형태에 따른 CO₂ 배출변수

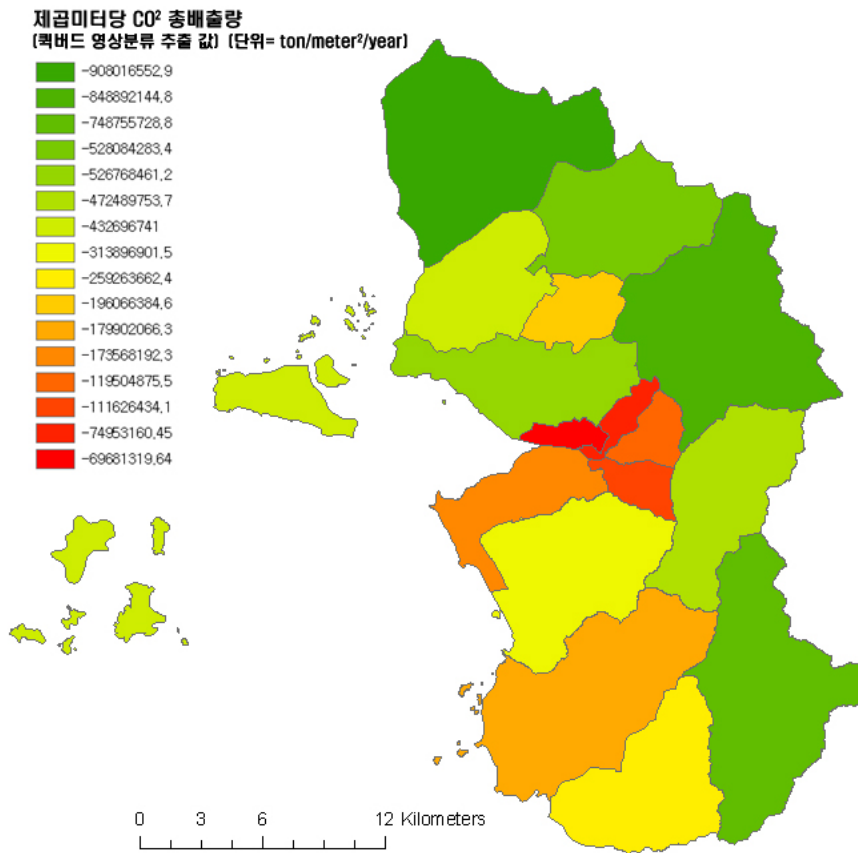
침엽수림의 배출변수는 광릉에 위치한 온실가스 플럭스 타워에서 관측한 일사량과 기온 값과, CO₂ 플럭스 자료를 이용하여 추정된 것이며 a, R_{10} , T_0 는 모든 캐노피에서 같은 값을 갖는다고 가정하고, 문헌을 이용하여 침엽수림 외 다른 생태계에 해당하는 파라미터를 추정한 것이다 (한국환경정책평가연구원, 2002).

[표 7] 토지피복 중분류 별 CO₂ 배출변수

Type of land cover	a (J ⁻¹ sm ² ×10 ⁻⁴)	b (mgCO ₂ J ⁻¹ × ⁻³)
Agriculture	5.96	3.68
Dry land	5.96	4.76
Coniferous forest	5.96	3.02
Deciduous broadleaf forest	5.96	3.04
Mixed forest	5.96	2.02
Grassland	5.96	3.37

data:; Kondo et. al. (2001)

우리나라의 경우 기상청으로부터 측정되거나 예보된 일사량 및 기온의 시·공간적 데이터 베이스로부터 상기 식 1과 2를 통하여 광합성 작용 및 호흡에 의한 연중, 월중, 일중 CO₂ 플럭스의 기여도를 경험적으로 산정할 수 있다. 보령시를 대상으로 산정한 결과를 행정구역별로 합한 예를 [그림 43]이다.



[그림 43] 보령시의 행정구역별 토지피복에 기인한 CO₂ flux

제4장 요약 및 결론

본 연구를 통해 Quickbird 영상과 KOMPSAT-2 영상을 이용하여 작성된 토지피복·이용도는 둘 모두 기존의 환경부 토지피복도보다 더 정밀하고 업데이트된 토지피복·이용도를 저비용으로, 또한 효과적으로 만들어낼 수 있음을 알 수 있었다. 위성을 활용한 토지피복도로부터는 배경농도의 현황을 실제와 유사하게 파악할 수 있는 근거가 마련될 수 있는 자료로 제시가능하며 배경농도의 이해에 도움을 줄 수 있다.

환경부의 토지이용·피복도는 수치지도, 수치임상도 등의 중첩을 위해 digitizing 할 때 담당자의 체계적이지 않은 인위적 판단이 개입되었다는 비판을 받고 있으며, 2002년 작성된 이후 같은 방식으로 갱신이 되고 있으나 이에 대한 정확도 부분에 대한 논의자체도 제기되지 못한 실정이다.

위성영상을 이용하여 만들어진 토지이용피복도 그 이후의 변화를 보여주며 보다 더 정밀하다. 현재의 수치지도와 수치지적도는 이산화탄소 배출량을 계산하기 위한 목적으로는 정확성이 떨어지며, 상호간 경계의 불일치를 보인다.

충남 보령시를 사례로 한 Quickbird 위성영상의 분석을 통해 제시된 결과는 다음과 같다. 첫째, 토지피복/이용도의 정밀한 작성을 위해서는, NIR(근적외선) 밴드가 필수적이라는 점이 충남의 Quickbird 위성영상의 분석결과 제기되었다. 충남도청이 보유·제공한 Quickbird 위성영상은 RGB 3밴드 뿐이었다. RGB 밴드의 조합으로는 토지피복/이용의 적합한 분류가 용이하지 않으므로, 이를 극복하기 위해 식생지수 대체 밴드(NDVI replacement band)를 생성하여 분류를 시도하였지만, 더욱 정밀한 식생 분류를 위해서는 근적외선(NIR)의 확보가 필요하다는 결과가 도출되었다.

둘째, 수치지적도 데이터(KLIS자료)를 그냥 활용하면, 피복문제가 다 해결되며, 영상을 이용한 피복도 작성이 필요 없다는 일부의 의견은 옳지 못하다는 것이다. 수치지적도(KLIS자료) 자체의 분류는 CO₂ 배출을 위한 조건과 매칭되지 않기 때문이며, 간척지 및 습지 등의 분류의 문제가 발견되었다. 또한 농지전용 및 산지전용으로 인한 불법활동에 대한 내용은 수치지적도로는 확인할 방법이 없으나 위성영상에서는 확인이 가능하다.

셋째, IKONOS, Quickbird와 같은 초고해상도도 각도 촬영이 다양한 스테레오 중·고 해상도 다분광 위성영상 이미지(multi-spectral image)를 사용하면 더욱 적합한 프로젝트 결과를 추출할 수 있을 것으로 판단된다. 예로서, EO-1 Ali, SPOT와 같은 위성영상을 이용할 경우 저비용으로 효율적이며 적합한 과제 결과를 산출할 수 있을 것이다. 또한 이들 영상을 16bit로 pan-sharpening하면 숲 및 초지 분류의 정확성을 더 정밀화할 수 있을 것이다. 70 센티급의 정밀한 위성영상은 오히려 픽셀 혼합 현상 및 그림자 등의 노이즈 효과가 오히려 증가하고 Quickbird를 단계해상도 8bit 대역으로 Pan-sharpening 한 결과 saturation이 발생하여 밀생된 숲의 구별이 어려웠으며, 물과 그림자의 분류 역시 문제가 되었다. 도심지역의 인공구조물의 반사도 값(DN) 역시 포화되어 경계선이 모호해졌으며, 현재의 일반 위성영상 소프트웨어에서 제공하는 분류법만 의존해서는 분류의 정확성이 현저히 떨어진다.

KOMPSAT-2 영상을 이용하는 것이 Quickbird 영상을 이용한 것 보다 더 정밀한 토지이용·피복도를 작성을 가능케 하였다. KOMPSAT-2 위성영상은 1개의 면에 적용하여 세부 주제도를 제작하였으나, 타 지역 모두 제작 후에, 동리 별로 분할하여 정리할 경우, 대기 중 CO₂ 기여도가 행정동별로 추출될 수 있을 것이며, 읍면동간의 상대적인 비교도 가능하다.

다섯 개의 클래스 분류체계는 분류가 확실하게 되어 오류는 찾기 어렵지만 건물, 도로, 빌딩의 구별이 힘들다는 단점을 갖고 있다. 15 클래스의 분류체계는 주택, 도로, 건물(building), 댐·보 등 인공구조물의 분류체계를 세분화할 수 있으며, 또한 해변(seashore), 갯벌(foreshore), 습지(shallow water) 등 자연 구조물의 분류체계 역시 세분화 할 수 있다. 그러나 분류과정에서 잘못 분류될 가능성은 증가한다.

지역단위 CO₂ 배출량 추정 또는 비오름 생태지도 작성의 base map인 토지이용·피복도 작성은 위성영상을 이용하는 것이 기존의 수치지도, 수치지적도를 이용한 방법보다 더 정밀한 결과를 보일 것으로 판단된다.

향후 2차년도에 LiDAR 자료 및 10미터 급 DEM 자료를 함께 사용할 경우 더 나은 분류기법 개발이 가능하다. 또한 알고리즘(algorithm)의 측면에서는 training vector와 비교 topology, possibility function들을 적절히 결합하는 분류기법을 개발할 경우 결과물의 질적인 향상을 기대할 수 있을 것으로 기대된다. 수치표고모델 (LiDAR, stereo pair를 통한 고도추출)을 multi-spectral 영상과 함께 사용할 경우 정확도를 매우 향상 시킬 수 있을 것으로 기대된다.

예로서 논과 밭의 구분, 비닐하우스의 판별, 숲과 초지의 구분, 건물의 그림자와 수체의

분류, 갯벌과 나대지의 구분 등 보다 정밀하고 정확한 토지피복/이용의 분류가 가능하다. 이를 위해서는 국토지리정보원의 10미터 보다 촘촘하게 추출된 수치표고데이터의 확보가 필수적이다. 기존의 인공지물의 분류기준과의 비교를 통해 최적의 피복 분류체계 도출할 필요가 있으며, 개별 기후변화 요인 CO₂ 배출 및 흡수효과에 대한 모델결과의 결합을 통한 개별 오브젝트 별 영향요소를 정량화 하도록 설계를 강화할 필요가 있다.

[부록 1] IPCC 제시 연료연소에 따른 해당국가의 CO₂ 배출량의 추계 방법론

- * 1단계 : 연료제품별 연료 소비량의 추계
 - 해당 국가의 연료형태별 명시적 소비 (Apparent consumption) 추계
 - 명시적소비량=생산량+수입량 - 수출량 - 국제병커량 - 스톡변동량
- * 2단계 : 연료소비량을 공통단위로 전환
 - 열량단위 GJ(또는 TJ)을 공통 단위로 하여 단위 통일
- * 3단계 : 제품별 탄소배출계수의 선정
 - 화석연료별로 탄소함유량이 상이하므로 연료별 탄소배출계수를 결정
- * 4단계 : 미연탄소분(Unburned Carbon) 의 고려
 - 연료에 함유되어있는 탄소 중 연소과정에서 산화되지 않은 부분
 - 연료종류별, 연료사용 기기의 기술별로 상이
 - IPCC, 연료별로 평균 연소율을 제시
- * 5단계 : 탄소배출량을 CO₂로 전환
 - 절차를 통해 얻게 되는 배출량은 탄소(Carbon) 량
 - CO₂ 배출량을 구하기위해서 탄소배출량을 CO₂ 배출량으로 전환
 - CO₂와 탄소간의 질량비를 탄소량에 곱하여 CO₂ 배출량을 구
 - CO₂와 탄소간의 질량비는 44/12

IPCC 탄소배출계수(CARBON EMISSION FACTOR: CEF)

연 료 구 분			탄소배출계수		
			kg C/GJ	*(ton C/toe)	(tJ/10³TON)
액체화석연료	1차연료	원유	20.00	0.829	-
		천연액화가스(NGL)	17.20	0.630	-
		휘발유	18.90	0.783	44.80
		항공가솔린	18.90	0.783	44.59
		등 유	19.60	0.812	44.75
	2차연료	항공유	19.50	0.808	-
		경 유	20.20	0.837	43.33
		중 유	21.10	0.875	40.19
		LPG	17.20	0.713	47.31
		납 사	(20.00)(a)	0.829	45.01
		아스팔트(Bitumen)	22.00	0.912	40.19
		윤활유	(20.00)(a)	0.829	40.19
		Petroleum Coke	27.50	1.140	31.0
		Refinery Feedstock	(20.00)(a)	0.829	44.80
고체화석연료	1차연료	무연탄	26.80	1.100	
		원료탄	25.80	1.059	
		연료탄	25.80	1.059	
		갈 탄	27.60	1.132	
		Peat	28.90	1.186	
	2차연료	BKB & Patent Fuel	(25.80)(a)	1.059	
		Coke Oven/Gas Coke	29.50	1.210	
		Coke Oven Gas	13.0(b)		
		Blast Furnace Gas	66.0(b)		
기체화석연료		LNG(dry)	15.30	0.637	
바이오매스 (CO₂ 배출량 계산 시 불 포함)	고체바이오매스		29.90	1.252	
	액체바이오매스		(20.00)(a)	0.837	
	기체바이오매스		(30.60)(a)	1.281	

주) 41,868 TJ/10⁶ toe 적용하여 계수환산

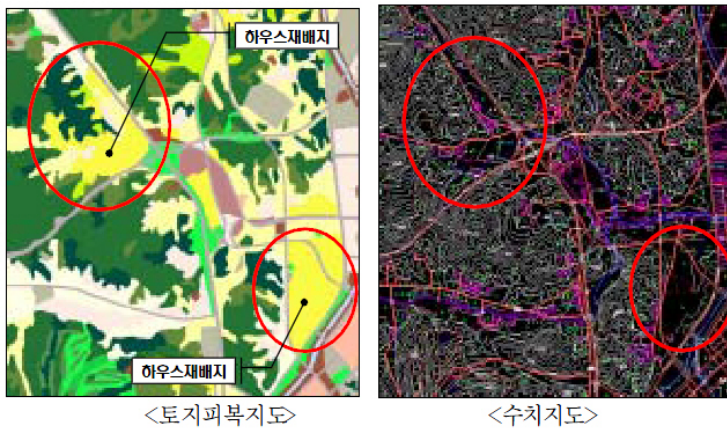
*에너지원별 IPCC Guideline에서 제시하고 있는 용도별 연소를 적용

연료별 평균연소율(IPCC, 1996)

연료구분	연소율
석탄	0.98
원유 및 석유제품	0.99
가스	0.995
발전용 Peat	0.99

[부록 2] 수치지도와 토지피복지도 분류항목 비교

토지피복지도는 토지의 물리적 표면상태를 분류한 것으로 수치지형도에서 표시하고 있는 항목별 영역과는 상이하다. 아래 예와 같이 환경부문에서 필요로 하는 하우스재배지, 활엽수림, 침엽수림, 혼효림, 채광지역의 항목은 수치지형도에 없어, 수치지형도를 편집하여 토지피복지도를 작성하는 것은 불가능하다.



참고 문헌

- Al-Dabi, K. M., Al-sawari, M. and El-Baz, F.. 1997, "Evolution of sand dune patterns in space and time in north-western Kuwait using Landsat images", *Journal of Arid Environment* 36, 15-24.
- Arbogast A. F., Hansen, E. C. and van Oort, M. D., 2002, Reconstructing the geomorphic evolution of large coastal dunes along the southeastern shore of lake Michigan, *Geomorphology* 46, 241-255.
- Atkins, P. M. and Lewis, P., 2000, Geostatistical classification for remote sensing: an introduction, *Computers & Geosciences*, 26, 361-371.
- Berkenbusch. K. and Rowden A. A., 1999, Factors influencing sediment turnover by the burrowing ghost shrimp, *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 238, 283-292.
- Bharato, M. H, Liu, J. J. and MacGregor, J. F., 2004, Image texture analysis: methods and comparisons. *Chemometrics and Intelligent Laboratory System* ,72(1),57-71
- Casler, S. and Blair, P. 1997: Economic structure, fuel combustion, and pollution emissions. *Ecological Economics* 22
- Clausi, D. A. 2001, Comparison and fusion of co-occurrence, Garbor and MRF texture features for classification of SAR sea-ice imagery, *Atmosphere-ocean* 39(3),183-194
- Chang, E., Kim, M.H, Heo, M. and Lee, B. H. 2003, Monitoring of Graveyards in Mountainous Areas with Simulated KOMPSAT-2 imagery, *Proceedings of ACRS 2003 ISRS*, Busan, 918-920
- Congalton, R. G., 1991, A review of assessing the accuracy of classification of remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment*, 37(1),35-46.
- Cooper G. R. J. 2002, The textural analysis of gravity data using co-occurrence matrices, *Computer and Geosciences*, 30, 107-115.
- Chang E. M., Park, K. and Jung, I. K., 2004, Feature extraction in an aerial

- photography of Gimnyeong Sand Dune areas by texture filtering, *Proceedings of ISRS 2004*, 613-616..
- Falloon, P.D., Smith, P., Smith, J.U., Szabo, J., Coleman, K. and Marshall, S. 1998: Regional estimates of carbon sequestration potential: linking the rothamsted carbon model to GIS databases. *Biological Fertility of Soils* 27, 236-241.
- Garcia, I. and Zorraquino, J.V.M. 2002: Energy and environmental optimization in thermoelectrical generating processes-application of a carbon dioxide capture system. *Energy* 27, 607-623.
- Hartikainen, T., Lehtonen, J. and Mikkonen, R. 2004: Reduction of greenhouse-gas emissions by utilization of superconductivity in electric-power generation. *Applied energy* 78, 151-158.
- Hondo, H. 2005: Life cycle GHG emission analysis of power generation systems: Japanese case. *Energy* 30, 2042-2056.
- IPCC 2001: Climate Change 2001: The scientific basis. *Report of the IPCC*.
- Kartha, S., Lazarus, M. and Bosi, M. 2004: Baseline recommendations for greenhouse gas mitigation projects in the electric power sector. *Energy Policy* 32, 545-566.
- Koerner, B. and Klopatek, J. 2002: Anthropogenic and natural CO₂ emission sources in an arid urban environment. *Environmental Pollution* 116, s45-s51.
- Miller, R. and Blair, P. 1985: *Input-Output Analysis: Foundations and Extensions*. New Jersey: Prentice-Hall.
- Raich, J.W. and Schlesinger, W.H. 1992: The global carbon dioxide flux in soil respiration and its relationship to vegetation and climate. *Tellus* 44,, 81-89.
- Shin, H.C., Park, J.W., Kim, H.S. and Shin, E.S. 2005: Environmental and economic assessment of landfill gas electricity generation in Korea using LEAP model. *Energy Policy* 33, 1261-1270.
- US EPA 2002: *Greenhouse gas (GHG) verification guideline series-Natural gas-fired microturbine electrical generators* 2-31.
- Wijayatunga, P.D.C., Fernando, W.J.L.S. and Shetha, R.M. 2004: Impact of distributed and independent power generation on greenhouse gas emission: Sri Lanka. *Energy Conversion and Management* 45, 3193-3206.

WMO 2004: WMO WDCGG data summary: Volume IV-Greenhouse Gases and Other Atmospheric Gases. WDCGG No. 28.

국립기상연구소 기후연구과 2009a: *기후변화 이해하기*: 국립기상연구소.

국립기상연구소 기후연구과 2009b: *기후변화 이해하기 II - 한반도 기후변화: 현재와 미래*: 국립기상연구소.

권영성, 이준기, 진병복, 손양래 2007: 연속측정을 통한 고정연소시설의 온실가스(CO₂) 배출계수 개발. *대한환경공학회춘계학술대회*, 29.

김대희 2007: 산업연관분석을 이용한 공동주택 건설단계의 에너지소비량 및 이산화탄소 배출량 평가. *안동대학교 대학원 석사학위논문*.

김명화 2005: GIS를 이용한 도시녹지의 대기정화효과 추정에 관한 연구 : 서울시를 대상으로 *서울대학교 대학원 석사논문*.

김세완, 이기훈 2008: 비선형 STAR 모형을 이용한 이산화탄소 배출량과 경제성장 간의 관계 분석. *자원 환경경제연구* 17, 3 - 22.

김윤경 2002: 환경분석용 산업연관표로 본 아시아의 생산과 환경오염물질 발생: EDEN 1990, EDEN 1995를 이용하여. *미래개척 학술연구 추진사업*.

김은식 2009: 녹색성장의 도전과 그 접근: 3-e(미래 생태 ecology를 살려내고 환경 environmentf 개선을 동시에 추구하는 경제economy)의 접합과 그 조화를 위한 노력. *한국농약과학회 춘계학술발표대회 논문집*, 14 - 16.

김의홍 1995: *GIS 및 원격탐사 기법을 이용한 환경정보 추출 및 수질관리응용 시스템 개발*: 환경부.

김정인 2009: 저탄소 녹색성장 개념과 전라남도의 정책방향. *전남비전* 21 57, 2 - 14.

김홍록, 진병복, 윤완우, 권영성, 이민영, 윤영봉, 신원근 2007: 연소시설의 온실가스(CO₂) 배출량 산정 및 배출계수개발. *환경영향평가* 16, 277 - 283.

도건우, 이지훈, 신창목 2009: 녹색뉴딜사업의 再照明. *CEO Information* 691, 1 - 21.

문윤섭, 구윤서 2006: 수도권지역에서 수치 토지피복지도 작성을 통한 대기환경부문 활용사례 연구 - MM5내 기온 및 바람장의 민감도 분석과 식생분포에 기인한 VOC 배출량 및 CO₂ 플럭스의 실시간 산정을 중심으로. *한국대기환경학회지* 22, 661 - 678.

문윤섭, 구윤서, 김성태, 조진식 2004: 토지피복지도를 활용한 실시간 자연오염원 산정 및 기여농도 특성. *한국대기환경학회 2004 추계학술대회 논문집*, 417 - 418.

- 박기준, 유희정, 조천호 2006: 1999 년 - 2005 년 안면도에서 관측된 온실가스 농도의 변동 분석. *2006년도 한국기상학회 봄철 학술대회 논문집*, 118 - 119.
- 박준영, 허은영 2002: 구조분해분석을 이용한 CO₂ 배출량 변화요인분석에 관한 연구. *한국자원공학회지* 39.
- 박호진 2006: 산업연관분석을 이용한 CO₂배출량 추정 및 변화요인 분석. *한국산업기술대학교 지식기반기술 · 에너지대학원 석사학위논문*.
- 산업자원부 자원정책실 2006: *자원에너지 주요통계*.
- 신문기, 김호정, 장영기, 홍지형 2003: 건설장비와 농기계에서 배출되는 연도별 대기오염 배출량 변화추세. *한국대기환경학회지* 19, 805 - 810.
- 에너지경제연구원 2004: *기후변화협약 대응을 위한 중장기 정책 및 전략에 관한 연구*.
- 이상중, 임정균 2007: 화력발전소 입출력 특성계수를 이용한 순시 발전출력 대비 CO₂ 대기배출량 계산. *조명 · 전기설비학회논문지* 21, 120 - 125.
- 장성문, 이강희, 노삼영, 이경민 2007: 공동주택 개보수에 따른 건축자재의 에너지 소비량과 이산화탄소 배출량 분석. *대한건축학회 학술발표대회논문집*, 801 - 804.
- 장영기, 김호정, 송기봉, 정종원, 유용희, 양창범 2004: 축산부문에서 배출되는 온실가스 배출량 추정(2001년). *한국대기환경학회 2004 춘계학술대회 논문집*, 70 - 71.
- 전성우 1999: 인공위성영상자료를 이용한 토지피복분류. *KEI 1999: 환경정책평가연구원*.
- 전성우 2002: *국토생태네트워크의 추진전략에 관한 연구*. 한국환경정책평가연구원.
- 전의찬, 명수정, 정재학, 이성호, 사재환, 노기환, 김기현, 배위섭 2007: 무연탄 화력발전소의 이산화탄소 배출계수 개발. *한국대기환경학회지* 23, 440 - 448.
- 전의찬, 사재환, 이성호, 정재학, 김기현, 배위섭 2006: 에너지사용시설의 온실가스 배출 특성 연구 - 유연탄 화력발전소의 이산화탄소를 중심으로. *한국대기환경학회지* 22, 107 - 116.
- 정재학, 전의찬, 사재환, 노기환, 배위섭 2006: 화력발전소의 이산화탄소 배출계수 비교 연구. *한국대기환경학회 2006 추계학술대회 논문집*, 87 - 88.
- 정종관 2009: 충남의 온실가스 배출특성 분석. *충남리포트: 충남발전연구원*.
- 정현식 1997: 이산화탄소의 산업별 배출구조와 배출요인. *동계학술발표대회*.
- 조현길, 안태원 2001: 도시생태계 수목의 대기정화 역할 : 용인시를 사례로. *한국조경학회지* 29, 38 - 45.
- 조현길, 조동하 1998: 도시 주요조경수종의 연간 CO₂ 흡수. *한국조경학회지* 26, 38 - 53.

- 조현길, 조용현, 안태원 2003: 도시녹지의 환경보전효과: 서울시 중구를 중심으로. *한국조경학회지* 31, 83 - 80.
- 차준석, 김상균, 박일수, 이용희, 오성남, 홍지형 2005: 대기오염물질 배출사업장에서의 이산화탄소 배출량 산정. *한국대기환경학회학술대회논문집*, 162 - 164.
- 최진무 1998: GIS를 이용한 대기오염 배출량 분포도의 정확도 향상에 관한 연구. *한국GIS학회지* 6, 65 - 79.
- 최진호, 강주명 2008: 가정용 가스보일러의 이산화탄소 배출량 예측모델 개발. *한국에너지공학회 2008년도 추계 학술발표논문집*, 273 - 278.
- 최충규 1993: 산업부문별 CO₂ 배출량에 대한 비교정태분석. *월간산업동향* 11.
- 최한주, 이기훈 2002: 산업연관분석을 이용한 우리나라 산업의 CO₂ 배출변화 요인 분석. *경제학 공동 학술대회 발표 논문*.
- 최한주, 이기훈 2004: 우리나라의 수출입상품에 체화된 이산화탄소 배출량의 추정. *자원·환경경제연구* 13.
- 최한주, 이기훈 2006: 환경 혼합 산업연관모형을 이용한 산업별 이산화탄소 배출량 추정과 변화 요인 분석. *자원·환경경제연구* 15, 27 - 50.
- 한국대기환경학회 2000a: *환경기초시설에서 발생하는 온실가스 배출량 조사*: 환경부.
- 한국대기환경학회 2000b: *환경부문의 온실가스 저감잠재력 평가*: 환경부.
- 한화진, 안소은, 유가영, 김정은 2006: 기후변화 영향평가 및 적응시스템 구축 II. *경제·인문사회연구회 협동연구총서*: 한국환경정책평가연구원.
- 한화진, 안소은, 유가영, 조광우, 이상엽, 김정은, 안선욱 2007: 기후변화 영향평가 및 적응시스템 구축 III. *경제·인문사회연구회 협동연구총서*: 한국환경정책평가연구원.
- 한화진, 안소은, 최은진, 한기주, 이정택, 김해동, 손요한, 박용하, 조광우, 윤정호, 이은애, 김승만 2005: 기후변화 영향평가 및 적응시스템 구축 I. *경제인문사회연구회 협동연구총서*: 한국환경정책평가연구원.
- 환경관리공단 2002: *환경부문의 온실가스 배출량 조사 및 통계구축*: 환경부.
- 환경관리공단 2003: *환경부문의 온실가스 배출량 조사 및 통계구축(II)*: 환경부.
- 환경정책평가연구원 2003: 인공위성 영상자료를 이용한 토지피복지도 구축(4차) - 낙동강 권역 토지피복지도 구축 사업. 환경부.

■ 집 필 자 ■

연구책임 · 이인희 책임연구원 충남발전연구원 환경생태연구부

공동연구 · 장은미 박사 地人 컨설팅

기본연구 2009-20 · 행정구역 단위 CO₂ 배출량 추정을 위한 기초연구 (I)
위성영상을 이용한 토지피복 이용도 구축

글쓴이·이인희, 장은미/ 발행자·김용웅 / 발행처·충남발전연구원

인쇄·2009년 12월 31일 / 발행·2009년 12월 31일

주소·충청남도 공주시 금홍동 101 (314-140)

전화·041-840-1208(직통) 041-840-1114(대표) / 팩스·041-840-1209

ISBN·978-89-6124-108-3-93530

<http://www.cdi.re.kr>

© 2009, 충남발전연구원

- 이 책에 실린 내용은 출처를 명기하면 자유로이 인용할 수 있습니다.
무단전재하거나 복사, 유통시키면 법에 저촉됩니다.
- 이 연구는 본 연구원의 공식 견해와 반드시 일치하는 것은 아닙니다.