



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

碩 士 學 位 論 文

제주노루(*Capreolus pygargus*)의
공간적 분포와 서식지 선호도 분석

嶺南大學校 大學院

生 命 科 學 科

生 命 科 學 專 攻

金 아 름

指導教授 張 甲 洙

2016 年 2 月

碩 士 學 位 論 文

제주노루(*Capreolus pygargus*)의
공간적 분포와 서식지 선호도 분석

指導教授 張 甲 洙

이 論文을 碩士學位 論文으로 提出함

2016年 2月

嶺南大學校 大學院

生命科學科 生命科學專攻

金 아 름

金아름의 碩士學位 論文을 認准함

審 查 委 員 _____ (印)

審 查 委 員 _____ (印)

審 查 委 員 _____ (印)

2016 年 2 月

嶺南大學校 大學院

목 차

I. 서론	1
II. 연구사	3
1. 국내 노루에 대한 선행연구	3
2. MaxEnt에 대한 선행연구	4
III. 재료 및 방법	5
1. 연구대상종	5
2. 연구대상지	7
3. 연구방법	10
IV. 결과 및 고찰	20
1. 제주도 전체의 일반현황	20
2. 한남시험림의 일반현황	24
3. 제주도 전체 서식지 모델링을 위한 환경변수	28
4. 한남시험림 서식지 모델링을 위한 환경변수	34
5. 제주노루의 서식지 모델링 결과	39
(1) 제주도 전체 서식지 모델링	39
(2) 한남시험림 서식지 모델링	48
6. 행동권	58
V. 결론	61
VI. 참고문헌	63
VII. 부록	68
영문요약	70

The list of tables

Table 1. Precedent studies of roe deers in halla research institute	3
Table 2. Information on the roe deers captured for Jeju island	11
Table 3. Information on the roe deers captured for HEF	12
Table 4. 15 environmental variables and their specification for analysis	14
Table 5. Selection of the proper variables derived from 15 environmental factors in Jeju island	15
Table 6. Selection of the proper variables derived from 14 environmental factors in hannam experimental forest	16
Table 7. Result of Percent contribution and Permutation importance in Jeju island	40
Table 8. Probability area of altitudinal distribution	42
Table 9. Age-class of altitudinal distribution	43
Table 10. Crown density of altitudinal distribution	44
Table 11. Result of Percent contribution and Permutation importance in HEF	49
Table 12. Summary of case processing	53
Table 13. Omnibus test of Model Coefficients	53
Table 14. Summary of the model & Hosmer and Lemeshow test	54
Table 15. Classification table	55
Table 16. Variables in the Equation	56
Table 17. Information of individuals	58

The list of figures

Fig. 1. Study area in Jeju Island	7
Fig. 2. Vegetation in Jeju island	8
Fig. 3. Dominant species in hannam experimental forest	9
Fig. 4. MaxEnt (Maximum Entropy Species Distribution Modeling , Version 3.3.3k)	11
Fig. 5. Field-surveying data using presence-only data in Jeju island	12
Fig. 6. GPS-tracking telemetry data in hannam experimental forest (7 roe deers)	13
Fig. 7. captured roe deers and GCT tracker	17
Fig. 8. A procedure on predicting the habitat preference of roe deers in Jeju island	18
Fig. 9. A procedure on predicting the habitat preference of roe deers in hannam experimental forest	19
Fig. 10. Frequency of roe deers depending on forest type in Jeju island	20
Fig. 11. Frequency of roe deers depending on age-class in Jeju island	21
Fig. 12. Frequency of roe deers depending on diameter class in Jeju island	21
Fig. 13. Frequency of roe deers depending on crown density in Jeju island	22

Fig. 14. Frequency of roe deers depending on land coverage	
in Jeju island	23
Fig. 15. Frequency of roe deers depending on elevation	
in Jeju island	23
Fig. 16. Frequency of roe deers depending on forest type in HEF	24
Fig. 17. Frequency of roe deers depending on age-class in HEF	25
Fig. 18. Frequency of roe deers depending on diameter class in HEF ..	25
Fig. 19. Frequency of roe deers depending on crown density in HEF ..	26
Fig. 20. Frequency of roe deers depending on land coverage in HEF ..	27
Fig. 21. Environmental variables of elevation and hillshade	
in Jeju island	28
Fig. 22. Environmental variables of aspect and slope	
in Jeju island	29
Fig. 23. Environmental variables of d_agri and d_stream	
in Jeju island	29
Fig. 24. Environmental variables of d_forest (out) and d_forest (in)	
in Jeju island	30
Fig. 25. Environmental variables of d_road and d_oreum	
in Jeju island	31
Fig. 26. Environmental variables of elevation and hillshade	
in Jeju island	32
Fig. 27. Environmental variables of NDVI (1), NDVI (4) and yung	
in Jeju island	32

Fig. 28. Environmental variables of elevation and hillshade in HEF	34
Fig. 29. Environmental variables of aspect and slope in HEF	35
Fig. 30. Environmental variables of d_agri and d_stream in HEF	35
Fig. 31. Environmental variables of d_forest (in) and d_road in HEF	36
Fig. 32. Environmental variables of d_oreum and yung in HEF	36
Fig. 33. Environmental variables of Temp (1) and Temp (4) in HEF	37
Fig. 34. Environmental variables of NDVI (1) and NDVI (4) in HEF	38
Fig. 35. ROC curve in Jeju island	39
Fig. 36. Jackknife of regularized training gain in Jeju island	41
Fig. 37. Prediction map of roe deers in Jeju island	42
Fig. 38. Response curves in Jeju island	46
Fig. 39. ROC curve in HEF	48
Fig. 40. Jackknife of regularized training gain in HEF	49
Fig. 41. Prediction map of roe deers in HEF	50
Fig. 42. Response curves in HEF	51
Fig. 43. Prediction map of roe deers in HEF	57
Fig. 44. Home range of total individuals	58
Fig. 45. Home range of each individual (3 roe deers)	58
Fig. 46. Dominant vegetation within home range in HEF	59

I. 서론

제주노루는 역사책에 등장할 정도로 유명하였지만, 일제강점기의 무분별한 밀렵의 영향으로 인해 1970년대와 1980년대에 멸종위기에 처하기도 하였다(김병수 등, 2007, 전대욱과 김도훈, 2011). 그 후 1987년에 노루를 제주도의 상징종(포유류)로 만들겠다는 제주도민의 의지로 인해 겨울철 먹이주기, 올가미 수거 등의 보호운동과 민간단체와 국립공원관리사무소의 노력으로 서식개체수가 수천마리로 증가하였고, 이로 인해 제주노루는 제주도의 새로운 관광자원으로 부상하기도 하였다(윤성일, 2003; 김도훈과 홍영교, 2006; 전대욱과 김도훈, 2011). 하지만 호랑이, 표범, 늑대 등의 천적이 오래 전에 사라지고, 온화한 기후로 인하여 노루의 먹이까지 풍부해지자, 1990년대 들어서 개체 수가 급격히 증가하였으며, 1990년 말부터는 오름과 곶자왓 등의 산림지역을 중심으로 제주도 전역에 서식하면서 인근 농작물에 피해를 주기 시작했다. 노루에 의한 농작물 피해는 1990년대 초부터 발생하여 지속적으로 증가하는 추세이며, 노루와 차량과의 충돌로 노루뿐만 아니라 인명 및 재산 피해도 발생하였다(오장근, 2015).

노루의 급격한 개체 수 증가와 지역사회에서의 문제야기로 인하여 노루에 대한 연구가 진행되어 왔는데, 김도훈과 홍영교(2006)는 제주도 내 농작물 피해증가의 주요 원인이 노루인지를 평가하기 위해 시스템사고를 이용하였고, 김병수 등(2007)은 한라산에 서식하는 노루의 개체수 조사를 통하여 노루의 개체군 유지를 위한 관리방안을 제시하였으며, 전대욱과 김도훈(2011)은 고립된 생태적 특성을 지닌 제주도 노루를 위한 개체수 관리모형을 함으로써 노루의 이동뿐만 아니라 노루 서식의 생태적 용량도 고려한 노루개체군의 관리방안에 대한 연구가 활발히 이루어졌다.

한편, 노루가 급증함과 더불어 노루의 주요 서식지인 제주도 중산간지대(200~600m)에 골프장, 리조트, 휴양단지 등이 대규모로 들어섰고, 원래 목장지역이었던 곳이 경작지로 변경되면서 점차 노루의 서식지가 감소하게 되었는데(오장근, 2004), 이와 같이 서식지 감소로 인하여 먹이가 부족하게 된 노루들이 농경지

까지 내려오면서 농민들의 피해가 증가하기 시작하였고, 이에 대응하여 농작물 피해 방지용 그물망 설치와 농약살포 등을 시행하면서 노루의 생존은 더욱 위협을 받게 되었으며, 곳곳에서 성행하는 밀렵으로 인하여 노루의 서식을 위협하는 요인들이 증가하기에 이르렀다(오장근, 2004).

노루는 산림에서 생활하기 때문에 정확하게 개체수를 산정하는 데 많은 어려움이 있지만(김병수 등, 2007), 최근 대규모 조사사업을 통하여 2011년 현재 제주도 내에 약 2만 마리로 추산되는 노루가 서식하고 있는 것으로 파악하였으며, 이러한 조사결과로 인하여 2013년 7월 1일부터 제주특별자치도의 야생생물 보호 및 관리 조례가 지정되면서 현재까지 3년간 한시적인 노루의 포획이 허가된 상태이다. 그런데 2013년과 2014년에만 2960마리의 노루가 포획되면서, 환경단체를 중심으로 노루 개체수의 급감으로 인한 재 멸종을 경고하고 있다.

이에 본 연구에서는 노루에 대한 가장 기본적인 연구 중 하나인 서식지 선호도에 대한 분석을 통하여 노루 개체군 관리를 위한 아이디어를 제공하고 더 이상의 노루에 대한 논란 없이 인간과의 공존을 위해 다음과 같은 연구를 수행하였다.

먼저 현장조사를 통해 얻은 출현정보를 출현좌표(presence-only data)로 적용하여 제주도 전체에 대해 노루의 출현예측지도를 구축하였고, GPS추적을 통해 얻은 좌표를 이용하여 한남시험림 내 노루의 서식지 선호도를 분석하고자 하였다. 분석을 위해 presence-only data를 활용하여 효율적인 결과의 도출이 가능한 것으로 알려진 MaxEnt를 활용하였으며, 이를 통하여 대상지의 서식 예측지도를 구축하였다.

II. 연구사

1. 국내 노루에 대한 선행연구

현재까지 국내에서의 노루에 관한 연구로는 고흥선 등(2000)이 mtDNA의 cytochrome b 유전자의 부분적인 염기서열 분석을 통해 제주도 지역에 서식하는 노루(*Capreolus pygargus tianschanicus* Satunin)의 분류학적 위치를 규명하고자 하였으며, 윤성일(2003)과 오장근(2004)에 의해 제주노루의 생태와 생태학적 행동에 관한 연구가 수행되었다. 그 후, 김도훈과 홍영교(2006, 2008), 김병수 등(2007), 오장근(2010), 전대옥(2011) 등에 의하여 제주노루에 대한 개체수와 관리방안, 시스템다이내믹스 모델링에 관한 연구가 수행되었다. 최근에는 한남시험림에서 김은미 등(2013)에 의해 노루 뿔의 성장과정에 의한 피해수목이 조사되었으며, 김은미 등(2013)에 의해 암노루의 출산전후 행동권 면적에 대한 연구, 박용수와 이우신(2014)에 의해 설악산국립공원에 서식하는 노루의 서식지 선호도를 분석하는 등 노루의 생태에 관한 연구가 수행되었다.

또한, 현재 제주특별자치도 세계유산·한라산연구소에서도 2003년부터 현재까지 노루의 개체수, 분포, 관리방안, 생태 등에 관한 연구를 수행하고 있다 (Table 1).

Table 1. Precedent studies of roe deers in halla research institute

년도	제목	저자
2003	한라산 노루의 서열에 따른 나이, 번식성공, 뿔의 크기와 탈각과의 관계	오장근
2004	최근 3년 동안 한라산국립공원 내 노루분포 특성	오장근
2005	제주노루의 분포특징과 분류학적 재조명	오장근
2005	제주노루의 번식생태 및 행동특징	오장근
2005	제주노루의 서식지 이용특징	오장근
2006	한라산 노루의 먹이 선택성	오장근과 김현철
2012	제주노루의 행동권 조사 연구	오장근 등
2014	농작물 피해 극심지역 노루 개체수 조사	오장근 등
2015	제주도 전역 노루 개체수 조사	오장근

2. MaxEnt에 대한 선행연구

MaxEnt는 2000년대에 새롭게 만들어진 종 분포모형 프로그램으로서 Maximum Entropy라는 이론을 기반으로 개발되었다. 다른 종 분포모형들과 달리 비출현 자료(absence data) 없이 출현자료(presence data)만으로 모형을 구축할 수 있다는 장점을 가진다.

국외에서는 Phillips *et. al* (2004, 2006), Gormley *et. al* (2011) 등이 MaxEnt 모형을 GARP나 occupancy model 등 다른 종분포모형과 비교 연구를 수행한 바 있으며, 20개의 변수를 이용하여 황소개구리의 서식분포를 추정 한 Glovanell *et al.* (2008), 판다의 재도입을 위해 서식분포를 추정한 Vina *et al.* (2010), 보전계획을 세우기 위해 조류 두 종의 서식분포를 추정한 Moreno *et al.* (2011)와 같이 MaxEnt를 활용하여 다수의 연구결과들이 보고되고 있다.

국내에서 MaxEnt의 활용사례를 살펴보면, 2008년에 서창완 등에 의해 캘리포니아의 보호종인 피셔의 위치자료를 이용하여 출현/비 출현모형인 GAM과 출현모형인 MaxEnt의 비교연구가 수행하였는데, 임의 비출현자료를 사용하는 GAM보다 출현좌표만을 사용한 MaxEnt 모형의 결과가 더 낫다고 판단하였다. 이후 이동근과 김호걸(2010)이 척추동물을 대상으로 하천으로부터의 거리와 하천의 차수라는 유역의 수문학적 특성을 반영한 변수와 토지이용에 의한 교란과 토지이용현황이라는 인간에 의한 영향 등에 관련된 변수를 반영하여 서식지 잠재력 평가를 실시하였고, 이동근 등(2011)은 삶의 서식적합지역을 선정하여 기후적응지역과 보호지역을 설정하는 연구를 수행하였으며, 송원경과 김은영(2012)이 고라니의 서식지 분석을 위해 GARP 모형과 MaxEnt 모형을 비교하는 등 여러 분류군에서 종분포 모형으로 MaxEnt가 사용되고 있었다.

또한 이상혁 등(2011)의 미선나무의 분포변화 예측, 박현철 등(2014)의 눈잣나무의 서식지 분포 예측 등 식물종에 대해서도 MaxEnt 모형이 사용되고 있으며, 도시홍수 적응능력 취약지역, 산사태 발생가능성 예측 등 다양한 분야에서 MaxEnt 모형이 사용되고 있다.

Ⅲ. 재료 및 방법

1. 연구대상종

노루는 유럽에 널리 분포하는 유럽노루(*Capreolus caprelous*)와 아시아 북부에 분포하는 시베리아노루(*Capreolus pygargus*) 2종이 존재한다(김병수 등, 2007). 본 연구에서는 제주도에 서식하고 있는 노루(*Capreolus pygargus tianschanicus*, 제주노루)를 대상으로 설정하였으며, 노루는 우제목(*Artiodactyla*) 사슴과(*Cervidae*) 노루속(*Capreolus*)에 속하는 시베리아노루(*Capreolus pygargus*)의 아종으로 알려져 있으나, 학자들에 따라 종의 분류학적 위치가 다르다. 본 연구에서는 *Caprelous pygargus tianschanicus*라고 주장한 윤성일(2003), 오장근(2004), 김병수 등(2007)의 명명법을 따랐다.

노루는 동아시아의 러시아와 중국에 분포하는 것으로 알려져 있으며, 한반도에서는 울릉도를 제외한 지역에 분포하며 특히 제주도 지역에 많은 수가 서식하고 있다. 제주도에서는 해발 200m이상의 중산간 지대에서 한라산 정상까지 분포하고 있으며, 숲과 가까운 목장지대에서 많이 관찰되며, 겨울에는 먹이를 찾아 고지대에 있던 노루들이 저지대로 내려오기도 한다(박찬열 등, 2008).

주로 숲이나 초지에 서식하고 있으며, 관목림이 있는 개간지를 특히 선호하며(오장근, 2004) 풀밭과 숲의 경계지역을 좋아하고, 깊은 산에서는 평평한 지형을 선호한다(최태영과 최현명, 2007). 밤이나 새벽녘에 활동을 하는 야행성 동물로 땅 위에 자라는 풀을 뜯어먹거나 나무의 새순이나 잎을 즐겨먹는다(박찬열 등, 2008).

노루는 몸이 갈색이나 같은 사슴과에 속하는 고라니와 구분되게 엉덩이 부분은 흰색을 띠고 있고, 코는 검은색이며 꼬리가 없다(박찬열 등, 2008). 뿔은 암컷은 없고 수컷에게서만 관찰할 수 있는데 이는 암컷과 수컷 모두 뿔이 없는 고라니와의 차이점이라 할 수 있다. 이 뿔은 해마다 빠지고 새로 자라며 다 자란 뿔은 보통 세 갈래의 가지가 있다(최태영과 최현명, 2007; 오장근, 2004).

행동권과 먹이공급은 유의미한 음의 관계를 가져, 먹이공급이 감소하면 노루의

행동영역이 증가한다(Tufto *et al.*, 1996). 제주 노루의 하루 행동패턴을 살펴보면, 활동과 휴식을 반복하지만 휴식시간이 더 긴 것으로 알려져 있고, 낮에는 주로 산림 속이나 계곡부, 돌담 등 물리적 커버(cover)가 발달한 곳에서 휴식을 취하며, 일출전과 일몰전후에 가장 활발하게 움직이며 인접한 목초지 및 농경지에서 채식을 하고, 흐린 날이 맑은 날에 비해 활동비율이 더 높은 것으로 조사되었다(윤성일, 2003; 오장근, 2004).

2. 연구대상지

본 연구는 제주도 전체와 제주도의 시험림 중 하나인 한남시험림을 대상으로 수행하였다. 서식지 선호도 분석은 Part 1과 Part 2로 나누었으며, Part 1은 제주도 전지역에 대한 MaxEnt분석을 통해 제주도 내 일반적인 노루의 서식지 선호도를 분석한 반면, Part 2에서는 한남시험림 내에서 노루의 구체적인 서식지 선호도를 MaxEnt로 분석하고 추가적으로 logistic regression을 통해 서식지 선호도를 분석하였다. 행동권에 대한 분석은 한남시험림만을 대상으로 하였으며, 위치추적장치 (CDMA-based telemetry system)를 통해 얻은 좌표를 이용하여 행동권에 대한 분석을 시행하였다.

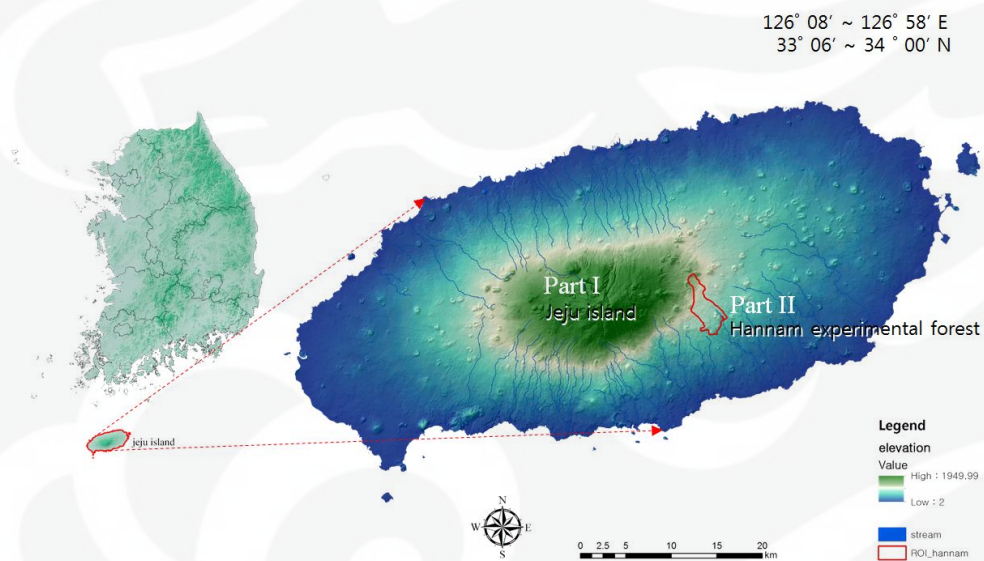


Fig. 1. Study area in Jeju Island

(1) 제주도 전체

제주도는 한반도의 남해안에 위치하는 화산섬으로 동경 126도 08분~126도 58분, 북위 33도 06분~34도 00분에 속한다. 전체면적은 1,849.3km²으로 전국의 1.9%에 지나지 않으며 551.78km의 해안선과 8개의 유인도, 71개의 무인도를 포함한다. 섬의 중앙에 한라산이 위치하고 있으며, 하천은 평상시 물이 흐르지 않고 여름철 집중호우 시에만 지하수의 과포화로 인해 지표수가 발생한다. 지형은 한라산을 중심으로 동서사면은 3°~5°의 매우 완만한 경사이며, 남북사면은 5°정도의 경사를 이루고 있다. 기생화산에 의한 형성물인 오름이 제주도전역에 368개가 있으며, 주로 중산간 지대에 분포하고 있다. 연평균 강수량과 온도는 제주시 859.1mm, 16.5℃, 서귀포시 1,086.6mm, 17.4℃이다(제주도, 2014). 전체면적 중 30%정도가 산림에 해당하며 식생은 난대성 식물에서 고지대의 한대성·고산성식물까지 환경구배에 따른 수직적분포가 나타난다. 2002년 생물권보전지역 지정을 시작으로 2007년 세계자연유산 등재, 2010년 세계지질공원 인증까지 받는 등 세계적으로 자연자원이 수려한 것으로 알려져 있다.

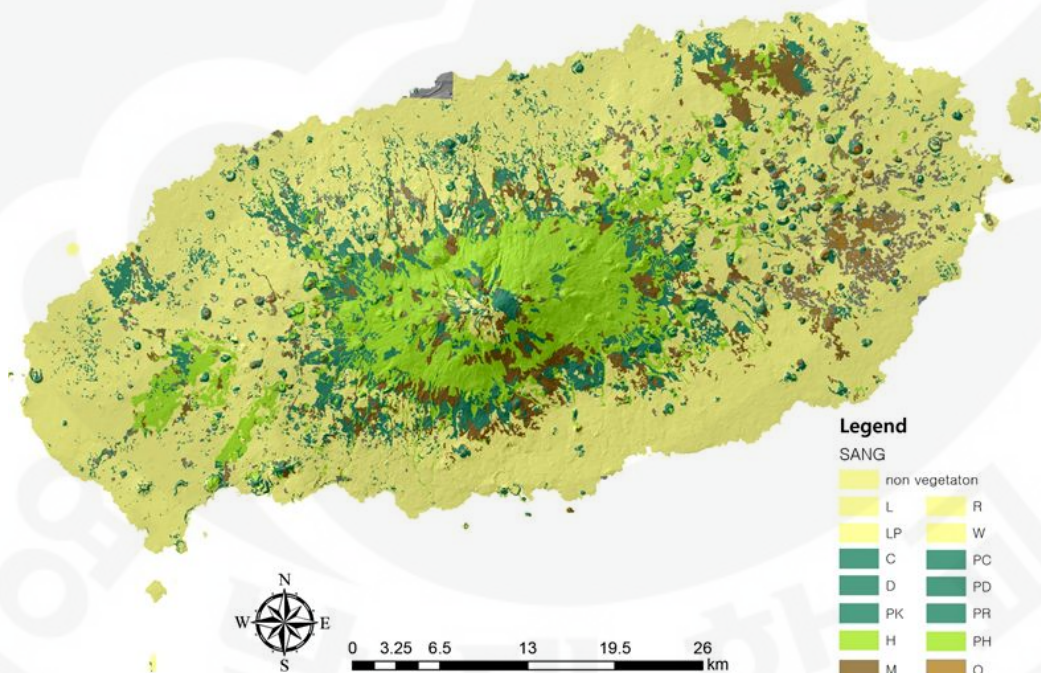


Fig. 2. Vegetation in Jeju island

(2) 한남시험림(Hannam experimental Forest, HEF)

한남시험림은 제주 서귀포시 남원읍 한남리/하례리에 위치하며, 300~800m의 해발고도에 위치해 있는(박현 등, 2011) 1,203 ha 크기의 시험림이다. 연평균강수량은 약 3,000mm이고, 온대, 난대, 아열대의 기후를 가지고 있으며, 한라산의 남동사면에 위치한다(김철민 등, 2009). 총 2개의 임반으로 구성되어 있는 한남시험림은 주로 삼나무 인공조림지로 구성되어있고(원현규 등, 2014), 사려니오름(513m), 거인악(532m), 마분악(425m)를 제외하면 대체적으로 평탄한 지역이며(박현 등, 2011), 극상림에 해당하는 서어나무 등 여러 종이 서식하고 있다(Fig. 3.).

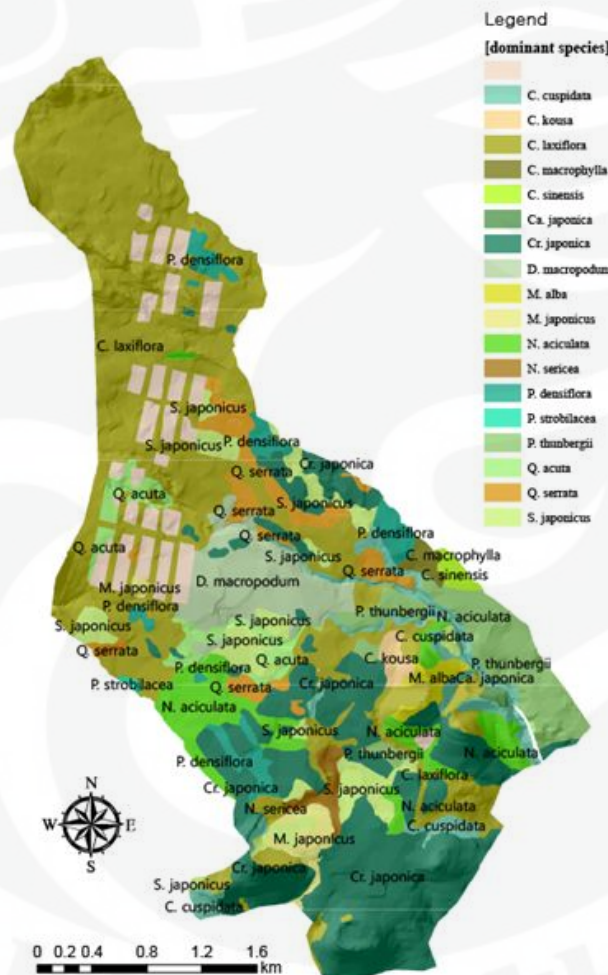


Fig. 3. Dominant species in hannam experimental forest

3. 연구방법

본 연구에서는 field-survey data와 GPS data를 presence-only data로 이용하여 제주도와 한남시험림에서 노루의 서식지선호도를 분석하였으며, 한남시험림에서는 추가로 logistic regression 분석을 통하여 행동권에 대한 분석도 시행하였다.

(1) MaxEnt

제주도에 서식하고 있는 노루의 공간적 분포와 선호도를 분석하기 위해서 MaxEnt 3.3.3k를 사용하였으며, 이에 필요한 자료들은 GIS (ArcMap 10.1)을 이용하여 만들었다.

MaxEnt는 중 분포모형에 사용되는 프로그램 중 하나로 Maximum entropy이론을 기반으로 하는 기계학습식 모형의 하나이다(Gormley *et al.*, 2011). MaxEnt의 개념은 무질서도가 최대일 때의 종의 분포를 추정하는 방식이다(phillips *et al.*, 2004). 일부 종에 대해서는 세부적인 출현/비 출현 좌표가 이용 가능하지만, 대부분의 종에서는 비 출현좌표가 이용가능하지 않다(Phillips *et al.*, 2006). 이에 출현 좌표만을 이용해 모형을 구축할 수 있는 MaxEnt를 사용하게 되었으며(phillips *et al.*, 2004), 여러 선행사례에서 출현좌표만을 이용했을 때는 다른 모형보다 MaxEnt모형의 정확도가 더 높은 것으로 확인되었다(송원경과 김은영, 2012). 또한 기계학습식 모형은 데이터를 조작하고 원하는 환경변수를 적용하여 다양한 모형을 적용하고 최적의 결과를 도출하는데 효과적이고(송원경과 김은영, 2012), 적은 수의 샘플만으로도 활용이 가능한 장점을 가진다(phillips *et al.*, 2004).

본 연구에서는 15개의 환경변수를 사용하고 25%의 test samples을 사용하였으며 100회 반복을 시행하였는데 이때 반복실행방법은 subsample로 bootstrap과 달리 대체되는 것 없이 선택된 반복 샘플 세트가 평가(evaluation, 모형구축)에 활용되는 방식을 택하였다.

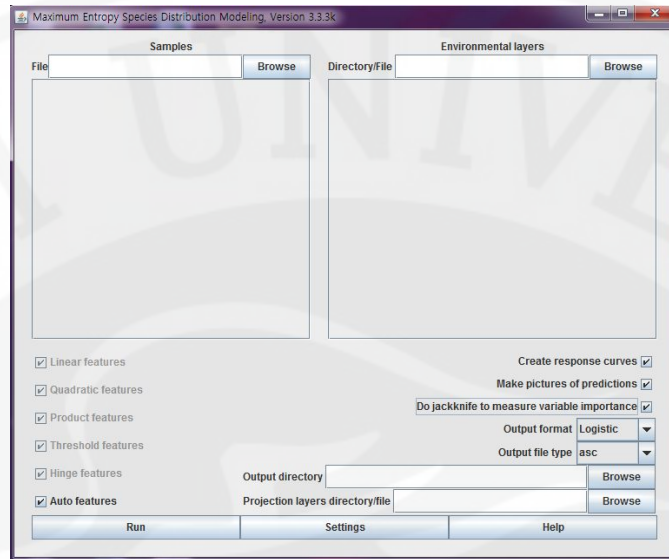


Fig. 4. MaxEnt (Maximum Entropy Species Distribution Modeling, Version 3.3.3k)

제주도 전체에서의 노루 서식지 선호도에 대한 분석은 제3차 전국자연환경조사의 제주도 지역 노루좌표, 고려대학교 박사학위 논문인 제주도지역 노루의 생태에 관한 연구에서 인공위성추적기법과 원격무선측정기법을 통해 얻어진 노루생이와 열안지 오름 주변의 출현정보, 오장근(한라산국립공원관리공단)으로부터 제공받은 한라산 고지대 출현조사 정보를 활용하였다(Table 2; Fig. 5).

Table 2. Information on the roe deers obtained in Jeju island

	조사 방법	point 수	좌표의 위치
제3차전국자연환경조사	발견개체, 서식흔적	236	제주도 전역
제주도지역 노루의 생태에 관한 연구	인공위성추적기법 원격무선측정기법	134	노루생이, 열안지 오름
오장근 (한라산국립공원관리공단)	흔적조사	120	한라산 고지대
계		490	제주도 전역

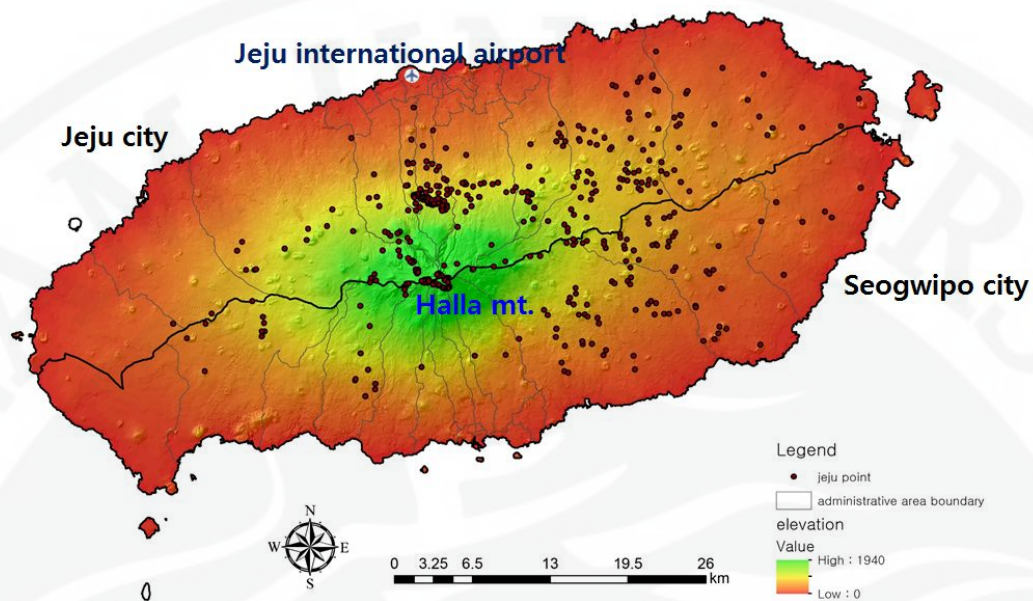


Fig. 5. Field-surveying data using presence-only data in Jeju island

한남시험림의 분석에 사용된 좌표는 2012~2013년에 국립산림과학원 난대·아열대산림연구소에서 제공받은 것으로 7마리의 노루를 포획하여 CDMA 방식으로 얻은 GPS좌표이다(Table 3). 포획한 개체는 한남시험림에 서식하는 개체들로서 전체 지역을 대상으로 포획한 것이 아니기 때문에 일부 지역에 편향된 경향을 보이고 있다(Fig. 6).

Table 3. Information on the roe deers captured for HEF

individual	period	sex	time interval
6023_M	2012.04.24~2013.04.21	M	6
5947_F	2012.05.09~2012.07.17	F	1
4930_F	2012.07.12~2012.12.05	F	2
4028_F	2013.07.09~2013.07.21	F	6
4022_M	2013.06.15~2013.06.28	M	6
2696_M	2013.08.16~2013.08.31	M	6

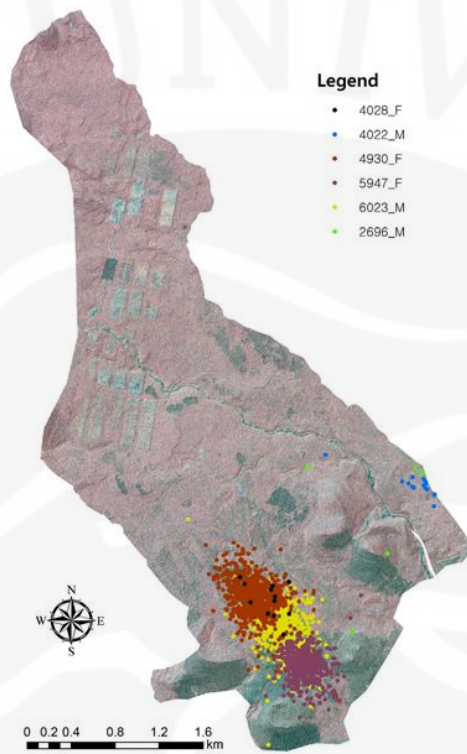


Fig. 6. GPS-tracking telemetry data in hannam experimental forest (7 roe deers)

등고선 자료(contour)를 이용해 지형을 나타낼 수 있는 4가지 변수, 고도 (elevation), 경사도(slope), 향(aspect), 음영기복도(hillshade)와 Landsat 8 영상 으로부터 얻은 4가지 변수, 1월의 온도, 4월의 온도, 1월의 정규식생지수, 4월의 정규식생지수, 노루의 서식행동에 영향을 줄 것으로 예상된 거리 변수 6가지, 디지털영상도에서 얻은 영급, 총 15개의 변수를 사용하였다(Table 4). 환경변수의 선정기준은 문헌조사를 통해 경사, 고도, 향, 음영기복도 등의 지형적 인자(Anderson *et al.*, 2003; Pearson *et al.*, 2007; Guisan와 Zimmermann, 2000; Zaniwski *et al.*, 2002; Hernandez *et al.*, 2006; Phillips *et al.*, 2006; Stockwell와 Peterson, 2002; 권혁수 등, 2012; 김지연 등, 2012)와 영급과 산림내부로의 거

리, 산림외부로의 거리, 수계로부터의 거리, 도로로부터의 거리, 농경지로부터의 거리 등의 거리변수(조해진 등, 2015; 김지연 등, 2012)를 선택하였고, 제주도지역의 특이 지형인 오름이 노루에게 좋은 서식지와 번식지 역할을 한다는 선행연구(오장근, 2015)에 따라 오름으로부터의 거리를 선택하였으며, 식생의 활력도를 알 수 있는 NDVI와 온도변수를 추가로 선정하였다.

Table 4. 15 environmental variables and their specification for analysis

variable	description	Unit	variable	description	unit
elevation	Digital elevation model	m	NDVI (1)	Normalized Difference Vegetation Index in January	· (-1~1)
aspect	aspect (0°~360°)	° (degree)	NDVI (4)	Normalized Difference Vegetation Index in April	· (-1~1)
hillshade	Hillshade (azimuth180, altitude45)	· (0~255)	Temp (1)	Thermal band of Landsat-8 image taken in January	16bit
slope	Slope (0°~90°)	° (degree)	Temp (4)	Thermal band of Landsat-8 image taken in April	16bit
d_agri	distance from agricultural area	m	d_road	Distance from road	m
d_stream	distance from stream	m	d_oreum	Distance from oreum	m
d_forest (in)	Distance from forest boundary (inside)	m	yung	Age-class indigital forest type map	· (1~6)
d_forest (out)	Distance from forest boundary (outside)	m			

제주도 전체에서의 서식지 선호도 분석을 위해 최종적으로 선택된 변수는 9개이다. 처음 15개의 변수를 이용해 각 point에 해당하는 환경변수의 값을 뽑아 IBM SPSS Statistics 22를 이용해 이변량 상관계수를 구하였다(Appendix 1.). 상관계수가 0.7이상이면 유의미한 상관관계가 있다고 판단하였는데(Gormley *et al.*, 2011), 상관관계를 가지는 변수들 중에서 15개의 변수를 이용해 Maxent 분석을 시행한 결과로부터 얻은 변수들의 기여도(percent contribution)를 비교해 기여도

가 상대적으로 낮은 변수를 제거하였다. 이 때 총 5개의 변수가 상관관계를 가졌으며, 이에 따라 4개의 변수가 제거되고 11개의 변수가 남았다. 남은 11개의 변수를 다시 MaxEnt 분석을 시행하여 기여도가 1미만의 변수인 d_stream와 slope을 제거하였고, elevation, aspect, hillshade, NDVI (4), Temp (4), d_forest (in), d_forest (out), d_oreum, yung 등 9개의 변수가 최종적으로 선정되었다(Table 5). 이 변수들을 MaxEnt 분석에 이용해 종 분포모형을 구축했으며, 구축된 종 분포모형에 대한 ROC curve의 AUC값이 0.7이상으로 모형의 적합도가 적합하다고 말할 수 있다.

Table 5. Selection of the proper variables derived from 15 environmental factors in Jeju island

Jeju island	AUC	variables included	variables removed
15 variables	0.816	elevation, aspect, hillshade, slope, NDVI (1), NDVI (4), Temp (1), Temp (4), d_agri, d_stream, d_forest (in), d_forest (out), d_road, d_oreum, yung	
11 variables	0.807	elevation, aspect, hillshade, slope, NDVI (4), Temp (4), d_stream, d_forest (in), d_forest (out), d_oreum, yung	d_road, d_agri, Temp (1), NDVI (1)
9 variables	0.814	elevation, aspect, hillshade, NDVI (4), Temp (4), d_forest (in), d_forest (out), d_oreum, yung	d_stream, slope

한남시험림에 대한 서식지 선호도 분석도 제주도 지역과 같은 과정을 거쳐 종 분포모형 구축에 사용될 변수를 선택하였다. 먼저 한남시험림이 숲 안쪽에 위치하고 있으므로 숲 바깥으로의 거리를 나타내는 변수는 의미가 없다고 판단하여 제거하였고, 14개의 변수에 대해서 상관계수를 구하였다(Appendix 2). 상관관계를 가지는 7개의 변수 중에서 contribution이 낮은 6개의 변수를 제거한 후에 contribution이 1미만인 2개의 변수를 제거하고 총 6개의 변수가 종 분포모형 구축에 활용되었다(Table 6). 구축된 종 분포모형에 대한 ROC curve의 AUC값이 0.7이상으로 모형의 적합도가 적절하다고 할 수 있다.

Table 6. Selection of the proper variables derived from 14 environmental factors in hannam experimental forest

Hannam	AUC	variables included	variables removed
14 variables	0.917	elevation, aspect, hillshade, slope, NDVI (1), NDVI (4), Temp (1), Temp (4), d_agri, d_stream, d_forest (in), d_road, d_oreum, yung	
8 variables	0.909	aspect, hillshade, slope, NDVI (1), NDVI (4), d_stream, d_forest (in), yung	elevation, d_agri, d_road, d_oreum, Temp (1), Temp (4)
6 variables	0.908	aspect, hillshade, slope, d_stream, d_forest (in), yung	NDVI (1), NDVI(4)

(2) logistic regression

MaxEnt 분석에서와 마찬가지로 15개의 환경변수를 사용하였으며(Table 4.), IBM SPSS Statistics 22를 사용하여 이분형 로지스틱 회귀분석을 시행하였다. 로지스틱 회귀분석은 종속변수가 두 가지의 값만 가지는 분석방법으로 독립변수로는 범주형·연속형 자료를 사용할 수 있다(서창완과 박종화, 2000).

출현빈도를 종속변수로 설정하였는데, 한남지역에서 MaxEnt분석에 사용된 출현자료는 방형구 내에 1회 이하로 출현한 지역을 0으로, 2회 이상 출현한 지역을 1로 구분하여 사용하였다. 변수를 선택하는 방법으로는 스코어 통계의 유의확률을 기반으로 진입 검정을 수행하고 Wald 통계의 확률을 기반으로 제거 검정을 수행하는 단계별 선택방법인 전진(Wald)를 택하였으며(IBM SPSS Regression 22), 모형의 $-2 \log \text{likelihood}$ 값과 Hosmer 및 Lemeshow 검정의 카이제곱과 유의확률의 값을 통해 모형의 적합도를 판단하였고, 예측정확도를 구해 회귀식의 설명력을 판단했다. Hosmer-Lemeshow 적합도 통계량은 로지스틱 회귀분석에 전통적인 적합도 통계량보다 더 효과적인 방법으로 케이스의 위험도에 대한 십 분위수를 그룹화하고 각 십 분위수 내의 관찰 확률을 기대 확률에 비교해 값을 얻는다(IBM SPSS regression 22).

(3) 행동권

한남시협림에 서식하는 노루의 행동권을 파악하기 위해 포획한 7마리에 GCT (GPS-CDMA based Telemetry) 추적기를 목에 부착하여 방사하였다(김병수 등, 2013)(Fig. 7.). 7마리 중 4마리가 암컷이었으며 각 개체에 따라 1, 2, 6시간 간격으로 위치자료를 저장하였다(Table 3.). 컴퓨터 통제시스템(Wildlife Tracking System, Korea Institute of Environmental Ecology, Daejeon, Korea)에 자동으로 업데이트된 자료를 이들의 위치자료로 사용하였으며 행동권은 GIS프로그램의 하나인 ArcMap 10.1의 MBG (Minimum Bounding Geometry)의 convex_hull을 사용해 전체 노루에 대한 행동반경을 구했다. 또한 얻어진 자료의 수가 100개 이상인 3개체만을 선택해 각 개체별 행동권도 동일한 방법으로 구하였다.



Fig. 7. captured roe deers and GCT tracker

(4) Maxent 및 logistic regression을 활용한 노루의 서식지 선호도 분석방법

제주도와 한남시험림에서 노루의 서식지 선호도를 분석하기 위해 MaxEnt 프로그램을 사용하였으며, 한남시험림에서는 편향된 자료에서의 MaxEnt의 한계로 인해 logistic regression analysis를 추가로 시행하였다. Fig. 8과 Fig. 9는 각각 제주도와 한남에서의 서식지선호도 분석을 위한 과정을 모식도로 나타낸 것이다.

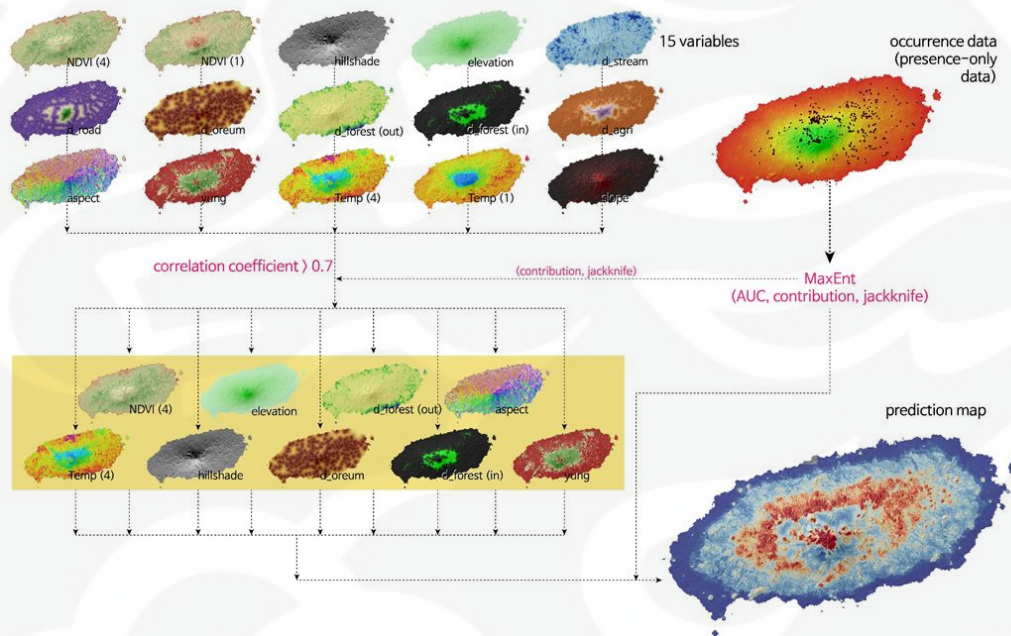


Fig. 8. A procedure on predicting the habitat preference of roe deers in Jeju island

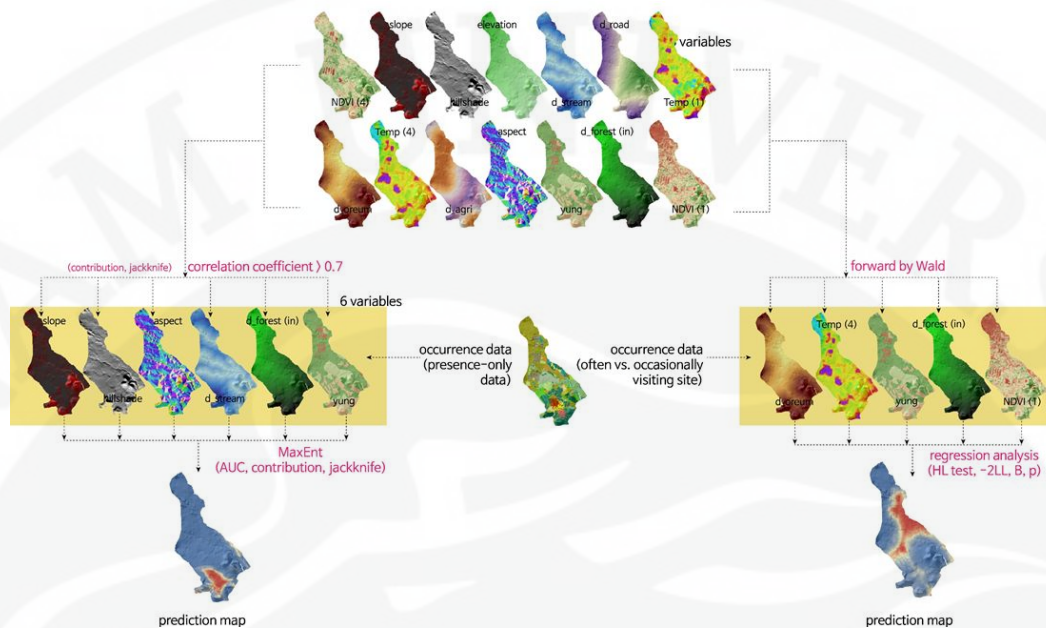


Fig. 9. A procedure on predicting the habitat preference of roe deers in hannam experimental forest

서식지선호도 분석에 사용된 환경변수는 총15개로 GIS 프로그램 중 ArcMap 10.1을 통해 다음과 같이 만들었다.

고도(elevation)는 1:5000 축척의 수치지형도 등고선(contour)자료를 사용하여 DEM (Digital Elevation Model)을 만들었으며, 이 DEM을 기반으로 경사도(slope), 향(aspect), 음영기복도(hillshade)를 만들었다. 만들어진 환경변수의 격자 크기는 10m×10m이다. 토지피복지도에서 얻은 자료를 euclidean distance를 이용하여 수계로부터의 거리, 숲 내부로의 거리, 숲 외부로의 거리, 오름으로부터의 거리, 도로로부터의 거리, 농경지로부터의 거리에 대한 변수를 만들었고 디지털영상도를 활용해 영급에 대한 자료를 만들었으며 Landsat 8 영상으로부터 Temp (1), Temp (4), NDVI (1), NDVI (4)의 자료를 만들었다. Maxent에서 사용하기 위해서 ascii 파일로 변환하였다.

IV. 결과 및 고찰

1. 제주도 전체의 일반현황

연구 대상지인 제주도 전체에 대한 일반적인 현황을 살펴보면 다음과 같다.

(1) 임상

임상은 임분의 수종 구성 상태를 말한다. 노루는 활엽수림(H), 목장(LP)에 약 80곳이 해당되었으며, 침활혼효림(M), 제지(R)에 각각 50곳 이상이 해당되었다. 리기다소나무림(PR), 잣나무림(PK), 활엽수인공림(PH)에서는 노루의 출현정보를 얻을 수 없었다.

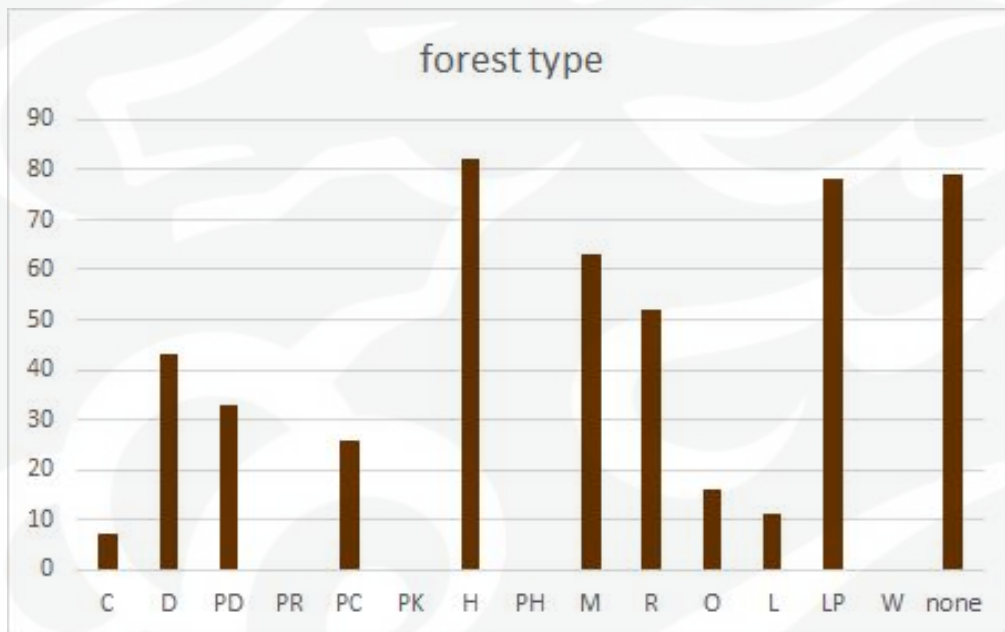


Fig. 10. Frequency of roe deers depending on forest type in Jeju island

(2) 영급

영급은 수령을 나타내는 값으로 값이 커질수록 수령이 높아진다. 0영급은 1년 생 미만의 나무가 서식하는 영역으로 나무가 없는 무식생지라고 할 수 있다. 0영급에 490지점의 약 절반에 해당하는 233 출현지점이 해당된다. 1~6영급사이에서는 4영급에서 85곳으로 가장 빈도가 높았고, 6영급이 67곳으로 그 뒤를 따랐다. 그 외의 영급에는 각각 50곳 이하가 출현하였다.

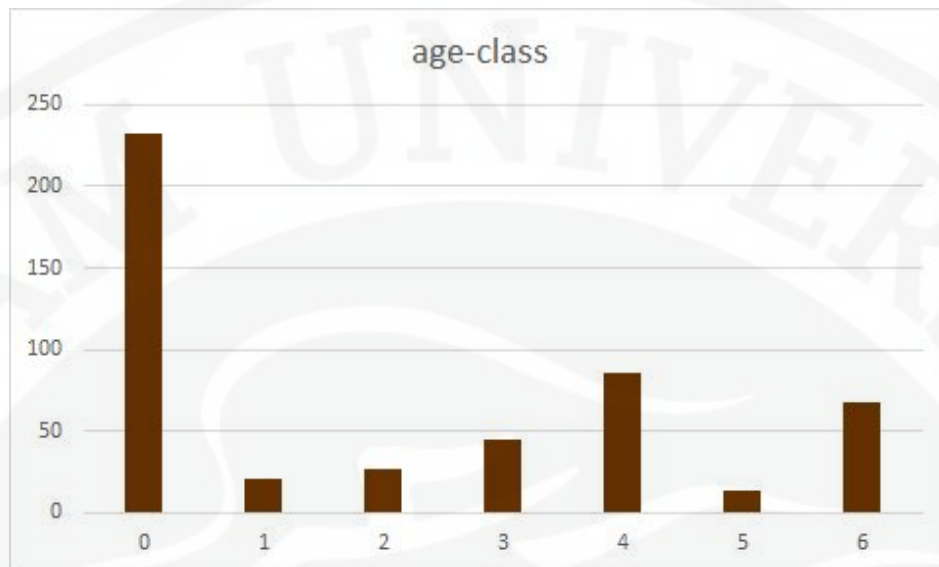


Fig. 11. Frequency of roe deer depending on age-class in Jeju island

(3) 경급

경급은 입목을 흉고직경의 크기에 따라 나눈 것으로 값이 증가할수록 흉고직경이 증가한다. 흉고직경이 6cm이하인 0경급의 지역에 236곳의 출현지점이 나타났고, 그 다음으로는 3경급에 144곳이 출현하였다. 1, 2, 4경급의 지역에는 각각 100곳 이하가 출현하였다.

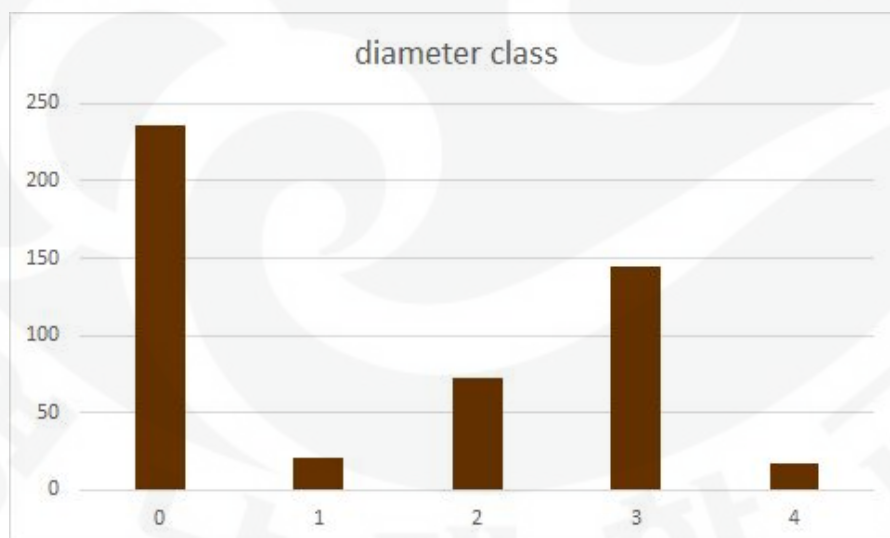


Fig. 12. Frequency of roe deer depending on diameter class in Jeju island

(4) 소밀도

소밀도는 각 수관을 투영한 면적을 나타내는 것으로 A는 ‘소’, B는 ‘중’, C는 ‘밀’로 소밀도가 증가할수록 해당되는 곳의 밀도가 증가함을 확인할 수 있다. 그러나 해당 없음(none)에 더 많은 출현좌표가 위치하는 것으로 보아 노루가 무입목지를 선호하는 경향이 있음을 알 수 있었다.

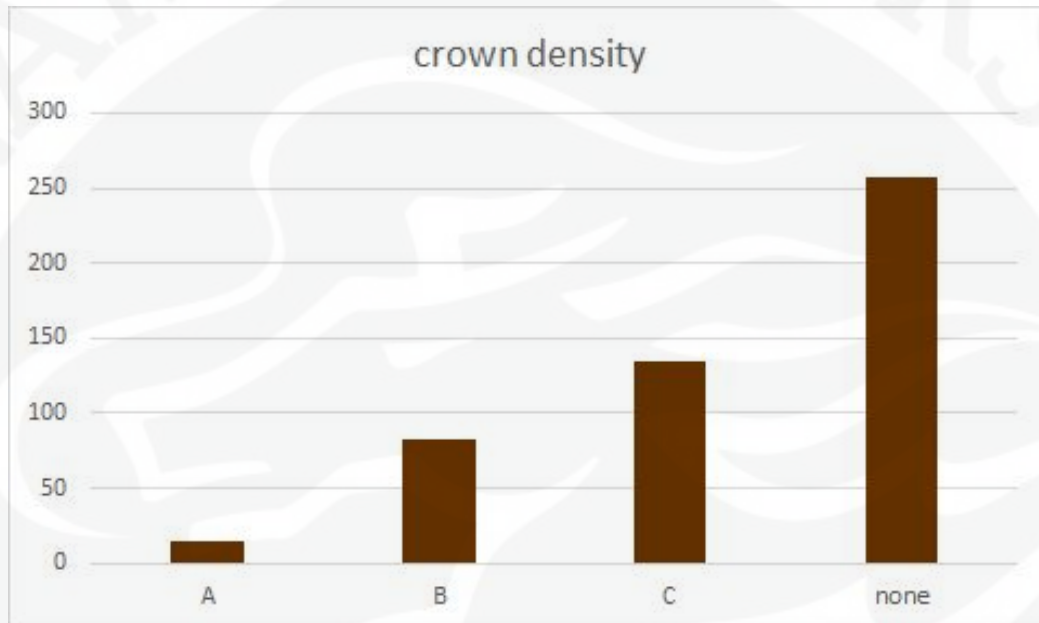


Fig. 13. Frequency of roe deers depending on crown density in Jeju island

(5) 토지피복

토지피복도는 식생 등 지표면의 물리적인 형태를 농업환경적 가치와 자연생태적 이용 기준에 따라 분류한 지도이다. 이 지도로부터 속성을 추출해 노루의 출현정보를 확인하였다. 교통지역에서의 4곳, 공공시설지역에서의 2곳을 제외하면 시가화 건조지역에서는 노루의 출현정보가 없었으며, 논, 기타재배지, 습지, 수역에서도 노루의 출현정보가 없었다. 다만, 활엽수림(broad-leaved forest)에 138곳, 기타초지(other grass)에 101곳, 침엽수림(coniferous forest)에 93곳, 자연초지(natural grass)에 81곳으로 출현빈도가 높았다. 그 외에는 밭(field) 41곳, 과수원(orchard) 18곳, 혼효림(mixed forest) 5곳, 골프장(golf course) 4곳, 교통지역(road) 4곳, 하우스재배지(greenhouse) 2곳, 기타나지(bare soil) 1곳이었다.

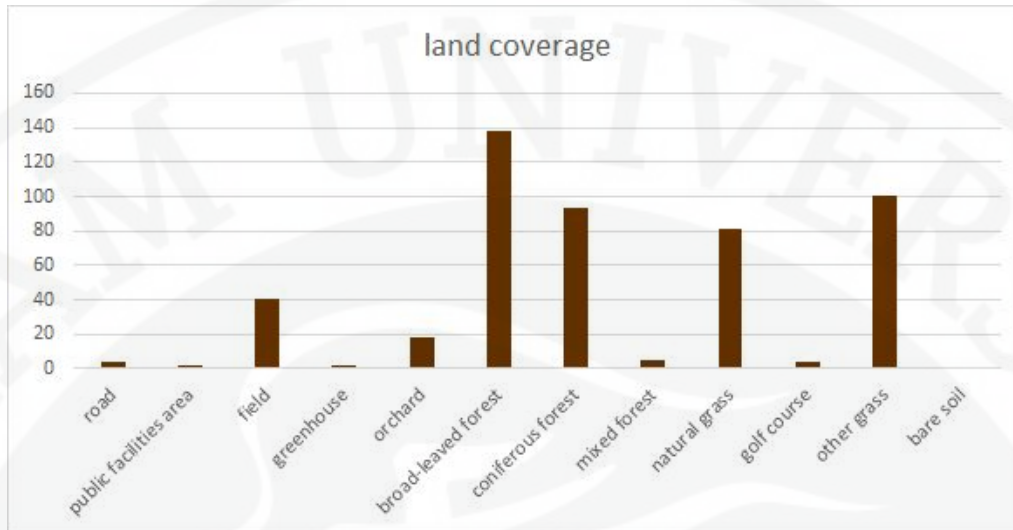


Fig. 14. Frequency of roe deers depending on the land cover in Jeju island

(6) 고도

고도에 따른 노루의 출현정보에 대한 빈도를 살펴보면 총 490개의 지점 중에서 108개의 지점이 500~600m에 해당하며, 그 다음으로는 중산간 지대를 포함하는 284개 지점이 0~700m 구간에 해당된다. 700m이상의 지역에서는 1,600~1,700m (36개 지점), 1,800~1,900m(13개 지점)을 제외하고 10개 이하의 지점이 확인되었다.

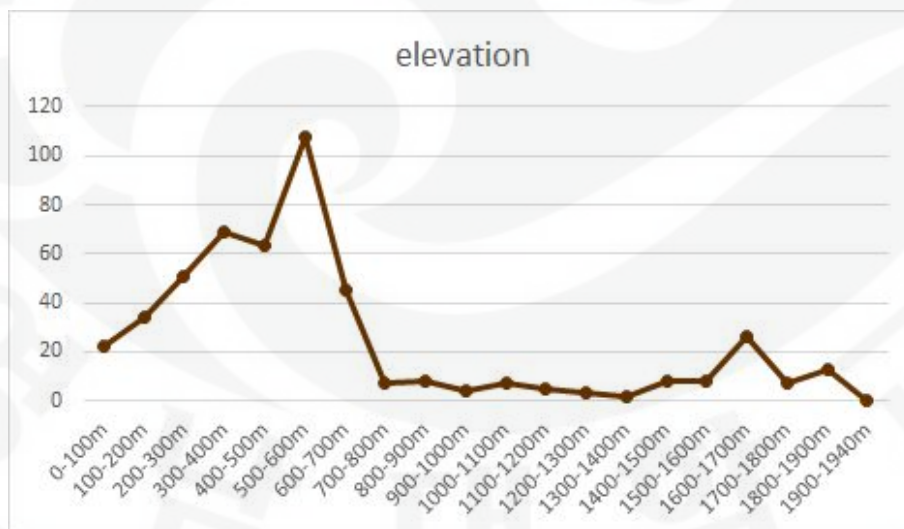


Fig. 15. Frequency of roe deers depending on elevation in Jeju island

2. 한남시험림의 일반현황

연구 대상지인 제주도 전체에 대한 일반적인 현황을 살펴보면 다음과 같다.

(1) 임상

한남시험림에는 리기다소나무림(PR), 소나무림(D), 소나무인공림(PD), 침엽수인공림(PC), 활엽수림(H), 혼효림(M), 경작지(L)의 임상이 존재하는데, 출현정보를 가진 1,815개 지점의 임상을 살펴보았다. 침엽수인공림이 988개로 가장 많은 좌표가 포함되었고, 활엽수림이 823개로 두 번째로 많은 좌표가 포함되었다. 그 외에 혼효림에서 4개가 포함되었으며, 소나무(인공)림, 리기다소나무림, 경작지에서는 출현정보가 없었다.

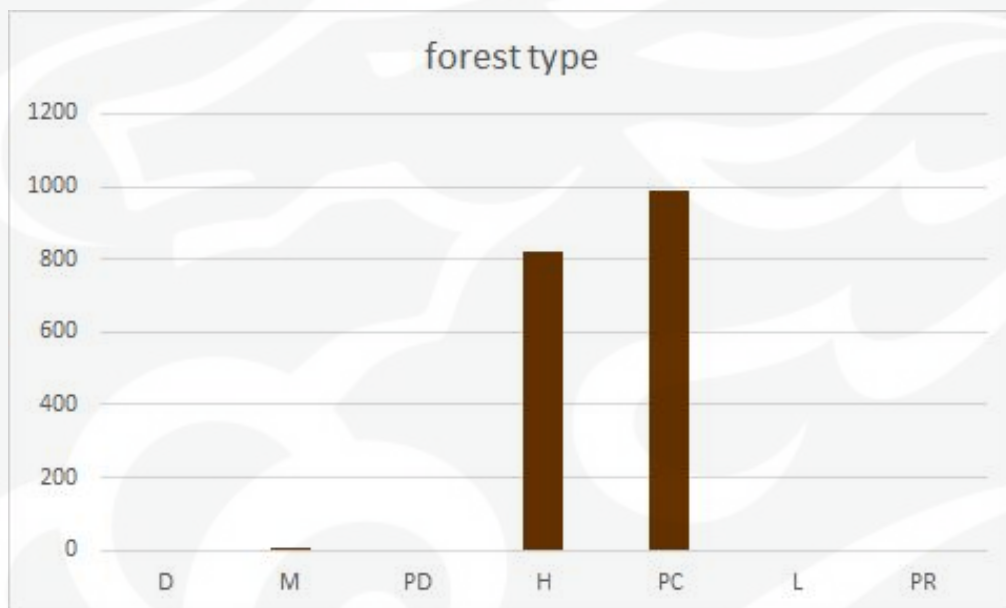


Fig. 16. Frequency of roe deers depending on forest type in HEF

(2) 영급

한남시험림에는 1영급이 존재하지 않으며 0영급도 아주 좁은 면적만 차지하고 있다. 1815개의 출현정보 중에서 4영급에 720개, 5영급에 716개가 해당하며 수령이 50년 이상인 6영급에는 한 곳도 포함되지 않았다.



Fig. 17. Frequency of roe deers depending on age-class in HEF

(3) 경급

소경목에 해당하는 1경급은 한남시험림에 존재하지 않았다. 대경목에 속하는 3경급의 지역에는 1,438개의 출현지점이 포함되었고, 소경목에 해당하는 2경급에는 377개의 지점이 포함되었다. 대경목에 해당하는 4경급에 해당하는 지점은 한 곳도 없었다.

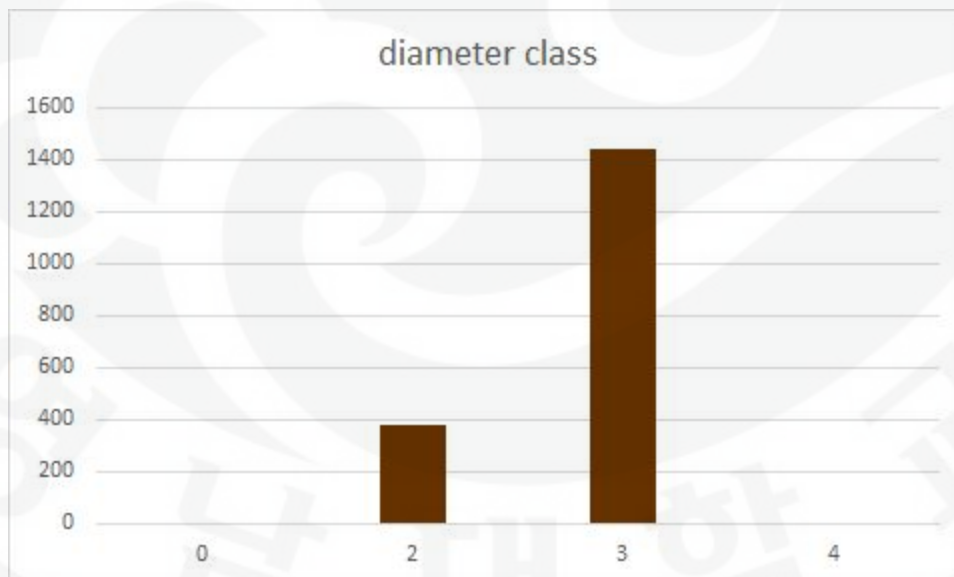


Fig. 18. Frequency of roe deers depending on diameter class in HEF

(4) 소밀도

한남시험림에서는 소밀도가 높은 C(밀)에 1697개의 지점이 포함되어 가장 높은 빈도로 나타났고, 중간범위인 B(중)에 118개의 지점이 포함되었다. 식생지에 해당하지 않는다고 볼 수 있는 곳(none)과 소밀도가 낮은 A(소)에서는 0개의 지점이 나타났다.

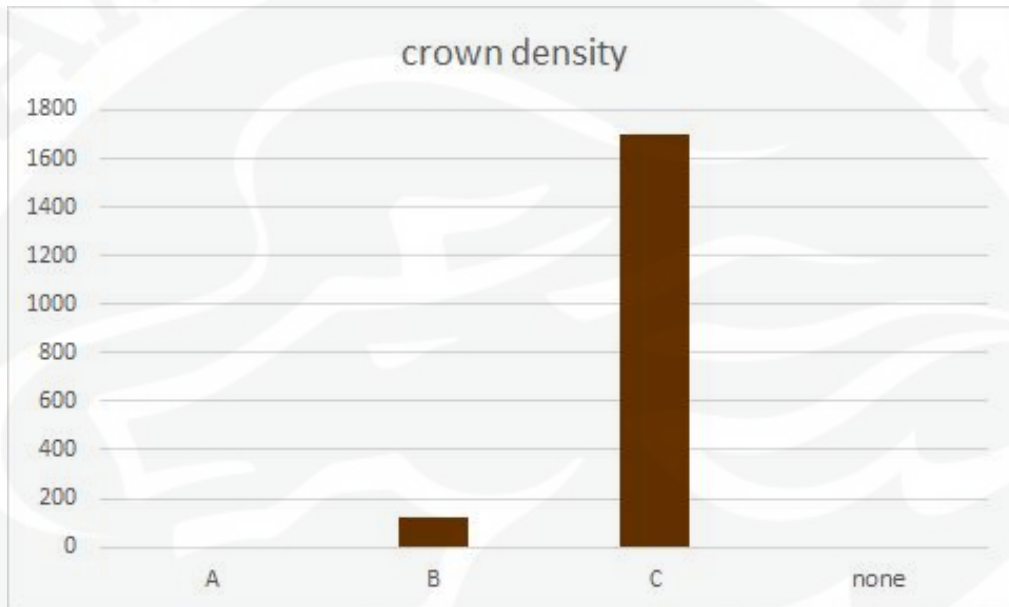


Fig. 19. Frequency of roe deers depending on crown density in HEF

(5) 토지피복

한남시험림에는 토지피복의 분류 중에서 밭(field), 과수원(orchard), 기타재배지(other crops), 활엽수림(broad-leaved forest), 침엽수림(coniferous forest), 혼효림(mixed forest), 기타초지(other grass)가 존재한다. 그 중에서 밭, 과수원, 기타재배지, 기타초지에서는 노루의 출현지점이 존재하지 않았으며, 침엽수림에서 964개로 노루의 출현빈도가 가장 높았고, 이어서 838개로 활엽수림에서도 노루의 출현빈도가 높았다. 혼효림에서는 13개의 출현지점이 존재하였다.

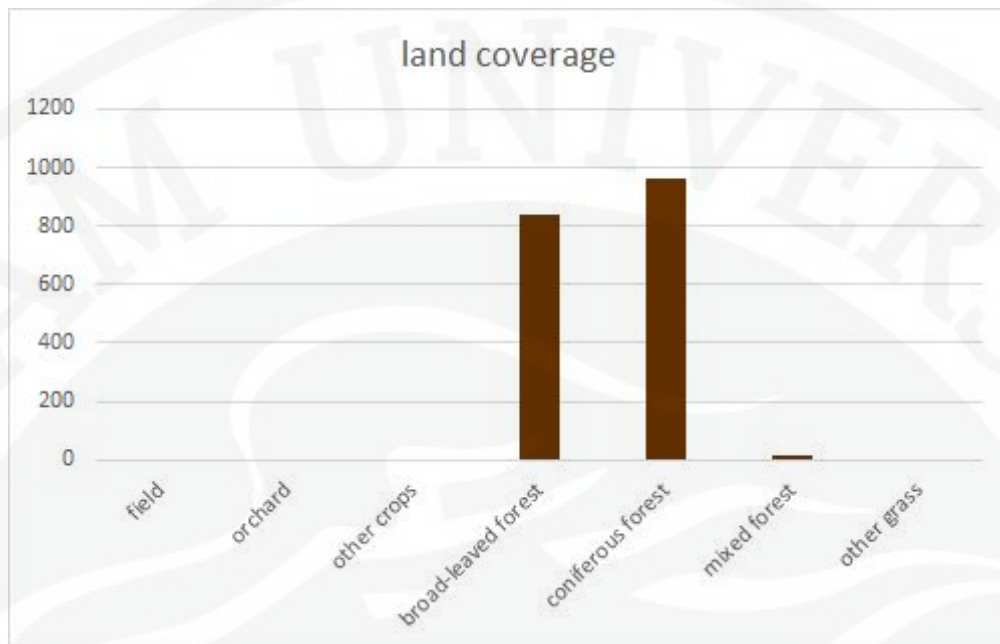


Fig. 20. Frequency of roe deers depending on land coverage in HEF

3. 제주도 전체 서식지 모델링을 위한 환경변수

본 연구에서는 제주도 전체에서 15개의 환경변수가 사용되었으며, 각 환경변수에 대한 설명은 다음과 같다.

(1) 고도(elevation)

고도는 해발고도를 나타내는 것으로 제주도에서는 0~1,940m까지의 범위를 가지는 것으로 나타났다. Fig. 21a에서는 초록색이 짙어질수록 고도가 높아짐을 나타내고 있다. 이를 통하여 중앙에 위치한 한라산이 제일 높게 나타나며 그 주변으로 오름이 많이 분포하고 있음을 알 수 있다.

(2) 음영기복도(hillshade)

음영기복도는 3차원의 형태를 가진 지형을 2차원의 평면 위에 자연스럽고, 직관적인 방법으로 표현한 지도이다(장민철 등, 2013). 남쪽(180°)에서 45°의 각도로 햇빛이 비춘다고 가정했을 때의 음영기복을 나타내어 변수로 사용하였다. 음영기복도의 값은 0~255로 8bit값으로 밝기를 구분하여 나타내었으며 값이 커질수록 빛이 많이 들어와 밝고, 값이 낮을수록 그늘이 져 어두운 곳을 나타낸다(Fig. 21b).

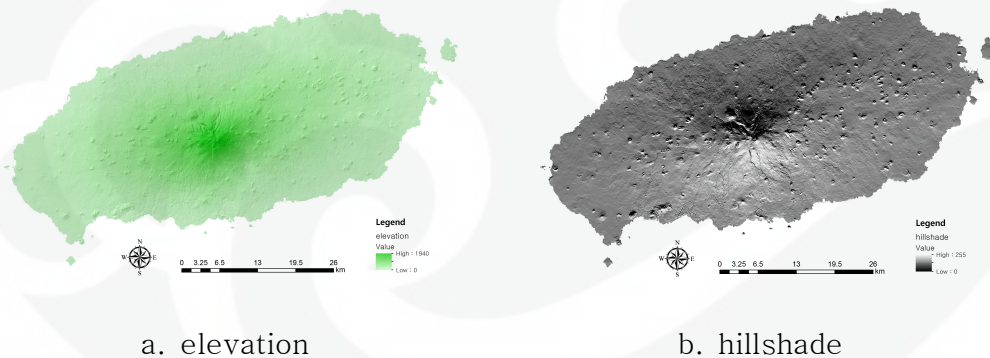


Fig. 21. Environmental variables of elevation and hillshade in Jeju island

(3) 향(aspect)

향(aspect)은 경사면이 향하는 수평의 방향을 나타내는 것으로 -1은 평지, 북(0-22.5°), 북동(22.5-67.5°), 동(67.5-112.5°), 남동(112.5-157.5°), 남(157.5-202.5°), 남서(202.5-247.5°), 서(247.5-292.5°), 북서(292.5-337.5°),

북(337.5-360°)을 나타낸다. 제주도에서는 평지가 20%를 차지하고 있으며, 북(12%), 북서(11%), 남동(11%), 남(11%)의 순으로 높은 비율을 차지하고 있다(Fig. 22a).

(4) 경사도(slope)

경사도(slope)는 경사진 기울기를 수평면에 대한 각도로 나타낸 것으로 검은 색에 가까울수록 경사가 완만한 것을 나타내고, 빨간색으로 갈수록 경사가 급한 것을 나타낸다. 제주도 지역의 경사도 범위는 0~82.7°이지만 평탄지가 가장 많은 비율을 차지하고 있고(25%), 대부분 13°이하의 약한 경사지이다(Fig. 22b).

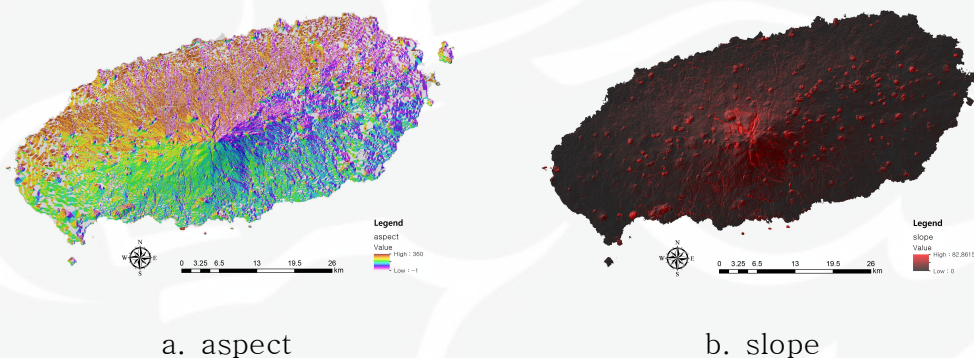


Fig. 22. Environmental variables of aspect and slope in Jeju island

(5) 농경지로부터의 거리(d_agri)

농경지로부터의 거리는 제주도에 있는 논, 밭 등을 포함하는 농경지로부터의 거리를 구한 것으로 토지피복도의 농업지역에 해당하는 곳으로 정의하여 계산하였다. 농경지는 대부분 저지대인 제주도의 가장자리에 분포하고 있다. 제주도에서는 농경지로부터의 거리는 0m~6,020m의 범위를 가진다(Fig. 23a).

(6) 수계로부터의 거리(d_stream)

수계로부터의 거리는 제주도에 있는 하천으로부터의 거리를 측정한 것으로 하천은 수치지형도에서 하천에 해당하는 모든 layer로 정의하였다. 한라산을 중심으로 아래쪽으로 내려오는 모양을 하고 있으며 하천으로부터의 거리는 0m~2,392m까지의 범위를 가진다. 하늘색이 수계와 가까운 곳, 파란색이 수계와 상대적으로 먼 곳을 나타낸다(Fig. 23b).

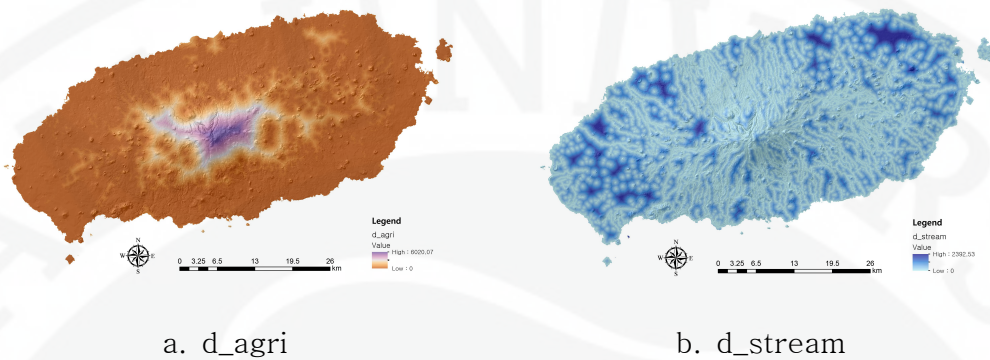


Fig. 23. Environmental variables of d_agri and d_stream in Jeju island

(7) 숲 외부로의 거리(d_forest (out))

영급이 0이 아닌 곳을 숲이라고 정의하고 그 숲의 경계로부터 떨어져있는 거리를 측정하였을 때 0~4,212m까지의 범위를 가진다. 노란색으로 갈수록 숲과 가까운 곳이고 초록색, 파란색으로 갈수록 숲과의 거리가 멀다는 것을 나타낸다 (Fig. 24a).

(8) 숲 내부로의 거리(d_forest (in))

숲 내부로의 거리도 숲 외부로의 거리와 마찬가지로 영급이 0이 아닌 곳을 숲으로 정의하고 숲의 경계로부터 숲 안쪽으로의 거리를 측정한 것으로 -3,867m~0m의 범위를 가진다. 안쪽으로의 거리를 -로 계산해 값이 작아질수록 숲의 깊은 곳에 해당하며 밝은 초록색을 나타내게 되고, 값이 커질수록 숲의 깊은 곳으로부터 멀다는 것을 나타내 검은색을 나타내게 된다(Fig. 24b).

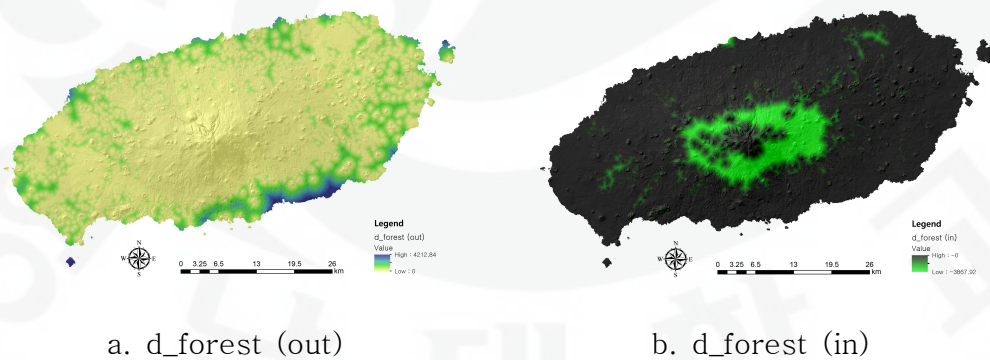


Fig. 24. Environmental variables of d_forest (out) and d_forest (in) in Jeju island

(9) 도로로부터의 거리(d_{road})

도로로부터의 거리는 0~6,096m까지의 범위를 가지며 도로는 제주도의 외곽 지역에 밀집하여 분포하고 있으나 한라산 높은 곳을 제외하고 제주도 전역에 도로가 분포하고 있다. 보라색에 가까울수록 도로와 가까운 곳임을 나타내고 초록색으로 갈수록 도로와 거리가 있음을 나타낸다(Fig. 25a).

(10) 오름으로부터의 거리(d_{oreum})

오름은 기생화산으로서 제주도에 볼 수 있는 독특한 지형이며, 제주도 내 고라니의 서식과 관련이 있을 것으로 판단하여 변수로 추가하였다. 오름으로부터의 거리는 0~6,493m의 범위를 가지며, 갈색이 짙어질수록 오름과 가까움을 나타내고 색이 밝아질수록 오름으로부터 멀리 떨어져 있음을 나타낸다(Fig. 25b).

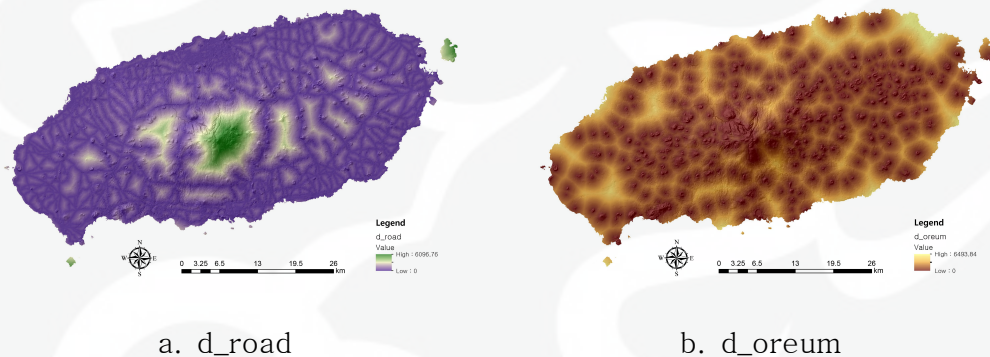


Fig. 25. Environmental variables of d_{road} and d_{oreum} in Jeju island

(11) 1월의 온도(Temp (1))

1월의 온도는 1월에 찍힌 Landsat 8 영상에서 열을 탐지하는 밴드인 10밴드의 값을 통해 온도의 경향성을 알아보기 위해 추가한 변수이다. 범위는 17,318~25,365로 16bit값으로 나타낸 값이며 낮은 값은 낮은 온도를 나타내고 있다. 한라산 부근처럼 파란색에 가까울수록 온도가 낮고, 제주도의 가장자리처럼 빨간색에 가까울수록 온도가 상대적으로 높음을 확인할 수 있다(Fig. 26a).

(12) 4월의 온도(Temp (4))

4월의 온도도 1월의 온도와 마찬가지로 landsat 8영상의 10번 밴드 값을 나타낸 것으로 4월에 찍힌 영상을 이용하였다. 20,135~37,517의 범위를 가지며

파란색일수록 온도가 낮고, 빨간색에 가까울수록 높은 온도를 나타낸다(Fig. 26b).

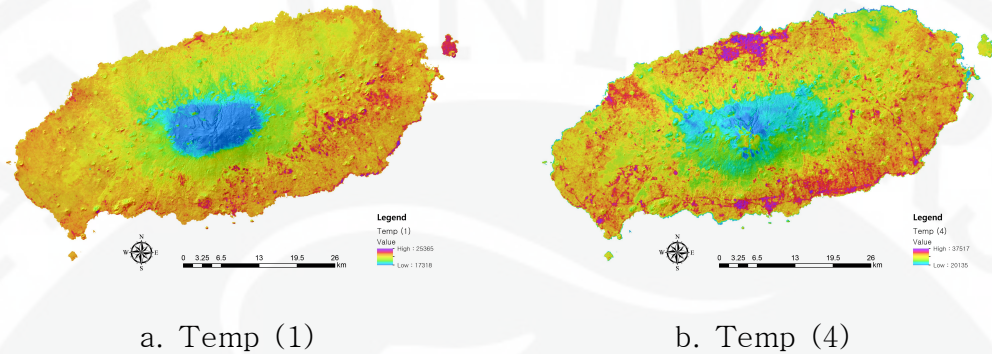


Fig. 26. Environmental variables of elevation and hillshade in Jeju island

(13) 1월의 정규식생지수(NDVI (1))

1월의 정규식생지수도 1월에 찍힌 landsat 8 영상의 밴드 중에서 Red 영역의 반사값을 나타내는 4번 밴드와 근적외선(NIR) 영역의 반사 값을 나타내는 5번 밴드를 $NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red)$ 의 식을 이용해 계산하였으며, -1~1사이의 값을 가지며 1에 가까울수록 식생의 활력도가 높음을 나타낸다. 제주도에서는 -0.2~0.4의 값을 가졌으며 빨간색에 가까울수록 식생이 없음을, 초록색으로 갈수록 식생이 우거짐을 확인할 수 있다(Fig. 27a).

(14) 4월의 정규식생지수(NDVI (4))

4월의 정규식생지수는 4월에 찍힌 landsat 8영상을 이용해 계산하였다. 제주도에서는 -0.3~0.6의 값을 가져 1월보다는 식생이 좀 더 발달했음을 알 수 있으며, 한라산 높은 곳 보다는 중산간 지대의 식생이 더 우거졌음을 확인할 수 있다(Fig. 27b).

(15) 영급(yung)

영급은 나무의 수령을 나타낸 것으로 1영급은 1~10년생, 2영급은 11~20년생을 나타내며 4차임상도에서는 6영급까지만 분류되어 51년생 이상은 모두 6영급에 해당된다. 빨간색에 가까울수록 수령이 어린 것을, 초록색에 가까울수록 수령이 높음을 나타낸다. 한라산 부근에서 영급이 높음을 확인할 수 있으며, 백록담 근처에서는 영급이 낮은 지역을 찾을 수 있다(Fig. 27c).

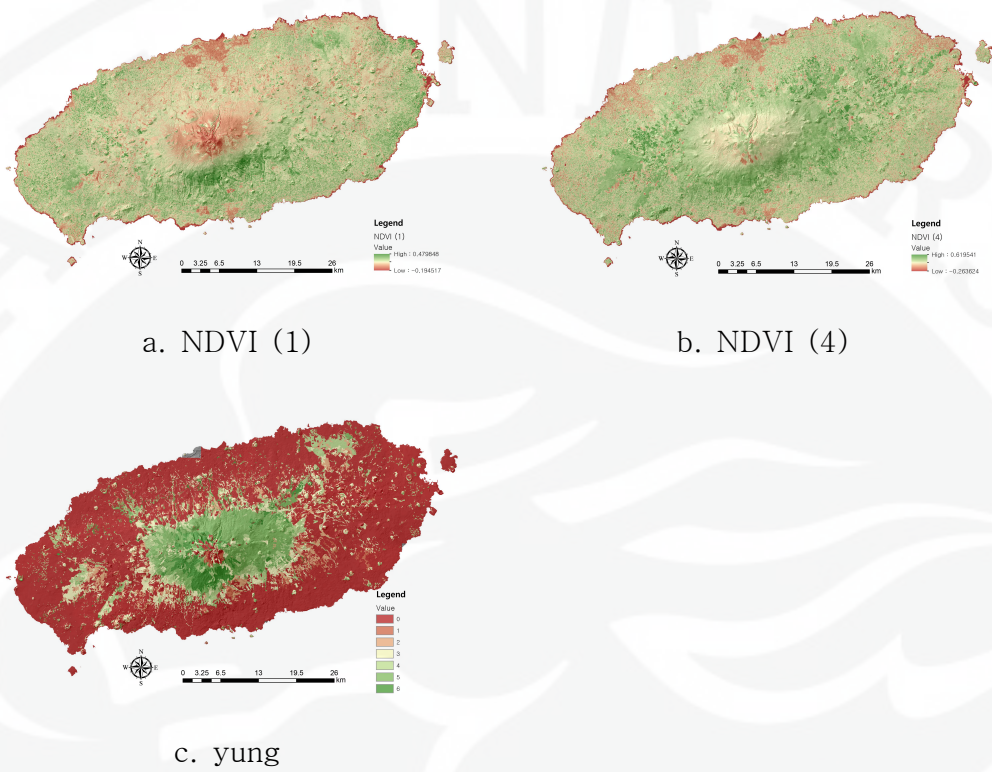


Fig. 27. Environmental variables of NDVI (1), NDVI (4) and yung in Jeju island

4. 한남시험림 서식지 모델링을 위한 환경변수

한남시험림에서는 서식지 모델링을 위하여 제주도 전체 서식지 모델링을 위한 환경변수에서 숲 외부로의 거리를 제외하고, 총 14개의 변수가 사용되었으며, 각 환경변수에 대한 설명은 다음과 같다.

(1) 고도(elevation)

한남시험림은 고도 319m~770m에 위치하고 있으며 위쪽으로 올라갈수록 고도가 높아져 짙은 초록색으로 나타난다(Fig. 28a).

(2) 음영기복도(hillshade)

음영기복도는 0~249의 범위를 가지며 값이 높을수록 흰색으로 표현하였고, 값이 낮을수록 거늘진 곳으로 해석하였다(Fig. 28b).

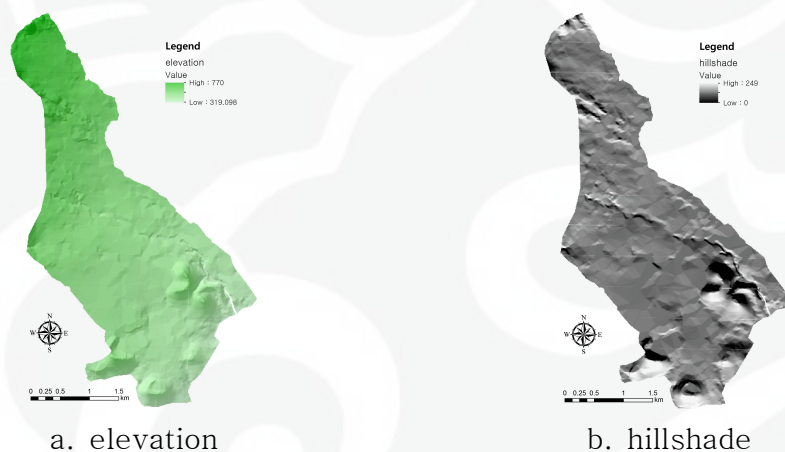


Fig. 28. Environmental variables of elevation and hillshade in HEF

(3) 향(aspect)

향은 남동(36%), 동(27%), 남(14%)이 반 이상의 면적을 차지하고 있으며, 평지가 9%를 차지하고 있다(Fig. 29a).

(4) 경사도(slope)

경사도는 0°~52°의 범위를 가지며, 한남시험림의 13%가 평탄지이다. 13°를 초과하는 곳은 미비하며, 2°~5°사이의 경사가 대부분이다(Fig. 29b).

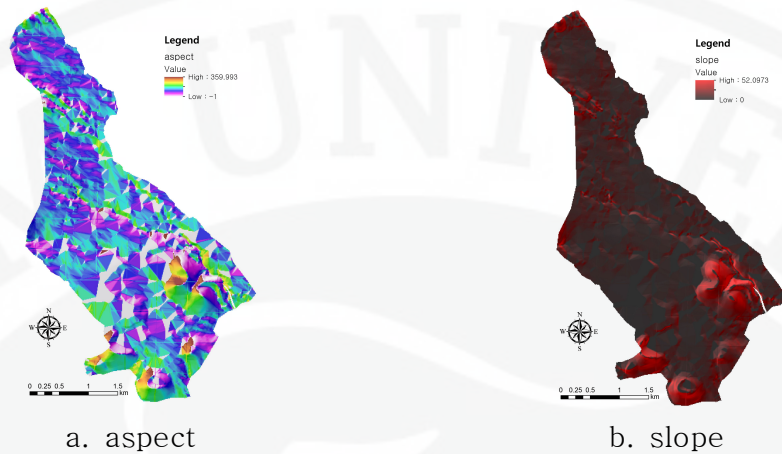


Fig. 29. Environmental variables of aspect and slope in HEF

(5) 농경지로부터의 거리(d_agri)

농경지로부터의 거리는 0m~1,785m까지이며, 한남시험림의 북쪽에 농경지가 있으며 그 외에는 한남시험림을 벗어난 동쪽에 농경지가 위치한다. 보라색으로 갈수록 농경지와 거리가 먼 곳을 나타내고 갈색에 가까울수록 농경지와 가까운 곳을 나타낸다(Fig. 30a).

(6) 수계로부터의 거리(d_stream)

수계로부터의 거리는 0m~1,198m의 범위를 가지며, 한남시험림을 가로지르는 3개의 큰 하천이 있다. 파란색이 짙어질수록 수계로부터 멀리 떨어져있음을 나타낸다(Fig. 30b).

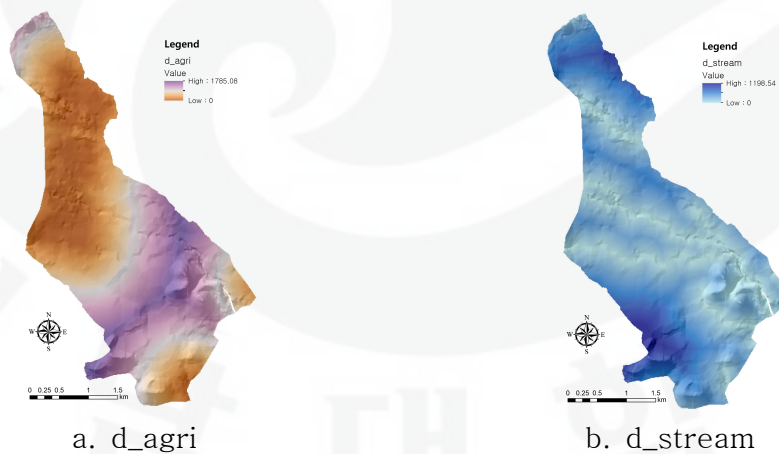


Fig. 30. Environmental variables of d_agri and d_stream in HEF

(7) 숲 내부로의 거리(d_forest (in))

숲 내부로의 거리는 -3,824m~0m의 값을 나타내며, 값이 작아질수록 숲의 깊숙한 곳을 나타내며, 북쪽으로 갈수록 초록색을 나타내, 숲의 가장자리로부터 멀리 떨어져있음을 알 수 있다(Fig. 31a).

(8) 도로로부터의 거리(d_road)

도로로부터의 거리는 177m~2,931m의 범위를 가지며, 보라색이 도로와 가까운 곳을, 초록색이 도로와 먼 곳을 나타낸다(Fig. 31b).

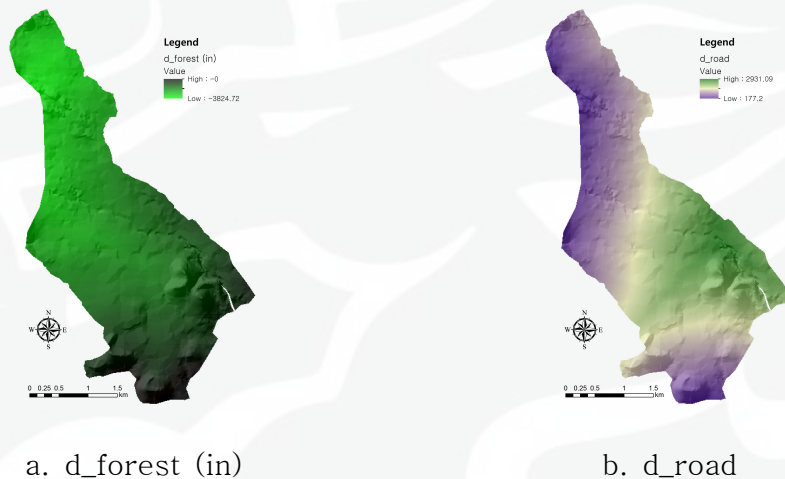


Fig. 31. Environmental variables of d_forest (in) and d_road in HEF

(9) 오름으로부터의 거리(d_oreum)

오름으로부터의 거리는 0m~1,611m로 남동쪽에 마체악, 넓거리, 거인악, 거린죽은오름이 위치하고 있다. 어두운 갈색은 오름과 가까운 곳을, 밝은 갈색은 먼 곳을 나타낸다(Fig. 32a).

(10) 영급(yung)

영급은 1영급에 해당하는 나무는 없고 5영급이 가장 많은 면적을 차지하고 있으며, 3,4영급이 그 다음으로 많은 면적을 차지하고 있다(Fig. 32b).

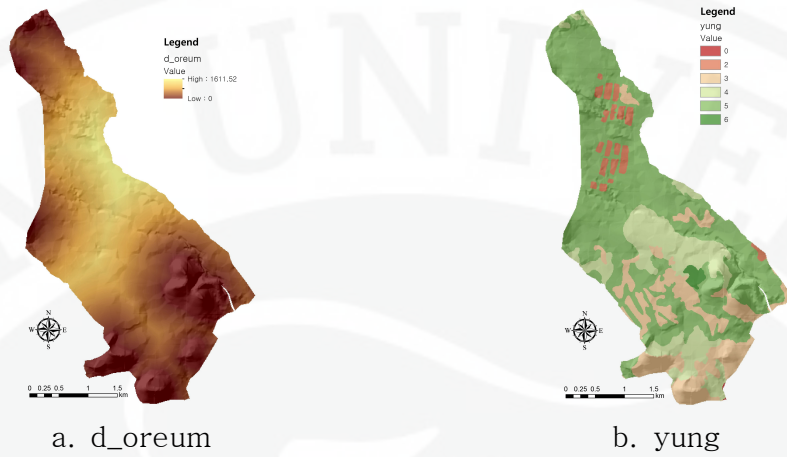


Fig. 32. Environmental variables of d_oreum and yung in HEF

(11) 1월의 온도(Temp (1))

1월의 온도는 20,618~22,963으로 붉은색이 온도가 높음을, 파란색이 온도가 낮음을 나타낸다(Fig. 33a)

(12) 4월의 온도(Temp (4))

4월의 온도는 23,058~26,178로 붉은색이 온도가 높음을, 파란색이 온도가 낮음을 나타내며 4월이 1월에 비해 온도가 높음을 알 수 있다(Fig. 33b).

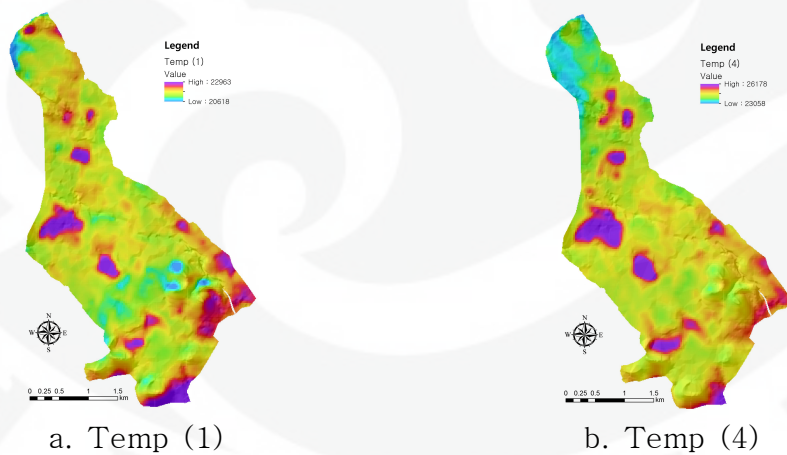


Fig. 33. Environmental variables of Temp (1) and Temp (4) in HEF

(13) 1월의 정규식생지수(NDVI (1))

1월의 정규식생지수는 0.03~0.39의 값을 가지며 남쪽이 북쪽보다 식생이 우거졌음을 확인 할 수 있다(Fig. 34a).

(14) 4월의 정규식생지수(NDVI (4))

4월의 정규식생지수는 0.17~0.53의 값을 가지며 1월에 비해 식생이 발달했음을 알 수 있다(Fig. 34b).

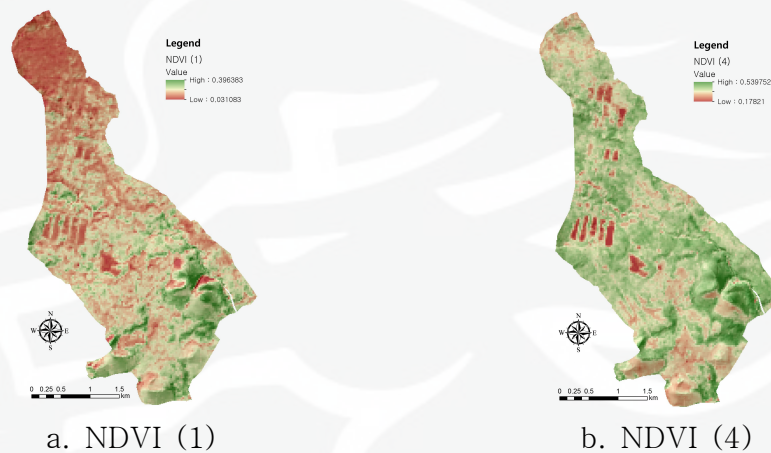


Fig. 34. Environmental variables of NDVI (1) and NDVI (4) in HEF

5. 제주노루의 서식지 모델링 결과

(1) 제주도 전체 서식지 모델링

1) ROC curve & AUC

일반적으로 Receiver Operating Characteristic (ROC) 분석이 모형의 수행 능력을 평가하는데 널리 사용된다(Mas *et al.*, 2013). 흔히 medical decision making에서 사용되었지만 최근에는 기계학습이나 데이터 마이닝(data mining) 연구에서도 사용이 증가하고 있다(Fawcett, 2006). 본 연구에서는 MaxEnt에 의해 구축된 종 분포모형의 출현 예측 확률이 실제로 종의 출현과 얼마나 일치하는지를 판단하기 위해 ROC curve의 AUC(Area Under the Curve)값을 사용했다.

AUC란 무작위로 선택된 출현지점이 무작위로 선택된 비 출현지점보다 높게 평가될 확률을 말하는데, MaxEnt 모형처럼 출현좌표만을 이용한 경우에도 실제 비 출현좌표를 대신해 대상지 내에서 균일하게 무작위로 선택된 의사 비 출현 자료(pseudo-absence data)를 이용해 AUC값을 측정할 수 있다(Phillips와 Dudik, 2008). AUC값은 적어도 (0,0)과 (1,1)사이의 대각선의 면적을 가지므로 0.5이상의 값을 가진다(Fawcett, 2006). 사각형의 면적이 1이기 때문에 AUC 값은 0.5~1.0사이의 값을 가지며 1에 가까울수록 모형 설명력이 높다(Fawcett, 2006). 보통 0.8이상의 값을 가질 때 모형의 예측력이 우수하다고 판단하는데 (박현철 등, 2014, 재인용), 0.816으로 모형의 적합도가 적절하다고 말할 수 있다(Fig. 35.).

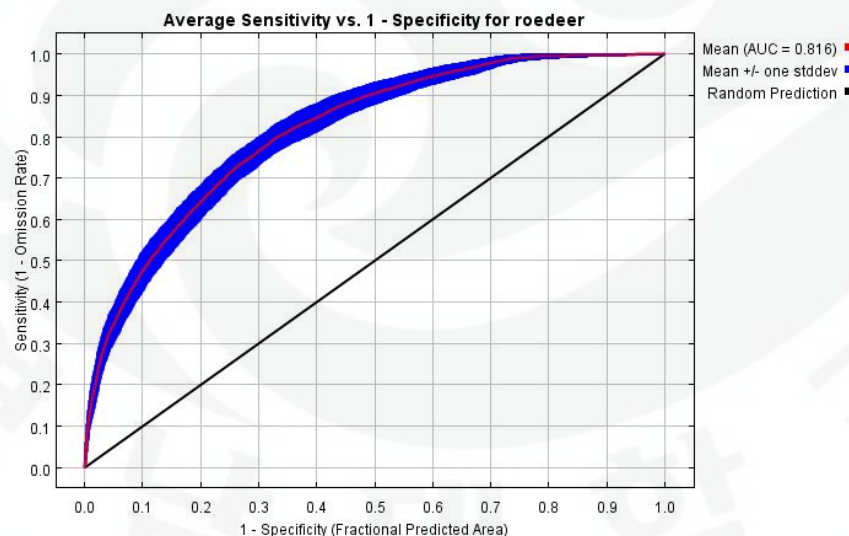


Fig. 35. ROC curve in Jeju island

2) Percent contribution & Permutation importance

MaxEnt 모형의 결과로 얻게 되는 percent contribution과 permutation importance값으로 변수들의 중요성을 추정할 수 있다(Songer *et al.*, 2012). Percent contribution은 모형이 최고의 결과를 구축하는데 있어 각 변수가 얼마만큼의 기여도를 가지는지를 나타낸다(Sun *et al.*, 2012; Songer *et al.*, 2012). Permutation importance는 변수의 기여도를 나타내는 다른 지표로서 최종 모형의 결과에만 의존하며, permutation은 각 환경변수의 차례에서 그 환경변수의 값에 training presence와 background data의 값이 무작위로 변경되는 것을 말하고 이 자료를 통해 모형을 재평가하였을 때 AUC값을 얼마나 떨어뜨리는지를 percentage로 나타낸 값이다(Quillfeldt *et al.*, 2013). Permutation importance는 높은 값을 가질수록 random permutation을 했을 때 AUC값이 많이 감소 한다는 것으로 모형이 그 변수에 대한 의존이 높음을 나타낸다(Beans *et al.*, 2012, 재인용). 제주도지역에서의 변수의 기여도에 대한 값은 표 7에서 확인할 수 있다. Percent contribution과 permutation importance 모두 약 70%로 다른 값에 비해 고도가 월등히 높은 값을 가지고 있으므로 고도가 모형구축에 가장 큰 영향을 미치는 변수임을 알 수 있다. Percent contribution에서는 고도, 오름으로부터의 거리, 숲 내부로의 거리, 4월의 온도, 숲 외부로의 거리, 향, 음영기복도, 4월의 NDVI, 영급 순으로 모형에 영향을 미쳤음을 알 수 있고, permutation importance를 통한 변수의 기여도를 살펴보면, 고도, 숲 내부로의 거리, 오름으로부터의 거리, 향, 4월의 온도, 4월의 정규 식생지수, 숲 외부로의 거리, 영급, 음영기복도의 순으로 기여도가 높았다.

Table 7. Result of Percent contribution and Permutation importance in Jeju island

Variable	Percent contribution	Permutation importance
elevation	68 (1)	71.7 (1)
d_oreum	9.7 (2)	6 (3)
d_forest (in)	7.6 (3)	9 (2)
Temp (4)	4.2 (4)	3.2 (5)
d_forest (out)	2.5 (5)	2.1 (7)
aspect	2.3 (6)	3.3 (4)
hillshade	2.1 (7)	0.8 (9)
NDVI (4)	1.9 (8)	2.8 (6)
yung	1.7 (9)	1.2 (8)

() : rank

3) Jackknife test

MaxEnt의 결과로 변수의 기여도를 측정하는 또 다른 방법인 Jackknife test에 대한 표를 얻을 수 있다. Jackknife test에서는 Jackknife of Regularized Training Gain의 값을 통해 모형에 대한 각 변수들의 기여도를 나타내고 있다. 각 변수들이 그 변수 1개만 사용하여 만든 모형에서의 기울기를 구해 각 변수들이 개별적으로 모형에 얼마만큼의 기여도를 가지는지를 알 수 있다(파란색 막대). 또한 그 변수만 제거되고 다른 변수들로만 모형을 만들었을 때의 기울기를 통해서 그 변수가 모형에 미치는 기여도를 전체 변수가 사용되었을 때의 기울기(빨간색 막대)와 비교하여 알 수 있다(청록색 막대). Fig. 36에서는 제주도 지역에서의 Jackknife test 결과를 보여주고 있다. 고도 변수의 파란색 막대가 제일 길고, 청록색 막대가 가장 짧아 모형에 가장 큰 기여도를 가지는 것을 알 수 있고, 오름으로부터의 거리, 4월의 온도, 숲 외부로의 거리가 고도 다음으로 영향을 미치고 있음을 확인할 수 있다. 또 4월의 정규식생지수, 음영기복도, 숲 내부로의 거리, 영급, 향은 모형에 낮은 기여도를 가짐을 확인할 수 있다.

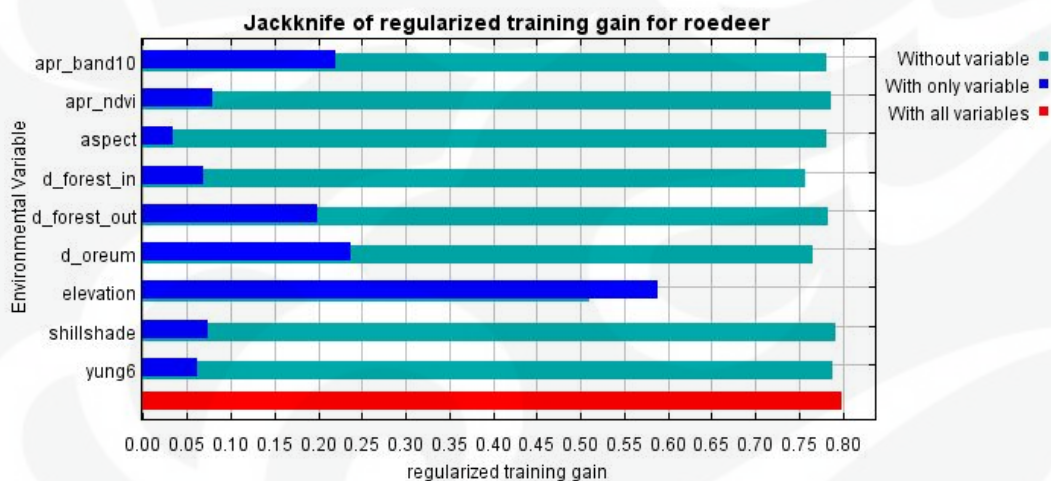


Fig. 36. Jackknife of regularized training gain in Jeju island

4) 예측 지도(Prediction map)

Fig. 37은 MaxEnt의 결과로 얻어진 제주도지역에 대한 노루 분포에 대한 예측지도로 출현확률이 0~1까지의 값으로 나타나게 되며, 0은 나타날 확률이 0%, 1은 100%를 뜻한다.

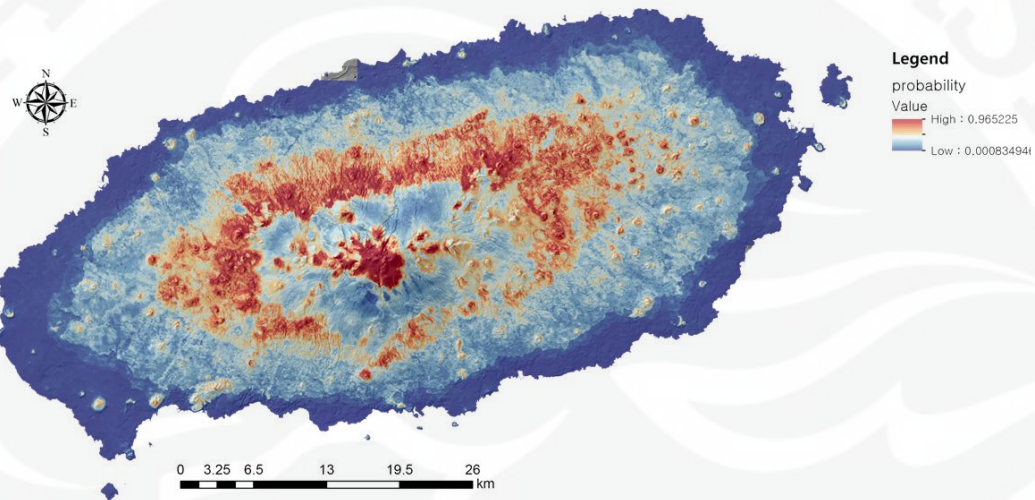


Fig. 37. Prediction map of roe deers in Jeju island

출현확률의 범위는 0~0.96으로 높은 곳은 90%이상의 출현확률을 나타낸다. 파란색으로 갈수록 출현확률이 낮은 곳을 뜻하고, 빨간색으로 갈수록 출현확률이 높음을 나타낸다. 모형에 영향을 가장 많이 미쳤던 고도 변수에 따라 출현이 나뉘어져 있음을 확인 할 수 있다. 출현확률이 고도에 의존한다는 것이 고도가 증가할수록 출현확률도 증가한다는 양의 선형관계를 나타내는 것은 아니다. 고도에 따른 노루의 출현 확률을 좀 더 세부적으로 알아보기 위해서 고도를 100m 단위로 구분하고, 50%이상의 출현확률을 10%단위로 나누었다. 그리고 각 10% 구간마다 출현확률의 면적을 100%로 봤을 때 각 고도별로의 면적을 비교하였다(Table 8).

Table 8. Probability area of altitudinal distribution

	50~60%	60~70%	70~80%	80~90%	90~100%
0~100m	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
100~200m	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0

200~300m	6.5	3.0	0.7	0.0	0.0
300~400m	32.1	17.3	3.5	0.0	0.0
400~500m	26.2	25.8	16.1	1.5	0.0
500~600m	18.8	28.5	30.0	4.6	0.0
600~700m	7.8	12.7	14.6	2.2	0.0
700~800m	1.1	1.9	3.9	0.6	0.0
800~900m	0.7	0.6	0.7	0.1	0.0
900~1,000m	0.9	0.7	0.4	0.0	0.0
1,000~1,100m	0.8	0.7	1.1	0.2	0.0
1,100~1,200m	0.7	0.9	1.6	0.3	0.0
1,200~1,300m	0.9	0.9	1.8	1.7	0.0
1,300~1,400m	0.9	1.6	4.3	2.5	0.0
1,400~1,500m	0.9	1.7	5.4	2.9	0.0
1,500~1,600m	0.7	2.2	8.4	21.0	3.4
1,600~1,700m	0.4	0.8	5.3	42.5	40.6
1,700~1,800m	0.1	0.3	1.6	14.8	18.5
1,800~1,900m	0.0	0.2	0.6	4.5	29.2
1,900~2,000m	0.0	0.0	0.0	0.3	8.4
total	100	100	100	100	100

출현확률이 50~80%인 지역은 주로 200~700m 고도에 위치하고 있었으며(주로 중산간 지대), 출현확률이 90%이상인 지역은 1,500m이상의 고지대에 위치하고 있었다. 이를 기준으로 0~200m, 200~700m, 700~1,500m, 1,500~2,000m로 고도의 범위를 나누어 각 고도별로 그에 해당하는 영급과 소밀도의 면적을 구했다(표. 9).

Table 9. Age-class of altitudinal distribution

Elevation	Age-class (Tree age)							
	0	1	2	3	4	5	6	total
0~200m	87.4	0.7	1.6	3.9	5.0	1.1	0.2	100
200~700m	52.0	3.0	7.3	14.2	11.5	10.0	2.0	100
700~1,500m	1.9	0.8	0.2	5.1	11.0	59.8	21.1	100
1,500~2,000m	35.2	10.7	1.2	10.1	15.3	12.8	14.7	100

Table 10. Crown density of altitudinal distribution

Elevation	Crown density				
	0	coarse	intermediate	dense	total
0~200m	88.2	1.6	5.1	5.1	100
200~700m	55.0	3.7	15.3	26.0	100
700~1,500m	2.6	0.9	13.3	83.1	100
1,500~2,000m	45.8	3.9	15.2	35.0	100

다른 고도에서는 영급이 0인 값이 큰 반면에 700~1,500m지역에서는 5, 6영급의 수령이 높은 나무가 차지하는 면적이 높음을 알 수 있다. 또한 다른 고도에서는 소밀도가 0인 값이 큰 반면에 700~1,500m지역에서는 소밀도가 높음을 알 수 있다. 이 두 결과를 종합해보면 노루의 출현확률이 50% 이상인 지점이 많지 않은 고도 700~1,500m의 지역은 수령이 높은 나무들이 많고, 소밀도가 높아 나무들의 수관이 넓어 하늘을 다 막고 있으므로 하층식생이 많이 발달하지 못해 노루의 먹이원이 다른 고도에 비해 부족하여 노루의 출현확률이 낮은 것으로 생각된다.

이에 노루가 고도에 가장 큰 영향을 받는 것으로 MaxEnt 결과에서 나왔지만, 고도에 직접적인 영향을 받기보다는 고도에 따른 식생의 발달이 달라서 표면적으로 고도의 영향이 큰 것으로 나타났다고 생각된다.

5) Response curves

MaxEnt 모형을 구축하는데 사용된 환경변수들에 대해 각 변수들의 Response curve를 얻을 수 있다. 다음의 그래프들은 제주도 전역에 대해서 그 변수만을 사용하여 새로운 MaxEnt 모델을 만들었을 때 노루의 출현확률을 나타내는 것으로 y축이 출현확률, x축이 환경변수의 범위이다(Fig. 38). 출현확률은 0~1사이의 값으로 나타나며, 0은 0%, 1은 100%의 출현확률을 말한다.

고도가 노루의 출현확률에 미치는 영향을 살펴보면 383m~702m, 1,362m이상에서 0.5이상의 출현확률을 나타내며, 1,362m이상에서는 고도가 높아질수록 출현확률이 높아짐을 알 수 있다. 1,300m이상의 고지대에서의 출현확률이 높은 이유는 백록담근처에는 오히려 나무가 많지 않은 개활지가 존재하고 있어 노루가 서식하기에 좋은 조건이라고 생각된다.

오름으로부터의 거리에 따른 노루의 출현확률을 살펴보면 전체적으로 오름과 멀어질수록 출현확률이 낮아짐을 확인할 수 있다. 오름으로부터의 거리가 220m 안쪽일 때 0.5이상의 출현확률을 나타내고 있으며, 이는 오름이 노루에게 좋은 서식지 역할을 한다(오장근, 2015)는 것과 일치한다.

숲 내부로의 거리는 숲의 경계로부터 273m 안쪽까지는 0.5이상의 출현확률을 나타내지만 그 이상으로 들어가면 노루의 출현확률이 낮아진다. 하지만 낮은 출현확률이 0.4이상이기 때문에 숲 안쪽을 선호하지 않는다고 말할 수는 없으며 대체로 울창한 숲 안쪽보다는 숲의 가장자리를 더 선호하는 것으로 판단된다.

4월의 온도는 실제 온도 값이 아니라 열을 감지하여 16bit값으로 나타낸 것으로서 온도의 상대적인 경향을 알 수 있다. 0.5이상의 출현확률을 가지는 곳이 숲의 가장자리 정도이고 그 보다 높은 값을 가지는 곳이 숲의 외부로 출현확률이 온도가 높아질수록 감소함을 확인할 수 있다.

숲 외부로의 거리가 증가할수록 노루의 출현확률이 낮아지며 숲에서 63m정도까지 벗어났을 때만 0.5이상의 출현확률을 나타내며 거리가 증가할수록 출현확률이 0에 가까워져 숲의 경계에서 멀리 벗어나기보다는 숲의 가장자리를 선호함을 알 수 있다.

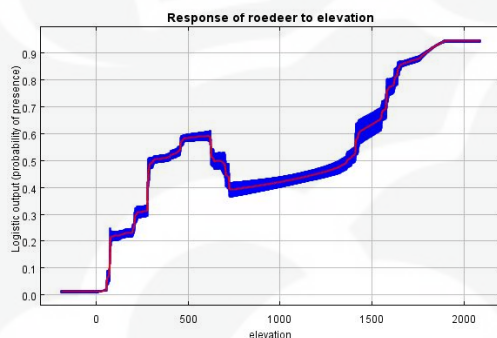
향은 0.1° ~ 116° , 336° ~ 360° 에서 0.5이상의 출현확률을 나타내는데, 이는 북서~남동쪽을 선호함을 말한다. 그러나 다른 범위에서도 0.4이상의 출현확률을 보이므로 북서~남동향만을 선호한다보다는 다른 향에 비해 조금 더 선호한다고 말할 수 있다.

음영기복에 따른 노루의 출현확률을 살펴보면 170~198을 제외한 곳에서 0.5이상의 출현확률을 나타내며 244이상에서는 0.7이상의 확률을 나타낸다. 이를 통

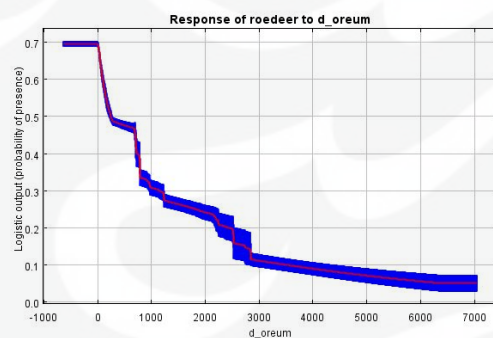
하여 빛이 잘 들어오는 곳을 더 선호하며 그 중에서도 아주 밝은 곳을 상대적으로 더 선호함을 알 수 있다. 하지만 어두운 지역에서도 0.4이상의 출현확률이 나타나기 때문에 어두운 지역은 밝은 지역보다는 상대적 선호도가 떨어진다고 할 수 있다. 숲이 우거진 곳보다 개활지가 빛이 더 잘 들어와 밝기 때문에 이와 같이 밝은 곳을 선호하는 결과는 숲의 중앙보다는 숲의 가장자리를 선호한다는 다른 결과들과 일치한다.

4월의 정규식생지수는 숲의 활력도를 나타내는 것으로 0.3~0.61에서 0.5이상의 출현확률을 나타내고 있다. 정규식생지수가 0.6~0.9일 때 식물은 그 생육이 왕성한 경우를 나타내고, 열대림 혹은 온대림처럼 식생의 밀도가 높음을 나타내지만, 0.2~0.5는 관목과 초지가 존재하는 곳을 나타내는데 특히 0.3과 0.5 부근에서 노루의 출현확률이 높으므로 뾰뾰한 숲보다는 관목 등이 있는 숲의 가장자리를 선호한다고 판단된다.

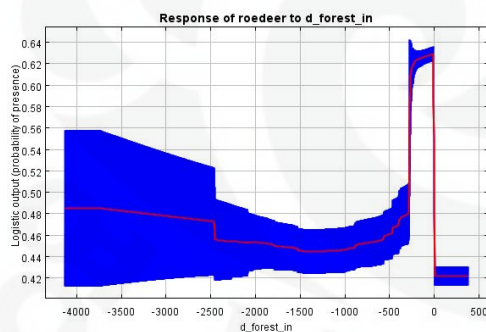
영급은 0~5영급에서 0.5이상의 출현확률을 보여주고 있다. 특히 1~10년생 사이인 1영급에서 출현확률이 0.7이상이었다. 이를 통해 제주노루는 어린나무와 그 주변을 더 선호한다고 말할 수 있다.



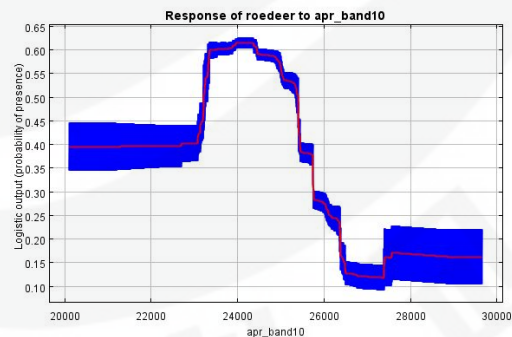
a. elevation



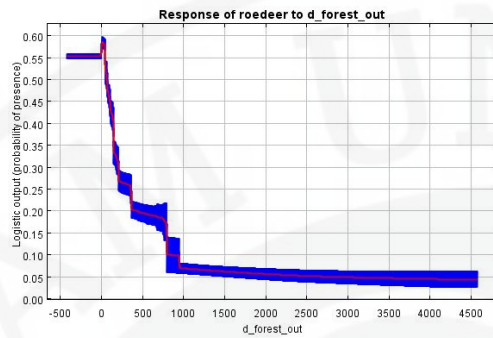
b. d_oreum



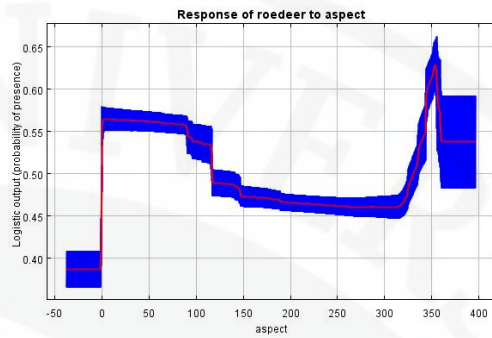
c. d_forest (in)



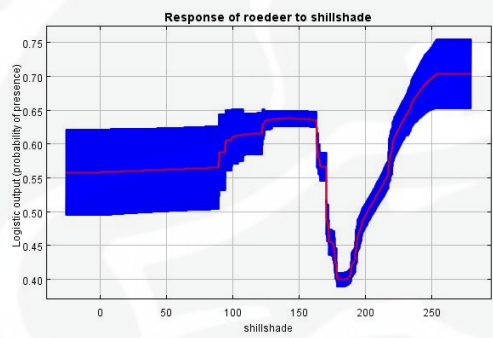
d. Temp (4)



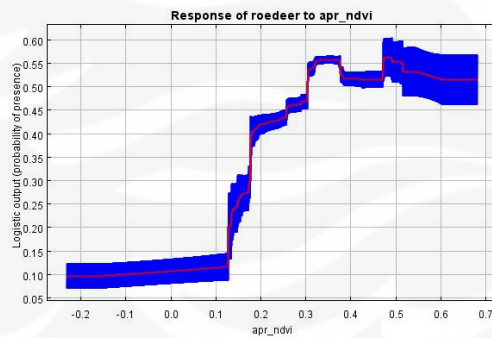
e. d_forest (out)



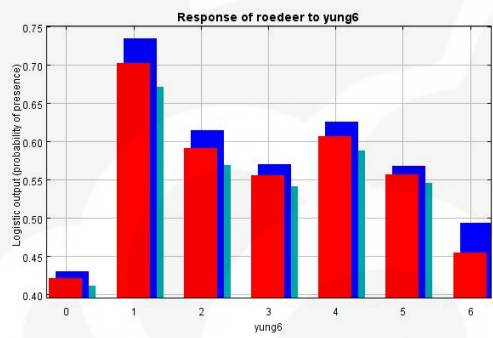
f. aspect



g. hillshade



h. NDVI (4)



i. yung

Fig. 38. Response curves in Jeju island

(2) 한남시험림 서식지 모델링

1) MaxEnt results

① ROC curve & AUC

제주도 지역에서와 마찬가지로 MaxEnt 분석의 수행능력을 평가하기 위해 ROC curve의 AUC 값을 사용하였다. 0.908의 AUC 값을 가져 모형의 적합도가 적절하다고 할 수 있다.

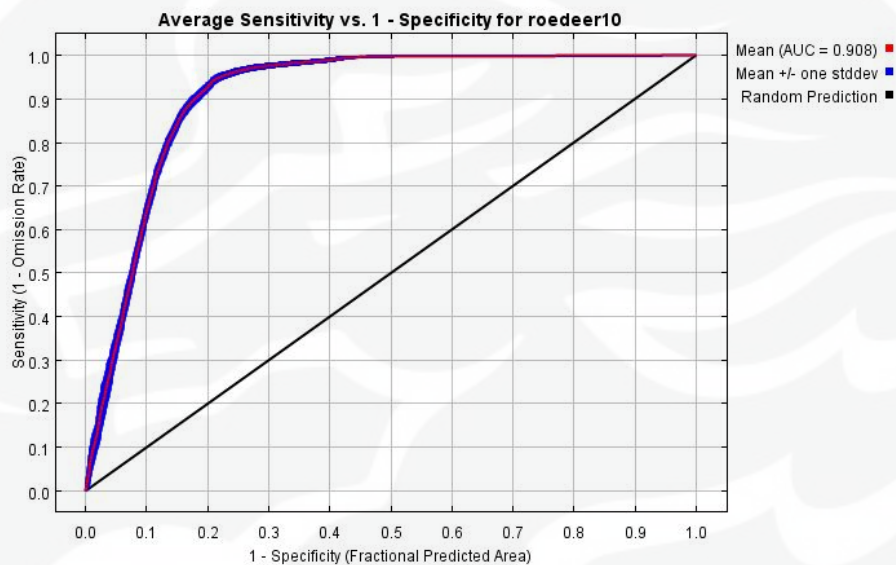


Fig. 39. ROC curve in HEF

② Percent contribution & Permutation importance

다음으로 모형구축에 사용된 변수들의 기여도를 확인할 수 있는 percent contribution, permutation importance, jackknife의 결과를 얻었다.

먼저 percent contribution을 살펴보면 숲 내부로의 거리가 56.5%, 수계로부터의 거리가 35.1%로 두 변수만으로 90%이상의 기여도를 가졌으며, 그 외의 변수들은 향, 경사도, 음영기복도, 영급의 순으로 기여도가 높았다(Table 11). Permutation importance는 숲 내부로의 거리가 71.6%, 수계로부터의 거리가 25%로 percent contribution보다 숲 내부로의 거리가 더 기여도가 높음을 확인할 수 있다(Table 11). 나머지 변수들은 percent contribution에서와 마찬가지로 향, 경사도, 음영기복도, 영급 순으로 높은 기여도를 나타낸다.

Table 11. Result of Percent contribution and Permutation importance in HEF

Variable	Percent contribution	Permutation importance
d_forest (in)	56.5 (1)	71.6 (1)
d_stream	35.1 (2)	25.0 (2)
aspect	3.6 (3)	1.6 (3)
slope	2.7 (4)	0.8 (4)
hillshade	1.3 (5)	0.8 (4)
yung	0.7 (6)	0.2 (6)

() : rank

③ Jackknife test

변수의 기여도를 확인할 수 있는 마지막 방법인 Jackknife test에서도 값은 다르지만 앞의 두 결과와 유사하게 숲 내부로의 거리, 수계로부터의 거리가 높은 기여도를 가지는 것을 확인할 수 있다. 먼저 그 변수만을 사용해서 모형을 구축했을 때의 기울기(파란색막대)를 살펴보면 숲 내부로의 거리와 수계로부터의 거리가 높은 값을 가짐을 알 수 있다. 나머지 변수들은 앞의 두 결과와는 조금 다르게 영급, 경사도, 음영기복도, 향 순으로 높은 기여도를 가지는 것을 확인할 수 있으며, 그 변수를 제외한 전체 변수를 사용했을 때의 기울기(청록색막대)가 6개 변수 전체를 사용한 빨간색 막대와 거의 차이가 없어 이상의 4개 변수들은 모형에 거의 영향을 미치지 않았음을 알 수 있다. 청록색 막대를 통해서도 숲 내부로의 거리, 수계로부터의 거리가 모형에서 빠지면 모형의 기울기가 눈에 띄게 낮아져 모형에 영향을 많이 끼쳤음을 알 수 있다(Fig. 40.).

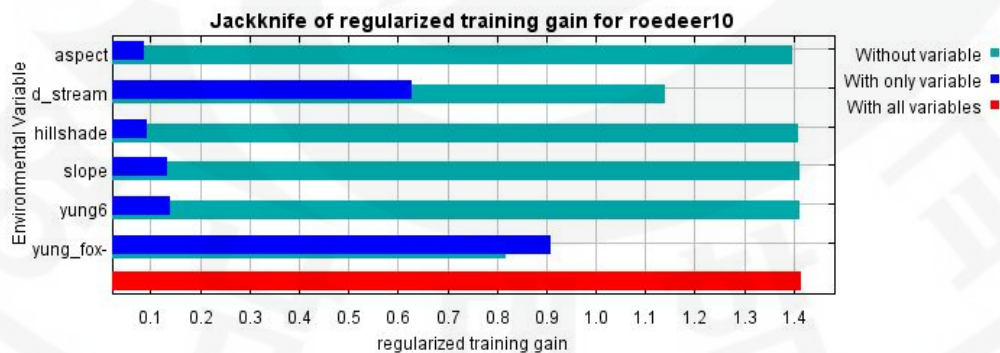


Fig. 40. Jackknife of regularized training gain in HEF

④ 예측지도(Prediction map)

Fig. 41.은 MaxEnt 결과로 얻어진 한남시험림의 노루 출현확률에 대한 예측지도이다. 출현확률은 0~1사이의 값으로 표현되며 0은 0%, 1은 100%를 나타낸다.

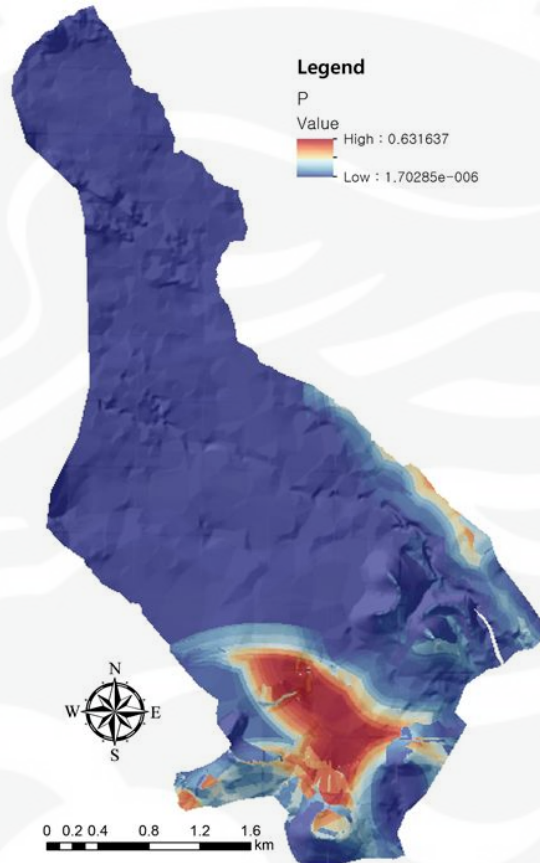


Fig. 41. Prediction map of roe deers in HEF

출현확률의 범위는 0~0.63으로 파란색으로 갈수록 낮은 출현확률을 나타내고, 빨간색으로 갈수록 상대적으로 높은 출현확률을 나타낸다. 출현예측지도를 살펴보면 대상지의 남쪽에 빨간색이 집중되어있는 것을 볼 수 있는데, 이는 presence-only data로 사용된 좌표들이 위치하는 곳으로 이 부근에만 편향되어 출현확률이 높게 나타난 것을 확인할 수 있다. 이는 편향된 자료에 대한 MaxEnt의 한계로 보이며, 이 편향을 상쇄시키기 위해 로지스틱 회귀분석(logistic regression)을 추가로 실행하였다.

⑤ Response curves

MaxEnt 분석에 사용된 각 환경변수들이 노루의 출현확률에 미치는 영향을 response curve를 통해서 알 수 있다.

한남시험림은 숲에 해당하며, 숲 내부로의 거리가 숲의 경계로부터 500m~1,200m 안쪽인 곳에서 0.5이상의 출현확률을 나타내고, 1,500m이상에서는 거의 0에 가까운 출현확률을 보였다. 이를 통해서 깊은 숲보다는 숲의 가장자리를 선호함을 알 수 있었다.

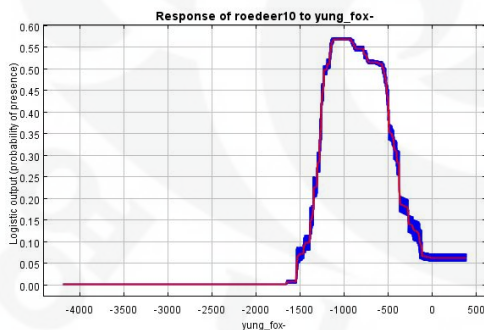
수계로부터의 거리는 420~780m정도 떨어진 곳에서 출현확률이 0.5이상이었다. 이는 서식지 구성요소 중 하나에 해당하는 물에 대해 노루가 의존적이기보다는 조금 떨어진 곳을 선호한다고 판단된다.

향은 60~160°에서 0.5이상의 출현확률이 나타나고 210°이상에선 0.1의 낮은 출현확률을 나타낸다. 이를 통해 한남시험림에서는 북동~동남향을 선호한다고 판단된다.

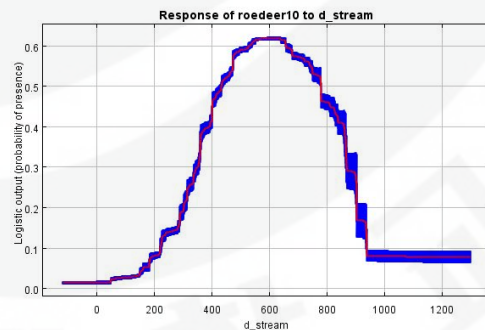
경사도는 5°이하의 낮은 경사를 선호하며 경사가 급해질수록 출현확률이 낮아진다. 이를 통해 노루는 평탄한 지역을 선호함을 알 수 있다.

음영기복도는 180정도를 가장 선호하며 0~150에서는 출현확률이 0.1을 밑돌아 어두운 곳보다는 밝은 곳을 선호함을 알 수 있다. 제주도 전체에서의 결과에서처럼 나무가 뺄수록 빛이 덜 드는 곳 보다는 나무의 밀도가 낮아 빛이 잘 드는 곳을 선호한다는 것을 알 수 있다.

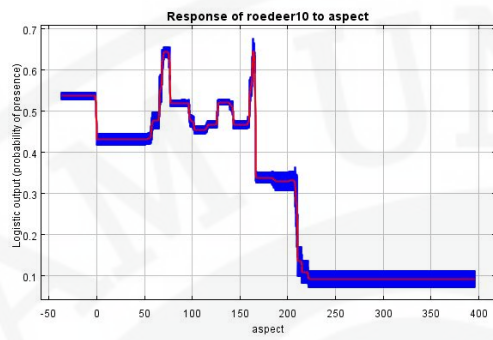
영급은 4영급에서의 출현확률이 0.6이상이고, 0영급, 3영급, 6영급에서 약 0.5의 출현확률을 나타낸다. 한남시험림에는 1영급인 곳이 없어 전체적으로 봤을 때 2영급을 제외한 곳을 선호한다고 볼 수 있다. 한남시험림 내에서 비교적 어린 나무를 선호한다고 볼 수 있다.



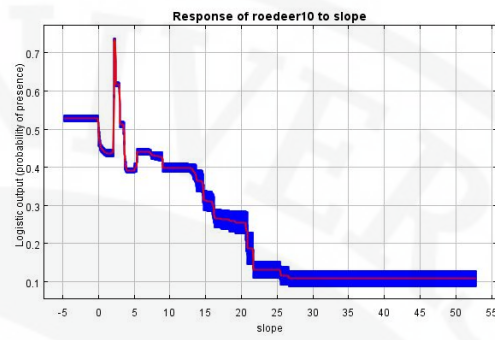
a. d_forest (in)



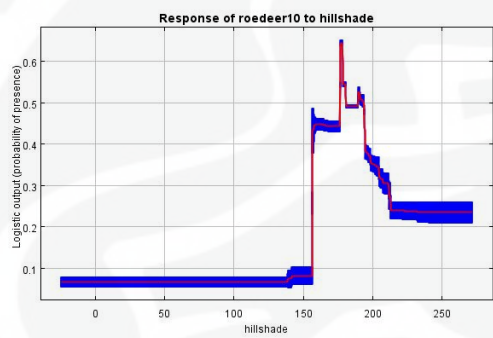
b. d_stream



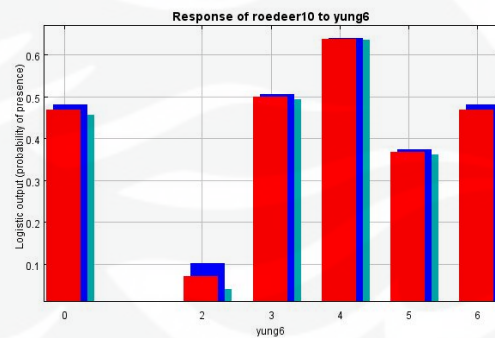
c. aspect



d. slope



e. hillshade



f. yung

Fig. 42. Response curves in HEF

2) Logistic regression results

서창완과 박종화(2000)에 의하면 실제적인 서식지 이용 자료를 적절히 사용하기 위해서는 귀납적이고 경험적인 모형인 다변량 통계분석이 사용된다. 로지스틱회귀분석은 그 방법들 중 하나이다.

① 케이스 처리 요약

총 1815개의 자료 중에서 결측값 220개를 제외한 1,595개의 자료가 로지스틱 회귀분석에 사용되었다(Table 12.).

Table 12. Summary of case processing

Unweighted cases		N	percent
Selected cases	Included in analysis	1595	87.9
	Missing cases	220	12.1
	Total	1815	100.0
Unselected cases		0	.0
Total		1815	100.0

② 모형 계수의 총괄 검정

모형계수의 총괄검정에서는 마지막 단계인 5단계에서의 모형의 카이제곱값이 가장 크다(Table 13.). 이 카이제곱값은 상수항만으로 구성된 모형과 변수를 포함하고 있는 모형의 -2Log Likelihood (-2LL)의 차이를 나타낸다. -2LL의 값은 작을수록 모형의 상대적 모형적합도가 높음을 나타내므로, 여기에서 카이제곱의 값은 클수록 다른 모형에 비해 모형적합도가 높다는 것을 뜻한다.

Table 13. Omnibus test of Model Coefficients

		Chi -square	df	p
Step 5	Step	4.524	1	.033
	block	80.709	5	.000
	model	80.709	5	.000

③ 모형 요약 & Hosmer 및 Lemeshow 검정

모형을 요약하면 5단계의 -2LL값이 제일 낮아 모형의 적합도가 가장 높다고 할 수 있다(Table 14. left column). 적합도를 판단할 수 있는 Hosmer 및 Lemeshow 검정(HL test)을 실행했다. HL test의 카이제곱은 종속변수의 실제치와 모형에 의한 예측치 간의 일치정도로 작을수록 모형의 적합도가 높다고 할 수 있다. 로지스틱 회귀분석을 통해 얻은 5개의 모형 중에는 5번째 모형의 카이제곱값이 가장 낮아 모형의 적합도가 제일 높다고 할 수 있으며 5번째 모형의 p (유의확률)값이 0.420으로 0.05보다 높아 비유의적이므로 ‘예측치와 실제치가 다르지 않다’라는 귀무가설이 기각되지 않고 채택되어 모형의 적합도가 높다는 것을 뒷받침해준다(Table 14. right column).

Table 14. Summary of the model & Hosmer and Lemeshow test

STEP	Summary of the model	Hosmer and Lemeshow test		
	-2log likelihood	Chi-square	df	p
1	2134.979 ^a	14.794	8	.063
2	2121.635 ^a	10.952	8	.204
3	2111.092 ^b	14.603	8	.067
4	2101.962 ^b	11.893	8	.156
5	2097.438 ^b	8.135	8	.420

a. Estimation terminated at iteration number 3 because parameter estimates changed by less than .001

b. Estimation terminated at iteration number 4 because parameter estimates changed by less than .001

④ 분류표

분류표는 실제 관측치와 모형에 의한 예측치를 분류해 두 값이 얼마나 일치하는지를 나타내고 있다(Table 15.). 수정백분율을 살펴보면 5단계의 값이 가장 높다. 이 수정백분율은 예측정확도를 나타낸다. 이를 모형분류설명력이라고도 하는데 60%이상이면 회귀식의 설명력이 높다고 할 수 있는데 5단계의 값이 61.9%이므로 다음에 회귀계수를 이용하여 세운 회귀식의 설명력이 있다고 판단할 수 있다.

Table 15. Classification table

Observed		Predicted		
		value		Percentage correct
		0	1	
Step 1	value 0	735	177	80.6
	1	493	190	27.8
	Overall percentage			58.0
Step 2	value 0	720	192	78.9
	1	485	198	29.0
	Overall percentage			57.6
Step 3	value 0	721	191	79.1
	1	448	235	34.4
	Overall percentage			59.9
Step 4	value 0	709	203	77.7
	1	420	263	38.5
	Overall percentage			60.9
Step 5	value 0	732	180	80.3
	1	427	256	37.5
	Overall percentage			61.9

⑤ 방정식의 변수

로지스틱 회귀분석 결과 5번째 모형의 적합도가 가장 높음을 확인할 수 있었다. 5번째 모형의 회귀계수를 이용하여 회귀식을 세우고 ArcMap 10.1을 통해서 회귀식에 변수의 값을 적용해 노루의 분포 예측지도를 얻었다.

Table 16.에서 B값이 각 변수의 회귀계수를 나타내는 것이고 각 변수의 p값이 0.05보다 작아서 모든 변수가 유의적이라고 할 수 있다. Wald의 값이 클수록 그 독립변수가 종속변수에 미치는 영향이 큰 것을 타나낸다. 따라서 환경변수는 오름으로부터의 거리, 4월의 온도, 숲 내부로의 거리, 영급, 1월의 정규식생지수의 순으로 모형에 큰 영향을 미친다.

Table 16. Variables in the Equation

	B	S.E.	Wald	df	p	Exp(B)
Step 5 d_forest (in)	.002	.000	15.692	1	.000	1.002
Yung	-.275	.091	9.227	1	.002	.760
NDVI (1)	-2.949	1.392	4.492	1	.034	.052
Temp (4)	.001	.000	17.992	1	.000	1.001
d_oreum	.006	.001	48.090	1	.000	1.006
Constant	-23.932	5.711	17.563	1	.000	.000

다음은 노루의 출현확률을 구할 때 사용된 회귀식이다.

$$P = \frac{e^A}{1 + e^A}$$

,` where `A=0.002*(d_forest~(in))-0.275*(yung)-2.949*(NDVI (1))
+ 0.001*(Temp (4))+ 0.006*(d_oreum)-23.932

⑥ 예측지도(Prediction map)

로지스틱 회귀분석을 통해 얻은 한남시험림에서의 노루 출현확률에 대한 예측지도도 MaxEnt의 결과와 마찬가지로 0~1사이의 값으로 나타나며 0은 출현확률이 0%, 1은 출현확률이 100%임을 나타낸다. 출현확률의 범위는 0~0.97로 MaxEnt의 결과보다 더 높은 출현확률을 가진다. MaxEnt 결과에서는 좌표가 있는 위치에 편향되어 노루의 출현확률이 높게 나타났지만 출현좌표의 수정을 통한 지역적 편향을 상쇄시킨 로지스틱 회귀분석의 결과에서는 한남시험림의 중간지역에서 높은 확률이 나타남을 확인할 수 있었다(Fig. 43).

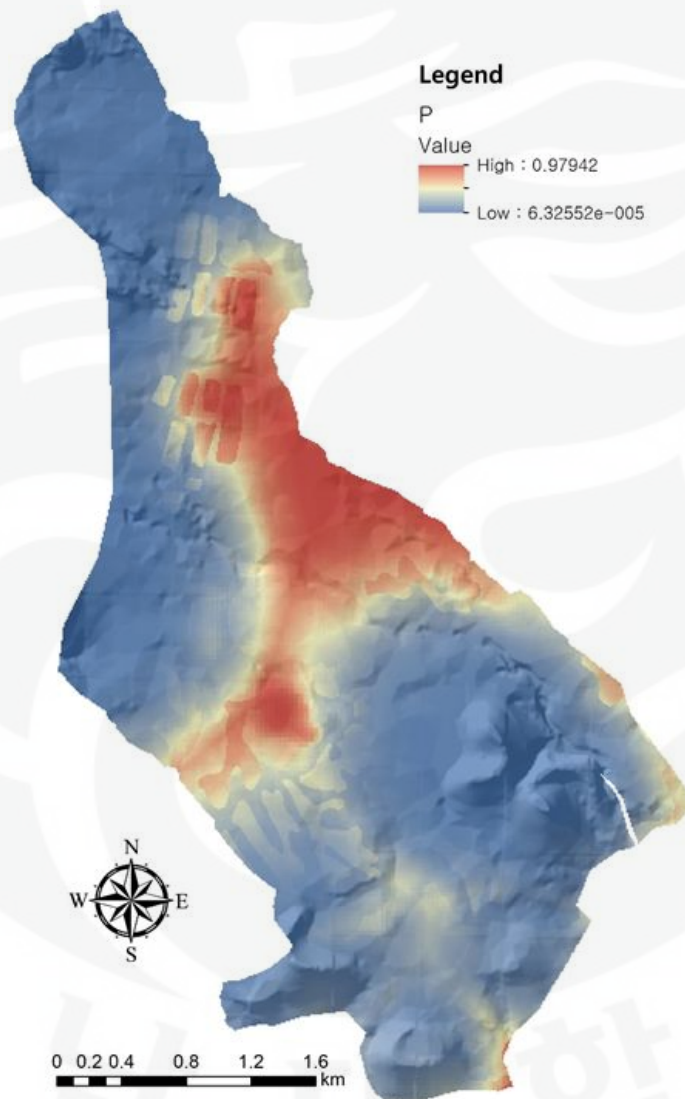


Fig. 43. Prediction map of roe deer in HEF

6. 행동권

2012~2013년 사이에 포획한 7마리 노루에 대한 위치자료에 따른 행동권을 살펴보면 주로 한남시험림의 남쪽에서 활동했음을 알 수 있다(Fig. 44).

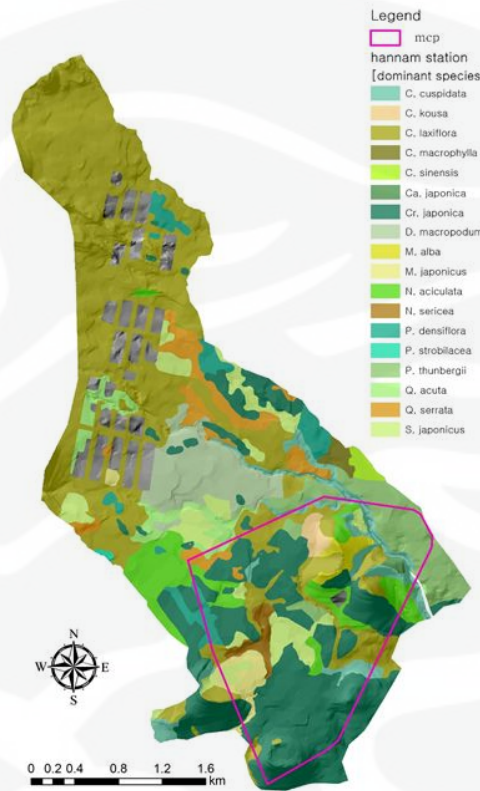


Fig. 44. Home range of total individuals

좌표가 100개 이상인 노루의 개체별 행동권을 살펴보면 3마리 모두 행동권에 대한 장축과 단축의 길이가 약 1km 정도로 행동반경이 그리 넓지 않음을 확인할 수 있다(Table 17, Fig. 45).

Table 17. Information of individuals

		major axis	minor axis	area (m ²)	sex
F01	4930_F	1,163	982	818,193	F
F02	5947_F	922	904	474,914	F
M	6023_M	1,268	890	848,068	M

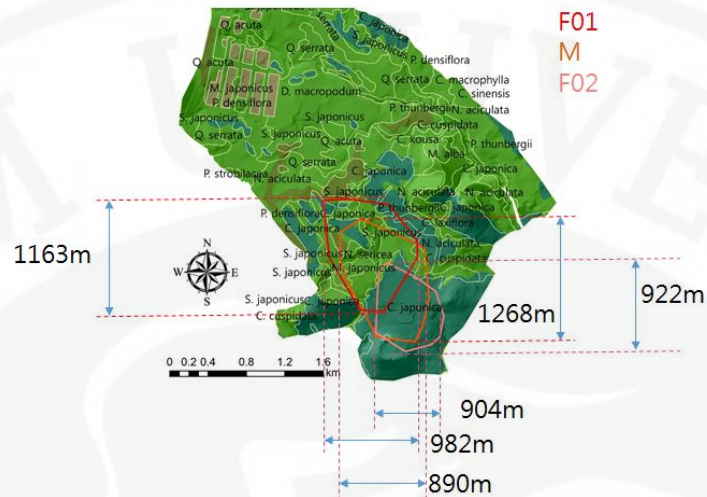


Fig. 45. Home range of each individual (3 roe deers)

행동권에 대해 출현확률을 10%단위로 구분하여 각 출현확률을 100%로 생각했을 때 우점종의 면적을 구했다(Fig. 46.). 삼나무(Japanese cedar), 때죽나무(Snowbell), 참식나무(Neolitsea sericea)는 출현확률이 높아질수록 차지하고 있는 면적이 증가함을 확인할 수 있었다. 서어나무(Red-leaved hornbeam), 해송(Big cone pine), 구실잣밤나무(Siebold's chinquapin), 새덕이(Irregular-steak newlitse), 예덕나무(East Asian mallouts)는 출현확률이 높아질수록 차지하고 있는 면적이 줄어드는 것을 확인할 수 있었다. 서어나무는 주로 극상림에 존재하는 수종으로 서어나무가 종의 출현확률이 높을수록 감소한다는 것은 노루가 극상림보다는 숲이 덜 우거진 곳을 좋아한다고 말할 수 있다. 또 삼나무는 주로 숲의 가장자리에 서식하는데, 노루의 출현확률이 높아질수록 삼나무가 차지하고 있는 면적이 넓어지는 것으로 보아 노루가 숲이 우거진 곳보다는 숲의 가장자리와 같은 곳을 더 선호한다는 것을 확인할 수 있다.

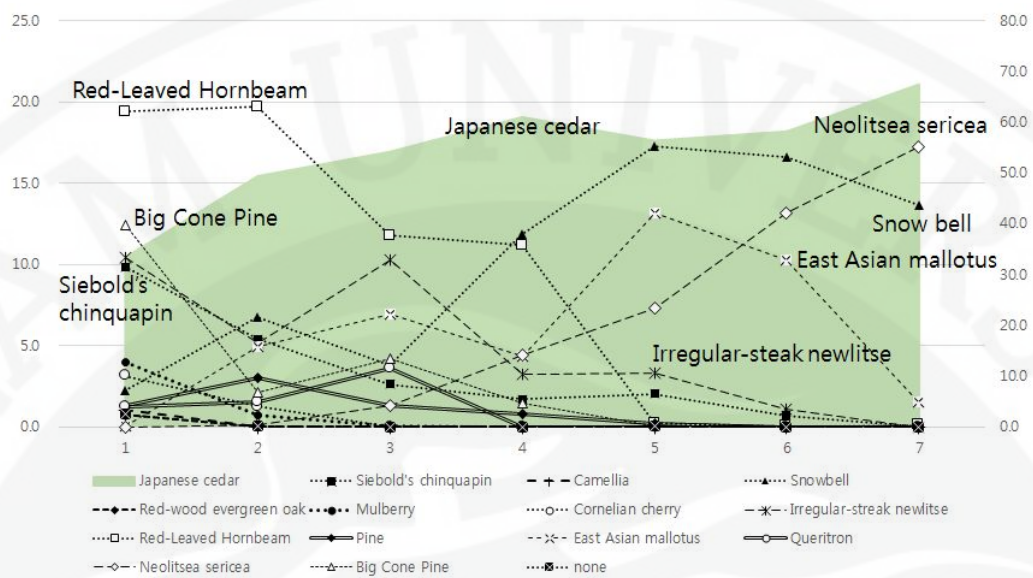


Fig. 46. Dominant vegetation within home range in HEF

V. 결 론

본 연구는 제주도 전체와 한남시험림을 대상으로 선정하여 제주노루가 선호하는 서식지를 노루의 출현확률을 통해 분석하였다.

1. MaxEnt를 활용했을 때 제주도 전체에 대해서 노루가 선호하는 서식지는 영급이 낮고, 소밀도가 낮은 개활지와 같은 곳으로서 중산간 지대(200m~700m)나 고지대(1,500m이상의 지역)라고 판단된다. 제주도 전역에서 노루의 분포에 영향을 미치는 환경변수는 고도, 오름으로부터의 거리, 숲 내부로의 거리, 4월의 온도, 숲 외부로의 거리, 향, 음영기복도, 4월의 정규식생지수, 영급이며, 고도가 가장 큰 영향력을 끼치는 변수로 나타났다. 이에 대해 0.5이상의 출현확률에 대해 고도를 살펴봤을 때, 고도의 범위에 따른 경향이 있음을 살펴보았다. 그 결과 노루의 출현확률이 낮은 범위의 고도에서는 소밀도와 영급이 높은 것으로 나왔고 출현확률이 높은 곳은 이와 반대였다. 이를 통해서 노루의 서식지는 고도의 직접적인 영향보다는 고도에 따른 식생에 영향을 받는다고 말할 수 있다.
2. 한남시험림에 대해서 MaxEnt 모형에 대한 결과에서 편향된 자료를 활용한 결과 예측에 있어 한계가 있음을 확인하였다. 한남시험림에서 노루의 분포에 영향을 미치는 환경변수는 숲 내부로의 거리, 수계로부터의 거리, 향, 경사도, 음영기복도, 영급이었으며, 그 중에서도 숲 내부로의 거리와 수계로부터의 거리가 큰 영향을 끼쳤다. 노루는 숲 안쪽으로 500m~1,200m의 거리를 선호하며, 수계로부터의 거리는 가까운 곳보다는 거리가 420m~780m정도 떨어진 곳을 선호하였다. 하지만 예측지도에서 노루의 실제 출현지점에 편향되어 출현확률이 높게 나타난 것을 확인할 수 있었다. 이에 출현정보에 대한 편향을 제거하여 로지스틱 회귀분석을 추가로 시행하였다.
3. 한남시험림에서 로지스틱 회귀분석에 대한 모형을 살펴보면 편향이 사라졌음을 확인할 수 있다. 출현정보에 대한 빈도를 구하여 단위구역당 출현빈도가 1이하인 지역(0으로 지정)과 2이상 출현한 지역(1로 표현)으로 변환한 뒤 로지스틱 회귀분석을 실시하였으며, 한남시험림에서는 환경변수 중에서 오름으로부터의 거리, 4월의 온도, 숲 내부로의 거리, 영급, 1월의 정규식생지수가 노루의 서식지 선호도에 영향을 미쳤음을 확인할 수 있었다. 예측지도를 살펴보면 MaxEnt 모형의 결과와 달리 결과에서 출현지점에만 편향되

지 않고 한남시험림의 중간지역에서 출현확률이 높음을 확인할 수 있다.

4. 한남시험림에서 노루의 개체별 행동권은 넓지 않고 숲의 가장자리를 선호한다. 한남시험림에서 100개 이상의 좌표를 가지는 3개체에 대한 행동권을 살펴보면 장축과 단축의 길이가 약 1km로 행동권의 범위가 넓지 않음을 확인할 수 있다. 또한 한남시험림 전체에 대한 행동권에서 출현확률 별 우점종의 면적을 살펴보면 출현확률이 증가할수록 가장자리에 서식하는 수종이 증가했으며, 극상림에 존재하는 수종이 줄어들어 노루는 숲의 가장자리를 선호한다고 판단할 수 있다.

VI. 참 고 문 헌

- Anderson, R. P., Lew, D., Peterson, A. T.. (2003) Evaluating predictive models of species' distributions: criteria for selecting optimal models. *Ecological Modelling*, 2162, 211-232.
- Beans, C. M., Kilkenny, F. F., Galloway, L. F.. (2012) Climate suitability and human influences combined explain the range expansion of an invasive horticultural plant. *Biol Invasions*, 14, 2067-2078.
- Fawcett T.. (2006) An introduction to ROC analysis. *Pattern Recognition Letters*, 27, 861-874.
- Gormley, A. M., Forsyth, D. M., Griffioen, P., Lindeman, M., Ramsey, D. S.L., Scroggie, M. P., Woodford L.. (2011) Using presence-only and presence-absence data to estimate the current and potential distributions of established invasive species. *Journal of Applied Ecology*, 48, 25-34.
- Guisan, A., Zimmermann, N. E.. (2000) Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modelling*, 135, 147-186.
- Hernandez, P. A., Graham, C. H., Master, L. L., Albert, D. L.. (2006) The effect of sample size and species characteristics on performance of different species distribution modeling methods. *Ecography*, 29, 773-785.

IBM, IBM SPSS REGression22

Mas, J., Filho, B. S., Pontius, R. G. Jr., Gutierrez, M. F., Rodrigues, H.. (2013) A Suite of Tools for ROC Analysis of Spatial Models. ISPRS International Journal of Geo-Information, 2, 869-887.

Pearson, R. G., Raxworthy, C. J., Nakamura, M., Peterson, A. T.. (2007) Predicting species distributions from small numbers of occurrence records: a test case using cryptic geckos in Madagascar. Journal of Biogeography, 34, 102-117.

Phillips, S. J. and Dudik, M.. (2008) Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. Ecography, 31, 161-175.

Phillips, S. J., Anderson, R. P., Schapire, R. E.. (2006) Maximum entropy modeling of species geographic distributions. Ecological Modelling, 190, 231-259.

Phillips, S. J., Dudik, M., Schapire, R. E.. (2004) A Maximum Entropy Approach to Species Distribution Modeling. International Conference on Machin Learning, 21, 665-662.

Quillfeldt, P., Masello, J. F., Navarro, J., Phillips, R. A.. (2013) Year-round distribution suggests spatial segregation of two small petrel species in the South Atlantic. Journal of Biogeography, 40, 430-441.

Songer, M., Delion, M., Biggs, A., Huang, Q.. (2012) Modeling Impacts of Climate Change on Giant Panda Habitat. *International Journal of Ecology*, 2012, 1-12.

Stockwell, D. R. B. and Peterson, A. T.. (2002) Effects of sample size on accuracy of species distribution models. *Ecological Modelling*, 148, 1-13.

Sun, J., Zhou, G., Sui, X.. (2012) Climatic suitability of the distribution of the winter wheat cultivation zone in China. *European Journal of Agronomy*, 43, 77-86.

Tufto, J., Andersen, R., Linnell, J.. (1996) Habitat use and ecological correlates of home range size in a small cervid: the roe deer. *Journal of Animal Ecology*, 65, 715-724.

Zaniewski, A. E., Lehmann, A. Overton, J. McC.. (2002) Predicting species spatial distributions using presence-only data: a case study of native New Zealand ferns. *ecological modelling*, 157, 261-280.

권혁수, 류지은, 서창완, 김지연, 임동욱, 서민환. (2012) 종분포모형을 이용한 히어리 서식지의 분포 특성 연구. *환경영향평가*, 21(5), 735-743.

김도훈과 홍영교. (2006) 제주도 한라산 노루에 관한 시스템적 접근. *한국 시스템다이내믹스 연구*, 7(2), 191-213.

- 김병수, 오장근, 오홍식. (2007) 한라산에 서식하는 노루(*Capreolus pygargus tianschanicus* Satunin)의 개체수 현황과 관리방안. 한국환경생태학회지, 21(4), 366-373.
- 김은미, 권진오, 강창완, 송국만, 민동원. (2013) GPS와 CDMA를 이용한 난대림 출산 전후 암노루행동권 및 서식환경 조사. 한국지리정보학회지, 16(2), 65-74.
- 김지연, 서창완, 권혁수, 류지은, 김명진. (2012) 전국자연환경조사 자료를 이용한 중분포모형 연구. 환경영향평가, 21(4), 593-607.
- 김철민, 박찬열, 정영교, 손석규, 김찬수, 김진. (2009) 난대림의 지속가능한 산림경영. 국립산림과학원.
- 박찬열, 이성기, 변광옥, 김철민, 정영교, 김은미, 정상배. (2008) 제주시시험림 야생동물 생태도감. 국립산림과학원.
- 박현, 정도현, 김일숙. (2011) 2010 시험림 연보-현장중심 산림과학기술개발을 견인하는 시험림 운영. 국립산림과학원.
- 박현철, 이정환, 이관규. (2014) 기후변화에 의한 눈잣나무의 서식지 분포 예측. 환경영향평가, 23(5), 379-392.
- 서창완과 박종화. (2000) GIS와 로지스틱 회귀분석을 이용한 멧돼지 서식지 모형 개발. 한국GIS학회지, 8(1), 85-99.
- 송원경과 김은영. (2012) 고라니 서식지 분석을 위한 기계학습식 중분포모형 비교. 대한원격탐사학회지, 28(1), 171-180.

오장근. (2004) 제주도 노루(*Capreolus pygargus tianschanicus*)의 생태학적 행동 특징. 한국교원대학교 대학원 박사학위논문.

오장근. (2010) 노루의 분포특징과 보호관리방안. 제주특별자치도 환경자원연구원, 제주노루의 가치와 효율적인 관리방안 심포지엄 자료집, 1-40.

오장근. (2015) 제주도 전역 노루 개체수 조사. 제주특별자치도 세계유산·한라산연구원 조사연구보고서, 14, 267-274.

원현규 등. (2014) 제주시험림 지속가능한 산림경영 10년, 그리고 지표 모니터링. 국립산림과학원 난대·아열대산림연구소.

장민철, 전철민, 최윤수. (2013) DEM을 이용한 음영기복도 제작에 관한 연구. 한국지형공간정보학회, 2003년도 창립 10주년 기념 국제학술대회 논문집, 101-106.

제주도. (2014) 제주도 통계연보.

조해진, 김달호, 신만석, 강태한, 이명우. (2015) 종분포모형으로 이용한 참매의 서식지 예측-충청북도를 대상으로-. 한국환경생태학회지, 29(3), 333-343.

최태영과 최현명. (2007) 야생동물 흔적도감-흔적으로 찾아가는 야생동물 생태기행. 돌베개.

VI. 부 록

Appendix 1. Coefficient of correlation in Jeju island

	Temp (4)	NDVI (4)	aspect	d_agri	d_ore um	d_roa d	d_stre am	elevat ion	hillsh ade	Temp (1)	NDVI (1)	slope	d_for est (out)	d_for est (in)	yung
Temp (4)	1	-0.161	-0.094	-0.396	0.189	-0.258	0.142	-0.427	0.199	0.546	0.187	-0.315	0.409	0.394	-0.511
NDVI (4)	-0.161	1	-0.030	-0.262	0.160	-0.216	0.047	-0.307	-0.011	0.289	0.462	-0.134	-0.065	-0.035	0.035
aspect	-0.094	-0.030	1	-0.012	-0.156	-0.072	0.076	0.082	-0.028	-0.115	-0.131	0.177	0.001	0.045	-0.081
d_agri	-0.396	-0.262	-0.012	1	-0.329	0.894	-0.204	0.921	0.154	-0.845	-0.663	0.349	-0.119	-0.071	0.010
d_oreum	0.186	0.160	-0.156	-0.329	1	-0.297	0.011	-0.394	-0.135	0.317	0.263	-0.255	0.068	0.084	0.137
d_road	-0.258	-0.216	-0.072	0.894	-0.297	1	-0.145	0.816	0.244	-0.723	-0.573	0.287	-0.082	-0.086	-0.072
d_stream	0.142	0.047	0.076	-0.204	0.011	-0.145	1	-0.242	0.050	0.250	0.152	-0.106	0.222	-0.043	-0.090
elevation	-0.427	-0.307	0.082	0.921	-0.394	0.816	-0.242	1	0.131	-0.932	-0.729	0.380	-0.184	-0.022	0.025
hillshade	0.199	-0.011	-0.028	0.154	-0.135	0.244	0.050	0.131	1	0.045	0.089	-0.153	0.097	-0.016	-0.178
Temp (1)	0.546	-0.289	-0.115	-0.845	0.317	-0.723	0.250	-0.932	0.045	1	0.737	-0.377	0.258	0.024	-0.152
NDVI (1)	0.187	0.462	-0.131	-0.663	0.263	-0.573	0.152	-0.729	0.089	0.737	1	-0.220	0.025	-0.107	0.098
slope	-0.315	-0.134	0.177	0.349	-0.255	0.287	-0.106	0.380	-0.153	-0.377	-0.220	1	-0.159	-0.011	0.165
d_forest (out)	0.409	-0.065	0.001	-0.119	0.068	-0.082	0.222	-0.184	0.097	0.258	0.250	-0.159	1	0.156	-0.409
d_forest (in)	0.394	-0.035	0.045	-0.071	0.084	-0.086	-0.043	-0.022	-0.016	0.042	-0.107	-0.011	0.156	1	-0.428
yung	-0.511	0.035	-0.081	0.010	0.137	-0.072	-0.090	0.025	-0.178	-0.152	0.098	0.165	-0.409	-0.428	1

Appendix 2. Coefficient of correlation in hannam experimental forest

	d_forest (in)	yung	slope	NDVI (1)	Temp (1)	hillshade	Temp (4)	NDVI (4)	aspect	d_agri	d_oreum	d_road	d_stream	elevation
d_forest (in)	1	-0.414	-0.066	0.012	-0.145	0.312	-0.214	-0.404	0.411	-0.910	-0.821	-0.903	-0.321	-0.810
yung	-0.414	1	0.124	0.004	0.406	-0.094	0.484	0.340	-0.147	0.398	0.435	0.378	0.184	0.184
slope	-0.066	0.124	1	0.538	0.285	0.309	0.157	0.467	0.322	0.175	0.032	0.110	-0.063	0.122
NDVI (1)	0.012	0.004	0.538	1	0.186	0.347	0.029	0.588	0.199	0.104	-0.065	0.036	-0.040	0.137
Temp (1)	-0.145	0.406	0.285	0.186	1	0.021	0.924	0.637	-0.112	0.269	0.075	0.264	-0.085	0.008
hillshade	0.312	-0.094	0.309	0.347	0.021	1	-0.090	-0.007	0.570	-0.192	-0.346	-0.243	0.002	-0.132
Temp (4)	-0.214	0.484	0.157	0.029	0.924	-0.090	1	0.599	-0.228	0.321	0.141	0.298	0.004	0.057
NDVI (4)	-0.404	0.340	0.467	0.588	0.637	-0.007	0.599	1	-0.156	0.522	0.317	0.487	0.038	0.387
aspect	0.411	-0.147	0.322	0.199	-0.112	0.570	-0.228	-0.156	1	-0.369	-0.377	-0.413	-0.136	-0.335
d_agri	-0.910	0.398	0.175	0.104	0.269	-0.192	0.321	0.522	-0.369	1	0.679	0.882	0.520	0.907
d_oreum	-0.821	0.435	0.032	-0.065	0.075	-0.346	0.141	0.317	-0.377	0.679	1	0.703	0.261	0.584
d_road	-0.903	0.378	0.110	0.036	0.264	-0.243	0.298	0.487	-0.413	0.882	0.703	1	0.283	0.790
d_stream	-0.321	0.184	-0.063	-0.040	-0.085	0.002	0.004	0.038	-0.136	0.520	0.261	0.283	1	0.636
elevation	-0.810	0.184	0.122	0.137	0.008	-0.132	0.057	0.387	-0.335	0.907	0.584	0.790	0.636	1

M.S. Thesis

Modeling the spatial distribution of Roe Deer
(*Capreolus pygargus*) in Jeju Island

Kim, Areum

Department of Life Science

Graduate School

Yeungnam University

(Supervised by Professor Jang, Gab-Sue)

Nowadays roe deers are commonly discovered at everywhere and everytime in Jeju island, South Korea. However, they had been endangered until 1980s because of severe poaching. They lost their main habitats ranging from 200m to 600m because of a large scale of exploitation across the mountainous area. Through this process, several land uses like agricultural area have been damaged and transformed into some other things such as a golf course. From that time, a campaign of conserving the roe deer population had been implemented so that the roe deer was recovered and its number was gradually increased. In 1990s, the number of roe deers rapidly increased and the large number

of the population gave an inverse influence on the farm land management by a farmer. Finally, the Jeju Special Self-Governing Province gave the farmer a grant to hunt roe deers for regulating their number.

By the way, 2,960 roe deers were captured during 2013 and 2014 years, therefore, the citizen organization emphasized the extinction of the species due to the rapid decrease of the number. In this study, modeling the spatial distribution of roe deer was done in Jeju island using the MaxEnt model, and ideas on managing the roe deer population were proposed.

490 points of the presence data were used in the modelling: the national survey data for natural resources and GPS data from Jang-Geun Oh and Korea University were used in the Maxent model. The GPS data obtained from 7 individuals were used in Hannam Experimental Forest (HEF). And totally 15 variables were used for the MaxEnt as environmental variables so that the model showed the higher accuracy.

The prediction map showed that there was the higher probability in the middle mountainous area (200m~700m) and the top of the Halla Mountain (higher than 1,500m). In HEF, due to the bias in the presence data for roe deer, the prediction was also skewed into some isolated area. For getting more accurate map, the logistic regression with the highly density of occurrence (1 in the model) and the lower density of occurrence (0 in the model) was employed and the more accurate prediction was obtained. It might be useful to understand the home range and habitat of roe deers, which could be a good reference for managing their habitats in the future.