



www.kei.re.kr

EN Simulator : 생태네트워크 변화 모의 기법

- I. 머리말
- II. EN Simulator 프로토타입
- III. EN Simulator 구성 및 분석방법
- IV. EN Simulator 적용 사례
- V. 맺는말



요약

어느 지역에 개발사업이 시행되어 인공적인 지형 장애요소들이 추가되면 동물의 이동을 방해하게 되어 이동가능 영역이 감소하고 동물 이동경로에 변화가 발생할 것이다. 이 연구는 개발사업이 생태계 네트워크에 미치는 영향을 예측하는 시뮬레이션 프로그램을 개발하고, 이 프로그램을 이용하여 동물의 이동에 발생하는 변화를 분석하는 방법을 제시하기 위해 수행되었다. 연구결과 개발된 'Ecological Network Simulator(이하 EN Simulator)'는 현재 상태에서 가능한 생태네트워크와 지형 장애요소가 추가되었을 때의 네트워크 변화 정도를 모의실험할 수 있는 시뮬레이터이다. EN Simulator을 이용한 기본적인 분석방법인 '이동선호 분석법(Basic Method)'은 동물이 어느 한 지점에서 주변으로 이동할 때 가장 선호하리라 예상되는 방향을 '랜덤워커(Random Walker)'를 이동시켜 시뮬레이션 결과를 통해서 예측하는 방법이다. 이 기본 방법을 활용해서 동물의 이동가능성 변화를 공간적으로 분석하는 방법으로 주 이동방향 분석법(Major Movement Direction Analysis), 이동가능성 분석법(Permeability Analysis) 및 이동추적법(Trekker)을 제시하였다. 시뮬레이션 결과와 실제 동물의 이동 방식이 유사한지를 검토하기 위해 EN Simulator에 의한 이동패턴과 고라니 이동 및 삶의 흔적 조사결과를 비교하였다. EN Simulator는 개발사업으로 인한 생태네트워크 변화를 예측하기에 유용한 도구이다.

* 본 내용은 한국환경정책·평가연구원의 2016년 기본연구인 「랜덤워커를 이용한 생태네트워크 변화 모의예측방안 연구(II)」의 일부를 요약해서 정리한 것입니다.

집필진

김지영 선임연구위원

환경평가본부 자원에너지평가실

mythe@kei.re.kr

노태호 선임연구위원

환경평가본부 자원에너지평가실

thro@kei.re.kr

I

머리말

각종 개발사업이 수행되면 급격한 지형변화가 발생하고 생태네트워크의 단절을 일으킨다. 그러나 생태계 네트워크에 어떠한 변화가 발생하는지를 정량적으로 예측하기 어려워서 환경적 영향을 전문가들의 지식을 활용하여 정성적으로 판단할 수밖에 없다. 기존의 동물 이동 관련 시뮬레이션 연구들은 정확한 동물의 이동패턴을 분석하여 제시하고 있는데, 광활한 지역을 이동하는 대형 초식동물의 이동을 분석하거나 초지에서 곤충의 비행, 또는 좁은 지역에서 설치류의 이동 등에 국한하고 있어 범용으로 활용하기 어렵고 활용을 위해서는 많은 생태적 조사결과를 필요로 한다.

그렇지만 동물이 통과할 수 없는 장애물들의 배치 특성만을 가지고 동물이 이동할 '가능성이 있는 통로'가 어떻게 분포할지를 예측하는 것은 비교적 용이하다. 현재 상태에서 장애물의 분포와 개발사업이 추가된 상태에서 장애물의 분포가 달라지므로 동물의 이동가능 통로의 분포도 달라진다. 본 연구에서는 이러한 점에 착안하여 동물의 이동에 장애가 되는 지형장애물과 지형경사도를 바탕으로 동물의 '이동가능성'의 변화를 모의적으로 예측하는 정량적인 모형을 개발하였다. 그리하여 개발사업이 선 또는 면의 형태로 통과가 불가능한 지형장애물 역할을 하면서 동물의 이동에 영향을 미치는 것을 분석하고 환경영향 정도를 예측하는 데 활용하기 위한 목적으로 시뮬레이터를 개발하였다. 본 연구에서 사용한 '생태네트워크'라는 용어는 동물이 이동가능한 지역과 그 변화를 나타내기 위한 목적으로 국한하여 사용되었다.

시뮬레이터에서는 '랜덤워커(Random Walker)'를 가상의 동물로 이용하였고, 랜덤워커 시뮬레이션 프로토타입 I(2013), 프로토타입 II(2014), EN Simulator(2015)를 순차적으로 개발하였다. 2015년 1차년도 연구에

서 EN Simulator 프로그램의 주요 부분을 개발하였고, 2016년 2차년도 연구에서 프로그램을 사용한 분석방법을 개발하였으며, 가상적인 랜덤워커의 이동과 실제 야생동물의 이동을 비교하여 프로그램의 결과가 실제 자연계에서 추적 결과를 잘 모사하는지 비교하고 사례를 제시하였다.

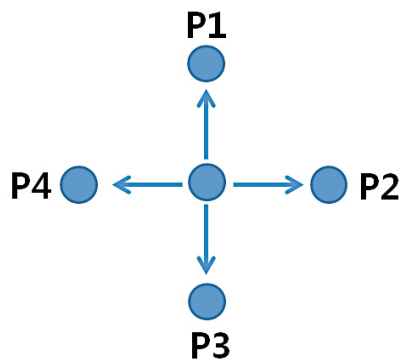
II

EN Simulator 프로토타입

1. 랜덤워크를 이용한 동물 이동 시뮬레이션

랜덤워크는(Random Walk)는 규칙성을 띄지 않는 행동 결과를 모사하기 위해 사용되며, 유체의 이동, 분산, 주식투자 등 다양한 분야에서 활용된다. Byers(2001)는 동물의 분산이동을 모사하기 위해 랜덤워크를 이용한다. 본 연구에서는 장애물이 존재하는 환경에서 동물의 이동가능성 변화를 모사하기 위하여 사용하였다. 랜덤워크를 이용한 시뮬레이션 프로그램은 변수를 직접 입력하는 방식의 프로토타입 I에서 마우스를 이용하여 장애물과 출발 및 도착선을 정하는 방식의 프로토타입 II를 거쳐 데이터 파일의 형태로 제작하여 입력하는 EN Simulator로 발전되었다. 프로토타입 모델에서는 랜덤워커가 이동할 때 장애물의 존재 여부만 확인한 뒤 이동가능 지점으로 동일한 확률로 이동하도록 하였고, EN Simulator에서는 현재 지점에서 다음 지점으로 이동할 때 경사도를 고려하여 이동가능성을 확률적으로 결정한 뒤 이동하도록 하였다(그림 1 참조). 현재 위치

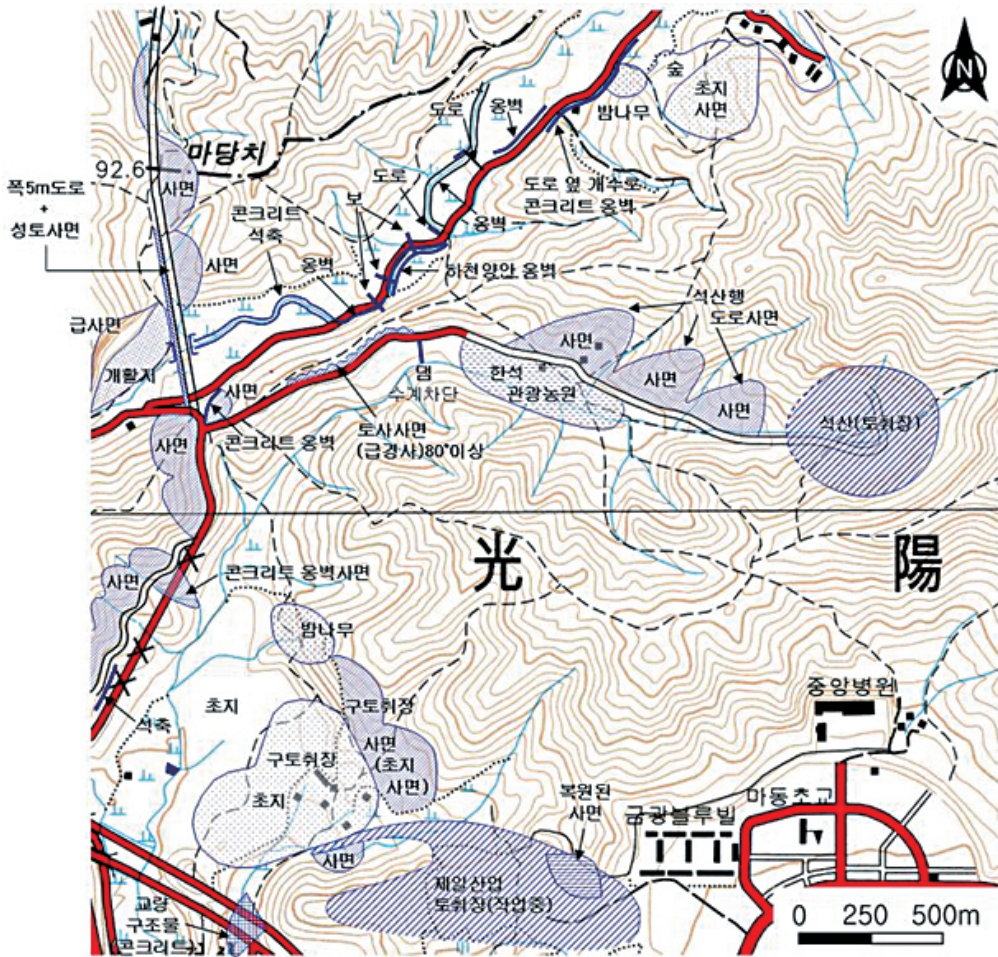
그림 1. 랜덤워커의 이동방법 모식도



(가운데)에서 다음 지점(P1, P2, P3, P4 중 한 지점)으로 이동할 때 경사도와 장애물 분포 여부에 따라 각 방향으로 이동확률을 정하고 그 확률을 반영하여 다음 이동지점을 결정한다. 급경사이면 이동확률이 낮고, 지형장애물이 있을 경우 해당 지점에서의 이동확률은 '0'이 된다.

랜덤워크가 이동 시 고려하는 지형장애물은 현장에서 조사한 자료와 위성자료 등 간접자료를 종합하여 시뮬레이션에 반영할 수 있는 지도로 작성된다. 지형장애물은 ‘동물의 이동을 방해한다고 일반적으로 인정될 수 있는 인공적, 자연적 장애물’을 가리키는 말로 사용되었다(김지영 외, 2005). 급경사면, 고속도로, 낙석방지책, 콘크리트 옹벽, 건축물, 담장, 철망 등을 예로 들 수 있다. 지형장애물을 현장에서 확인하여 그리면 <그림 2>와 같이 된다. 이는 현장기록을 알아보기 쉽게 정리한 것으로 빗금 부분은 작업장을 나타낸 것이며 사람, 급경사면, 건물, 지형단차 등의 복합적인 장애물이 분포하여 동물 이동이 어려운 지역을 표시한 것이다.

그림 2. 지형장애물 지도 현장 작성 사례

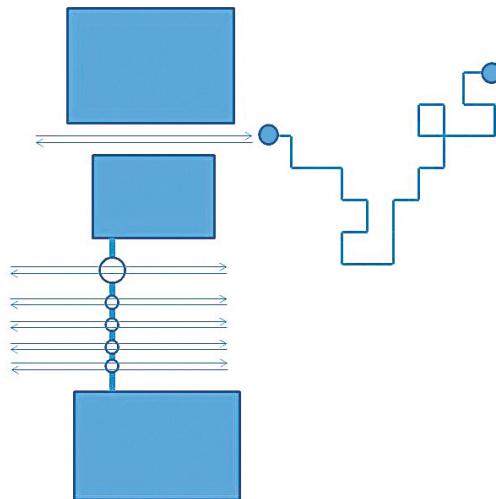


자료: 김지영 외(2005).

2. 프로토타입 I

프로토타입 I 시뮬레이션에서는 가상평면상에 지형장애물(개발사업)을 세워 두고 랜덤워커를 사전에 정해 둔 스텝만큼 이동시킨 뒤 지형장애물 반대편의 미리 정해 놓은 거리까지 도달한 랜덤워커의 수를 세는 방법으로 이동가능성을 모사하였다(그림 3 참조). <그림 3>에서 네모는 면적을 차지하는 개발사업, 남북 방향의 직선은 새로 건설되는 도로, 빈 동그라미는 도로상에 설치 예정인 동물 이동로를 가리킨다. 짙은 동그라미는 가상동물의 위치를, 선은 이동경로를 예시적으로 나타낸 것이다. 오른쪽의 가상동물(랜덤워커)이 개발사업으로 인해 만들어진 장애물이 있을 때 반대편(왼쪽)으로 이동할 수 있는 가능성이 어느 정도일지를 시뮬레이션을 통해 예측하였다.

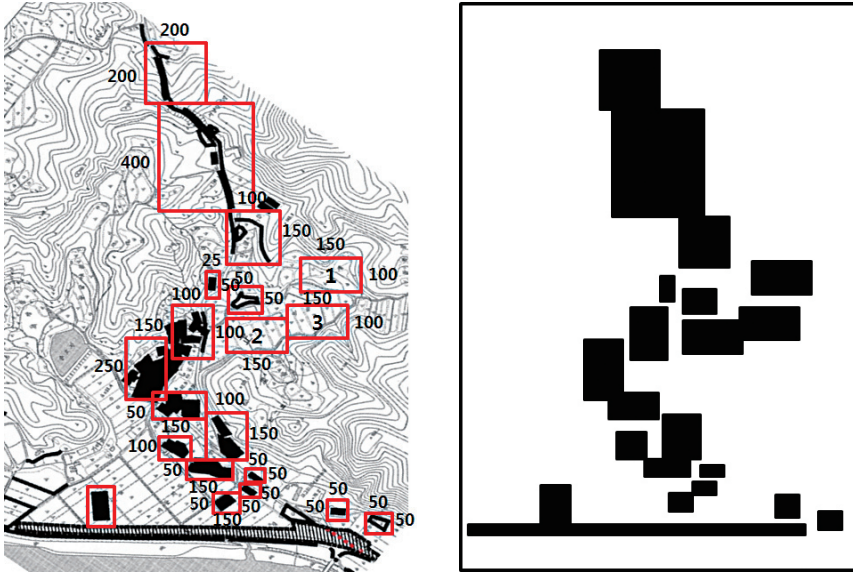
그림 3. 개발사업으로 인한 생태네트워크 변화를 평가한 시뮬레이션 모델 세팅 사례(프로토타입 I)



자료: 김지영, 고신혜(2013).

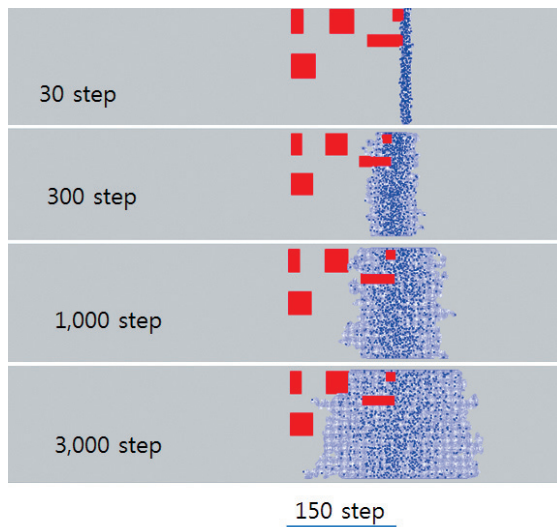
프로토타입 I 모델은 지형장애물을 단순한 사각형 모델로만 인식시킬 수 있어서 실제 형태를 단순화하여 재구성해서 사용하며(그림 4 참조), 모든 변수를 프로그램 수행 시마다 프로그램 안에서 직접 수정하여야 하는 단점이 있다. <그림 4>의 왼쪽 그림은 실제 지형장애물 형태와 규모를 보여 주며, 오른쪽 그림은 모델에 사용하기 위해 지형장애물을 단순화한 결과이다.

그림 4. 복잡한 지형장애물의 단순화 과정(프로토타입 I)



프로토타입 I에 의한 시뮬레이션 사례는 <그림 5>와 같다. <그림 5>는 위에서부터 출발 후 30, 300, 1,000, 3,000 step을 이동한 랜덤워커의 이동결과를 보여 준다.

그림 5. 랜덤워커를 이용한 장애물(빨간색 사각형)과 동물 이동(파란색 점)의 시뮬레이션 중간 과정

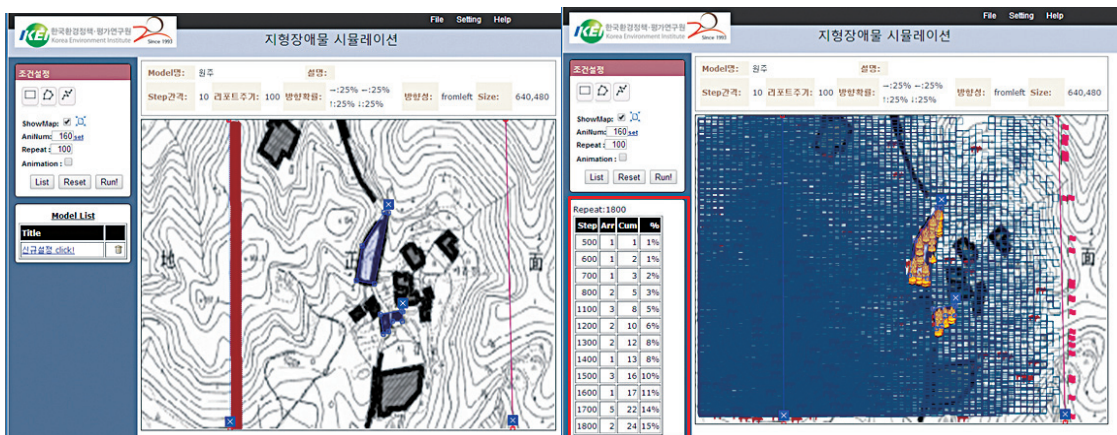


150 step

3. 프로토타입 II

프로토타입 II는 출발점, 출발선, 도착선, 지형장애물의 형태를 화면상에서 자유롭게 설정할 수 있도록 하였고, 바탕에 참조용 도면을 깔고 작업이 가능하도록 하여 위치를 이해하며 가상공간을 구성할 수 있도록 하였다. 또한 웹사이트에 프로그램을 올려놓고 인터넷으로 접속하여 활용토록 하였다(그림 6 참조). 왼쪽 그림은 출발선(화면의 왼쪽 수직선)과 도착선(화면의 오른쪽 수직선) 및 장애물(화면 중앙)을 설정하는 방법을 보여 준다. 오른쪽 그림은 1,800 step 이동한 시뮬레이션 결과를 보여 준다. 1,800 step 진행될 때까지 도착선에 24개체가 도착했다. 1 step은 10 픽셀, walker의 개체수는 160개이며, 100 step 진행할 때마다 화면에 현재까지의 이동 결과를 표시하고, 네 방향 모두 동일한 확률로 이동하도록 설정하였다(김지영, 2014). 프로토타입 II는 웹 기반으로 접속하여 활용하도록 제작하였으나 웹사이트의 운영 문제, 시뮬레이터의 속도가 통신 속도에 따라서 매우 느려지는 문제, 프로그램 개선의 어려움 등으로 현재는 웹사이트를 폐쇄하였다. 시뮬레이터를 웹사이트에서 공유하여 이용하는 방안은 현재 제시된 EN Simulator를 향후 개선할 때에 고려하고자 한다.

그림 6. 랜덤워커를 이용한 장애물과 동물 이동 간의 관계 시뮬레이션 결과(프로토타입 II)



III

EN Simulator 구성 및 분석방법

1. EN Simulator의 특징

EN Simulator까지 시뮬레이션 프로그램이 발전되면서 변화된 랜덤워크 시뮬레이터의 특징을 비교하면 <표 1>과 같다.

표 1. EN Simulator 프로토타입 I, II 및 EN Simulator의 구성과 운영방식

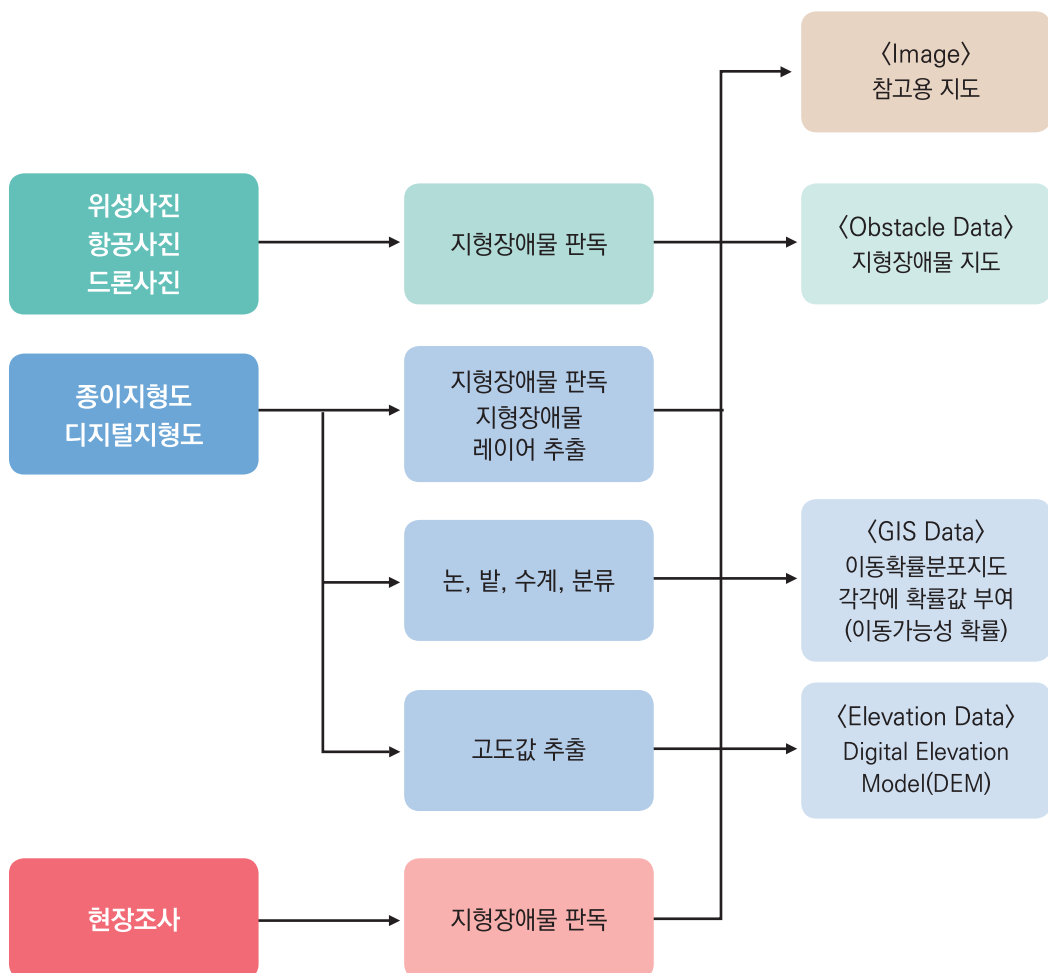
	프로토타입 I	프로토타입 II	EN Simulator
작동환경	· 독립 PC	· 웹사이트에 공유	· 독립 PC
스텝크기	· 1 픽셀	· 임의로 지정 가능	· 1m
워크의 이동 방법	· 네 방향 · 방향별 이동확률 지정 가능 · 출발위치는 점, 선으로 설정 가능 · 도착위치는 선으로 설정	· 네 방향 · 방향별 이동확률 지정 가능 · 출발위치는 점, 선으로 설정 가능 · 도착위치는 선으로 설정	· 네 방향 · 현재 지점과 이동할 지점의 속성을 비교하고 이동확률을 계산한 뒤 이동지점을 확률로 결정 · 출발위치는 점으로 설정 · 도착위치는 거리로 설정하여 원형이 됨
입력 방식	· 출발선, 도착선, 장애물의 형태, 반복 횟수 등 모든 조건값을 프로그램 내에 수동 입력	· 마우스를 이용하여 출발선, 도착선, 장애물을 정의	· 사전작업을 통해 장애물 파일, 바탕화면 파일, 고도값 파일을 제작하고 업로드 · 출발점과 도착지점(원)을 화면에서 설정
화면 구성	· 프로그램에서 설정한 단순 도면으로 구성하여 보여 줌	· 위성사진 또는 지형도를 바탕에 두고 이동경로를 포함한 시뮬레이션 결과를 그 위에 나타냄	· 바탕화면에 지형도 등을 두고 그 위에 현재 위치를 보여 줌
결과값	· 정해진 스텝수 이내에 도착선에 도착한 워크의 수	· 정해진 스텝수 이내에 도착선에 도착한 워크의 수 · 중간단계 결과를 보여줌	· 정해진 스텝수 이내에 도착거리까지 도착한 워크의 개수를 16방위별로 제시함
시행 시간	· 매 스텝마다 이동결과를 보여 주는 방식으로 시뮬레이션 소요시간이 김	· 시뮬레이션 시간에 비해 인터넷 환경에 따라 속도가 크게 차이 남	· 속도가 크게 향상됨

자료: 김지영 외(2015)를 참조하여 재구성.

2. 입력자료의 종류

EN Simulator에 입력되는 자료는 이미지 파일(Image), 지형장애물 데이터 파일(Obstacle Data), GIS 데이터 파일(GIS Data) 그리고 고도 데이터 파일(Elevation Data)과 같이 네가지로 구성된다. EN Simulator에 입력되는 자료는 바탕그림이 되는 참고용 지도, 지형장애물 분석지도, 이동확률 분포를 정의한 지도로부터 만들어진다. <그림 7>은 네 가지 데이터 파일을 만드는 방법을 보여 준다.

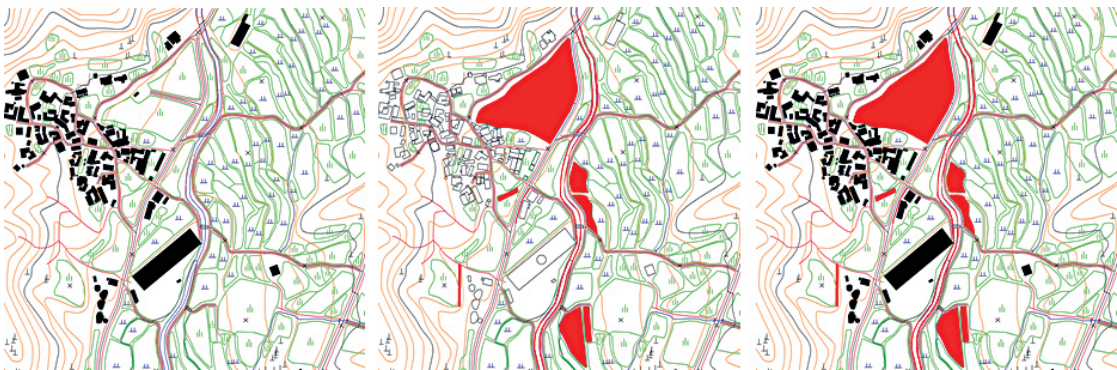
그림 7. EN Simulator 입력자료의 조사 및 작성방법과 입력자료의 구성



자료: 김지영 외(2016).

이미지 파일은 실행화면의 바탕화면을 이루는 위성사진 또는 지형도 이미지 사진파일로 참조용으로 사용되며, 랜덤워커의 이동에는 영향을 주지 않는다. 지형장애물 데이터(Obstacle Data) 파일은 기존 위성사진 등의 자료를 활용한 지형장애물 판독 결과와 현장에서 수정된 지형장애물을 모두 포함한 종합적인 지형장애물 지도를 작성하여 이를 데이터로 변환한 것이다(그림 8 참조). 지형도 및 위성자료를 이용하여 분석한 결과(그림 8의 a)와 현장에서 추가로 확인 및 수정된 사항(그림 8의 b)을 종합하여 지형장애물 지도를 작성한다(그림 8의 c). GIS 데이터 파일은 논, 밭, 수계 등 동물의 이동이 가능하지만 때로는 장애물 역할을 하기도 하여 동물들이 선호하는 정도가 다른 지역들에 확률값을 부여한 데이터 파일이다. 고도 데이터 파일은 TIN(Triangulated Irregular Network) 모델링을 통해 구한 각 위치별 고도값으로 EN Simulator에서는 1m 간격으로 계산된 값을 사용하였다.

그림 8. 지형장애물 지도 작성과정



a. 지형도 및 위성자료를 이용한 조사

b. 현장조사

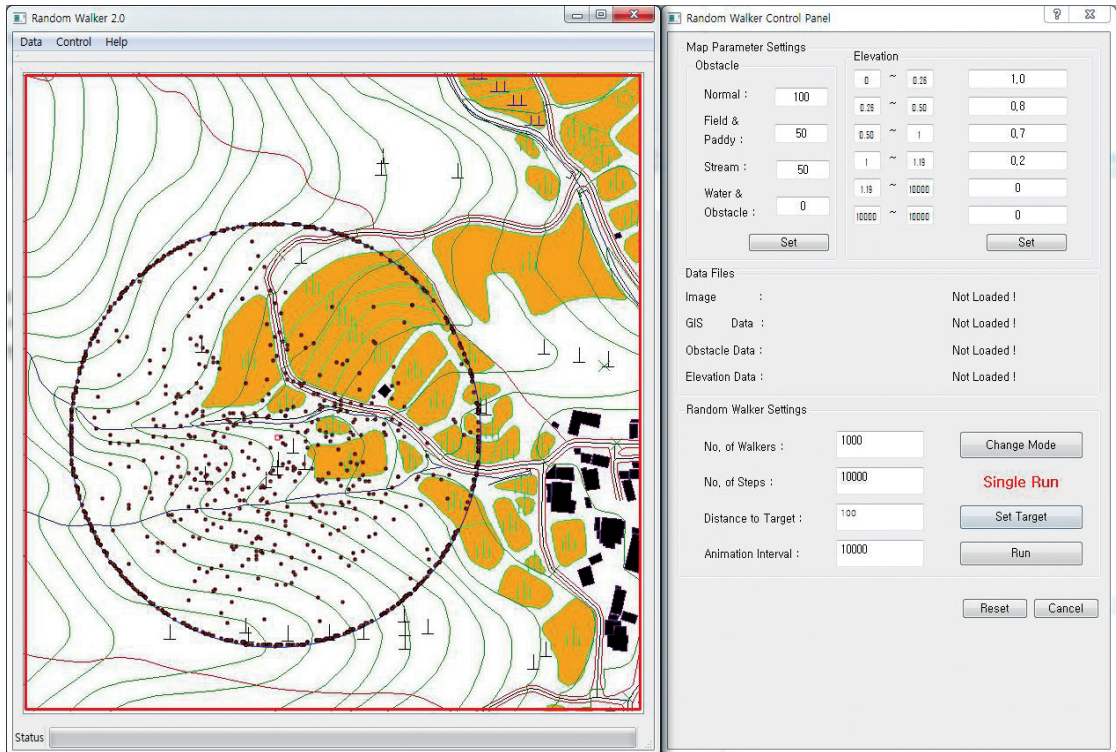
c. 종합도면

3. EN Simulator의 작동

EN Simulator에 네 가지 파일을 업로드 한 뒤 시행하면 지도를 바탕에 나타내 보여 주고 랜덤워커의 이동을 볼 수 있는 실행화면과 랜덤워커 컨트롤 패널이 나타난다. 랜덤워커 컨트롤 패널에서는 랜덤워커의 수, 이동 스텝수, 최대 이동거리 및 화면에 나타내는 간격을 설정할 수 있다. <그림 9>는 EN Simulator 작동화면을 보여 준다. 왼쪽 창이 랜덤워커 실행화면, 오른쪽 창이

랜덤워커 컨트롤 패널이다. 랜덤워커 1,000개체가 10,000 step을 이동하여 100m 떨어진 지점에 도달하면 정지하도록 설정한 상태이다.

그림 9. EN Simulator 작동화면



자료: 김지영 외(2016).

4. 분석방법

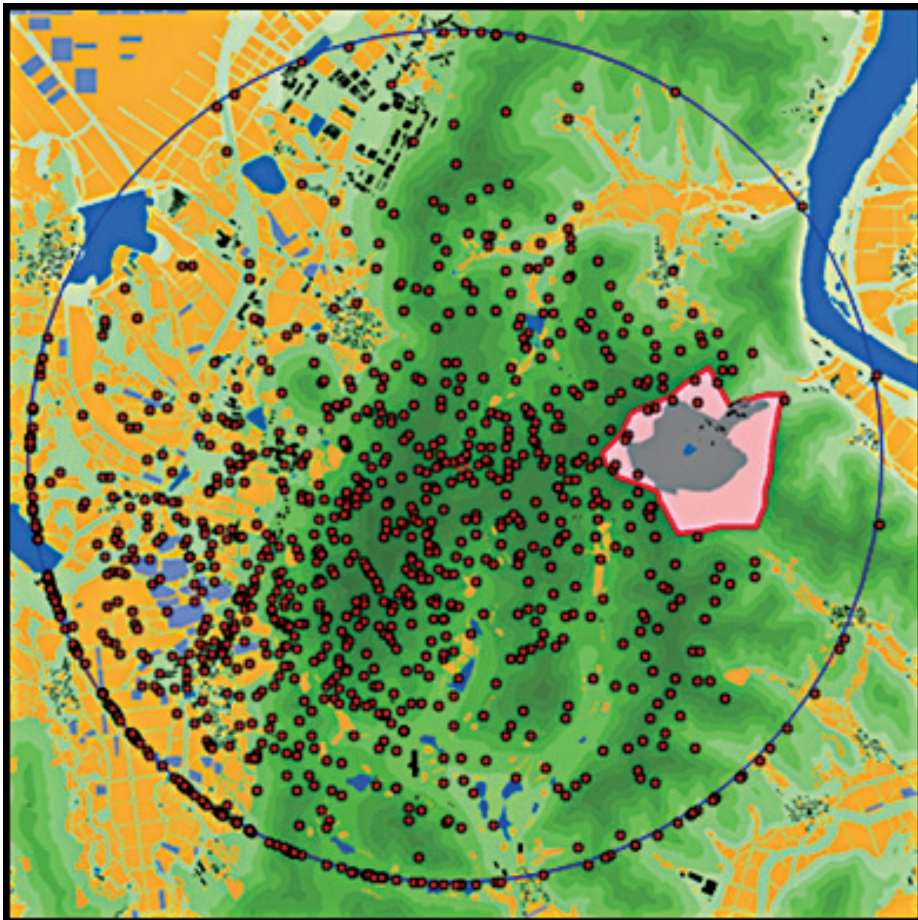
EN Simulator에서 랜덤워커가 지형장애물을 우회하여 이동하는 방법을 아래와 같이 제안하여 실제 동물이 이동할 가능성이 있는 모든 영역으로 이동하도록 하였다.

1) 이동선호 분석법(Basic Method)

‘이동선호 분석법’은 EN Simulator의 기본 작동방법이다(그림 10 참조). <그림 10>에서는

원의 중앙점에서 출발한 워커들이 주변의 조건에 따라 사전에 설정해 놓은 거리에 다다르거나 사전에 설정해 놓은 스텝수만큼 이동하면 정지한다. 오른쪽에 있는 장애물(석산개발지역-예시)을 만나면서 동쪽 방향으로 이동이 제한되는 것을 볼 수 있다. 한 점에서 출발한 랜덤워커가 일정 스텝을 이동한 뒤 일정거리에 도달한 개수를 방향별로 분석하여 그 값을 보여 주며, 화면에는 각 랜덤워커의 최종위치를 나타내 준다.

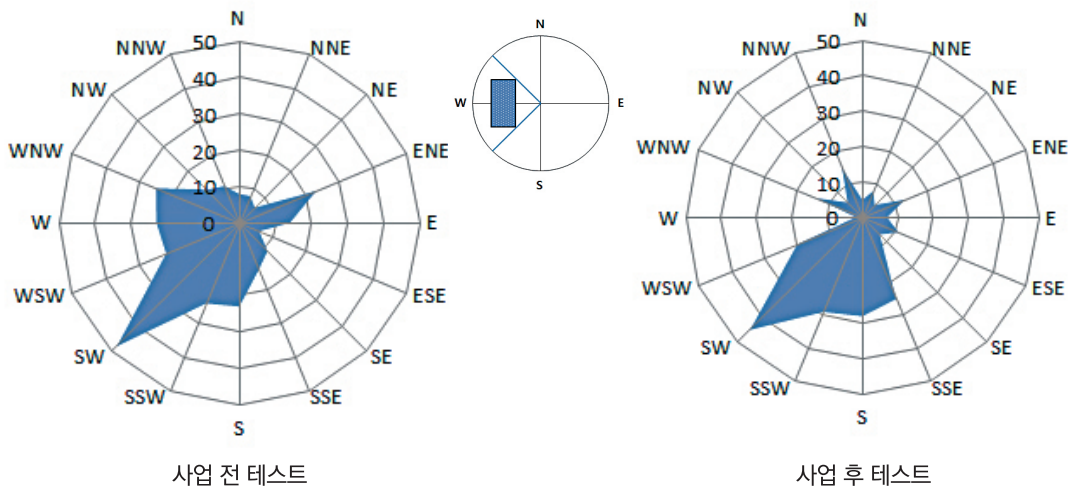
그림 10. EN Simulator의 이동선호 분석법에 따른 시뮬레이션을 실행한 결과 예시



이동선호 분석법을 이용하여 개발사업이 일어나기 전인 현재 상태에서 주변에 이미 존재하고 있는 지형장애물로 인해 랜덤워커들이 어느 지역으로 주로 이동할 수 있는지를 예측하는 초기 상태 분석(Surface Condition Test, 사업 전 테스트)을 실시하고, 개발사업의 위치를 추가한 뒤

변화된 지형장애물 조건하에서 랜덤워커들의 이동을 시뮬레이션 하는 사업시행 후의 상태분석 (Project Impact Test, 사업 후 테스트)을 실시하여 그 결과를 비교함으로써 개발사업으로 인한 생태네트워크의 변화를 예측할 수 있다(그림 11 참조). <그림 11>에서 랜덤워커는 개발사업 시행 예정지역의 동측에서 출발하였을 때 사업이 시행되면 서측, 서북서측으로의 이동이 거의 제한되는 것을 볼 수 있다.

그림 11. 현재 상태와 개발사업 시행 후의 동물 이동패턴의 변화 시뮬레이션 결과



자료: 김지영 외(2015).

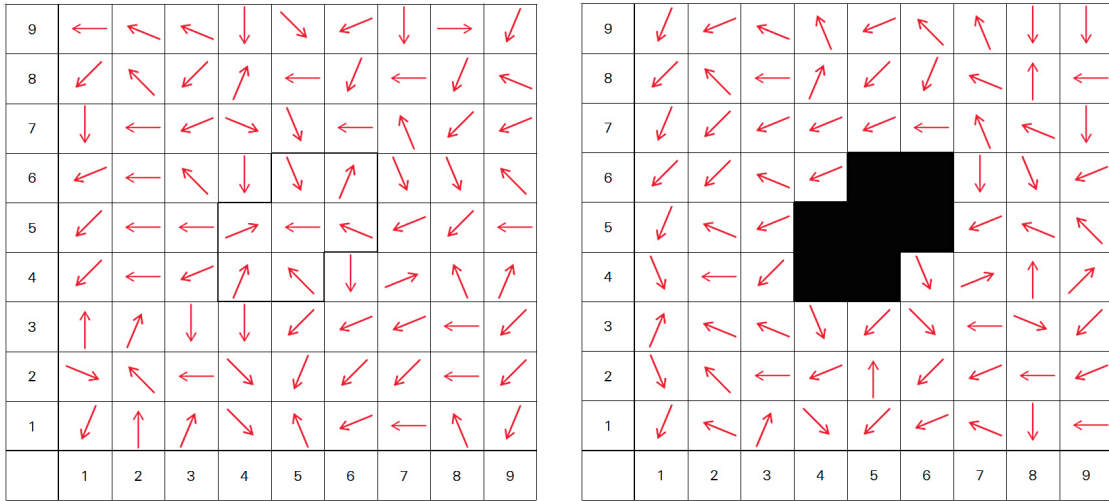
2) 주 이동방향 분석법(Major Movement Direction Analysis)

‘주 이동방향 분석법’은 개발사업지를 중심으로 주변지역에서 개발사업 이전과 이후 동물의 주 이동방향)을 비교 분석하는 방법이다(그림 12, 13 참조). 분석 대상지역을 일정 크기의 지역으로 분할한 뒤 각 지역에 대해 기본적인 이동선호 분석법을 수행하고 그 결과를 종합하여 나타낸다. <그림 12>에서는 사업시행 전인 현재 상태에서 동물의 주 이동방향(왼쪽 그림)과 사업시행 후의 변화된 동물 이동방향(오른쪽 그림)을 화살표로 보여 준다. <그림 13>에서는 사업시행 전후의

1) 여기서 ‘주 이동방향’은 EN Simulator에서 랜덤워커의 이동방향을 분석한 결과를 말하는 것으로 실제 동물 이동 결과와 일치하지는 않으나 실제 동물이 이동해 갈 가능성이 높은 지역이 예측될 수 있다.

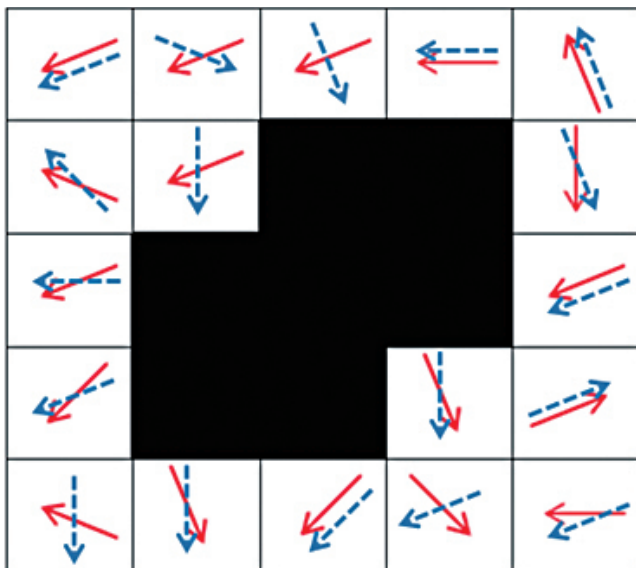
경향을 중첩하여 나타내었다. 가운데 검은색 사각형이 개발사업이 차지하는 지역이며, 파란색 점선은 사업시행 전의 주 이동방향, 빨간색 실선은 사업시행 후의 주 이동방향이다.

그림 12. 주 이동방향 분석법 분석결과(예시)



자료: 김지영 외(2015).

그림 13. 주 이동방향 분석법 분석결과(사업시행 전후 결과 중첩도)

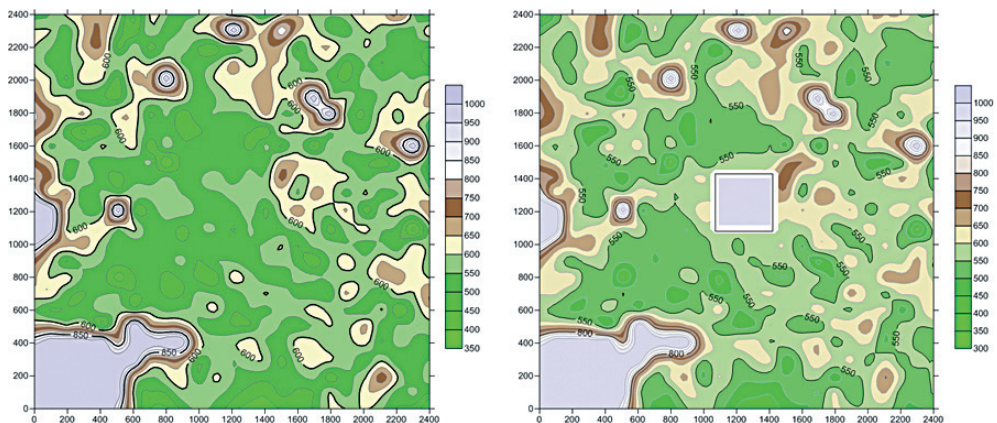


자료: 김지영 외(2015).

3) 이동가능성 분석법(Permeability Analysis)²⁾

‘이동가능성 분석법’은 어떤 한 지역을 하나의 매질로 간주하고 그 매질을 랜덤워크가 이동해 가는 가능성을 나타내기 위한 분석법이다. 이동가능성 분석법에 의해 구해진 최종결과는 이차원 평면상의 속성으로 나타낸다. 즉, 일정 간격으로 출발점을 지정하여 해당 지점에서 이웃한 일정 거리까지의 동물 이동가능성을 분석한 뒤 그 결과를 종합하여 등확률도로 작성하는 것이다. 각각의 지역에서 이웃한 지역으로 이동이 용이한 지역과 이동이 어려운 지역을 등고선 형태로 나타낼 수 있어서 동물 이동패턴을 공간적으로 이해하는 데 도움이 되며, 사업시행 전 상태와 사업시행 후 변화를 도면을 통해 파악할 수 있다(그림 14 참조). 개발사업이 시행되기 전의 상태(왼쪽 그림)와 개발사업(오른쪽 그림 중앙의 회색 사각형)이 시행된 후의 동물 이동가능성의 변화(오른쪽 그림)를 예측할 수 있다. 사업시행 전보다 사업시행 후에 전반적으로 이동가능성이 줄어들면서 남북방향 이동가능성이 줄어들고 동서방향 이동로들이 막히며 중앙부로 동물이 이동할 수 있는 통로들이 사라진 것을 볼 수 있다. 초록색 부분은 동물의 이동가능성이 높은 지역을 나타내며 갈색과 회색으로 갈수록 동물의 이동가능성이 낮은 지역이다.

그림 14. 이동가능성 분석법에 따른 분석결과



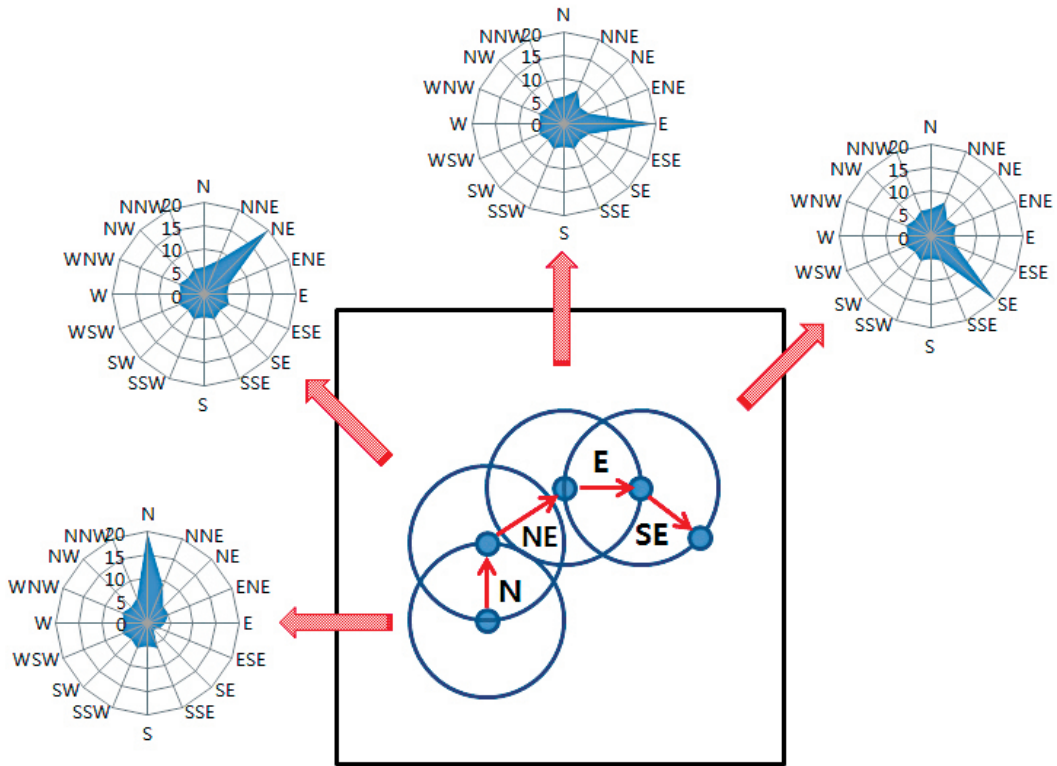
주: 사업시행 전(왼쪽) 이동가능성이 높은 지역(초록색)이 사업시행 후 교란된 것을 볼 수 있다. 그림의 좌우 및 상하 폭은 2.4km
자료: 김지영 외(2016).

2) 투과율(Permeability)은 물리, 화학, 지구과학 등 여러 분야에서 매질의 특성을 설명하는 데 사용되는 용어로 어떤 물체 또는 유체가 해당 매질을 통과할 수 있는 능력을 말한다. 투과율이 높다는 것은 이동성이 좋다는 것을 의미한다. EN Simulator에서는 혼동을 피하기 위해서 ‘이동가능성’이라는 용어로 표시하고 ‘Permeability’를 병기하였다.

4) 이동추적법(Trekker)

‘이동추적법’은 EN Simulator를 이용하여 실제 동물의 이동경로를 추적하기 위해 제안된 방법이다. 어떤 지점에 있던 동물이 일정 거리에 있는 이웃한 지점까지 이동할 확률을 구하고, 이동 가능성이 가장 높은 지점으로 가상의 동물을 이동시킨 뒤 다시 동일한 작업을 반복하는 방법이다(그림 15 참조).

그림 15. 이동추적법의 시뮬레이션 방법을 설명하는 모식도



자료: 김지영 외(2015).

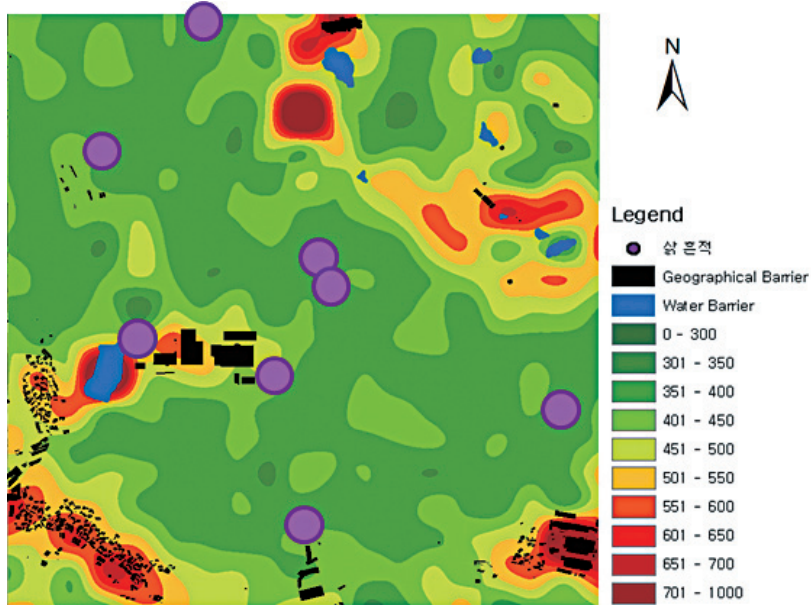
IV EN Simulator 적용 사례

1. 실제 동물 이동과 비교

EN Simulator의 분석결과는 동물의 이동가능성을 나타내는 분포도이다. 실제 동물의 이동 흔적이 시뮬레이션 결과 이동가능성이 높다고 분석된 지역과 얼마나 겹치는가를 비교하였다. 삶의 흔적과 고라니 이동추적 결과를 시뮬레이션 결과와 중첩하여 나타내었다(그림 16, 17, 18 참조). <그림 16>을 보면 시뮬레이션 결과 동물 이동가능성이 높은 지역에 실제 삶의 흔적이 놓이는 것을 볼 수 있다. 그림에서 동그라미는 삶의 흔적이 발견된 지점, 초록색이 이동가능성이 높은 지역이다. 대체로 삶의 이동경로가 시뮬레이션 결과 이동가능성이 높은 지역 내에 놓임을 알 수 있다. 좌측의 검은색 장애물과 수변(파란색) 사이의 이동가능성이 매우 낮은 지역에서 흔적이 발견된 것은 먹이사냥과 관련이 있을 것으로 추정된다.

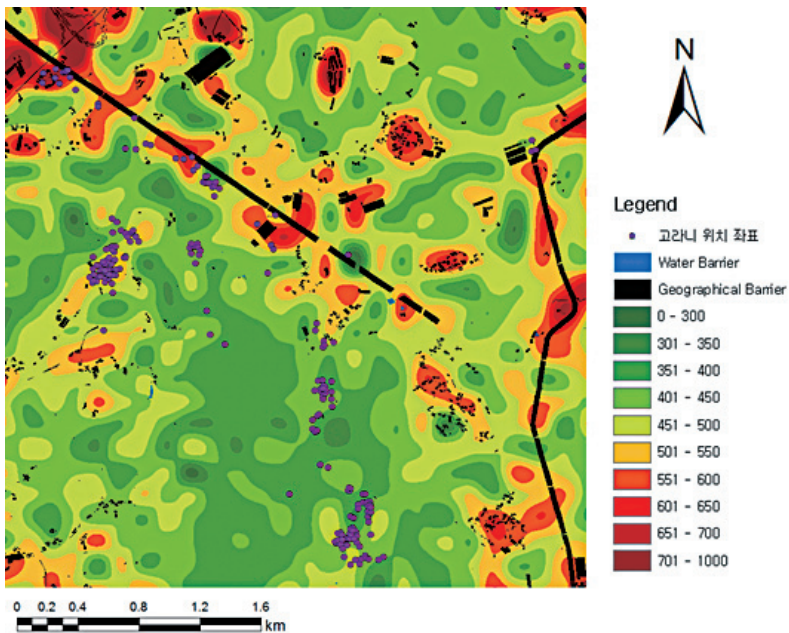
<그림 17>은 고라니의 실제 이동추적 결과와 EN Simulator의 분석 결과를 비교한 것이다. 그림에서 초록색이 이동가능성이 높은 지역이며, 빨간색으로 갈수록 이동가능성이 낮은 지역이다. 보라색 점은 고라니의 실제 이동추적 결과이고, 검은색 선은 도로로 선형 지형장애물 역할을 한다. 도로의 끊어진 부분은 터널 또는 교량 구간에 해당한다.

그림 16. 이동가능성 분석법을 이용한 분석결과와 삶의 흔적 비교



주: 그림의 좌우 폭은 2km
 자료: 김지영 외(2016).

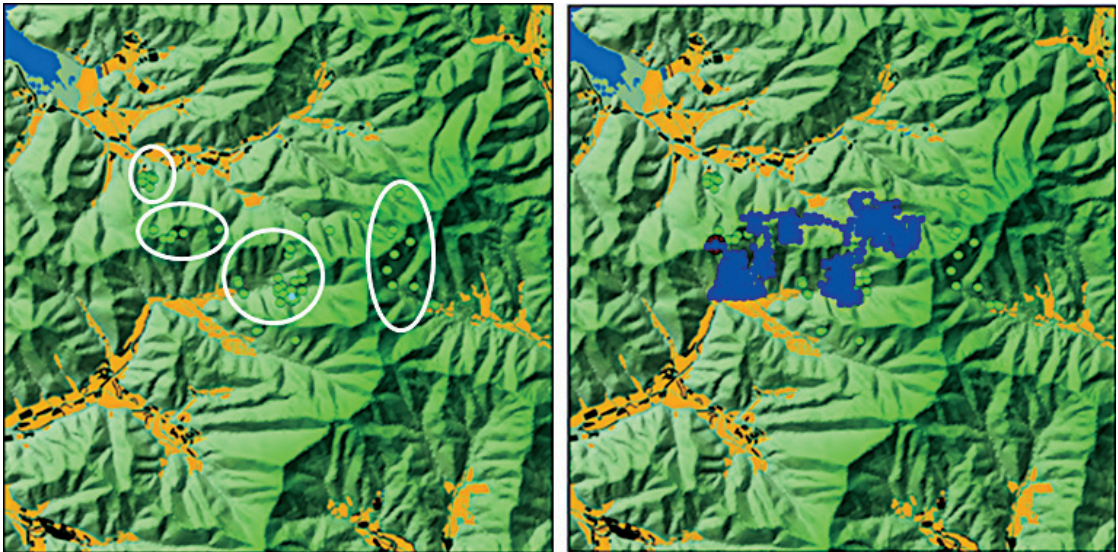
그림 17. 이동가능성 분석법을 이용한 시뮬레이션 결과와 고라니의 이동추적 결과 비교



자료: 김지영 외(2016).

〈그림 18〉은 이동추적법(Trekker)을 이용하여 EN Simulator상의 랜덤워커를 이동시킨 결과이다. 방사한 고라니를 추적한 결과(왼쪽 그림의 동그라미 안과 주변에 표시된 점)와 EN Simulator에 의해 분석한 결과(오른쪽 그림의 파란색 점)를 비교하였다. 랜덤워커의 출발 지점을 고라니 방사지점에 설정하고 시뮬레이션을 실시하였다. 고라니를 방사한 뒤 이동한 결과와 시뮬레이션 결과가 유사한 관계를 보여 줌을 알 수 있다. 추적 데이터는 180일간 4시간 간격의 총 1,080개 데이터로 구성되었고, 시뮬레이션에서도 동일하게 시행횟수를 1,080회로 설정하였다.

그림 18. 고라니의 이동추적 결과와 이동추적법을 이용한 시뮬레이션 결과 비교



주: 그림의 좌우 폭은 약 3.4km
 자료: 김지영 외(2016)의 자료를 일부 수정함.

V

맺는말

EN Simulator는 동물의 실제 이동패턴을 정확히 예측하는 것보다 동물이 이동할 수 없는 영역을 제외하도록 한 뒤 이동의 난이도를 고려하여 이동이 가능한 영역을 찾아내는 데 중점을 둔 시뮬레이터이다. EN Simulator의 시뮬레이션 결과로는 실제 동물의 이동과 동일한 결과를 예측하기는 어려우나 동물이 이동해 갈 수 있는 가능성이 줄어드는지, 어느 방향으로 이동이 더 방해받게 되는지를 비교하는 데 유용하게 활용될 수 있다. EN Simulator는 개발사업의 시행 전과 시행 후 동물의 이동가능 영역이 어떻게 변화할지를 예측함으로써 계획단계에서 환경적 영향과 입지의 적정성을 검토하는 데 유용하게 활용될 수 있는 정량화된 판단도구이다. 또한 시설물의 형태, 규모 및 위치를 변경할 경우 동물 이동에 미치는 영향 정도를 비교하여 환경에 미치는 영향을 최소화할 수 있는 방안을 찾는 데 활용 가능하다.

시뮬레이션의 기초가 되는 지형장애물 지도는 위성사진 등의 기존 자료와 현장조사를 결합하여 제작할 수 있고, 지형장애물의 인식이 쉽기 때문에 작성상의 오류가 발생할 가능성이 거의 없고 단기간에 적절한 결과를 만들어 낼 수 있는 장점이 있다. 현재 지형장애물 지도를 포함한 입력 파일을 만드는 과정에서 상용 GIS 도구를 활용하고 있으나 입력 부분을 용이하게 하는 후속작업이 진행되면 활용도가 더욱 높아질 것이다. 향후 보다 넓은 지역을 대상으로 광역적인 이동가능성 분석을 실시하게 되면 새로운 종류의 환경 관련 공간정보가 될 수 있을 것이다. 또한 개발도상국이나 지역개발계획 수립 시에 공간계획으로 인한 동물 이동가능성 변화를 예측하는 도구로도 활용이 가능할 것이다.

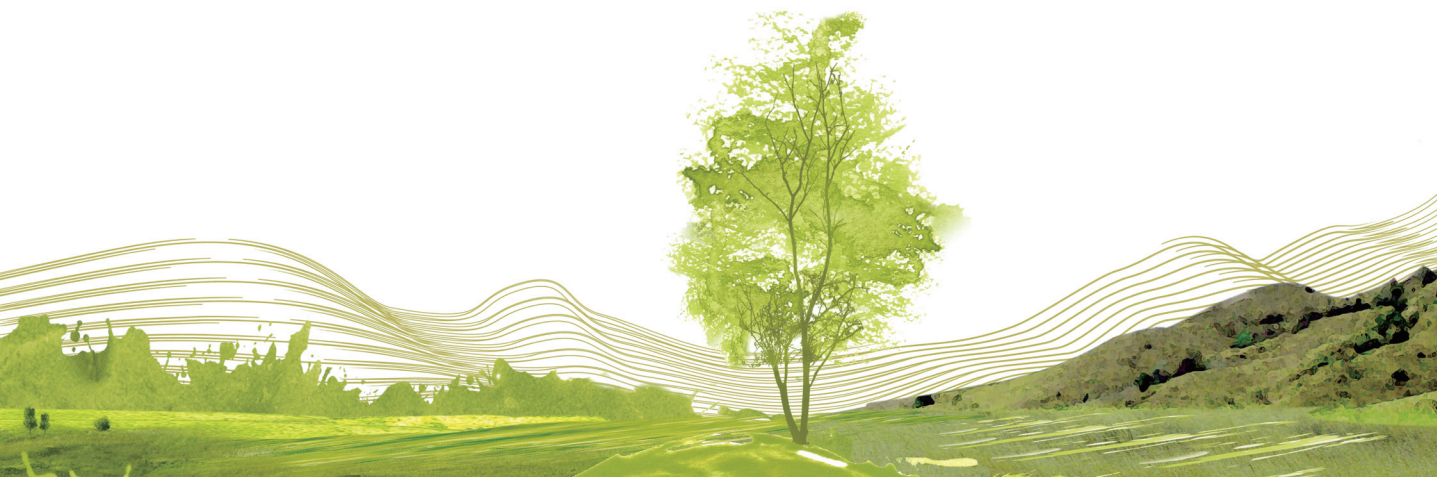
참고문헌

국내문헌

- 김지영(2014), 「육상풍력 개발사업 지형변화지수 연구」. 한국환경정책·평가연구원.
- 김지영, 고신혜(2013), 「지형장애물 분석을 통한 환경현황자료 작성방안」. 한국환경정책·평가연구원.
- 김지영 외(2005), 「지형·지질을 고려한 개발사업의 입지선정에 관한 연구-골프장 및 석산개발 입지에 관하여」, 한국환경정책·평가연구원.
- 김지영 외(2015), 「랜덤워크를 이용한 생태네트워크 변화 모의예측방안 연구(I)」. 한국환경정책·평가연구원.
- 김지영 외(2016), 「랜덤워크를 이용한 생태네트워크 변화 모의예측방안 연구(II)」. 한국환경정책·평가연구원.

국외문헌

- Byers, A. J.(2001), “Correlated Random Walk Equations of Animal Dispersal Resolved by Simulation”, *Ecology*, 82(6), pp.1680-1690.



환경포럼

KEI 한국환경정책·평가연구원
Korea Environment Institute

30147 세종특별자치시 시청대로 370 세종국책연구단지 B동(과학·인프라동)
TEL 044-415-7777 FAX 044-415-7799 www.kei.re.kr



본 인쇄물은 친환경 용지와 콩기름 잉크를 사용하여 제작되었습니다.