

제주도 한라산 노루 걱정 개체수에 관한 시스템 다이내믹스 모델링*

System Dynamics Modeling for Management of Roe Deer Population in Jeju^{*}

김도훈** · 홍영교***
Kim, Doa-Hoon** · Hong, Young-Kyo***

Abstract

Roe Deer has been preserved for 25 years by the local government and the residents in Jeju. However, the damage and harm of crops of the residents by Roe Deer are increasing as well. So, some experts worry about the unstability of ecosystem in Mt. Halla where Roe Deer live. This paper discuss the suitable number of Roe Deer population in Jeju to protect the ecosystem in Mt. Halla and minimize the damage of residents in Jeju.

With system dynamics modeling and simulation, the population of Roe Deer at present is estimated about 2,300. However, the population of Roe Deer stays 'unstable balance'. So, a little change such as poaching and the increase of wild dogs may make the balance of ecosystem broken.

According to the result of policy test simulation, we should keep on watching the poaching and maintain the number of wild dogs at about 100, so that the ecosystem in Jeju can be stable. To reduce the moving of Roe Deer to low region, moreover, we should protect the Mt. Halla which is Roe Deer's habitat. If we are indifferent about these efforts, the ecosystem of Roe Deer in Mt. Halla will be ruined.

Key Words : Ecosystem, Unstable Balance, Roe Deer Population

-
- * 본 연구는 숙명여자대학교 2007학년도 교내연구비 지원에 의해 수행되었음
 - ** 숙명여자대학교 행정학과 교수 (제1저자, dhkim@sookmyung.ac.kr)
 - *** 숙명여자대학교 행정학과 박사과정 수료 (공동저자, evanion@sookmyung.ac.kr)

I. 서론

한라산 주변을 자유롭게 뛰어다니는 야생노루는 제주도의 명물로, 제주시 봉개동 거친오름 일대 50ha에 노루생태관찰원이 조성되어 있으며 노루를 보다 쉽게 관찰할 수 있는 상시 관찰원도 운영되고 있다(뉴시스, 2008). 1980년대 초반 멸종위기까지 내몰렸던 야생노루가 제주도의 대표종이 될 수 있었던 것은 제주도민들의 적극적인 보호노력이 있었기 때문이다. 이러한 노력 덕분에 한라산의 노루는 현재 수천마리로 그 개체수가 증가되었다고 보고되고 있다(제주대학교, 2000; 윤성일, 2003; 한라산연구소, 2004).

그런데, 이렇게 소중히 보호한 노루들이 이제는 제주도민들을 곤란하게 하고 있다. 애써 기른 농작물을 섭취하고 어린수목을 훼손할 뿐 아니라 자동차와 충돌하는 일까지 빈번해져 제주도민들에게 피해를 주게 된 것이다. 노루로 인한 농작물의 피해를 줄이기 위해, 태양열 전기철책(중앙일보, 2008)까지 고안하였다는 기사는 노루로 인한 제주도민의 고민을 여과 없이 보여주고 있다.

노루로 인한 제주도민의 피해가 증가함에 따라 그 원인을 찾아 해결하기 위한 노력 또한 지속되고 있다. 가장 보편적인 견해는, 제주도민의 피해를 최소화하기 위하여 더 이상은 한라산 노루를 보호하지 않아도 된다는 것이다(세계일보, 2005; 제주일보, 2005; 제주일보, 2006 등). 야생 노루의 먹이주기 사업 등을 중단하여 개체수의 감소를 도모하고, 이를 통해 생태계의 균형을 찾아 주민의 피해를 근절시키자는 것이 그 핵심이다.

다른 관점에서는, 노루의 서식환경이 지속적으로 파괴되어 노루의 이동이 늘어나게 되었으며 그로인해 제주도민의 피해가 늘어난다고 주장한다(오장근, 2005; 김도훈 외, 2006). 이러한 연구에서는 노루 개체수의 증가보다는 노루가 제주도 중산간지대나 저지대로 이동하게 되어 농작물 등의 피해가 늘어난 것으로 보고 있으며, 노루 서식지 보호를 통해 노루의 이동을 막아 생태계를 회복하고 주민의 피해를 줄이는 것을 주요 내용으로 하고 있다.

표면적으로는 각각의 주장이 지향하는 논리가 사뭇 다르게 보이지만, 실질적으로는 ‘생태계의 균형’ 회복을 위한 노력이라는 하나의 목표를 지향하고 있다. 이러한 생태계의 균형을 조절하는 가장 핵심적인 변수는 바로 ‘노루의 개체수’이다. 과연 제주도 한라산에 어느 정도의 노루가 서식하는 것이 생태계의 균형을 지키기 위해 적정한가? 몇 마리 정도의 노루가 서식하고 있어야 저지대로의 이동을 억제하여 주민들의 피해를 최소화 할 수 있을 것인가? 라는 문제의식이 그것이다.

이러한 고민을 해결하기 위해서는 한라산에 있는 노루의 개체수를 파악하고, 그 노루의 수의 변화를 고려하여 정책적인 대안을 제시하여야 한다. 그러나 현실적으로 노루의 개체수를 파악하는 것이 쉽지는 않다. 정확한 노루의 개체수 파악을 위해서는 마취총 등을 이

용하여 노루를 포획한 후, 한 마리 한 마리 표시를 통해 식별하는 방법이 가장 대표적이다 (Kilpatrick and Spohr, 1997; Walter et al., 2002). 그러나 이러한 조사를 위해서는 헬리콥터, 마취총 등의 장비와 수의사, 사격수 등의 전문 인력이 필요하여 그 노력과 비용이 상당하다. 즉, 국가적인 프로젝트로 장기적인 기간과 예산 및 전문 인력이 지원되지 않는다면 수행하기가 극히 어렵다. 이에, 전문가들은 표본조사(몰이포획법, 올가미, 덫, 발자국 이용법 등)를 통해 노루의 개체수를 추정하고 있는데, 이러한 표본조사는 오차범위가 넓다. 이로 인해, 각 연구자들의 표본이 설치된 장소, 기간, 전문성 등에 따라 노루 개체수가 2,000여 마리¹⁾에서 4,000여 마리²⁾까지의 큰 차이를 보이고 있는 실정이다.

노루의 개체수가 2,000마리일 때 적용할 수 있는 정책과 4,000마리일 때 실시하여야 하는 정책은 차이를 지닐 수밖에 없다. 만약, 노루의 개체수를 고려하지 않고 획일적인 방법으로 생태계를 조정하려 한다면, 이는 생태계에 미치는 파급력을 고려하지 않는 매우 일반적이고 단편적인 정책이 될 뿐이다.

또한, 제주도가 생태적 독립성을 띠고 있다는 점도 한라산 노루의 개체수 연구가 필요한 또 하나의 이유이다. 제주도는 섬이기 때문에, 다른 내륙지역의 생태환경과는 달리 이동과 확산이 매우 제한된다. 즉, 다른 외부의 영향에 의한 생태계의 교란이 어렵다는 특징을 지녔다. 이러한 독립성은, 한라산 노루의 생태계 변동도 다른 외부의 영향에 의한 변화라기보다는 제주도 자체 내에 있는 내생변수가 그 원인이 된다는 점을 부각시킨다. 이러한 독립된 환경의 단일 생태계 연구는, 다른 내륙 지역의 복잡한 생태계 연구의 기반이 될 수 있다는 점에서 한라산 노루의 적정 개체수 연구는 중요한 의의를 지닌다.

노루의 개체수 파악을 위해서는, 노루를 둘러싼 생태환경과의 관계파악이 매우 중요한 요소가 된다. 생태계는 단편적으로 연계된 것이 아니라, 여러 개의 먹이사슬이 복잡하게 얽혀져 균형과 조화를 이루고 있기 때문이다(Meadows, 1980). 이렇게 복잡하게 얽힌 여러 상황들이 어떠한 인과관계로 이루어져 있는지를 파악하기 위해서는 시스템 다이내믹스(System Dynamics)가 좋은 방법이 된다. 시스템 다이내믹스 방법론은 복잡한 문제들을 유형화 시키고 유형별로 문제의 핵심을 빨리 파악할 수 있도록 도우며, 효과적인 문제 해결을 위한 개입점과 가이드라인을 제시하기 용이하게 한다(문태훈, 2007).

이처럼, 복잡한 생태환경 속에서 한라산 노루의 적정 개체수를 추정하기 하기 위해서는 시스템 다이내믹스가 적합한 방법론이라고 할 수 있다. 단편적인 사고를 극복하면서도 구체적으로 노루의 생태환경을 시뮬레이션 할 수 있고, 이의 값들과 변화량을 조정하는 실험을 진행 할 수 있기 때문이다. 이에, 본 논문에서는 시스템 다이내믹스 모델링 기법을 통해

1) 윤성일(2003), KBS 자연 다큐멘터리(2000)

2) 제주타임즈(2004)

노루의 개체수를 추정하고 이를 기반으로 제주도 노루의 생태환경 시스템에 맞는 최적의 정책방향을 제시하고자 한다.

II. 시스템 다이내믹스와 이론적 논의

1. 시스템 다이내믹스와 시뮬레이션 모델링에 관한 논의

시스템 다이내믹스는 포레스터(Jay W. Forrester)에 의해 체계화 되었으며, 사회시스템을 비롯한 모든 시스템의 역동적인 변화 메카니즘을 비선형적인 피드백 구조로 파악하고 이를 컴퓨터상에서 시뮬레이션하여 시스템의 진화과정을 분석하는 방법이다(Forrester, 1961). 시스템 다이내믹스는 동태적 사고(dynamic thinking)를 기반으로 하는데, 이는 어느 한 시점에서 문제가 되는 행태의 요인을 발견하기 보다는 시간의 흐름에 따른 문제의 변화 추이 (behavior pattern)를 중요시한다(김도훈 외, 1999: 33). 따라서 모델 변수의 정확한 측정이나 변수의 추정값을 구하기보다는 관심의 대상이 되는 변수의 시간의 흐름에 따른 역동적 변화 추세 - 안정적 · 불안정적 경향, 주기적인 파동, 성장 · 쇠퇴의 패턴이나 평형상태 - 에 보다 큰 관심을 두고 있다(Meadows, 1980). 이렇듯 시스템 다이내믹스는 상호 관계와 그에 따른 동태적 변화에 관심을 두어 사회현상을 분석하고 의사결정을 진행한다(Richmond, 1993: 113-114; Senge, 1990: 143-144; Sterman, 2000: 14-20).

시스템 다이내믹스의 응용범위나 강조점은 시대에 따라 변화되어 왔지만, 시스템 다이내믹스의 고유한 방법론적 특성은 지난 40여년 간 유지되어 왔다(김도훈 외, 1997: 25). 이는 동태적인 변화의 근본원인을 피드백 구조(feedback structure)에서 찾는 것이다. 피드백 구조란 변수들 간의 인과관계가 상호 연결되어 하나의 폐쇄회로를 형성하는 것을 의미한다(Richardson, 1981). 이러한 구조를 파악하기 위해서는 연구문제에 대한 인과지도(causal loop diagram) 및 저장(Stock)과 유량(Flow)의 다이어그램을 작성하는 것이 그 핵심이 된다(Forrester, 1985: 133-134). 인과지도는 시스템의 전체적인 구도와 시스템을 구성하는 변수들의 인과적인 상호작용 관계를 이론적인 접근과 실제적 관찰을 통해 피드백 루프로써 기술하고 2차원적으로 구조화하여 놓은 것을 말한다(Sterman, 2000: 45-50).

개념적 · 이론적 모형인 인과지도를 기초로 실제 시스템의 변화를 예측하기 위한 시뮬레이션을 수행하기 위해서는 인과지도 상에 표현되어 있는 피드백 구조들 간의 복잡한 관계를 보다 상세하게 수식으로 표현해야 한다(최남희, 2003; 333). 시뮬레이션은 피드백루프로 표현된 2차원상의 인과지도를 그래픽으로 구현한 것으로 각 변수들간의 관계(relation), 시

간(time), 정보(information) 등을 유량의 크기에 따른 시스템의 변화된 상태로 표현한다. 다시 말해서, 구성 변수들 간의 관계를 $Dx(t)/dt = f(t,x,y)$ 의 연립미분방정식으로 구현하는 것이다. 여기서 x 는 저장값의 벡터를, y 는 유량값의 벡터를, f 는 비선형 벡터 함수를 나타내며 t 는 시간을 의미한다(Sterman, 2000). 이는, 시간의 추이에 따라 패턴이 어떻게 변동하는지를 보여주게 되어 동태적 설명력을 지니게 된다. 인과지도가 이론적 논의에 의한 추론 과정이었다면, 컴퓨터 시뮬레이션은 이론의 구체화와 사회과학적 타당성을 제공한다(정석환 외, 2007; 218). 이러한 컴퓨터 시뮬레이션을 실시하기 위해서는 STELLA, VENSIM, POWERSIM 등의 프로그램을 사용한다.

위의 모델링 기법을 통해 생태 시스템을 연구한 예는 다음과 같이 들 수 있다. Bach & Saeed(1992)의 ‘Food self-sufficiency in Vietnam: A search for a viable solution’에서는 베트남의 농업 시스템과 토지관리, 식량정책이 인구에 미치는 영향등을 분석하고 있다. Arquitt & Johnstone (2004)은 ‘A scoping and consensus building model of a toxic blue-green algae bloom’에서 산소와 철분농도, 수질오염과 연안 생태계 및 인간과의 접촉이 ‘blue-green 해조류’의 개화에 미치는 영향을 분석하는 모델링을 진행하였다. Faust, et. al.(2004)은 ‘Models for management of wildlife populations: lessons from spectacled bears in zoos and grizzly bears in Yellowstone’에서, 동물원과 옐로우스톤 지역에서의 곰의 번식 생태를 모델링하는 비교 연구를 통해 야생동물의 관리 및 보존에 대해 논의하였다. Dudley(2008)는 ‘A basis for understanding fishery management dynamics’에서 어장관리와 경영자의 의지가 어장과 물고기의 개체수 등에 미치는 영향을 모델링하고 있다. 이 외 국내에서도, 정희성·전대욱(2006)의 ‘생태계 복원사업의 생태, 경제 통합체계 동태분석’에서는 임진강 참계 복원사업에 관한 확장모델을, 그리고 박병인(2008)은 ‘시스템 다이내믹스기법을 이용한 우리나라 양식넙치시장의 수급구조 분석’ 등 다양한 생태구조 연구를 위해 모델링이 이용되고 있다.

2. 선행연구검토

제주도 한라산 노루를 관찰한 선행 연구들의 일반적 성격은 다음과 같다. 먼저, 농림부에서 발간한 ‘제주도 야생동물에 의한 피해실태분석과 효율적인 대처방안에 관한 연구(2001)’가 있다. 이 연구에서는 제주도의 건강한 자연생태계의 유지와 보전, 야생동물의 적정관리 방안 확립 및 희귀 동식물의 복원과 증식을 위해 야생동물의 생태와 밀도에 관한 총체적인 조사를 진행하였다. 그 중의 일부로 한라산 노루의 효율적인 관리방안이 포함되어, 노루에 의한 농작물의 피해규모 및 제주도 내 노루 밀도와 생태까지 연구하고 있다. 이

에 따르면 1996년부터 노루에 의한 피해가 발생하기 시작하였고 그 이후의 피해는 매우 큰 폭으로 증가된 것으로 나타났으나 노루의 개체수는 1999년을 정점으로 줄어들고 있다고 보았다.

그 다음으로 한라산 노루를 연구한 논문은 윤성일의 박사학위 논문인 ‘제주도지역 노루의 생태에 관한 연구(2003)’이다. 이 논문에서는 제주도지역에 서식하는 노루의 행동권과 생태결과를 고찰하였고, 그 결과 전체 노루의 수는 감소하고 있으나 일부지역에서는 생태계에 위협을 줄 만큼 많은 개체수의 노루가 서식하고 있으므로, 지속적인 관리가 필요하다고 주장한다.

박사학위 논문인 ‘제주도 노루의 생태학적 행동 특징(2004)’에서 오장근은 노루의 외형적 특징과 번식행동 및 이동 패턴과 빈도 등을 연구하였다. 이 연구에서는 노루의 밀도가 먹이의 질, 은신처, 물과 인위적인 간섭 등 여러 가지 요인에 따라 달라지고 있다는 점을 지적하였으며, 들개의 출현과 적설량 등이 노루 분포와 이동에 영향을 주고 있음을 나타냈다. 또한, 한라산의 노루 밀도가 지속적으로 감소하고 있으며 이를 위한 후속연구가 필요하다고 보고 있다.

김도훈 등의 ‘제주도 한라산 노루에 관한 시스템적 접근(2006)’에서는, 노루의 서식환경 파괴에 따른 이동압력을 주요 변수로 보고 있다. 이 논문에서는 노루의 개체수 증가보다는 이동량의 증가가 농작물과 수목 등에 피해를 주는 주요 요인이라고 파악하였다.

김병수 등은 ‘한라산에 서식하는 노루의 개체수 현황과 관리방안(2007)’이라는 논문을 발표하였다. 이 연구에서는 한라산과 그 주변 약 270km²의 면적에 총 1,444마리의 노루가 확인되었으며, 겨울철 노루의 분포는 먹이의 양과 질에 따른 영향을 더 받고 있다는 결과를 제시하였다.

이외에도, 한라산 연구소에서는 2002년부터 매년 조사연구보고서를 발행하여 한라산 전반에 관한 연구를 진행하고 있으며, 그 한 분야로 노루의 분포 특성, 탈각, 번식생태와 먹이선택 등이 조사되고 있다. 특히 2005년도에는 ‘한라산 야생동물의 현황과 보호관리 방안’이라는 학술 심포지엄을 통해 노루의 분포특징과 보호관리 방안을 보다 심층적으로 연구하였다. 이 심포지엄에서는 적설량으로 인한 노루의 이동과 로드킬(RoadKill) 등으로 인한 문제점 등을 보여주고 있다. 또한, 노루에 대한 체계적인 보호관리 방안이 없다는 점을 가장 큰 문제점으로 보고 있으며 이를 위해 노루관리위원회를 구성할 것을 제안하고 있다.

제주도 한라산 노루에 대한 여러 선행연구를 통해 노루의 생태 시스템을 구성이 가능하였으며, 이들은 다시 몇 개의 하위시스템으로 나뉘어 설명될 수 있다. 이러한 시스템을 구성하는 주요변수를 정리한 내용은 다음의 [표 1]과 같다.

[표 1] 노루 생태 시스템 구성을 위한 하위 시스템별 중요 구성변수

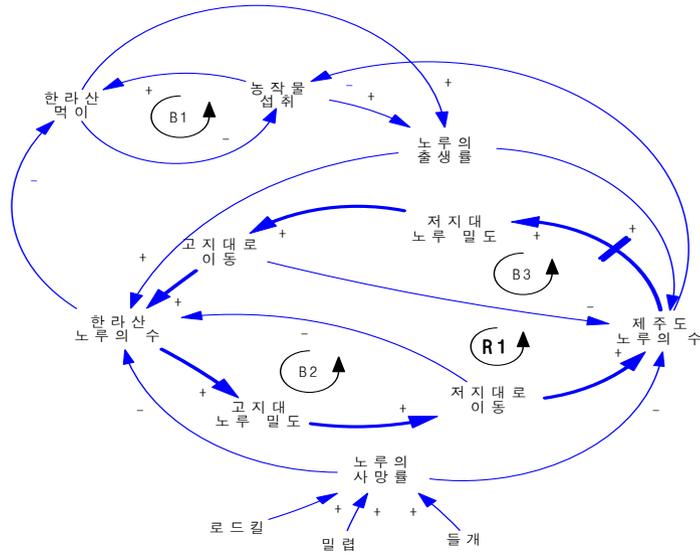
하위 시스템	주요변수	관련연구
노루의 먹이와 서식환경	노루의 먹이, 농작물 섭취량, 출생률, 사망률, 노루의 수	농림부(2001), 윤성일 (2003) 한라산연구소 조사연구보고서 (2002~2006) 김병수·오장근·오홍식 (2007)
노루의 이동	노루의 밀도, 이동압력, 한라산 노루의 수, 제주도 노루의 수	오장근(2004), 한라산연구소 학술 심포지엄 (2005) 김도훈·홍영교(2006)
노루 시스템에 간섭하는 외부환경	로드킬, 밀렵, 들개	한라산연구소 학술 심포지엄 (2005) 김도훈·홍영교(2006) 김병수·오장근·오홍식 (2007)

III. 한라산 노루에 관한 시스템 다이내믹스 모델 구축

1. 한라산 노루의 서식 환경과 이동에 대한 인과지도 작성

선행연구를 통해 분류한 하위 시스템과 주요변수를 이용하여, 인과 순환적 피드백 구조를 지닌 노루의 생태 시스템 인과지도를 구축하였다. 이러한 피드백 구조가 기반이 되어 부분별 피드백 루프를 발견하게 되고, 이러한 부분별 피드백 루프 조합이 이루어져 전체 피드백 루프로 발전된다. 이러한 과정의 반복을 통해 전체 시스템의 구조를 쉽게 파악할 수 있다. 본 논문에서는 최대한 단순하게 표현한 [그림 1]의 인과지도를 통해 전체 노루 시스템을 살펴본다.

[그림 1]은 3개의 균형루프(B1, B2, B3)와 1개의 강화루프(R1)로 이루어져 있다. 우선 첫 번째 피드백 루프(B1)은 한라산에서 자라는 노루의 먹이와 주민들이 경작하는 농작물의 관계로 이루어져 있다. 한라산에서 자라는 노루의 먹이가 부족하게 될 경우엔 농작물의 섭취가 증가하게 된다. 이렇게 농작물의 섭취가 증가하게 되면 한라산에 자생하는 풀의 섭취가 줄어들게 되기 때문에, 한라산에 있는 노루 먹이는 증가하게 된다. 그래서 이들은 첫 번째 균형루프를 이루고 있다.



[그림 1] 노루 생태 시스템의 인과지도

두 번째 피드백 루프(B2)는 한라산에 서식하는 노루의 이동을 보여주고 있다.³⁾ 한라산 노루의 개체수가 증가하게 되면, 노루 밀도가 높아지게 된다. 이렇게 노루의 밀도가 높아져서 노루의 서식환경이 나빠지게 되면,⁴⁾ 노루는 이동압력을 받게 되어 저지대로 이동하게 된다. 이렇게 노루가 저지대로 이동하게 되면 한라산에 서식하는 노루의 개체수는 감소하게 되어 전체적으로 두 번째 균형루프를 형성하게 된다.

세 번째 피드백 루프(B3)는 한라산에서 이동하여 저지대에 서식하고 있는 제주도 노루의 이동을 보여주고 있다. 한라산에서 이동하는 노루의 수가 증가하게 되어 오히려 저지대의 노루 밀도가 높아지게 되면 이들은 다시 고지대로 이동하게 된다. 이들이 고지대로 이동하게 되면 제주도 노루의 밀도는 낮아지게 되어 세 번째 균형루프를 형성하게 된다. 다만, 제주도의 면적이 한라산에 비해 넓기 때문에, 저지대 노루의 밀도가 높아지기까지는 보다 긴 시간 지연이 나타나게 된다.

이러한 한라산 노루⁵⁾와 제주도 노루⁶⁾의 이동은 연속적인 관계에 놓여 있다. 한라산의

3) 본 논문에서는 노루의 개체수를 한라산에서 서식하는 노루와 한라산 이외의 지역에서 서식하는 노루(제주도 노루)로 나누어서 설명하고 있다. 그 이유는, 한라산에서 노루들이 점점 저지대로 이동하여 제주도 전역으로 확대됨에 따라 나타나는 문제를 확인해보기 위함이다

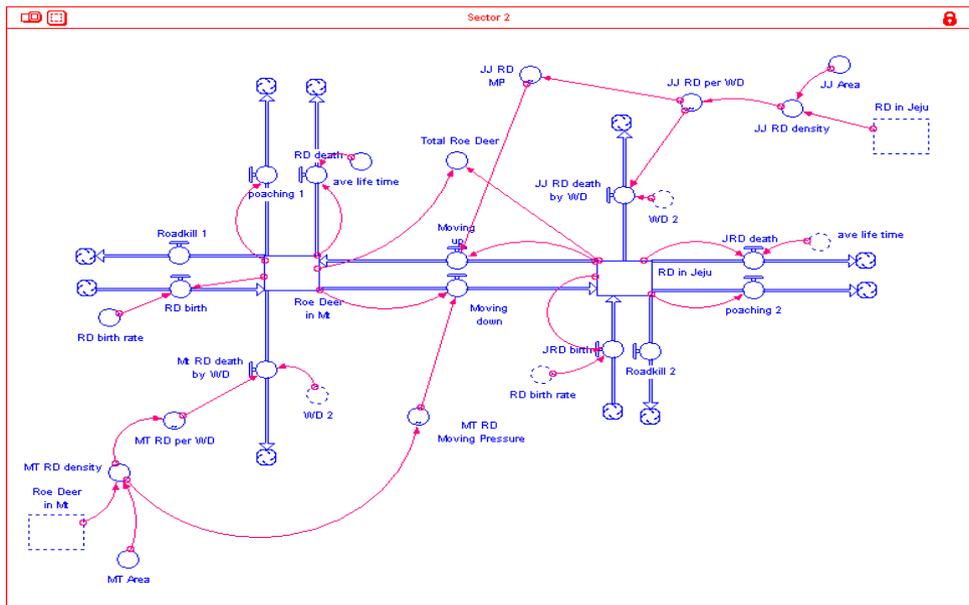
4) 본 논문에서는 노루의 밀도 증가가 노루의 서식환경이 저하를 야기한다고 보고 있다. 여기서 언급하는 서식환경의 저하에는 40cm 이상이 적설량, 등산로 개방으로 인한 소음, 골프장이나 펜션등의 개발로 인한 노루의 은거지 훼손 등을 포함한다.

노루가 저지대로 이동하게 되면 제주도 노루의 개체수가 많아지게 되고, 이는 제주도의 노루 밀도를 높이게 되어 다시 고지대로 이동하게 하는 유인이 된다. 이에 다시 노루들이 한라산으로 이동하게 되면, 한라산의 노루 개체수는 다시 증가하게 된다. 이것이 단순화된 인과지도에 나타나고 있는 강화루프(R1)의 메커니즘이며, 이러한 지속적인 압력으로 노루의 이동은 계속 이루어지게 된다.

2. 시뮬레이션 모델과 행태 분석

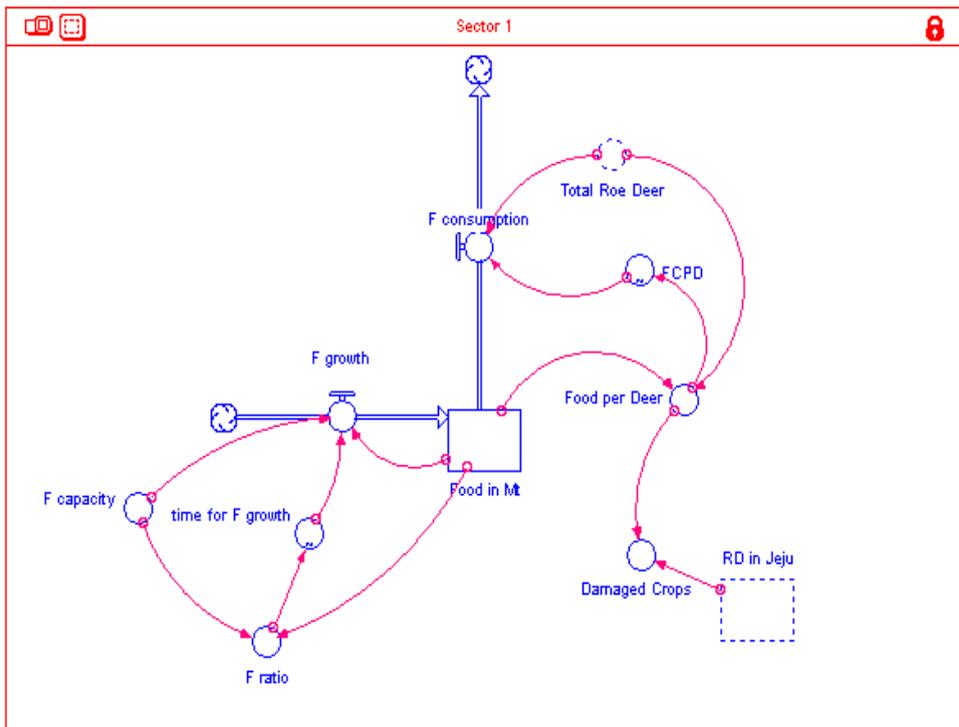
1) 시뮬레이션 모델

한라산 노루 생태 시스템의 인과지도를 기반으로 하여 작성한 모델이 다음의 [그림 2]이다. [그림 2]는 [그림 3]과 [그림 4]와 연결되어 있는데, 이들은 모두 노루의 생태 시스템에 영향을 미치는 주요변수로, 풀의 양과 들개의 수에 대한 모델링이다. 이 모델의 구체적인 수식과 데이터는 [부록]으로 제시하였다.

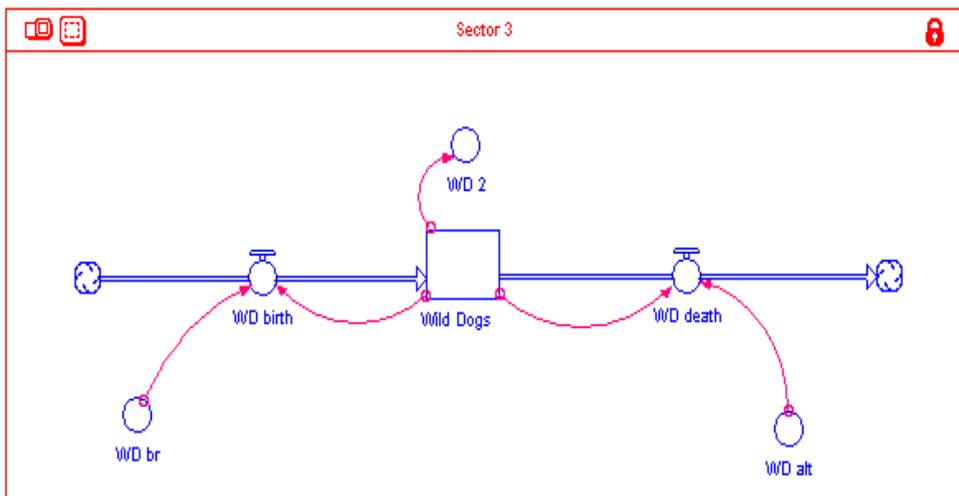


[그림 2] 노루의 생태 모델링

- 5) 본 논문에서는 한라산 국립공원 내에 거주하는 노루를 ‘한라산 노루’라고 명명하였다.
- 6) 본 논문에서는 한라산 국립공원을 제외한 나머지 지역에 거주하는 노루를 ‘제주도 노루’라고 명명하였다.
- 7) 이들은 모두 Ghost로 연결되어 있다(점선으로 나타난 모델링 도구들이 이를 의미한다).



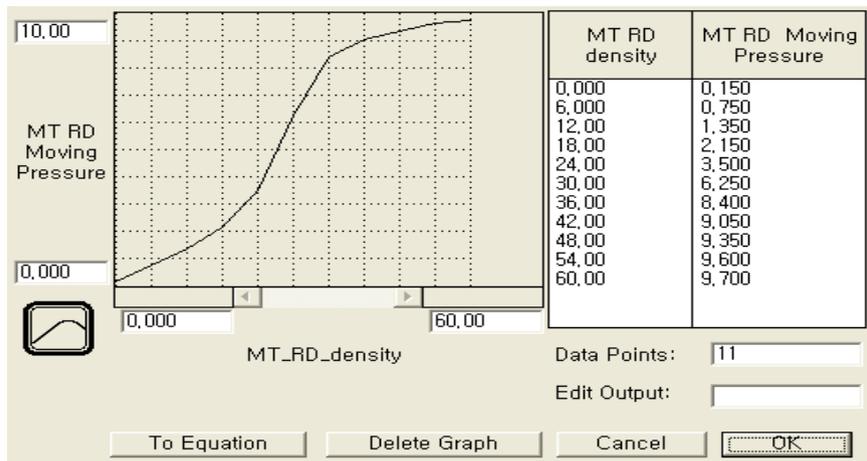
[그림 3] 한라산 내의 노루 먹이와 피해 농작물 모델링



[그림 4] 들개의 생태 모델링

인과지도에서와 마찬가지로, 이 모델에서 노루는 ‘한라산 노루(Roe Deer in Mt)’와 ‘제주도 노루(RD in Jeju)’로 나뉘었으며, 이들은 ‘이동압력(Moving Pressure)’에 의해 양 방향으로 이동하게 된다. 이동압력은 ‘노루의 밀도(RD density)’에 의해 영향을 받는다고 설계되어 있는데, 본 연구에서는 이러한 노루의 밀도는 서식환경의 파괴를 포함하는 것으로 보았다. 선행연구에 의하면 노루의 이동은 노루의 밀도 이외에도 서식지 환경이나 서열 경쟁에 의한 요인들에 의해서도 영향을 받는다. 그러나 서식지 환경의 정도나 서열경쟁에 의해 이동하는 노루의 비율을 정량화 하는 일은 매우 까다로우며, 임의로 강도를 결정하는 방법에는 연구자의 주관이 개입될 수 있다고 보아 본 모델에서는 ‘노루의 밀도’라는 변수에 따라 모든 노루의 이동이 결정되는 것으로 단순화하였다. 즉, 노루의 밀도를 매우 포괄적으로 정의하여 서식지 환경의 파괴정도와 서열 경쟁도를 모두 포함하는 개념으로 사용하고 있다. 실제로 노루의 밀도가 높아지면 서식지 환경파괴정도와 서열경쟁도가 높아지는 방향으로 움직이므로, 무리한 단순화는 아니라고 판단하였다.

이러한 노루의 밀도 변화에 의해 받게 되는 이동압력은 0~10까지의 크기를 가진다고 보고 이 중 이동압력이 가장 높은 정도를 10으로 가정하여, 다음 [그림 5]와 같은 그래프함수로 표현하였다. 노루의 단위 면적당 수용 가능한 밀도는 개방지역일 경우 30~40마리/km², 산림지역이 5~15마리/km²라고 연구되어있다(김병수 외, 2007, 370). 그러나 본 연구에서 노루의 밀도는 서식지 환경 등을 포함하고 있다는 점에서, 1km²당 서식하는 최고 마리 노루의 수를 60마리까지 산정하고, 이들의 밀도가 높아짐에 따라 이동압력이 점점 높아지게 된다고 가정하였다. 이러한 이동압력은 1km² 당 30마리가 넘어가면서 급증하는 S-shape curve의 형태를 띠고 있다.



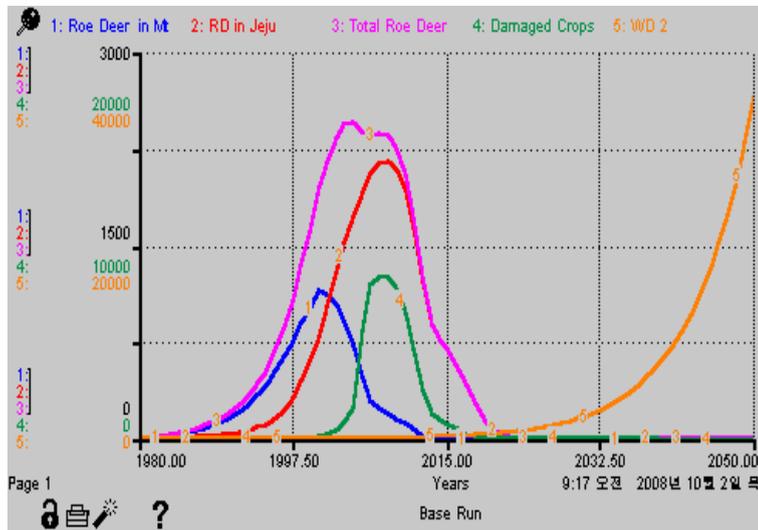
[그림 5] 노루의 밀도에 따른 이동압력

2) 기본 시물레이션

이 모델로 노루의 전체 개체수를 본 기본 시물레이션 결과는 다음의 [그림 6] 처럼 나타난다. 시물레이션의 기간은 1980년부터 2008년 현재까지이다. [그림 6]에서 가로축은 시간의 진행을 의미하고 세로축은 각 변수들의 수치를 나타낸다.

[그림 6]에 따르면, 전체 노루의 개체수는 우선 급격한 성장(S shape curve)의 형태를 보이고 있다고 판단할 수 있다. 이렇게 급격한 성장의 패턴을 유지하던 전체 노루의 마리수는, 2000년도부터 약 2,000마리 이상의 노루 개체수를 유지하고 있다. 이러한 개체수는 2008년인 현재에도 유지되고 있으므로, 노루의 개체수가 안정화 단계에 들어서서 더 이상의 증감이 나타나지 않을 것이라는 기대를 높이게 해 준다. 만약, 이처럼 노루의 전체 개체수가 지속적으로 일정량으로 유지되고 있으며, 이들을 보다 장기간으로 모델링하여도 그 수가 일정하다면, 노루의 생태 시스템은 안정화단계에 도달하였다고 보아도 무방하다.

이에, 이 모델링의 시물레이션의 기간을 더욱 길게 해서 1980년부터 2050년까지의 70년간으로 설정하고, 그 패턴을 살펴보았다. 그 결과는 다음의 [그림 7]과 같으며, 앞서서 살펴본 [그림 6]과는 확연히 다른 패턴을 보여주고 있다. 이들을 상세히 설명하면 다음과 같다.



[그림 6] 기본 시물레이션 (1980년~2008년)

우선, ‘그래프 1(Roe Deer in Mt)’은 한라산에 서식하는 노루의 개체수를 모델링한 것이다. 최초로 10마리로 시작된 노루의 개체수는 지속적으로 급증하다가 2000년 1159마리를 정점으로 하여 감소하고 있다. 이러한 숫자는 - 앞선 농림부의 선행연구에서 한라산 노루의 개체수가 1999년을 정점으로 하여 줄어들고 있다고 보는 것과 유사하다.

‘그래프 2(RD in Jeju)’는 한라산에서 제주도 지역으로 이동한 노루의 개체수를 나타내고 있다. 이들의 개체수는 한라산 노루에 비해 완만하게 증가하다가 2001년도에는 같은 숫자로 증가하고, 그 이후에는 한라산 노루에 비해 월등히 증가하고 있다. 제주도 지역의 노루는 2008년도에 2,167마리까지 증가한 후 감소를 시작하고 있다.

‘그래프 3(Total Roe Deer)’는 ‘그래프 1’과 ‘그래프 2’를 합하여 전체 노루의 개체수를 보여주는 그래프이다. 전반적인 형태는 ‘그래프 1’과 ‘그래프 2’처럼 증가했다가 감소하는 패턴을 보이고 있으나, 그 구체적인 내용은 조금 다르다. 앞선 두개의 그래프는 단 한번 개체수가 최고조에 이른 후 바로 그 숫자가 줄어들고 있지만, ‘그래프 3’은 약 10년에 걸친 균형기간이 존재하고 있다. 그 기간은 2000년부터 2010년까지로, 대략 2,000마리의 노루수를 유지하고 있다. 앞선 [그림 6]에서처럼 단기간의 모델링에서는, 이러한 균형기간 때문에 전체 노루의 개체수가 균형 상태에 놓인 것으로 판단하기 쉽다.

‘그래프 4(Damaged Crops)’는 농작물의 피해량이다. ‘그래프 2’의 증가와 연동되어 주기를 두고 증가와 감소가 나타나고 있음을 보여주고 있다. 이는 한라산의 노루 개체수 증가로 중산간 및 저지대의 농작물 재배지까지 확산된 노루가 먹이로 농작물을 선택하고 있음을 보여준다. 노루가 이동할 수 없는 고립된 서식환경에 처해있었다면, 먹이가 감소됨에 따라 노루의 개체수도 감소하였을 것이다. 그러나 한라산의 노루들은 이동을 통해 농작물을 섭취가 가능하게 되었다. 선행연구에 따르면, 노루에 의한 농작물 피해의 규모는 1998년 107ha, 2003년 380ha, 2004년 583ha 그리고 2005년 상반기에만 460ha에 해당한다(세계일보, 2005). 위의 ‘그래프 4’는 이러한 농작물 피해의 증가 추이를 개괄적으로 보여주고 있다.

‘그래프 5(WD 2)’는 제주도와 한라산에 서식하고 있는 들개(Wild dogs)의 수를 간접하지 않고 그대로 두었을 경우에 급증할 수 있는 마리수를 보여주고 있다. 이들은 2008년도 정도에는 100마리 정도에 불과하지만, 시간이 지나가면서 급격하게 증가될 수 있다는 점을 그래프를 통해 파악할 수 있다.

그렇다면, 시뮬레이션에서 노루의 개체수가 꾸준히 성장하다가 다시 쇠퇴하는 패턴을 보이는 이유는 무엇일까? 시스템 다이내믹스에서는 이러한 패턴을 ‘boom and bust’라고 분류한다. ‘boom and bust’ 패턴은 개체수가 어느 순간 급격하게 증가하다가 다시 급격하게 사라지는 것으로, 전반적인 시스템이 안정화되지 않고 불균형적일때 나타난다. 이러한 시스

템적인 불균형 상태를 해결하기 위해서는, 문제의 원인을 설명할 수 있는 원인을 지속적으로 추적하고 다시 수정하는 과정이 여러 번 반복되어야만 한다(Anderson & Johnson, 1997). 그렇다면, 한라산 노루의 시스템에는 어떤 불균형이 존재하고 있는 것일까? 이 시스템의 불균형 상태를 해결하기 위해서는, 노루의 개체수가 증가한 이유와 감소한 이유를 찾아야 한다.

우선 노루의 개체수가 꾸준히 성장한 첫 번째 이유는, 1980년대 초반부터 지속된 한라산 국립공원관리사무소와 민간단체들의 노력을 들 수 있다. 노루 새끼의 생존율 향상을 돕기 위해 서식지를 보호하고, 겨울철에는 먹이주기운동을 통해 노루들의 겨울나기를 도왔다. 이러한 꾸준한 보호노력을 통한 생존율의 향상은 전체 노루의 지속적인 개체수 증가로 나타났다고 보여진다.

노루의 개체수가 증가한 두 번째 이유로는 노루의 먹이가 되는 ‘풀’과 노루의 개체수라는 생태계 균형이 어긋났기 때문이라는 점을 들 수 있다. 기본적인 생태계 모델링에서 ‘풀’은 초식동물의 출생률과 관련이 되어 있다. 다시 말하자면, 풀의 양이 늘어나서 초식동물이 충분히 섭취할 수 있으면 출생률이 증가하게 되고, 만약 초식동물의 개체수가 너무 증가하여 풀의 양이 부족하게 되면 초식동물의 출생률이나 생존률이 감소하게 되는 것이다. 그런데, 제주도 한라산 노루의 개체수들은 이러한 생태계의 일반 법칙과는 다른 해법을 찾아냈다. 그것은, 먹이가 부족한 경우 한라산의 저지대로 이동해 주민들이 가꾼 ‘농작물’을 섭취하는 것이다. 즉, ‘풀’이 부족하게 되면 그를 대체하는 ‘농작물’을 섭취하면 되기 때문에 먹이의 양이 충분치 않아도 노루의 출생률에 치명적인 영향을 주지 않게 된 것이다. 이러한 생태계의 불균형이 바로 노루 개체수의 증가를 가져온 또 다른 이유라고 할 수 있다.

그렇다면, 노루의 개체수가 감소하는 이유는 무엇인가? 시뮬레이션을 통해 알 수 있듯이, ‘그래프 1’과 ‘그래프 2’는 각기 2000년과 2008년도에 정점에 오른 후 그 수가 감소하고 있다. 즉, 한라산의 노루 개체와 제주도의 노루 개체수가 어느 순간부터 줄어들기 시작한다는 것이다. 보호를 통해 지속적으로 증가하던 한라산 노루의 개체수가 감소하기 시작한 이유는 복합적이거나, 그 중 첫 번째 원인은 노루의 확산이다. 즉, 노루의 증가와 서식지의 파괴 등으로 인한 이동이 노루 개체수 감소의 원인이 된다는 것이다. 우선, 노루의 이동이 증가하게 되면, 이들이 차량과 부딪치는 로드킬의 횟수는 증가하고 어린 노루의 생존률이 떨어지게 된다. 또한 노루의 확산으로 특정 지역의 노루 밀도가 증가하게 되면 수노루들 간의 영역다툼도 증가하게 되며, 이들의 다툼이나 경계행동으로 인해 노루의 개체수가 감소될 수 있다(한라산 연구소, 2005).

노루의 이동과 확산을 보다 구체적으로 살펴보면, 노루의 밀도가 증가하는 지역에서는 서식지의 범위와 먹이량의 감소 때문에 이동이 증가하게 된다. 특히, 한라산의 고지대에서

식하던 노루는 겨울에 적설량이 40cm 이상이 되게 되면 먹이를 찾을 수 없게 되어 중산간 지대로 이동하게 된다(한라산연구소, 2005). 이들 중 일부는 3~4월에 다시 고지대로 이동하여 서식하지만, 중산간지대의 환경에 적응하는 개체수도 있다. 지구 온난화의 영향으로 2000년대 이후 한라산 고지대의 적설량이 50cm를 넘어서게 되면서 노루의 고지대 서식환경은 더욱 악화되었으며(환경스페셜, 2005) 저지대로의 확산 또한 가속화되게 되었다. 또한 매년 봄이 되면 대부분의 1년생 수컷노루들은 성숙한 수컷노루들에 의해 쫓겨 어미의 서식지를 떠나 다른 서식지로 이동하여 영역을 확보하게 되기 때문에 노루의 확산은 증가하게 된다(오장근, 2004). 이러한 자연 환경적인 이동 이외에도, 인간의 인위적인 간섭에 의한 서식지 훼손 역시 한라산에 거주하는 노루의 이동을 촉진한다. 일례로 한라산의 동능 정상은 1994년도부터 2002년도까지 통제구간이었으나 2003년 이후 등산객에게 개방되었는데, 그 이후로 노루의 밀도가 25% 이상 감소하였다(한라산연구소, 2005). 한라산에 서식하는 노루의 이동은, 저지대 및 제주도에 거주하는 노루의 수를 증가시키게 된다.

‘그래프 2’는 바로 이러한 노루의 확산 현상을 분명하게 보여주고 있다. 시뮬레이션 초기에 2마리의 개체수로 시작한 제주도 노루는, 1996~1997년 까지만 해도 한라산 노루에 비해 증가세가 완만하게 나타난다. 그러다가 1997년 이후로는 급격하게 증가하여, 2008년도에는 2,167마리까지 그 개체수가 급증한다. 그리고 그 이후로 다시 급격하게 노루의 개체수가 감소되는 패턴을 보이고 있다. 여기서, 노루가 급격히 증가되는 현상은 한라산 노루의 이동을 그 주요요인으로 볼 수 있다. 시뮬레이션 모델 상에서, 한라산의 노루와 제주도의 노루는 서로 이동하게 되어있다. 그런데, 그러한 이동은 ‘노루의 밀도’로 대표되는 서식 환경에 따라 영향을 받는다. 노루의 밀도를 결정하는 주요 요인은 바로 노루가 서식할 수 있는 공간이다. 한라산의 서식 공간에 비해 제주도의 서식공간⁸⁾은 대략 3배 정도의 넓이를 지니고 있다. 이러한 공간의 차 때문에 제주도의 노루 밀도는 한라산 노루의 밀도에 비해 낮게 형성되며, 이로 인해 한라산으로 돌아오는 노루의 수가 적어지게 된다.

그러나 이러한 확산은 한라산에 서식하는 노루의 개체수 감소 요인중 일부를 설명해 줄 뿐, 제주 지역까지 내려온 노루의 개체수 감소나 전체 노루의 감소를 설명해 주지는 못한다. [그림 7]의 시뮬레이션 결과처럼, 전체 노루의 개체수는 2011년부터 급감하게 되어, 시뮬레이션 상 2028년에는 멸종하는 단계에 이르게 된다. 그렇다면 노루의 확산 이외에 노루가 감소하는 다른 원인은 무엇인가? 본 연구에서 두 번째로 지목한 노루 감소의 원인은 밀렵이다. 밀렵은 공식적으로는 금지되어 있으나, 비공식적으로는 매우 빈번히 일어나고 있

8) 한라산의 서식 면적은 약 153km²이고, 제주도의 면적은 약 1,848km²이다. 한라산의 면적을 제외한 제주도의 면적은 약 1,695km²이고, 이 면적 중 사람들이 주로 거주하는 주거지를 75%로, 노루가 거주하는 서식지를 25%로 보아 대략 420km²를 제주도 노루의 서식공간으로 잡았다.

다. 노루의 개체수가 증가하고 중산간 지대로의 이동이 확산되자 이를 노리는 밀렵꾼들도 점차 늘어나게 되었다(제주일보, 2006). 전반적인 소득수준의 향상으로 레저스포츠용 공기총이 일반에 급속도로 보급되었으나, 이를 단속하는 행정적 역할의 미비로 인해 밀렵이 더욱 성행하게 된 것이다. 또한, 이렇게 밀렵으로 포획된 노루들을 처리해주는 루트가 개발되고 널리 알려지고 있다(농림부, 2001). 제주도내에서 야생동물을 각종 약재와 함께 손질하여 포장과 운반이 용이하게끔 만들어주는 장소를 찾는 것이 그다지 어려운 일이 아니라는 연구결과는 밀렵이 얼마나 번성하고 있는지를 간접적으로 보여주고 있다. 이렇게 밀렵은 성행하고 있으나, 실질적으로 이를 단속하기는 매우 어렵다. 단속을 위한 기동력도 부족한 데다가 단속 권한도 제한되어 있다. 1년에 1~2회 밀렵단속을 위한 노력을 기울여 한해 평균 10여건의 밀렵현장을 단속하고, 밀렵을 위한 텃과 울무를 500여개 정도 수거하고 있으나 단속되지 않는 건수가 더욱 많다는 것이 밀렵감시관계자들의 설명이다(동아일보, 2003). 이와 더불어, 경작지 보호를 위해 주민들이 설치한 피해방제망도 노루 개체수 감소에 큰 역할을 하고 있다(농림부, 2001). 피해방제망은 노루의 접근을 막기보다는 오히려 부실한 출입구를 제공하는 셈이 되어 노루의 생명을 위협하는 것이다. 농림부의 연구에 따르면, 1999년 조사에서 피해방제망에 목이나 뿔이 걸려서 희생된 노루의 수가, 망길이 6km 안팎에 7마리나 되었다고 한다. 즉, 한라산에서 중산간 혹은 저지대로 이동하는 노루의 수가 많아지면서 밀렵이나 방제망에 의해 피해를 입는 노루의 수도 증가하고 있다는 것이다.

이러한 밀렵의 문제 이외에도 노루의 개체 감소에 유의미한 영향을 미치는 세 번째 원인으로 제주도 내 야생 들개의 증가를 들 수 있다. KBS의 환경스페셜 ‘들개의 역습’에서는 노루의 생태계에 들개가 미치는 영향을 상세히 보여주고 있다. 1998년 IMF 경제 위기로 버려지기 시작한 개들은, 세대를 거치면서 야생 적응력이 강해져서 노루뿐만 아니라 염소, 말, 소 심지어는 제주도민들에게도 위협적인 존재가 되어가고 있다. 물론 제주시에서도 이러한 들개의 피해를 알아 ‘들개포획지침’을 세워 대응하고 있지만, 이들의 번식력과 야생적 적응력이 뛰어나 들개를 전부 포획하지는 못하고 있는 실정이다. 또한, 사람들의 애완견에 대한 왜곡된 인식으로 여전히 버려지는 개들이 있으며, 이러한 개들의 유입으로 야생 들개는 점차 확산되고 있는 추세이다. 더구나 야생 늑대와 달리 들개는 ‘배가 불러도 계속 사냥을 하는’ 습성을 지니고 있다. 사냥을 먹이를 잡기위한 도구로 생각하는 것이 아니라, 일종의 게임으로 생각한다는 것이다. 또한, 개는 잡식성으로 노루만을 먹이 대상으로 삼고 있지 않다는 점을 고려해야만 한다. 일반적인 생태계의 피식자-포식자 모델에서는, 포식자의 수가 증가하여 피식자의 수가 감소하게 되면 그 영향에 의해 다시 포식자의 수도 감소하게 되어 있다. 다시 설명하자면, 만약 들개의 먹이가 오직 노루라면 노루의 개체수가 감소하면 들개도 먹을 먹이가 부족하게 되기 때문에 결국에는 들개의 개체수도 감소하게 된다는 것이다.

그렇지만, 들개는 노루만을 먹이로 하지 않는다. 잡식성이므로 주민들이 버린 음식쓰레기에서부터 염소나 조랑말까지도 먹이로 삼을 수도 있다. 즉, 노루의 개체수가 아무리 감소하더라도 들개의 개체수는 지속적으로 증가할 수 있는 환경-생태계의 불균형이 존재한다는 것이다. 이러한 불균형은 노루 개체수의 감소를 일으키는 하나의 중요한 원인이 된다.

이러한 세 가지 원인 이외에도 제주도 내 주요 도로변에서 차량과 충돌하여 죽는 로드킬이나 수컷 노루끼리의 경쟁, 기후나 환경의 영향 등이 노루 개체수의 감소에 영향을 주는 요인으로 고려되고 있다.

3. 정책실험 시뮬레이션 및 분석

그렇다면, 시뮬레이션에서 2000~2010년까지의 기간 동안 노루의 개체수가 2,000마리 이상으로 지속된 것은 무슨 이유 때문일까? 아직까지 2010년이 도래하지 않은 시점에서 노루의 개체수를 일정정도로 유지하는 일은 불가능할 것인가? 라는 의문이 제기될 수 있다.

이러한 의문을 해결하는 방안을 모색하기 위해서 정책 시뮬레이션을 실시한다. 앞 단락에서, 제주도 노루 개체수의 감소를 가져오는 원인을 노루의 확산, 밀렵, 들개의 수 증가 등으로 설명할 수 있었다. 그러한 요인들 중, ‘노루의 확산’이라는 변수에는 서식지의 파괴, 한라산의 개발이나 소음 같은 내용을 포함하고 있는 것으로 설정하였으므로, 이들의 값을 변화시켜 정책테스트를 실시하는 것에는 무리가 따른다. 그래서 본 연구에서는 밀렵의 정도와 들개의 수를 변화시켜보면서 시뮬레이션을 실시하고, 그에 맞는 정책적 시사점을 제시하고자 한다.

애초에 기본 모델링에서는 1985년부터 전체 노루 개체수의 15%가⁹⁾ 밀렵으로 희생된다고 보고 있으며, 들개의 경우는 2000년도¹⁰⁾에 2마리를 시작으로 증가한 것으로 모델링하였다. 여기서는 노루 밀렵의 정도를 15%, 10%, 5%로 낮추어보고, 들개의 숫자를 그냥 둔 경우, 200마리로 제한, 100마리로 제한한 경우로 나누어 모델링을 진행하였다. 그 시나리

9) 환경부와 동물보호단체 등의 통계에 따르면 밀렵꾼 수가 2만 여명에 달하고, 그 중 전문 밀렵꾼의 수만 2,000명에 이른다고 추정하고 있다. 대한수렵협회 제주도지부 밀렵감시단에 의하면, 밀렵 등으로 단속되는 건수는 10여건 정도이지만, 실질적으로 희생되는 노루가 한해 1,000마리에 이를 것으로 추정된다고 한다. 그러나 전체 노루의 개체수를 감안할 때 그와 같은 숫자는 너무 폭이 크다고 판단하여, 본 연구에서는 15%를 기본으로 하여 모델링을 실시하였다.

10) 본 연구에서는, 1998년 IMF 위기를 겪으면서 애완견들을 유기한 데에서 제주도의 들개가 출몰하기 시작하였다고 보고 있다. 이들이 야생에 적응하면서 충분히 들개의 특성을 지니게 되고, 노루를 습격할 수도 있다고 생각되는 2000년도를 기점으로 모델링을 진행하였다.

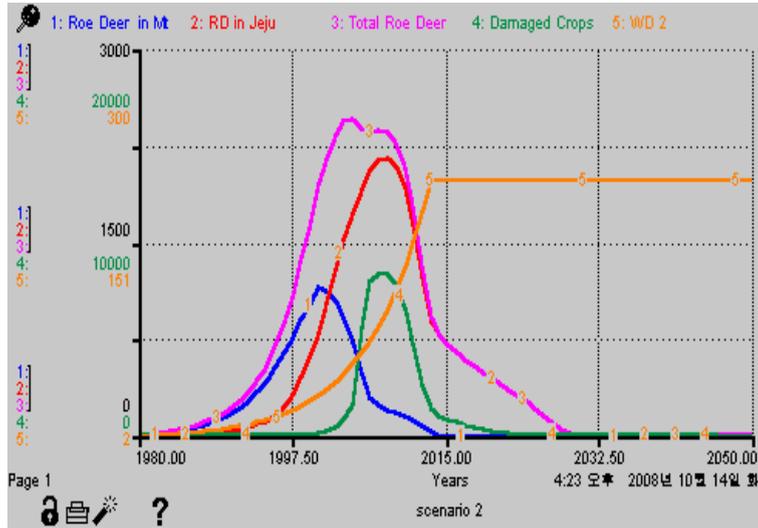
오는 다음과 같으며, 시나리오에 따른 시뮬레이션의 결과는 다음의 [그림 8] ~ [그림 15]와 같다. 다만, ‘시나리오 1’은 기본 시뮬레이션과 차이가 없으며, [그림 7]에 해당한다.

[표 2] 노루 생태 시스템 구성을 위한 하위 시스템별 중요 구성변수

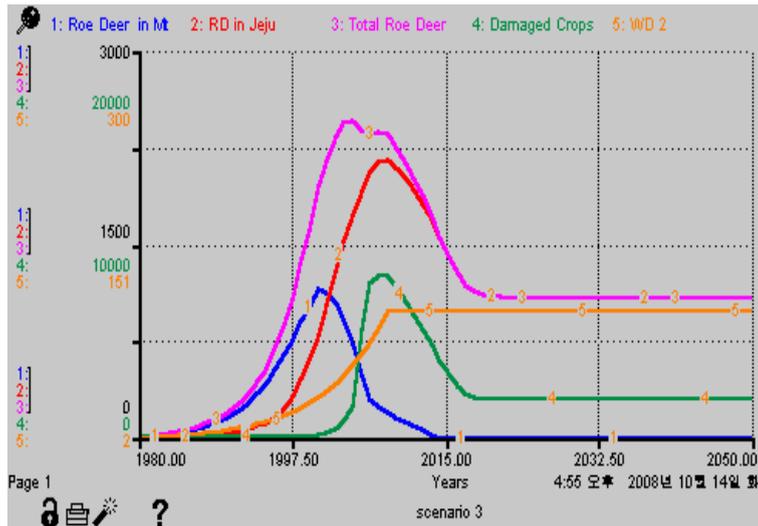
밀렵	들개의 수	시나리오
15%	그대로	1
	200마리로 제한	2
	100마리로 제한	3
10%	그대로	4
	200마리로 제한	5
	100마리로 제한	6
5%	그대로	7
	200마리로 제한	8
	100마리로 제한	9

시나리오의 시뮬레이션의 결과는 몇 가지 특성을 지닌다. 우선, 전반적인 패턴이 기본 시뮬레이션과 유사한 ‘boom and bust’ 패턴을 지니는 시나리오들이 있다. ‘시나리오 2’, ‘시나리오 4’, ‘시나리오 5’, ‘시나리오 7’이 이에 해당되며, 각각의 세부내용은 노루가 2,000마리로 균형을 이루는 시점과, 멸종하는 시기가 몇 년씩 다르다는 점이다. 보다 정확하게 설명하면, ‘시나리오 2’의 경우 노루 수가 2,000마리 이상으로 잠시 균형을 이루는 기간이 2000~2010년 이고, 2035년에 멸종한다. ‘시나리오 4’의 경우, 균형기간은 2000~2011년이 고, 2029년에 멸종한다. ‘시나리오 5’의 경우 2000~2011년이 균형기간이고, 2049년에 멸종한다. ‘시나리오 7’에서는 2000~2013년이 균형기간이고 2030년에 멸종한다.

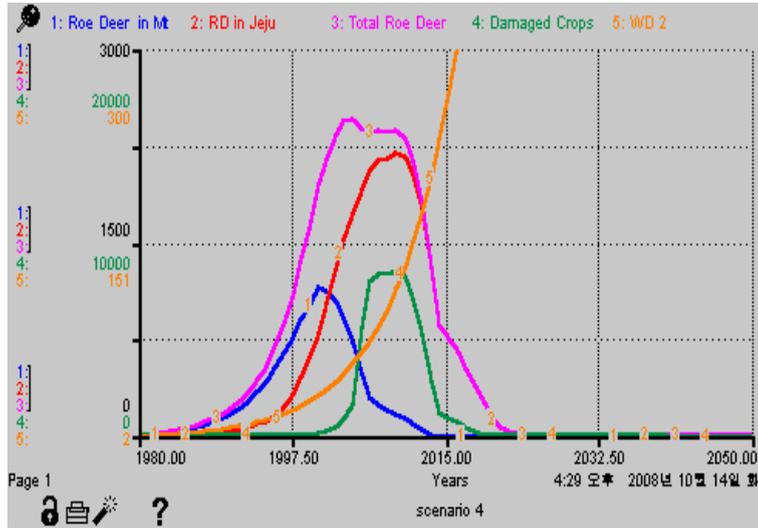
두 번째 유형은, 전체 노루의 숫자가 균형을 이루는 결과를 보여준다. 이에 해당하는 시나리오는 ‘시나리오 3’과 ‘시나리오 8’이다. 우선 ‘시나리오 3’에서는 2013년에서 2016년까지는 뚜렷하게 전체 노루의 숫자가 감소하고 있지만, 그 흐름이 2016년경부터 둔화되면서 2017년경에는 노루의 개체수가 1,091마리로 균형에 도달하게 되어 생태계는 평형을 이루게 된다. 그리고 ‘시나리오 8’에서도 역시 비슷한 패턴이 나타나고 있으며, 다른 점은 균형에 달한 노루의 개체수가 805마리로 ‘시나리오 3’에 비해서 적은 점이다.



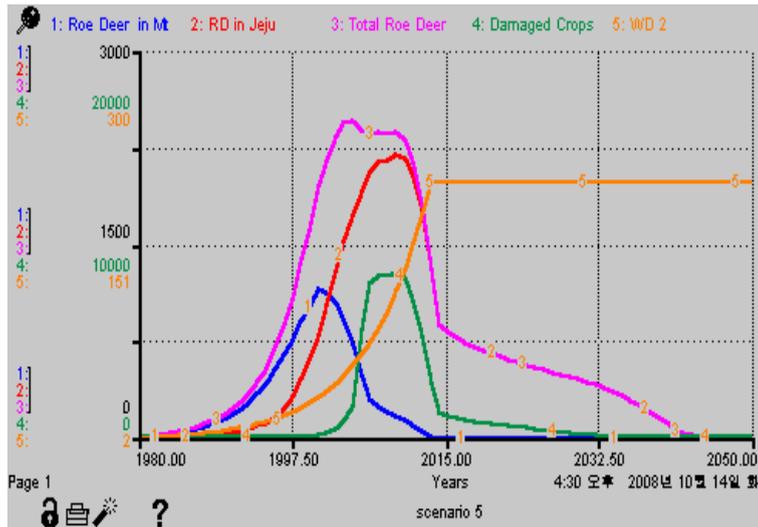
[그림 7] 시나리오 2



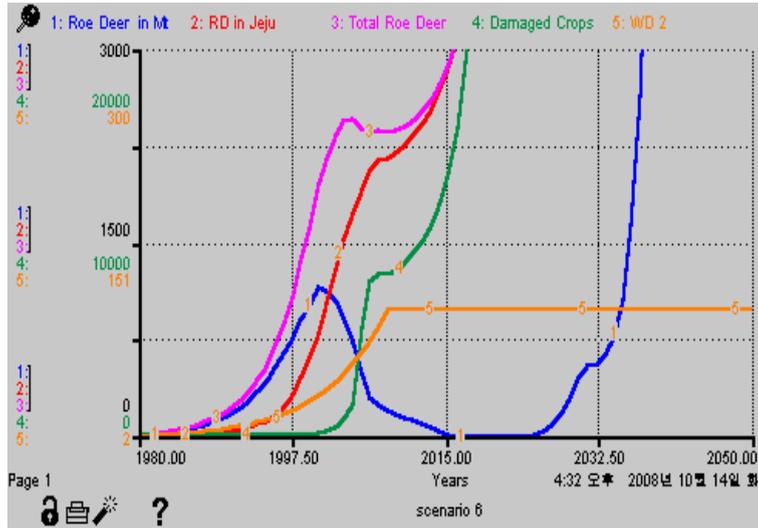
[그림 8] 시나리오 3



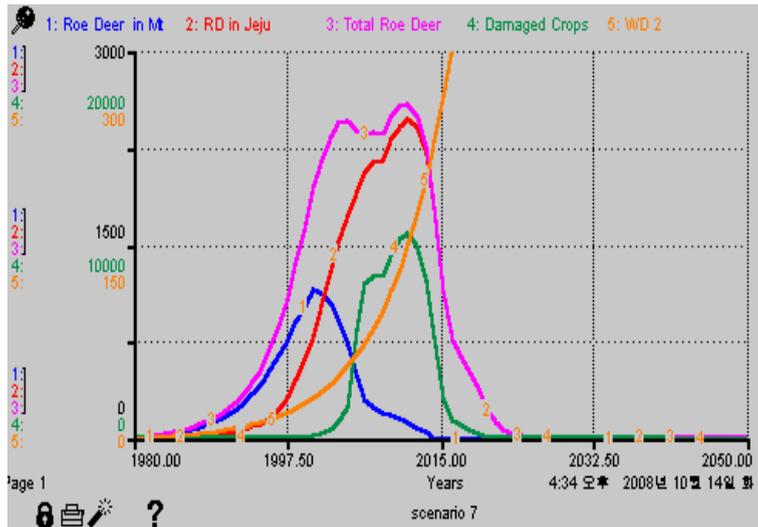
[그림 9] 시나리오 4



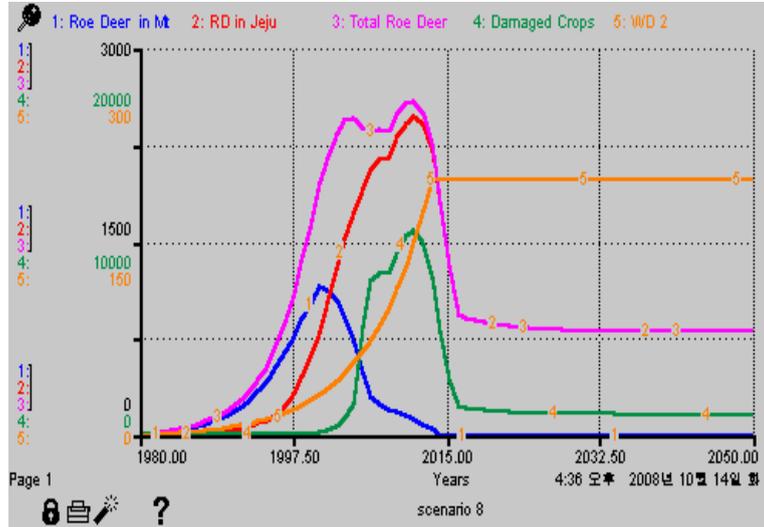
[그림 10] 시나리오 5



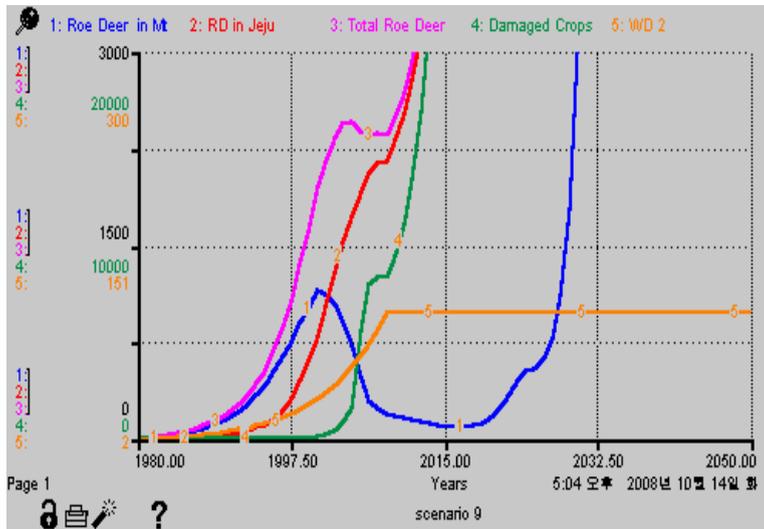
[그림 11] 시나리오 6



[그림 12] 시나리오 7



[그림 13] 시나리오 8



[그림 14] 시나리오 9

세 번째 유형은, 노루의 수가 지속적으로 증가하는 모습을 보여주고 있다. 이는 ‘시나리오 6’과 ‘시나리오 9’에 해당하는 것으로, 구체적인 부분이 약간 다르다. ‘시나리오 6’의 경우 노루의 개체수가 3,000마리 이상으로 증가하는 시점이 2016년인데 비해, ‘시나리오 9’의 경우는 2012년에 노루의 개체수가 3,000마리 이상으로 증가하고 있다.

이러한 정책 시나리오의 결과들은, 우리가 시뮬레이션을 실시하기 전에 제기했던 의문을 해소해 줄 수 있는 몇 가지 단서를 제공해 준다. 우선, 지속적인 의문이 제기되는 것은 2000~2010년까지 노루 개체수의 균형기간이다. 노루의 개체수가 균형을 이룬다는 것은, 생태계가 안정되었다는 손쉬운 결론을 내리게 만든다. 그러나 우리가 실시한 여러 정책시뮬레이션의 결과, 이러한 균형은 매우 ‘불안정한 균형’으로 보여진다. 2000년대 초반에는 한라산 노루의 수가 정점에 이르렀다가 감소하고 있으며, 2000년대 후반에는 한라산 이외의 저지대로 이동한 노루의 숫자가 정점에 달하였다 줄어들고 있다. 비록 밀렵과 로드킬이 지속적으로 노루의 생태계에 영향을 미치고는 있으나, 들개의 숫자가 충분히 불어나기 직전이므로 정말 우연하게도 노루의 전체 개체수가 2,000마리 이상으로 균형을 이루고 있다고 말할 수 있다.

그렇다면, 그 다음의 의문사항인 - 안정적인 노루의 개체수를 유지하기 위해서 필요한 것은 무엇일까? 상식적인 수준으로 언급해서, 밀렵도 없고 들개도 없다면 가장 이상적이지 않을까? 그러나 그렇지 않다는 것이 이미 위의 정책 시나리오에서 제시되고 있다. 밀렵의 정도도 노루 전체 숫자의 5%에 불과하고, 들개의 숫자도 100마리로 한정되었던 ‘시나리오 9’의 경우를 보면 이러한 점은 더욱 분명하게 나타난다. 노루의 개체수가 증가하면서 두드러지게 눈에 띄는 것은 농작물 피해의 증가이다. 당분간은 노루가 농작물을 섭취하면서 지속적인 증가가 가능하게 되겠지만, 이러한 상황이 발생하게 된다면 주민들의 농작물을 지키기 위한 대응도 늘어나게 될 것이다. 사람들의 적극적인 대처는 분명히 노루의 개체수를 감소시킬 것이다. 또한, 만약 노루수의 급증으로 노루의 먹이가 다 떨어지게 된다면 어떨까? 분명히 카이밥 고원(Kaipab plateau)에서의 사슴의 경우와 마찬가지로 어느 순간에는 노루가 굶주리다가 사망에 이르게 될 것이다. 즉, 제한된 자원에 의해서 지속적인 성장은 제약을 받을 수밖에 없다(Kim, 1994: 18-19).

위의 정책 시나리오의 결과들은 매우 흥미로운 점을 보여주고 있다. 그것은 모든 시뮬레이션의 결과에서 보여주고 있듯이, 밀렵의 정도를 낮추는 것 보다는 들개의 수를 조절하는 것이 생태계의 균형에 더 많은 영향을 미치고 있다는 것이다. 일례로 ‘시나리오 1’, ‘시나리오 4’, ‘시나리오 7’은 다른 조건은 모두 같고 밀렵의 정도만을 다르게 하였다. 그런데, 그들의 패턴은 거의 비슷하게 보여지고 있으며, 다른점은 멸종에 이르는 시간이 좀 더 늦춰지는 것이다. 그러나 들개의 수를 조절한 예를 본다면, 그들의 차이가 보다 분명하게 나

타나고 있음을 알 수 있다. 우리가 발견한 안정적인 노루의 개체수에 도달하는 2개의 시나리오(시나리오 3과 시나리오 8)를 분석하면 이러한 점을 더욱 분명히 알 수 있다. 그것은 밀렵의 정도가 15% 인가 10% 인가보다는 들개의 수가 200마리로 제한되었는가 100마리로 제한되었는가에 따라서 균형에 도달하는 노루의 개체수에 차이가 나타나기 때문이다. 그렇다면, 밀렵 정도의 감소는 왜 들개 숫자의 감소에 비해 노루 생태계에 더 적은 영향을 미쳤을까? 이는 밀렵의 %는 노루의 전체 숫자에 의존하는 경향이 더 크기 때문으로 판단된다. 노루의 개체수가 적어지면, 노루의 밀렵도 힘들어지기 때문이다. 물론, 들개도 노루의 개체수가 적어질수록 사냥이 힘들어지겠지만, 들개의 개체수는 노루의 개체수에 의존하지 않는다. 들개는 잡식성으로 노루 이외에도 다른 먹이를 사냥하고, 사람들이 버린 음식쓰레기를 먹고서도 생존해 나간다. 이는 노루의 개체수가 줄어들어도 들개의 개체수가 지속적으로 증가할 수 있는 이유를 설명해준다. 또한 앞서 언급한 것처럼, 들개는 그저 게임삼아 노루를 사냥할 수도 있다. 이러한 이유 때문에 제주도 노루의 생태계는 들개의 개체수에 의해 더 많은 영향을 받는 것으로 보여진다.

IV. 결론

야생동물은 건강한 산림생태계의 상징이자 중요한 산림의 부산물이다. 적절한 야생동물의 서식밀도와 개체수를 유지하는 것은 자연상태계 보전의 전제조건이 될 것이다(농림부, 2001). 한라산의 건강한 자연상태계 보전을 위해 제주시와 제주도민들은 지속적인 노력을 기울여 왔으나, 현재의 노루 생태계는 여전히 불안정하다고 판단된다. 앞서 실시한 모델링에 의하면 2008년 현재 제주에는 약 2,300마리의 노루가 있는 것으로 추정되고 있으나, 이들의 수가 균형 상태에 이른 것은 아니며, 향후 5년 이내에 그 수가 감소할 수 있음을 보여주고 있다.

본문에서 시나리오 분석을 통해 노루 생태계가 밀렵이나 들개라는 - 그다지 바람직하지 않은 시스템에 의해서 많은 영향을 받고 있다는 점을 알 수 있었다. 현재 2,300여 마리로 추정된 노루의 개체수는 ‘불안한 균형’ 상태에 머물러 있으며, 이러한 일시적인 균형은 언제 무너질지 모른다. 이러한 ‘불안한 균형’의 가장 큰 원인은 노루의 주요 서식지인 한라산의 생태계 균형이 무너지고 있기 때문이다. 먹을 풀이 부족해도 노루들이 저지대로 이동하여 농작물을 섭취함으로써 노루의 개체수를 지속적으로 증가시키게 되고, 반대로 들개의 개체수가 많아지게 되면 노루의 개체수는 지속적으로 감소하게 되는 패턴이 잠재해 있었다. 이러한 이유 때문에 밀렵의 양이나 들개의 개체수가 민감하게 노루의 개체수에 영향을

미쳐, 노루가 어느 순간 급증하거나 급감할 수 있는 불안요인이 늘 잠재되어 있다고 보아야 한다.

이러한 불균형적인 노루의 생태 시스템의 균형을 유지하기 위하여 가장 중요한 일은 우선 들개의 수를 적정한 개체수로 억제하는 일이다. 본 논문의 분석에 따르면, 최대 100마리 미만의 들개가 한라산에 서식하고 있어야 노루의 개체수가 어느 정도 균형점에 도달할 수 있었다. 만약, 이들을 방치하여 제주지역에 들개가 무분별하게 증가하게 된다면, 애써 보호한 노루가 수십 년 이내로 멸종할 가능성도 있다.

또한, 지속적으로 지적되고 있는 밀렵의 비율도 줄여나가야 할 것이다. 시나리오 분석 상에서는 밀렵의 감소가 들개의 숫자처럼 두드러지게 노루의 개체수를 변화시키지는 않았으나, 노루의 멸종을 지연시키는 역할을 하고 있었다. 동일한 비율로 밀렵이 이루어진다고 볼 때, 지속적인 단속을 통해 밀렵을 점차 근절시키는 것이 장기적으로는 노루의 생태계를 지키는 일이다.

마지막으로, 제주도 노루의 생태계를 복원하기 위해 가장 필요한 일은, 한라산에 노루가 머무를 수 있는 쾌적한 서식 환경을 만드는 일이다. 즉, 난개발이나 서식환경 파괴 등을 막아 근본적으로 노루의 확산을 더디게 하여야만 저지대로 내려오는 노루의 수가 감소하게 될 것이며, 노루의 생태계도 보다 건전하게 유지될 것이다. 한라산을 노루가 머무를 수 있는 곳으로 지키는 일이야 말로, 노루가 사람이 사는 곳으로 이동하지 않는 근본적인 해결책이 될 것이다. 노루의 생태계가 사람들이 거주하는 환경과 분리되어 지속가능할 때, 노루를 보호하고자 하는 제주도민들의 마음도 유지될 수 있을 것이다.

【참고문헌】

- 김도훈·문태훈·김동환. (1999). 『시스템 다이내믹스』. 서울: 대영문화사.
- 김도훈·김동환. (1997). 혼합계임을 위한 시스템 다이내믹스 모델. 『한국행정학보』, 31(2).
- 김도훈·홍영교. (2006). 제주도 한라산 노루에 관한 시스템적 접근. 『한국시스템다이내믹스연구』, 7(2); 191-213.
- 김병수·오장근·오홍식. (2007). 한라산에 서식하는 노루의 개체수 현황과 관리방안. 『한국환경생태학회지』, 21(4).
- 농림부. (2001). 『제주도 야생동물에 의한 피해실태 분석과 효율적인 대처방안에 관한 연구』.
- 문태훈. (2007). 『시스템사고로 본 지속가능한 도시』. 집문당.
- 박병인. (2008). 시스템다이내믹스기법을 이용한 우리나라 양식넙치시장의 수급구조 분석. 『수산경영논집』, 31(1).
- 송명규. (2003). 심층생태학과 사회생태학의 논쟁에 대한 비판적 고찰. 『한국도시행정학회 도시행정학보』, 16(3); 45-61.
- 오장근. (2004). 『제주도 노루의 생태학적 행동 특징』. 박사학위 논문, 한국교원대학교.
- 오장근. (2005). 노루의 분포특징과 보호관리방안, 학술심포지엄 12. 23; 9-23.
- 윤성일. (2003). 『제주도지역 노루의 생태에 관한 연구』. 박사학위 논문, 고려대학교.
- 정석환·홍영교. (2007). 대북포용정책의 차원과 타당화, 『한국행정학보』, 41(1); 218.
- 정희성·전대욱. (2006). 생태계 복원사업의 생태, 경제 통합체계 동태분석, 『한국시스템다이내믹스연구』, 7(2).
- 최남희. (2003). 시스템 다이내믹스 기법을 이용한 서울시 도시동태성 분석과 정책지렛대 탐색. 『한국행정학보』, 37(4).
- 한라산연구소. (2002). 『한라산 연구소 조사연구보고서』, 창간호.
- 한라산연구소. (2003). 『한라산 연구소 조사연구보고서』, 제2호.
- 한라산연구소. (2004). 『한라산 연구소 조사연구보고서』, 제3호.
- 한라산연구소. (2005). 『한라산 연구소 조사연구보고서』, 제4호.
- 한라산연구소. (2006). 『한라산 연구소 조사연구보고서』, 제5호.
- 한라산연구소. (2005). 『한라산 야생동물의 현황과 보호관리방안』, 학술심포지엄.

- 뉴시스. (2008). 노루생태관찰원 노루풍년. 3. 13.
- 동아일보. (2003). 겨울철 밀렵 급증. 1. 8.
- 미디어제주. (2005). 노루와 인간, 상생 방안은 없다. 4. 29.
- 세계일보. (2005). 야생 노루 출몰에 농가 피해 심각. 7. 13.
- 세계일보. (2005). 노루가 귀엽다구요? 골치덩어리에요. 12. 5.
- 제주일보. (2005). 산간도로 운전자, 야간에는 노루가 두려워. 2. 16.
- 중앙일보. (2008). 태양열 전기철책으로 농작물 지키기. 8. 19.
- 제주일보. (2006). 노루 로드킬 심각. 5. 27.
- 제주일보. (2006). 야생조수 수난의 계절. 1. 11.
- 제주타임즈. (2004). 한겨울 악천후가 좋은 밀렵꾼들 ‘호시탐탐’. 12. 6.
- 환경스페셜. (2005). 한라산 노루, 길을 잃다. 4. 6.
- 환경스페셜. (2006). 그래도 밀렵은 계속된다. 4. 12.
- 환경스페셜. (2008). 들개의 역습. 4. 30.
- KBS 자연 다큐멘터리. (2000). 살아있는 전설 한라산 노루. 11. 20.

- Anderson, V. and Johnson, L. (1997), *Systems Thinking Basics*. Waltham, MA: Pegasus communications, Inc.
- Arquitt, S. and Johnstone, R. (2004), A scoping and consensus building model of a toxic blue-green algae bloom, *System Dynamics Review*, 20.
- Bach, N. L. and Saeed, K. (1992), Food self-sufficiency in Vietnam: A search for a viable solution. *System Dynamics Review*, 8.
- Faust, L. J., Jackson, R., Ford, A., Earnhardt, J. M., and Thompson, S. D., (2004), Models for management of wildlife populations: lessons from spectacled bears in zoos and grizzly bears in Yellowstone, *System Dynamics Review*, 20.
- Kilpatrick, H.J. and Spohr, S.M. 1997. Spatial and temporal use of a suburban landscape by female white-tailed deer. *Wildlife Society Bulletin* 28(4): 1023-1029.
- Kim, Daniel H. (1994). *Systems Archetypes II: Using systems archetypes to take effective action*. Cambridge, MA: Pegasus Communications, Inc.
- Meadows, D. H. (1980), *Elements of the system Dynamics Method*, Massachusetts, The MIT Press.
- Richardson. G. P. & A. L. Pugh. (1981). *Introduction to System Dynamics Modeling with DYNAMO*. Cambridge, MA: The MIT Press.

- Richmond, B. (1993). Systems Thinking: Critical Thinking Skills for the 1990s and Beyond. *System Dynamics Review*, 9:113-133.
- Schlesinger, William H. (2006), Global Change Ecology. *Trends in Ecology and Evolution*, Vol.21, Issue 6 June; 348-351.
- Senge, P.M., (1990). The Leader's New Work: Building Learning Organizations. *Sloan Management Review*, 32:7-23.
- Sterman, J.D. (2000). *Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World*. the McGraw-Hill Company.
- Walter, W.D., Perkins, P.J., Rutberg, A.T., and Kilpatrick, H.J. 2002. Evaluation of immuno-contraception in a free-ranging suburban white-tailed deer herd. *Wildlife Society Bulletin* 30(1): 186-192.

【 부 록 】

Sector 1

$$\text{Food_in_Mt}(t) = \text{Food_in_Mt}(t - dt) + (\text{F_growth_} - \text{F_consumption}) * dt$$

$$\text{INIT Food_in_Mt} = 9500$$

INFLOWS:

$$\text{F_growth_} = (\text{F_capacity} - \text{Food_in_Mt}) / \text{time_for_F_growth}$$

OUTFLOWS:

$$\text{F_consumption} = (\text{Total_Roe_Deer} * \text{FCPD})$$

$$\text{Damaged_Crops} = \text{RD_in_Jeju} * (1 / \text{Food_per_Deer})$$

$$\text{Food_per_Deer} = \text{Food_in_Mt} / \text{Total_Roe_Deer}$$

$$\text{F_capacity} = 12500$$

$$\text{F_ratio} = \text{Food_in_Mt} / \text{F_capacity}$$

$$\text{FCPD} = \text{GRAPH}(\text{Food_per_Deer})$$

$$(0.00, 0.00), (0.2, 0.2), (0.4, 0.4), (0.6, 0.6), (0.8, 0.8), (1.00, 1.00), (1.20, 1.00), (1.40, 1.00), (1.60, 1.00), (1.80, 1.00), (2.00, 1.00)$$

$$\text{time_for_F_growth} = \text{GRAPH}(\text{F_ratio})$$

$$(0.00, 20.0), (0.1, 18.9), (0.2, 17.3), (0.3, 15.8), (0.4, 13.9), (0.5, 11.5), (0.6, 8.89), (0.7, 6.13), (0.8, 3.28), (0.9, 1.95), (1, 1.00)$$

Sector 2

$$\text{RD_in_Jeju}(t) = \text{RD_in_Jeju}(t - dt) + (\text{JRD_birth} + \text{Moving_down} - \text{JRD_death} - \text{Moving_up} - \text{JJ_RD_death_by_WD} - \text{poaching_2} - \text{Roadkill_2}) * dt$$

$$\text{INIT RD_in_Jeju} = 2$$

INFLOWS:

$$\text{JRD_birth} = \text{RD_in_Jeju} * \text{RD_birth_rate}$$

$$\text{Moving_down} = \text{DELAY}(\text{Roe_Deer_in_Mt} * 0.01 * \text{MT_RD_Moving_Pressure}, 1)$$

OUTFLOWS:

$$\text{JRD_death} = \text{RD_in_Jeju} / \text{ave_life_time_}$$

```

Moving__up = DELAY(RD_in_Jeju*0.01*JJ_RD_MP,1)
JJ_RD_death__by_WD = STEP((WD_2*JJ_RD_per_WD),2000)
poaching
__2 = STEP((RD_in_Jeju*0.15),1985)
Roadkill_2 = STEP(40,1998)
Roe_Deer__in_Mt(t) = Roe_Deer__in_Mt(t - dt) + (RD_birth + Moving__up - RD_death -
    Moving__down - Mt_RD_death__by_WD - poaching_1 - Roadkill_1) * dt
INIT Roe_Deer__in_Mt = 10

```

INFLOWS:

```

RD_birth = Roe_Deer__in_Mt*RD_birth_rate
Moving__up = DELAY(RD_in_Jeju*0.01*JJ_RD_MP,1)

```

OUTFLOWS:

```

RD_death = Roe_Deer__in_Mt/ave_life_time__
Moving__down = DELAY(Roe_Deer__in_Mt*0.01*MT_RD__Moving_Pressure,1)
Mt_RD_death__by_WD = STEP((WD_2*MT_RD_per_WD),2000)
poaching_1 = STEP((Roe_Deer__in_Mt*0.15),1985)
Roadkill_1 = STEP(40,1998)
ave_life_time__ = 10
JJ_Area = 42
JJ_RD_density = RD_in_Jeju/JJ_Area
MT_Area = 15.3
MT_RD_density = Roe_Deer__in_Mt/MT_Area
RD_birth_rate = 0.51
Total_Roe_Deer = RD_in_Jeju+Roe_Deer__in_Mt
JJ_RD_MP = GRAPH(JJ_RD_per_WD)
(0.00, 0.15), (6.00, 0.75), (12.0, 1.35), (18.0, 2.00), (24.0, 3.55), (30.0, 7.05), (36.0, 8.40),
    (42.0, 9.05), (48.0, 9.35), (54.0, 9.60), (60.0, 9.70)
JJ_RD_per_WD = GRAPH(JJ_RD_density)
(0.00, 0.18), (6.00, 0.39), (12.0, 0.66), (18.0, 1.11), (24.0, 1.77), (30.0, 3.66), (36.0, 5.01),
    (42.0, 5.40), (48.0, 5.64), (54.0, 5.79), (60.0, 5.88)
MT_RD_per_WD = GRAPH(MT_RD_density)

```

(0.00, 0.15), (6.00, 0.3), (12.0, 0.54), (18.0, 0.96), (24.0, 1.44), (30.0, 2.70), (36.0, 4.50),
 (42.0, 5.40), (48.0, 5.70), (54.0, 5.85), (60.0, 5.88)

MT_RD__Moving_Pressure = GRAPH(MT_RD_density)

(0.00, 0.15), (6.00, 0.75), (12.0, 1.35), (18.0, 2.15), (24.0, 3.50), (30.0, 6.25), (36.0, 8.40),
 (42.0, 9.05), (48.0, 9.35), (54.0, 9.60), (60.0, 9.70)

Sector 3

Wild_Dogs(t) = Wild_Dogs(t - dt) + (WD_birth - WD_death) * dt

INIT Wild_Dogs = 2

INFLOWS:

WD_birth = Wild_Dogs*WD_br

OUTFLOWS:

WD_death =

Wild_Dogs/WD_alt

WD_2 = Wild_Dogs

WD_alt = 10

WD_br = 0.25