

도시 생태환경특성 분석을 통한 생태지수 산정

김경태* · 정성관**

*경북대학교 환경과학기술연구소 Post-Doc · **경북대학교 조경학과

I. 서론

우리나라는 도시가 개발·형성되는 단계에서부터 급속한 산업화와 불균등한 국토개발에 의해 심각한 자연생태계 파괴를 경험하였다. 특히, 인구증가에 의한 주택용지의 부족은 도시의 외연적 확산을 초래하고, 무분별한 도로 건설과 택지개발 등은 녹지공간의 축소 및 생태계 파괴로 이어지고 있다(최병두 등, 1996).

현재 우리나라는 무분별한 도시개발 사업에 의해 도시생태계가 훼손되는 것을 예방하기 위한 법제도로써 ‘환경영향평가법’, ‘사전환경성검토’, 도시계획법에 의한 ‘개발행위허가’에 관한 기준 등이 있다. 하지만 현재의 시행방법 및 운영체계로는 도시생태계 보전 효과를 기대하기 어려운 것이 사실이며, 도시환경에 대한 친환경성을 확보하기에는 미흡한 부분이 많은 실정이다(한국환경정책·평가연구원, 2004).

따라서 국토 및 도시의 생태문제를 원천적으로 해결하기 위해서는 기능과 토지이용의 효율성만을 중시하던 기존의 공간계획과는 달리 원천적으로 자연환경을 보전할 수 있는 환경생태계획의 도입이 절실하며, 생태환경의 질을 정량적으로 가늠할 수 있는 생태적 지표의 개발이 필수적이라고 할 수 있다(박순미, 2009). 최근 국내에서도 도시의 환경친화성을 평가하기 위하여 환경 및 생태지표 선정과 이를 통한 도시환경성 평가에 대해 많은 연구를 수행하고 있으나(정응호, 1998; 이재준, 2005; 김옥규 등, 2007), 이들은 단순히 평가항목만을 제시하는데 그치거나, 도시를 하나의 단위공간으로 보고 전체 차원에서의 평가를 실시해 사실상 도시내 공간계획인 환경생태계획에의 활용 가능성은 미미한 상태라 할 수 있다.

따라서 본 연구는 창원시를 대상으로 정밀한 생태환경 조사 및 분석을 실시하여 생물서식지로서의 가치와 열섬완화, 바람통로 등 다양한 생태적 기능을 가진 도시공간을 파악하고, 이들 공간의 생태지수 산정을 통해 생태환경적 질의 정량적 평가 방법 및 생태적 가치 판단의 근거를 제공하고자 한다.

II. 연구과정 및 방법

본 연구는 경상남도 중부 남단에 위치한 창원시¹⁾를 대상으로



그림 1. 연구과정

로 이루어졌다. 창원시는 최근 기성시가지의 재개발 및 부도심 권 개발 수요의 증가 등에 따라 자연생태계 훼손과 단절 및 생물다양성 감소 등 도시생태의 건전성 악화가 우려되고 있는 실정이다.

연구과정은 그림 1과 같이 도시생태평가에 관련된 제반이론과 국내·외의 적용사례를 토대로 도시생태계를 형성하고 있는 생태계 유형을 분류하였으며, 각각의 생태계를 평가할 수 있는 지표를 선정하였다(Beven and kirky, 1979; Sutherland, 1995; Jensen *et al.*, 2000; <http://www.dnr.state.md.us/greenways/gi/gi.html>). 이를 토대로 GIS와 RS 기법을 활용하여 각 지표별 도시환경특성을 분석하였으며, 생태지수 산정을 통해 환경특성에 따른 생태적 가치를 평가하였다.

구체적으로 살펴보면, 도시환경특성 평가를 위한 도시생태계는 선행연구를 바탕으로 생태적 기능에 따라 식물생태, 동물생태, 수순환생태, 공기순환생태, 에너지생태 총 5개 분야로 구분하였다. 식물생태분야는 식물의 건강성과 풍부성을 기준으로 평가하였으며, 동물생태분야는 동물의 서식처가 되는 녹지의

연계성 및 조류와 양서·파충류의 서식환경분석을 통해 평가하였다. 수순환 시스템의 구성요소인 표면유출, 증발산, 침투, 저류는 수순환생태계의 평가지표로 활용되었으며, 공기순환생태는 찬공기의 생산성과 이동 및 정체성 분석을 통해 평가하였다. 그리고 에너지생태분야에서는 지표면의 방사열 및 일사량 분석을 통해 에너지의 소비와 가용성을 평가하였다.

한편, 각 생태분야의 도시환경특성 평가결과는 평가단위 및 산정방식의 차이에 기인하여 상호비교 및 통합이 불가능하므로 생태지수의 산정을 통해 도시공간이 가지는 생태적 가치를 평가하였으며, 이를 종합하여 종합생태지수를 산정하였다.

생태지수의 산정은 지표별로 일정한 목표치(target)를 설정하고 목표치의 달성여부를 0~100의 척도로 환산해 그 달성도를 평가하는 환경성과지수(Environment Performance Index: EPI)의 산정방식을 이용하였다. 산출식은 지표의 속성값에 의해 달라지는데, 식생활력이나 녹피울 등 지표의 속성값이 클수록 생태적으로 긍정적인 영향을 나타내는 지표는 식 1의 산정식을 통해 생태지수를 산정하고 불투수면적률, 지표온도 등 지표의 속성값이 클수록 생태적으로 부정적인 영향을 보이는 지표는 식 2의 산정식을 통해 생태지수를 산정하였다(<http://envirocenter.research.yale.edu>).

$$\text{생태지수} = 100 - \frac{(T - V)}{(T - \text{Min})} \times 100 \quad \text{식 1}$$

$$\text{생태지수} = 100 - \frac{(V - T)}{(\text{Max} - T)} \times 100 \quad \text{식 2}$$

여기서, $T = \text{Target value}$
 $V = \text{Winsorized value}$
 $\text{Min} = \text{Minimum winsorized value}$
 $\text{Max} = \text{Maximum winsorized value}$

III. 결과 및 고찰

1. 분야별 생태지수 산정

1) 식물생태

식생의 건강성을 나타내는 식생활력도와 풍부성을 나타내는 녹피울을 통해 식물생태지수를 평가한 결과(그림 2(a) 참조), 대상지 전역에 고루 분포하고 있는 산림지역은 대부분이 80 이상의 생태지수로 나타났으며, 이들 산림의 외곽 경계부와 도심지로 이어지는 연결녹지 및 완충녹지는 60 이상의 생태지수로 분석되었다.

구체적으로 살펴보면, 도심지의 경우 사과동, 가음정동 등 아파트단지가 밀집한 지역의 생태지수는 20 이상인 것에 반해 명곡동과 봉림동 등 단독주거지역의 식물생태지수는 20 미만의 지역이 대부분을 차지하는 것으로 분석되었다.

한편, 교외지역의 주요 토지이용 패턴인 산림과 농경지는 대부분 생태지수 40 이상의 분포를 보이는 것으로 나타났으며, 산림 외곽부에서 산림중심부로 갈수록 생태지수가 높아지는 경향을 보이고 있었다. 농경지의 경우는 대부분 60 미만의 생태지수를 나타내고 있으나, 시설농경지가 위치한 대산면 일부 지역은 도시지역과 같이 20 미만의 생태지수를 보이는 것으로 분석되었다.

2) 동물생태

동물생태지수는 동물의 이동성과 관련하여 녹지의 연계성을 나타내는 산림거리비용과 생물종의 서식환경을 나타내는 조류 및 양서·파충류의 서식환경분석도를 통해 산정되었다.

분석결과(그림 2(b) 참조), 정병산, 대암산, 불모산 등 대규모의 산림과 더불어 교외 지역에 위치한 산림의 내부지역은 60 이상의 생태지수로 분석되었으며, 생태지수 80 이상으로 매우 양호한 동물생태계를 형성한 지역은 불모산저수지와 진해저수지 등 창원시 전역에서 극히 일부 지역에 국한되어 있는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 도시근교에 위치한 산림에서의 도로건설, 대규모 택지조성 등 인간의 개발행위에 따른 서식처 감소 및 질의 저하가 가장 큰 원인으로 판단된다.

특히, 북면의 경우 산림면적률이 60% 이상을 차지함에도 불구하고 산림내 경작지의 확산 및 도로건설 등에 의해 진행된 산림파편화로 인해 대규모 산림의 경우라 할지라도 중심부에 근접해서야 60 이상의 생태지수를 나타내고, 경계부에서는 60 미만의 지역이 대부분을 차지하고 있는 것으로 분석되었다. 따라서 이들 지역의 보전녹지설정 및 생태통로 계획을 통해 창원시에 분포하는 동물의 최소행동반경에 해당하는 산림서식지 및 연결성 확보방안이 마련되어야 할 것으로 판단된다.

3) 수순환생태

수순환생태지수는 수순환 시스템 체계인 유출, 증발산, 침투, 저류를 나타내는 표면유출량, 생태면적률, 불투수면적률, 토양습윤지수 분석을 통해 산출되었다.

수순환생태지수를 산출한 결과(그림 2(c) 참조), 인간의 개발압력이 미치지 않은 지역, 즉 자연 그대로의 모습을 간직하고 있는 산림 및 자연저수지 등은 생태지수 80 이상의 건전한 수순환생태계를 형성하고 있는 것으로 나타났으며, 농경지는 60, 나지는 40 등 인간의 개발정도에 따라 생태지수가 점점 하락하는 경향을 보이는 것으로 분석되었다.

특히, 상남동은 도시민의 이용성 향상을 위한 포장면적 확대와 도로의 확충 등 불투수면적의 증가로 인해 가장 낮은 지수값을 보이고 있어 향후 투수성 포장재의 도입을 통한 물순환개선 및 녹지면적 확충방안이 마련되어야 할 것으로 판단된다.

4) 공기순환생태

야간에 시원한 찬공기를 생성하는 생산성과 이러한 찬공기

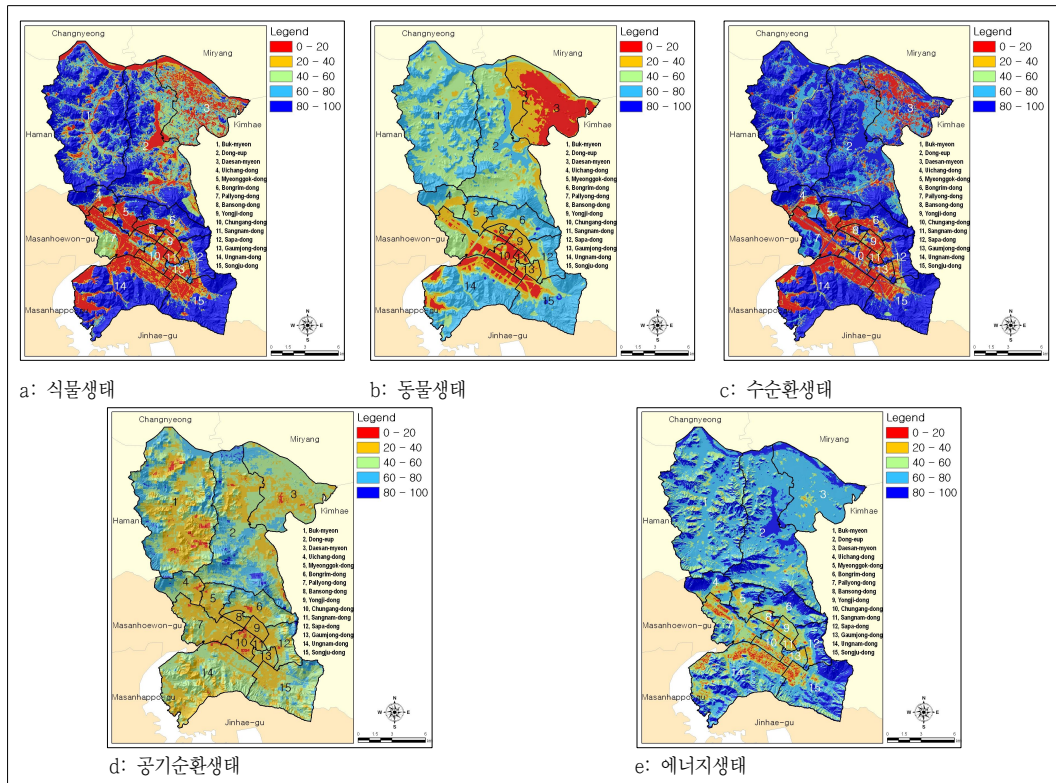


그림 2. 분야별 생태지수

의 이동성 및 정체성 평가를 통해 산정된 공기순환생태지수는 토지이용패턴과 지형적 형태에 의한 영향을 가장 많이 받는 것으로 나타났다(그림 2(d) 참조). 일례로 생태지수 20 미만의 지역은 북면과 대산면 그리고 중앙동 일대에 가장 많이 분포하는 것으로 분석되었는데, 북면의 경우는 산림에 의해 둘러싸인 지형적 요인이 생태지수를 저하시키는 원인으로 작용하였으며, 대산면과 중앙동 일대는 도시적 토지이용 즉, 불투수포장면의 증가와 밀집된 건물 등에 의한 영향으로 공기순환생태지수가 낮게 나타난 것으로 판단된다.

한편, 도심을 둘러싸고 있는 대암산과 불모산의 계곡부는 생태지수 60 이상의 지수값을 보이고 있으며, 구룡산 동쪽과 정병산 북쪽은 80 이상의 지수값을 나타내 찬바람 생성이나 이동 등 공기순환생태에 긍정적 영향을 미치는 것으로 나타났다.

5) 에너지생태

에너지생태지수는 지표면으로부터 방출되는 방사열 추출을 통한 에너지의 소비성 평가 및 일사량 분석에 따른 태양에너지의 가용성 평가를 활용해 산정하였다.

에너지생태지수를 산정한 결과(그림 2(e) 참조), 교외지역은 생태지수 60 이상의 값을 가진 지역이 대부분을 차지하고 있어 에너지생태의 건전성이 양호한 것으로 나타났다. 특히, 산림의 남사면 및 낙동강 수계지역과 주남저수지, 동판저수지 등의 대규모 수공간은 80 이상의 지수값으로 분석되어 향후 이들 지역

의 에너지생태 건전성을 유지·보전할 수 있는 친환경적 공간 계획이 필요할 것으로 판단된다.

반면, 시가화 지역은 대부분 40 미만의 생태지수 값으로 나타났다. 팔용동, 응남동, 성주동 등 공업단지가 입지한 지역과 반송동, 상남동, 가음정동 등 아파트단지가 밀집한 지역은 20 미만의 지수값으로 전체 지역에서 가장 낮은 에너지생태지수 값을 보이는 것으로 분석되었다. 이는 공업시설과 같이 많은 양의 에너지를 사용하는 곳 못지않게 아파트와 같은 집약적 공간의 에너지소비 또한 크다는 것을 의미하는 것으로써 향후 이들 지역으로부터 방출되는 미활용에너지의 활용방안 마련이 필요할 것으로 판단된다.

2. 종합생태지수 산정

종합생태지수는 식물, 동물, 수순환, 공기순환, 에너지 등 생태계를 형성하는 5개 분야 개개의 지표들로부터 산정된 지수값을 중첩분석하여 산정하였으며, 이때 지표별 가중치는 등가중치를 적용하였다.

종합생태지수의 공간적 분포패턴을 살펴보면(그림 3 참조), 80 이상의 지수값으로서 전체적으로 가장 건전한 생태계를 형성하고 있는 지역은 불모산, 대암산, 천주산 및 구룡산과 백월산 등의 정상부에 위치하는 것으로 나타났다. 종합생태지수 60~80의 값으로 산정된 지역은 창원시 외곽에 분포하는 산림과 그

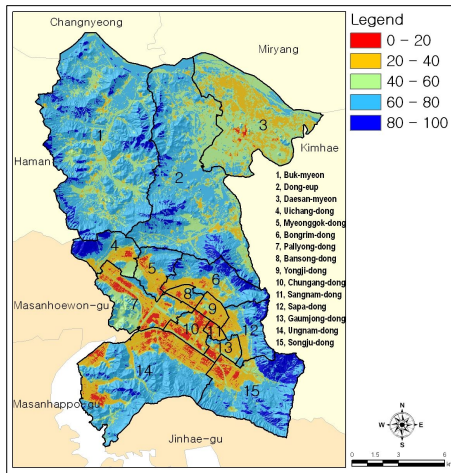


그림 3. 종합생태지수

주변 경계부 그리고 근린공원과 원충녹지와 같이 시가지 내에 남아있는 잔존녹지 등으로 분석되었으며, 북면 및 대산면 일대의 농경지와 시가지지역 내 일부 녹지는 40~60 사이의 생태지수를 보이는 것으로 나타났다.

시가지 지역은 일부 녹지를 제외한 대부분의 지역에서 40 미만의 생태지수를 보였는데, 특히 남쪽에 입지한 대규모 공업단지 및 중앙동과 상남동의 중심 상업지구에서는 20 미만의 생태지수를 보이는 지역이 다수 분포하고 것으로 분석되었다.

이러한 결과는 집약적 토지이용에 따른 녹지의 감소 및 불투수면의 증가에 기인한 것으로써 녹지의 감소는 동·식물서식처의 감소와 직결되어 작용하고 불투수면의 증가는 우수의 표면유출 증가 및 침투능의 저하를 가져와 수순환체계의 왜곡을 초래하기 때문이다. 뿐만 아니라 토지이용의 효율성 확대를 위한 고층건물의 밀집된 구조는 에너지 소비의 증가와 더불어 바람의 흐름과 이동을 방해해 공기순환생태에 부정적 영향을 끼치기 때문이다. 그러나 현재의 공간계획 상 자연투수지역 및 대규모 녹지의 확보를 통한 환경개선은 사실상 어려운 현실에 놓여 있으므로 주차장 등과 같은 불투수포장지역은 투수성 포장재로의 전환을 통해 자연투수지역을 확보하고 옥상녹화계획을 활용한 녹지량 확보방안을 검토해야 할 것으로 판단된다.

IV. 결론

본 연구는 생물서식지, 열섬완화, 바람통로 등 도시공간의 다양한 생태적 가치를 정량적으로 평가하고자 창원시를 대상으로 생태지수를 통한 도시환경평가를 실시하였다.

분석결과, 명곡동과 봉림동 등 단독주거지역은 20 미만의 식물생태지수값을 보인 지역이 대부분을 차지하고 있는 반면, 산림 및 대산면 일대에 분포하고 있는 경작지 내 잔존녹지는 생

태지수 80 이상의 건전한 식물생태계를 형성하고 있는 것으로 나타났다. 한편, 창원시 전역에 분포하는 산림은 대부분 60 이상의 동물생태지수를 보이고 있으며, 수순환생태지수 분석결과에서는 80 이상의 값을 보였다. 구룡산 동쪽과 징병산 북쪽은 80 이상의 공기순환생태지수값을 나타내 이들 지역이 찬바람 생성이나 이동 등 공기순환생태에 긍정적 영향을 미치는 것으로 분석되었으며, 팔용동, 응남동, 성주동 등 공업단지가 입지한 지역과 반송동, 상남동, 가음정동 등 아파트단지가 밀집한 지역은 전체지역에서 가장 낮은 에너지생태지수 값을 보이는 것으로 분석되었다.

종합생태지수 분석결과, 가장 건전한 생태계를 형성하고 있는 지역은 불모산, 대암산, 천주산 및 구룡산과 백월산 등으로써 80 이상의 생태지수를 보이고 있으며, 대규모 공업단지 및 중심 상업지구가 위치한 중앙동, 상남동은 20 미만의 생태지수를 보이는 지역이 다수 분포하고 있어 생태적으로 가장 열악한 환경에 처해 있는 것으로 분석되었다. 따라서 이들 지역의 녹지수가 사업 및 불투수포장면의 개선사업을 통해 생태적 건전성을 향상시킬 수 있는 생태계획이 필요할 것으로 판단된다.

주 1. 현재 창원시는 2010년 7월 1일 기존의 창원시와 마산시·진해시가 통합하여 인구 108만 명의 거대 기초자치단체로 재편되었다. 본 연구에서는 기존의 창원시를 '창원시'라 명명하고, 2010년 통합된 창원시를 '통합창원시'로 명명하여 도시의 공간적 위계를 달리 정의하였다.

인용문헌

1. 김옥규, 최현, 홍종환, 최병주, 황희연(2007) 생태도시·단지조성의 시공성 및 경제성 평가에 관한 연구. 대한건축학회 논문집(계획계) 23(9): 193-200.
2. 박순미(2009) 지구단위계획에서의 환경성 지표 개선방안에 관한 연구. 경원대학교 대학원 석사학위논문.
3. 이재준(2005) 한국형 생태도시 계획지표 개발에 관한 연구. 국토연구 40(4): 9-25.
4. 정응호(1998) 생태도시개발을 위한 환경질지표설정에 관한 연구. 계명대학교 산업기술연구소 논문보고집 21(1): 181-194.
5. 최병두, 이상현, 구자인, 조은숙(1996) 도시환경문제와 생태도시의 대안적 구상. 도시연구 2: 221-258.
6. 한국환경정책·평가연구원(2004) 지역환경보전을 위한 환경계획과 환경평가의 연계방안 연구.
7. Beven, K. J. and M. J. Kirkby(1979) A physically based, variable contributing area model of basin hydrology. Hydrological Sciences Journal 24: 43-69.
8. Jensen, M. B., B. Persson, S. Guldager, U. Reeh, and K. Nilsson(2000) Green structure and sustainability—developing a tool for local planning. Landsc. Urban Plann 52: 117-133.
9. Sutherland, R.(1995) Methodology for estimating the effective impervious area of urban watersheds. Technical Note 58. Watershed Protection Techniques 2(1): 282-284.
10. <http://www.dnr.state.md.us/greenways/gi/gi.html>
11. <http://enviro.center.research.yale.edu>