



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

석사학위논문

서울-인천 도시회랑의 성장에 따른
성하기 열 환경 변화

제주대학교 교육대학원

지리교육전공

박 샘

2015년 8월

Changes in Mid-Summer Thermal Environments
Associated with the Expansion
of Seoul-Incheon Urban Corridor

Sam Park

(Supervised by professor Gwangyong Choi)

A thesis submitted in partial fulfillment of the requirement for the degree of
Master of Education.

2015 . 8.

This thesis has been examined and approved.

Thesis director, SangChul Kwon Prof. of Geography Education
TaeHo Kim Prof. of Geography Education
Gwangyong Choi Prof. of Geography Education

Department of Geography Education
GRADUATE SCHOOL OF EDUCATION
JEJU NATIONAL UNIVERSITY

서울-인천 도시회랑의 성장에 따른 성하기 열 환경 변화

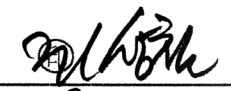
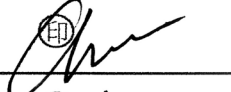
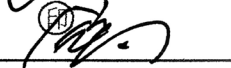
지도교수 최 광 용

박 샘

이 논문을 교육학 석사학위 논문으로 제출함

2015년 8월

박 샘의 교육학 석사학위 논문을 인준함

심사위원장	원상길	
위 원	최광용	
위 원	김태호	

제주대학교 교육대학원

2015년 8월

< 초 록 >

이 논문에서는 미국의 해양대기청(National Oceanic and Atmospheric Administration; NOAA)에서 제공하는 Landsat 위성 영상 자료를 활용하여 최근 30년간(1984-2014년) 수도권 지역의 서울·부천·인천의 도시 팽창으로 인한 토지피복과 성하기인 7월 말-8월 초의 식생 활력도 및 지표 온도 변화의 특성과 두 현상의 상관성을 밝히고자 하였다. 이를 위해 운량이 상대적으로 적은 10년 단위의 4개 년(1984년 7월 30일, 1994년 7월 26일, 2004년 7월 29일, 2014년 8월 2일) 성하기 영상을 바탕으로 토지 피복 분류를 시행하고 정규식생지수(Normal Distribution Vegetation Index; NDVI)와 지표 온도 공간 분포도를 작성하여 시기별 변화 패턴을 분석하였다. 또한 토지 피복 변화가 열 환경 변화에 미치는 영향을 정량화하기 위해 지표 온도와 정규식생지수 간의 상관분석과 회귀분석을 하여 시계열적 변화를 분석하였다.

위성 영상 분석 결과 토지 피복 분류에서 서울·인천·부천은 최근 30년간(1984-2014년) 도시화된 지역의 면적이 각각 19.8%, 39.9%, 40% 증가하고, 녹지 면적은 각각 16.5%, 15.6%, 38.8% 감소하였음을 알 수 있다. 산림 지역 대비 도시 지역의 지표 온도는 1984년 7월 30일 1.1℃, 1994년 7월 26일 1.7℃, 2004년 7월 29일 2.1℃, 2014년 8월 2일 2.3℃씩 시간이 지날수록 점점 더 높게 나타났다. 회귀분석의 시기 별 일차 선의 기울기를 비교해보면 식생 피복 감소에 따른 온도 상승률은 최근으로 올수록 점차 증가함을 알 수 있다. 이러한 결과들은 20세기 후반 이후 수도권 지역에서 도시 팽창이 진행됨에 따라 식생이 파괴되어 성하기에 고온 구역이 증가하고 있음을 가리킨다. 본 연구는 여름철 성하기 열 환경 측면에서 지속 가능한 도시 개발 계획 및 도심 재정비 계획 시 도심 지역의 녹지 관리의 중요성을 잘 보여주고 있다.

주요어: 도시팽창, 열 환경, 원격탐사, 토지피복변화, 지표온도변화, 정규식생지수, 서울-인천 도시회랑.

<제목 차례>

I. 서론	1
1. 연구 배경 및 목적	1
2. 연구 동향	4
1) 수도권 도시 성장	4
2) 도시 열 환경 변화	5
II. 연구 자료 및 연구방법	7
1. 연구 자료	7
1) 연구 지역	7
2) Landsat 위성 영상	9
3) 연구 자료 선정	10
2. 연구 방법	14
1) 위성영상의 전처리 과정	14
2) 위성영상 기반 토지 피복 분류	18
3) 정규식생지수(Normalized Difference Vegetation Index; NDVI) 추출	19
4) 위성영상 기반 지표 온도 추출	20
5) NDVI와 지표 온도의 관련성 분석	24
III. 결과 및 고찰	25
1. 서울-인천 도시회랑의 토지 이용 변화	25
2. 서울-인천 도시회랑의 녹지 지역 면적 변화	48
3. 서울-인천 도시회랑의 지표 온도의 변화	55
4. 서울-인천 도시회랑의 도시팽창과 열 환경의 관련성	71
1) 서울	72

2) 부천	82
3) 인천	91
IV. 결 론	99
참고문헌	102
<Abstract>	110
감사의 글	112

〈표 차례〉

표 1. Landsat 위성 영상의 분광 밴드(spectral band) 별 해상도	9
표 2. 분석에 사용된 Landsat 위성영상의 센서 및 취득 시기	11
표 3. 재배열에 사용된 영상에 찍힌 지상기준점의 평균제곱근 오차(RMSE)	15
표 4. 토지피복 분류 항목	19
표 5. 방사휘도 산출에 사용된 Landsat TM 및 ETM+의 변수 값	22
표 6. Landsat-5·7·8의 위성영상 열 밴드에서 지표온도 추출 시 사용된 변수 값	23
표 7. 서울의 30년간(1984-2014년) 토지피복분류 항목 별 면적 변화	29
표 8. 서울 내에서 도시화된 지역의 면적이 크게 나타난 상위 10개 동	30
표 9. 인천의 30년간(1984-2014년) 토지피복분류 항목 별 면적 변화	34
표 10. 인천 내에서 도시화된 지역의 면적이 크게 나타난 상위 10개 동	36
표 11. 부천의 30년간(1984-2014년) 토지피복분류 항목 별 면적 변화	40
표 12. 부천 내에서 도시화된 지역의 면적이 크게 나타난 상위 10개 동	41
표 13. 서울 내에서 지표 온도가 높게 나타난 상위 10개 동	60
표 14. 서울 내에서 지표 온도가 낮게 나타난 하위 10개 동	61
표 15. 인천 내에서 지표 온도가 높게 나타난 상위 10개 동	62
표 16. 인천 내에서 지표 온도가 낮게 나타난 하위 10개 동	64
표 17. 부천 내에서 지표 온도가 높게 나타난 상위 10개 동	65
표 18. 부천 내에서 지표 온도가 낮게 나타난 하위 10개 동	66
표 19. 서울의 시기 별 NDVI와 지표 온도 간 피어슨 상관계수와 통계적 유의성	73
표 20. 부천의 시기 별 NDVI와 지표 온도 간 피어슨 상관계수와 통계적 유의성	83
표 21. 인천의 시기 별 NDVI와 지표 온도 간 피어슨 상관계수와 통계적 유의성	92

<그림 차례>

그림 1. 연구대상지역(서울·인천·부천)	8
그림 2. 1984년 7월 30일 Landsat-5 TM 위성영상	12
그림 3. 1994년 7월 26일 Landsat-5 TM 위성영상	12
그림 4. 2004년 7월 29일 Landsat-7 ETM+ 위성영상	13
그림 5. 2014년 8월 2일 Landsat-8 OLI 위성영상	13
그림 6. Gap-fill 함수 적용 전 2004년 7월 29일 Landsat-7 ETM+ 원 영상	17
그림 7. Gap-fill 함수 적용 후 2004년 7월 29일 Landsat-ETM+ 영상	17
그림 8. 1994년 7월 26일 Landsat-5 TM 열 밴드(Band 6) 영상	21
그림 9. 1980년대 중반(1984년) 토지 피복 분포	25
그림 10. 1990년대 중반(1994년) 토지 피복 분포	26
그림 11. 2000년대 중반(2004년) 토지 피복 분포	27
그림 12. 2010년대 중반(2014년) 토지 피복 분포	28
그림 13. 서울의 30년간(1984년-2014년) 토지 피복 구성을 변화	29
그림 14. 서울의 1980년대 중반(1984년)-1990년대 중반(1994년)사이의 (1990년대 중반-1980년대 중반) 도시화된 지역(붉은 색)	31
그림 15. 서울의 1980년대 중반(1984년)-2000년대 중반(2004년)사이의 (2000년대 중반-1980년대 중반) 도시화된 지역(붉은 색)	32
그림 16. 서울의 1980년대 중반(1984년)-2010년대 중반(2014년)사이의 (2010년대 중반-1980년대 중반) 도시화된 지역(붉은 색)	33
그림 17. 인천의 30년간(1984년-2014년) 토지 피복 구성을 변화	34
그림 18. 인천(강화군·옹진군 제외)의 1980년대 중반(1984년)-1990년대 중반(1994년)사이의 (1990년대 중반-1980년대 중반)	37
그림 19. 인천(강화군·옹진군 제외)의 1980년대 중반(1984년)-2000년대 중반(2004년)사이의	38
그림 20. 인천(강화군·옹진군 제외)의 1980년대 중반(1984년)-2010년대 중반	

(2014년)사이의 (2010년대 중반-1980년대 중반)	39
그림 21. 부천의 30년간(1984년-2014년) 토지 피복 구성을 변화	40
그림 22. 부천의 1980년대 중반(1984년)-1990년대 중반(1994년)사이의 (1990년대 중반-1980년대 중반)	42
그림 23. 부천의 1980년대 중반(1984년)-2000년대 중반(2004년)사이의(2000년대 중반-1980년대 중반) 도시화된 지역(붉은 색)	43
그림 24. 부천의 1980년대 중반(1984년)-2010년대 중반(2014년)사이의(2010년대 중반-1980년대 중반) 도시화된 지역(붉은 색)	44
그림 25. 서울·인천·부천의 30년간(1984-2014년)	45
그림 26. 서울·인천·부천의 30년간(1984-2014년) 녹지 피복을 변화	46
그림 27. 서울·인천·부천의 30년간(1984-2014년) 나지 피복을 변화	47
그림 28. 1980년대 중반(1984년) 여름철 서울·인천·부천 일대의 정규식생지수	48
그림 29. 1990년대 중반(1994년) 여름철 서울·인천·부천 일대의 정규식생지수	49
그림 30. 2000년대 중반(2004년) 여름철 서울·인천·부천 일대의 정규식생지수	50
그림 31. 2010년대 중반(2014년) 여름철 서울·인천·부천 일대의 정규식생지수	51
그림 32. 1980년대 중반(1984년) 여름철 NDVI와 1990년대 중반(1994년) 여름철 NDVI의 차이	52
그림 33. 1980년대 중반(1984년) 여름철 NDVI와 2000년대 중반(2004년) 여름철 NDVI의 차이	53
그림 34. 1980년대 중반(1984년) 여름철 NDVI와 2010년대 중반(2014년) 여름철 NDVI의 차이	54
그림 35. Landsat 영상에서 추출한 1984년 7월 30일(오전 10시 30분) 지표 온도 분포	56
그림 36. Landsat 영상에서 추출한 1994년 7월 26일(오전 10시 30분) 지표 온도 분포	57

그림 37. Landsat 영상에서 추출한 2004년 7월 29일(오전 10시 30분) 지표 온도 분포	58
그림 38. Landsat 영상에서 추출한 2014년 8월 2일(오전 10시 30분) 지표 온도 분포	59
그림 39. 1984년 7월 30일 영상의 지표 온도에서 녹지 지역 평균 온도 대비 지표 온도 분포 (각 픽셀 온도-녹지지역 평균 온도(℃))	67
그림 40. 1994년 7월 26일 영상의 지표 온도에서 녹지 지역 평균 온도 대비 지표 온도 분포 (각 픽셀 온도-녹지지역 평균 온도(℃))	68
그림 41. 2004년 7월 29일 영상의 지표 온도에서 녹지 지역 평균 온도 대비 지표 온도 분포 (각 픽셀 온도-녹지지역 평균 온도(℃))	68
그림 42. 2014년 8월 2일 영상의 지표 온도에서 녹지 지역 평균 온도 대비 지표 온도 분포 (각 픽셀 온도-녹지지역 평균 온도(℃))	69
그림 43. 30년간(1984-2014년) 10년 단위의 서울·인천·부천의 녹지 대비 도시화된 지역의 지표 온도 변화(도시화된 지역 온도-녹지 지역 온도)	69
그림 44. 연구 지역 전체의 30년간(1984-2014년)	71
그림 45. 연구 지역 전체의 30년간(1984-2014년) 녹지 지역 대비 지표 온도 변화(전체 지역 지표 온도 - 녹지 지역 지표 온도)	72
그림 46. 서울 30년간(1984-2014년) 토지피복분류 항목 별 평균 NDVI 변화	72
그림 47. 1980년대 중반(1984년) 서울의 동별 공간평균 NDVI와 지표 온도의 관련성(**99% 이상의 통계적 유의성)	74
그림 48. 1980년대 중반(1984년) 등촌3동의 NDVI	75
그림 49. 1984년 7월 30일 오전 10시 30분 등촌3동의 지표온도	75
그림 50. 1980년대 중반(1984년) 을지로동의 NDVI	75
그림 51. 1984년 7월 30일 오전 10시 30분 을지로동의 지표온도	75
그림 52. 1990년대 중반(1994년) 서울의 동별 공간평균 NDVI와 지표 온도의 관련성(**99% 이상의 통계적 유의성)	76
그림 53. 1990년대 중반(1994년) 우이동의 NDVI	77
그림 54. 1994년 7월 26일 오전 10시 30분 우이동의 지표온도	77
그림 55. 1990년대 중반(1994년) 을지로동의 NDVI	77

그림 56. 1994년 7월 26일 오전 10시 30분 을지로동의 지표온도	77
그림 57. 2000년대 중반(2004년) 서울의 동별 공간평균 NDVI와 지표 온도의 관련성(**99% 이상의 통계적 유의성)	78
그림 58. 2000년대 중반(2004년) 우이동의 NDVI	79
그림 59. 2004년 7월 29일 오전 10시 30분 우이동의 지표온도	79
그림 60. 2000년대 중반(2004년) 신길동의 NDVI	79
그림 61. 2004년 7월 29일 오전 10시 30분 신길동의 지표온도	79
그림 62. 2010년대 중반(2004년) 서울의 동별 공간평균 NDVI와 지표 온도의 관련성(**99% 이상의 통계적 유의성)	80
그림 63. 2010년대 중반(2014년) 우이동의 NDVI	81
그림 64. 2014년 8월 2일 오전 10시 30분 우이동의 지표온도	81
그림 65. 2010년대 중반(2014년) 역삼1동의 NDVI	81
그림 66. 2014년 8월 2일 오전 10시 30분 역삼1동의 지표온도	81
그림 67. 부천 30년간(1984-2014년) 토지피복분류 항목 별 평균 NDVI 변화	82
그림 68. 1980년대 중반(1984년) 부천의 동별 공간평균 NDVI와 지표 온도의 관련성(**99% 이상의 통계적 유의성)	83
그림 69. 1980년대 중반(1984년) 상3동의 NDVI	84
그림 70. 1984년 7월 30일 오전 10시 30분 상3동의 지표온도	84
그림 71. 1980년대 중반(1984년) 심곡2동의 NDVI	84
그림 72. 1984년 7월 30일 오전 10시 30분 심곡2동의 지표온도	84
그림 73. 1990년대 중반(1994년) 부천의 동별 공간평균 NDVI와 지표 온도의 관련성(**99% 이상의 통계적 유의성)	85
그림 74. 1990년대 중반(1994년) 상3동의 NDVI	85
그림 75. 1994년 7월 26일 오전 10시 30분 상3동의 지표온도	85
그림 76. 1990년대 중반(1994년) 심곡2동의 NDVI	86
그림 77. 1994년 7월 26일 오전 10시 30분 심곡2동의 지표온도	86
그림 78. 2000년대 중반(2004년) 부천의 동 별 공간평균 NDVI와 지표 온도의 관련성(**99% 이상의 통계적 유의성)	87
그림 79. 2000년대 중반(2004년) 오정동의 NDVI	88

그림 80. 2004년 7월 29일 오전 10시 30분 오정동의 지표온도	88
그림 81. 2000년대 중반(2004년) 심곡2동의 NDVI	88
그림 82. 2004년 7월 29일 오전 10시 30분 심곡2동의 지표온도	88
그림 83. 2010년대 중반(2014년) 부천의 동별 공간평균 NDVI와 지표 온도의 관련성(**99% 이상의 통계적 유의성)	89
그림 84. 2010년대 중반(2014년) 오정동의 NDVI	89
그림 85. 2014년 8월 2일 오전 10시 30분 오정동의 지표온도	89
그림 86. 2010년대 중반(2014년) 심곡2동의 NDVI	90
그림 87. 2014년 8월 2일 오전 10시 30분 심곡2동의 지표온도	90
그림 88. 인천의 30년간(1984-2014년) 토지피복분류 항목 별 평균 NDVI 변화	91
그림 89. 1980년대 중반(1984년) 인천의 동별 공간평균 NDVI와 지표 온도의 관련성(**99% 이상의 통계적 유의성)	92
그림 90. 1980년대 중반(1984년) 계산4동의 NDVI	93
그림 91. 1984년 7월 30일 오전 10시 30분 계산4동의 지표온도	93
그림 92. 1980년대 중반(1984년) 송현3동의 NDVI	93
그림 93. 1984년 7월 30일 오전 10시 30분 송현3동의 지표온도	93
그림 94. 1990년대 중반(1994년) 인천의 동별 공간평균 NDVI와 지표 온도의 관련성(**99% 이상의 통계적 유의성)	94
그림 95. 1990년대 중반(1994년) 계양1동의 NDVI	95
그림 96. 1994년 7월 26일 오전 10시 30분 계양1동의 지표온도	95
그림 97. 1990년대 중반(1994년) 송현3동의 NDVI	95
그림 98. 1994년 7월 26일 오전 10시 30분 송현3동의 지표온도	95
그림 99. 2000년대 중반(2004년) 인천의 동별 공간평균 NDVI와 지표 온도의 관련성(**99% 이상의 통계적 유의성)	96
그림 100. 2000년대 중반(2004년) 검단2동의 NDVI	96
그림 101. 2004년 7월 29일 오전 10시 30분 검단2동의 지표온도	96
그림 102. 2000년대 중반(2004년) 송현 1·2동의 NDVI	97
그림 103. 2004년 7월 29일 오전 10시 30분 송현 1·2동의 지표온도	97
그림 104. 2010년대 중반(2014년) 인천의 동별 공간평균 NDVI와 지표 온도의	

관련성(**99% 이상의 통계적 유의성)	97
그림 105. 2010년대 중반(2014년) 검단2동의 NDVI	98
그림 106. 2014년 8월 2일 오전 10시 30분 검단2동의 지표온도	98
그림 107. 2010년대 중반(2014년) 부평5동의 NDVI	98
그림 108. 2014년 8월 2일 오전 10시 30분 부평5동의 지표온도	98

I. 서론

1. 연구 배경 및 목적

우리나라는 1960년대 초반 경제개발계획을 수행하기 시작하여 도시 면적이 확장하고 이촌향도 현상에 의해 도시 거주 인구수가 폭발적으로 증가하여 대도시를 중심으로 도시 팽창 현상이 나타났다. 1970년대~1980년대까지는 수도권 및 영남권 대도시가 성장하였고, 1990년대는 수도권 및 영남권 및 호남 및 충청권의 대도시의 성장이 두드러져 ‘대도시권화’가 본격적으로 진행되었다(권용우와 유환중, 2005). 특히 서울과 그 주변지역을 중심으로 한 거점개발정책으로 인해 수도권 도시지역의 외연적 확산이 가속화되고, 도시권의 광역화 현상이 이루어졌다(사공호상과 김태진, 2004). 특히 수도권 지역의 경우 우리나라 전체 인구의 약 50%가 거주하고 있으며, 도시팽창이 지방 대도시에 비해 규모가 크고 급격하게 진행되었다. 이처럼 우리나라는 급격한 도시화로 인하여 유입되는 인구수의 증가로 전체 인구의 약 90%가 도시에 거주하게 되었지만 도시지역의 식생은 연평균 3.5%씩 감소해왔다(김대영, 2011). 이러한 도시화의 진행은 기존 녹지를 파괴시켜 외부적인 경관의 변화와 더불어 알베도(albedo)가 낮은 아스팔트와 콘크리트 등의 불투수층 피복을 증가시켰다(이현영, 1989). 이와 같이 도시지역의 팽창에 따른 과도한 개발과 녹지공간의 축소는 도시지역 온도가 상승하는 현상에 의해 나타나는 도시열섬(Urban Heat Island; UHI)을 발생시킨다(Landsberg, 1981).

도시열섬현상은 영국 런던 지역의 기온 자료로 분석된 도시 중심의 고온 현상으로 1818년 기상학자 Luke Howard에 의해 최초로 확인되었다.(Howard, 1818). 도시열섬화의 주요 원인은 계절에 따라 상이하여 겨울에는 인공열의 영향이 탁월한 반면 여름에는 아스팔트 도로와 콘크리트 건축물의 큰 열용량에 있는 것으로 평가된다(Oke, 1973). 특히 여름철 도시열섬현상에 의한 기온 상승은 냉방 에너지 사용량을 급증시키고 열파(Heat wave)를 발생시켜 인간의 건강에도 막대

한 영향을 미친다. 미국 에너지정보청(Energy Information Administration; EIA)에 의하면 100,000명 이상이 살고 있는 도시의 기온이 0.6℃ 상승할 때마다 냉방 소비전력이 1.5~2.5% 상승하여 전력 수급에 문제를 야기 시킨다고 한다(Rosenfeld at al., 1997). 실제 2003년에는 유럽 지역의 강력한 열파 발생으로 2만 명 정도가 사망했고(Scott at al., 2004; UNEP, 2004), 1995년 북아메리카 오대호 주변에서도 사망자 수가 약 700명에 이르기도 하였다(Changnon at al., 1996).

최근 기후변화 이외에도 도시화에 의해 우리나라 대도시의 경우 세계 평균 기온 상승률보다 더욱 빠르게 상승하고 있다. 지난 100년 간(1912~2008) 우리나라 6대 도시(서울, 인천, 강릉, 대구, 목포, 부산)의 평균기온은 세계 평균의 2배 이상인 약 1.7℃ 상승하였다(국립기상연구소, 2009). 20세기 후반에 여름의 지속기간은 20세기 초반에 비해 지역에 따라 13~17일 늘어나고 열대야 현상은 4~10일 증가한 반면, 겨울철의 지속기간은 22~49일 정도 단축되었다(최광용과 권원태, 2002). 21세기 초반에 접어들어 우리나라에서도 인구가 밀집된 도심지에서 열파에 의한 건강성 악화 및 사망자의 증가는 자연재해로 인식되기 시작하였다. 장기간 변화 추세는 뚜렷하지 않지만 서울의 경우 기상관측 이래(1908년) 여름철 평균기온(6월1일~8월31일)이 26.3℃로 가장 높았던 1994년 여름철(7~8월)에는 강한 열파 발생 빈도가 높아 65세 이상 노인 질병사망자가 평년에 비하여 30% 증가하였다(최광용, 2010).

인공위성 자료는 광역적으로 분석지역을 파악할 수 있는 장점을 지니고 있으며 다른 나라에서도 위성영상에서 지표면 온도(Land Surface Temperature; LST)를 추출하여 도시의 열 환경 분석에 사용해 오고 있다(Voogt and Oke, 2003; Small, 2006; 안지숙 등, 2012). 지금까지 국내의 열섬현상 관련 열 환경 연구는 1980년대 초기에는 주로 제한된 간이 관측에 의해 이루어졌고, 1980년대 후반에 이르러서야 위성영상자료 분석을 토대로 이루어져 왔다(이현영, 1989; 박민호, 2001; 조명희 외, 2001; 송영선, 2005; 강준목 외, 2010; 최진호 외, 2013 등). 그러나 인공위성영상을 이용한 우리나라의 기후연구들은 다양한 잡음(noise; 구름 등)요소에 의해 대부분 봄철과 가을철 분석에 치우쳐 있다. 반면 열 환경은 인간 생활과 관련하여 여름철 성하기에 가장 큰 영향을 미치므로 여

름철 성하기 열 환경 분석은 중요성을 가진다(최광용, 2010).

이 논문에서는 수도권 지역의 서울-인천 도시회랑의 도시 팽창으로 인한 여름철 토지피복의 변화를 분석하고, 여름철 지표온도와 식생활력도를 추출한 후 수도권 토지 피복 변화와 여름철 열 환경 변화의 관련성을 밝히는 것을 목적으로 한다. 이를 위해 장마가 끝난 후 북태평양 고기압이 본격적으로 세력을 확장하여 무더위가 기승을 부리는 여름철 성하기인 7월 말에서 8월 초순까지의 Landsat 위성 영상 자료를 분석하였다. 30년(1984년~2014년) 동안 10년 단위로 분석을 진행하기 위해 1980년대 중반 수도권 여름철 위성영상을 시작으로 하여 1990년대 중반, 2000년대 중반, 2010년대 중반의 자료에서 수도권 토지이용 변화와 열 환경 변화를 살펴보았다.

2. 연구 동향

이 논문은 수도권 지역의 서울-인천 도시회랑의 성장에 따른 열 환경 변화에 대하여 밝히는 것을 목적으로 한다. 따라서 수도권의 도시 성장 및 도시 열 환경 변화에 관한 선행 연구에 대해 고찰해 보았다.

1) 수도권의 도시 성장

수도권의 도시 성장과 관련된 연구가 본격적으로 이루어지기 시작한 시점은 1960년대 후반이다. 1960년대 후반과 1970년대 사이에는 수도권이 공간적으로 성장한다는 현상에 대한 연구보다는 주로 수도권의 도시 성장으로 인하여 형성된 농업 지대에 관한 연구(전성대, 1968; 김재광, 1969; 채석순, 1970)와 수도권의 인구과밀 문제와 관련된 도시 계획에 대한 연구가 행해졌다(홍춘식, 1969; 윤장섭, 1967; 윤정변, 1970). 1970년대의 연구는 주로 교외화와 관련된 연구가 진행되었다. 수도권의 도시가 성장하게 된 배경으로는 서울의 인구 유입으로 인한 지가 및 주택가격의 상승으로 교외화가 진행되었으며, 이로 인해 서울 주변에 위성도시가 점차 발달하였다(권용우, 2006). 따라서 1970년대의 연구는 서울의 교외화가 진행되는 과정에서 나타난 위성도시와 수도권 내의 산업입지에 대한 연구가 주를 이루었다(황명찬, 1973; 김동현, 1977; 권원용, 1979). 1980년대 이후에는 수도권의 도시 성장과 관련하여 공간 구조의 변화에 대한 연구가 본격적으로 이루어졌다. 수도권의 도시 성장 변화를 분석하기 위해 토지 피복 분류를 시행한 연구가 진행되었고(이병설, 환산명호, 죽내장사, 1984; 김영표, 김순희, 1994; 황만익, 1997), 수도권 지역의 도시 공간 구조 변화에 대한 주요 요인을 인구 이동으로 보아 수도권의 공간 구조에 대해 연구(최운식, 1982; 권용우, 1987; 국토개발연구원, 1992; 최은영, 2004)가 진행되는 한편 주택 가격 변화에 따른 수도권의 공간적 분포에 대한 연구(한주연, 2002)가 이루어졌다. 2000년대 초반 이후 GIS나 통계적 기법을 이용하여 도시 성장에 따른 토지 이용 변화에 대한 연구(김정훈, 2002; 정재준과 노영희, 2004; 박소영 등, 2009)가 진행되었고, 도시의 성장에 따라 녹지가 감소하므로 도시 녹지 공간의 중요성

(박경훈 등, 1999; 김경환 등, 2000; 박인환 등, 2005; 백상훈 등, 2009)을 제시하는 연구가 진행되어 왔다. 또한 수도권 도시 성장에 의한 교통망 및 통근권 역의 변화에 대한 연구가 진행되었으며(곽영호, 2000; 권용우, 2000; 손승호, 2003), 수도권 도시 성장의 요인의 변화에 대한 연구가 진행되었다(사공호상과 김태진, 2004). 2010년대 이후에는 수도권의 도시 성장을 예측한 모형에 대한 연구가 진행되었다(조규영 등, 2010; 안중욱과 최원욱, 2010).

2) 도시 열 환경 변화

원격탐사 자료는 넓은 지역의 열 환경에 대한 정보를 제공하므로 원격탐사 자료를 활용하여 도시 열 변화를 탐구하고자 하는 연구가 활발히 이루어져 왔다. 국외의 경우 1970년대 후반부터 원격탐사 분야에서 온도를 추출하여 열 환경 관련 연구가 진행되기 시작하여 미국의 NOAA 위성에 탑재된 개량형 고분해능 방사계(Advanced Very High Resolution Radiometer; AVHRR) 데이터를 이용하여 도시의 지표 온도에 대한 연구가 진행된 바 있다. 국내의 경우 도시 열 환경 변화에 대한 연구는 주로 자동기상관측장비(Automatic Weather System; AWS) 자료와 원격탐사 자료를 통해 진행되었으나 AWS는 국내에 도입된지 20년이 채 되지 않았으므로 장기간 열 환경 변화에 대한 분석을 실행하기 위해 1980년대 중반 이후부터 원격탐사 자료를 이용한 연구가 진행되었다. 원격탐사 자료 중에서도 주로 인공위성 자료를 이용하는데 해상력이 1km인 NOAA의 AVHRR 열적외선을 통한 연구가 진행되었으며(이현영, 1989), ASTER(Advanced Spaceborne Thermal Emission Reflection Radiometer)의 TIR(Thermal Infrared) 영상(조명희, 조운원, 김성재, 2009)을 통해 열 환경 변화에 대한 연구가 이루어졌다. 해상도가 비교적 좋은 Landsat 영상은 1984년 이후부터 열 밴드가 있는 TM센서가 탑재되어 1980년대 중반 이후의 열 환경 변화에 대해서는 Landsat 영상을 활용한 연구가 활발히 진행되었다. 2000년대 이후에는 토지피복과 지표온도 및 식생의 시공간적 변화 패턴을 분석하기 위한 연구와 위성영상을 통한 토지 피복 분류를 활용하여 토지 이용 변화를 정량화하여 토지 이용에 따른 열 환경 변화에 대한 연구 및 고도·경사 등의 도시지형과 열 환경의 관련성에 대해서도 연구가 진행되었다(박민호, 2001; 조명희 등, 2001, 송영선, 2005; 강준묵 등, 2010, 안지숙

등, 2012). 또한 인공위성 영상에서 추출한 지표 온도는 대기 효과 등 여러 요인으로 인해 불확실성이 존재할 수 있기 때문에 인공위성 영상과 AWS 자료의 상관성을 분석하여 인공위성 영상에서 추출된 지표 온도의 정확성을 확인하는 연구가 진행되었다(조명희 등, 2001; 송영선, 2005; 엄대용, 2006). 장기간(20년 이상) 수도권 지역의 열 환경 변화를 연구한 사례는 대부분 구름의 영향을 적게 받아 운량이 낮은 봄과 가을철을 대상으로 연구가 진행되었으며(이현영, 1995; 강준목, 가명석, 이성순, 박준규, 2010; 김대영, 2011; 지준범, 최영진, 2014). 여름철 성하기의 도시 열 환경에 대한 연구는 열파 발생 시 도시 열 환경 분포에 대한 연구가 진행(최광용, 2010)되었으나 아직은 활발히 진행되고 있지 않다. 특히 장기간 성하기 열 환경 변화에 대한 연구가 미흡하며 여름철 성하기의 식생과 지표온도 간의 관계가 변화하는 것에 대한 연구는 구체적으로 이루어지지 않았다.

II. 연구 자료 및 연구방법

1. 연구 자료

1) 연구 지역

이 연구는 도시 열 환경을 분석하기 위해 우리나라 도시 중에서도 도시화가 가장 활발히 진행되어 열 환경 변화가 상대적으로 뚜렷이 나타나고 있는 수도권 의 서울-인천 도시회랑 지역을 연구대상지역으로 선정하였다(그림 1). 우리나라 수도권 서울과 1990년대 이후 공유수면 매립 공사로 인한 신도시 개발이 이루어 지면서 급격한 변화가 나타나고 있는 인천, 급격한 인구 유입으로 인한 1990년 대 신시가지 개발에 의해 도시화가 이루어져 현재 경기도 지역 중 시가지 비율 이 가장 높은 부천을 연구 지역으로 정하였다.

서울-인천 지역을 중심으로 수도권은 1960년대 이후 지속적인 성장위주의 경 제개발정책으로 인해 농촌인구를 흡수하면서 급성장하기 시작하였다(권용우, 2006). 특히 서울은 1970년대에 들어서 폭증하는 인구에 의해 도시화가 이루어 져 종로, 여의도, 강남 등 도심부는 재개발로 가로가 넓혀지고 고층건물이 들어 서기 시작하였다. 또한 도시의 외연적 확장으로 인해 서울에 편입된 외곽도 신 시가지로 개발되었다. 이러한 도시화 과정을 거친 서울은 1970년대부터 대기오 염, 주택난, 교통난 등의 도시 문제가 나타나기 시작하였다(권혁재, 2007). 21 세기에 접어들어서도 수도권 도심지역에서는 자연생태계 훼손, 도시열섬현상 발 생 등 심각한 환경문제가 발생하고 있다(지준범, 최영진, 2014). 인천은 지난 30년 동안 타 도시와 비교되지 않을 만큼 도시규모가 급격히 증가하여 영종도 및 송도지역의 대규모 매립을 통한 신공항 조성과 신도시 개발이 이루어지면서 토지피복의 급격한 변화가 이루어지고 있다(김대영, 2011). 즉, 1990년대 영종 도의 인천국제공항 건설(1992년~2005년), 연수구의 송도 신시가지 개발(2000년~ 현재), LNG 인수기지 설치 등을 위해 공유수면 매립 공사가 진행되어 이 기간에 총 22개소 26.26km²가 준공되었다. 부천 지역은 서울과 인천의 중간에 위치하여

1973년 시로 승격된 후 서울의 위성도시 기능을 담당하면서 급격한 인구 증가 현상이 나타났다(한학규, 2009). 이에 따라 주택 부족 문제를 해결하기 위해 신시가지 개발 사업인 부천 중동지구 택지개발사업(1990년~1994년)이 진행되어 시가지 확장이 급속히 이루어졌고 현재 시가지 비율이 경기도 지역 중 가장 높다(경기개발연구원, 2010).

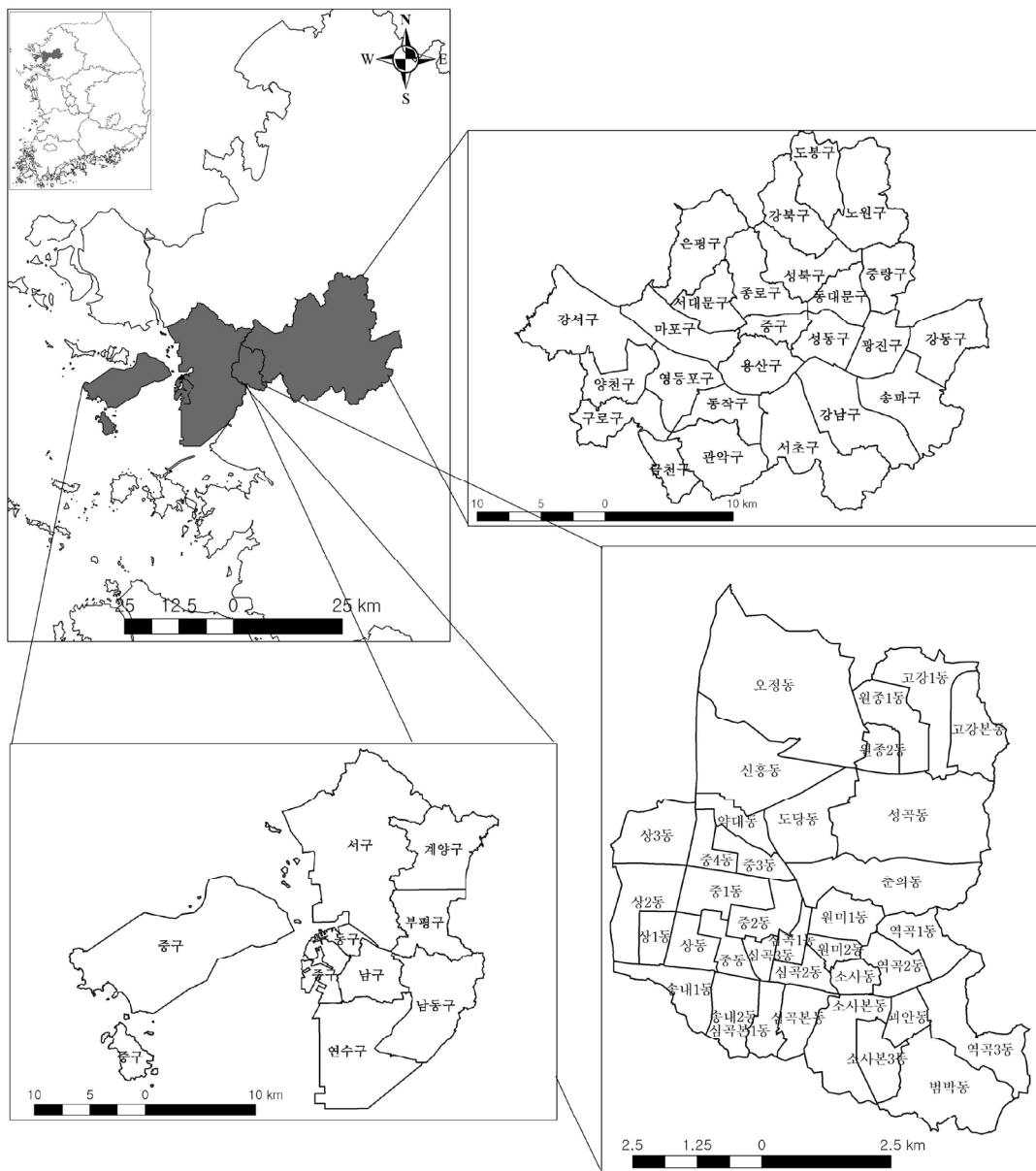


그림 1. 연구대상지역(서울 · 인천 · 부천)

2) Landsat 위성 영상

이 논문에서는 수도권 지역의 토지 피복 변화 및 열 환경 변화를 분석하기 위해 NOAA에서 제공하는 Landsat-5 TM(Thematic Mapper), Landsat-7 ETM+(Thematic Mapper Plus), Landsat-8 OLI(Operational Land Imager) 위성 영상 자료 중 연구에 적절한 시기의 영상을 골라서 사용하였다. Landsat-5 위성은 1984년 3월 1일, Landsat-7 위성은 1999년 4월 15일, Landsat-8 위성은 2013년 2월 11일에 발사되었으며, 영상은 10시 30~11시 10분 사이에 촬영되었다 (Jensen, 2009). 대상 지역인 수도권을 포괄하는 영상은 Landsat-5 TM과 Landsat 7-ETM+, Landsat-8 OLI 모두 path가 116, row가 34, swath가 185km로 동일하다. 각 영상 센서 별 Landsat 위성 밴드 특성은 표1과 같다.

표 1. Landsat 위성 영상의 분광 밴드(spectral band) 별 해상도

밴드	Landsat-5 TM		Landsat-7 ETM+		Landsat-8 OLI		
	분광해상도 (μm)	공간 해상도 (m)	분광해상도 (μm)	공간 해상도 (m)	밴드	분광해상도 (μm)	공간 해상도 (m)
1	0.45 - 0.52	30	0.45 - 0.515	30	2	0.452 - 0.512	30
2	0.52 - 0.60	30	0.525 - 0.605	30	3	0.533 - 0.590	30
3	0.63 - 0.69	30	0.63 - 0.69	30	4	0.636 - 0.673	30
4	0.76 - 0.90	30	0.78 - 0.90	30	5	0.851 - 0.879	30
5	1.55 - 1.75	30	1.55 - 1.75	30	6	1.566 - 1.651	30
6	10.4 - 12.5	120	10.4 - 12.5	60	10	10.60 - 11.19	100
					11	11.50 - 12.51	
7	2.08 - 2.35	30	2.08 - 2.35	30	7	2.107 - 2.294	30
8			0.52 - 0.90	15	8	0.503 - 0.676	15
					9	1.363 - 1.384	30
					1	0.435 - 0.451	30

(출처 : Jensen, 2009, NASA 홈페이지; <http://landsat.gsfc.nasa.gov/?p=3186>)

Landsat 위성영상은 미국항공우주국(National Aeronautics and Space Administration ; NASA)이 개발한 지구 관측 위성 시스템이다. 우주로부터 지구의 자원개발, 환경보전 등을 위해 발사된 위성프로그램들 중 가장 오래된 프로그램으로 지구 자원에 대한 정보를 획득하는 것을 목적으로 개발되었으며(이용호, 2007), 1972년 6월 23일에 발사된 ERTS-1(현 Landsat-1)을 필두로 현재까지도 위성이 발사 및 운용되고 있다. Landsat 위성은 약 9°의 경사를 가지고 적도 상공을 통과하며, 지구를 한 바퀴 도는 데 걸리는 시간은 103분 정도이다. 이는 지구가 태양을 도는 속도와 동일하므로 Landsat 위성은 오전 9시 30분부터 10시 사이에 동일한 지역을 지나가게 된다(jensen, 2009). Landsat 위성이 지구 전체에 대한 자료를 획득하는 데 16일이 소요되며, 동일한 지역에 대한 자료는 1년에 약 20번 정도 획득된다(Jensen, 2009). Landsat 5호는 1984년 3월에 발사되었으며 TM센서가 탑재되었고, 7개의 밴드로 구성되었다. 특히 MSS와 달리 열 밴드가 장착되어 있으므로 TM 센서에서 열 환경에 대한 자료를 획득할 수 있다(Jensen, 2009). ETM+는 Landsat 4호의 TM과 Landsat 6호에 탑재되었던 ETM을 더욱 보완한 센서로 TM 센서에 비해 열적외 밴드 해상도가 120m에서 60m로 나아져 더욱 정교한 영상을 제공한다. Landsat 8호의 OLI 센서는 TM과 ETM+ 센서에 비해 파장대가 더욱 추가되었고, SWIR(단파 적외선)영역과 TIR(열적외선)영역은 각각 2개로 나뉘어 OLI 자료를 사용하여 상대적으로 더욱 정교한 분석을 진행할 수 있다(Jensen, 2009).

3) 연구 자료 선정

본 논문에서는 여름철 성하기인 7월 말~8월 초순을 분석 대상 시기로 하여 USGS의 1980년대 중반 이후 수도권 Landsat 영상 중 운량이 상대적으로 적은 날짜의 자료를 선정하게 되었다. 그 결과 10년 단위인 1984년, 1994년, 2004년, 2014년 성하기 영상을 분석하여 Landsat-5 TM의 1984년 7월 30일 영상과 1994년 7월 26일 영상, Landsat-7 ETM+의 2004년 7월 29일 영상과 9월 15일 영상, Landsat-8 OLI의 2014년 8월 2일 자료를 선택하였다. 이 중 2004년의 영상은 구름의 영향으로 인해 토지 피복 분류 시 9월 15일 영상으로 대체하였다. 우리나라 중부지방의 가을철 개시일은 9월 22일 이므로 토지 피복 분류를 할 경우 9월

15일의 데이터를 사용해도 무방하다고 판단하였다. 2004년의 지표 온도 추출 시 구름이 없는 지역은 2004년 7월 29일 영상을 사용하였고, 구름이 있는 지역은 2004년 9월 15일 영상을 보정하여 모자이크(Mosaic)하여 자료를 처리하였다. 위성영상의 취득시기 및 센서는 표 2와 같으며, 위성영상의 원 자료에서 분석 지역 부분을 subset화 한 것은 그림2, 3, 4, 5와 같다. 그림 2, 3, 4, 5는 사람이 보는 것과 유사한 밴드 조합인 RGB 321(Landsat-8의 경우 432)영상으로, 도시지역은 밝은 회색, 녹지지역은 녹색, 구름은 하얀색으로 표출된다.

표 2. 분석에 사용된 Landsat 위성영상의 센서 및 취득 시기

위성영상	센서	촬영시기
Landsat-5	TM	1984년 7월 30일 오전 10시 30분
Landsat-5	TM	1994년 7월 26일 오전 10시 30분
Landsat-7	ETM+	2004년 7월 29일 오전 10시 30분
Landsat-8	OLI	2014년 8월 2일 오전 10시 30분



그림 2. 1984년 7월 30일 Landsat-5 TM 위성영상
(path : 116, row : 34. 3-2-1 밴드 조합)



그림 3. 1994년 7월 26일 Landsat-5 TM 위성영상
(path : 116, row : 34. 3-2-1 밴드 조합)

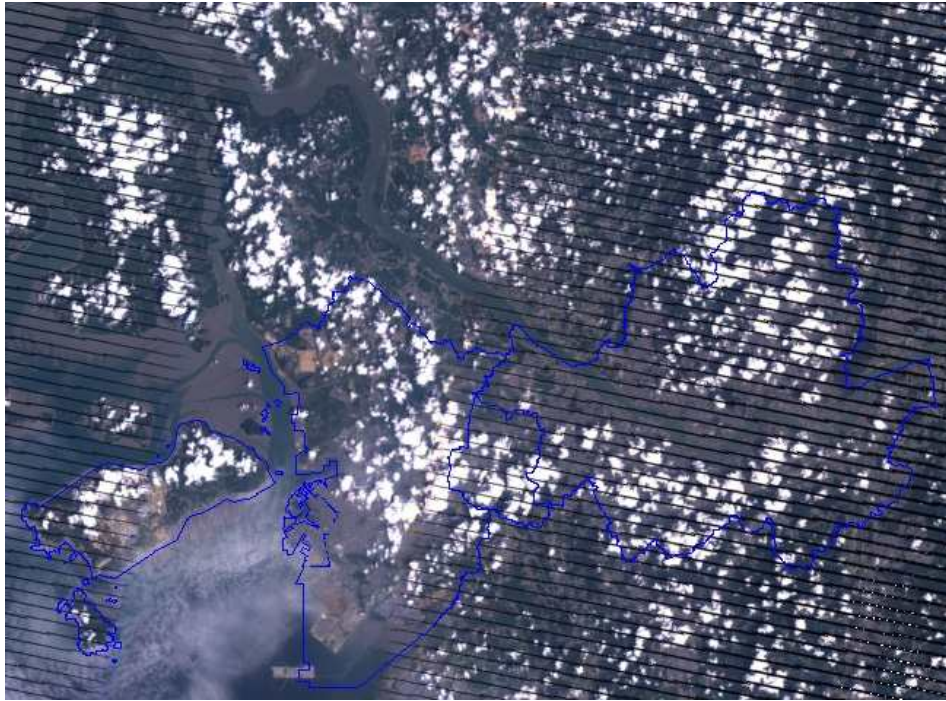


그림 4. 2004년 7월 29일 Landsat-7 ETM+ 위성영상
(path : 116, row : 34. 3-2-1 밴드 조합)

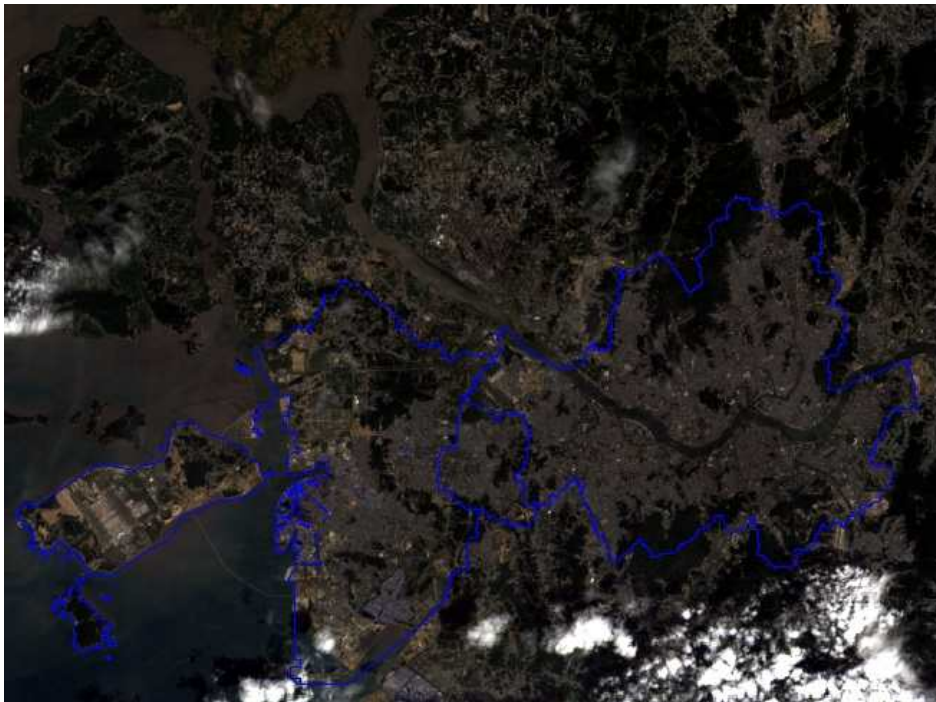


그림 5. 2014년 8월 2일 Landsat-8 OLI 위성영상
(path : 116, row : 34. 4-3-2 밴드 조합)

2. 연구 방법

1) 위성영상의 전처리 과정

위성에서 원격탐사 작업 수행 시 다양한 요인에 의하여 자료의 오염 및 왜곡 현상들이 발생하게 된다(Jensen, 2009). 따라서 수집된 위성영상 자료의 처리나 분석 시 이러한 문제점을 최소화하기 위해 사전에 반드시 보정을 통한 자료의 수정 작업이 필요한데, 이러한 과정을 영상 자료의 전처리 과정(preprocessing)이라고 한다(Jensen, 2009). 이 논문에서는 모든 영상에 대하여 ERDAS IMAGINE 2014 소프트웨어를 활용해서 절대위치에 차이를 나타내는 기하학적 휨 현상을 보정하는 기하 보정을 실행하였다. 2003년 이후 Landsat-7호 센서의 경우에는 센서 고장으로 화면의 일부가 꺼지는 현상이 발생했는데 이를 바로잡기 위해 ENVI 5.0 소프트웨어의 gap-fill 함수(scaramuzza et al., 2004)를 이용하여 2004년 7월 29일의 위성 영상 자료를 보정하였다. 또한 2004년 7월 29일 영상의 경우 구름으로 덮인 일부 지역을 보정된 2004년 9월 15일의 영상으로 Mosaic화하여 분석을 진행하였다.

(1) 기하 보정

위성 영상 자료는 지구자전효과에 의한 영상 휨 현상이나 스캐닝 시스템에 의한 축척 왜곡 등의 문제로 정확한 기하학적 위치(x, y)를 가지고 있지 않으므로(Jensen, 2007) 개개의 화소들이 정확한 좌표 평면 지점에 위치하도록 하기 위해 기하 보정을 실시하여야 한다. 기하학적 보정 방법에는 크게 오차의 원인을 분석하여 왜곡된 영상을 바로 잡는 시스템 보정과 보정식을 사용하여 보정하는 지상기준점(Ground Control Point; GCP)에 의한 보정으로 나뉜다(김영섭 외, 1998). 본 연구에서 사용한 지상기준점에 의한 보정은 왜곡의 정도를 분석하여 영상과 좌표체계를 연결할 수 있는 보정식을 사용하여 왜곡을 보정하는 방법이다. 즉, 식1과 식2에서 지상기준점의 지도 상 좌표를 (x, y), 영상 좌표를 (u, v) 라고 했을 때 두 좌표 사이의 관계식을 사용하여 모든 픽셀을 재배열(resampling)시킨다.

$$x = au + bv + c \quad (\text{식 1})$$

$$y = du + ev + f \quad (\text{식 2})$$

변환식에서 계수를 정하기 위해서는 최소한 3개 이상의 정확한 지상기준점이 있어야 한다. 지상기준점은 시기가 다를 경우라도 항상 위치가 변하지 않아야 하므로 도로의 교차점이나 제방의 끝, 대형 건물 등이 주로 사용된다(김영섭 외, 1998).

본 연구에서는 10m 공간해상도의 정확도를 가지고 있는 보정되어 있는 영상을 가지고 두 영상의 지상 기준점을 비교하여 영상 대 영상(image to image) 기법으로 GCP를 찍어 기하보정을 수행하였다. 도로 교차점, 저수지의 제방둑 등에 GCP 36개를 먼저 고르게 분포하도록 찍고 평균제곱근(Root Mean Square; RMS)의 큰 오차를 초래한 GCP들을 제거하여 최종적으로 총 17개의 GCP를 기준으로 영상을 재배열(resampling)하였다. 재배열시 보정된 영상 자료 값(Digital Number; DN)을 보정할 영상에 그대로 전환되도록 원 영상의 주변 화소 값을 이용하는 최근린내삽법(Nearest neighboring)을 적용하였다(Jensen, 2009). 이때 발생한 RMS 오차는 표 3과 같이 0.2 화소(pixel) 내외이다. RMS 오차가 1인 경우 1 픽셀(30mX30m) 정도의 오차를 가지며, 본 연구에서 발생한 오차인 0.2인 경우 6mX6m의 오차를 가진다는 것을 의미한다.

표 3. 재배열에 사용된 영상에 찍힌 지상기준점의 평균제곱근 오차(RMSE)

영상 지상 기준점(GCP)	1984.7.30 영상	1994.7.26 영상	2004.7.29 영상	2014.8.2 영상
1	0.304	0.341	0.241	0.173
2	0.053	0.077	0.120	0.016
3	0.104	0.125	0.101	0.245
4	0.050	0.070	0.067	0.094
5	0.072	0.200	0.171	0.122
6	0.146	0.163	0.112	0.146
7	0.214	0.203	0.267	0.200
8	0.224	0.293	0.187	0.279
9	0.057	0.052	0.061	0.111
10	0.224	0.352	0.243	0.117
11	0.249	0.266	0.163	0.134
12	0.238	0.305	0.283	0.112
13	0.216	0.241	0.189	0.264
14	0.257	0.200	0.187	0.084
15	0.282	0.256	0.212	0.107
16	0.122	0.134	0.166	0.163
17	0.380	0.102	0.297	0.125
평균 RMSE	0.2107	0.2195	0.1934	0.1609

(2) Gap-fill 함수

2004년 7월 29일의 영상과 2004년 9월 15일의 영상이 Landsat-7로 SLC-off 모드 상태에서 촬영되어 EVNI 5.0 소프트웨어의 Gapfill함수를 이용하여 전처리 과정을 시행하였다. Landsat-7의 SLC(Scan Line Corrector)는 위성이 진행하면서 발생하는 지그재그 패턴을 보정하는 장치로, 2003년 5월 31일 SLC 기능이 손상되어 현재 SIC-off 모드 상태로 촬영하고 있다. 그림 6과 같이 SLC 문제에 의해 같은 지역이 중복 스캔된 영상은 한 영상 당 25%정도의 데이터가 관측되지 않은 상태로 취득된다. Gap-fill 함수는 SLC-off의 손상 화소를 중심으로 정상 화소간의 상관회귀식을 도출하여 손상 화소값을 추출하는 기법이다(박준규와 김민규, 2012). 2004년 7월 29일의 영상에서 Gap-fill 함수를 적용한 영상은 그림 7과 같다.

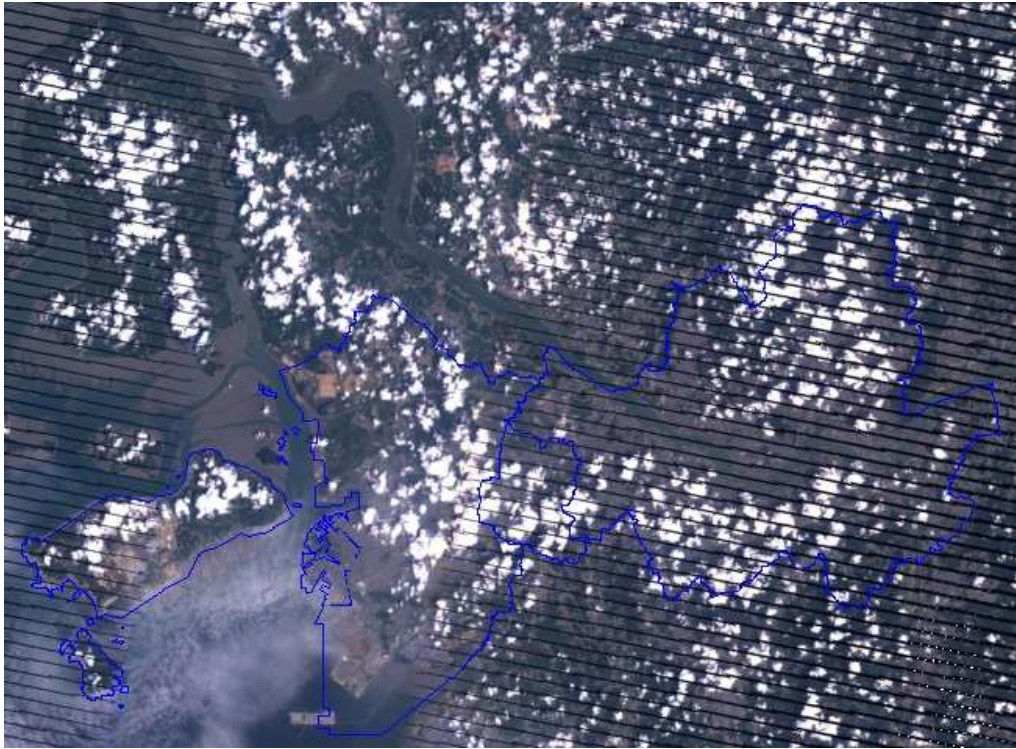


그림 6. Gap-fill 함수 적용 전 2004년 7월 29일 Landsat-7 ETM+ 원 영상

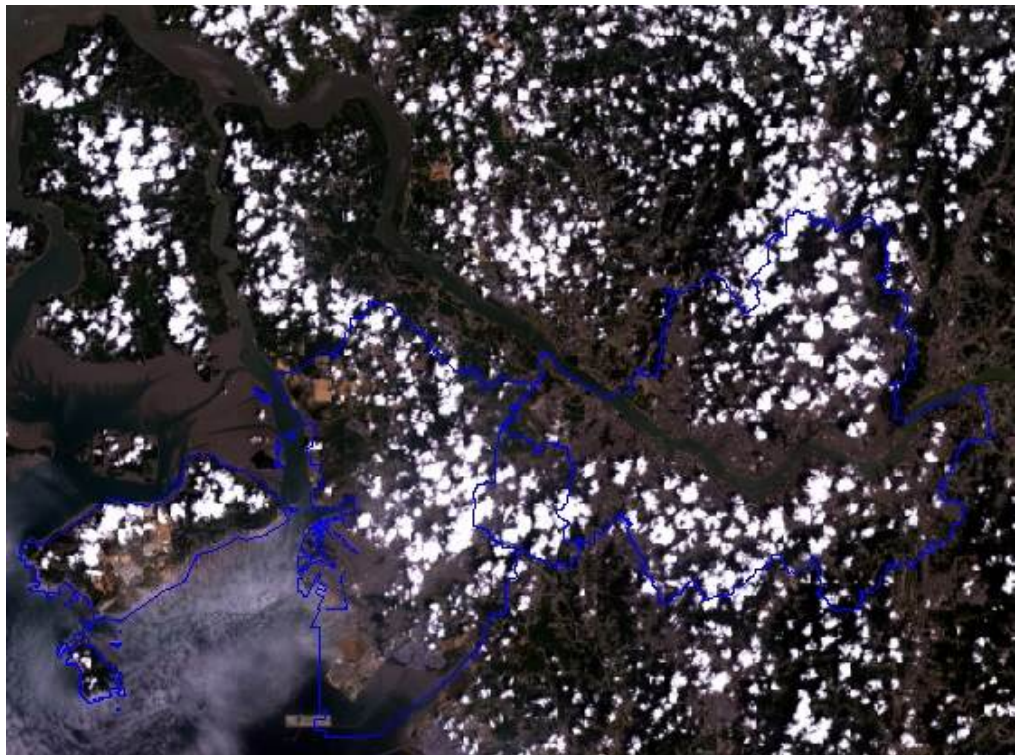


그림 7. Gap-fill 함수 적용 후 2004년 7월 29일 Landsat-ETM+ 영상

(3) 구름 처리

1984년 7월 30일과 2014년 8월 2일 영상인 경우 구름이 있는 부분을 NoData로 처리하여 픽셀 값을 제외시켰으며, 2004년 7월 29일 영상은 운량이 상대적으로 많기 때문에 보정을 하여 연구를 진행하였다. 구름이 없는 지역은 2004년 7월 29일의 영상을 사용하였고, 구름으로 덮인 지역은 2004년 9월 15일의 영상에서 토지 피복 항목 별로 따로 분리시킨 후 7월 29일 영상의 항목 별 평균 지표 온도와 9월 15일의 지표 온도의 차이에 대한 가중치를 주어 보정한 후 Mosaic 처리시켜 구름이 있는 부분의 지표 온도를 추정하였다. 따라서 일부 불확실성이 존재할 것으로 판단되나 2000년대 중반 성하기의 Landsat 자료에서는 구름이 적은 날짜가 2004년 7월 29일이므로 다른 날짜를 Mosaic화하여 분석을 진행하는 것이 최선의 방법이라고 판단하였다.

2) 위성영상 기반 토지 피복 분류

토지 피복 분류는 감독 분류(supervised classification)와 무감독 분류(unsupervised classification) 방법이 있으나 연구 대상 지역의 선행지식과 수치 지도 및 지형도와 같은 자료가 있으므로 감독 분류를 수행하였다. 감독분류는 분류 항목을 정하여 각 항목을 대표하는 훈련지역(training area)을 선정 후 다변량 통계 변수를 계산한 값으로 그와 유사한 대상물을 추출하는 방법이다(Jensen, 2007). 본 연구는 감독 분류 기법 중 가장 분류정확도가 높은 최대우도기법(Maximum Likelihood Classification)으로 토지피복분류를 실시하였다.

본 연구의 토지 피복 분류 진행시에는 환경부의 토지피복 분류체계를 바탕으로 실시하였다. 환경부의 1등급의 토지피복 분류체계는 시가화·건조지역, 농업지역, 녹지지역, 초지, 습지, 나지, 수역 등 7가지 항목이다(김대영, 2011; 환경부, 2003). 그러나 본 연구에서는 시가화·건조지역 항목을 빌딩이나 아파트 등 고층건물뿐만 아니라 일반주택 및 낮은 건물, 도로 등과 같이 아스팔트와 콘크리트 등의 모든 인공구조물을 이 항목에 포함시키기 위하여 인공구조물을 의미하는 도시화된 지역으로 항목을 표기하였다. 또한 도시화에 따른 토지피복 변화를 분석하므로 초지를 녹지지역에 포함시켰으며, 농업지역과 녹지지역의 분류 기준이 애매하다고 판단되어 표 4와 같이 초지와 농업지역을 녹지지역에 포

함시켜 총 5가지 항목으로 분류를 시행하였다(도시화된 지역·녹지·습지·나지·수역). 1994년 7월 26일 영상을 제외한 1984년 7월 30일 영상과 2004년 9월 15일 영상, 2014년 8월 2일 영상의 경우 일부분에 구름이 분포하므로 구름 항목을 추가하여 6가지 항목으로 연구를 진행하였다. 대부분의 구름이 연구대상지역인 서울·부천·인천지역에 벗어나 산발적으로 분포하여 연구 결과에 크게 영향을 미치지 않았을 것이라 판단되나, 일부 구름이 덮여 있는 경우 연구 결과에 영향을 미칠 수 있기 때문에 다른 시점의 영상에도 동일하게 구름을 적용하여 분석을 진행하였다. 또한 각 항목에 해당되는 면적을 구할 시 픽셀의 수에 픽셀의 크기(90m²)를 곱하여 산출하였다.

표 4. 토지피복 분류 항목

토지피복 분류 항목	포함하고 있는 지형·지물
도시화된 지역 (시가화·건조)	주거지역, 공업지역, 상업지역, 문화체육·휴양지역, 교통지역, 공공시설지역
녹지	활엽수림, 침엽수림, 혼효림, 자연초지, 인공초지, 논, 밭, 시설재배지, 과수원, 기타재배지
습지	내륙습지, 연안습지(갯벌, 염전)
나지	자연 나지, 기타 나지(채광지역, 운동장, 기타 나지)
수역	내륙수, 해양수
구름	구름, 구름 그림자

(출처 : 환경부, 2003)

3) 정규식생지수(Normalized Difference Vegetation Index; NDVI) 추출

본 연구에서는 원격 탐사 자료로부터 식생 분포 상황을 파악하기 위해 널리 사용되어온 정규식생지수(Normalized Difference Vegetation Index; NDVI)를 사용하였다. NDVI는 식생 피복(vegetation cover)에서 녹색 정도를 측정하는 것으로, NDVI의 계산 원리는 녹색 식물의 반사율이 근적외선(NIR)에서 강하게 나타나며 적색 가시영역(Red)에서 낮게 나타나는 것을 이용하여 식 3을 적용하여 얻

을 수 있다(이홍로와 김형무, 2005; Melesse, 2004).

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red} \quad (\text{식 3})$$

NDVI는 +1과 -1 사이의 값으로 근적외선(NIR)이 가시광선(RED)보다 반사 값이 작으면 음수(-)를 가지며, 구름이나 물 등이 해당된다. 0에 가까운 경우는 두 파장대에서 반사 특성이 거의 같은 암석·마른 토양 등이며, 녹색 식물은 근적외선의 반사율이 가시광선의 반사율보다 크므로 양수(+)의 값을 지니고 대체로 0.1-0.6 사이의 값을 갖는다(권혁춘과 이병걸, 2009).

본 연구에서는 최근 30년간(1984-2014년) 식생활력도의 변화 및 토지 이용 변화와 지표 온도 변화와의 상관성을 분석하기 위해 ERDAS IMAGINE 2014 소프트웨어를 활용하여 NDVI를 추출하였다. 2014년 8월 2일 Landsat-8 OLI의 근적외 영역(0.851 ~ 0.879 μm)은 Landsat-TM/ETM+의 근적외영역(0.76 ~ 0.90 μm)보다 파장 영역이 짧아 정규식생지수가 다른 영상보다 수치가 높고 범위가 좁게 나타난다. 따라서 다른 세 시기의 영상을 기준으로 보정하여 분석을 진행하였으나 불확실성이 존재할 것이다. 구름이 덮인 부분은 토지피복분류와 마찬가지로 흑색으로 처리하여 분석 시 제외시켰다.

4) 위성영상 기반 지표 온도 추출

30년간 지표 온도의 변화 및 토지 피복 변화와 지표 온도 변화의 관련성을 밝히기 위해 7월 말~8월 초 영상의 지표 온도를 추출하였다. 2004년 7월 29일의 경우 연구 지역 중 구름으로 덮여있는 부분은 2004년 9월 15일의 영상에서 토지 피복 분류 항목 별로 7월 29일 영상의 지표 온도를 기준으로 온도에 일정 비율로 가중치를 두어 보정을 하였고, 구름으로 덮인 부분은 Mosaic화하여 분석하였다. 2004년 7월 29일의 경우 지표 온도를 추측한 것이므로 다른 영상의 지표 온도에 비해 불확실성이 존재하므로 이를 고려하여 분석된 내용을 해석하였다.

본 연구에서는 Landsat 자료의 지표 온도를 계산하기 위해 그림 8과 같은 열적외선 밴드의 화소 값을 방사휘도로 변환한 후, 방사휘도 값으로 미국항공우주

국(NASA)에서 제시한 NASA의 경험식을 사용하여 지표 온도 값을 계산하였다(조명희 등, 2001 ; Markham and Becker, 1986). NASA 모델은 대기와 지구 사이의 방사가 일정하다고 가정하여 Landsat 센서의 검정상수를 이용해 지표온도를 추출하는 방법이다(엄대용, 2006). 세부 내용을 살펴보면 다음과 같다.

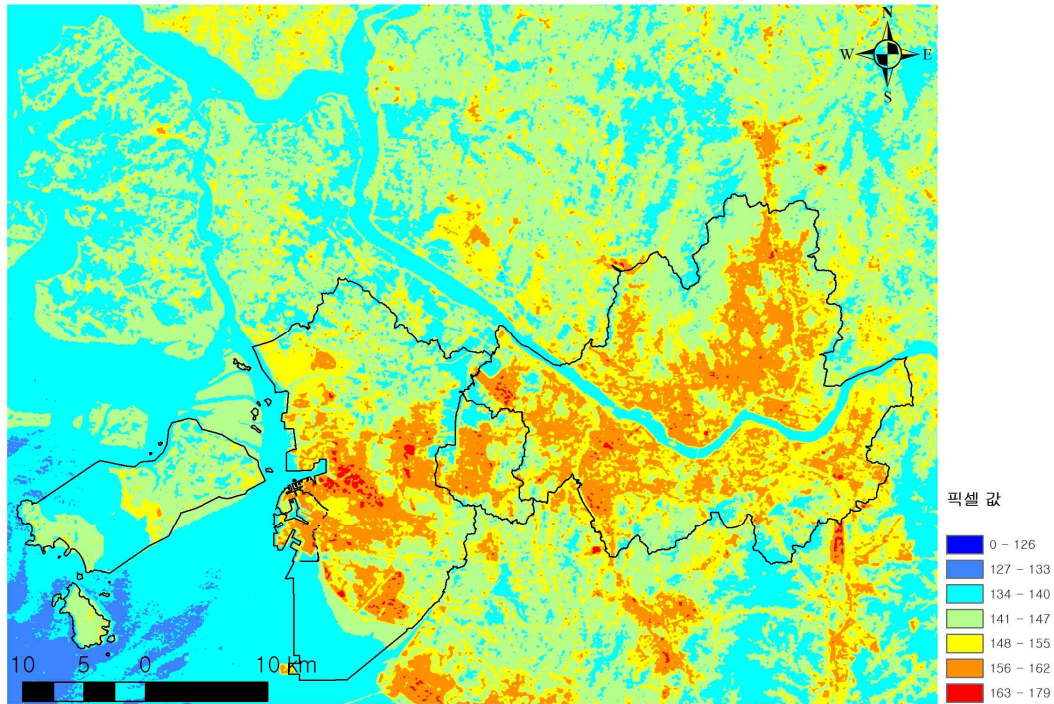


그림 8. 1994년 7월 26일 Landsat-5 TM 열 밴드(Band 6) 영상
(범례 분류 기준 : Standard Deviation)

(1) 화소 값(DN)을 방사휘도(Radiance; L_λ)로 변환

Landsat 영상에서 지표 온도를 추출하기 위해 먼저 화소 값(DN)을 방사휘도(Radiance; L_λ)로 변환한다. Landsat-5와 Landsat-7 영상 자료에서는 열적외선 밴드인 6번 밴드를 사용하며, Landsat-7 ETM+의 경우 열적외선 6번 밴드는 6(1; Low gain)과 6(2; High gain)으로 구성되어 있다. 6(1)번 밴드는 -70°C 에서 $+90^{\circ}\text{C}$ 의 범위인 160°C 의 분광방사 에너지를 저장할 수 있으며, 6(2)번 밴드는 -30°C 에서 $+60^{\circ}\text{C}$ 의 범위인 90°C 의 에너지를 기록할 수 있다(이홍로와 김홍무, 2005; Suga at al., 2003). 이들 자료에서 산출된 온도의 차이는 평균 0.5°C 이

하로 두 자료 중에서 어느 것을 선택해도 사용가능하나(안지숙 등, 2012 ; 이훈열, 한향선, 2005), 6(1)번 밴드가 실측 온도에 보다 가까우므로(이홍로와 김홍무, 2005) 6(1)번 밴드를 이용하여 지표 온도를 계산하였다. 방사휘도를 구하는 공식은 식 4와 같으며 방사휘도 산출에 사용된 Landsat TM과 ETM+의 DN 값은 표 5와 같다(Chander and Markham, 2003; Chander et al., 2009).

$$L_{\lambda} = \frac{(L_{\max\lambda} - L_{\min\lambda})}{(QCAL_{\max} - QCAL_{\min})} \times (QCAL - QCAL_{\min}) + L_{\min\lambda}$$

L_{λ} = 방사휘도 값 [$W/(m^2 \cdot sr \cdot \mu m)$]

$L_{\max\lambda}$ = $QCAL_{\max}$ 에서 분광복사 에너지

$L_{\min\lambda}$ = 열적외 6번 밴드 검정범위의 최소값

$QCAL$ = 각 픽셀의 DN 값

$QCAL_{\max}$ = DN 단위로 정량화된 최대복사에너지

$QCAL_{\min}$ = DN 단위로 정량화된 최소복사에너지

표 5. 방사휘도 산출에 사용된 Landsat TM 및 ETM+의 변수 값

위성영상 센서	$L_{\min\lambda}$	$L_{\max\lambda}$	$Qcal_{\min}$	$Qcal_{\max}$
Landsat TM	1.2378	15.3032	0	255
Landsat ETM+ (Low Gain)	0.0	17.04	1	255

(출처 : Chander and Markham, 2003)

Landsat-8 OLI 위성 영상 자료의 경우 식 5의 선형회귀식의 상수를 이용하여 방사휘도를 구할 수 있다. 여기서 A, B는 선형회귀식의 상수이며 밴드별로 제공된 상수 값을 사용하였다(Rajeshwari, A. and Mani, N. D., 2014).

$$L_{\lambda} = A Qcal + B \quad (\text{식 5})$$

A = 상수(0.000342)

B = 상수(0.1)

$QCAL$ = 각 픽셀의 DN 값

(2) 방사휘도(L_λ)를 이용하여 지표온도($T(K)$; Kelvin) 값을 계산

식 4과 식 5에서 구한 방사휘도를 이용하여 지표온도로 변환할 수 있다. 방사휘도와 절대온도 사이의 관계성을 이용한 NASA의 경험식은 식 6과 같으며 (Chander and Markham, 2003; Chander et al., 2009) K1과 K2에 해당하는 Landsat 각 센서 별 상수는 표 6과 같다(Chander and Markham, 2003; Chander et al., 2009).

$$T(K) = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_\lambda} + 1\right)} \quad (\text{식 6})$$

$T(K)$: 위성관측온도

K_1, K_2 : 보정상수

표 6. Landsat-5·7·8의 위성영상 열 밴드에서 지표온도 추출 시 사용된 변수값

구분		K1(W/(m ² sr μm))	K2(Kelvin)
Landsat-5 TM		607.76	1260.56
Landsat-7 ETM+		666.09	1282.71
Landsat-8 OLI	Band 10	1321.08	777.89
	Band 11	1201.14	480.89

(출처 : Chander and Markham, 2003)

식 6에서 얻어진 온도는 절대온도(K)이므로, 섭씨온도(°C)로 변환하기 위해 절대온도에 273.15를 뺀 값을 분석하였다(식 7).

$$T(^{\circ}\text{C}) = T(K) - 273.15 \quad (\text{식 7})$$

(3) 지표 온도 간의 정규화

1994년 7월 26일은 이례적인 폭염이 있었던 해에 해당되어 다른 날짜의 지표온도보다 높다(최광용, 2010). 지표 온도는 측정 시기 이전의 대기 상태에 따라 민감하게 반응하므로 상호 비교하기에는 무리가 있을 것이라 판단하여 녹지 지

역의 평균 온도를 기준으로 다른 피복의 지표 온도 편차 값을 사용하여 정규화시켜 분석을 진행하였다. 즉, 1980년대에서 2010년대로 갈수록 녹지 지역의 분포 패턴이 변화하므로 네 시기 모두 녹지인 지역을 추출하여 지표 온도의 평균을 구하고, 1984년 7월 30일영상의 녹지 지역 평균 지표 온도를 기준으로 하여 타 시기의 녹지 지역 평균 지표 온도가 증가한 만큼 감하였다. 이를 바탕으로 1984년 7월 30일 영상에서 추출된 삼림 지역의 평균 지표 온도 값을 살펴보면 21.9℃, 1994년 7월 26일 25.5℃, 2004년 7월 29일 22.8℃, 2014년 8월 2일은 22.5℃이다. 따라서 1994년 7월 26일 영상은 3.6℃, 2004년 7월 29일 영상에는 0.9℃, 2014년 8월 2일의 영상에는 0.6℃ 감하여 정규화 지표 온도를 산출하였다.

5) NDVI와 지표 온도의 관련성 분석

NDVI와 지표 온도 간의 상관 정도를 파악하기 위하여 SPSS 통계 프로그램을 활용하여 피어슨의 상관계수(Pearson's correlation coefficient; R)를 구하였으며 상관관계가 통계적으로 유의미한지 밝히기 위해 t-test를 실시하였다. 이때 P-value가 95% 이상인 경우 통계적으로 유의성이 있는 것으로 간주된다. 이를 바탕으로 지표온도를 종속변수(방정식의 x)로, NDVI를 독립변수(방정식의 y)로 한 선형회귀분석(linear regression analysis)을 실시하여 NDVI에 대한 지표 온도 변화 민감도를 산출하였다(식 8).

$$y = Ax + B \quad (\text{식 } 8)$$

지표온도와 NDVI 변수는 픽셀 대 픽셀의 상관관계를 분석하려 했으나 데이터의 양이 너무 방대하며 지표 온도는 대기 상태에 따라 너무 민감하게 변화하므로, 서울·부천·인천의 지표온도와 NDVI를 각각의 행정구역 동 별(2012년 행정구역 기준)로 평균화하여 분석을 진행하였으며, 선형분석에 나타난 기울기 값에서 추출한 바탕으로 식생 피복에 따른 지표온도 민감도를 비교하였다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 서울-인천 도시회랑의 토지 이용 변화

1980년대 중반 이래 10년 간격인 1984년 7월 30일, 1994년 7월 26일, 2004년 7월 29일, 2014년 8월 2일 Landsat 영상을 이용하여 도시화된 지역, 녹지, 나지, 습지, 수역 등 5개의 항목에 따라 감독 분류를 시행한 결과 영상은 그림 9, 10, 11, 12와 같다.

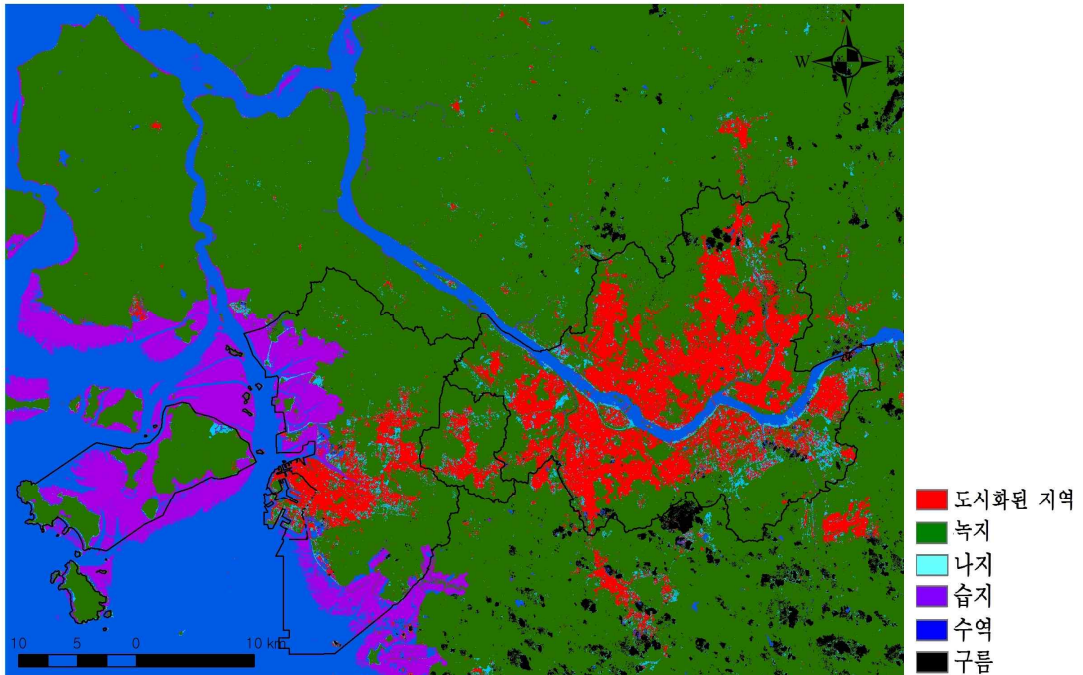


그림 9. 1980년대 중반(1984년) 토지 피복 분포

그림 9에서 1980년대 중반(1984년) 서울-인천 지역은 도시화된 지역이 최근에 비해 불연속적이다. 서울, 부천, 인천 및 안양시, 성남시, 의정부시가 일정 부분만이 도시화 되어 있다고 볼 수 있으며, 이외의 지역들에서는 대부분 녹지 지역이나 습지로 덮여있음을 알 수 있다. 서울은 도시화가 진행되었기 때문에

1980년대 중반에 도심지의 대부분이 도시화되었으나 도심 외곽 지역은 녹지로 덮여있으며, 강남 일대가 1980년대 중반 이후에 본격적으로 개발되기 시작하였으므로 1984년 영상에서는 강남 일대에 나지로 피복된 부분이 나타나고 있다. 부천은 이 시기에 중동 택지개발을 시행하지 않은 상태이므로 구시가지인 심곡동 일대가 도시화된 지역으로 구성되어 있고, 현재의 신시가지인 원미구의 중동·상동 일대가 이 시기에는 녹지로 덮여있다. 인천은 공유 수면 매립 사업을 시행하기 전으로 영종도와 서구의 일부 지역, 연수구 일부분이 녹지 및 습지로 구성되어 있다.

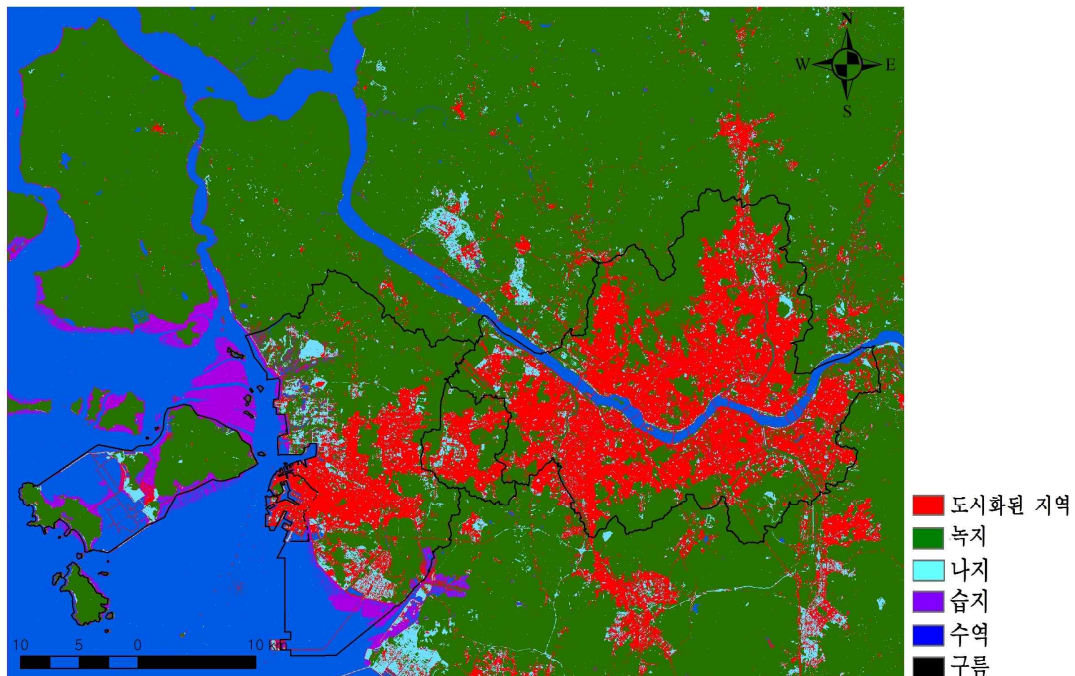


그림 10. 1990년대 중반(1994년) 토지 피복 분포

그림 10의 1990년대 중반(1994년)의 영상에서는 서울-인천 도심의 도시화된 지역이 외연적으로 빠르게 확장하였고, 서해안 일대는 공유수면 매립사업으로 인해 습지 면적이 감소했으며 나지 면적이 증가하였다. 세부적으로 살펴보면 서울은 1980년대 중반에 비해 도심 외곽 지역에 시가지화가 진전되었고, 강남 일대에 개발이 진행되어 대다수의 나지 부분이 도시화된 지역으로 바뀌었다. 부천

에서는 인구 증가에 따른 주택 부족 문제를 해소하기 위해 1990년대 초 중동 택지 개발 사업을 시행하여 도시화된 지역과 나지 지역의 면적이 증가하였음을 알 수 있다. 인천은 1980년대 중반에 구시가지가 외연적으로 확장되는 동시에 공유수면의 매립으로 인해 습지가 감소되고 나지가 증가하였음을 알 수 있다. 이외에도 고양시의 경우 1980년대 후반부터 1990년대 중반까지 일산 신도시 개발이 이루어짐에 따라 거대한 규모의 도시화된 지역 및 나지 지역이 새롭게 나타났다.

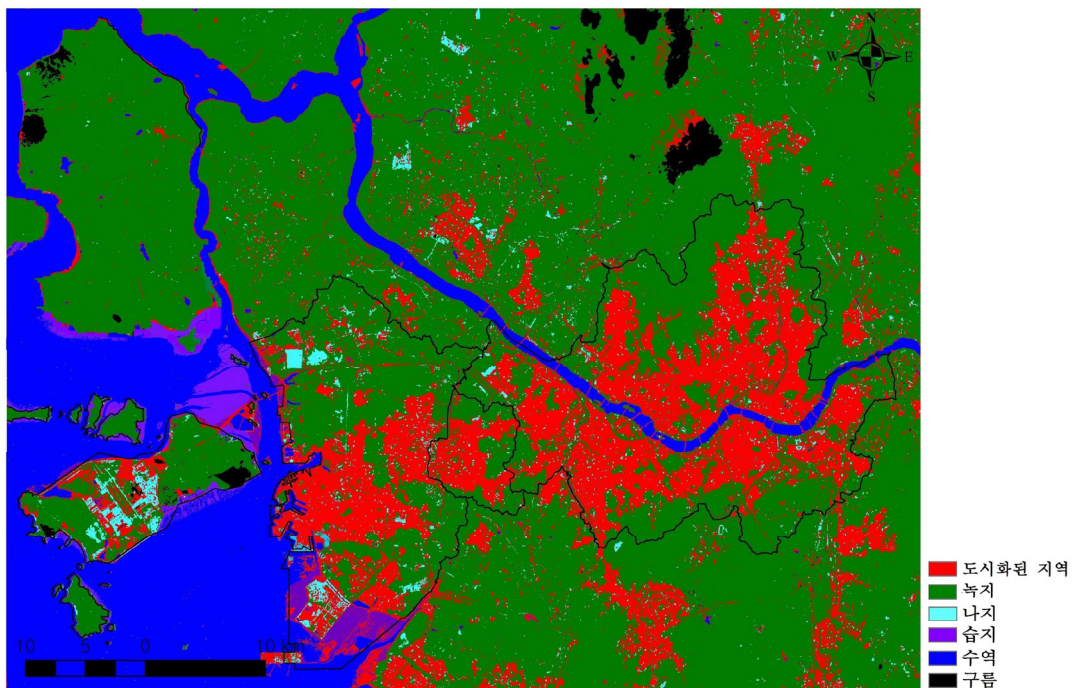


그림 11. 2000년대 중반(2004년) 토지 피복 분포

그림 11의 영상에서 2000년대 중반의 서울-인천 일대는 1990년대 중반에 비해 도시화된 지역의 면적이 눈에 띄게 확장되어 일산 일대의 나지 지역이 도시화된 지역으로 바뀌었으며, 인천의 영종도 일대가 매립 사업으로 인해 나지 혹은 도시화된 지역으로 바뀌었다. 부천의 경우 1990년대 초반 이후 신도시 개발로 인한 중동·상동의 나지 지역이 시가지 지역으로 전환되었다.

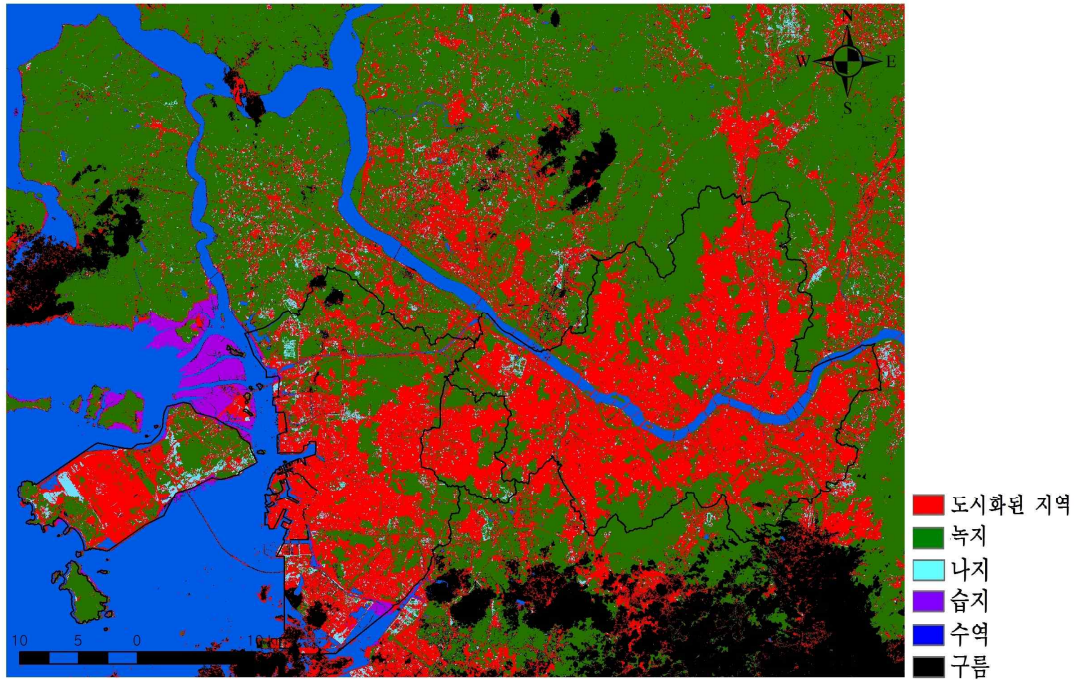


그림 12. 2010년대 중반(2014년) 토지 피복 분포

그림 12의 2010년 중반(2014년)의 경우 서울과 부천은 대규모 산지나 공원이 있는 경우를 제외하면 대부분의 도심 내부가 도시화된 지역으로 피복되었다. 인천의 경우 최근 강화도를 제외한 시가지와 공유수면 매립 사업으로 인해 습지·수역이 토지로 전환된 영종도, 연수구 및 서구 등 신시가지의 토지가 대규모로 시가지화 되었음을 확인할 수 있다. 이외에도 고양시는 일산 일대의 개발이 상당부분 진행되어 도시화 되었으며, 김포시와 의정부시도 과거에 비해 시가지·건조 지역의 면적이 증가하였다.

표 7. 서울의 30년간(1984-2014년) 토지피복분류 항목 별 면적 변화

(단위 : km²)

년도(년) 항목	1980년대 중반 (1984)	1990년대 중반 (1994)	2000년대 중반 (2004)	2010년대 중반 (2014)
도시화된 지역	223.3(38.2%)	292.4(50%)	318.2(54.4%)	338.6(58%)
녹지	298.3(51%)	233.1(39.9%)	223.2(38.2%)	206(35.2%)
수역	29.2(5%)	26.4(4.5%)	27(4.6%)	27(4.6%)
나지	33.8(5.8%)	32.7(5.6%)	16.2(2.8%)	13(2.2%)
제외 영역 (구름)	22.3			
계	606.9(100%)			

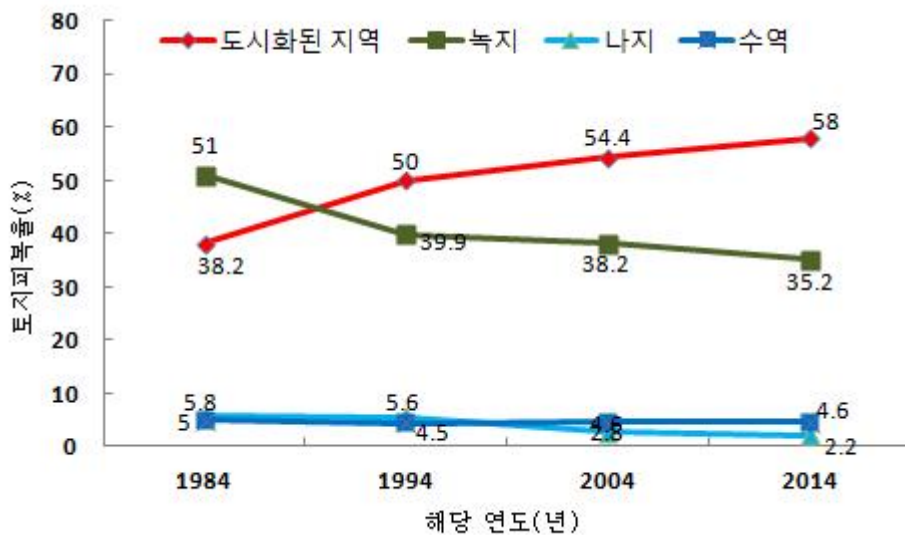


그림 13. 서울의 30년간(1984년-2014년) 토지 피복 구성을 변화

표 7과 그림 13에서 서울은 타 지역에 비해 이전부터 도시화가 진행되어 1980년대 중반 도시화된 지역의 비율이 38.2%로 비교적 높게 나타났고, 녹지 지역도 50.0%로 상대적으로 낮은 비중을 차지하여 1980년대 중반 당시 도시화가 상당 부분 진행되었음이 확인된다. 1990년대 중반에는 강남과 강서 일대의 개발로 도시화된 지역의 전체 면적 비율이 1980년대에 비해 11.8%가 오른 50%로 녹지 지

역의 39.9%보다 더 높은 면적을 지닌다. 2000년대 중반의 도시화된 지역은 54.4%, 2010년대 중반 58%로 증가 폭이 1990년대 이전보다 낮으나 증가 추세에 있으며 녹지 지역의 면적 비율도 2000년대 중반 38.2%, 2010년대 중반 35.2%로 감소 추세에 있어 향후 지속적으로 도시화된 지역의 면적이 증가할 것이라 해석된다. 나지의 경우 강남·강서 일대 등 도시 개발이 이루어지고 있는 1980년대와 1990년대에는 각각 5.8%, 5.6%의 피복율을 보였으나 2000년대 중반 2.8%, 2010년대 중반 2.2%로 나지 지역의 대부분이 도시화된 지역으로 전환되어 서울의 도시 개발이 상당 부분 진행되었음을 알 수 있다.

표 8. 서울 내에서 도시화된 지역의 면적이 크게 나타난 상위 10개 동

(단위 : km²)

1984-1994년	시가지 확장 면적	1984-2004년	시가지 확장 면적	1984-2014년	시가지 확장 면적
서초구 양재2동	1.19	강서구 가양1동	1.58	강서구 공항동	2.62
송파구 오륜동	1.11	서초구 양재2동	1.37	서초구 내곡동	2.37
양천구 목5동	1.07	서초구 서초3동	1.3	강서구 방화2동	2.27
영등포구 여의도동	1.04	송파구 오금동	1.23	강서구 가양1동	2.26
서초구 내곡동	1.03	송파구 장지동	1.21	송파구 장지동	2.01
강서구 가양1동	0.98	양천구 목5동	1.21	강남구 세곡동	1.94
송파구 장지동	0.97	강남구 역삼1동	1.19	강동구 강일동	1.93
서초구 양재1동	0.96	송파구 오륜동	1.17	노원구 공릉2동	1.69
서초구 서초3동	0.95	강서구 방화2동	1.17	서초구 양재2동	1.56
강서구 공항동	0.94	강서구 공항동	1.15	강서구 발산1동	1.54

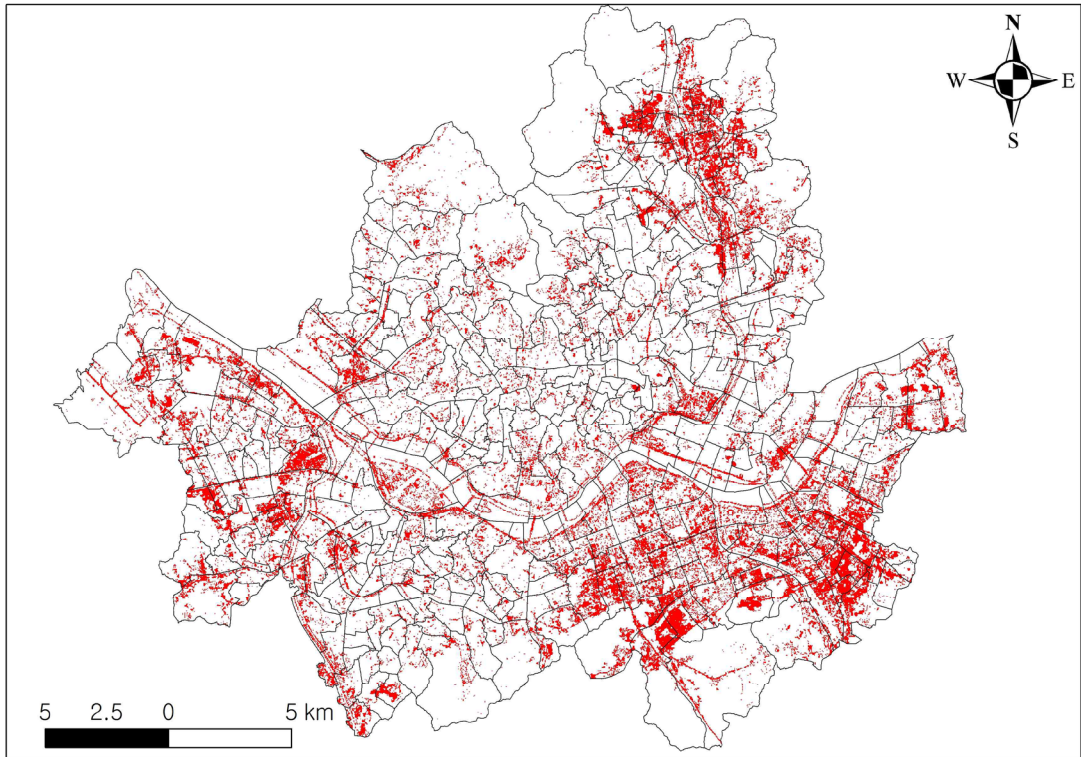


그림 14. 서울의 1980년대 중반(1984년)-1990년대 중반(1994년)사이의
(1990년대 중반-1980년대 중반) 도시화된 지역(붉은 색)

그림 14에서 1980년대 중반(1984년)부터 1990년대 중반(1994년)까지 서울은 강남 일대와 강서 일대, 서울 북측 일대가 집중적으로 개발되었음을 확인할 수 있다. 시가지 확장 면적이 높은 동 순으로 나열한 표 8에서 양재2동과 오륜동, 내곡동, 장지동, 양재1동, 서초3동 등 10 곳의 동 중 6동이 서초구, 강남구, 송파구에 속한 강남 일대이며, 목5동, 여의도동, 가양1동, 공항동은 강서구와 양천구, 영등포구에 속한 강서 일대이다. 상위 10개 동에 포함되지는 않으나 그림 14에서 서울의 북측에 위치한 상계동 일대에서도 신시가지 개발이 이루어졌음을 알 수 있다.

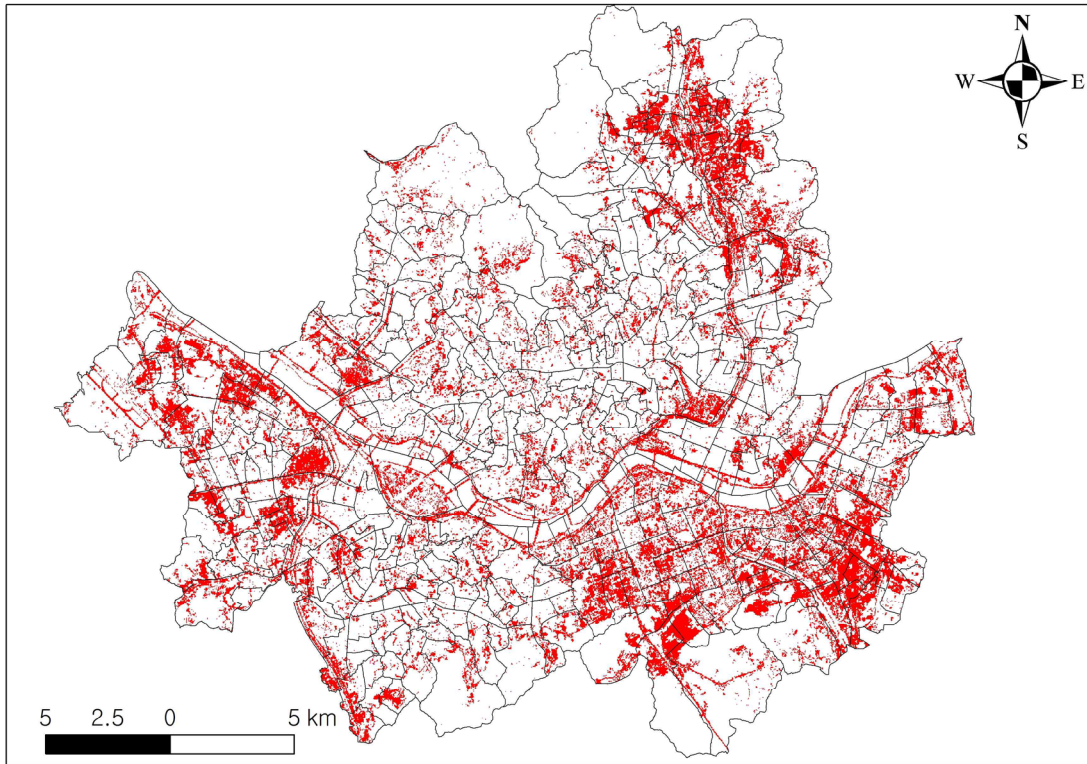


그림 15. 서울의 1980년대 중반(1984년)-2000년대 중반(2004년)사이의
(2000년대 중반-1980년대 중반) 도시화된 지역(붉은 색)

그림 15에서 1980년대 중반(1984년)부터 2000년대 중반(2004년)까지 서울은 강남과 강서 일대를 중심으로 도시 개발이 이루어졌다. 표 8에서 양재2동·서초3동·오금동·장지동·역삼1동·오륜동은 강남 일대인 서초구와 강남구에 속한 지역이며, 가양1동·목5동·방화2동·공항동은 강서 일대인 강서구와 양천구에 포함된다. 1990년대 중반과 중복되는 지역은 서초구 양재2동·송파구 오륜동·양천구 목5동·강서구 가양1동·송파구 장지동·서초구 서초3동·강서구 공항동으로 7개 동으로, 1990년대 중반부터 2000년대 중반까지의 확장 면적은 적게는 오륜동의 0.06km², 많게는 가양1동의 0.6km² 확장된다. 1980년대 중반부터 1990년대 중반까지의 확장 면적과 비교하여 그 면적이 감소하였으나 지속적으로 도시화된 지역의 면적이 증가하고 있음이 확인된다.

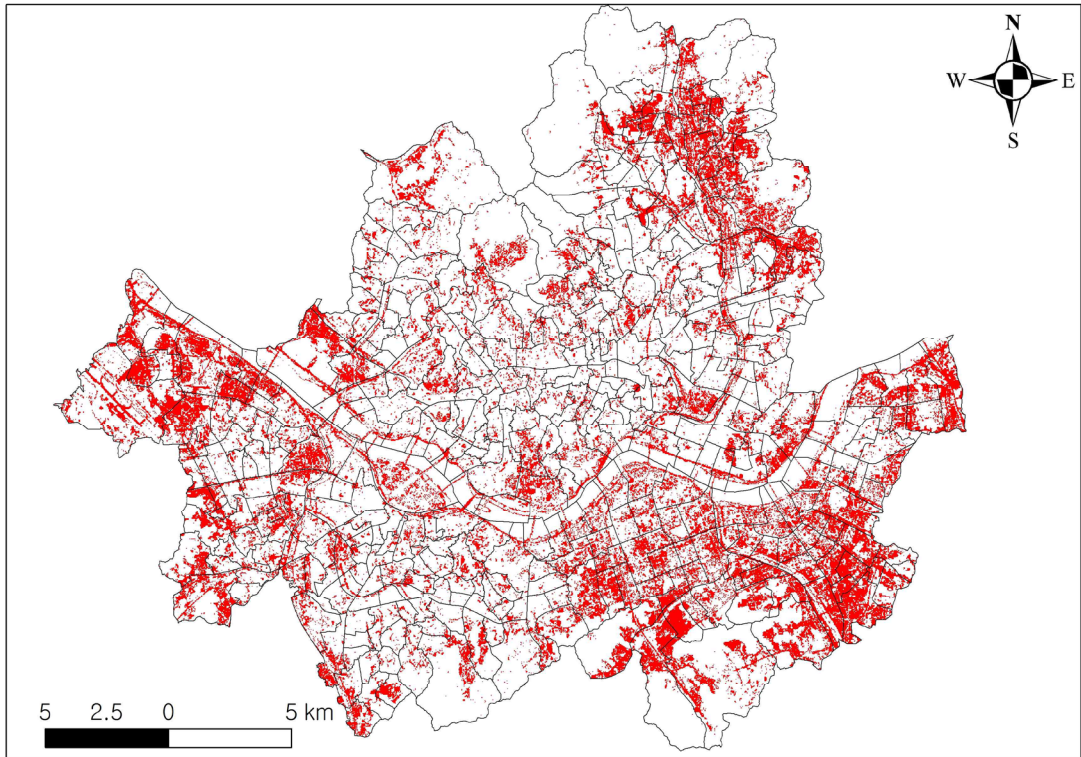


그림 16. 서울의 1980년대 중반(1984년)-2010년대 중반(2014년)사이의
(2010년대 중반-1980년대 중반) 도시화된 지역(붉은 색)

그림 16의 1980년대 중반부터 2010년대 중반까지 서울의 30년 간 도시화된 지역은 강남 일대와 강서 일대에 집중적으로 분포하여 표 8에서 내곡동·장지동·세곡동·양재2동은 서초구와 송파구, 강남구 등 강남 일대이며, 공항동·방화2동·가양1동·발산1동은 강서구로서 강서 일대 지역이다. 1980년대 중반부터 2000년대 중반까지 강서구와 강남구 일대 지역만이 시가지 확장 면적 상위 10개동에 포함되었으나 2010년대 중반에는 강동구 강일동과 노원구 공릉2동도 포함되어 이 일대의 개발도 이루어지고 있음이 확인된다. 강동구 강일동은 1980년대 중반부터 1990년대 중반까지 0.65km², 2000년대 중반까지 1.07km²의 면적이 확장되었고 노원구 공릉2동은 1990년대 중반까지 0.72km², 2000년대 중반까지 1.13km²이 확장되었다. 10년 단위의 3시기에 공통적으로 포함되는 지역은 서초구 양재2동·강서구 가양1동·송파구 장지동·강서구 공항동으로 강남 일대와 강서 일대가 최근 30년간 지속적으로 도시화된 지역이 확장되고 있음을 알 수 있다.

표 9. 인천의 30년간(1984-2014년) 토지피복분류 항목 별 면적 변화

(단위 : km²)

연도(년) \ 항목	1980년대 중반 (1984)	1990년대 중반 (1994)	2000년대 중반 (2004)	2010년대 중반 (2014)
도시화된 지역	49(10%)	99(20.2%)	173.9(35.5%)	244(49.9%)
습지	107.9(22%)	30.8(6.3%)	11.6(2.4%)	4.6(0.9%)
녹지	257.2(52.5%)	238.8(48.7%)	225.1(45.9%)	180.9(36.9%)
수역	58.9(12%)	82.7(16.9%)	48.3(9.9%)	29(5.9%)
나지	17(3.5%)	38.7(7.9%)	31.1(6.3%)	31.5(6.4%)
제외 영역 (구름)	24.8			
계	514.8(100%)			

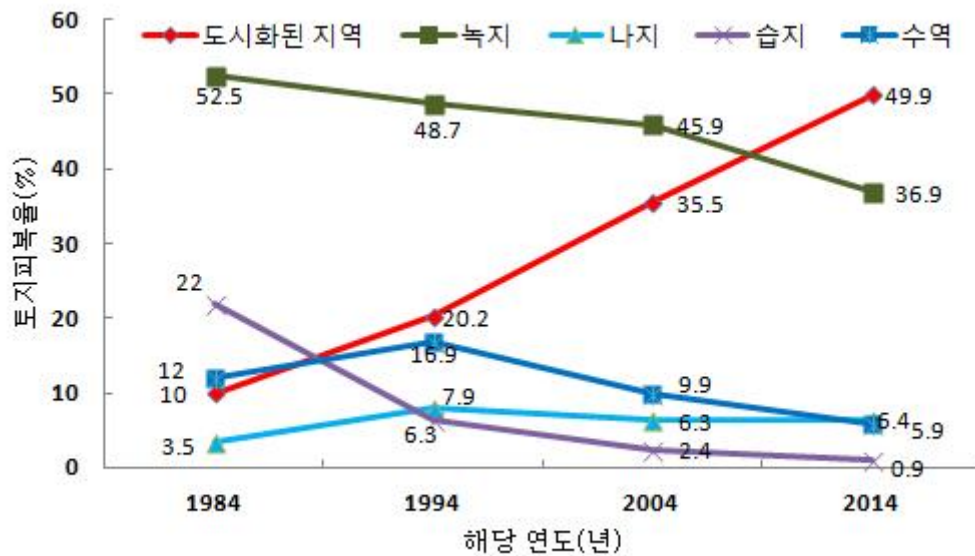


그림 17. 인천의 30년간(1984년-2014년) 토지 피복 구성을 변화

인천은 1990년대 이후 공유수면 매립으로 인한 도시개발이 이루어져 녹지 및 습지지역의 면적이 감소하였고 시가지의 면적이 증가하였다. 표 9와 그림 17에서 도시화된 지역은 1980년대 중반 10%, 1990년대 중반 20.2%, 2000년대 중반

35.5%, 2010년대 중반 49.9%로 꾸준히 증가하는 추세이다. 이는 도시화된 지역이 확산됨과 동시에 1990년대 이후 공유수면 매립 개발이 진행되어 서해안 일대의 습지가 토지화 되어 도시화된 지역의 면적이 증가하였다고 해석된다. 도시화된 지역의 확산은 녹지 지역의 면적 감소로 이어져 1980년대 중반 녹지 회복율은 52.5%, 1994년은 48.7%, 2000년대 중반 45.9%, 2010년대 중반에는 36.9%로 지속적으로 감소하는 추세이나 타 지역과 비교하여 감소한 비율이 낮다. 습지의 경우 공유수면 매립이 시행되기 전인 1980년대 중반은 22%로 그 비중이 컸으나 공유수면 매립이 시행된 후인 1990년대 중반은 6.3%, 2000년대 중반 2.4%, 2010년대 중반 0.9%로 1980년대 중반과 비교하여 현재 대부분의 습지가 매립되었다고 할 수 있다. 타 지역의 도시화된 지역의 면적 확장은 녹지 지역이 도시화된 지역으로 변화된 것이 주요 양상인 반면, 인천은 녹지 지역의 도시화된 지역으로의 전환뿐만 아니라 해안 지역의 습지가 매립되어 도시화된 지역으로 전환되어 면적의 확장이 이루어졌다. 다른 지역에 비해 녹지의 면적 비중의 감소가 상대적으로 낮은 이유 중의 한 가지가 공유수면의 매립과 관련되어 있다고 여겨진다. 습지 면적의 감소는 날짜 별로 간조와 만조 시간이 다르므로 이에 영향을 받아서 생긴 차이일 수도 있으나 이는 매우 미미한 영향을 끼칠 것이라 사료되고 가장 큰 이유는 서해안 일대의 공유수면 매립과 관련이 있다.

표 10. 인천 내에서 도시화된 지역의 면적이 크게 나타난 상위 10개 동

(단위 : km²)

1984-1994년	시가지 확장 면적	2004-1984년	시가지 확장 면적	1984-2014년	시가지 확장 면적
중구 운서동	3.70	중구 운서동	20.87	중구 운서동	43.35
남동구 논현고잔동	2.91	연수구 송도1동	7.92	연수구 송도1동	13.02
중구 연안동	2.15	남동구 논현고잔동	6.91	서구 검암경서동	9.02
서구 청라2동	2.10	서구 검단1동	6.25	연수구 송도2동	8.08
서구 검암경서동	1.86	연수구 송도2동	4.88	남동구 논현고잔동	7.92
서구 검단1동	1.59	서구 검암경서동	4.67	중구 영종동	7.75
서구 가좌1동	1.50	서구 신현원창동	4.39	서구 청라2동	7.67
남동구 남촌도림동	1.36	중구 연안동	3.00	서구 검단1동	7.58
서구 신현원창동	1.30	서구 가좌1동	2.96	계양구 계양1동	5.96
남동구 구월1동	1.13	남동구 남촌도림동	2.87	서구 신현원창동	5.60

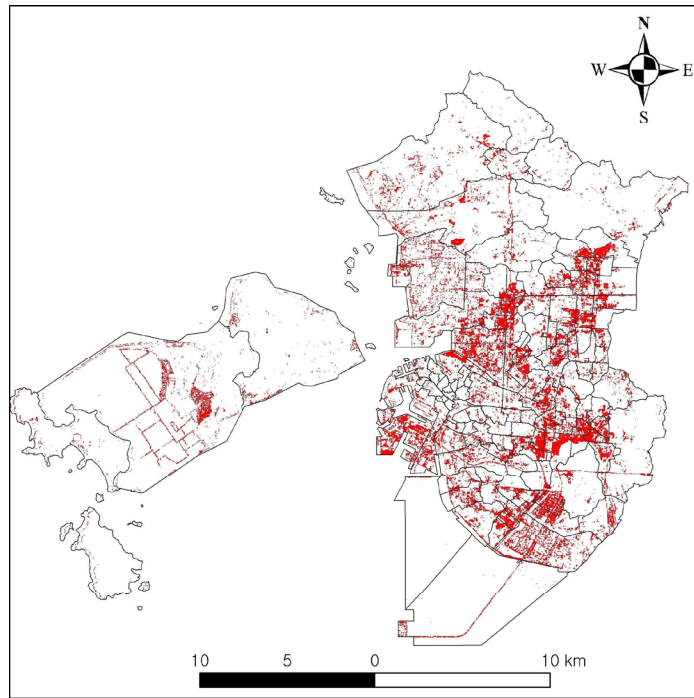


그림 18. 인천(강화군·옹진군 제외)의 1980년대
중반(1984년)-1990년대 중반(1994년)사이의
(1990년대 중반-1980년대 중반)
도시화된 지역(붉은 색)

그림 18에서 1980년대 중반부터 1990년대 중반의 10년 동안 인천은 서구와 남동구, 중구의 해안 일대를 중심으로 도시화된 지역이 확대되었다. 표 10의 도시화된 지역의 면적이 크게 나타난 상위 10개 동 중 청라2동·검암경서동·검단1동·가좌1동·신현원창동에 해당되는 서구는 1980년대 중반에 습지가 해안 일대에 넓게 분포하였으나 공유수면의 매립으로 상당부분 간척되어 1990년대 중반 도시화된 지역으로 전환되었다. 남동구의 논현고잔동은 남동공업단지의 1단계 조성공사가 1989년에 완공되어 도시화가 진행되고 남촌도림동은 남동공업단지의 배후 도시로서 많은 인구가 유입되어 집중적으로 도시화가 진행되었다. 구시가지에 해당되는 중구는 상대적으로 도시화된 지역의 확장 면적이 낮으나 해안에 입지하는 중구의 운서동과 연안동은 표 10의 상위 10개 동에 해당되어 간척으로 인한 해안 지역의 도시화가 진행 중이었음을 알 수 있다. 특히 운서동은 현재의 인천국제공항이 입지한 지역으로 습지가 매립되는 과정에서 도시화된 지역이 형

성되면서 그 확장 면적이 높은 것이라 해석된다.

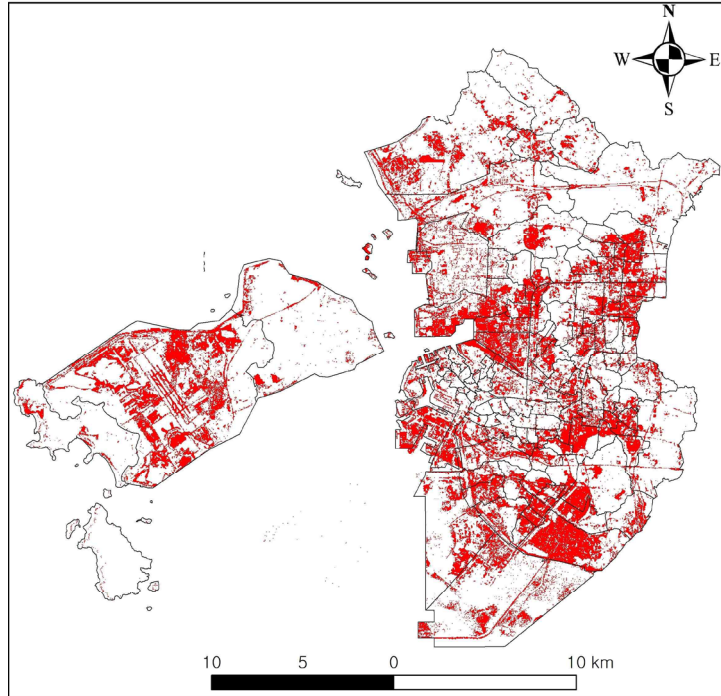


그림 19. 인천(강화군·옹진군 제외)의 1980년대
중반(1984년)-2000년대 중반(2004년)사이의
(2000년대 중반-1980년대 중반) 도시화된 지역
(붉은 색)

그림 19의 1980년대 중반부터 2000년대 중반까지 인천은 1980년대 중반부터 1990년대 중반과 유사하게 습지가 매립된 지역을 중심으로 진행되었다. 표 10에서 서구의 검단1동·검암경서동·신현원창동·가좌1동은 지속적인 습지의 매립으로 도시화가 진행됨과 동시에 기존의 토지에서도 도시화된 지역이 확장되었다. 송도1동·송도2동이 포함된 연수구는 1990년대 중반 남구에서 분리되어 신설된 지역으로 서구와 마찬가지로 연안의 습지가 매립되어 도시화가 진행되며, 남동구의 논현고잔동과 남촌도림동은 남동공업단지의 영향으로 인구가 유입되고 일부 습지가 매립되어 도시화된 지역의 확장이 이루어진다. 중구의 운서동은 2001년에 인천국제공항이 개항하여 주거지와 공공시설단지 등이 조성되어 지속적으로 도시화된 지역이 확장되었고, 연안동도 다른 인천의 연안 지역과 마찬가지로

지로 습지의 매립으로 인해 도시화된 지역이 확장되었다.

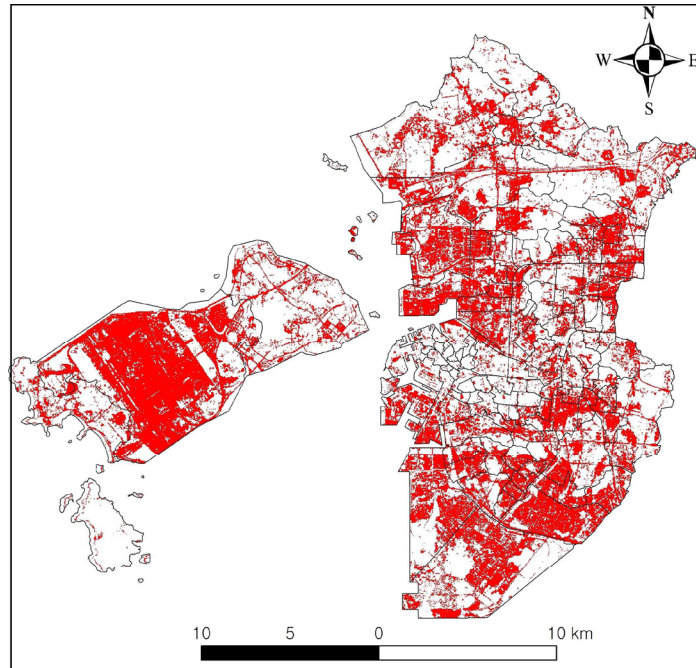


그림 20. 인천(강화군·옹진군 제외)의 1980년대
중반(1984년)-2010년대 중반(2014년)사이의
(2010년대 중반-1980년대 중반)
도시화된 지역(붉은 색)

그림 20에서 1980년대 중반부터 2010년 중반 30년간 인천의 도시화된 지역의 확장은 대부분 공유수면 매립이 이루어진 서구와 남동구 및 연수구에 집중적으로 이루어졌다. 표 10에서 검암경서동·청라2동·검단1동·신현원창동이 속한 서구는 현재 검단신도시와 루원시티, 청라국제도시가 조성되어 지속적인 인구증가와 개발로 도시화가 진행 중이며, 연수구의 송도1동과 송도2동은 1980년대 중반 대부분 습지였으나 현재 대부분의 토지가 고밀도의 주거지로 개발되어 도시화 되고 있다. 중구에 해당되는 운서동과 영종동은 영종도에 해당되는 지역으로 서구·연수구와 마찬가지로 대부분 매립으로 인한 토지화로 인천국제공항이 개항하면서 지속적으로 주거지와 시설물 등의 유입으로 인해 도시화된 지역의 확장이 진행되고 있으며 남동구의 논현고잔동은 남동공업단지인 인구 증가로 확장되고 있다.

표 11. 부천의 30년간(1984-2014년) 토지피복분류 항목 별 면적 변화

(단위 : km²)

연도(년) \ 항목	1980년대 중반 (1984)	1990년대 중반 (1994)	2000년대 중반 (2004)	2010년대 중반 (2014)
도시화된 지역	10.9(20.3%)	21.9(40.7%)	27.0(50.1%)	33.5(62.3%)
녹지	39.8(74%)	27.4(50.9%)	25.2(46.8%)	18.6(34.5%)
나지	3.1(5.7%)	4.5(8.4%)	1.7(3.1%)	1.7(3.2%)
합계	53.8(100%)			

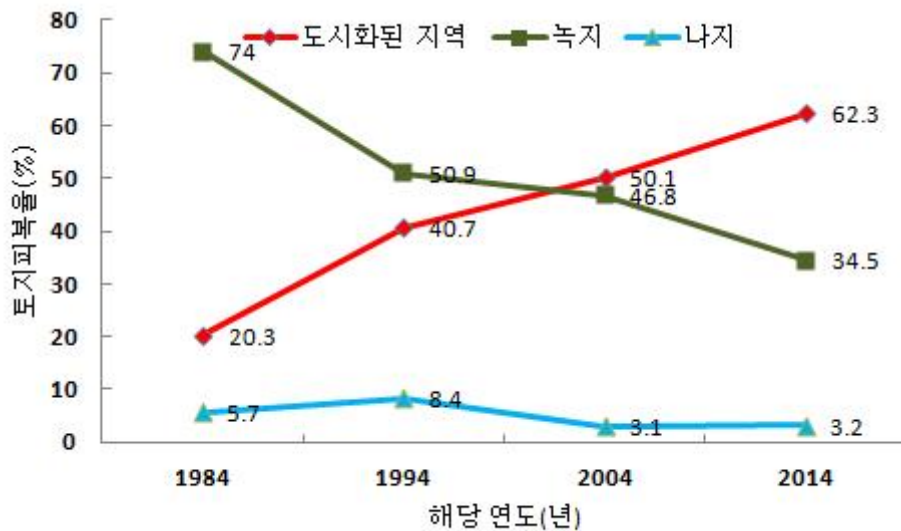


그림 21. 부천의 30년간(1984년-2014년) 토지 피복 구성을 변화

표 11과 그림 21에서 부천의 도시화된 지역은 1980년대 중반에 20.3%, 1990년대 중반 40.7%, 2000년대 중반 50.1%, 2010년대 중반 62.3%로 증가하는 추세이다. 특히 1990년대 정부의 정책에 의한 원미구 중동, 상동 일대의 중동신도시가 개발되면서 1980년대에서 1990년대 사이 도시화된 지역의 비율이 급격히 증가하였고 1990년대 중반부터 2010년대 중반은 1990년대 중반 이전보다 낮은 증가율을 보인다. 이에 반해 녹지의 비중은 시가지화로 인해 1980년대 중반 74%에서 1990년대 중반 50.9%, 2010년대 중반 46.8%, 2010년대 중반 현재 34.5%로 감소하는 추세이다. 이는 다른 신도시보다 도시 개발 계획 시 도시화된 지역의 비율

이 더욱 높게 책정되어(박종국, 2009) 녹지의 비중이 확연하게 감소하는 데 많은 영향을 미쳤다고 해석할 수 있다. 나지 지역은 1980년대 중반 5.7%, 1990년대 중반은 8.4%로 중동신도시의 개발로 나지 지역의 비율이 증가하다가 2000년대 중반 3.1%, 2010년대 중반 3.2%로 낮은 비율을 유지하고 있다.

표 12. 부천 내에서 도시화된 지역의 면적이 크게 나타난 상위 10개 동
(단위 : km²)

1984-1994년	시가지 확장 면적	2004-2014년	시가지 확장 면적	1984-2014년	시가지 확장 면적
오정구 성곡동	1.01	오정구 신흥동	1.13	오정구 성곡동	2.10
오정구 신흥동	0.79	오정구 성곡동	1.06	오정구 오정동	2.07
오정구 고강본동	0.78	원미구 상3동	1.04	오정구 신흥동	1.41
원미구 중2동	0.57	원미구 중1동	0.91	원미구 상3동	1.21
오정구 고강1동	0.56	원미구 상2동	0.89	원미구 상2동	1.08
원미구 도당동	0.52	원미구 중2동	0.85	원미구 중1동	1.01
오정구 오정동	0.51	오정구 오정동	0.84	오정구 고강본동	0.94
원미구 상2동	0.47	오정구 고강본동	0.76	원미구 중2동	0.84
오정구 원종1동	0.43	원미구 도당동	0.63	소사구 범박동	0.83
원미구 상동	0.34	원미구 상동	0.63	원미구 도당동	0.74

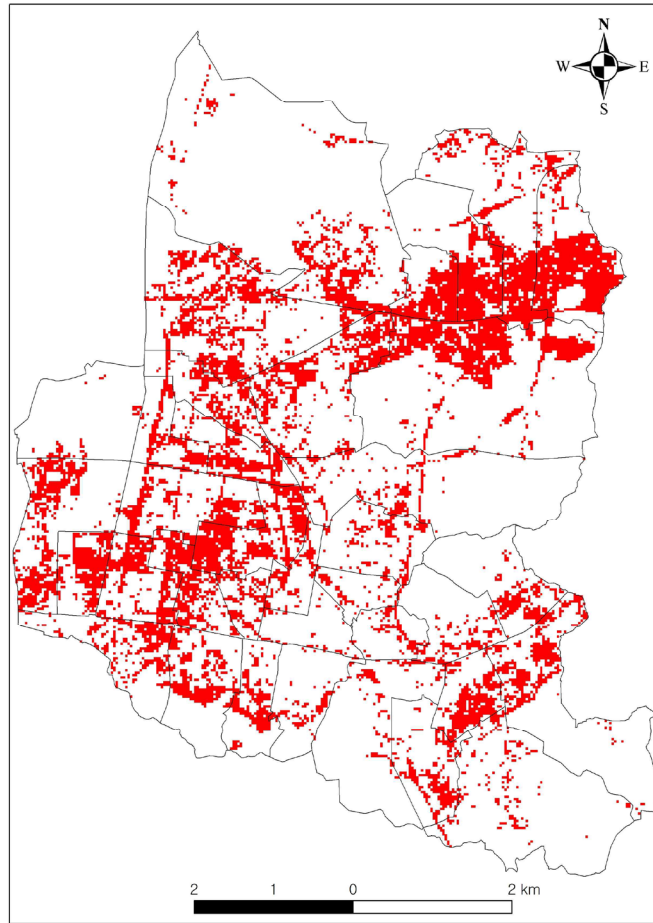


그림 22. 부천의 1980년대
 중반(1984년)-1990년대 중반(1994년)사이의
 (1990년대 중반-1980년대 중반)
 도시화된 지역(붉은 색)

그림 22에서 1980년대 중반부터 1990년대 중반까지 부천의 도시화된 지역의 확장은 오정구 일대 및 중동신도시 개발과 관련하여 진행되었다. 표 12에서 오정구의 성곡동·신흥동·고강본동·고강1동·오정동·원중1동은 공장과 다세대주택의 설립 등으로 인한 개발로 도시화된 지역의 확장이 이루어졌으며, 그 중 성곡동, 오정동, 신흥동의 확장 면적이 넓은 이유는 도시화에 의한 영향일 수도 있으나 다른 동에 비해 동 자체의 면적이 크기 때문에 확장 면적이 높은 것으로 판단된다. 원미구 중2동, 도당동, 상2동, 상동은 1990년대 초부터 시행된 중동신도시 개발과 관련하여 도시 개발이 이루어져 도시화된 지역이 확장되었다고

해석할 수 있다.

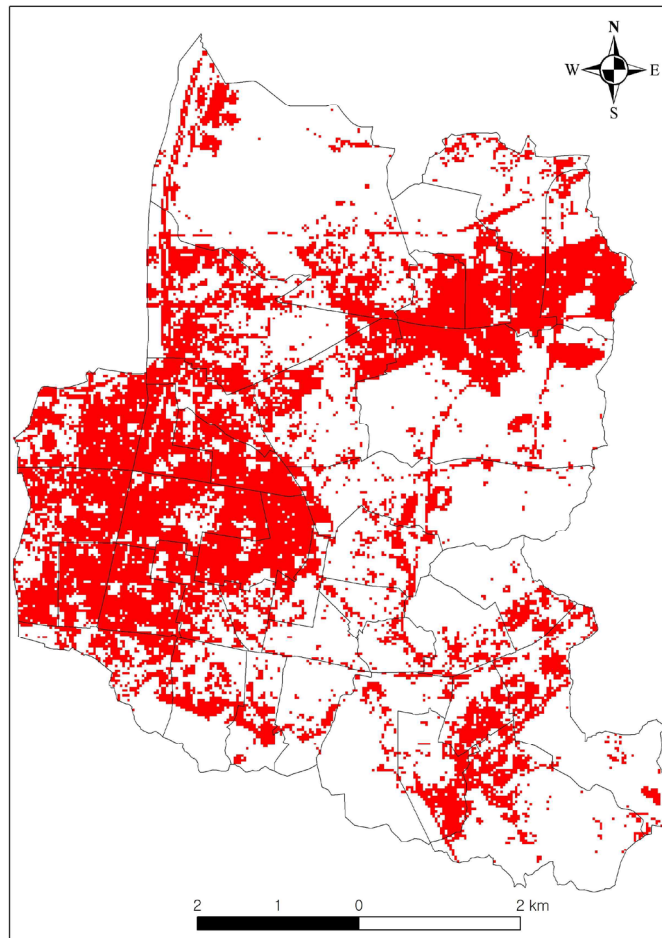


그림 23. 부천의 1980년대 중반(1984년)-2000년대 중반(2004년)사이의(2000년대 중반-1980년대 중반) 도시화된 지역(붉은 색)

그림 23에서 1980년대 중반부터 2000년대 중반까지의 시가지 확장은 1990년대 중반까지의 확장 패턴과 유사하게 오정구 일대와 중동신도시 일대를 중심으로 진행되었다. 오정구의 신흥동·성곡동·오정동·고강본동은 1990년대 중반 이전과 마찬가지로 도시화된 지역의 면적이 확대되었으며, 원미구의 중2동·상3동·중1동·상2동·도당동·상동 일대는 부천의 지속적인 인구유입으로 인한 중동신도시의 개발로 신시가지가 조성되어 확장되었다. 오정구일대와 신시가지인 원미구 중동 일대의 동 면적을 비교하였을 경우 오정구 일대의 동 면적이 상대적으로

로 크므로 부천의 도시화된 지역의 확장은 중·상동 일대를 중심으로 진행되었다고 해석할 수 있다.

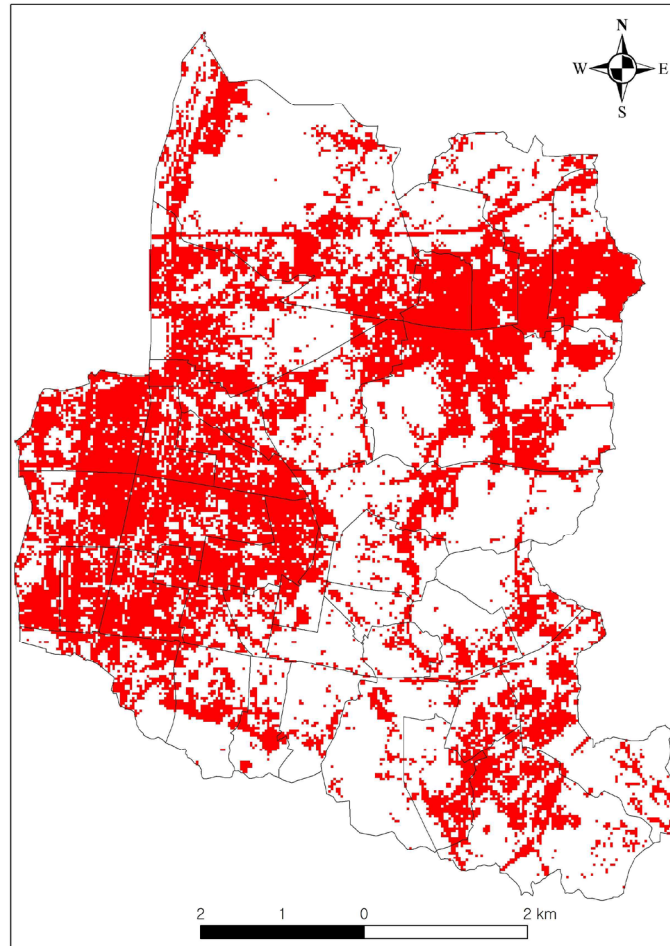


그림 24. 부천의 1980년대 중반(1984년)-2010년대 중반(2014년)사이의(2010년대 중반-1980년대 중반) 도시화된 지역(붉은 색)

그림 24의 1980년대 중반부터 2010년대 중반 부천의 30년간의 도시화된 지역의 확장은 대부분 오정구와 원미구를 중심으로 진행된다. 상3동·상2동·중1동·중2동·도당동이 속해 있는 원미구의 중·상동 현재 부천의 신도심지역으로 지속적인 인구 유입으로 인해 주거지 개발이 이루어지고 있어 향후 지속적인 개발이 이루어질 것으로 추측되며 성곡동·오정동·신흥동·고강본동 등은 서울과

지리적으로 근접하고 공장 및 주거지가 밀집되어 도시화된 지역의 확장이 진행 중이다.

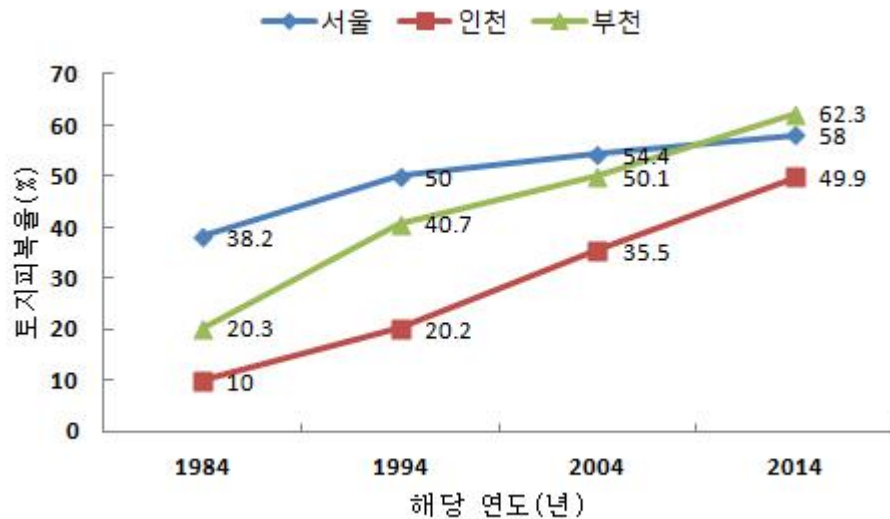


그림 25. 서울·인천·부천의 30년간(1984-2014년) 시가지 피복율 변화

서울·인천·부천의 30년간(1984-2014년) 도시화된 지역의 피복율 변화를 보면(그림 25) 도시화된 지역은 30년간 서울·인천·부천 모두 증가하는 추세이다. 서울은 1980년대 중반 이전에도 도시화가 상당부분 이루어져 1980년대 중반 토지의 38.2%가 도시화된 지역에 해당되었으며, 도시 외곽의 외연적 확장과 강남·강서 일대의 개발 등으로 30년간 19.8% 증가하여 2010년대 중반 58% 정도로, 1990년대 중반 이후 도시화된 지역의 면적 비중의 증가율이 감소하였으나 향후 지속적으로 그 면적이 증가할 것이라 판단된다. 인천은 1980년대 중반 도시화된 지역의 토지 피복율이 10%이었으나 공유 수면 매립과 녹지 지역의 감소에 따른 도시화된 지역의 확장에 의해 2010년대 중반에는 49.9%의 피복율을 보여 39.9%가 증가하였다. 최근까지 공유수면의 매립으로 토지화된 서구와 연수구 일대를 중심으로 시가지화가 진행되었으나 매립 사업이 어느 정도 마무리되어 앞으로는 녹지 지역의 감소를 통한 도시화가 진행될 것으로 추측된다. 부천의 경우 30년간 타 지역에 비해 상대적으로 도시화가 급격히 이루어져 1980년대 중

반 20.3%의 시가지 피복율에서 2010년 중반 62.3%로 40%가 증가하였다. 이는 서울과 인천 사이의 입지적 요건 및 급격한 인구 증가에 따른 정부의 개발 정책의 결과로 해석된다.

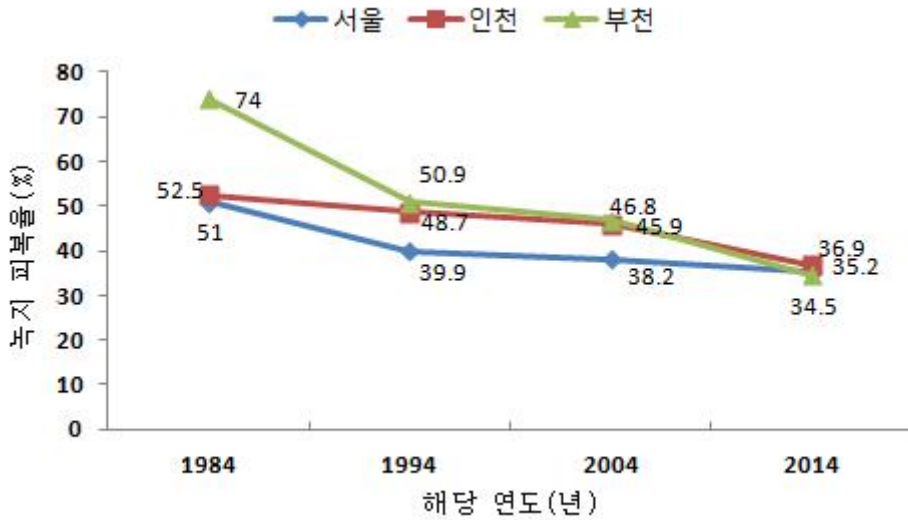


그림 26. 서울·인천·부천의 30년간(1984-2014년) 녹지 피복율 변화

도시화된 지역 피복율의 증가 추세에 반하여 녹지 지역의 피복율은 감소하는 양상을 보인다. 1980년대 중반 서울은 도시화가 그 이전부터 진행되었기 때문에 도시화된 지역이 타 지역보다 높은 비율이므로 녹지 피복율은 51%로 상대적으로 낮은 비율을 차지하였고, 그 이후에도 감소 추세로 1990년대 중반에는 39.9%, 2000년대 중반 38.2%, 2010년대 중반 35.2%로 피복율의 감소율이 점차 낮아지거나 지속적으로 면적이 감소하는 경향을 보인다. 인천은 1980년대 중반 52.5%, 1990년대 중반은 48.7%, 2000년대 중반 45.9%, 2010년대 중반 36.9%로 2000년대 중반부터 2010년대 중반 사이 녹지 피복율의 감소 폭이 커지는 경향을 보인다. 인천의 녹지 면적의 비율은 15.6% 감소하였으나 도시화된 지역의 면적 비율이 39.9% 증가한 점을 미루어 보아 30년간 시가지 확장은 녹지 지역이 도시화된 지역으로 전환된 부분보다 공유 수면 매립으로 인한 도시화된 지역의 면적 확산이 주를 이루었음을 시사한다. 부천은 1990년대 이후의 도시 개발 정책으로 인해 도시화가 본격적으로 이루어졌으므로 1980년대 중반 녹지 피복율은 74%로 세 지

역 중 가장 높은 녹지 피복율을 보였으나 그 감소가 가장 빠르게 진행되어 1990년대 중반 50.9%, 2000년대 중반 46.8%, 2010년대 중반 34.5%로 현재 가장 낮은 녹지 피복율을 보인다.

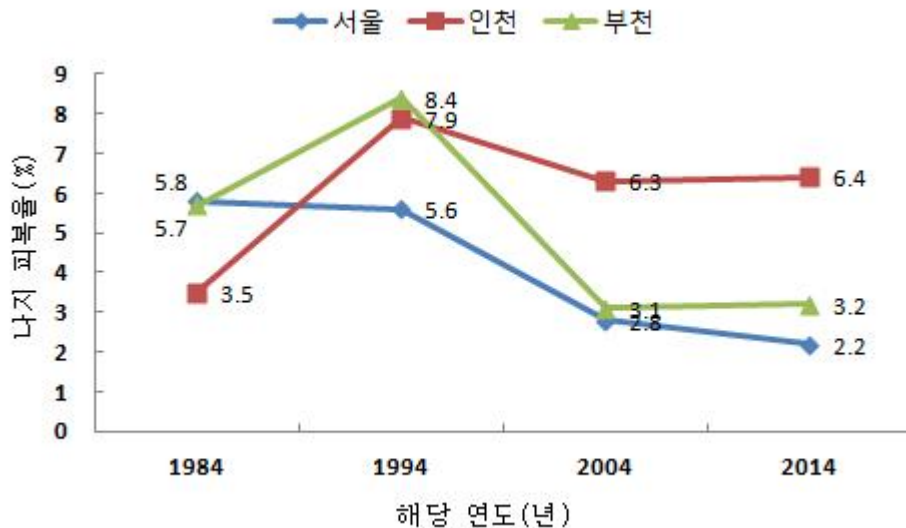


그림 27. 서울·인천·부천의 30년간(1984-2014년) 나지 피복율 변화

대부분의 면적이 개발 지역을 의미하는 나지 지역의 피복율은 서울의 경우 30년간 꾸준히 감소하는 경향을 보이며, 인천과 부천의 경우 1980년대 중반에서 1990년대 중반까지는 증가하다가 1990년대 중반부터 2000년대 중반까지는 감소하며 2000년대 중반부터 2010년대 중반까지는 정체하는 경향을 보인다. 서울은 일찍부터 도시화가 이루어져 나지지역의 피복율이 감소하는 추세로 1980년대 중반 5.8%에서 1990년대 중반 5.6%, 2000년대 중반 2.8%, 2010년 중반 2.2%이다. 인천은 1990년대 본격적으로 도시 개발을 진행하여 1980년대 중반 3.5%에서 1990년대 중반 7.9%로 증가하다가 2000년대 중반 6.3%로 감소하며 2010년대 중반 6.4%로 소폭 상승하는 추세를 보인다. 부천도 인천과 마찬가지로의 패턴을 보여 1990년대 신도시 개발이 진행되어 1980년대 중반 5.7%에서 1990년대 중반 8.4%로 높은 나지 피복율을 보이다가 2000년대 중반 3.1%, 2010년대 중반 3.2%로 소폭 증가하는 추세를 보인다.

2. 서울-인천 도시회랑의 녹지 지역 면적 변화

서울-인천 지역의 최근 30년간(1984-2014년) 식생활력도의 변화를 분석하기 위해 시계열별 Landsat 영상의 근적외(NIR)영역(Landsat-TM과 ETM+는 Band4, OLI는 Band5)과 가시(Red)영역(Landsat-TM과 ETM+는 Band3, OLI는 Band4)을 이용하여 추출한 정규식생지수의 분포를 지도화 하였다(그림 28, 29, 30, 31).

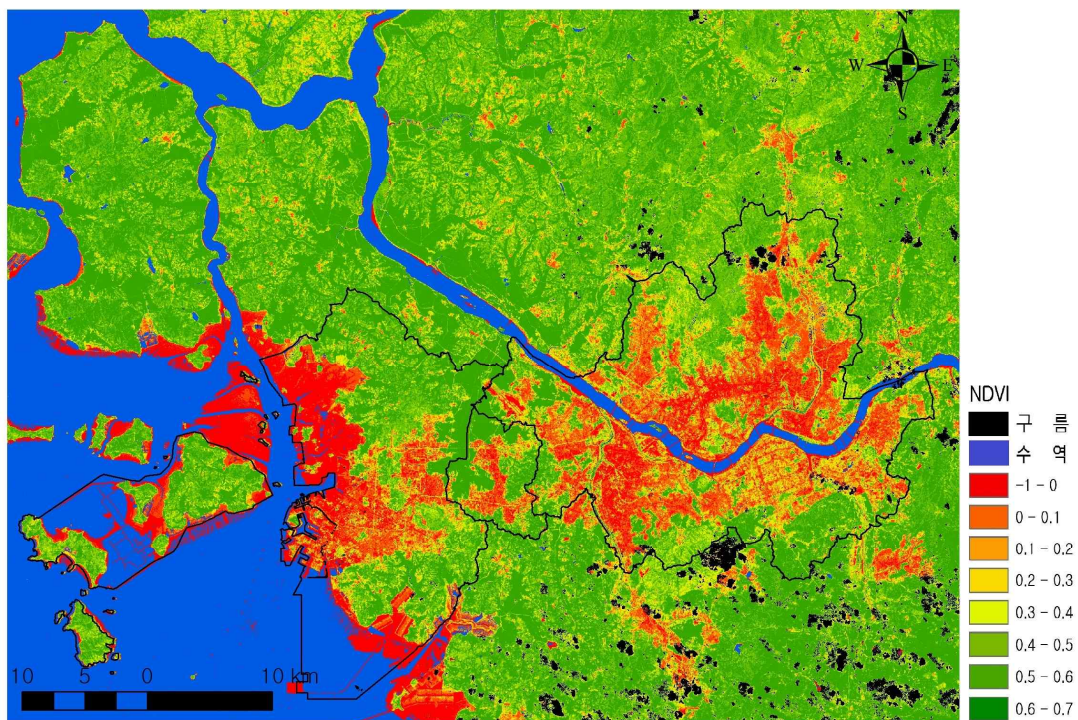


그림 28. 1980년대 중반(1984년) 여름철 서울·인천·부천 일대의 정규식생지수

정규식생지수의 분포 패턴은 대체적으로 토지피복 패턴과 유사하여 음수의 값을 지닌 지역은 대체적으로 수역이며, 0의 값과 가까운 지역은 도시화된 지역을 나타내며 1과 가까울수록 식생 활력도가 높음을 의미한다. 그림 28에서 1980년대 중반의 서울의 경우 도심은 0과 가까운 값을 갖으며 북한산 및 도봉산 일대 등 서울 외곽 지역의 녹지 지역은 높은 값을 갖는다. 강남 일대는 나지 상태로 도시화된 지역의 정규식생지수보다 높은 수치를 보이지만 그 차이가 0.1내외이

다. 인천은 구시가지인 중구와 동구, 부평구 일대가 도시화된 지역으로 이루어졌음을 확인할 수 있고 연수구 일부 지역과 영종도, 서구의 해안지역이 개발 이전인 습지로 이루어져 음(-)의 값을 지닌다. 부천은 구시가지인 원미구의 심곡동 일대를 중심으로 정규식생지수를 통해 도시화된 지역임을 확인할 수 있고 중동신도시 개발을 시행하기 이전이므로 현재의 신시가지인 원미구의 중동과 상동 일대가 식생으로 구성되어 높은 값을 지닌다.

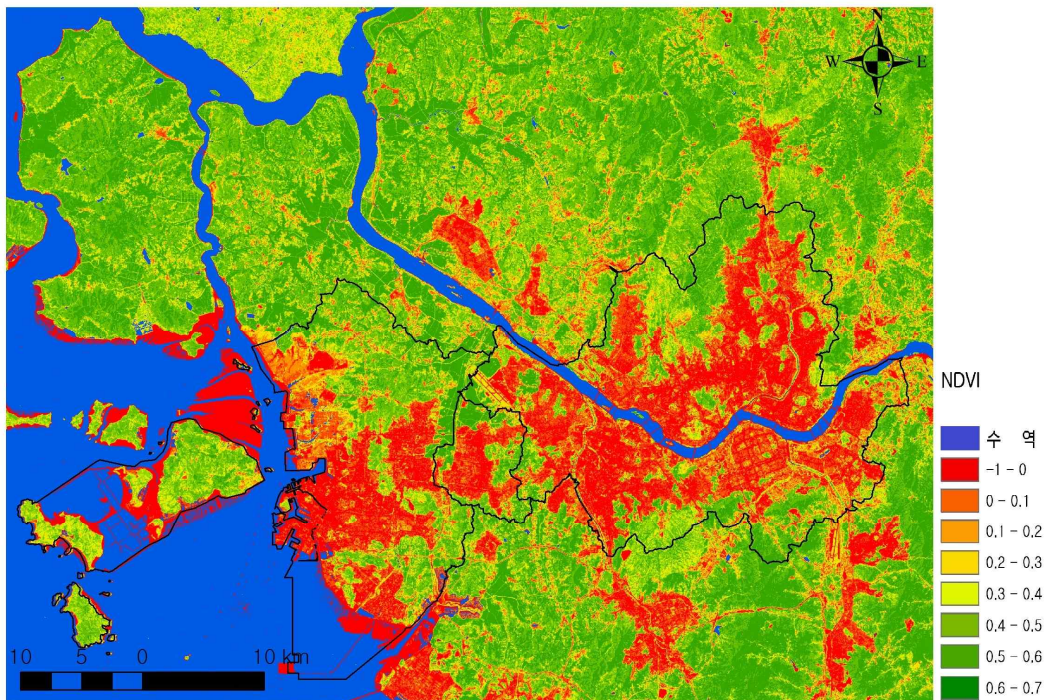


그림 29. 1990년대 중반(1994년) 여름철 서울·인천·부천 일대의 정규식생지수

그림 29의 1990년대 중반의 경우 1980년대 중반에 비해 대체적으로 도시화된 지역을 나타내는 지역이 증가하였다. 특히 고양시 일산 일대는 1980년대 중반 녹지 지역이 대부분을 차지하여 정규식생지수 수치가 높았으나 1990년대 중반에는 일산 신도시 개발로 인해 도시화됨으로써 그 일대가 0과 가까운 수치를 나타낸다. 서울은 강남 일대와 강서 일대가 개발로 인해 도시화되어 1980년대의 수치보다 감소하여 0에 가까운 값을 보이고 도심 외곽의 일부 지역도 1980년대 중반 녹지 지역에서 도시 지역으로 변환됨에 따라 수치가 감소하여 도시화된 지역

이 외연적으로 확장되었음을 확인할 수 있다. 인천은 구시가지인 중구와 동구, 부평구 일대의 외연적 확장과 서구 해안 일대의 일부가 음수(-)에서 양수(+) 값으로 전환되어 습지에서 나지로 토지 이용이 변화하고 있음을 유추할 수 있다. 부천은 구시가지의 외연적 확장이 확인되는 동시에 원미구의 중동과 상동 일대의 수치가 감소하여 녹지에서 도시화된 지역으로 토지 이용이 변화하였음이 확인된다.

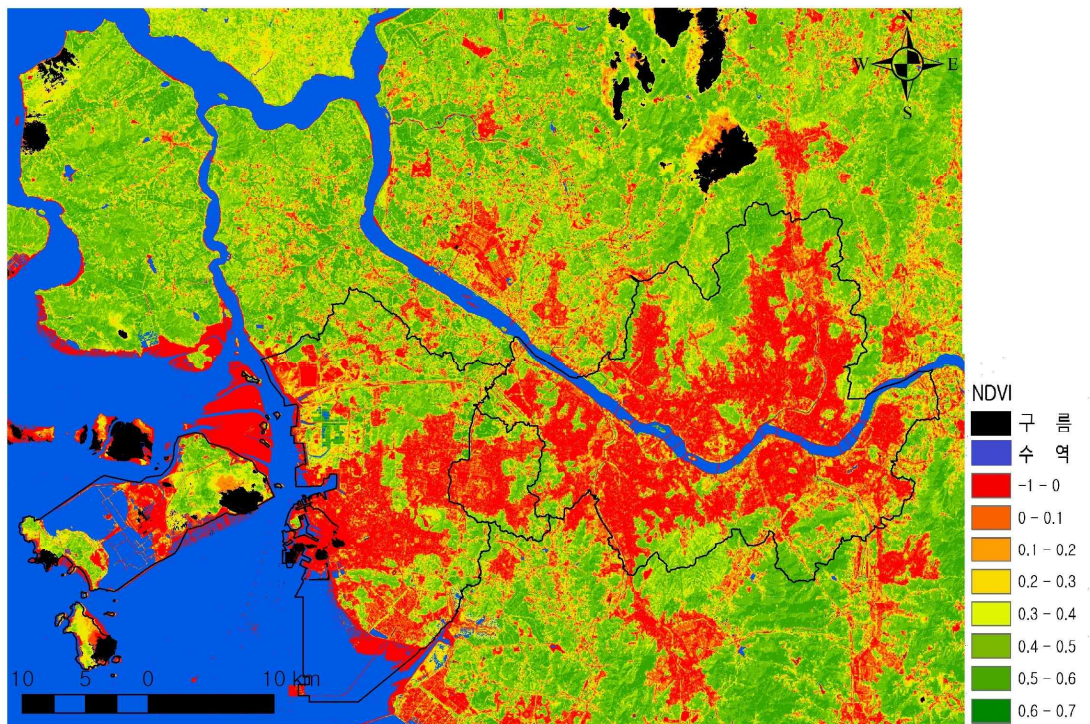


그림 30. 2000년대 중반(2004년) 여름철 서울·인천·부천 일대의 정규식생지수

서울-인천 지역의 2000년대 중반의 정규식생지수 분포를 나타낸 그림 30에서 서울과 인천, 부천의 외곽 지역인 일산 신도시와 김포시의 도시화된 지역의 확장이 확인된다. 서울은 1990년대 중반과 비교하여 눈에 띄는 변화는 없으나 강서 일대와 강남 일대의 개발이 확인되며, 인천은 영종도 일부 지역의 습지가 토지화 되고 연수구 일부 지역도 습지에서 토지로의 전환이 이루어져 도시화된 지역이 나타난다. 서구의 간척된 지역의 일부는 나지에서 도시화된 지역이나 녹지 지역으로 변화하였다. 부천은 중동과 상동 일대의 신시가지가 확장되어 인천의

남동구와 도시화된 지역으로 이어져 있음이 확인된다.

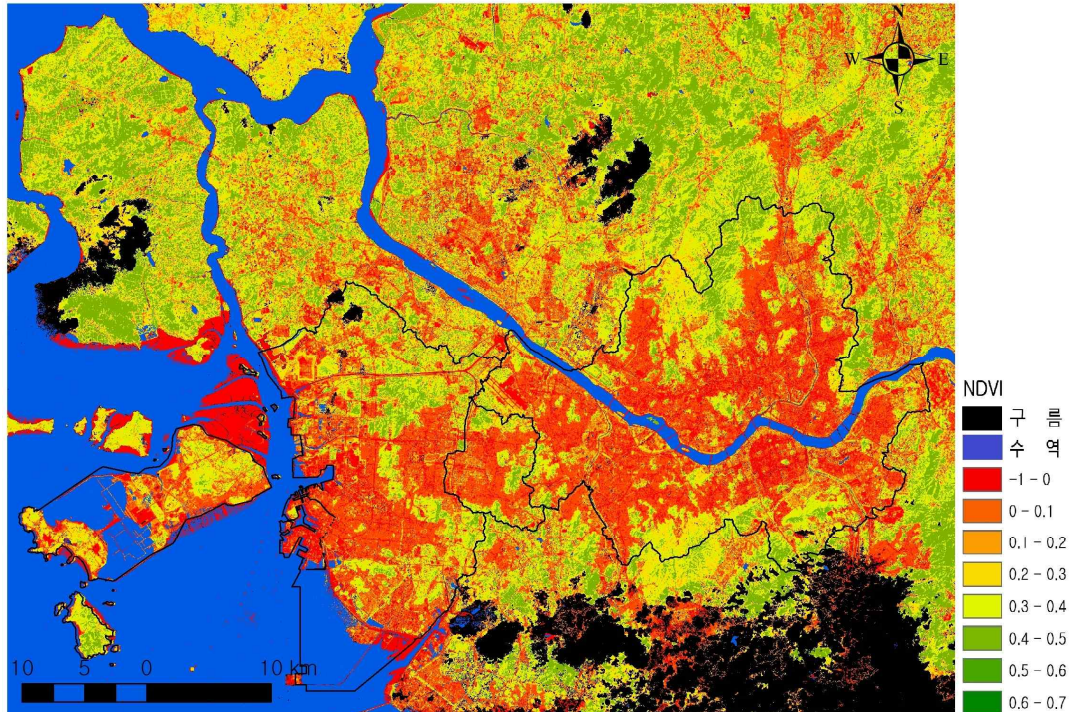


그림 31. 2010년대 중반(2014년) 여름철 서울·인천·부천 일대의 정규식생지수

2010년대 중반의 정규식생지수를 산출한 2014년 8월 2일의 Landsat-8 OLI는 다른 센서와 밴드의 파장 영역이 다소 상이하어 다른 3개의 영상을 기준으로 항목 별로 정규식생지수를 보정하였다. 하지만 보정에 한계가 있어 다른 지역보다 값이 조금씩 높게 나타나 이를 감안하여 분석을 진행하였다. 그림 31에서 2010년대 중반의 서울은 외곽의 대규모 산지나 공원을 제외하면 대부분의 토지가 도시화된 지역으로 전환되었음을 확인할 수 있고, 인천은 강화군을 제외한 중구와 부평구 일대의 구시가지의 외연적 팽창과 동시에 공유수면 매립 사업의 결과로 형성된 토지가 대부분 도시화된 지역으로 전환되어 영종도와 연수구, 서구 등 신시가지가 조성됨을 확인할 수 있다. 특히 서구 해안 일대 지역은 1980년대 중반 습지에서 1990년대 중반 나지, 2000년대 중반 녹지지역에서 2010년대 중반 현재 도시화된 지역으로 토지가 변화하였다. 부천의 경우 2000년대 중반과 유사한 양상을 보이나 일부 도시화된 지역의 확장이 확인된다.

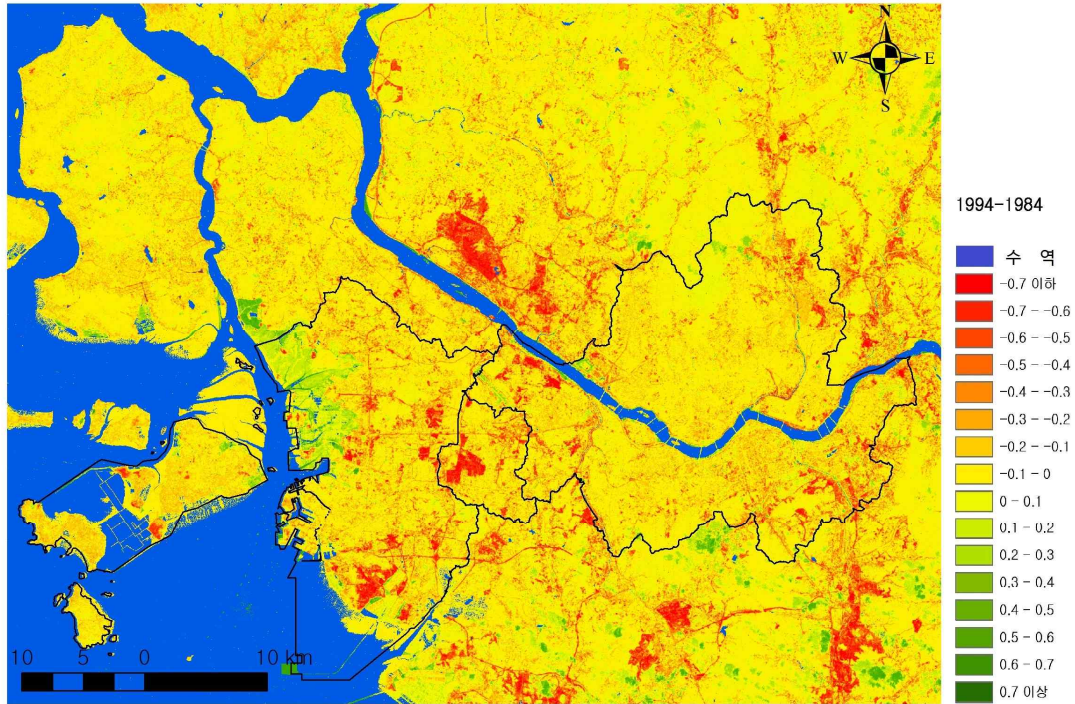


그림 32. 1980년대 중반(1984년) 여름철 NDVI와 1990년대 중반(1994년) 여름철 NDVI의 차이

1990년대 중반 영상의 NDVI 값에서 1980년대 중반 영상의 NDVI 값을 뺀 영상은 음(-)의 값을 나타낸 부분이 도시화된 지역을 의미한다. 즉, NDVI는 시가지 지역일수록 0과 가깝고 녹지 지역일수록 1과 가까우므로 1980년대 중반 녹지 지역이 1990년대 중반 도시화된 지역이나 나지 지역으로 전환될 경우 1980년대 중반의 값이 1990년대 값보다 크므로 음(-)의 값 중 절대 값이 클수록 녹지에서 도시화된 지역으로 전환됐을 것이라 추측할 수 있다.

그림 32에서 서울 강남과 강서 일대와 고양시 일산 개발 지역, 부천 중동 신도시 개발 관련 상동과 중동 일대 지역, 인천 남동구의 습지 매립을 통한 개발 지역의 값이 음의 값을 가져 도시화되었음을 확인할 수 있다.

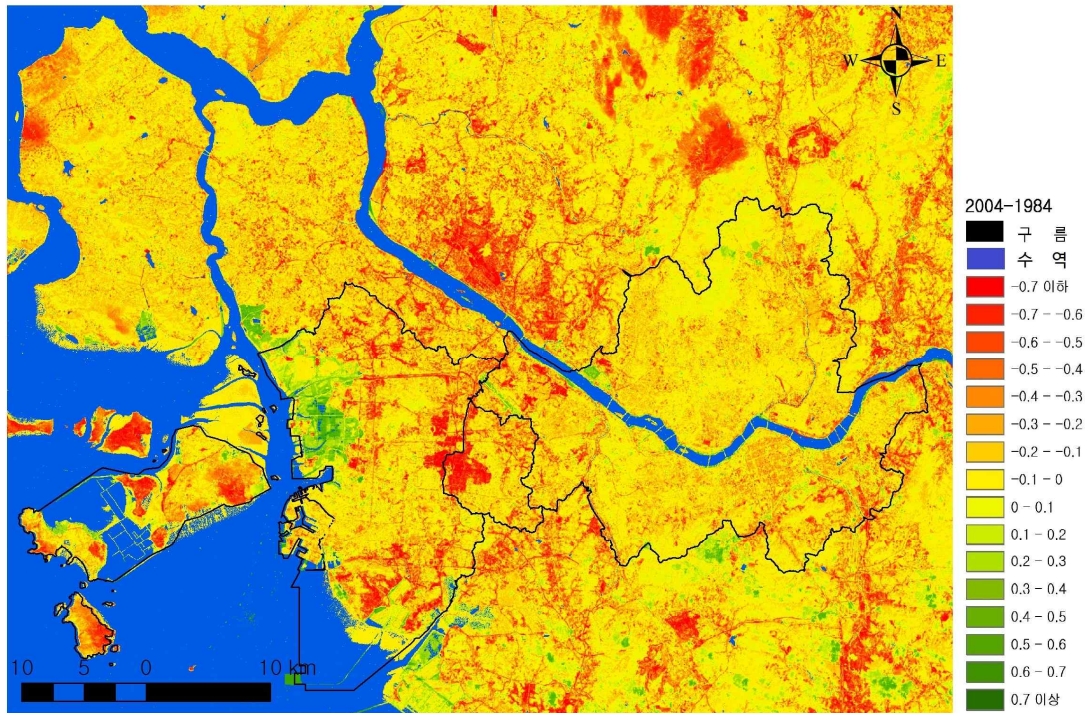


그림 33. 1980년대 중반(1984년) 여름철 NDVI와 2000년대 중반(2004년) 여름철 NDVI의 차이

2000년대 중반 NDVI에서 1980년대 중반 NDVI를 뺀 영상(그림 33)은 1990년대 중반까지의 도시화된 지역을 중심으로 외연적 확장이 주를 이룬다. 서울은 강서구 일대의 도시화를 확인할 수 있으며 부천은 중동과 상동 일대의 신시가지 지역에서 도시 개발이 이루어진다. 인천은 남동구의 해안지역과 영종도 일부지역에서 도시화가 확인되며, 서울과 인천국제공항을 잇는 인천국제공항국도가 뚜렷이 확인된다. 이외에도 고양시의 일산 신도시를 중심으로 그 주변 일대 지역의 도시화가 진행된다.

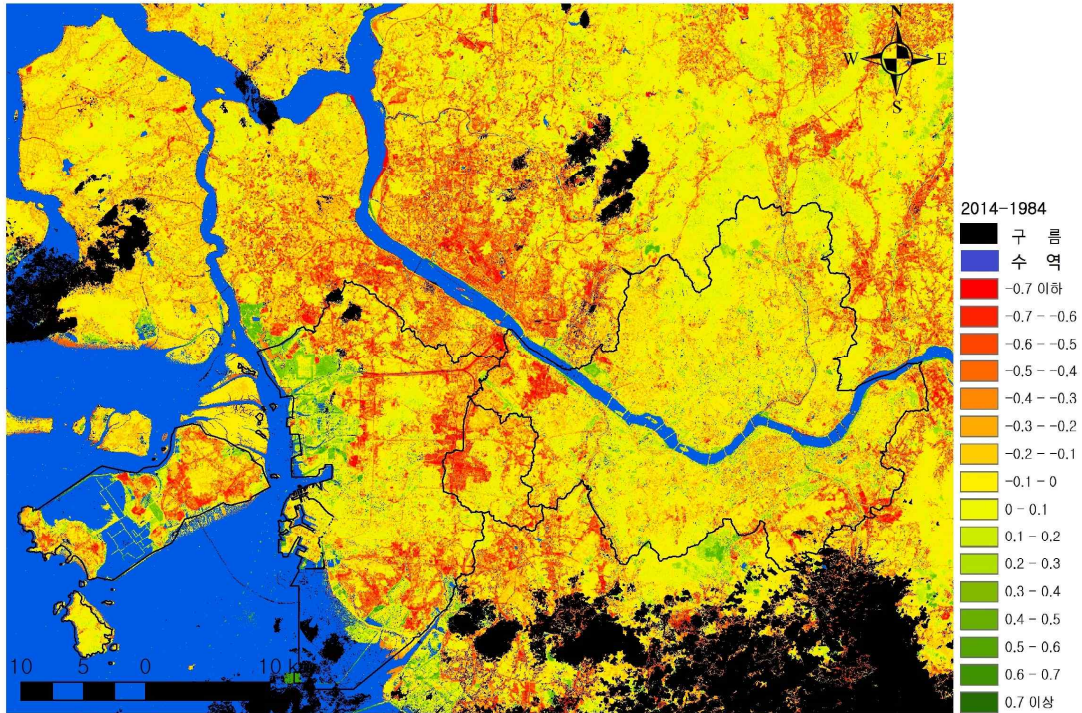


그림 34. 1980년대 중반(1984년) 여름철 NDVI와 2010년대 중반(2014년) 여름철 NDVI의 차이

그림 34에서 서울 지역은 2010년대 중반 이미 도시화가 상당히 진행되었기 때문에 대부분 지수 값의 변화를 볼 수 없지만 한강 이남의 강서 지역이 도시화가 되었고, 부천은 현재의 신도심지에 해당되는 부천 중동·상동 일대를 중심으로 도시화 되었음을 알 수 있다. 인천은 청라국제도시가 있는 서구와 고밀도의 주택지가 있는 연수구 송도 일대, 인천국제공항이 입지한 영종도 일대 지역이 도시화된 지역으로 전환되었다. 고양시는 일산을 중심으로 도시화된 지역의 외연적 확장이 넓게 진행되고 있음이 확인된다.

3. 서울-인천 도시회랑의 지표 온도의 변화

1980년대 중반 이래 10년 간격(1984년 7월 30일, 1994년 7월 26일, 2004년 7월 29일, 2014년 8월 2일) 서울·부천·인천 지역의 Landsat 위성 영상을 이용하여 정규화된 지표 온도를 산출한 결과 영상은 그림 35, 36, 37, 38과 같다. 서울 전체의 평균 지표 온도는 1984년 7월 30일에 23℃, 1994년 7월 26일에 25.5℃, 2004년 7월 29일 24℃ 2014년 8월 2일 24℃이다. 부천도 서울과 마찬가지로의 패턴을 보여 1984년 7월 30일에 23℃, 1994년 7월 26일에 25℃, 2004년 7월 29일 24℃, 2014년 23.9℃이다. 인천의 경우 비교적 낮은 변화의 지표 온도를 보여 1984년 7월 30일 22.2℃, 1994년 7월 26일 22.9℃, 2004년 7월 29일 22℃, 2014년 22.8℃이다. 세 지역 모두 정규화 작업을 통한 지표 온도를 추출하였으나 1994년 7월 26일이 가장 높은 평균 지표 온도를 나타낸다. 인천은 1994년 7월 26일 이례적인 폭염이 있는 해에도 타 지역에 비해 평균 지표 온도가 크게 증가하지 않았는데, 이는 인천이 해안 지역을 끼고 있는 지리적 위치와 더불어 인천 행정구역에 대부분의 지표가 녹지로 피복된 강화군 일대가 포함되어 서울과 부천에 비해 평균 지온이 높게 추출되지 않았다고 판단된다.

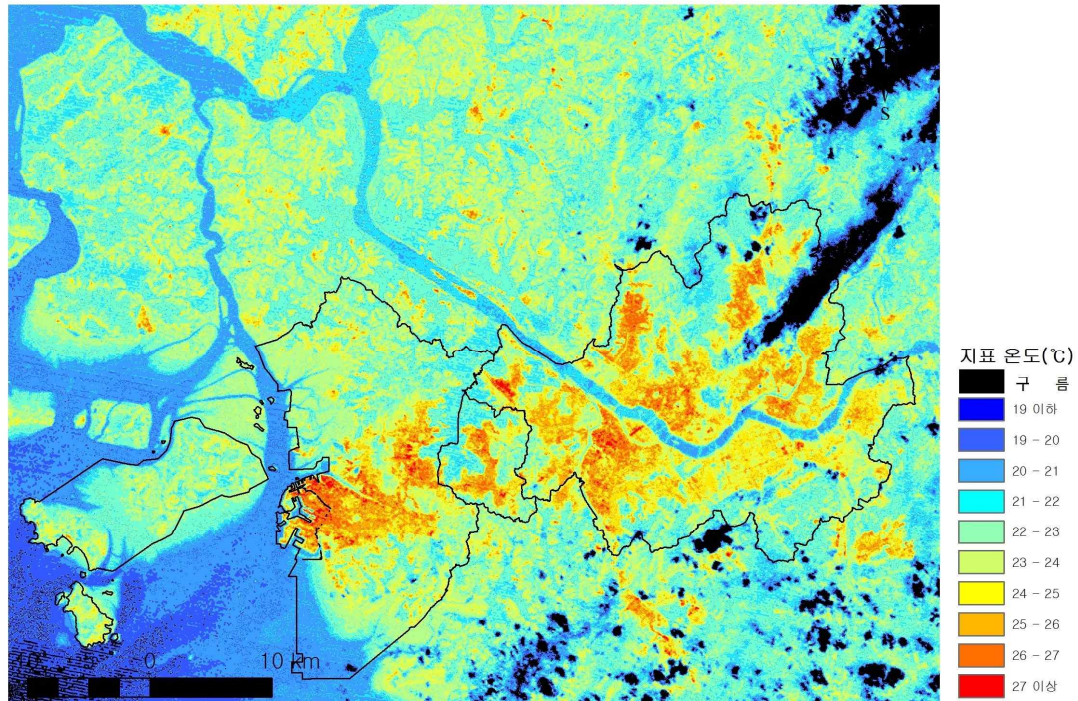


그림 35. Landsat 영상에서 추출한 1984년 7월 30일(오전 10시 30분) 지표 온도 분포

1984년 7월 30일의 지표 온도에서 서울·부천·인천의 도시화된 지역은 대체적으로 24℃ 이상이며 녹지 지역의 온도는 22℃ 이하를 나타낸다. 서울 강남 일대는 개발 진행 단계로 도심에 비해 상대적으로 지온이 낮으며 영등포구와 용산구 일대의 지표 온도가 높아 대략 25~27℃를 나타낸다. 부천은 구도심지를 중심으로 지표 온도가 높게 나타나며 중동과 상동 일대는 개발 이전 단계로 녹지가 대부분의 면적을 차지하여 부천 중에서도 기온이 낮은 지역 중의 한 곳으로 대략 20℃ 정도이다. 인천의 경우 구도심지인 중구와 부평구, 동구 일대의 지표 온도가 24~27℃ 정도로 높게 나타난다.

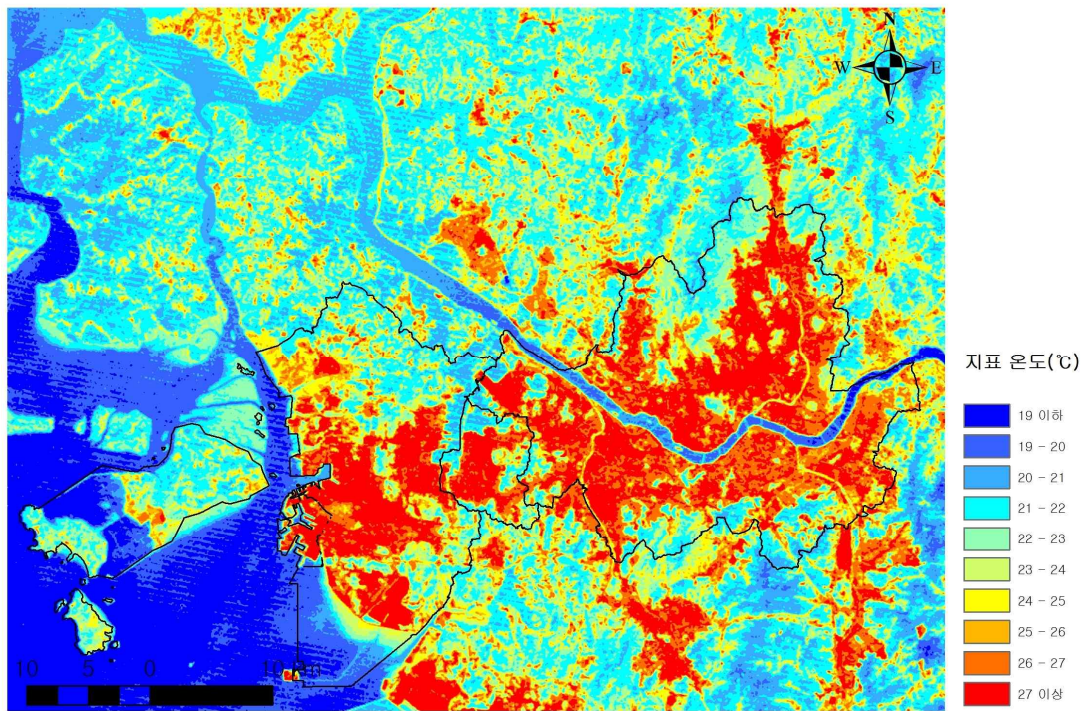


그림 36. Landsat 영상에서 추출한 1994년 7월 26일(오전 10시 30분) 지표 온도 분포

건조일이 20일 정도 지속되어 이례적으로 높은 기온을 기록한 1994년 7월 26일은 정규화 이전의 지표 온도가 다른 시기의 지표 온도보다 5~6℃ 정도 높게 나타나며 정규화된 지표 온도에서도 다른 시기보다 지표 온도가 높게 나타난다. 서울의 경우 시가지 지역이 대체적으로 27~29℃이며 도심지 중에서도 영등포구 일대와 강서일대·중구·동대문구 일대의 지표 온도가 대략 28℃ 이상으로 높게 나타난다. 부천은 중동신도시 개발이 진행되어 중동과 상동 일대가 녹지에서 시가지 지역으로 변화하여 1984년 7월 30일 20~22℃ 정도로 다른 녹지 지역의 온도와 유사하였으나 1994년 7월 26일의 지표 온도는 대략 27~29℃로 높게 나타난다. 인천의 경우 중구·동구·부평구는 구시가지로 지표 온도가 높아 대략 28℃ 이상을 나타내며 남동구의 남동공업단지가 조성되어 이 일대의 지표 온도가 10년 전과 비교하여 확연히 증가하였음을 확인할 수 있다. 서구의 해안 일대에도 간척 사업으로 인하여 지표 온도가 증가하였으며, 이외에도 10년 전 녹지 지역이 대부분을 차지한 일산 일대가 도시화로 인하여 지표 온도가 상승하였다.

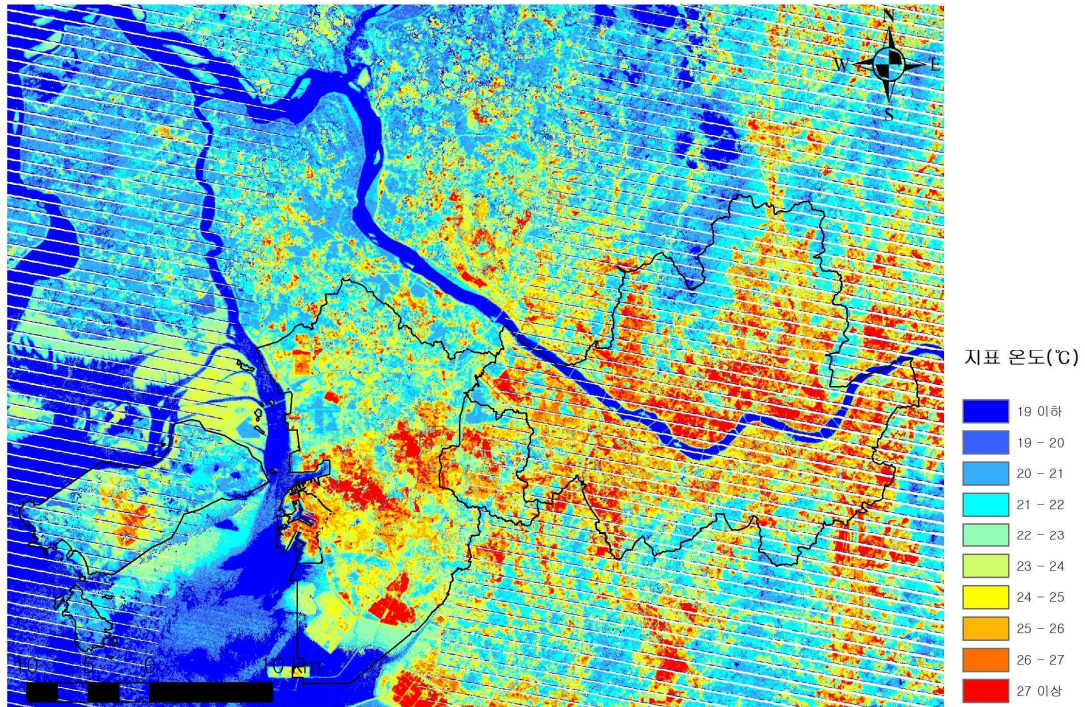


그림 37. Landsat 영상에서 추출한 2004년 7월 29일(오전 10시 30분) 지표 온도 분포

2004년 7월 29일 서울의 도시화된 지역의 지표 온도는 24°C 이상을 보이며 그 중 지표 온도가 높게 나타나는 지역은 용산구·마포구·중구 일대로 대략 27°C 이상이다. 부천의 경우 신시가지인 중·상동 일대의 지표 온도가 높게 나타나며 1984년 7월 26일의 영상에서 높은 지표 온도를 갖는 지역인 구시가지가 2014년 8월 2일의 영상에서는 낮게 나타나 공간적으로 지표 온도 분포 패턴이 변화하였음이 확인된다. 인천의 경우 구시가지인 중구·동구·부평구 일대의 지표 온도가 높으며 특히 남동구의 남동공업단지 일대의 지표 온도가 28°C 이상으로 높게 나타난다. 이외에도 1984년 7월 30일의 지표 온도 패턴과 비교하여 김포시와 고양시 일산 일대, 의정부시의 도시화된 지역의 지표 온도가 증가하였다.

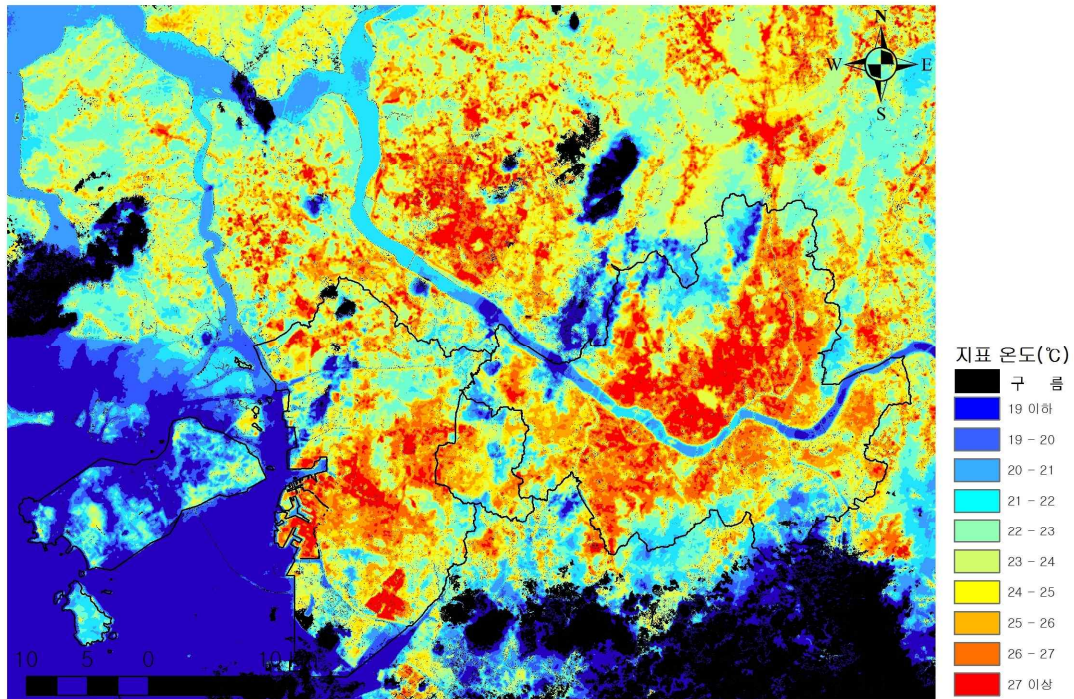


그림 38. Landsat 영상에서 추출한 2014년 8월 2일(오전 10시 30분) 지표 온도 분포

2014년 8월 2일 서울의 도시화된 지역의 지표 온도는 24℃ 이상을 보이며 그 중 지표 온도가 높게 나타나는 지역은 용산구·마포구·중구 일대로 대략 27℃ 이상이다. 부천의 경우 신시가지인 중·상동 일대의 지표 온도가 높게 나타나며 1984년 7월 26일의 영상에서 높은 지표 온도를 갖는 지역인 구시가지가 2014년 8월 2일의 영상에서는 낮게 나타나 공간적으로 지표 온도 분포 패턴이 변화하였음이 확인된다. 인천의 경우 구시가지인 중구·동구·부평구 일대의 지표 온도가 높으며 특히 남동구의 남동공업단지 일대의 지표 온도가 28℃ 이상으로 높게 나타난다. 이외에도 1984년 7월 30일의 지표 온도 패턴과 비교하여 김포시와 고양시 일산 일대, 의정부시의 도시화된 지역의 지표 온도가 증가하였다.

표 13. 서울 내에서 지표 온도가 높게 나타난 상위 10개 동

1984.7.30	지표 온도 (℃)	1994.7.26	지표 온도 (℃)	2004.7.29	지표 온도 (℃)	2014.8.2	지표 온도 (℃)
영등포구 여의도동	26.11	중구 을지로동	29.1	중구 을지로동	27.93	중구 광희동	29.16
영등포구 영등포본동	26.01	중구 광희동	29.04	중구 신당4동	27.68	종로구 창신1동	29.08
영등포구 대림3동	26.01	성동구 성수2가3동	28.89	종로구 승인2동	27.53	중구 을지로동	29.06
은평구 구산동	26	성동구 왕십리도선동	28.85	종로구 창신1동	26.93	중구 황학동	28.89
용산구 남영동	25.81	중구 황학동	28.81	중구 황학동	26.90	중구 신당1동	28.61
성동구 성수2가3동	25.80	영등포구 영등포동	28.80	서대문구 남가좌1동	26.56	중구 신당5동	28.56
마포구 대흥동	25.76	용산구 남영동	28.77	성동구 금호1동	26.48	중구 신당4동	28.54
도봉구 창1동	25.69	구로구 구로3동	28.61	금천구 독산3동	26.44	종로구 종로5·6가동	28.43
영등포구 신길3동	25.69	동대문구 용신동	28.53	동대문구 이문2동	26.36	종로구 승인2동	28.37
성북구 석관동	25.69	강북구 삼각산동	28.51	용산구 용문동	26.35	종로구 승인1동	28.29

1984년 7월 30일에 서울 지표 온도가 가장 높은 지역은 영등포구 당산1동으로 26.11℃이다. 지표 온도가 높은 지역 중 영등포구가 대다수를 차지하여 이 일대를 중심으로 지표 온도가 높은 것을 알 수 있는데 이는 공장지대가 밀집되어 열의 영향을 많이 받은 결과라 해석된다. 1994년 7월 26일은 한강 이북의 중구·성동구 일대의 온도가 높으며 특히 중구 을지로본동이 29.1℃로 가장 높게 나타난다. 지표 온도가 높은 지역이 10년 전의 영등포구 중심에서 중구와 성동구 중심으로 전환된 것은 영등포구의 공장지대가 완화되어 열의 영향을 덜 받아 상대적으로 도심지보다 온도가 낮게 나타나며 중구와 성동구 일대는 예로부터 서울의 도심지 역할을 하여 도시화 면적이 상당부분 차지하여 지표 온도가 높은 것으로 판단된다. 2014년 8월 2일 지표 온도가 높은 지역은 중구와 종로구로 서울 중심부에 위치하여 시가지가 팽창됨에 따라 녹지가 밀집된 지역의 영향을 덜 받

아 지표 온도가 높게 나타났을 것이라 추측된다.

표 14. 서울 내에서 지표 온도가 낮게 나타난 하위 10개 동

1984.7.30	지표 온도 (℃)	1994.7.26	지표 온도 (℃)	2004.7.29	지표 온도 (℃)	2014.8.2	지표 온도 (℃)
노원구 중계2·3동	18.05	강북구 우이동	22.44	용산구 이촌2동	18.26	강서구 가양2동	18.12
중랑구 목1동	18.16	도봉구 도봉1동	22.64	강동구 암사2동	19.03	도봉구 방학2동	18.34
중랑구 목2동	18.50	성북구 정릉4동	23.04	송파구 풍납1동	19.46	도봉구 쌍문4동	18.67
동대문구 이문2동	19.59	종로구 평창동	23.13	서초구 반포본동	19.61	은평구 구산동	19.37
노원구 공릉2동	20.57	관악구 대학동	23.17	용산구 원효로2동	19.78	도봉구 방학3동	19.57
성북구 월곡2동	20.77	관악구 삼성동	23.17	서초구 반포3동	19.93	서초구 내곡동	20.12
노원구 하계2동	20.83	서초구 양재2동	23.25	마포구 망원2동	20.11	강서구 화곡6동	20.41
종로구 창신2동	20.89	서초구 내곡동	23.29	용산구 이촌1동	20.55	도봉구 도봉1동	20.53
성북구 안암동	21.01	서초구 양재1동	23.49	마포구 합정동	20.58	강북구 수유1동	20.67
성북구 종암동	21.05	은평구 진관동	23.52	강북구 우이동	20.99	은평구 진관동	20.85

서울 지표 온도가 낮은 지역은 공통적으로 동 내부나 주변에 산·하천·큰 공원 등이 포함되어있어 도심 내에도 녹지 및 수역이 지표 온도를 저감시키는 효과가 확인된다. 1984년 7월 30일 가장 최저 지온을 기록한 목2동과 공릉1동, 목1동은 주변에 봉화산 및 초안산이 있으며, 이문2동은 동의 경계에 중랑천이 있다. 하계1동은 동 내부에 상당부분 충숙공원이 포함되어 있고, 이촌2동의 내부에는 한강이 포함되어 있다. 또한 천장산이 포함된 월곡2동, 불암산이 포함된 중계본동, 개운산이 포함된 안암동, 동의 일부가 낙산공원과 동대문 성곽공원에 둘러싸인 창신2동도 낮은 지온을 기록하였다. 1994년 7월 26일 낮은 지온을 기

록한 암사2동, 이촌2동, 풍납1동의 면적에는 한강이 상당부분 포함되어 있고, 북한산에 위치한 우이동, 도봉산의 도봉1동, 고덕1동은 한강과 고덕산이 면적에 포함되어 하천과 녹지의 영향을 받는다. 또한 북한산의 정릉4동과 평창동, 관악산 대학동의 삼성동도 마찬가지로 녹지의 영향을 받아 지온이 낮은 것이라 해석된다. 2014년 8월 2일의 경우 암사2동과 가양3동, 화곡6동을 제외하면 주변의 큰 산을 끼고 있어 녹지의 영향을 받아 지표 온도가 낮으며 암사2동은 동에 하천의 면적이 대부분이 포함되며, 가양3동은 한강 주변지역, 화곡6동은 동 내부에 작은 산의 영향을 받은 것이라 해석된다.

표 15. 인천 내에서 지표 온도가 높게 나타난 상위 10개 동

1984.7.30	지표 온도 (℃)	1994.7.26	지표 온도 (℃)	2004.7.29	지표 온도 (℃)	2014.8.2	지표 온도 (℃)
동구 송림2동	26.56	서구 가좌1동	29.47	부평구 청천2동	27.09	동구 화수2동	27.25
중구 송월동	26.37	부평구 청천2동	29.32	동구 송림4동	26.90	부평구 청천2동	27.17
동구 송림1동	26.35	동구 송현3동	29.05	부평구 부평4동	26.52	남구 주안5동	26.98
동구 만석동	26.16	동구 송림6동	28.84	서구 가좌1동	26.41	부평구 부평5동	26.84
동구 송림6동	26.15	동구 송림4동	28.80	부평구 부평5동	26.37	남동구 간석4동	26.84
남구 용현3동	26.06	남구 주안5동	28.76	서구 가좌3동	26.35	동구 송현1·2동	26.66
동구 송림3·5동	26.05	동구 화수2동	28.71	부평구 갈산1동	26.31	중구 신흥동	26.64
동구 금창동	26.05	중구 송월동	28.66	서구 가좌4동	26.28	남동구 간석1동	26.63
부평구 부평5동	26.04	서구 석남2동	28.63	동구 송림6동	26.27	부평구 갈산1동	26.60
남구 용현5동	26.03	부평구 부평1동	28.40	남동구 간석4동	26.10	부평구 부개2동	26.60

1984년 7월 30일 인천의 지표 온도가 높은 지역은 구시가지인 중구와 동구 일대이며 그 중 동구의 화수2동은 해안과 인접한 지역이나 26.56℃로 지표 온도

가 가장 높다. 1980년대 중반은 공유수면 매립 공사가 활발히 진행되기 전이므로 도시화된 지역인 구시가지를 중심으로 지표 온도가 높게 나타난다. 1994년 7월 26일은 부평구 청천2동으로 29.32도를 나타내며, 계양구와 연수구를 제외한 서구, 동구, 남구, 중구, 남동구에 속한 동 지역의 지표 온도가 높게 나타나 비교적 고른 분포를 보인다. 남동구를 제외한 지역은 구시가지로 시가지 면적이 높아 지표 온도가 높게 나타나며 신시가지인 남동구의 경우 남동공업단지의 영향을 받아 지표 온도가 높게 나타난다. 2014년 8월 2일 지표 온도가 가장 높은 지역은 27.25℃로 동구 화수2동이나 상위에 속한 대부분의 지역이 부평구와 남동구 일대이다. 부평구는 부천의 신시가지인 중동과 상동 일대와 인접한 지역으로 수출공단4단지가 들어서 있어 시가지의 밀집과 산업단지의 영향으로 높은 지표 온도를 보이며, 남동구는 남동공업단지 및 고밀도의 주거지가 형성되어 지표 온도가 높게 나타난다고 해석된다.

표 16. 인천 내에서 지표 온도가 낮게 나타난 하위 10개 동

1984.7.30	지표 온도 (℃)	1994.7.26	지표 온도 (℃)	2004.7.29	지표 온도 (℃)	2014.8.2	지표 온도 (℃)
계양구 계산2동	21.48	연수구 송도2동	22.03	강화군 북도면	18.26	중구 운서동	18.51
서구 가정2동	21.58	계양구 계양1동	22.26	강화군 양사면	18.72	중구 용유동	19.50
남동구 구월4동	21.66	서구 검단2동	22.43	강화군 내가면	18.85	연수구 송도1동	20.12
서구 연희동	21.69	중구 영종동	22.52	중구 용유동	19.03	중구 영종동	20.30
남동구 구월1동	21.73	중구 용유동	22.63	강화군 송해면	19.13	서구 청라2동	21.01
동구 송현1·2동	21.79	서구 검단3동	22.74	강화군 양도면	19.26	연수구 청학동	21.73
남동구 논현2동	21.84	중구 운서동	22.84	강화군 하점면	19.39	서구 검암경서동	22.12
남동구 구월3동	21.95	부평구 삼산2동	23.00	강화군 화도면	19.56	연수구 동춘1동	22.27
연수구 동춘2동	21.95	연수구 송도1동	23.13	강화군 삼산면	19.64	계양구 계양2동	22.35
서구 검암경서동	22.01	연수구 계양2동	23.43	강화군 선원면	20.10	연수구 송도2동	22.57

1984년 7월 30일 영상의 낮은 지표 온도를 나타낸 인천의 송도1동과 송도2동, 운서동, 동춘3동은 습지 매립 사업 이전이므로 시가지화 이전인 습지 상태였으며, 강화군의 내가면·양도면·선원면은 면적 대부분이 녹지 지역으로 식생의 영향을 받아 지온이 낮다. 삼산2동과 계산4동, 계양1동은 인천 서부 지역으로 1980년대 당시 대부분의 면적이 녹지로 이루어져 지온이 낮았을 것이라 추측된다. 1994년 7월 26일 낮은 지표 온도를 나타낸 송도1동과 송도2동, 운서동은 1980년대와 마찬가지로 매립 사업이 진행 중이므로 지온이 낮았으며, 세 지역을 제외한 지역은 강화군으로 녹지 면적이 높아 지표 온도가 낮다.

표 17. 부천 내에서 지표 온도가 높게 나타난 상위 10개 동

1984.7.30	지표 온도 (℃)	1994.7.26	지표 온도 (℃)	2004.7.29	지표 온도 (℃)	2014.8.2	지표 온도 (℃)
원미구 심곡2동	25.76	원미구 도당동	28.23	원미구 도당동	26.07	원미구 상2동	26.33
원미구 원미2동	25.15	원미구 심곡2동	27.91	중구 신흥동	25.93	원미구 상3동	26.00
원미구 도당동	25.14	원미구 중2동	27.83	원미구 상2동	25.73	소사구 괴안동	25.52
원미구 심곡3동	25.06	원미구 중3동	27.77	원미구 약대동	25.69	중구 신흥동	25.44
소사구 괴안동	24.7	원미구 심곡3동	27.68	원미구 심곡2동	25.51	원미구 상1동	25.40
원미구 원미1동	24.52	원미구 상동	27.66	원미구 상1동	25.34	원미구 중4동	25.34
소사구 소사동	24.45	원미구 중동	27.60	원미구 원미2동	25.33	소사구 소사본3동	25.23
원미구 심곡1동	24.43	원미구 심곡1동	27.50	원미구 심곡1동	25.29	원미구 약대동	25.18
원미구 중동	24.39	원미구 원미2동	27.30	원미구 상3동	25.12	원미구 중동	25.11
소사구 소사본3동	24.34	오정구 신흥동	27.23	소사구 소사본3동	25.01	원미구 상동	25.10

1984년 7월 30일 지표 온도 영상에서 부천 지표 온도가 가장 높은 지역은 구시가지인 원미구의 심곡2동으로 25.76℃이며, 이 주변 일대의 지표 온도가 높게 나타난다. 즉, 원미구의 중심에 위치한 원미1·2동과 심곡1·2·3동, 그리고 이 일대와 지리적으로 근접한 소사구의 소사동과 소사본3동의 지표 온도가 높게 나타난다. 1994년 7월 26일의 경우 중동 일대의 개발이 진행 중으로 지표 온도가 가장 높은 지역은 원미구의 도당동으로 28.23℃이며 높은 지표 온도를 나타내는 지역은 구시가지 외에도 중동과 상동 일대의 지역이 포함된다. 2014년 8월 2일의 영상에서 가장 높은 지표 온도를 나타낸 지역은 신시가지인 원미구 상2동으로 26.33℃이며 지표 온도 상위 지역 중 중동 신도시 일대가 대다수 포함되어 신시가지의 지표 온도가 상승하였음이 확인된다.

표 18. 부천 내에서 지표 온도가 낮게 나타난 하위 10개 동

1984.7.30	지표 온도 (℃)	1994.7.26	지표 온도 (℃)	2004.7.29	지표 온도 (℃)	2014.8.2	지표 온도 (℃)
원미구 중1동	21.15	원미구 상3동	21.79	오정구 고강1동	22.10	오정구 오정동	21.31
원미구 상3동	21.21	오정구 오정동	23.09	오정구 성곡동	22.28	소사구 소사본동	22.01
원미구 상1동	21.24	오정구 원종1동	24.22	오정구 고강본동	22.34	오정구 성곡동	22.14
원미구 중4동	21.33	소사구 소사본동	24.35	오정구 오정동	22.56	원미구 춘의동	22.16
원미구 중3동	21.75	오정구 성곡동	24.42	오정구 원종1동	22.58	오정구 원종1동	22.36
원미구 중2동	21.96	원미구 역곡2동	24.42	원미구 중4동	23.00	오정구 원종2동	22.71
오정구 오정동	22.03	소사구 범박동	24.64	원미구 춘의동	23.14	소사구 심곡본동	22.94
원미구 상동	22.05	원미구 역곡3동	24.66	원미구 중3동	23.17	원미구 역곡2동	22.97
오정구 성곡동	22.45	원미구 역곡1동	24.70	소사구 범박동	23.18	오정구 고강1동	23.10
오정구 원종1동	22.46	원미구 춘의동	24.84	원미구 역곡3동	23.18	원미구 원미1동	23.20

1984년 7월 30일 부천 지표 온도가 낮은 지역은 원미구의 중1동으로 21.15℃이며 대부분의 지역이 중동과 상동 일대의 지역에 속한다. 1980년대 중반 중·상동 일대는 녹지 지역이 대부분을 차지하였고, 오정구의 오정동과 성곡동, 원종1동은 주변에 큰 산지의 영향을 받아 지표 온도가 낮다. 1994년 7월 26일의 경우 중동 신도시 개발이 진행 중으로 가장 지표 온도가 낮은 지역은 원미구의 상3동으로 21.79℃이다. 1984년 7월 30일의 영상과 비교하여 낮은 지표 온도를 나타낸 지역에 중·상동 일대 지역이 상3동 이외에는 포함되지 않았으며 동 면적 내에 녹지를 포함하거나 주변에 큰 산지가 있어 녹지의 영향을 받는 지역이 포함되는 양상을 보인다. 2014년 8월 2일 영상에서 지표 온도가 가장 낮은 지역은 오정구 오정동으로 21.31℃이며 대부분 큰 산지가 있는 부천 서부와 북부 지역이 포함된다.

10년 단위의 4개 년 영상으로는 30년간의 지표 온도 변화 추세를 분석하기에는 어렵다고 판단하여 전체 지표 온도와 녹지 지역의 평균 지표 온도의 차이를 지도화하여 변화 추세를 밝혔다. 그림은 녹지 지역과 비교하여 도시화된 지역의 지표 온도의 상승 추세와 지리적인 패턴을 볼 수 있다.

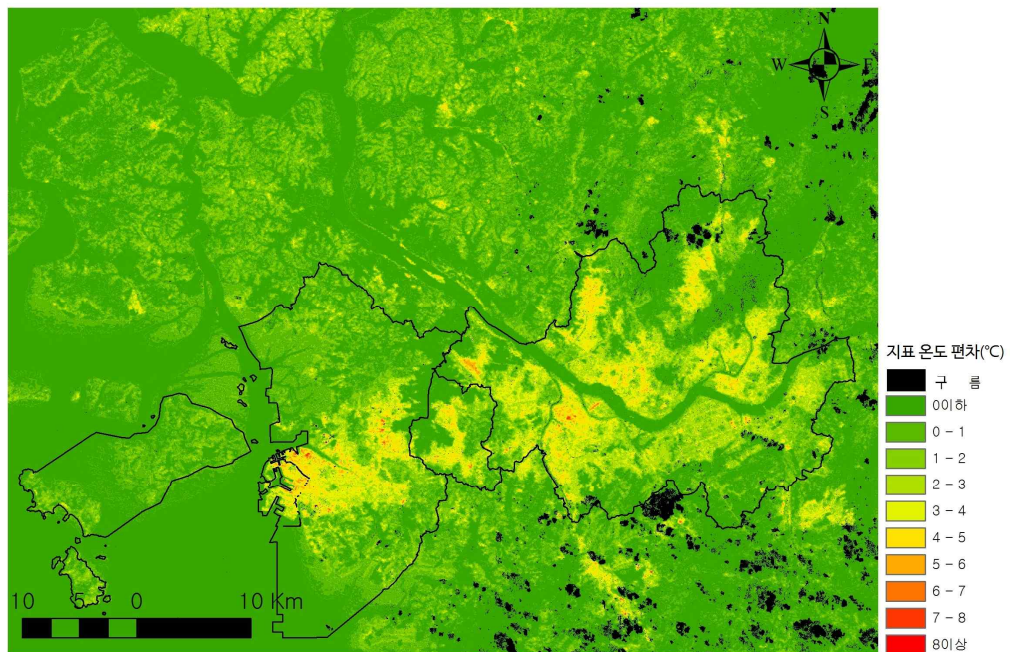


그림 39. 1984년 7월 30일 영상의 지표 온도에서 녹지 지역 평균 온도 대비 지표 온도 분포 (각 픽셀 온도-녹지지역 평균 온도(°C))

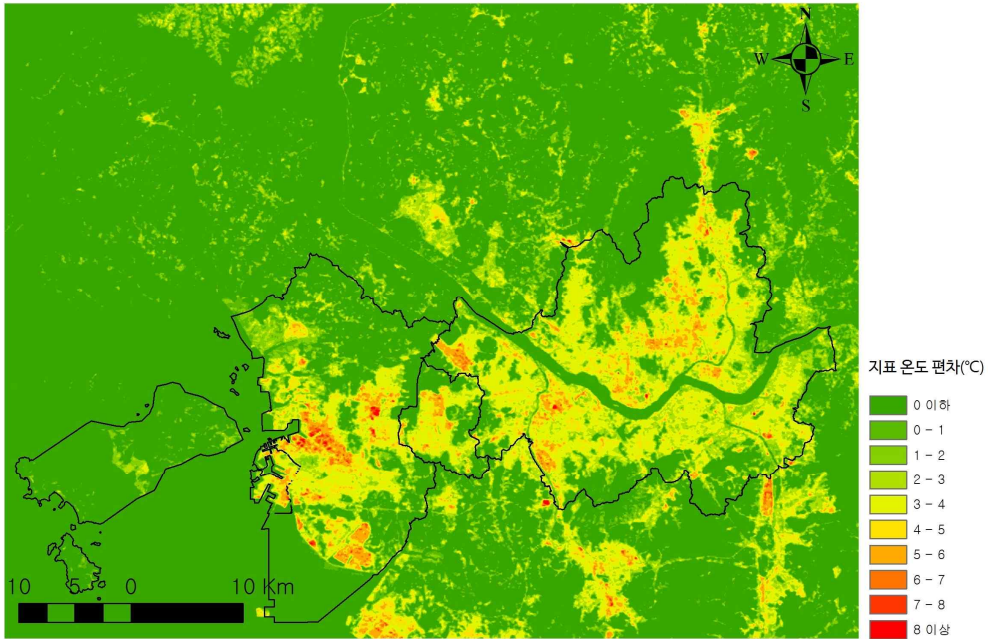


그림 40. 1994년 7월 26일 영상의 지표 온도에서 녹지 지역 평균 온도 대비 지표 온도 분포 (각 픽셀 온도-녹지지역 평균 온도(°C))

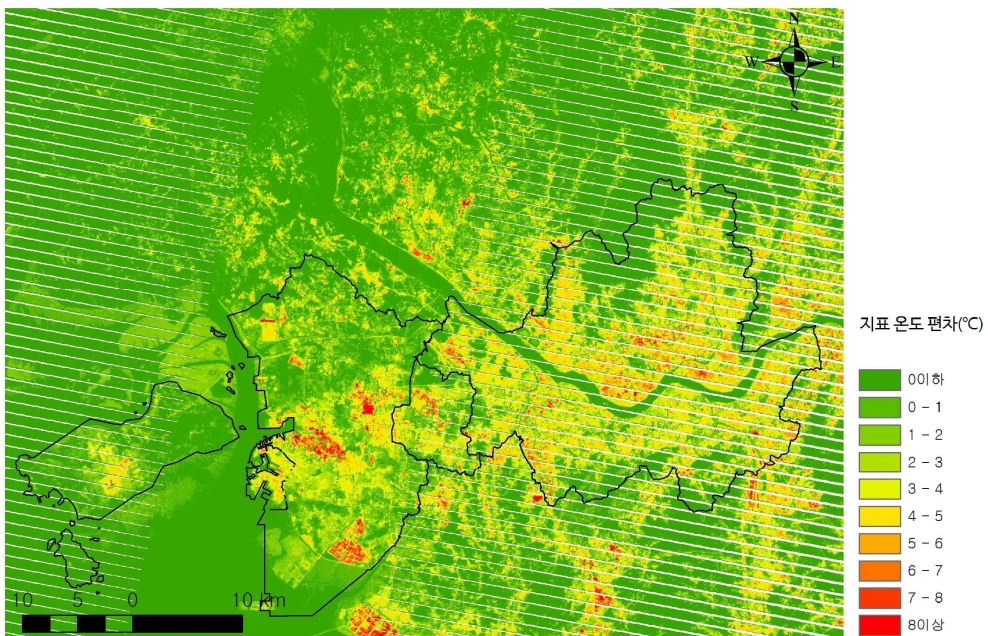


그림 41. 2004년 7월 29일 영상의 지표 온도에서 녹지 지역 평균 온도 대비 지표 온도 분포 (각 픽셀 온도-녹지지역 평균 온도(°C))

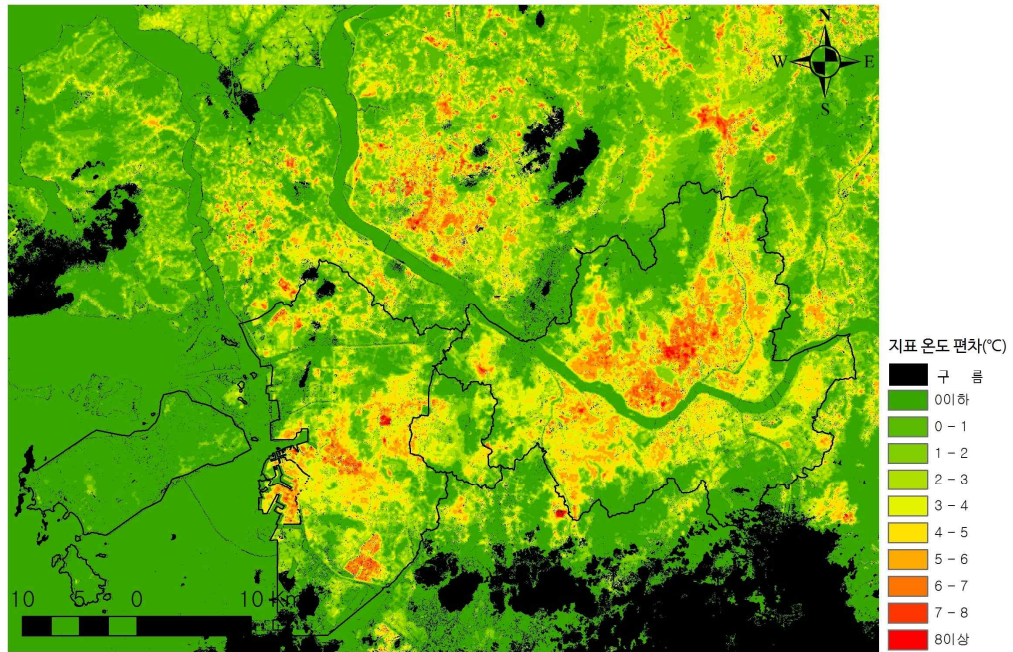


그림 42. 2014년 8월 2일 영상의 지표 온도에서 녹지 지역 평균 온도 대비 지표 온도 분포 (각 픽셀 온도-녹지지역 평균 온도(°C))

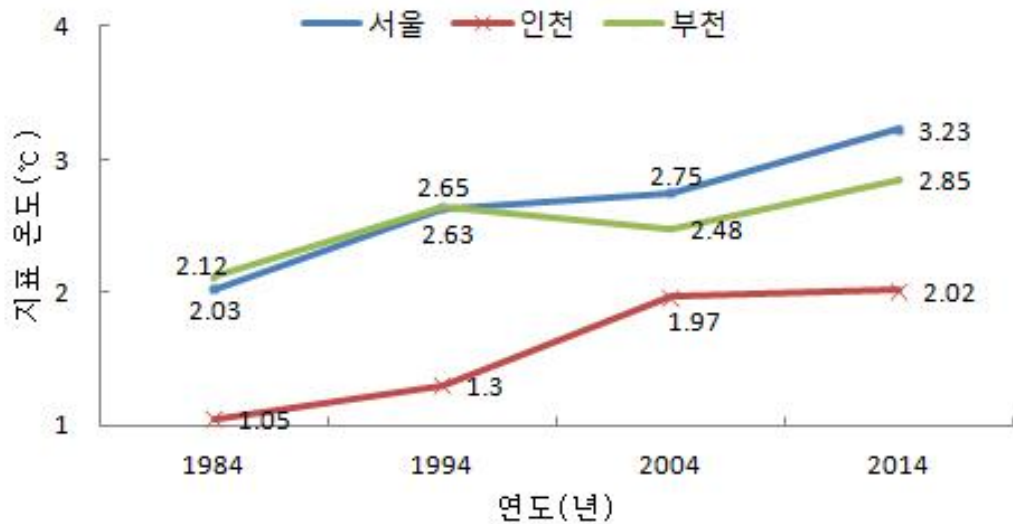


그림 43. 30년간(1984-2014년) 10년 단위의 서울·인천·부천의 녹지 대비 도시화된 지역의 지표 온도 변화(도시화된 지역 온도-녹지 지역 온도)

그림 39, 40, 41, 42는 각 픽셀의 온도에서 녹지 지역의 평균 온도를 뺀 각 시기의 지표 온도의 분포를 나타낸다. 1984년 7월 30일 영상에서 녹지지역과 도시화된 지역의 차이의 평균치(음수(-)는 녹지·수역·습지이므로 제외)는 서울의 경우 2.03℃, 인천 1.05℃, 부천 2.12℃이며 1994년 7월 26일 서울은 2.63℃, 인천은 1.30℃, 부천은 2.65℃이다. 2004년 7월 29일의 경우 서울 2.75℃, 인천 1.97℃, 부천 2.48℃이며 2014년 8월 2일 서울은 평균 3.23℃, 인천은 2.02℃, 부천은 2.85℃로, 부천의 2004년 7월 29일을 제외하면 세 지역 모두 30년간 녹지지역과 도시화된 지역의 지표 온도 차이가 상승하였음이 확인된다(그림 43). 1980년대 중반(1984년 7월 30일)에서 2010년대 중반(2014년 8월 2일)의 30년간 10년 단위의 공간 패턴을 보면 녹지 지역과 도시화된 지역의 지표 온도 차이가 큰 지역이 점차 확산되어 도시 열섬 현상이 점차 심화되고 있는 추세를 알 수 있다.

4. 서울-인천 도시회랑의 도시팽창과 열 환경의 관련성

서울·인천·부천의 도시 팽창과 열 환경의 관련성을 살펴보기 위해 최근 30년간(1984-2014년) 10년 단위(1984·1994·2004·2014년)의 Landsat 영상에서 산출한 NDVI와 지표온도의 관련성을 분석하였다.

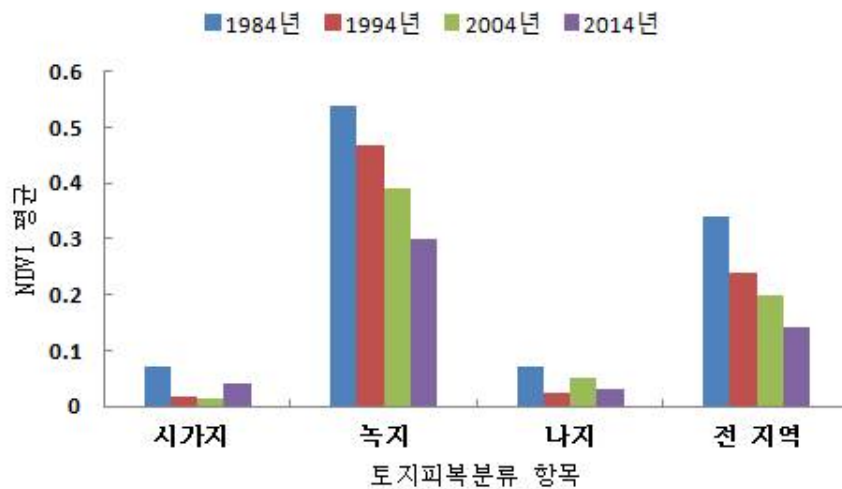


그림 44. 연구 지역 전체의 30년간(1984-2014년) 토지 피복 항목 별 NDVI 평균 변화

식생이 피복된 지역은 기온을 낮추는 효과를 기대할 수 있는데 이는 식생이 광합성작용을 통해 지표에 도달하는 에너지를 저감하며, 증발산작용을 통해 뿌리에서 흡수한 물이 잎의 기공을 통해 호흡작용을 하여 녹지 중 수증기량이 증가하여 온도를 저감시키는 효과를 일으킨다(최광용, 2010). 서울·인천·부천의 30년간(1984-2014년) NDVI 평균(그림 44)은 1984년 7월 30일 0.34, 1994년 7월 26일 0.24, 2004년 7월 29일 0.2, 2014년 8월 2일 0.14로 감소하며, 지표 온도는 1984년 7월 30일 1.7℃, 1994년 7월 26일 2.2℃, 2004년 7월 29일 2.4℃, 2014년 8월 2일 2.7℃로(그림 45) 점차 증가하고 있으므로 녹지 지역의 면적이 감소할수록 지표 온도가 증가하여 식생 지역의 온도 저감 효과를 확인할 수 있으며, 수도권 도시 팽창이 진행됨에 따라 식생이 파괴되어 성하기에 고온 구역이 증가

하고 있음을 보여준다. 각 지역 별 NDVI와 지표 온도의 세부 특징을 살펴보면 다음과 같다.



그림 45. 연구 지역 전체의 30년간(1984~2014년) 녹지 지역 대비 지표 온도 변화(전체 지역 지표 온도 - 녹지 지역 지표 온도)

1) 서울

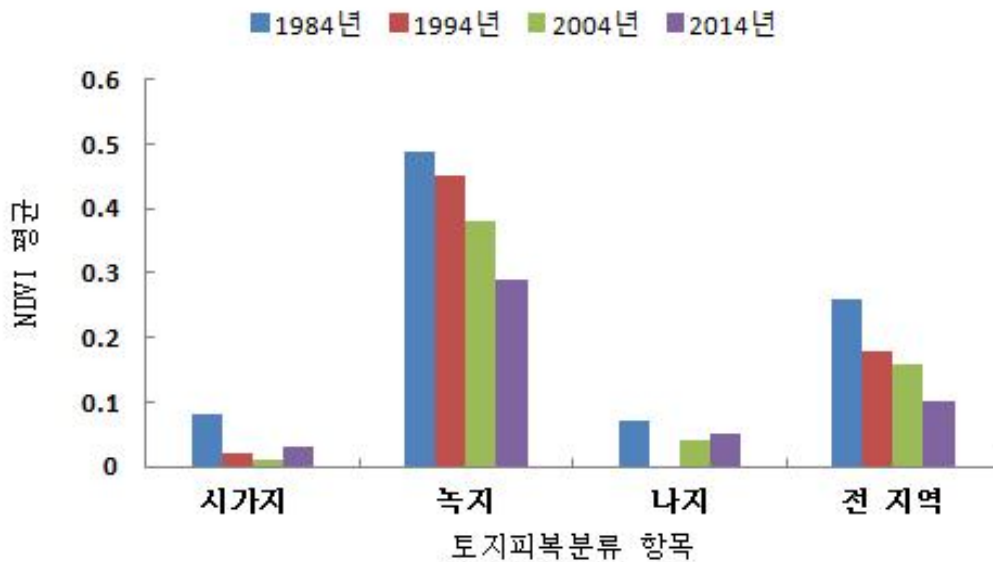


그림 46. 서울 30년간(1984-2014년) 토지피복분류 항목 별 평균 NDVI 변화

그림 46에서 서울의 NDVI 평균은 1984년 중반(1984년) 0.26, 1990년대 중반(1994년) 0.18, 2000년대 중반(2004년) 0.16, 2010년대 중반(2014년) 0.1로 녹지 면적이 줄어들면서 NDVI 값이 감소하고 있으며, 1984년에서 2014년으로 올수록 녹지 지역의 지표 온도는 상대적으로 크게 차이가 나지 않으나 도시화된 지역의 지표 온도는 녹지 지역에 비해 큰 차이가 나타난다. 즉, 최근 30년간(1984-2014년) 서울의 식생이 파괴되어 NDVI가 감소함에 따라 도시화된 지역의 고온 구역이 증가하고 있음을 보여준다.

표 19. 서울의 시기 별 NDVI와 지표 온도 간 피어슨 상관계수와 통계적 유의성

위성영상 날짜	pearson 상관계수	p-value
1984년 7월 30일	-0.82	0.00
1994년 7월 26일	-0.92	0.00
2004년 7월 29일	-0.83	0.00
2014년 8월 2일	-0.68	0.00

표 19의 서울의 동 별 공간평균 NDVI와 동 별 공간평균 지표 온도와의 상관성 분석에서 pearson의 상관계수가 모두 음(-)의 값을 나타내 NDVI 값이 증가하면 지표 온도는 감소한다는 알 수 있으며, 상관계수의 절대 값은 0.68~0.92를 보였다. p-value는 확률론적인 기각구역이 0.05 이하일 경우 통계적으로 유의성을 가지는데, 서울의 평균 NDVI와 평균 온도와의 관계에서 30년간 10년 단위 네 시기 모두 0.00 이하로 상관관계가 통계적으로 유의미함을 알 수 있다.

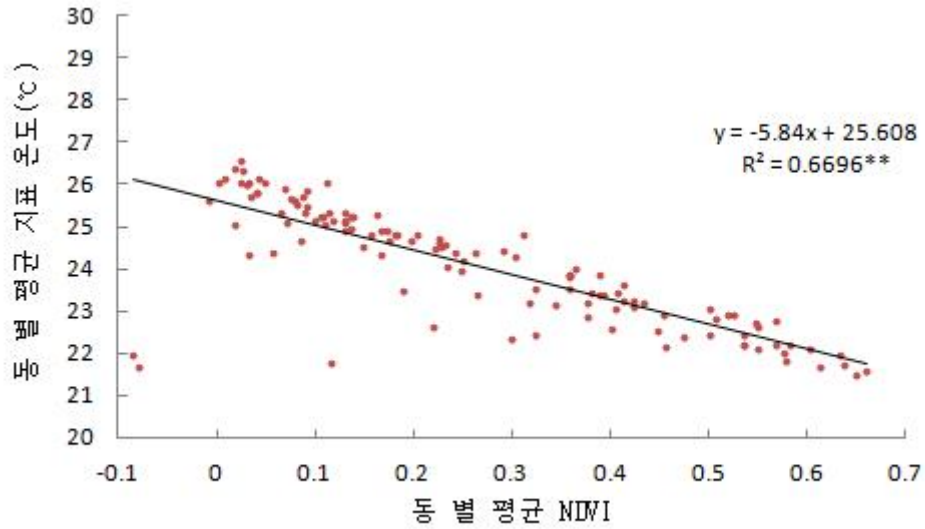


그림 47. 1980년대 중반(1984년) 서울의 동별 공간평균 NDVI와 지표 온도의 관련성(**99% 이상의 통계적 유의성)

1980년대 중반 NDVI의 평균은 0.26으로 10년 단위의 4개 년 중 도시화된 지역의 피복율이 가장 낮고 녹지 지역 피복율이 가장 높으므로 NDVI 평균 수치가 가장 높으며 평균 지표 온도는 23°C로 가장 낮았다. 이때 NDVI의 최대 값은 0.61로 4개 시기 중 가장 높은 값을 나타내 녹지 지역 면적이 높아 식생의 기온 저감 효과로 평균 지표 온도가 가장 낮았을 것이라 사료된다. 그림 47에서 NDVI와 지표 온도간의 회귀식의 기울기는 약 $-5.8(-5.84)^{\circ}\text{C}/0.1\text{NDVI}$ 로 4개 년 중 절대 값이 가장 낮아 녹지 지역과 도심 지역의 지표 온도 차이가 가장 낮게 나타난다.

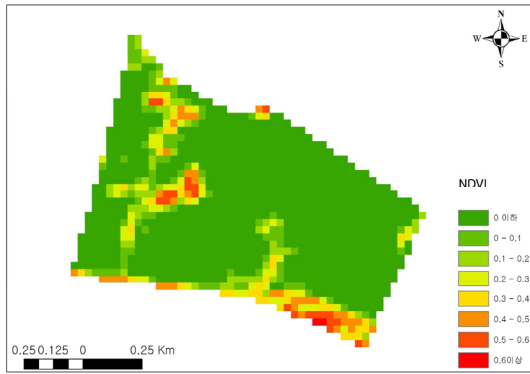


그림 48. 1980년대 중반(1984년)
등촌3동의 NDVI

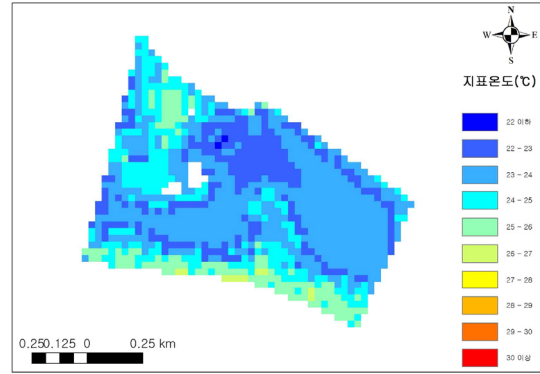


그림 49. 1984년 7월 30일 오전 10시
30분 등촌3동의 지표온도

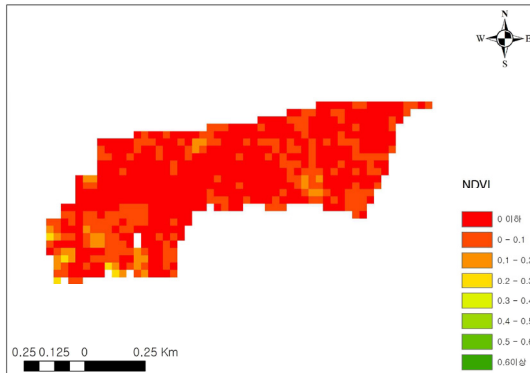


그림 50. 1980년대 중반(1984년)
을지로동의 NDVI

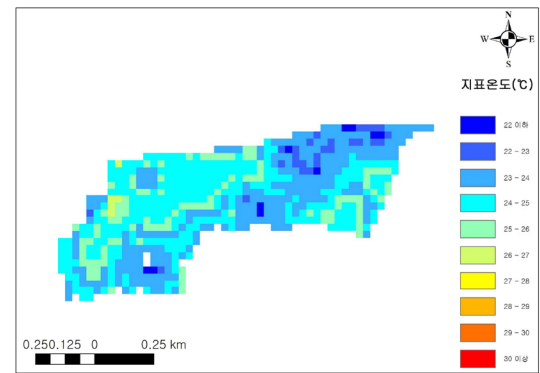


그림 51. 1984년 7월 30일 오전 10시
30분 을지로동의 지표온도

서울의 1980년대 중반 동 별 평균 NDVI가 높은 지역은 크게 세 지역으로 강서구·양천구 등의 강서지역, 도봉구·강북구·중랑구·성북구 등의 서울 북부 지역, 서초구·강남구 등의 강남지역이다. 강서 일대와 강남 일대는 1980년대 중반 당시 도심 개발 중이었다. 따라서 녹지의 면적이 높아 NDVI 평균값이 약 0.5-0.6 정도로 높게 나타났고 지표 온도는 대부분이 21°C에서 22°C사이로 서울의 평균 온도인 23.1°C보다 낮게 나타났다. 특히 서울의 동 별 평균 NDVI에서 강서구의 등촌3동의 NDVI 값이 가장 높게 나타나 그림 48에서 NDVI의 평균은 0.6으로 녹지지역의 면적이 크다는 것을 확인할 수 있다. 그림 49의 1984년 7월 30일 등촌3동의 평균 지표 온도는 21.7°C로 당시 서울의 평균온도인 23°C보다 현저히 낮다. 이와 대조적으로 평균 NDVI가 낮은 지역은 일찍부터 도시화가 이

루어진 지역으로 영등포구·구로구 일대와 중구·동대문구·성동구 남부의 도심지역으로 평균 지표 온도가 대부분 24℃에서 26℃를 이루어 평균 온도보다 높은 값을 지닌다. 가장 낮은 NDVI 값을 갖은 지역은 평균 0.0025인 중구 을지로동으로 그림 50에서 볼 수 있듯이 도시화된 지역의 면적이 크고 녹지 지역의 면적이 작다는 것을 확인할 수 있다. 그림 51에서 을지로동의 평균 온도는 24.2℃로 서울의 평균온도인 23℃보다 높다.

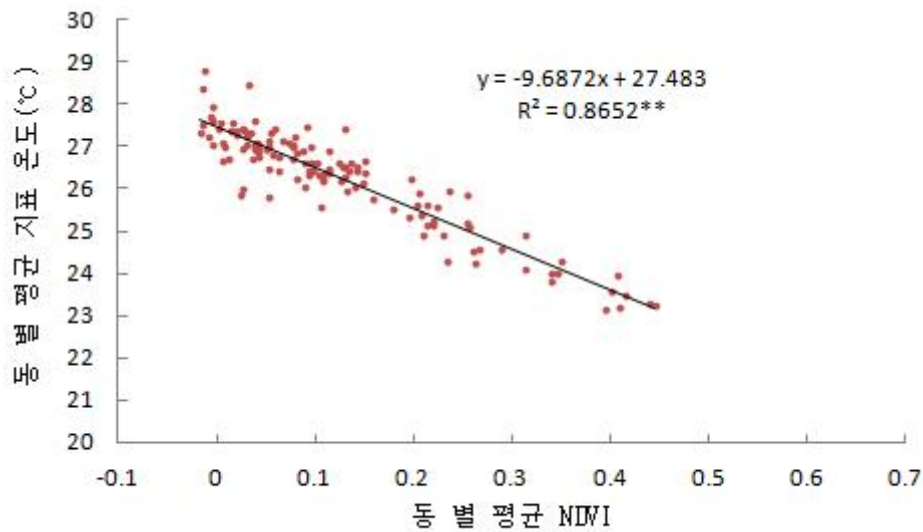


그림 52. 1990년대 중반(1994년) 서울의 동별 공간평균 NDVI와 지표 온도의 관련성(**99% 이상의 통계적 유의성)

1990년대 중반은 결정계수(R^2)가 가장 높아 약 0.87로, 1994년 7월 26일의 경우 NDVI와 지표 온도의 관련성이 87% 정도를 나타낸다. 결정계수는 주어진 영상이 촬영된 시기의 같은 행정 구역 내 식생의 분포나 대기 상태의 차이 등 여러 요인에 의해 각 연도마다 다르게 나타날 수 있다. 1994년의 경우 가장 큰 요인 중의 하나가 폭염의 영향이라고 할 수 있다. 1994년 7월 26일은 이전 기간의 무강수일이 15일 정도 지속되어 기온이 높았고 1994년은 지난 100년 중 서울의 온도가 가장 높은 해이다(최광용, 2010). 기온이 높을수록 식생과 온도의 관계가 밀접하게 관련되어 결정계수가 높게 나왔을 것이라 사료된다.

1990년대 중반 서울은 1980년대 중반보다 NDVI의 평균이 0.08 감소한 0.18을 나타냈다. 동 별 평균 NDVI는 0부터 0.1사이 값의 비중이 높아지고 0.4에서 0.5사이의 값을 갖는 지역의 비중이 낮아져 녹지 면적이 높은 지역은 감소하고 시가지화 된 지역이 증가하였음을 알 수 있다. 평균 NDVI의 최대값은 0.45이며 해당 지역의 지표 온도는 25.5℃로 나타났으며 1980년대 중반 NDVI 최대값인 0.61과 비교하여 0.16 감소하였다. 그림 52에서 NDVI와 지표 온도 사이의 그래프 기울기는 약 $-9.7(-9.6872)^{\circ}\text{C}/0.1\text{NDVI}$ 로 NDVI가 0.1씩 감소할수록 지표 온도는 약 $0.95(0.95063)^{\circ}\text{C}$ 증가하는 패턴을 보였다. 즉, 1980년대에 비해 도시화된 지역과 녹지 지역 간의 지표 온도 차이가 더 커졌음이 확인된다.

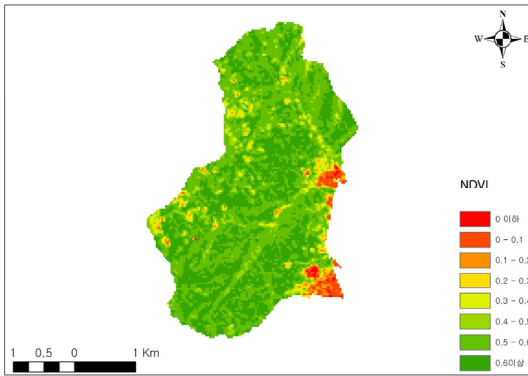


그림 53. 1990년대 중반(1994년) 우이동의 NDVI

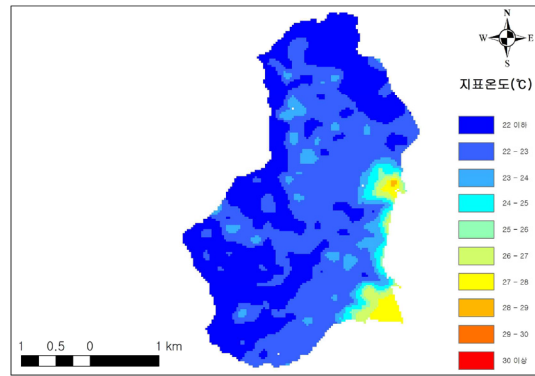


그림 54. 1994년 7월 26일 오전 10시 30분 우이동의 지표온도

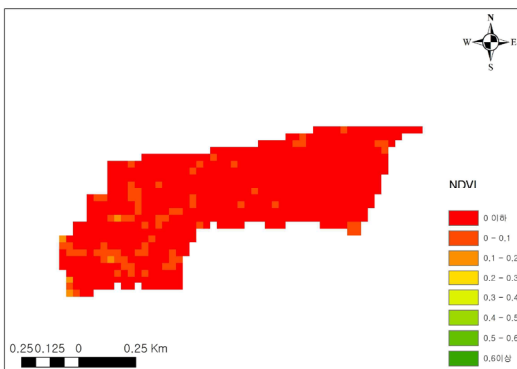


그림 55. 1990년대 중반(1994년) 을지로동의 NDVI

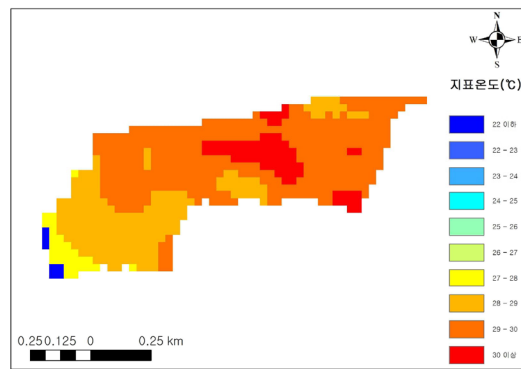


그림 56. 1994년 7월 26일 오전 10시 30분 을지로동의 지표온도

1990년대 중반 서울의 NDVI가 높은 지역은 크게 두 지역으로 서울 북부지역인 도봉구·강북구·중랑구·성북구와 강남 일대인 강남구·서초구 등으로 구분된다. 서울의 북부지역은 북한산과 도봉산, 수락산이 있어 동 면적에 녹지의 비중이 높으며, 강남구·서초구 등 강남 일대는 당시 개발 중으로 시가지화가 덜 된 지역의 NDVI 값이 높게 나타났을 것으로 사료된다. 1990년대 중반 동 별 평균 NDVI 값이 가장 높은 동은 강북구 우이동이었다. 1990년대 중반 우이동의 NDVI 평균은 0.45로 그림 53을 보면 NDVI 값이 높은 지역이 대부분이므로 녹지 지역의 면적이 높다는 것을 확인할 수 있다. 우이동의 1994년 7월 26일 평균 지표 온도는 22.4℃로 온도 분포는 그림 54에서 확인할 수 있으며 서울의 평균 온도인 25.5℃와 3.1℃정도 낮다. 한편, 평균 NDVI가 낮은 지역은 1980년대 중반과 마찬가지로 대부분 구도심지인 중구·서대문구 일대와 영등포구·동작구 일대로 평균 지표 온도는 대체로 27℃에서 28℃이다. NDVI가 가장 낮은 동은 1980년대 중반과 마찬가지로 중구 을지로동으로 평균 -0.037이며 그림 54에서 도시화된 지역의 면적이 높으며 녹지 지역의 면적이 낮음을 확인할 수 있다.

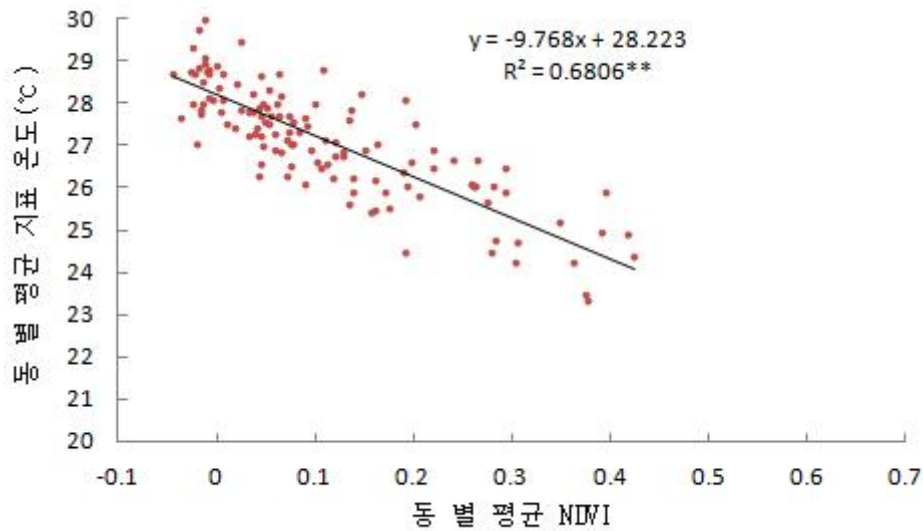


그림 57. 2000년대 중반(2004년) 서울의 동별 공간평균 NDVI와 지표 온도의 관련성(**99% 이상의 통계적 유의성)

2000년대 중반 서울의 NDVI 평균은 0.16으로 1980년대 중반과 비교하여 0.13

정도 감소하였다. 평균 NDVI의 최대값은 0.45이며 해당 지역의 지표 온도는 24℃로 나타났다. 그림 57에서 NDVI와 지표 온도 사이의 그래프 기울기는 약 $-9.8(-9.768)^\circ\text{C}/0.1\text{NDVI}$ 로 NDVI가 0.1씩 감소할수록 지표 온도는 약 $0.98(0.9768)^\circ\text{C}$ 증가하는 패턴을 보였다.

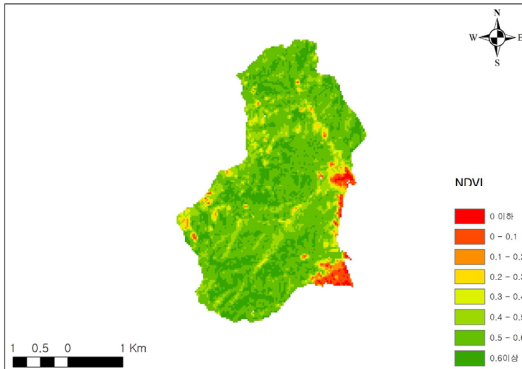


그림 58. 2000년대 중반(2004년) 우이동의 NDVI

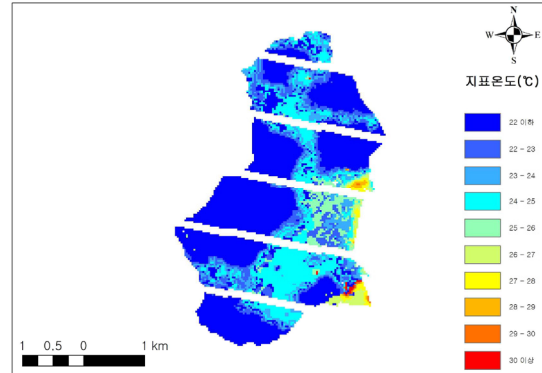


그림 59. 2004년 7월 29일 오전 10시 30분 우이동의 지표온도

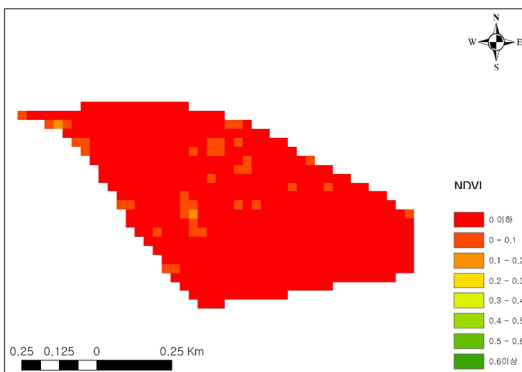


그림 60. 2000년대 중반(2004년) 신길동의 NDVI

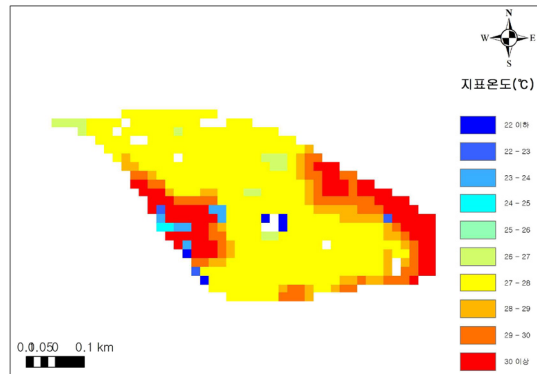


그림 61. 2004년 7월 29일 오전 10시 30분 신길동의 지표온도

서울의 2000년대 중반 NDVI가 높은 지역은 서울 북부지역인 도봉구·강북구·중랑구·성북구이다. 동 별 평균 NDVI가 가장 높은 지역은 1990년대 중반과 동일하게 강북구의 우이동으로 평균 NDVI가 0.42로 나타났다. 그림 58을 보면 우이동 동부의 일부 지역을 제외하고 대부분 녹지 지역이다. 그림 59의 2004년 7월 29일 우이동의 평균 지표 온도는 22.4°C 로 당시 서울의 평균온도인 24°C 보다

현저히 낮다. 평균 NDVI가 낮은 지역은 영등포구·구로구 일대와 중구·동대문구·성동구 남부의 도심지역 및 강남구·서초구 등 강남 일대이다. NDVI가 가장 낮은 지역은 영등포구의 신길동으로 평균 -0.05이며, 그림 60에서 전체 지역 중 NDVI값이 0 이하인 지역이 대부분으로 도시화된 지역이 대부분을 차지한다.

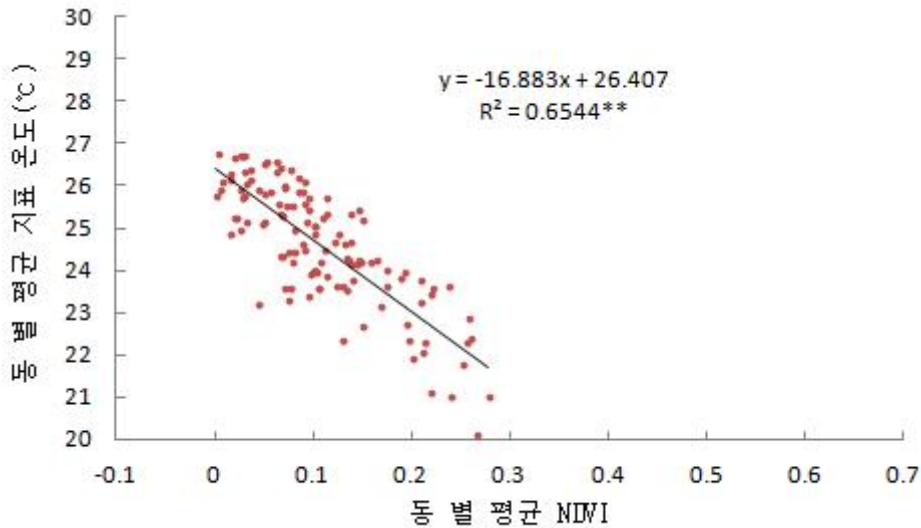


그림 62. 2010년대 중반(2004년) 서울의 동별 공간평균 NDVI와 지표 온도의 관련성(**99% 이상의 통계적 유의성)

2010년대 중반의 NDVI 평균 분포 패턴은 두 시기와 다른 양상을 띠는데 이는 Landsat-8 OLI의 근적외(NIR) 밴드인 5번 밴드가 Landsat-5 TM과 Landsat-7 ETM+의 4번 밴드와의 파장 영역의 차이로 인한 것으로 사료된다. 따라서 이를 비율로써 고정하여 분석을 진행하였다. 그림 62에서 2010년대 중반 서울의 NDVI의 평균 값은 1980년대 중반보다 약 0.16 감소한 0.1이며, 주로 0에서 0.1 사이의 값에 다수의 영역이 분포하였다. NDVI 값이 높아질수록 그 영역의 수가 낮아지는 양상을 보여 도시화된 지역의 면적이 높은 지역의 수가 증가하였음이 확인된다. 평균 NDVI의 최대값은 0.4로 1980년대 중반 NDVI 최대값인 0.61보다 0.21 감소하였다. 그래프의 기울기는 약 $-16.883^{\circ}\text{C}/0.1\text{NDVI}$ 이며 NDVI가 0.1씩 감소할수록 지표 온도는 약 $1.7(1.6883)^{\circ}\text{C}$ 증가한다. 이는 1980년대 중반과 1990년대 중반, 그리고 2000년대 중반보다 회귀식의 기울기가 증가한 것으로 도시화된 지

역과 녹지 지역의 지표 온도 차이가 지속적으로 증가하고 있음을 알 수 있다.

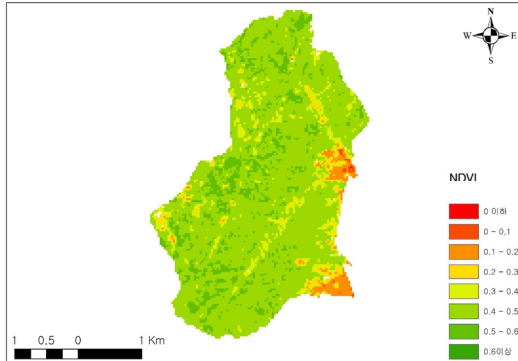


그림 63. 2010년대 중반(2014년)
우이동의 NDVI

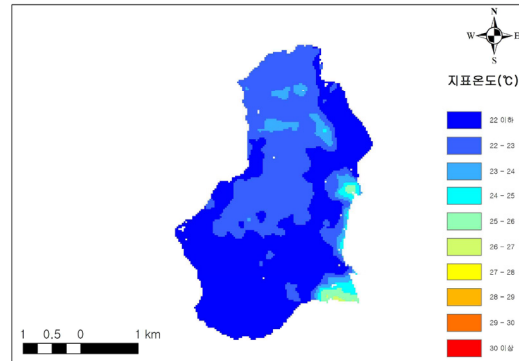


그림 64. 2014년 8월 2일 오전 10시
30분 우이동의 지표온도

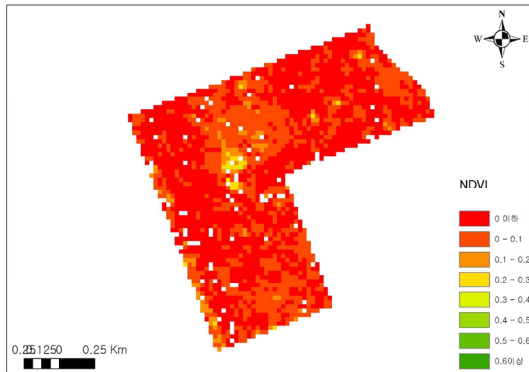


그림 65. 2010년대 중반(2014년)
역삼1동의 NDVI

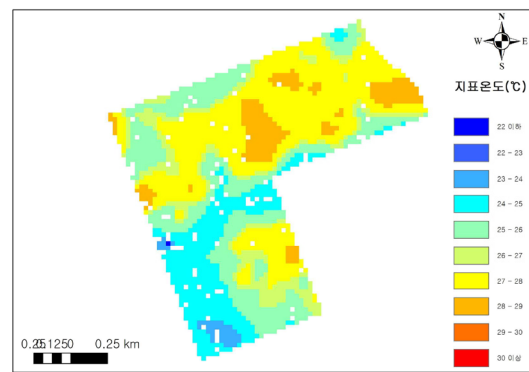


그림 66. 2014년 8월 2일 오전 10시
30분 역삼1동의 지표온도

평균 NDVI가 높은 지역은 주로 면적에 공원이나 큰 산을 포함하고 있거나 도시 외곽에 위치하여 도시화가 덜 된 지역이며 NDVI 수치가 낮은 지역은 주로 서울의 중심가에 위치한다. 1980년대 중반과 비교할 경우 2010년대 중반 NDVI의 최대·최소 지역은 서울의 중심과 외곽으로 뚜렷이 나뉘고 있다는 것이 확인된다. 그림 63에서 2010년대 중반 NDVI가 높은 지역은 강북구 우이동으로 평균 NDVI는 0.4이다. 우이동은 북한산 주변에 위치하여 도시 개발이 상대적으로 어려우므로 1990년대 중반 이후로 지속적으로 NDVI가 최대인 지역에 속한다. NDVI가 낮은 지역은 역삼1동으로 평균 0을 나타내었다. 강남은 일대는 1980년대에

나지 및 녹지 지역의 면적이 대부분을 차지하였으나 도시 개발로 인해 현재 도시화된 지역의 면적이 높게 나타난다.

2) 부천

부천의 경우 녹지 지역이 70% 이상을 차지하고 있던 1980년대 중반의 공간 평균 NDVI는 0.43, 평균 지표 온도는 23℃이고 녹지 면적이 감소하고 도시화된 지역이 증가한 1990년대 중반 NDVI의 평균은 0.25, 평균 지표 온도는 25℃이다. 2000년대 중반 평균 NDVI는 0.24, 평균 지표 온도는 24℃이며 2010년대 중반 평균 NDVI는 0.2, 평균 지표 온도는 23.9℃로, 부천의 NDVI는 녹지 면적의 감소와 시가지 면적의 증가에 의해 감소 추세이다(그림 67).

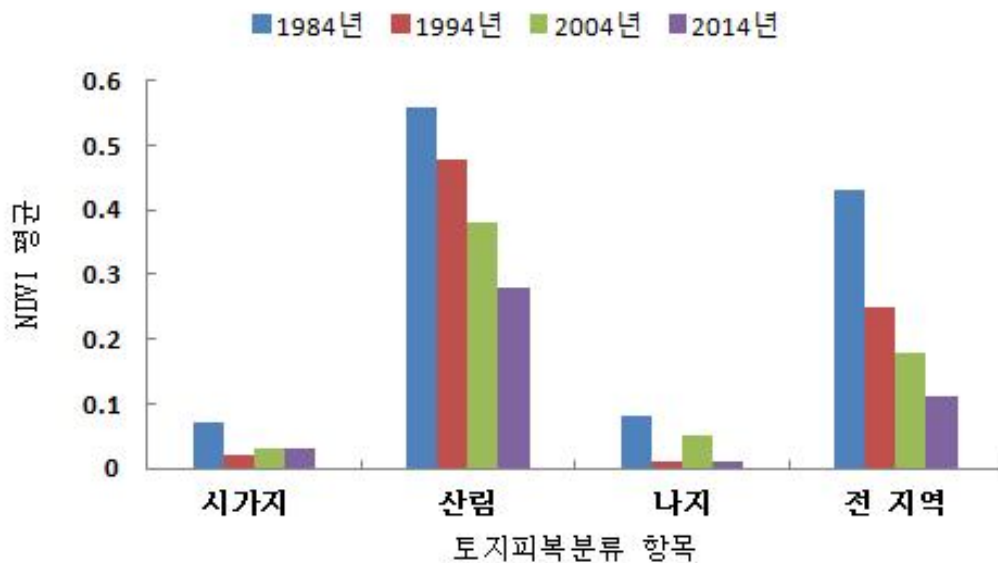


그림 67. 부천 30년간(1984-2014년) 토지피복분류 항목 별 평균 NDVI 변화

표 20. 부천의 시기 별 NDVI와 지표 온도 간 피어슨 상관계수와 통계적 유의성

위성영상 날짜	pearson 상관계수	p-value
1984년 7월 30일	-0.99	0.00
1994년 7월 26일	-0.97	0.00
2004년 7월 29일	-0.76	0.00
2014년 8월 2일	-0.65	0.00

표 20에서 부천의 동 별 평균 NDVI와 지표 온도 간의 피어슨 상관계수는 30년 간 네 시기 모두 절대 값이 0.65에서 0.99로 높게 나타났으며, 통계적 유의성을 나타내는 p-value의 값도 0.00 이하이므로 상관계수의 값이 유의미하다는 것을 알 수 있다.

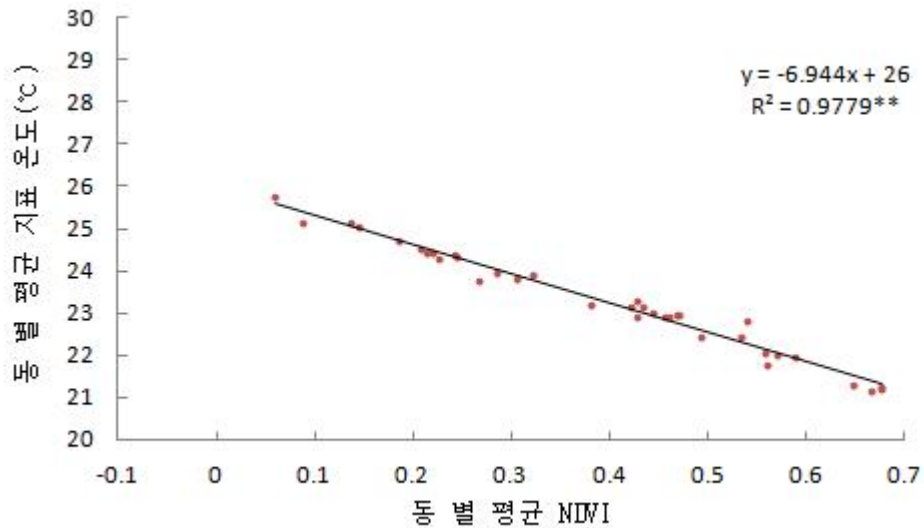


그림 68. 1980년대 중반(1984년) 부천의 동별 공간평균 NDVI와 지표 온도의 관련성(**99% 이상의 통계적 유의성)

1980년대 중반 부천은 중동신도시 개발 이전의 시기이므로 녹지 지역의 면적이 컸다. 이 시기의 동 별 평균 NDVI의 최대 값이 0.67로 높은 수치를 보였다. 그림 68의 부천의 동 별 평균 NDVI와 지표 온도의 상관관계의 그래프의 기울기는 $-6.944^{\circ}\text{C}/0.1\text{NDVI}$ 로 서울의 1980년대 중반과 비슷한 수치를 나타냈다. 즉,

NDVI 값이 0.1 감소할수록 지표 온도는 약 0.7°C (0.6944°C) 상승한다는 의미를 나타낸다.

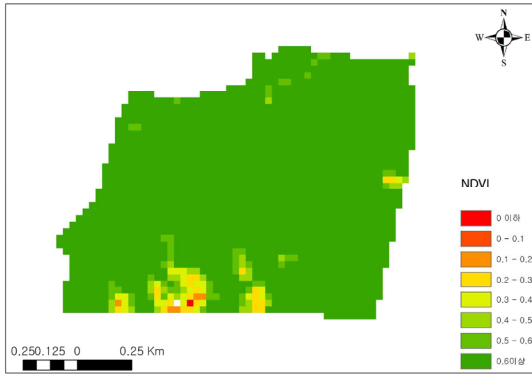


그림 69. 1980년대 중반(1984년) 상3동의 NDVI

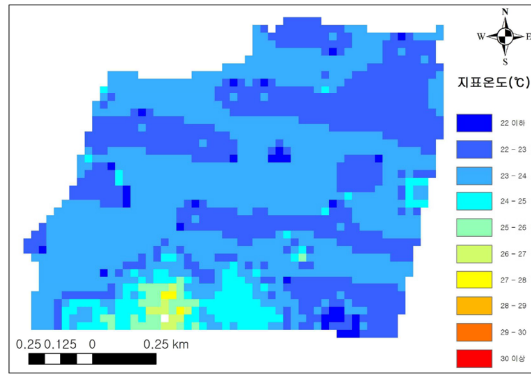


그림 70. 1984년 7월 30일 오전 10시 30분 상3동의 지표온도

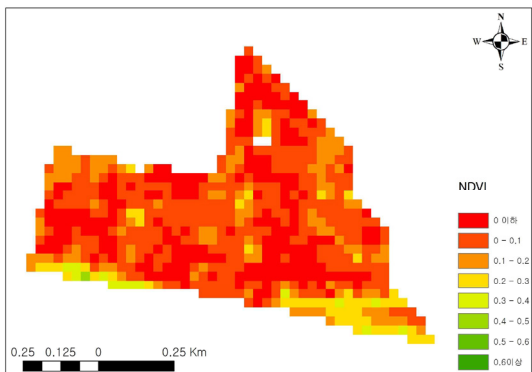


그림 71. 1980년대 중반(1984년) 심곡2동의 NDVI

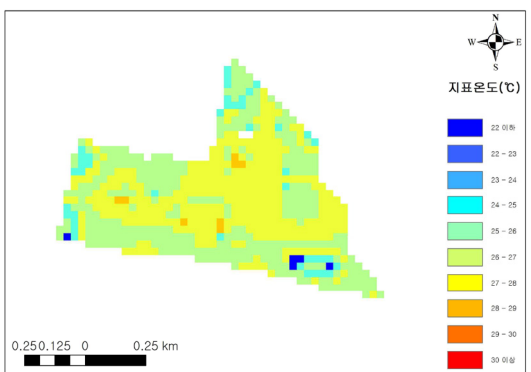


그림 72. 1984년 7월 30일 오전 10시 30분 심곡2동의 지표온도

1980년대 중반 부천의 도심지는 심곡동 일대이며 중동 일대는 개발 이전이므로 녹지 지역이 넓게 분포하였다. 따라서 동 별 공간평균 NDVI가 가장 높은 동은 상3동으로 NDVI의 평균 값이 0.67, 평균 지표 온도는 21.2°C 이었다. 그림 69와 70에서 상3동의 NDVI가 대체적으로 높은 수치를 나타내며, 1984년 7월 30일의 지표 온도도 같은 날의 심곡2동에 비해 낮게 나타난다. 평균 NDVI가 가장 낮은 동은 심곡2동으로 0.06, 평균 지표 온도는 25.7°C 로 부천 전체 평균 NDVI와의 차이뿐만 아니라 온도 차이도 4.5°C 로 크게 나타났다.

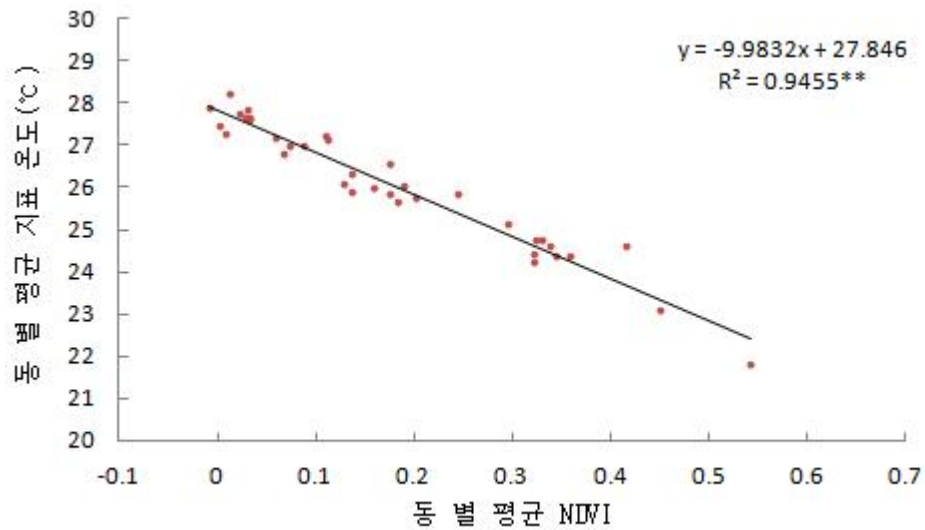


그림 73. 1990년대 중반(1994년) 부천의 동별 공간평균 NDVI와 지표 온도의 관련성(**99% 이상의 통계적 유의성)

1990년대 중반 평균 NDVI는 0.25, 평균 지표온도는 25℃로 10년 전 1980년대 중반 대비 NDVI는 0.12 정도 낮고, 지표 온도는 열파 발생의 영향을 받아 평균 지표 온도가 약 2℃ 높다. 그림 73의 그래프 기울기는 약 $-10(-9.9832)^\circ\text{C}/0.1\text{NDVI}$ 으로 NDVI가 0.1 증가할수록 지표 온도는 약 1℃ 감소한다. 10년 전의 0.69℃과 비교했을 경우 녹지지역과 도시화된 지역의 지표 온도 차이가 더 커졌음을 알 수 있다.

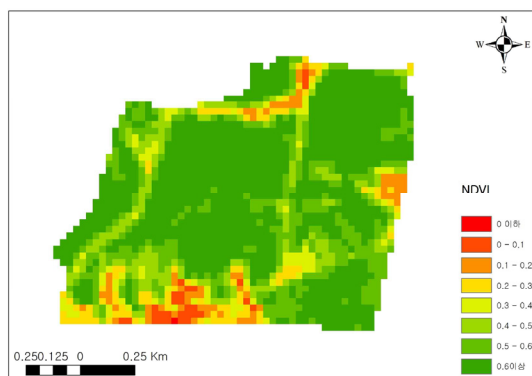


그림 74. 1990년대 중반(1994년) 상3동의 NDVI

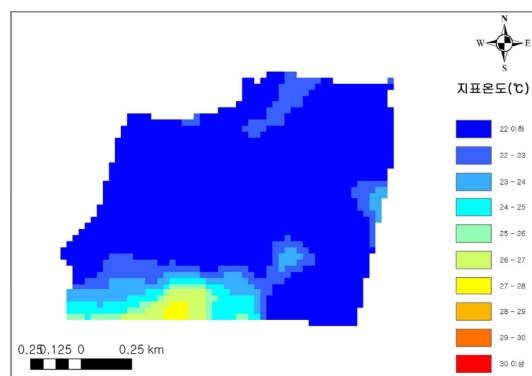


그림 75. 1994년 7월 26일 오전 10시 30분 상3동의 지표온도

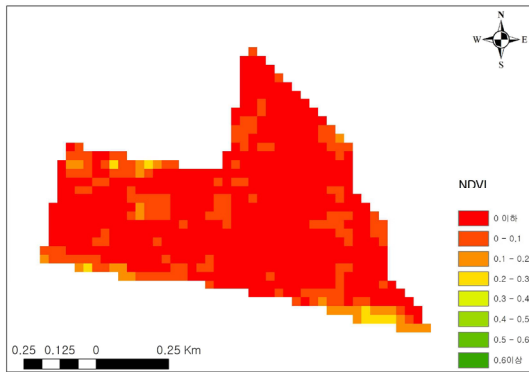


그림 76. 1990년대 중반(1994년) 심곡2동의 NDVI

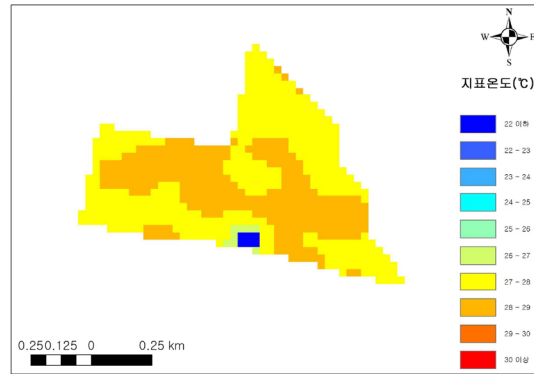


그림 77. 1994년 7월 26일 오전 10시 30분 심곡2동의 지표온도

1990년대 중반 부천은 중동신도시 개발이 이루어지고 있는 시기로 1980년대와 동일하게 주요 도심지는 심곡동 일대이며 중동과 상동 일대에는 높은 면적의 녹지가 분포하였다. 따라서 동 별 공간평균 NDVI가 가장 높은 동은 상3동으로 평균 NDVI 값이 0.54로 부천의 1990년대 중반 NDVI의 평균보다 0.11정도 높으며, 1994년 7월 26일 평균 지표 온도는 21.8℃로 당시 부천의 평균 지표 온도인 25℃보다 3.2℃정도 낮게 나타났다(그림 74, 75 참고). 평균 NDVI가 가장 낮은 동은 1990년대 중반 도심지에 속한 심곡2동으로 그림 76에서 알 수 있듯이 도시화된 지역의 면적이 크므로 평균 NDVI는 -0.008로 낮으며, 1994년 7월 26일 평균 지표 온도는 27.9℃이다(그림 77 참고).

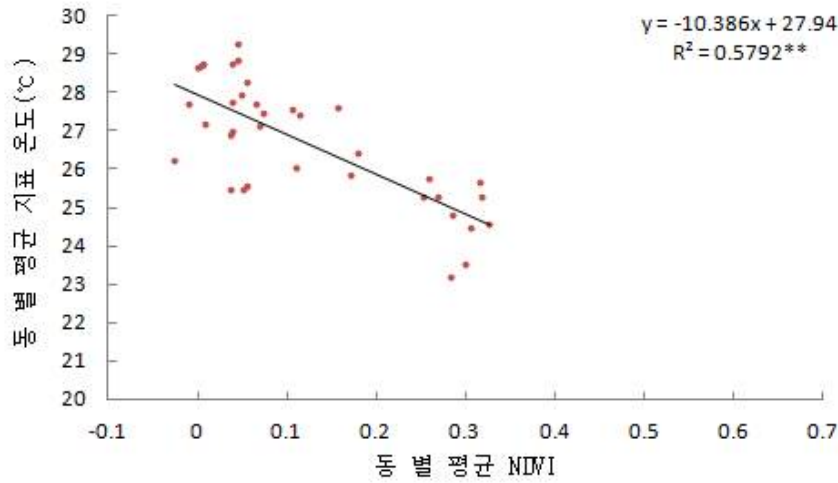


그림 78. 2000년대 중반(2004년) 부천의 동 별 공간평균 NDVI와 지표 온도의 관련성(**99% 이상의 통계적 유의성)

2004년 7월 29일 Landsat 영상은 구름이 부천 대부분의 지역에 분포하여 지표 온도가 불확실성이 있을 것이라 판단된다. 따라서 피어슨 상관계수와 결정계수의 값이 유의미하게 나왔으나 그림 78의 그래프도 불확실성이 존재할 것이므로 이를 고려하여 분석하였다. 2000년대 중반 부천의 경우 중동 신도시 개발이 끝나 도시화가 진전된 상태이므로 녹지 지역의 면적이 10년 전과 비교하여 확연히 줄어들었다. 2000년대 중반 부천의 평균 NDVI는 0.24로 1990년대 중반과 0.01정도 차이가 나지만 동 별 평균 NDVI 최대 값이 1990년대 중반의 경우 0.54이었으나 2000년대 중반 0.33으로 0.21 감소하여 녹지 지역의 감소를 확인할 수 있다. 그림 78의 그래프에서 회귀식의 기울기는 약 $-10(-10.386)^{\circ}\text{C}/0.1\text{NDVI}$ 이므로 NDVI가 0.1 감소할수록 지표 온도는 약 1.4°C 증가한다고 할 수 있다.

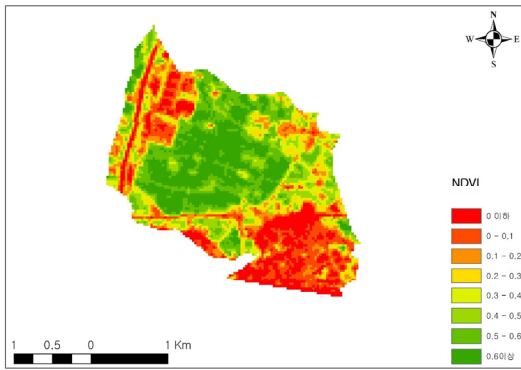


그림 79. 2000년대 중반(2004년)
오정동의 NDVI

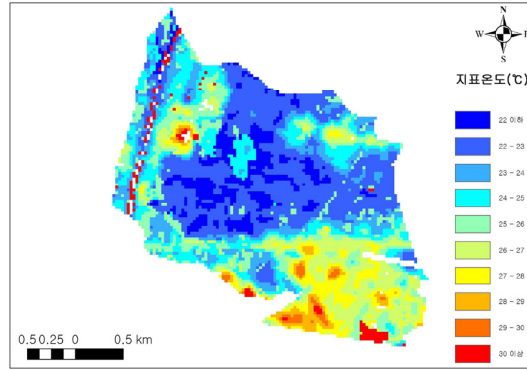


그림 80. 2004년 7월 29일 오전 10시
30분 오정동의 지표온도

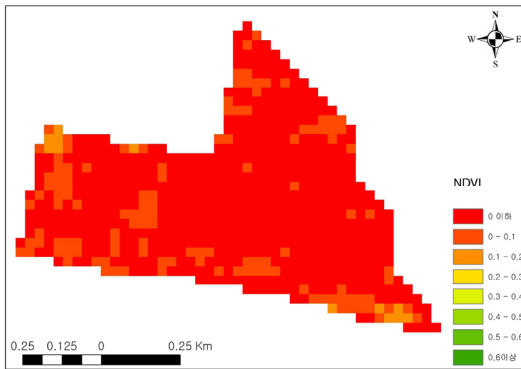


그림 81. 2000년대 중반(2004년)
심곡2동의 NDVI

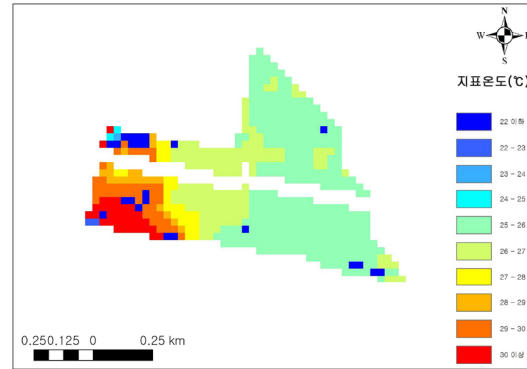


그림 82. 2004년 7월 29일 오전 10시
30분 심곡2동의 지표온도

그림 79에서 오정동의 경우 부천의 다른 동 보다 면적이 커 2000년대 중반 도시화된 지역과 녹지 지역의 면적 모두 크게 나타났다. 1980년대 중반과 1990년대 중반 동 별 NDVI 최대 값을 나타낸 동은 상3동이었으나 중동 신도시가 개발되어 NDVI가 감소하였기 때문에 2000년대 중반 이후부터 오정동이 NDVI가 가장 크게 나타났을 것으로 사료된다. 2000년대 중반 오정동의 NDVI 평균 값은 0.33이며 평균 지표 온도는 24.5°C이다. 2004년 7월 29일 부천 전체 지역의 평균 지표 온도인 24°C보다 높은 것은 도시화된 지역의 영향으로 인한 것이라 해석된다. 동 별 NDVI 값이 가장 낮은 동은 1980년대 중반, 1990년대 중반과 동일하게 심곡2동으로 평균 NDVI가 -0.026으로 나타났다(그림 81, 82 참고).

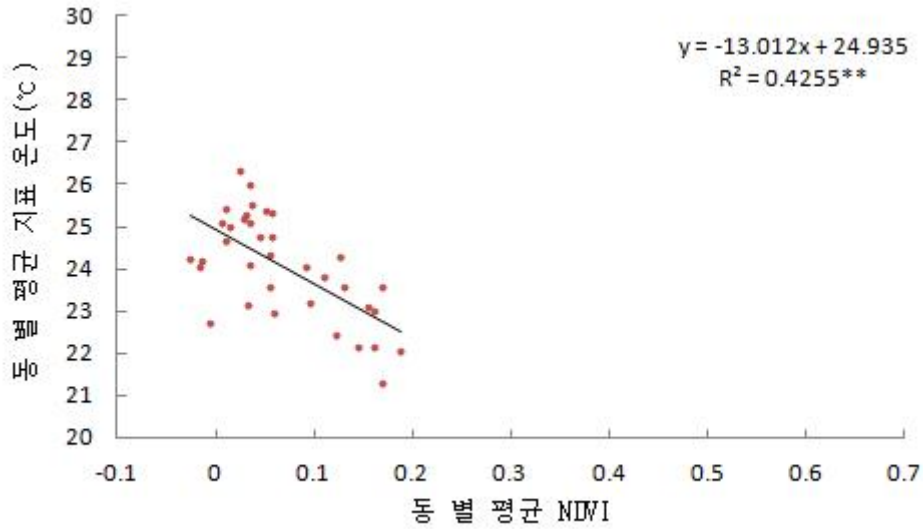


그림 83. 2010년대 중반(2014년) 부천의 동별 공간평균 NDVI와 지표 온도의 관련성(**99% 이상의 통계적 유의성)

2010년대 중반 평균 NDVI는 0.10, 평균 지표온도는 24℃로 30년 전인 1980년대 중반과 비교하여 평균 NDVI는 0.33 감소하였다. 동 별 평균 NDVI의 최대 값은 0.20로 30년 전의 0.67에 비해 0.33 감소하였고 해당 지역의 평균 지표 온도는 22.6℃이다. 그래프에서 기울기는 약-13(-13.012)℃/0.1NDVI으로 NDVI가 0.1 증가할수록 지표 온도는 약 1.3012℃씩 감소한다. 1980년대 중반 회귀식의 기울기인 -6.944와 비교할 경우 녹지지역과 시가지지역의 지표 온도 차이가 2배 정도 증가하였음을 확인하였다.

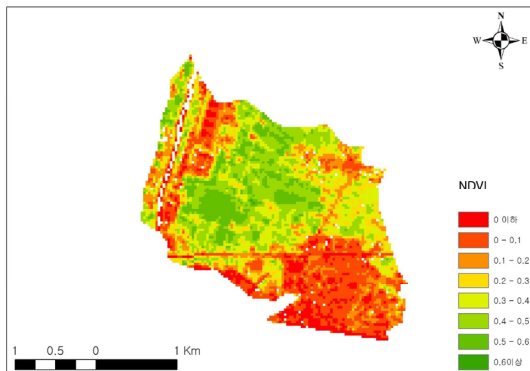


그림 84. 2010년대 중반(2014년) 오정동의 NDVI

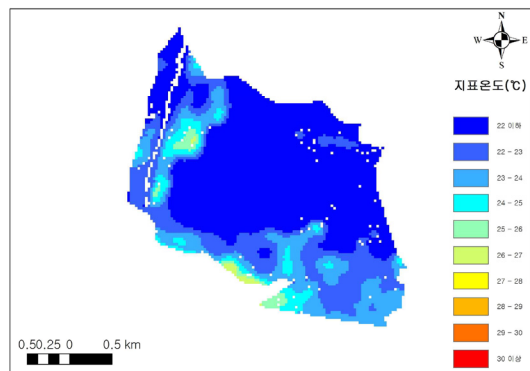


그림 85. 2014년 8월 2일 오전 10시 30분 오정동의 지표온도

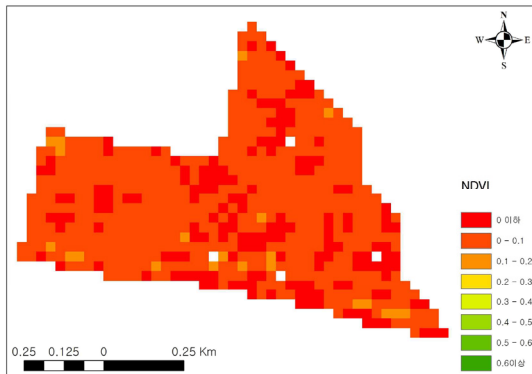


그림 86. 2010년대 중반(2014년)
심곡2동의 NDVI

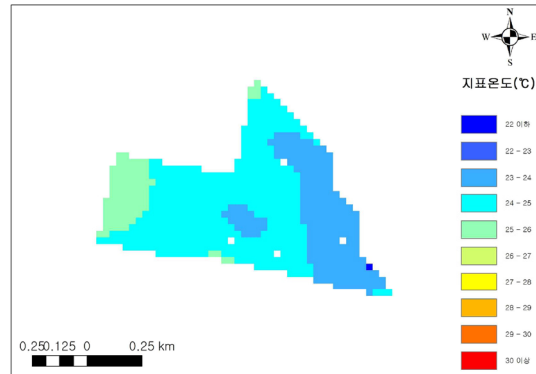


그림 87. 2014년 8월 2일 오전 10시
30분 심곡2동의 지표온도

2010년대 중반의 부천은 2000년대 중반과 마찬가지로 동 별 평균 NDVI가 높은 지역이 오정구 일대이다. 중동과 상동 일대가 신시가지를 이루어 NDVI가 점차 감소함에 따라 상대적으로 NDVI가 높게 나타났다. 그림 84에서 2010년대 중반 오정동의 NDVI 분포를 보면 2000년대 중반에 비해 시가지의 면적이 확장되었음이 확인된다. 오정동의 동 평균 NDVI는 0.20이며 2014년 8월 2일 오정동의 평균 지표 온도는 21.3℃으로 부천의 평균 지표 온도인 23.9℃보다 낮게 나타났다. 한편, 동 평균 NDVI가 낮은 동은 심곡2동으로, 부천의 30년 간 10년 단위의 네 시기 모두 심곡2동의 평균 NDVI 값이 낮게 나타났다. 그림 86에서 심곡2동은 거의 도시화된 지역으로 구성되어 있어 NDVI의 평균 값이 낮아 0.02이다. 2014년 8월 2일 심곡2동의 평균 지표 온도는 24.3이다(그림 87 참조).

3) 인천

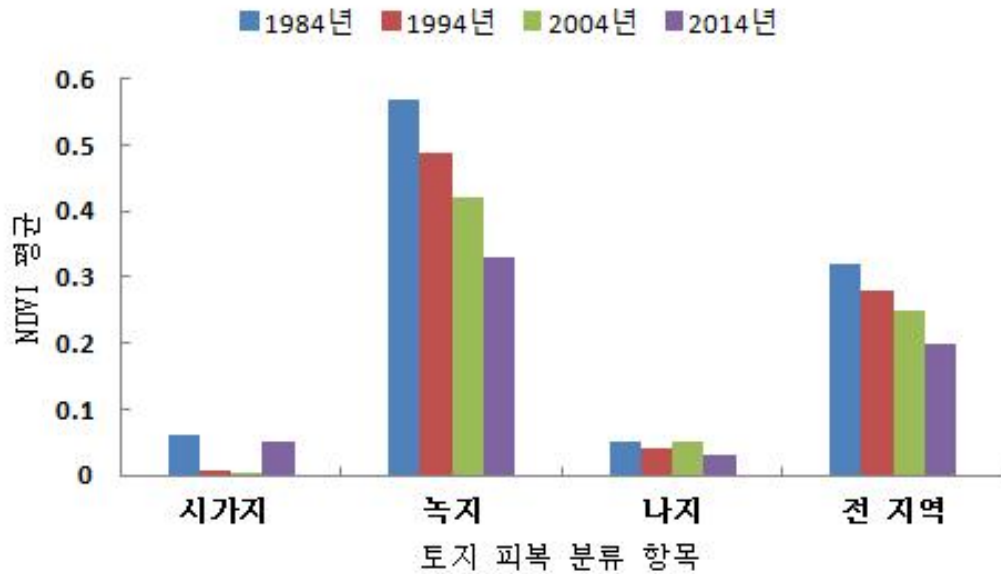


그림 88. 인천의 30년간(1984-2014년) 토지피복분류 항목 별 평균 NDVI 변화

인천의 1980년대 중반(1984년) NDVI의 평균은 0.32, 1984년 7월 30일 지표 온도의 평균은 22.2℃이며, 1990년대 중반(1994년) NDVI 평균은 0.28, 1994년 7월 26일 평균 지표 온도는 22.9℃이다. 2000년대 중반(2004년) 인천의 평균 NDVI는 0.24, 2004년 7월 29일의 평균 지표온도는 22℃이며, 2010년대 중반(2014년) 평균 NDVI는 0.18, 평균 지표 온도는 22.8℃이다. 인천은 1990년대 이후 공유수면 매립 개발이 시행되었기에 본 연구의 행정구역 데이터인 2012년을 기준으로 분석을 진행하는 데 무리가 있다고 판단하여 수역을 제외시켜 분석하였다.

표 21. 인천의 시기 별 NDVI와 지표 온도 간 피어슨 상관계수와 통계적 유의성

위성영상 날짜	pearson 상관계수	p-value
1984년 7월 30일	-0.82	0.00
1994년 7월 26일	-0.78	0.00
2004년 7월 29일	-0.79	0.00
2014년 8월 2일	-0.76	0.00

표 21에서 인천의 30년간 10년 단위의 동 별 공간평균 NDVI와 동 별 공간평균 지표 온도 간의 피어슨 상관계수의 절대 값은 0.76에서 0.82 사이이며 통계적으로 99% 이상의 유의 수준을 가진다.

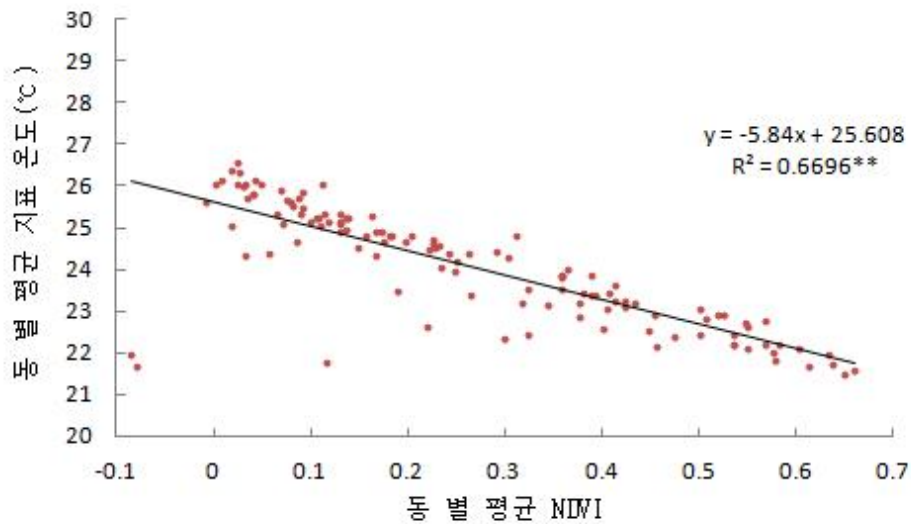


그림 89. 1980년대 중반(1984년) 인천의 동별 공간평균 NDVI와 지표 온도의 관련성(**99% 이상의 통계적 유의성)

1980년대 중반 NDVI의 평균은 0.32로 같은 시기의 서울 보다는 값이 크나 부천보다는 작다. 1984년 7월 30일의 평균 지표 온도는 22.2℃로 1980년대 세 지역 중 가장 낮다. 평균 NDVI의 값은 두 번째로 크지만 평균 지표 온도는 가장 낮은 이유는 해안과 인접한 지리적 요인과 2012년도의 행정구역 상에 포함된 습지의 영향으로 사료된다. 그림 89에서 동 별 평균 NDVI와 지표 온도 간의 회귀

식의 기울기는 약 $-5.8(-5.84)^{\circ}\text{C}/0.1\text{NDVI}$ 로 NDVI가 0.1씩 감소할수록 지표 온도는 약 $0.6(0.584)^{\circ}\text{C}$ 씩 증가한다. 서울 인천 부천 중 1980년대 중반 회귀식의 기울기가 가장 작은 지역은 인천이므로 1980년대 중반 인천이 도시화된 지역과 녹지 지역의 지표 온도 차이가 가장 낮았을 것이라 사료된다.

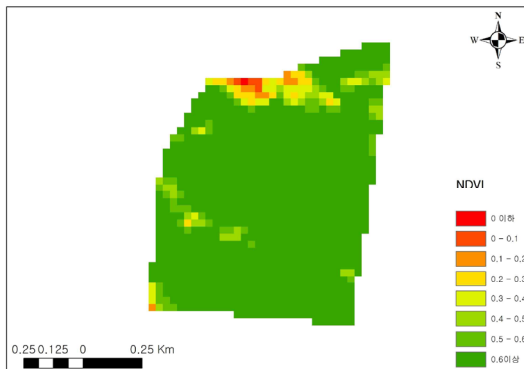


그림 90. 1980년대 중반(1984년) 계산4동의 NDVI

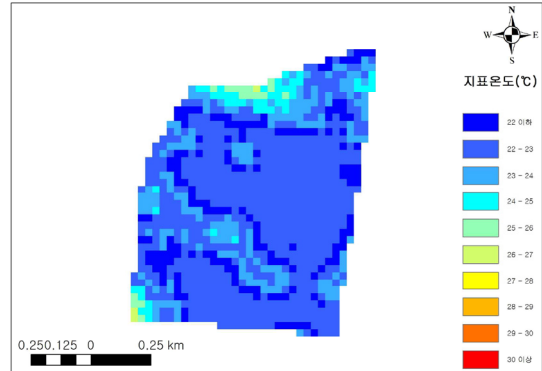


그림 91. 1984년 7월 30일 오전 10시 30분 계산4동의 지표온도

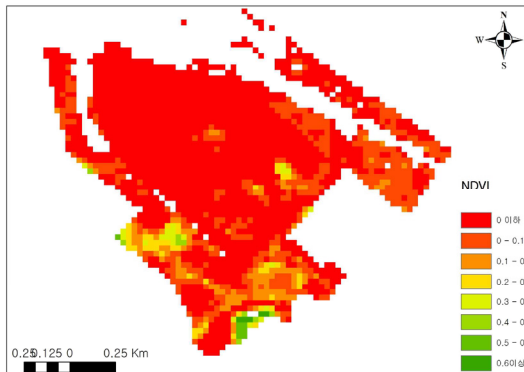


그림 92. 1980년대 중반(1984년) 송현3동의 NDVI

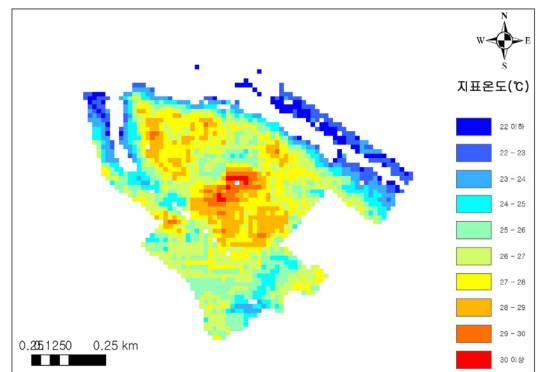


그림 93. 1984년 7월 30일 오전 10시 30분 송현3동의 지표온도

1980년대 중반 인천의 녹지 지역 면적이 큰 지역은 서부 지역인 부평구·계양구 일대와 북부 지역인 서구 일대, 남부 지역인 연수구 일대이다. 동 별 평균 NDVI 값이 가장 높은 곳은 계산4동으로 1980년대 중반 0.67 이었으며 대부분이 녹지 지역이었음을 그림 90에서 확인할 수 있다. 계산4동의 1984년 7월 30일 평균 지표 온도는 21.6°C 로 인천의 평균 지표 온도인 22.2°C 보다 낮았다. 이와 반

대로 동 별 평균 NDVI가 낮은 지역은 인천의 구시가지에 해당되는 송현3동으로 그림 92에서 도시화된 지역의 면적이 높게 나타난 것이 확인된다. 송현3동의 1984년 7월 30일 지표 평균 온도는 25.6℃로 인천의 전체 평균 온도보다 4℃가량 높게 나타났다.

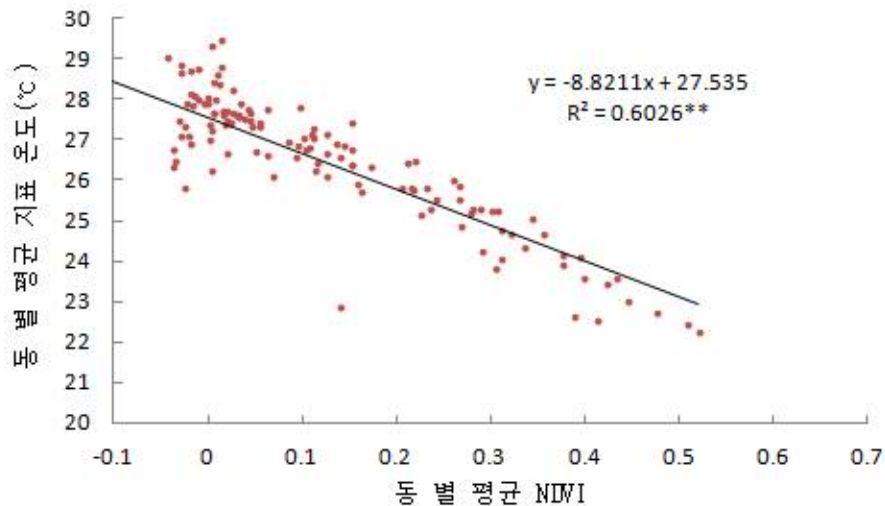


그림 94. 1990년대 중반(1994년) 인천의 동별 공간평균 NDVI와 지표 온도의 관련성(**99% 이상의 통계적 유의성)

1990년대 중반(1994년) 인천은 1980년대 중반보다 NDVI의 평균이 0.04 감소한 0.28이다. 그림 94에서 1980년대 중반보다 동 별 평균 NDVI 값이 0~0.1 사이에 해당되는 동이 증가하였음이 확인되었다. 따라서 10년 전인 1980년대 중반에 비해 도시화된 지역의 면적이 넓어졌음을 알 수 있다. 그래프의 기울기는 약 -8.8(-8.8211)℃/0.1NDVI로 NDVI가 0.1씩 감소할수록 지표 온도는 약 0.88(0.88211)℃ 증가한다고 할 수 있다.

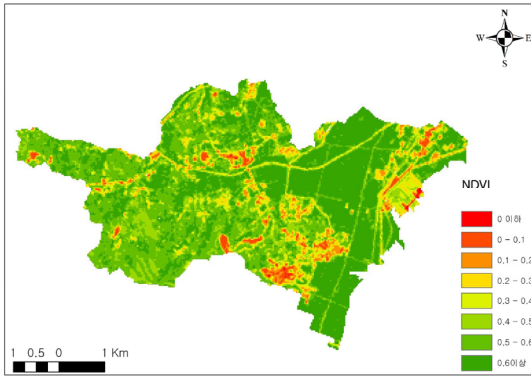


그림 95. 1990년대 중반(1994년)
계양1동의 NDVI

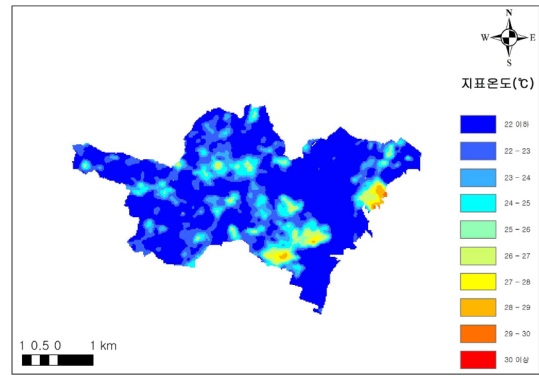


그림 96. 1994년 7월 26일 오전 10시
30분 계양1동의 지표온도

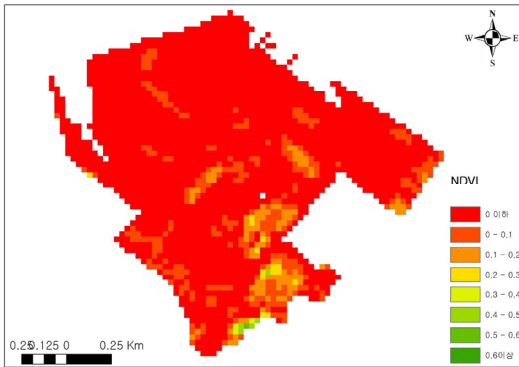


그림 97. 1990년대 중반(1994년)
송현3동의 NDVI

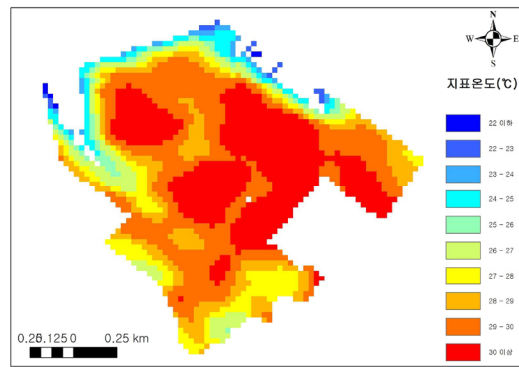


그림 98. 1994년 7월 26일 오전 10시
30분 송현3동의 지표온도

1990년대 중반 인천의 평균 NDVI가 높은 지역은 계양구·서구·부평구 일대가 해당되며 동 별 평균 NDVI가 가장 높은 지역은 계양1동으로 0.52를 나타내었다(그림 95). 계양1동의 1994년 7월 26일 평균 지표 온도는 22.2°C로 인천의 평균 지표온도인 22.9°C보다 0.7°C 낮다(그림 96). 계양1동이 속해있는 계양구 및 서구·부평구 주변에 거대 녹지 지역이 있으므로 녹지의 영향을 받아 NDVI가 높게 나타난다. 이외에도 남동구 남촌도림동과 연수구 선학동은 개발 이전의 상태이므로 높은 녹지 면적을 포함한다. 평균 NDVI가 낮은 지역은 주로 남구, 동구, 부평구 일대이며 동 별 평균 NDVI가 가장 낮은 동은 송현3동으로 그 값이 -0.045이며 인천의 도심지에 해당하는 지역이다. 송현3동의 1994년 7월 26일의 지표 온도는 29°C로 인천의 당시 지표 온도와 비교하여 대단히 높은 값을 나타

냈다.

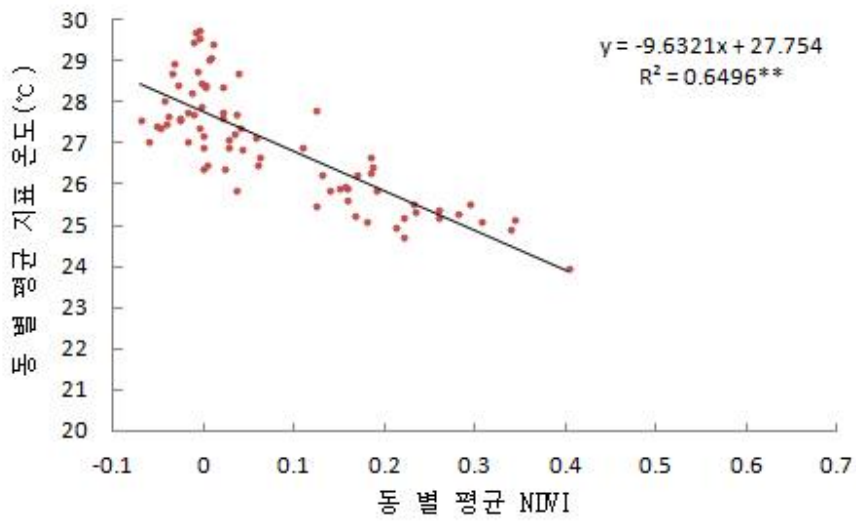


그림 99. 2000년대 중반(2004년) 인천의 동별 공간평균 NDVI와 지표 온도의 관련성(**99% 이상의 통계적 유의성)

2000년대 중반(2004년) 인천은 1980년대 중반보다 NDVI의 평균이 0.08 감소한 0.24이다. 그림 99에서 1980년대 중반 및 1990년대 중반 보다 동 별 평균 NDVI 값이 음의 값을 갖는 동이 증가하였음을 알 수 있다. 그래프의 기울기는 약 $-9.6(-9.6321)^\circ\text{C}/0.1\text{NDVI}$ 로 NDVI가 0.1씩 감소할수록 지표 온도는 약 $0.96(0.96321)^\circ\text{C}$ 증가한다고 할 수 있다.

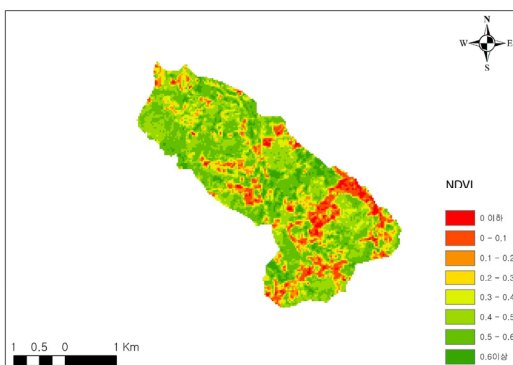


그림 100. 2000년대 중반(2004년) 검단2동의 NDVI

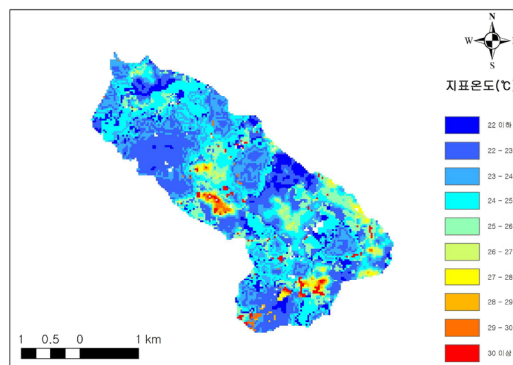


그림 101. 2004년 7월 29일 오전 10시 30분 검단2동의 지표온도

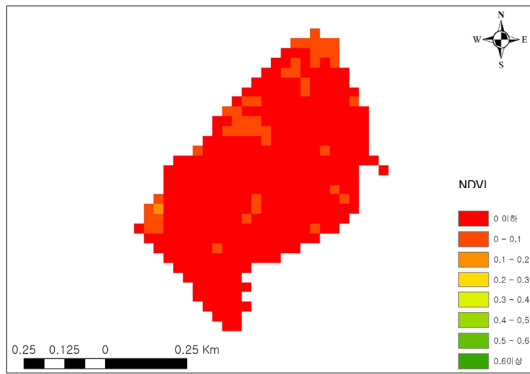


그림 102. 2000년대 중반(2004년)
송현 1·2동의 NDVI

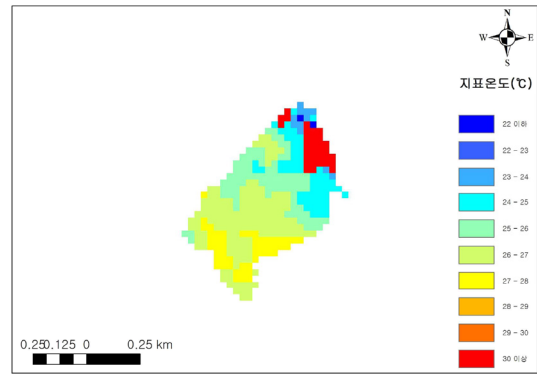


그림 103. 2004년 7월 29일 오전 10시
30분 송현 1·2동의 지표온도

2000년대 중반 인천의 동 별 평균 NDVI가 가장 높은 지역은 검단1동으로 0.4이며(그림 100 참고), 2004년 7월 29일 평균 지표 온도는 23.9℃이다(그림 101). 동 별 평균 NDVI가 가장 낮은 동은 송현1·2동으로 그 값이 -0.05이며(그림 102) 송현3동의 2004년 7월 29일의 지표 온도는 26.7℃로 인천의 당시 지표 온도인 22℃와 비교하여 대단히 높은 값을 나타냈다.

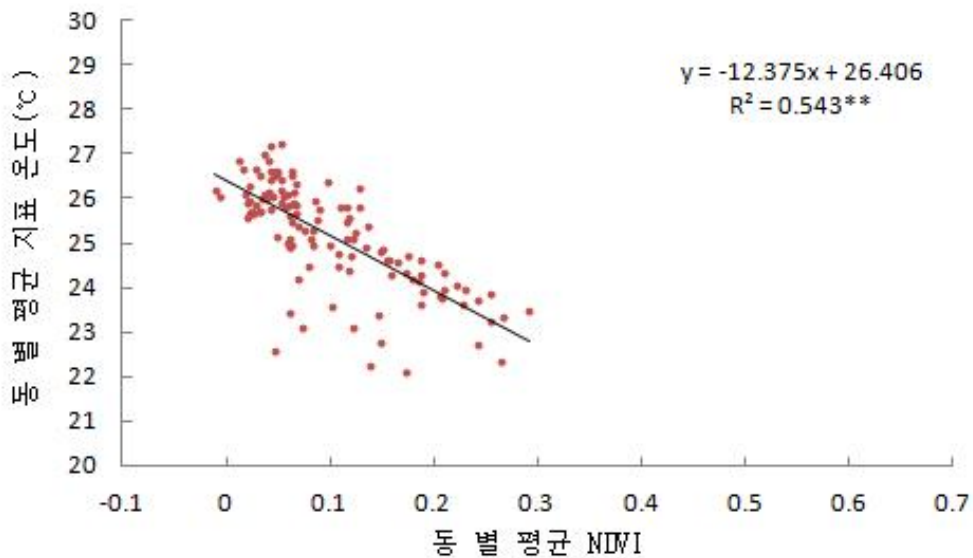


그림 104. 2010년대 중반(2014년) 인천의 동별 공간평균 NDVI와 지표
온도의 관련성(**99% 이상의 통계적 유의성)

2010년대 중반 NDVI의 평균은 1980년대 중반보다 0.14 감소한 0.18이며 동 별 평균 NDVI의 최대 값도 1980년대 중반 0.67에서 2010년대 중반 0.39로 0.28 감소하였다. 그래프의 기울기는 약 $-12.4(-12.375)^{\circ}\text{C}/0.1\text{NDVI}$ 로 NDVI가 0.1씩 감소할수록 지표 온도는 약 $1.24(1.2375)^{\circ}\text{C}$ 증가한다. 인천도 서울 부천과 마찬가지로 시계열별 회귀식의 기울기가 증가하여 시가지와 녹지 지역의 지표 온도 차이가 지속적으로 증가한다.

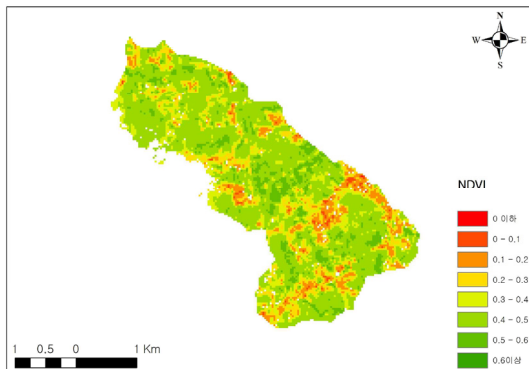


그림 105. 2010년대 중반(2014년) 검단2동의 NDVI

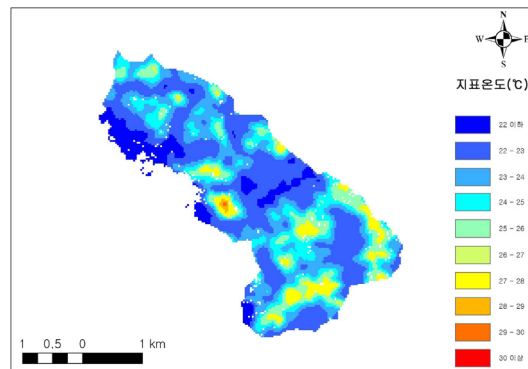


그림 106. 2014년 8월 2일 오전 10시 30분 검단2동의 지표온도

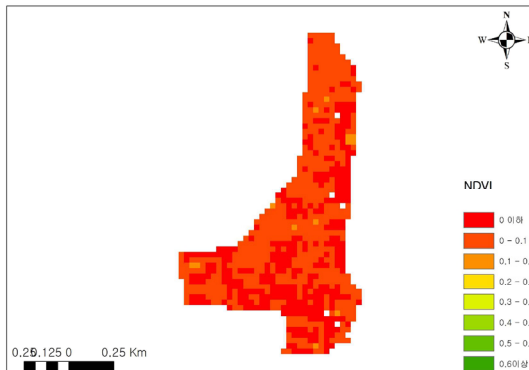


그림 107. 2010년대 중반(2014년) 부평5동의 NDVI

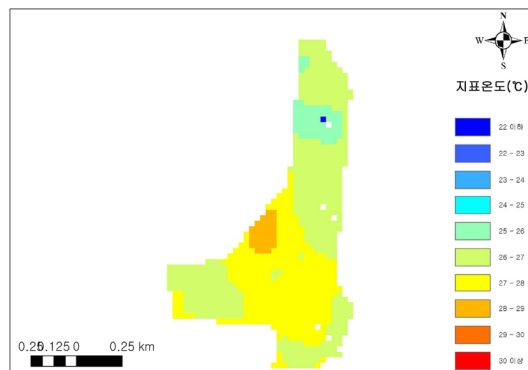


그림 108. 2014년 8월 2일 오전 10시 30분 부평5동의 지표온도

2010년대 중반(2014년) 동 별 평균 NDVI가 가장 높은 동은 검단2동으로 0.39이며(그림 105) 2010년 8월 2일의 평균 지표 온도는 23.4°C 이다(그림 106). 2010년대 중반 NDVI가 낮은 지역은 중구와 남구, 부평구 일대로 동 별 평균 NDVI가 가장 낮은 동은 부평5동으로 0.01의 값을 갖고(그림 107), 2014년 8월 2일의 평균 지표 온도는 26.8°C 을 나타냈다.

IV. 결 론

이 논문에서는 NOAA에서 제공하는 Landsat 인공위성 영상 자료를 사용하여 최근 30년간(1984~2014년) 10년 단위의(1984·1994·2004·2014년) 수도권 대도시 지역인 서울·인천·부천의 여름철 성하기 토지 이용 및 정규식생지수, 지표 온도 변화를 분석하였고, 도시 팽창에 따른 녹지 지역의 감소와 열 환경 변화와의 상관관계를 분석하였다. 주요한 연구 결과들을 요약하면 다음과 같다.

첫째, Landsat 위성 영상에서 감독분류를 시행하여 토지 피복을 분류한 결과 1980년대 중반(1984년) 서울의 도시화된 지역은 38.2%이며 2010년대 중반(2014년) 58%로 30년 간 19.8% 증가하였다. 도시화된 지역의 면적 증가율이 가장 높은 시기는 1980년대 중반에서 1990년대 중반 사이이다. 1990년대 중반 이후 증가율이 감소하였으나 지속적으로 시가지 면적이 확장되었고 대체적으로 강남과 강서 일대를 중심으로 개발이 진행되었다. 인천의 1980년대 중반(1984년) 도시화된 지역의 토지 피복율은 6.2%이며 2010년대 중반(2014년) 32.3%로 30년간 26.1% 증가하였다. 인천은 공유수면 매립 사업이 활발히 진행된 2000년대까지 주로 공유수면의 매립을 통해 도시화된 지역의 면적이 증가하였으나 2000년대 중반 이후 대체적으로 타 지역과 유사하게 녹지 지역이 시가지 지역으로 전환되어 시가지가 확장되었다. 인천의 30년간 시가지 개발은 주로 서구와 연수구, 남동구 및 영종도 일대로 공유수면의 매립을 통해 도시화된 지역을 중심으로 이루어졌다. 부천은 지속적인 인구 유입으로 인한 1990년대 중동신도시 개발에 의해 중동과 상동 일대를 중심으로 시가지 확장이 진행되었다. 1980년대 중반(1984년) 도시화된 지역의 토지피복율은 20.3%이며 2010년대 중반(2014년) 62.3%로 30년간 40%가 증가하여 연구 지역 중 가장 시가지 증가율이 높으며 이는 중동신도시 개발 계획에서 시가지 면적이 높게 책정된 결과라 해석된다.

둘째, Landsat 위성 영상으로 산출한 30년간(1984~2014년) 10년 단위의 4개

년 지표 온도에서 서울·인천·부천의 녹지 지역과 도시화된 지역의 지표 온도 차이가 증가하여 성하기에 고온 구역이 증가하고 있음이 확인되었다. 즉, 세 지역의 도시화된 지역의 지표 온도는 산림 지역 대비 평균 1984년 7월 30일 1.1℃, 1994년 7월 26일 1.7℃, 2004년 7월 29일 2.1℃, 2014년 8월 2일 2.3℃으로 증가하고 있다. 보다 세부적으로 서울의 1984년 7월 30일의 녹지 지역 온도와 도시화된 지역의 온도 차이가 2.03℃이었으나 2014년 8월 2일은 3.23℃으로 1.2℃가 증가하였으며, 인천 1984년 7월 30일은 1.05℃, 2014년 8월 2일은 2.02℃로 평균 0.97℃ 증가하였다. 부천의 경우 1984년 7월 30일은 2.12℃이나 2014년 8월 2일은 3.13℃으로 1.01℃증가하여 세 지역 모두 30년간 녹지지역과 도시화된 지역의 지표 온도 차이가 상승하였다. 이러한 결과들은 수도권 도시 팽창이 진행됨에 따라 식생이 파괴되어 성하기에 평균적인 기온이 상승하였음을 알 수 있다.

셋째, 서울·부천·인천의 도시 팽창과 열 환경의 상관성을 분석한 결과 30년간(1984-2014년) 10년 단위의 4개 년 회귀식의 기울기가 점차 증가하여 녹지 지역과 도심지역 간의 지표 온도 차이가 커지고 있음을 확인하였다. 녹지 지역과 지표 온도는 음(-)의 상관관계로 서울의 경우 회귀식의 기울기가 1980년대 중반(1984년) -5.84로 정규식생지수가 0.1 감소할수록 지표 온도는 약0.6℃증가하나 2010년대 중반(2014년) -16.883로 정규식생지수가 0.1낮아질수록 지표 온도는 약 1.7℃증가한다. 부천은 NDVI에 대한 지표 온도 민감도 기울기가 1980년대 중반(1984년) -6.944, 2010년대 중반(2014년) -13.012이며, 인천의 경우 각각 회귀식의 기울기가 -5.84, -12.375로 세 지역 모두 도심 지역을 중심으로 도시화된 지역의 지표 온도가 증가하고 있어 성하기 도시 열섬 현상이 심화되고 있음을 알 수 있었다.

이상과 같이 수도권의 주요 지역인 서울·부천·인천의 도시 팽창에 따른 열 환경의 시·공간적 패턴을 파악해 보았다. 본 연구는 여름철 성하기 열 환경의 시·공간적 패턴에 대한 학술적인 기반자료를 제공하여 지속가능한 도시 개발 계획 및 도심 재정비 계획 시 유용하게 사용될 수 있다. 주요 결과는 현존하는

그린벨트 및 자연 식생을 유지하고 도시 공원을 더욱 배치하여 식생 회복 면적을 늘릴 경우 열파로 인한 건강 악화를 예방하고 에너지 소비를 저감하는 데 도움이 될 것임을 제안하고 있다. 향후에는 토지 회복 요소 외에도 다양한 환경적 요인들이 도시 열섬 현상에 영향을 미치므로 이에 대한 후속 연구가 수행된 필요성이 있다고 판단된다.

참고문헌

[저 서]

- 경기개발연구원, 2010, 지도로 보는 경기도 2010, 한울아카데미, 55.
- 국립기상연구소 기후연구과, 2009, 기후변화 이해하기.2, 한반도 기후변화: 현재와 미래 : 국립기상연구소 연구 성과를 중심으로, 국립기상연구소.
- 권영아, 2009, 도시와 기후; 김인·박수진 편, 도시해석, 푸른길, 419-421.
- 권용우, 2006, 수도권 변화, 보성각.
- 권혁재, 2007, 한국지리-우리 국토의 자연과 인문-, 법문사.
- 김수봉, 나정화, 정응호, 2007, 친환경적 도시계획 : 도시열섬연구, 문운당.
- 김영섭, 서애숙, 조명희, 1998, 원격탐사개론, 동아기술.
- 김인, 박수진, 2006, 도시해석, 푸른길.
- 서울 도시안전과, 2012, 2012 폭염 종합대책 백서.
- 이현영, 2000, 한국의 기후, 법문사.
- 임정호, 박종화, 손홍규, 2007, 원격탐사와 디지털 영상처리, 시그마프레스 (John R. Jensen, 2004, Introductory Digital Image Processing : A Remote Sensing Perspective, 3rd Edition, Prentice Hall).
- 채효석, 김광은, 김성준, 김영섭, 이규성, 조기성, 조명희, 2009, 환경원격탐사, 시그마프레스(John R. Jensen, 2000, remote sensing of the environment, prentice hall).
- 환경부, 1999, 인공위성영상자료를 이용한 토지피복분류.
- 환경부, 2003, 인공위성 영상 자료를 이용한 토지피복지도 구축. 4차, 낙동강 권역 토지피복지도 구축 사업.
- Landsburg, 1981, The Urban Climate, Academic Press, New York, USA, 275.
- Howard, L., 1818, The climate of London, deduced from Meteorological observations, made at different places in the neighbourhood of the metropolis, London, Vol.2.

Scaramuzza, P., Micijevic, E., Chander, G., 2004, SLC Gap-Filled Products Phase One Methodology, Landsat Technical Notes.

Thomas M. L., Ralph W. K., 1994, remote sensing and image interpretation, third edition, 585-596.

[논 문]

강준목, 가명석, 이성순, 박준규, 2010, Landsat 영상을 이용한 도심의 열변화 탐지, 한국측량학회지, 28(2), 197-206.

국토개발연구원, 1992, 수도권 공간구조의 재편성 방향, 국토연구, 10(4) 23-29.

곽영호, 2000, GIS를 이용한 수도권 도시·읍 지역의 도로망에 관한 연구 : 고속국도의 교통량을 중심으로, 국토지리학회지, 34(3), 193-205.

권영아, 이현영, 2001, 도시 녹지와 그 주변 기온의 공간적 분포 -서울 종로구 창경궁, 창덕궁, 종묘 주변을 사례로, 대한지리학회지, 36(2), 126-140.

권원용, 1979, 수도권개발과 산업배치정책, 도시문제, 14(10) 52-65.

권용우, 1987, 서울시민의 경기도지향이주가 수도권지역 변화에 미치는 영향, 응용지리, 10 1-125.

권용우, 2000, 수도권 통근권역의 공간적 범위, 1995~1997, 한국도시지리학회지, 3(1), 103-113.

권용우, 유환중, 2005, 한국의 도시체계변화와 도시관리 방향, 국토지리학회지, 39(1), 149-159.

권혁춘, 이병걸, 2009, Landsat TM 영상을 이용한 제주도 도심지역 지표면온도 분포와 식생지수의 상관성 분석, 한국지형공간정보학회지, 17(4), 39-44.

김대영, 2011, 위성영상을 이용한 토지피복과 지표온도 변화의 관계:인천을 사례로, 국토지리학회지, 45(3), 493-501.

김동현, 1977, 서울시 위성도시개발에 관한 연구, 연세대학교 석사학위논문.

- 김영표, 김순희, 1994, 인공위성 영상자료를 이용한 수도권 토지이용 실태분석, 한국공간정보학회지, 2(2), 135-145.
- 김윤수, 이광재, 류지원, 김정환, 2003, 도시확장 분석을 위한 위성영상 토지이용 분류기준 설정에 관한 연구, 한국지리정보학회지, 6(3), 83-94.
- 김윤수, 정응호, 류지원, 김대욱, 2005, 원격탐사 자료를 활용한 시가화지역의 변화에 관한 연구, 한국지리정보학회지, 8(2), 1-9.
- 김재광, 1969, 수도권을 중심으로한 낙농지역의 형성, 춘천교육대학교.
- 김정훈, 2002, GIS와 공간분석기법을 이용한 토지이용변화분석: 수도권주변지역을 사례로, University of Newcastle 박사학위논문.
- 김해동, 2011, 도시열섬의 환경평가와 도시기상관측시스템 구축방안, 기상기술정책 4(2), 31-42.
- 도후조, 이정민, 나정화, 2007, 도시 지표면 온도분포 특성 및 열섬완화방안, 한국환경과학회지, 16(2), 611-622.
- 박민호, 2001, Landsat TM 열적외 데이터를 이용한 도시열섬현상에 관한 연구 - 서울을 대상으로 -, 대한토목학회논문집, 21(6), 861-974.
- 박소영, 전성우, 최철웅, 2009, 행정구역 위계별 도시성장 패턴 및 특성 분석 : 1985~2005를 중심으로, 한국지리정보학회지, 12(4), 34-37.
- 박준규, 김민규, 2012, Gapfii 함수에 의한 SLC-off 영상 보정 및 활용성 평가, 한국산학기술학회논문지, 13(8).
- 사공호상, 김태진, 2004, 수도권 도시광역화 요인의 변화 연구, 국토연구, 278, 98-108.
- 손승호, 2003, 수도권의 통근통학통행과 지역구조의 변화, 한국도시지리학회지 6(1), 69-83.
- 송영배, 2002, 신도시 개발이 도시열섬 형성에 미치는 영향, 한국조경학회지, 30(4), 37-46.
- 송영선, 2005, Landsat 위성영상을 이용한 도시확장 및 지표온도 변화 탐지, 한국지형공간학회지, 13(4), 59-65.
- 안종욱, 최원욱, 도시개발수요에 대응한 수도권성장모형구축, 수도권연구, 7, 133-160.

- 안지숙, 황재동, 박명희, 서영상, 2012, Landsat7 ETM+ 영상과 AWS 자료를 이용한 부산의 토지피복에 따른 여름철 도시열섬포텐셜 산출, 한국지리정보학회지, 15(4), 65-77.
- 엄대용, 2006, 원격탐사 자료에 의한 지표온도추출 정확도 향상에 관한 연구, 한국지리정보학회지, 9(2), 159-171.
- 연상호, 1986, 원격탐사 기법에 의한 서울, 대전, 인천지역 토지이용 분류연구, 대한원격탐사학회지, 2(2), 69-77.
- 윤성탁, 김선오, 임상규, 2001, Landsat TM 영상자료를 이용한 평택 지역의 토지피복 현황 및 분류정확도 평가, 한국농림기상학회지, 3(3), 163-170.
- 윤장섭, 1967, 남서울지역 개발계획기준에 관한 연구, 대한건축학회지, 25 29-41.
- 윤정변, 1970, 특집-대도시권 위성도시개발의 방향 : 수도권도시의 위성도시문제, 대한지방행정공제회, 도시문제, 5(12) 14-25.
- 이광재, 조명희, 2004, 공간정보기술을 활용한 도시지역 지표온도 분포 특성 해석, 대한원격탐사학회지, 20(6), 397-408.
- 이병설, 환산명호, 죽내장사, 1984, 리모트센싱기법에 의한 서울대도시지역의 토지이용변화의 분석, 대한지리학회지, 19(2), 1-13.
- 이현영, 1989, 원격탐사기법에 의한 도시열섬 연구, 지리학, 40, 1-13.
- 이현영, 1995, 토지이용 변화가 국지기후에 미치는 영향, 대한원격탐사학회지, 11(3), 83-100.
- 이현영, 1997, 도시기후와 도시생태, 환경생태학회지, 11(2), 224-229.
- 이홍로, 김형무, 2005, Landsat 7 TM/ETM+ 위성영상을 이용한 군산지역 지표 온도와 NDVI에 대한 상관분석, 한국지리정보학회지, 8(2), 31-43.
- 조규영, 유선철, 노경식, 경기도 도시성장예측 및 응용방안에 관한 연구, 수도권연구, 7. 71-101.
- 조명희, 이광재, 김운수, 전병운, 2001, 원격탐사자료를 이용한 도시지역 토지피복과 열 분포 상관성 분석, 대한원격탐사학회지, 42-48.
- 조명희, 이광재, 김운수, 2001, 원격탐사자료와 GIS를 활용한 도시 표면온도의 공간적 분포특성에 관한 연구, 한국지리정보학회지, 4(1), 57-66.
- 조명희, 조운원, 김성재, 2009, 도시복원사업의 열 환경 변화 분석을 위한

- ASTER 열적외 위성영상 자료의 활용, 한국지리정보학회지, 12(1), 73-80.
- 전성대, 1968, 도시농업에 관한 지리학적 연구 - 수도권을 중심으로, 대한지리학회, 지리학 3, 19-29.
- 정재준, 노영희, 2007, GIS분석기법을 이용한 도시화 지역의 공간적 분포패턴에 관한 연구 : 수도권의 도시성장을 중심으로, 한국경제지리학회지, 10(3), 319-331.
- 정중철, 2013, 위성영상을 통한 서울 지표온도 분석, 환경영향평가, 22(1), 19-26.
- 지준범, 최용진, 2014, 수도권 지표 특성 분석을 위한 Landsat 자료의 활용, 한국지구과학회지, 35(1), 54-68.
- 지준범, 이규태, 최용진, 2014, 수도권 AWS 기온을 이용한 MODIS, Landsat 위성의 지표면 온도 분석, 대한원격탐사학회지, 30(2) 315-329.
- 채석순, 1970, 수도권 농업 지대획정에 관한 연구, 서울대학교 석사학위논문.
- 채효석, 송영수, 1999, Landsat TM 자료를 이용한 지표면 수문인자 변화 분석, 한국지리정보학회지, 2(3), 46-59.
- 최광용, 최종남, 권호장, 2005, 높은 체감온도가 서울의 여름철 질병 사망자 증가에 미치는 영향, 1991-2000, 대한예방의학회지, 38(3), 283-290.
- 최광용, 2006, 우리나라에 적합한 열파의 정의와 그 시.공간적 발생패턴, 대한지리학회지, 41(5) 527-544.
- 최광용, 권원태, 2006, 우리나라 사계절 개시일과 지속기간, 대한지리학회지, 41(4), 435-356
- 최광용, 2010, 지난 100년 동안 서울에 발생한 강한 열파 패턴과 노인사망자에 미치는 영향, 대한지리학회지, 45(5), 573-591.
- 최석근, 이승기, 2014, Landsat 8 OLI영상의 NDVI를 이용한 식생피복지수 분석, 한국측량학회지, 32(1), 9-17.
- 최승필, 양인태, 2003, Landsat TM 영상을 이용한 지표변화정보 추출, 한국측량학회지, 21(3), 261-267.
- 최운식, 1982, 수도권 지역의 인구 이동과 도시 공간 구조 연구, Université Paris-Sorbonne 박사학위논문.
- 최은영, 2004, 선택적 인구이동과 공간적 불평등의 심화 : 수도권을 중심으로,

- 한국도시지리학회지, 7(2), 57-69.
- 최진호, 조현주, 정환도, 2013, Landsat 열적외 영상자료를 활용한 대전시 열 환경 변화 모니터링, 환경영향평가, 22(5), 513-523.
- 홍춘식, 1969, 특집-수도권 인구집중 방지책과 지방도시 : 인구문제와 수도권정비계획 - 서울인구와 수도권 광역계획 -, 도시문제, 4(6) 40-53.
- 황만익, 1997, 인공위성 자료를 이용한 수도권의 도시화에 따른 토지이용 변화 분석, 대한지리학회지, 32(3), 329 - 340.
- 황만익, 2002, 수도권의 토지이용 변화 : 1900년대 초기와 현재의 비교 연구, 서울대학교 사대논총 제65집, 247-260.
- 황명찬, 1973, 수도권의 산업기능현황 : 수도권과 위성도시, 도시문제, 8(6) 22-40.
- Ahmed, M.R., Leung, Y., DENNIS, C. and Chunho LIU. 2008, A review on the generation, determination and mitigation of urban heat island, Journal of Environmental Sciences, 20(1), 120-128.
- Chander, G. and Markham, B.L., 2003, Revised Landsat-5 TM Radiometric Calibration procedures and postcalibration dynamic ranges, IEEE Transactions on Geosciences and Remote Sensing, 41, 2674-2677.
- Chander, G., Markham, B.L. and Helder, D.L., 2009, Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors, Remote Sensing of Environment, 113, 893-903.
- Changnon, S.A., Kunkel, K.E., and Reinke, B.C., 1996, Impacts and responses to the 1995 heat wave: A call to action, Bulletin of the American Meteorological Society, 77, 1497-1506.
- Xu. and Guo., 2014, Compare NDVI extracted from Landsat 8 imagery with that from Landsat 7 imagery, American Journal of Remote Sensing, 2(2), 10-14.
- Fei Y.and Marvin E.B., 2007, Comparison of impervious surface area and normalized difference vegetation index as indicators of surface urban heat island effects in Landsat imagery, Remote Sensing of

- Environment. 106(3), 375-386.
- John, A.A., 2003, Two decades of urban climate research: a review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island, 23, 1-26.
- Markham, B.L. and Becker, J.L., 1986, Landsat MSS and TM post-calibration dynamic ranges, exoatmospheric reflectances and at-satellite temperatures, EOSAT Landsat Technical Notes, 1, 3-7.
- Matthew, B., 2014, Early analysis of Landsat-8 thermal infrared sensor imagery of volcanic activity, Remote Sensing, 6(3), 2282-2295.
- Melesse, and Assefa M., 2004, Spatiotemporal dynamics of land surface parameters in the red river of the north basin, Physics and Chemistry of the Earth 29, 795-810.
- Nemani, R.R. and Running, S.W., 1989, Estimation of regional surface resistance to evapotranspiration from NDVI and thermal-IR AVHRR data, Journal of Applied meteorology, 28, 276-284.
- Oke, T.R., 1973, City size and the urban heat island, Atmospheric Environment, 7(8), 769-779.
- Offer, R., Zhihao, Q., Yevgeny, D., Arnon, K., 2014, Derivation of land surface temperature for Landsat-8 TIRS using a split window algorithm, Sensors, 14, 5768-5780.
- Mani, 2014, Estimation of Land Surface Temperature of Dindigul District using Landsat 8 Data, International Journal of Research in Engineering and Technology, 3(5), 123-126.
- Robert, D.B., 1968, Observations of the Urban Heat Island Effect in New York City, Journal of Applied Meteorology, 7(4), 575-582.
- Rosenfeld, A. H., J.J. Romm, H. Akbari, Pomerantz, M. and Taha, H., 1996, Policies to reduce heat islands: Magnitudes of benefits and incentives to achieve them, proceedings of the 1996 ACEEE summer study on Energy Efficiency in Buildings, August 1996, Pacific Grove,

- CA, 9, 177.
- Rouse, J.W., Haas, R.H., Schell, J.A. and Deering, D.W., 1974, Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS, Proceeding of the 3rd ERTS Symposium, 1, 48-62.
- Small, C. 2006, Comparative analysis of urban reflectance and surface temperature, remote sensing of environment, 104, 168-189.
- Suga, Y., Ohno, H. Ogawa, Ohno K. and Yamada. K., 2003, Detection of Surface Temperature from Landsat-7/ETM+. Adv. Space Res. 32(11), 2235-2240.
- Stott, P., Stone, D., and Allen, M., 2004, Human contribution to the European heat wave of 2003, Nature, 432, 610-614.
- UNEP(United Nations Environmental Programme), 2004, Impacts of summer 2003 heat wave in Europe, Environment Alert Bulletin, 2, 1-3.
- Voogt J.A. and Oke, T.R., 2003, Thermal remote sensing of urban climates, Remote Sensing of Environment, 86, 370-384.
- Qihao W., Dengsheng L., Jacquelyn S., 2004, Estimation of land surface temperature-vegetation abundance relationship for urban heat island studies, Remote sensing of Environment, 89(4), 467-483.
- Xiao L.C., Hong M.Z., Ping X.L. and Zhi Y.Y., 2006, Remote sensing image-based analysis of the relationship between urban heat island and land use/cover changes, Remote sensing of environment, 104(2), 133-146.

[Internet Web 자료]

기상청, 국내기후자료, <http://www.kma.go.kr>.

환경부, 토지피복분류, <http://egis.me.go.kr>.

<Abstract>

In this thesis, characteristics of three decadal (1984–2014) changes in mid-summer (late July ~ early August) surface skin temperature and normalized difference vegetation index (NDVI) derived from NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration)'s Landsat high resolution satellite imagery (Landsat) across the Seoul–Bucheon–Incheon metropolitan corridor and their associations are examined to reveal the impacts of urban sprawl on thermal environments. To do this, land cover, NDVI and surface skin temperature maps at four 10-year timing (July 30, 1984, July 26, 2004, July 29, 2004 and August 2, 2014) based on satellite imagery with little clouds are analyzed. The impacts of changes in land covers on urban thermal environments are analyzed through correlation analyses and regression analysis between NDVI and surface skin temperature data for the study period.

The analyses of Landsat satellite imagery demonstrate that for the 30-year period (1984–2014), urbanized areas have expanded by 19.8% in Seoul, by 39.9% in Incheon and by 40% in Bucheon, respectively, while vegetated areas have shrunk by 16.5% in Seoul, by 15.6% in Incheon and by 38.8% in Bucheon. The departures of surface skin temperature in the urbanized corridors from that in surrounding regions covered with vegetations have gradually increased for the study period from 1.1°C on July 30, 1984 to 1.7°C on July 26, 1994 to 2.1°C on July 29, 2004 to 2.3°C on August 2, 2014. Comparisons of slope values in simple regression lines between NDVI and surface skin temperature show that the sensitivity of urban thermal environments to vegetation has enhanced as the urbanized areas have increased in the study region. These results indicate that the areas in the Seoul–Bucheon–Incheon metropolitan corridor with high

temperature in mid-summer has increased due to the urban sprawls since late 20th century. This study accentuates the importance of managements on vegetated areas in the metropolitan in the context of the sustainable controls of mid-summer thermal environments in urban planning and urban renovation planning.

Key terms: urban sprawls, thermal environments, remote sensing, changes in land covers, changes in surface skin temperature, normalized difference vegetation index (NDVI), Seoul-Bucheon-Incheon metropolitan corridor.

감사의 글

“지금으로부터 20년 뒤, 당신은 한 일보다 하지 않은 일로 후회할 것이다.

그러니 배를 묶어둔 밧줄을 풀고 안전한 항구를 벗어나 항해를 떠나라,

뜻에 무역풍을 가득 담아 탐험하고, 꿈꾸고, 발견하라.”

- 마크 트웨인(Mark Twain, 1835.11.30. ~ 1910.04.21.)

설렘과 두려움을 안고 대학원에 진학한 지 벌써 2년 하고도 6개월 정도의 시간이 지났습니다. 제가 과연 학위 논문을 잘 마칠 수 있을지에 대한 걱정과 난관에 대한 두려움을 안고 논문을 쓰기 시작하였는데, 감사의 글을 쓰게 되면서도 논문이 마쳐진다는 것이 믿어지지 않습니다.

이 논문의 제목 밑에는 바로 저의 이름이 적혀 있지만, 이 학위 논문이 온전히 저의 것이라고는 생각하지 않습니다. 항상 저를 먼저 불러주셔서 깊은 상담을 해 주시고 아낌없이 조언을 해 주시며 지리교육전공에 대해 더욱 애착을 가지게끔 격려해주신 손명철 교수님께 감사드리며, 항상 위트 있는 말씀씨로 대화를 하실 때마다 저에게 긍정의 에너지를 주시며 바쁘신 와중에 심사위원장으로 좋은 조언을 해 주신 권상철 교수님께 정말 감사드립니다. 학부생 때부터 제가 정말 존경해온 김태호 교수님, 교수님을 뵈 때마다 무언의 겸손함과 세심함, 그리고 학자로서의 열정에 대해 많이 배웠습니다. 김교수님 역시 바쁘신 가운데 심사위원으로 저의 논문을 꼼꼼히 봐주시고 날카로운 코멘트를 많이 해주셔서 논문을 마무리 지을 때 많은 도움이 되었습니다. 자주 찾아뵙진 못했지만 따뜻한 미소를 지으시며 간간이 안부를 건네는 오상학 교수님께 특별한 감사를 드립니다. 그리고 논문을 진행할 때 세세한 것까지 신경써주시며 논문의 질을 높여 주시고 인생에 있어서 어떠한 길로 나아가야할지 몰랐던 저에게 아낌없는 조언을 해 주신 최광용 교수님께 감사의 말씀 드립니다. 교수님의 조언과 지도를 통해 연구가 무엇인지, 그리고 앞으로 연구를 할 때 어떻게 해야 하는지에 대해 많이 배우고 졸업합니다. 감사드립니다. 그리고 대학원실에서 언제나 저를 반겨 주시고 연구에 대한 아낌없는 조언을 해 주시며 저의 고민을 같이 걱정해주신

부혜진 선생님, 말로써는 잘 하지 못했지만 항상 감사하는 마음을 갖고 있고 연구뿐만 아니라 선생님과 대화를 하면서 정말 많이 배우고 연습니다. 그리고 처음 다뤄보는 GIS 프로그램인데 밤늦은 시간에도 프로그램에 대해 물어보면 성심성의껏 답해주고 연구의 방향과 방법에 대해 같이 고민해주며 문제 해결도 해주었던 고마운 정호, 선택의 기로에 섰을 때 아낌없이 조언해 준 근오 오빠도 정말 고맙습니다. 지금 독일에서 박사과정 하면서 어려운 공부를 하고 있는 현아, 내가 잘 다룰 수 없었던 R 프로그램을 가르쳐 주고 가끔 유럽의 좋은 풍경 사진을 보내주어 나에게 힘을 주어서 고마웠고 따끔한 충고 역시 고맙습니다. 그리고 힘들 때 마다 격려를 아끼지 않고 항상 내 편이 되어주어 논문을 쓸 때 많은 힘을 보태준 남자친구한테도 고마움을 전합니다. 어릴 때부터 저를 키워주시고 돌보아 주신 할머니, 장수하셔서 건강하게 오래오래 사시고 항상 고맙습니다. 그리고 항상 든든한 저의 버팀목이 되어 주시는 아낌없이 주는 우리 엄마, 아빠, 오빠, 항상 고맙고 감사하게 생각하고 있고 베풀어주신 은혜 효도로 보답하겠습니다.

논문을 쓰는 과정에서 난관에 부딪혔을 때 잘 해결할 수 있을까 하는 회의감을 지니며 분석을 진행하였습니다. 하지만 고마우신 분들의 격려와 도움 속에서 그 난관을 헤쳐 나갔습니다. 마크 드웨인의 말처럼 안전한 항구를 벗어나 무역풍에 몸을 기대 항상 꿈을 좇으며 실패를 두려워하지 않는 사회인으로서의 첫발을 내딛겠습니다. 저에게 도움을 주었던 모든 분들께 다시 감사드리고 사랑한다는 말 전하고 싶습니다.

