

도시기온 예측을 위한 토지이용 특성 분석

이슬기* · 정성관** · 박경훈*** · 이우성* · 김형준*

*경북대학교 대학원 조경학과 · **경북대학교 조경학과 · ***창원대학교 환경공학과

I. 서론

최근 산업이 발달하고 인구가 증가함에 따라 전 세계적으로 도시화가 빠르게 진행되고 있으며, 도시의 규모도 점차 거대해져 가고 있다. 이에 인구가 건물에 밀집되어 있는 도심지는 주변의 기온분포에 비해 높은 기온을 형성하게 되는데, 이러한 현상을 도시열섬이라고 한다(Kolokotroni *et al.*, 2006). 도시열섬현상은 도시개발을 위하여 자연환경을 인공환경으로 변화시킨 결과라 할 수 있다.

따라서 도시화가 기후에 미치는 영향을 정확하게 평가할 수 있는 방안과 열환경 관리에 관한 체계적인 연구가 필요한 실정이다. 이에 열환경에 관련된 많은 연구가 이루어졌으며, 도시 기후에 영향을 주는 여러 인자들의 회귀모형에 관한 연구가 선행된 바 있다(기경석, 2006; 차영화 등, 2009). 그러나 회귀 모형은 등분산성, 독립성, 정규성 등의 가정과 모수의 비선형에 대해 민감하게 반응하는 문제점이 있으며, 최적 모형을 선택하였는지에 대한 의문점 등이 제기될 수 있다(김태훈과 홍한국, 2004).

이러한 회귀분석의 문제점을 보완할 수 있는 새로운 방법론 중의 하나가 신경망 분석으로, 이는 입력변수가 불완전하고 변동의 폭이 넓은 경우에도 해석이 가능하며, 데이터 수가 적거나 불규칙한 경우에도 적용이 가능하다는 장점을 가지고 있다(김선주와 이상엽, 2008).

이에 본 연구에서는 도시기온과 토지이용 유형의 관계성을 분석하고 신경망을 활용하여 도시기온 예측모형을 구축하고자 하였다.

II. 연구방법

1. 연구수행과정

연구대상지는 창원시로 2010년에 성산구, 의창구, 마산합포구, 마산회원구, 진해구의 5개 행정구가 통합되었으나, 자료수집에서 요구되는 시간 및 자료의 부재 등으로 인해 통합전의 창원시를 대상으로 하였다.

먼저, 2007년 5월 13일 촬영된 Landsat 5 TM 위성영상으로

부터 NASA모형을 이용하여 지표온도를 추출하였으며, 토지 피복별 특성에 따른 고유 방사율을 적용하여 방사보정을 실시하였다(엄대용, 2006). 방사보정 후 산출된 지표온도와 AWS에 의해 측정된 기온의 관계성을 분석하여 영상에서 추출한 지표온도를 관측온도로 보정하였다.

이를 바탕으로 토지이용 유형별 평균기온을 분석하였으며, 기온이 높거나 낮은 토지이용 유형을 대상으로 기온 단면도를 작성하여 주변기온분포를 파악하였다. 다음으로 최적 신경망을 구축하기 위해 은닉층, 은닉노드, 활성화함수 등 제어인자를 고려하여 은닉층은 1층과 2층으로 구분하였으며, 은닉노드수는 입력노드수에 따라 달라지기 때문에 입력노드수의 1/4배, 1/2배, 1배, 1.5배, 2배, 2.5배로 제한하였다. 활성화함수는 은닉층과 출력층으로 나누어 쌍곡탄젠트, 시그모이드 함수를 각각 변화시키도록 하였다.

2. 방법론적 고찰

인공신경망은 인간의 신경체계와 유사한 특성을 가지고 있다. 신경체계가 단순한 신경세포들의 대단위 병렬연결로 이루어져 있듯이, 인공 신경망도 많은 처리요소 또는 노드로 이루어져 있다(유인환, 2006).

신경망은 은닉층, 은닉노드수, 활성화함수 등의 제어인자에 따라 서로 다른 신경망 구조를 가지게 된다. 은닉층을 도입하는 주된 목적은 입력 데이터를 바람직한 출력값으로 변화시키는 필터의 역할을 수행하는 것이며, 이는 데이터에 내재되어 있는 비선형적인 관계를 도출하는 수단으로 활용하기 위함이다.

은닉 노드수를 살펴보면, 노드수가 너무 많이 존재하면 일반화 능력이 부족한 네트워크를 생산하게 된다. 그러나 은닉노드수를 정확하게 결정할 수 있는 방법은 아직까지 존재하지 않으며, 가장 확실한 방법은 은닉노드수를 변화시켜 많은 시행착오를 통해 직접 확인하는 방법이다(정진경, 2003).

마지막으로 활성화함수는 은닉층에서 하위 은닉층 또는 입력층으로부터 신호를 전달받아서 다음 계층으로 전달하는 출력신호를 생성하는 함수로 쌍곡탄젠트 함수, 시그모이드 함수 등이 있다.

III. 결과 및 고찰

1. 토지이용 유형에 따른 열환경 평가

토지이용 유형별 평균기온을 분석한 결과(표 1 참조), 공업지역이 22.08℃로 가장 높게 평가되었으며, 이는 공업지역의 대부분이 불투수면으로 포장되어 있을 뿐만 아니라 공장에서 방출되는 방사열로 인해 기온이 상승하기 때문으로 판단된다(이우성 등, 2010). 반면 녹지지역은 19.22℃로 가장 낮게 평가되었다.

토지이용별 평균온도 분석 결과를 바탕으로 기온이 낮게 나타난 녹지지역과 기온이 높게 나타난 공업지역을 대상으로 기온단면도를 작성하였다(그림 1~그림 2 참조). 단면도 AA'의 거리는 약 2.8km로 반송공원 및 중앙동에 위치한 녹지지역을 중심으로 기온이 낮게 분포하였으며, 주거지역과 행정·상업지역 등 주변 시가지지역은 녹지지역보다 약 1.5~2.0℃ 정도 높게 분석되었다. 이는 날씨에 따른 녹지지역 주변 기온을 분석하여 흐린 날에는 1.4℃ 정도, 맑은 날에는 2.3℃의 기온차가 발생하였다는 선행연구와 유사한 결과이다(권영아, 2003).

단면도 BB'의 거리는 약 4.7km로 공업지역을 중심으로 기온이 높게 나타났으며, 공업지역에서 거리가 멀어질수록 기온

표 1. 토지이용 유형별 평균온도(단위: °C)

토지 이용	공업 지역	행정·상업 지역	주거 지역	교통 지역	농업 지역	나지	하천 및 호소	산림 지역
평균 온도	22.08	21.03	20.87	20.50	20.03	19.82	19.50	19.22

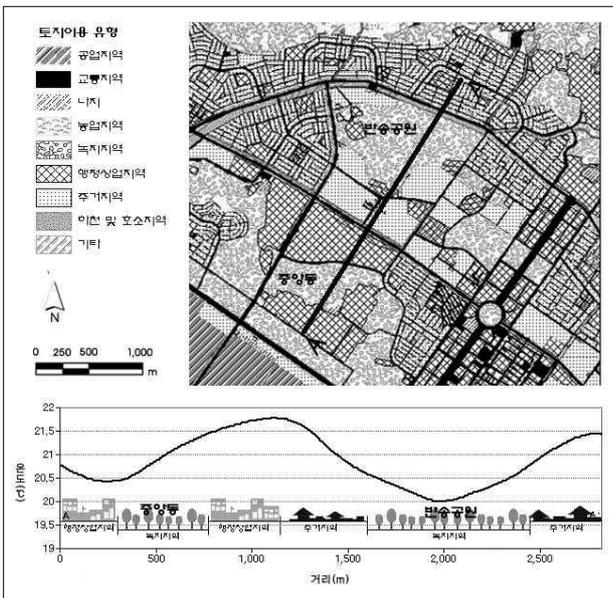


그림 1. 반송공원 주변기온현황

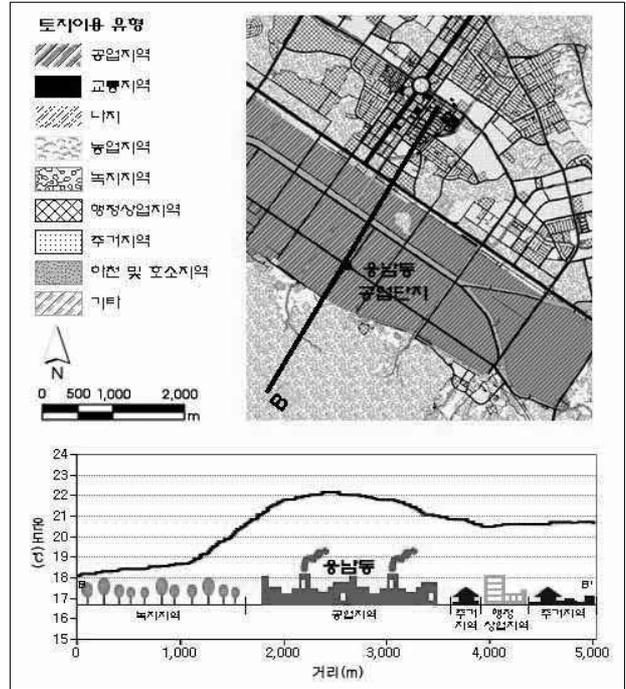


그림 2. 응남동 공업단지 주변기온현황

이 낮아지는 것으로 나타났다. 공업지역과 주변 시가지지역의 기온 차이는 약 2℃ 정도로 나타났으며, 주변 녹지지역은 약 4~5℃ 정도 낮은 기온을 가지는 것으로 분석되었다. 이는 주변에 위치한 공업지역의 영향뿐만 아니라 그 지역 내의 토지이용 유형에 따라 기온 차이가 발생하는 것을 의미한다.

2. 토지이용 유형을 고려한 예측모형

은닉층, 은닉노드수, 활성화함수에 따른 설명력의 변화를 분석한 결과는 표 2와 같이 나타났다. 활성화 함수에 따른 설명력 변화를 살펴보면, 은닉층의 활성화함수가 쌍곡탄젠트이고, 출력층의 활성화함수가 시그모이드 함수인 모형의 설명력이 전체적으로 높게 나타났다. 반면, 은닉층과 출력층의 활성화함수가 각각 시그모이드, 쌍곡탄젠트 함수일 경우 상대적으로 낮은 설명력을 가지는 것으로 분석되었다.

은닉노드수에 따른 설명력의 변화를 살펴보면, 활성화함수의 종류에 따라 적합한 은닉노드수가 다르게 나타났다. 은닉층과 출력층의 활성화함수가 모두 쌍곡탄젠트 함수인 경우 은닉노드수가 많아짐에 따라 비교적 설명력이 커지는 것으로 나타났다. 이는 유원재(1998)의 연구에서 활성화함수가 쌍곡탄젠트일 경우 노드수가 많을수록 설명력이 증가하는 경향을 보인다고 언급한 바 있다. 시그모이드 함수를 은닉층과 출력층의 함수로 사용할 경우, 은닉노드수가 12개일 때 83.1%로 높은 설명력을 가지는 것으로 나타났다. 이는 김영수 등(2003)의 연구에서 시그모이드 함수를 사용하였을 때 입력변수의 1.5배일 경우

표 2. 은닉층과 활성화함수에 따른 설명력(단위: %)

은닉층	활성화 함수 은닉노드수	은닉층	쌍곡 탄젠트	시그 모이드	쌍곡 탄젠트	시그 모이드
		출력층	쌍곡 탄젠트	시그 모이드	시그 모이드	쌍곡 탄젠트
1층	2개		80.6	81.3	81.5	80.9
	4개		82.2	81.9	82.9	80.2
	8개		82.0	83.0	82.9	80.5
	12개		82.6	83.1	82.8	81.4
	16개		84.0	81.5	84.2	81.0
	20개		84.1	81.3	82.8	80.9
	2~2개		82.4	81.6	82.4	81.9
	2~4개		82.4	80.8	80.1	80.6
	2~8개		81.0	80.5	81.3	81.3
	2~12개		82.0	80.9	81.8	81.1
2층	2~16개		82.1	81.6	82.4	80.9
	2~20개		81.7	81.2	81.6	80.2
	4~2개		82.6	82.9	82.8	81.5
	4~4개		82.2	82.2	84.0	80.5
	4~8개		83.3	82.6	82.8	82.2
	4~12개		81.6	81.6	83.6	80.1
	4~16개		81.6	81.4	82.3	80.4
	4~20개		81.6	83.2	82.4	80.4
	8~2개		83.8	82.6	84.3	82.7
	8~4개		84.5	82.3	83.4	82.2
	8~8개		83.1	83.1	82.7	81.4
	8~12개		83.2	82.8	83.5	81.9
	8~16개		81.3	80.5	82.5	82.3
	8~20개		82.6	81.7	82.5	80.9
	12~2개		83.8	82.2	83.0	81.6
	12~4개		84.1	82.0	83.9	82.0
	12~8개		82.5	80.6	82.4	83.4
	12~12개		83.2	83.6	82.8	81.4
	12~16개		83.7	80.3	83.7	81.0
	12~20개		83.4	83.6	84.0	81.3
	16~2개		83.1	83.7	84.3	81.5
	16~4개		84.1	83.5	83.7	81.6
	16~8개		83.3	81.1	83.9	81.1
	16~12개		83.5	81.7	83.5	81.1
	16~16개		83.8	83.2	83.6	81.4
	16~20개		84.7	80.9	84.6	81.4
	20~2개		84.1	82.7	84.0	81.0
	20~4개		83.5	83.0	82.2	82.6
	20~8개		84.3	81.5	83.7	81.4
	20~12개		83.9	82.0	83.2	81.6
20~16개		84.0	83.1	83.1	81.4	
20~20개		83.7	82.2	83.8	81.6	

가 설명력이 가장 높게 분석된 결과와 일치함을 알 수 있다. 마지막으로 은닉층에 따른 예측모형을 분석한 결과, 대체로 은닉층이 2개일 경우가 은닉층이 1개일 경우보다 높은 설명력을 가지는 것으로 나타났다.

따라서 최적 신경망 모형은 설명력이 84.7%로 가장 높게 나타난 은닉층이 2개, 은닉노드수가 16~20개, 은닉층과 출력층의 활성화함수가 쌍곡탄젠트 함수인 모형으로 선정하였다.

최종적으로 구축된 신경망 모형의 변수별 중요도를 살펴보면, 공업지역, 녹지지역, 교통지역 등의 순으로 분석되었다(그

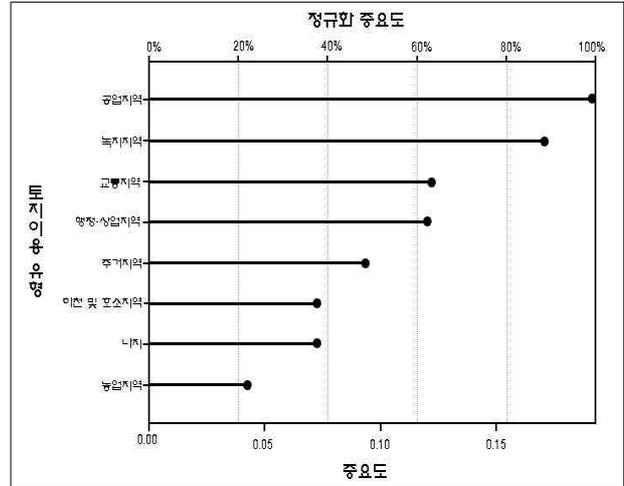


그림 3. 변수별 중요도

림 3 참조). 특히 공업지역과 녹지지역의 영향력이 다른 변수에 비해 상대적으로 매우 높게 분석되어 향후 열환경을 고려한 토지이용 계획에 있어서 공업지역과 녹지지역에 대한 고려가 중요할 것으로 판단된다.

이상의 결과를 토대로 볼 때, 토지이용 유형에 따라 도시기온이 변화되기 때문에 이를 고려한 토지이용 계획이 필요할 것으로 사료된다.

IV. 결론

본 연구는 인공 신경망을 활용하여 공업지역, 녹지지역 등 8개의 토지이용 유형에 따른 도시기온 예측모형을 구축하였다.

토지이용 유형별 평균기온 분석 결과, 공업지역의 평균기온이 22.08°C로 가장 높게 나타난 반면, 녹지지역은 19.22°C로 다른 지역에 비해 낮게 평가되었다. 이 두 토지이용 유형의 단면도 분석 결과, 녹지지역은 주변 행정·상업 및 주거지역보다 약 1.5~2.0°C 낮게 나타났으며, 공업지역의 경우 주변 시가지지역과는 약 2°C, 주변 녹지지역보다 약 4~5°C 정도 높은 기온을 가지는 것으로 평가되었다.

모형의 설명력에 영향을 미치는 은닉층, 은닉노드수, 활성화함수 등 3개의 제어인자를 고려하여 신경망 모형을 분석한 결과, 최적 신경망은 설명력이 84.7%로 가장 높게 나타난 은닉층이 2개, 은닉노드수가 16~20개, 은닉층과 출력층의 활성화함수가 쌍곡탄젠트 함수인 모형으로 선정되었다. 한편, 최적 신경망 모형의 변수별 중요도는 공업지역, 녹지지역, 교통지역 등의 순으로 토지이용 유형에 따라 기온의 차이가 발생하는 것으로 평가되었다.

이러한 분석 결과를 토대로 도시기온 예측모형을 구축함으로써 열환경을 완화할 수 있는 정책적 방향 제시 및 대안 마련을 위한 기초자료로서 활용성이 있을 것이다.

인용문헌

1. 권영아(2003) 서울의 도심복지가 주변기온에 미치는 영향. 건국대학교 대학원 석사학위논문.
2. 기경석(2006) 대도시 외곽지역 논경작지의 토지이용 및 피복변화에 따른 온도변화모형 연구. 서울시립대학교 대학원 석사학위논문.
3. 김선주, 이상엽(2008) 오피스 임대료 결정 모형에 관한 연구 - 회귀분석과 신경망 이론을 중심으로. 지역연구 24(2): 3-26.
4. 김영수, 정우섭, 정환철, 임안식(2006) 인공신경망을 이용한 연약지반의 지반설계계수 예측. 대한토목학회지 26(2): 81-88
5. 김태훈, 홍한국(2004) 회귀모형과 신경망모형을 이용한 아파트 가격모형에 관한 연구. 국토연구 43(2): 184-200.
6. 엄대용(2006) 원격탐사 자료에 의한 지표온도추출 정확도 향상에 관한 연구. 한국지리정보학회지 9(2): 159-171.
7. 유인환(2006) 인공 신경망에 의한 시계열자료의 수요예측. 연세대학교 대학원 석사학위논문.
8. 유원재(1998) 신경망 구조에 대한 모형선택. 경일대학교 대학원 석사학위논문.
9. 이우성, 정성관, 박경훈, 김경태(2010) 친환경적 공간계획을 위한 도시의 열환경 분석. 한국지리정보학회지 13(1): 142-154.
10. 정진경(2003) 인공 신경망 기법을 통한 규칙에 관한 연구. 이화여자대학교 대학원 석사학위논문.
11. 차영화, 김학열, 허태영(2009) 토지이용, 토지피복 특성이 서울시 도시기온에 미치는 영향. 서울도시연구 10(4): 107-120.
12. Kolokotroni, M, I. Giannitsaris, and R. Watkins(2006) The effect of the London urban heat island on building summer cooling demand and night ventilation strategies. Solar Energy 80(4): 383-392.