

생태 네트워크를 기반으로 한 대체습지 적지 분석

- 과학시를 대상으로 -

이정아* · 진진형**

*고려대학교 대학원 · **고려대학교 환경생태공학부

I. 서론

20세기 후반부터 지속가능성 및 미래 세대를 위한 생태계 보존을 위해 ESSD개념을 근간으로 생태계 건강성 향상을 통해 인간의 삶의 질 향상을 위한 구체적인 실천 전략들이 수립되고 있다. 조정 계획과정에서 전문가들은, 그동안 버려진 땅, 쓸모없는 땅으로 취급하여 훼손되어 온 습지의 가치를 발견하고, ESSD 개념을 실현하기 위한 실천 전략으로 지속가능한 조경 계획을 위한 습지 보전 및 복원에 관심을 기울이고 있다.

습지는 수 생태계, 수변 생태계, 육상 생태계의 전이 지대로 (Cowardin et al., 1979), 생물의 성장기를 포함한 상당기간 동안 물이 지표면을 덮고 있거나 지표 가까이 혹은 주변에 지하수가 분포하는 생물 종 다양성이 높은 소 생태계이다(구본학, 2002; Mitsch and Gosselink, 1993). 야생동식물의 주요 서식공간이 되는 습지는 수질정화, 지표수 공급 및 유량 조절을 통한 홍수 예방, 기후 조절, 레크리에이션 장소 제공과 같은 기타 여가·심미적 기능 등 다양한 가치를 지니고 있어 지속가능한 조경 계획을 위해 여러 분야에서 습지를 보전하고 복원하기 위한 노력이 진행되고 있다.

습지를 보전하고 복원하기 위한 노력의 일환으로 '대체습지(Wetland replacement)'의 개념이 등장하였으며, 이는 토지이용 계획 시 여러 가지 개발 계획으로 인하여 불가피하게 습지가 훼손될 때 개발 면적에 상응하는 새로운 습지를 조성하거나 혹은 훼손된 습지를 조성, 복원, 또는 습지의 기능을 향상 시키는 것을 의미한다(김귀근, 2004). '대체습지'의 개념은 '습지 총량제(No Net Loss of Wetlands)'의 도입과 함께 습지의 기능과 가치를 보전하여 습지의 현명한 이용을 제안하는 방안이라고 할 수 있다. 이러한 습지 총량제 도입의 근본 원인은 개발로 인해 훼손되고 파편화 되는 생물 서식 공간, 즉, 습지의 복원을 통해 지속가능성을 회복하기 위한 것으로 광역 생태계의 범위에서 생태계의 공동화 및 생태적 연결성에 미치는 영향력에 대한 고려가 필요하다.

광역 생태계의 범위에서 생태계 네트워크와 같은 생태적 문제를 해결하기 위하여 최근 토지이용계획이나 경관 조경계획, 생태복원계획, 환경영향평가 등 다양한 분야에서 경관생태학적

이론을 활용하고 있다. 특히, 자연자원을 기반으로 광역적인 차원에서 자연 환경 복원에 관한 계획을 세울 때 경관 생태학적 접근 방식에서 제시하는 생태 네트워크계획 등과 같은 방법이 유용하다. 생태 네트워크 계획은 녹지의 연결성이나 방향성을 고려하여 서식지간의 유기적 연결성을 높이는 방식으로 고안된 계획 방법으로(Fabos, 1995), 생태·경관적으로 중요한 지역의 연계성을 높여 생태적 건강성을 도모하기 위한 방법이라고 할 수 있다(오규식 등, 2009).

따라서, 본 연구의 목적은 지속가능한 공간 계획을 위하여 생태 네트워크 계획을 기반으로 대체습지 조성 가능 지역을 탐색하는 방안을 제안하는 것이다.

II. 이론 고찰 및 관련연구의 동향

1. 대체습지

대체습지의 개념은 '습지 총량제'를 실현하기 위한 방안으로 제시된 것으로, 미국과 캐나다, 독일, 일본 등지에서 조경 계획 시 개발로 인해 습지에 미치는 영향을 피할 수 없을 때 개발자에게 훼손된 습지를 복원하거나 신규 습지를 창출하도록 '습지 총량제'와 같은 제도나 법규를 지정하여 시행하고 있다. 특히, 미국에서는 1980년대 이후 '습지은행(Mitigation Banking)'을 제도화 하여 현재 각 주별로 이에 대한 지침을 정하고 사용할 것을 의무화 하고 있다(EPA, 1996). 습지와 관련된 모든 전략과 기본 방향에 대하여 'No Net Loss' 정책을 펴면서 습지를 확보하기 위한 전략을 마련하고 있다(Bram et al., 2011). 대체 습지에 대한 연구는 주로 생태계 천이나 환경 건강성 회복의 관점에서 이루어졌으며, 공간 계획 시 대체습지의 복원이 가져오는 긍정적 가치에 대한 연구들도 이루어지고 있다(Dennis, 1999; Mary, 2000; Bram et al., 2011).

우리나라는 2013년 국가 전체 습지 손실을 방지하기 위해 4대강 유역별, 권역별로 '습지총량제'를 도입할 계획에 있으며, 이를 실현하기 위해 습지 총량제 도입에 따른 문제점 및 개선방안(김윤정과 이상돈, 2009), 습지총량제 도입기반을 위한 습지 건강성 평가 모델 개발(환경부, 2009) 등에 관한 연구가 이루어지고 있

는 실정이다.

현재 우리나라에서 진행된 대체습지의 입지선정에 관한 연구는 야생생물 목표 종의 서식지 적합도 평가 방안을 제안하고 있으며, 주로 HSI(Habitat Suitability Index)모델을 소개하고 있다. HSI는 특정 어류나 야생생물종이 서식할 수 있는 서식처의 능력을 나타내는 수적인 지표를 의미하며, 서식처의 수용 능력을 계산함으로써 목표종의 서식처 적합성을 산정하는 방식으로 활용가능하다(김귀곤과 조동길, 2004). 목표종의 서식처 적합성 산정을 통해 입지선정이 이루어진 대표적인 사례로 경의선 대체습지를 들 수 있으며, 대체습지 입지 선정을 위하여 본 사업에서는 맹꽁이와 구렁이를 목표종으로 선정하였으며, 서식처 이용 정보를 이용하여 서식처 적합도를 평가하고 조성 위치를 결정하였다(김귀곤과 조동길, 2004). 이와 같이 야생동물의 서식처 적합도를 활용한 입지 선정의 방안은 습지 자체의 서식처 기능을 유지시키는 방안으로, 개발로 인하여 파괴되는 생물 서식 공간의 연결성에 대한 고려는 불충분하다고 할 수 있다.

2. 생태네트워크

생태 네트워크는 광역적인 혹은 지역 적인 차원에서 지속가능한 공간 계획을 위하여 경관의 연결성을 유기적으로 향상시키는 방안으로 활용되기 시작한 개념이다(Baschak and Brown, 1995). 생태네트워크 계획은 야생 동식물의 서식 공간을 유기적으로 연결시키는 것을 목적으로 생태적으로 중요한 지역을 보전하고 파편화되어 있는 녹지 및 야생동식물의 서식공간을 코리더로 연결하는 물리적인 연결체계를 의미한다(박창석 등, 2007). 경관 생태학의 관점에서 점적인 요소가 될 수 있는 패치, 가장자리와 경계, 선적인 요소인 코리더와 연결성, 면적인 요소인 매트릭스, 모자이크, 등 경관 생태계를 구성하는 요소들이 생태 네트워크의 구성요소가 된다(Cook and van Lier, 1994). 우리나라에서는 그린 네트워크 조성 계획이나 도시의 녹지축 및 생태축 조성 계획에서 많이 활용하고 있으며, 환경부(2002)에서한반도 생태네트워크 구축 추진 전략을 계획 하는 등 범국가적인 차원에서 생태네트워크를 구축하기 위한 노력을 기하고 있다.

하지만 생태 네트워크 계획은 서식공간의 경관구조적 측면에서 연결성을 높이는 것에 초점을 두고 있어 서식 공간의 기능을 고려한 생태 네트워크 계획이 이루어질 필요가 있다. 이러한 상황에서 습지의 조성 및 복원 계획은 야생동식물의 건강한 서식처로 대표될 수 있는 공간의 형태이기 때문에 도시내 생태적 안정성과 기능을 향상시키는 측면에서 생태 네트워크 계획과 함께 고려되어야 할 부분이라고 할 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 생물 서식 공간의 연결성, 즉 생태 네트워크에 기반하여 대체 습지의 입지 선정하는 방안을 제안하고자 한다.

III. 연구의 범위 및 방법

대체 습지는 실제 개발 사업 진행시 발생할 수밖에 없는 손실을 최소화하는 것을 목적으로 하며, 개발 유역 혹은 개발 지역 내 습지의 총량을 보상(compensation)하는 방식으로 법적이거나 제도적 근거를 바탕으로 한다. 보상의 방법으로 습지은행(Mitigation Banking)이 대표적인 예이며, 이는 토지이용 계획시 앞으로 일어날 개발행위로 인한 훼손 가능성을 염두하여 새로운 습지를 조성하거나 복원하는 방법이라고 할 수 있다. 본 연구에서는 습지은행제도에 따라 조성할 수 있는 대체 습지의 입지를 선정하는 것으로 연구의 범위를 한정하였으며, 광역 생태계의 범위에서 개발 계획에 인접한 지역의 경관적 연결성을 고려하여 대체습지의 적지를 분석하였다.

1. 연구 대상지

본 연구는 수도권에 위치하여 토지 이용 개발 계획이 시행 중에 있는 대표적인 도시지역이라 할 수 있는 과천시 행정구역 전체를 연구 대상으로 선정하였다(그림 1 참조).

과천시는 서울특별시, 경기도 안양시, 성남시, 의왕시와 경계를 이루고 있는 면적은 35.86km²의 도시이다. 주요 산으로는 관악산과 청계산이 있으며, 양재천, 막계천, 갈현천을 비롯한 여러 개의 중소규모의 하천이 흐르고 있어 내륙습지의 분포 가능성이 높은 도시라고 할 수 있다. 또한, 과천시의 자연 녹지지역은 32.45km²으로 전체 행정 구역의 약 90.5%를 차지하며, 산림의 면적은 전체 면적이 64%로 자연 자원이 우수하여 향후 토지 이용 계획 및 개발 시 생태적 건강성을 보존하기 위한 노력이 필수적인 도시라고 할 수 있다.

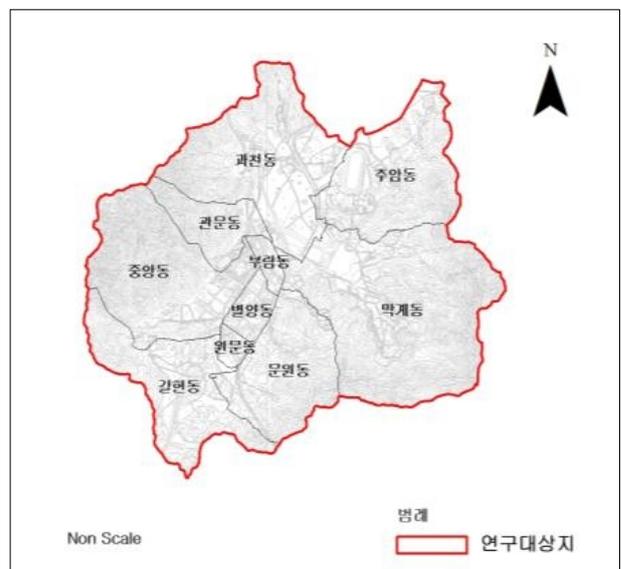


그림 1. 연구 대상지

2. 연구 방법

본 연구는 대체 습지가 입지하기에 적합한 지역을 선정하기 위하여 생태 네트워크의 연결성을 확보 하는 것에 주안점을 두었다. 도시 내 생태 네트워크를 형성하는 방안은 경관 생태학적 관점에서 노드, 패치, 코리도를 이용하여 녹지 축을 형성함으로써 경관의 구조적 연결성을 높일 수 있도록 '최소비용경로분석(Least-cost Path Analysis)'을 적용하였다.

먼저, 연구 대상지의 경관 특성을 파악할 수 있는 지리정보를 수집하였다. 본 연구에서 활용한 지리정보는 토지피복도(환경부, 2009), 항공사진(경기도, 2008), 생태자연도(환경부, 2007)이며, Arc GIS 10.0(Environmental Systems Research Institute, Inc)를 활용하여 분석하였다.

'최소비용경로분석'를 활용한 생태 네트워크 형성의 제안은 총 4 단계를 통해 이루어진다. 첫째, 연구 대상지에서 생태적으로 보존 가치가 높은 지역을 핵심 지역(Core Area)로 선정한다. 둘째, 생태적으로 가치가 있는 지역을 보전하고 생태적 연결성을 높이기 위하여 토지피복도, 생태자연도, 지형분석자료 등을 토대로 비용 표면(Cost Raster)을 작성한다. 셋째, 연구 대상지 내 생물 서식 공간으로 구분할 수 있는 녹지 지역 및 내륙습지 예상 지역을 연결하여 대상 지역(Destination Area)으로 선정한다. 마지막으로, 핵심지역과 연결 대상지역의 연결성을 평가하여 최적 경로를 탐색한다. 이런 과정을 거쳐 형성된 생태 네트워크의 제안을 토대로 현장 조사를 실시하여 대체습지 조성 가능 지역을 탐색한다.

IV. 결과 및 고찰

1. 최소비용경로분석

1) 핵심지역의 선정

핵심지역은 생태네트워크 계획에서 대상지 내 보존 가치가 높은 녹지지역을 의미하는 곳으로, 본 연구에서는 환경부에서 제공하는 생태자연도 내 녹지자연도 8등급 이상의 지역을 핵심 지역(Core Area)으로 선정하였다. 녹지자연도 8등급 이상 지역은 국토 계획 및 이용에 관한 법률에 의해 절대 보전지역으로 선정되어 있는 것을 바탕으로 하였다. 선정결과는 그림 2와 같으며 대상지 전체 면적의 약 20%에 해당하는 지역이다.

2) 비용표면의 작성

비용 표면은 공간 계획 대상지를 30m×30m의 격자 단위로 분석하여 작성하였으며, 토지피복의 상태 및 지형 조건에 따른 야생 동물의 이동성에 근거하여 저항값을 계산하고 계산된 저항값들에 대한 각각의 가중치를 설정하여 작성하였다. 야생동물의

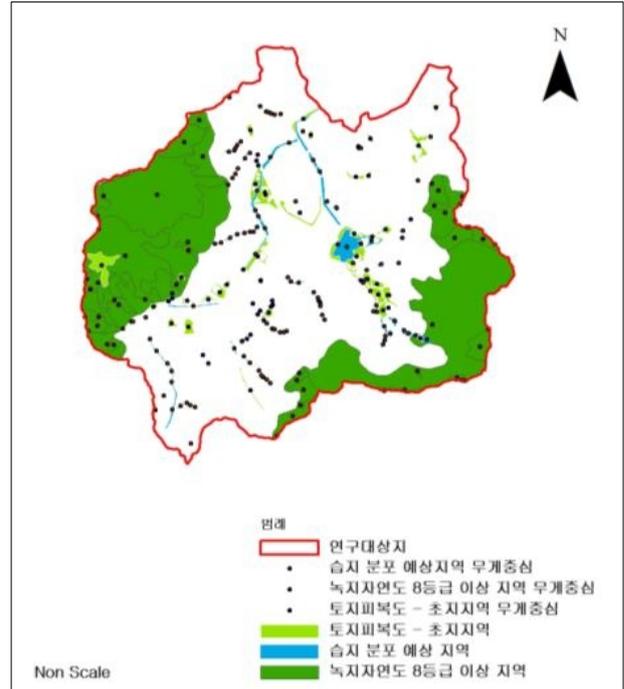


그림 2. 핵심지역 및 연결 서식지

이동성에 근거한 저항값은 Penrod et al.(2006)과 이동근 등(2008)의 연구의 결과를 참고하여 중대형 초식동물의 토지피복에 따른 이동성의 저항값을 적용하였다. 또한, 생태자연도 등급과 경사도에 따른 저항값과 가중치를 계산하여 대체습지 조성을 위한 지형 및 토양의 특성을 고려하였다.

3) 연결 서식지 선정

토지이용도, 토지피복도, 항공사진 등을 이용하여 녹지지역 및 내륙습지 예상지역을 연결 서식지(Destination Area)로 선정하였다(그림 2 참조). 우선, 환경부에서 제공하는 토지피복도의 중분류에 근거하여 초지지역으로 구분되는 곳을 녹지지역으로 판단하여 연결 서식지로 선정하였다. 선정된 서식지는 총 65개의 지역으로 면적은 약 1.01km²에 해당한다.

내륙습지 예상지역은 토지피복도, 토지이용도, 항공사진을 이용하여 습지보전법상의 체계 및 국가습지유형분류체계(환경부 UNDP/GEF 국가습지보전사업관리단, 2007), 그리고 랍사협약 등 국제 습지분류체계를 기준으로 하천, 호소, 소택지 등에 해당하는 지역을 추출하였다. 추출된 습지 분포 예상지역은 109개 지역, 약 5.02km² 면적에 해당하는 지역이다.

4) 연결성 분석

최소비용경로분석을 이용하여 핵심지역과 연결 서식지를 연결할 수 있는 생태 네트워크의 최적 경로를 탐색하였다. 이 때, 각 지역의 연결성 분석을 돕기 위하여 지역 내 무계중심점 거리

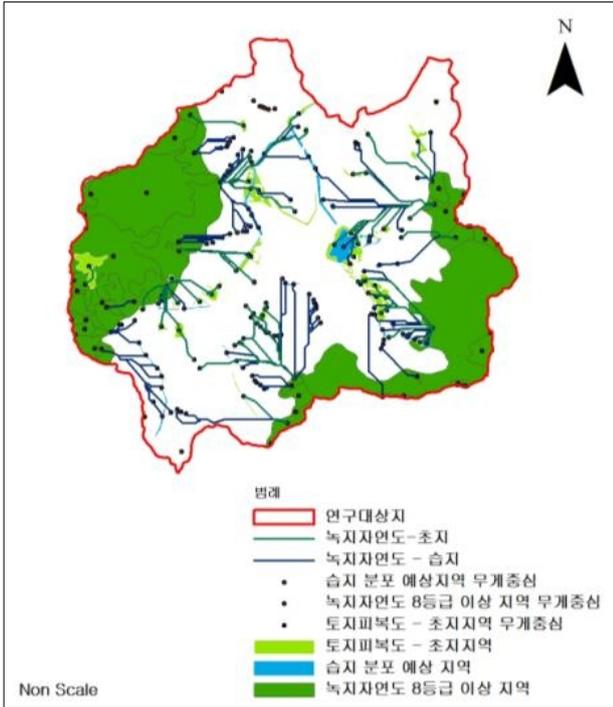


그림 3. 최적의 경로 탐색

연결하는 방식(이동근 등, 2008)으로 최적의 경로를 탐색하였다. 이와 같은 단계로 형성된 최적의 경로는 그림 3과 같다.

2. 대체습지 적지선정

최소비용경로분석을 통해 도출된 생태네트워크 형성 계획안

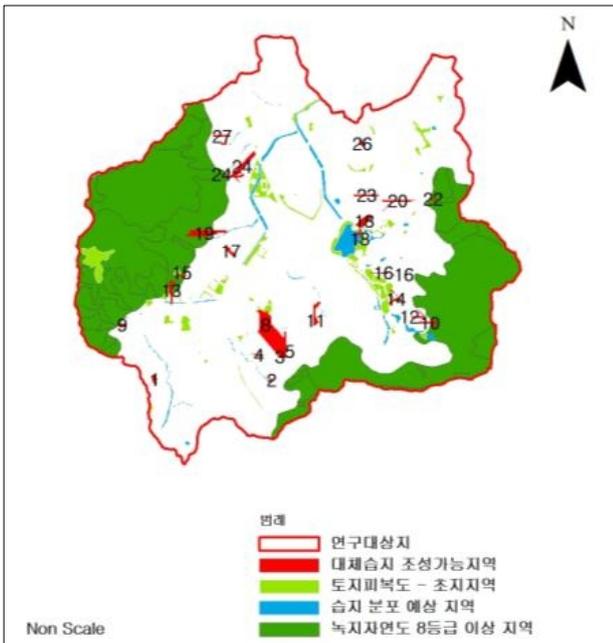


그림 4. 대체습지 조성 가능지역

을 바탕으로 대체습지의 조성 가능 지역을 선정하였다. 대체습지의 적지를 탐색하는 조건은 핵심지역과 녹지지역을 연결하는 최적의 경로, 그리고 핵심지역과 내륙습지 지역을 연결하는 최적의 경로가 중첩하는 지역이다. 최소비용경로분석 결과는 선형의 형태로 제시되기 때문에, 선형의 중첩지역을 폴리곤의 형태로 변환하여 최종 대상지역을 선정하였다. 대체습지 적지로 선정된 곳은 총 27곳으로, 그림 4와 같으며, 현장 조사를 통한 적합성 검증이 필수적으로 추가되어야 한다.

V. 결론

본 연구는 경기도 과천시를 대상으로 경관 생태학적 이론에 근거하여 형성할 수 있는 생태네트워크계획을 토대로 대체습지 조성을 위한 적지분석방안을 제안하였다. 과천시의 지리정보자료를 이용하여 습지분포예상지역을 도출하고, 보존 가치가 높은 녹지와 연결성을 분석함으로써 최적의 대체습지 조성가능지역으로 총 27개소를 선정하였다. 이와 같은 결과는 경관의 구조적인 측면을 고려하여 생물 서식공간의 대표적인 형태로 볼 수 있는 습지 조성을 위한 적지를 분석하는 방법을 제안하였다는 점에서 의의가 있다고 하겠다.

그러나 최소비용경로 분석 과정에서 기존에 구축된 지리정보 데이터를 활용하여 핵심지역, 습지분포예상지역, 녹지지역 등을 선정하고, 현장 검증을 거치지 않은 것이 본 연구의 한계라 할 수 있다. 이러한 한계는 현장조사 및 후속연구를 수행하여 대체습지 적지 선정 방안에 대한 적합성 검증 과정을 거쳐 보완할 필요가 있다.

그럼에도 불구하고 본 연구의 결과는 향후 도입될 습지 총량제 시행 시, 지속가능성 평가나 사전환경성 평가와 같은 환경영향평가 및 도시 계획의 기초 단계에서 대체습지 입지 선정 방안의 도구로 유용하게 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

인용문헌

1. 경기도(2008) 항공사진
2. 구분학(2002) 습지 유형 분류 및 도면화 방법에 관한 연구. 서울대학교 대학원 박사학위논문.
3. 김귀곤, 조동길(2004) 자연환경 생태 복원학 원론. 서울: 아카데미서적.
4. 김윤정, 이상돈(2009) 습지총량제 도입에 따른 문제점과 개선방안에 대한 연구. 환경영향평가 18(4): 235-543.
5. 박영철(2006) 환경부 UNDP/GEF 국가습지보존사업관리단. 한국습지학회지 8(3): 24-26.
6. 오규식, 이동우, 정승현, 박창석(2009). 도시 생태네트워크 설정을 위한 공간의사결정지원체계에 관한 연구: 경과생태학 이론을 기반으로. 한국 GIS학회지 17(3): 251-259.
7. 이동근, 송원경, 전성우(2008) 경관투과성 및 최소비용경로 분석을 통한 수도권 지역의 광역생태축 구축 연구. 한국환경복원녹화기술학회지 11(3): 94-106.
8. 환경부(2002) 국토생태네트워크의 추진전략에 관한 연구. 보고서.
9. 환경부(2007) 생태자연도.

10. 환경부(2009) 습지총량제 도입기반을 위한 습지건강성 평가 모델 개발 연구. 보고서.
11. 환경부(2009) 토지피복도.
12. 환경정책평가연구원(2007). 도시생태네트워크 구축을 위한 토지이용계획연구. 서울: 한국환경정책평가연구원.
13. Bram, N., H. Michael and N. Jesse(2011) Environmental assessment framework for identifying and mitigating the effects of linear development to wetlands original research article. *Landscape and Urban Planning* 99(2): 133-140.
14. Cook, E. A. and Van Lier(1994) *Landscape Planning and Ecological Networks*. Elsevier, Amsterdam.
15. Cowardin, L. M., V. Cater and E. T. LaRoe(1979) *Classification of Wetlands and Deepwater Habitats of the United States*. U.S. Department of the Interior Fish and Wildlife Service Office of Biological Services.
16. Whigham, Dennis F.(1999) Ecological issues related to wetland preservation, restoration, creation and assessment Original Research Article, *The Science of The Total Environment* 240: 31-40.
17. EPA(1996) Ecotox thresholds, ECO Update, Intermittent Bulletin 3(2). EPA 540/F-96-038. US Environmental Protection Agency, Office of Emergency and Remedial Response, Washington, DC
18. Fabos, J. G.(1995) Introduction and overview - The greenway movement, uses and potentials of greenways. *Landscape and Urban Planning* 33(1-3): 1-13.
19. Kentula, Mary E.(2000) Perspectives on setting success criteria for wetland restoration original research article. *Ecological Engineering* 15: 199-209.
20. Mitsch, W. J. and J. G. Gosselink(1993) *Wetlands*. Van Nostrand Reinhold, New York, NY.
21. Penrod, K., C. Dabanero, P. Beier, C. Luke, W. Spencer and E. Rubin (2006) *South Coast Missing Linkage Project: A Linkage Design for the Palomar-San Jacinto/anta Rosa Connection*. South Coast Wildlands.