

Study Note

고라니(*Hydropotes inermis*)의 로드킬(Roadkill) 방지 울타리 적정 높이 평가

박희복 · 우동걸 · 송의근* · 임정은** · 이배근 · 장지덕*** · 박태진**** · 최태영*
국립생태원 생태보전연구실*, 국립생태원 융합연구실**, 국립생태원 동물관리연구실***,
경상대학교 산림환경자원학과****

Assessment of Fence Height to Prevent Roadkill of Water Deer (*Hydropotes inermis*)

Heebok Park · Donggul Woo · Eui-Geun Song* · Anya Lim** ·
Bae-Keun Lee · Ji-Deok Jang*** · Tae-Jin Park**** · Tae-Young Choi*

Division of Ecological Conservation, National Institute of Ecology*
Division of Ecosystem Services & Research Planning, National Institute of Ecology**
Department of Animal Management, National Institute of Ecology***
Department of Forest Environmental Resources, Gyeongsang National University****

요약 : 이 연구는 국내 로드킬(Roadkill) 피해 발생건수가 가장 높은 야생동물인 고라니(*Hydropotes inermis*)를 대상으로 로드킬 예방에 필요한 저감시설인 유도울타리의 적정 높이 기준을 마련하기 위해 이루어졌다. 이를 위해 국외 사슴류 흰꼬리사슴(*Odocoileus virginianus*)의 울타리 월장 측정 연구사례와 비화학적 포획 방법을 검토하여 국립생태원 사슴생태원에서 관리하는 고라니 27마리를 대상으로 울타리 월장 실패율 측정 방법에 적용하였다. 펜스(test fence) 높이 0.5m에서부터 단계별 10cm씩 높여가며 넘을 수 없는 높이를 검증하였다. 그 결과 1.5m로 설치할 경우 고라니의 침입을 96.7% 차단 가능하고, 1.8m

First Author: Heebok Park, Division of Ecological Conservation, National Institute of Ecology, Seochon 33657, Republic of Korea, Tel:+82-41-950-5428, E-mail: lynx80@naver.com

Corresponding Author: Tae-Young Choi, Division of Ecological Conservation, National Institute of Ecology, Seochon 33657, Republic of Korea, Tel:+82-41-950-5420, E-mail: wildlife@nie.re.kr

Co-Authors: Donggul Woo, Division of Ecological Conservation, National Institute of Ecology, Seochon 33657, Republic of Korea, Tel:+82-41-950-5801, E-mail: martes@nie.re.kr

Eui-Geun Song, Division of Ecological Conservation, National Institute of Ecology, Seochon 33657, Republic of Korea, Tel:+82-41-950-5426, E-mail: euigun4001@nie.re.kr

Anya Lim, Division of Ecosystem Services & Research Planning, National Institute of Ecology, Seochon 33657, Republic of Korea, Tel:+82-41-950-5854, E-mail: PPardus@nie.re.kr

Bae-Keun Lee, Department of Animal Management, National Institute of Ecology, Seochon 33657, Republic of Korea, Tel:+82-41-950-5810, E-mail: animal@nie.re.kr

Ji-Deok Jang, Department of Animal Management, National Institute of Ecology, Seochon 33657, Republic of Korea, Tel:+82-41-950-5802, E-mail: jdjang@nie.re.kr

Tae-Jin Park, Department of Forest Environmental Resources, Gyeongsang National University, Jinju 52828, Republic of Korea, Tel:+82-51-851-6905, E-mail: fishkiller76@nate.com

Received: 19 March, 2018. Revised: 28 March, 2018. Accepted: 30 March, 2018.

높이에서는 100% 차단하는 것으로 확인되었다. 이 연구결과를 토대로 향후 환경부 「생태통로 설치 및 관리지침」개정 시 유도울타리 적정 높이 기준 설정에 의미 있는 자료로 활용될 것으로 기대된다.

주요어 : 월장, 차량충돌, 흰꼬리사슴, 보마 포획 시스템, 유도울타리

Abstract : Our study aims to provide a guideline of deer-proof fence heights to prevent roadkill of water deer (*Hydropotes inermis*), the most frequently killed by a vehicle collision, in South Korea. With 27 water deer in deer ecology center of the National Institute of Ecology, we measured the ability of water deer to jump gradually higher fences from 0.5cm by 10cm until the deterrence rate reached 100%. Our result revealed that the deterrence rate became 96.7% at the fence height of 1.5m and the rate reached 100% at the 1.8m. We believe that our result provides the fundamental information to prepare a standard of deer-proof fence height. This evidence-based standard will contribute to improving the guideline for wildlife crossing construction and management, established by Ministry of Environment Korea.

Keywords : Jumping, Deer-vehicle collision, White-tailed deer, Boma capture system, Deer-proof fence

I. 서론

전 세계적으로 인간과 야생동물의 차량충돌(Wildlife-Vehicle Collisions, WVCs)은 지속해서 증가하고 있다. 미연방고속도로관리국(Federal Highway Administration, FHWA)에 의하면 미국에서 매년 재산 피해를 발생시키는 흰꼬리사슴(*Odocoileus virginianus*) 등의 대형 동물과의 차량충돌이 보고된 횟수는 연간 30만 건에 이르며 꾸준히 증가하는 추세이다(Huijser et al. 2008). 국내에서도 로드킬(Roadkill)이 사회적 문제를 야기하고 있으며, 소형 사슴과인 고라니(*Hydropotes inermis*)의 로드킬은 연간 최소 6만 건 이상 발생하는 것으로 추정된다(Choi 2016a; Choi 2016b; Kim et al. 2016). 이러한 문제를 해결하기 위해 북미에서는 종합 저감대책을 마련하여 시행하고 있다. 저감대책으로는 교육, 캠페인 표지판 설치등과 같은 운전자 인식증진 활동, 수렵, 중성화, 이주 등을 통한 야생동물 개체수 조절, 반사경 및 음성신호를 이용한 야생동물 퇴치 시설 설치 등의 저감방법과 도로로부터 물리적으로 야생동물을 분리하는 가장 보편적인 방법인 유도울타리 설치 등이 있다. 미국에서 유도울타리 설치 시 2차선 도로 및 고속도로 등에서 야생동물과 차량충돌이 87~97% 감소한 것으로 보고되었다(Huijser et al. 2008). 또

한 초식동물 2.4~3.0m, 육식동물 1.8~3.0m, 양서류 및 파충류 0.4~1.1m 등의 다양한 목표종의 생태적 특성이 고려된 유도울타리 종류 및 권장규격 등의 정보가 담긴 제작 지침에 만들어져서 활용되고 있다(Huijser et al. 2015).

국내에서도 로드킬 방지를 위해 환경부에서 발간한 「생태통로 설치 및 관리지침」이 마련되어 저감대책에 활용되고 있다(Ministry of Environment 2010). 「생태통로 설치 및 관리지침」의 유도울타리의 설치 높이 기준이 성토비탈면 1.2m, 평지 1.5m, 절토비탈면 1.5m로 기술되어 있으나, 야생동물의 월장 능력을 고려한 과학적 실험에 따른 측정 자료에 근거하지 않았다. 따라서 본 연구에서는 로드킬 피해를 대표하는 야생동물인 고라니를 대상으로 울타리 높이에 따른 월장 억제율을 파악하고자 하였다.

II. 연구지역 및 연구방법

1. 연구지역

이 연구는 충청남도 서천군 마서면(36°1'59.89"N, 126°43'5.23"E)에 위치한 국립생태원(National Institute of Ecology, NIE)의 사슴생태원에서 이루어졌다(Figure 1). 사슴생태원은 국내 대표적인 초식

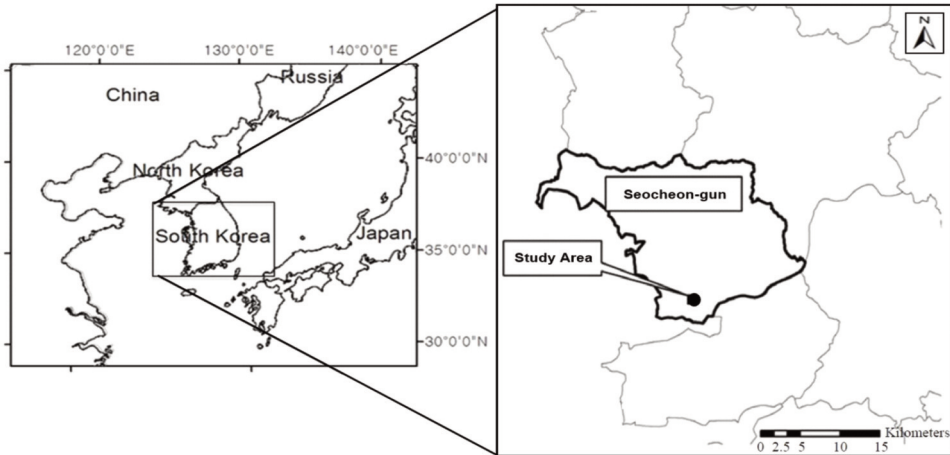


Figure 1. Study Area in National Institute of Ecology.

동물 3종(고라니, 노루, 산양)의 서식지를 60,000m² 면적에 재현한 전시공간으로써 반야생 상태에서 초식동물의 관찰이 가능하도록 구성되어있다. 사슴생태원 내부 주요 식생은 상수리나무, 느티나무, 팽나무 등 9종의 목본식물이 있다(NIE <http://www.nie.re.kr/>).

2. 연구재료

국립생태원 사슴생태원 내부에 5일 동안 측정시설 조성기간(2017년 3월 31일~4월 4일까지)을 설정하였고, 조성기간 동안 1,220.43m² 면적에 측정시설을 조성하였다(Figure 2). 측정시설은 넓은 지역에서 비

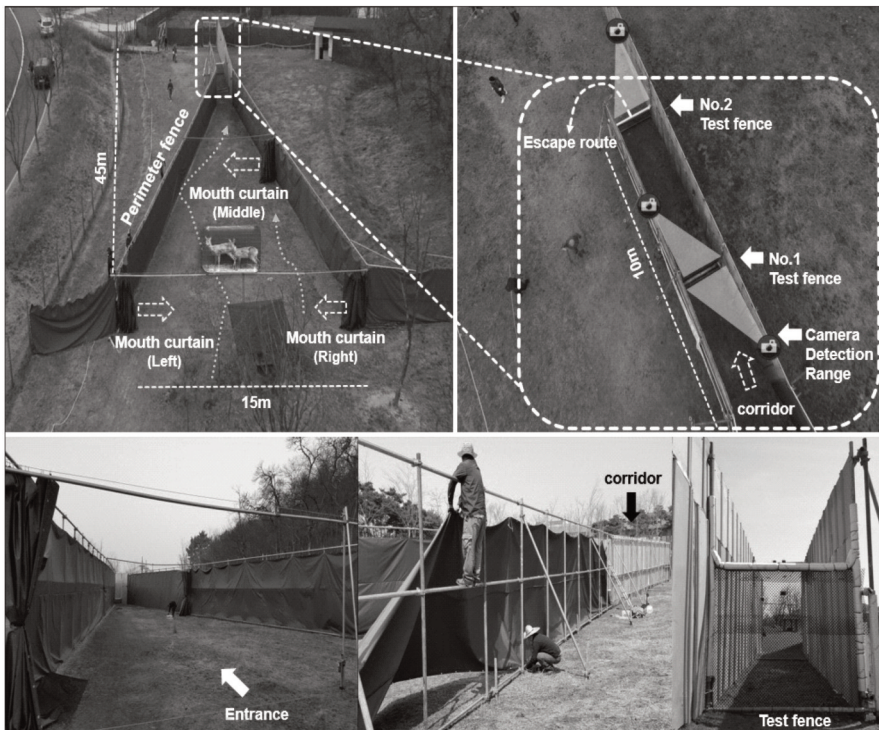


Figure 2. Design of the capture system and test fences used in the study.

화학적 방법(Non-Chemical Techniques)으로 대량의 초식동물을 일괄 포획하는 깔때기 모양의 보마 포획 시스템(Boma Captrure System, BCS)과 미국 흰꼬리사슴의 울타리 월장 높이를 측정할 실험방식을 참고하여 측정시설을 설치하였다(Vercauteren et al, 2010, Stull et al, 2011, Laubscher et al, 2015).

BCS 제작은 야외에서 가설이 용이한 비계파이프(steel pipe scaffold)로 외벽 지지대(높이 3m)를 세우고, 코팅와이어(두께 6mm)로 외벽 지지대 및 입구 상단 및 하단에 고정 시킨 후, 옥스퍼드천(Oxford fabric) 폭 2.5m×길이 150m로 외벽 및 입구에 커넥식으로 부착하여 BCS 내부에 들어오는 고라니의 퇴로를 차단하여 펜스(test fence)가 있는 통로(Corridor) 쪽으로 유도할 수 있도록 하였다. 통로는 조립 설치가 용이한 전기아연도금강판 펜스(Electrolytic Galvanized Iron, EGI)를 폭 2m×길이 10m×높이 3m 규모로 BCS 출구 부분에 연결하였다. 통로 내부 4m(1번 펜스, No.1 test fence) 지점과 10m(2번 펜스, No.2 test fence) 지점에 높이 조절과 충돌 시 동물의 부상을 방지하도록 폴리에틸렌(polyethylene) 능형망(20×20mm, 폭 1m)과 모서리 충격방지 패드를 펜스에 부착하였고, 통로 내부에 들어온 고라니 행동정보 수집을 위해 통로 외벽에 영상장비(XR6 Reconyx, Inc, HDR-PJ820 Sony, Inc)를 부착하여 펜스를 넘거나 회피하는 고라니의 행동정보를 촬영하였다(Figure 2).

3. 연구방법

측정방법은 높이 단계별 1회 월장 성공을 기본으로 하며, 단계별 10cm씩 높여가며 진행하였다. 비교적

낮은 높이인 0.5-1.0m에서는 측정횟수를 줄여 고라니의 스트레스를 최소화할 목적으로 1번 펜스와 2번 펜스를 동시 월장하도록 유도하고, 2번 펜스 높이를 1번 펜스 높이보다 10cm 높게 설정하여 1회 측정 시 2개의 높이 단계를 측정할 수 있게 하였다. 1.1m 높이에서부터는 1개의 펜스만 사용하였고, 고라니가 월장하지 못하는 높이에 도달했을 시 추가적으로 6회 이상 월장 시도를 할 수 있게 유도하여 최종적으로 넘을 수 없는 높이를 검증하였다. 촬영장비에 녹화된 고라니의 월장 행동패턴을 분석하기 위해 중명-차수-순번을 조합하여 개체식별 ID(Individual identification)를 부여하였고, 행동분류 코드를 월장 성공 및 실패 유형을 기준으로 구분하여 행동 데이터를 목록화하였다(Table 1). 사슴생태원 내부에서 관리하는 고라니 성체 27마리를 대상으로 측정시설에 익숙해지기 위해 5일의 적응기간(2017년 4월 5일~4월 9일)을 설정하였고, 적응기간 동안 펜스 높이를 0.5m로 고정된 상태에서 측정시설 입구 및 탈출구를 개방하여 24시간 자유롭게 드나들 수 있게 하였다(Figure 3). 측정방법에 따라 고라니를 측정시설로 유도하여 펜스 높이 0.5m부터 10cm씩 높여가며 12일의 측정기간(2017년 4월 10일~4월 21일) 동안 월장 행동 총 132회를 기록하였다.

Table 1. Classification of water deer jumping behaviors

| Behavior Classification | |
|-------------------------|--------------------------------------|
| Success (S) | Vertical Jump (VJ) |
| | Running Jump (RJ) |
| Failure (F) | Jumped but failed to cross the fence |



Figure 3. Water deer jumping the 0.5m test fence during the pre-test period.

III. 결과 및 고찰

측정시설에서 펜스를 뛰어넘는 고라니의 행동을 기록한 결과는 Table 2에 제시하였다. 측정시설 내부에 들어온 고라니 24개체 중 암컷은 9개체, 수컷은 15개체였다. 암컷은 펜스 월장을 5회, 수컷은 펜스 월장 7회 성공을 하였다. 암컷은 펜스 높이 1.6m, 수컷은 펜스 높이 1.8m 이상이면 넘지 못하였다. 펜스 높이가 높아질수록 월장 시도횟수도 증가하였고, 월장 성공 시 유형 및 빈도는 수직뛰기(Vertical Jump, VJ) 5회, 도움닫기뛰기(Running Jump, Rj) 7회 성

공하였다. 1.2m 이하의 펜스 높이에서는 뛰어넘는 유형과 상관없이 월장에 성공하였으나, 1.3m 이상의 펜스에서는 질주하여 도약하지 않으면 펜스 월장을 성공하지 못하는 것으로 확인되었다(Table 2).

고라니의 펜스 월장을 측정하는 과정에서 월장시도를 하지 않는 약소개체(Indiv No. W-1-4)가 들어온 0.9m 높이의 펜스를 제외하고, 0.5m에서부터 1.1m 높이의 펜스에서는 모든 개체가 1회 시도만에 월장을 성공하여 기본적으로 1.1m 이하의 펜스 높이는 고라니의 월장 저지가 불가능한 것으로 나타났다. 도약력이 약한 약소 개체들은 1.2m 높이에서 90.9%

Table 2. Results of water deer jumping the test fences of increasing height

| No. | Individual Classification | | Fence height (m) | No. jumped | Crossing (jump type) |
|-----|---------------------------|--------|------------------|------------|----------------------|
| | Indiv. No. | Sex | | | |
| 1 | W-1-1 | Male | 0.5 | 1 | S-VJ |
| | W-1-1 | Male | 0.6 | 1 | S-RJ |
| 2 | W-1-3 | Female | 0.7 | 1 | S-VJ |
| | W-1-3 | Female | 0.8 | 1 | S-VJ |
| 3 | W-1-4 | Male | 0.9 ^a | - | - |
| 4 | W-1-5 | Female | 1.0 | 1 | S-RJ |
| 5 | W-2-2 | Female | 1.1 | 1 | S-VJ |
| 6 | W-2-2 | Female | 1.2 | 5 | F |
| 7 | W-3-1 | Male | | 3 | F |
| 8 | W-3-3 | Male | | 3 | S-VJ |
| 9 | W-3-6 | Female | 1.3 | 1 | F |
| 10 | W-3-7 | Male | | 1 | S-RJ |
| 11 | W-4-2 | Female | 1.4 | 4 | F |
| 12 | W-4-3 | Male | | 2 | S-RJ |
| 13 | W-5-1 | Male | 1.5 | 1 | F |
| 14 | W-5-2 | Male | | 27 | F |
| 15 | W-5-3 | Female | | 2 | S-RJ |
| 16 | W-6-1 | Female | 1.6 | 10 | F |
| 17 | W-6-2 | Male | | 9 | F |
| 18 | W-7-1 | Male | | 4 | S-RJ |
| 19 | W-8-1 | Male | 1.7 | 1 | F |
| 20 | W-8-2 | Male | | 21 | F |
| 21 | W-8-3 | Male | | 3 | F |
| 22 | W-8-4 | Female | | 10 | F |
| 23 | W-8-5 | Male | | 1 | F |
| 24 | W-8-6 | Male | | 3 | S-RJ |
| 25 | W-8-6 | Male | 1.8 ^b | 15 | F |

0.9m^a : a weak individual

1.8m^b : the same individual which successfully jumped 1.7m fence

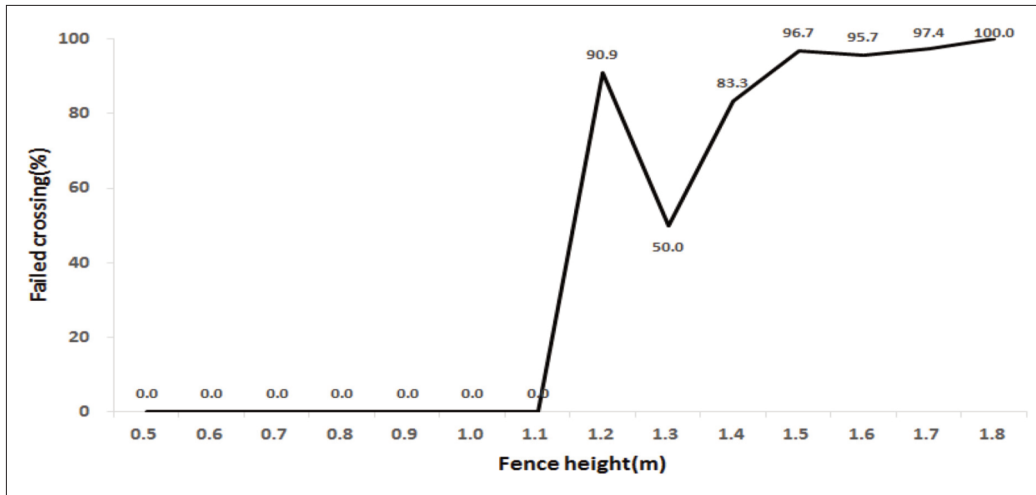


Figure 4. Deterrence rates of water deer jumping the test fences.

의 월장 실패율을 보였다. 정상 개체들은 1.5m 높이에서 96.7%로 나타났고, 1.6m 높이는 95.7%, 1.7m 높이는 97.4%로 각각 확인되었다. 1.7m 높이를 3회 시도만에 월장하였던 W-8-6 개체를 대상으로 1.8m 높이도 월장하도록 유도하여 반복적으로 검증하였고, 최종적으로 1.8m 높이에서 고라니의 월장 실패율이 100%로 나타났다(Figure 4, 5). 또한, 측정시설 밖에서 특정 개체가 2.3m 높이까지 도약하는 사례가 한 차례 확인되었으나, 실험 외 상황이어서 본 연구의 측정결과에 반영하지 않았다. 이는 극단적인 상황이 아닌, 도로 내에 동물이 진입하는 일반적인 상황을 고려할 때 1.5m 이상의 높이로 울타리를 설치하도록 기준을 제시하는 것이 타당할 것으로 판단된다.

IV. 결론

야생동물 로드킬이 사회적 문제로 야기되고, 증가하는 로드킬에 대응하여 2010년 환경부가 제시한 생태통로 설치 및 관리지침의 울타리 높이 기준이 과학적 측정자료에 근거하지 않아 개선의 필요성이 꾸준히 제기되어왔다. 이에 본 연구는 이러한 필요성 및 목적으로 고라니 로드킬 방지를 위한 실증적 측정을 바탕으로 울타리 적정 높이에 대한 수치를 제시하여 생태통로 설치 및 관리지침 개정에 필요한 근

거를 마련하였다. 앞에서 제시한 바와 같이 1.1m 이하의 높이는 고라니의 월장을 억제하지 못하고, 1.2m에서부터 1.4m까지는 실패율의 변동 폭이 컸다. 실패율이 90% 이상 안정적으로 유지된 높이는 1.5m에서부터 1.7m로 나타났고, 100% 실패율은 1.8m 높이 조건에서 확인되었다. 따라서 도로로부터 물리적으로 고라니를 분리할 수 있는 가장 보편적인 저감시설로써 울타리를 활용하여 로드킬 예방효과를 극대화하기 위해서는 1.5m 높이 이상으로 올려야 하는 것으로 판단된다. 또한, 이번 연구결과는 로드킬 예방뿐만 아니라, 농경지에 들어와 피해를 주는 야생동물의 침입을 막기 위한 울타리의 적정 높이 기준 제시에도 적합한 참고 사례가 될 것으로 기대된다. 향후 야생동물 로드킬 방지를 위해 추가적인 후속 연구를 통해 유도울타리의 내구성, 시공성, 경제성 등을 종합적으로 고려한 기준 제시가 필요하다.

사 사

본 연구는 국립생태원 생태연구본부 생태보전연구실 “광역생태축의 보전 및 복원을 위한 기반연구” (과제번호: NIE기반연구-2017-07) 과제 일환으로 수행되었습니다.

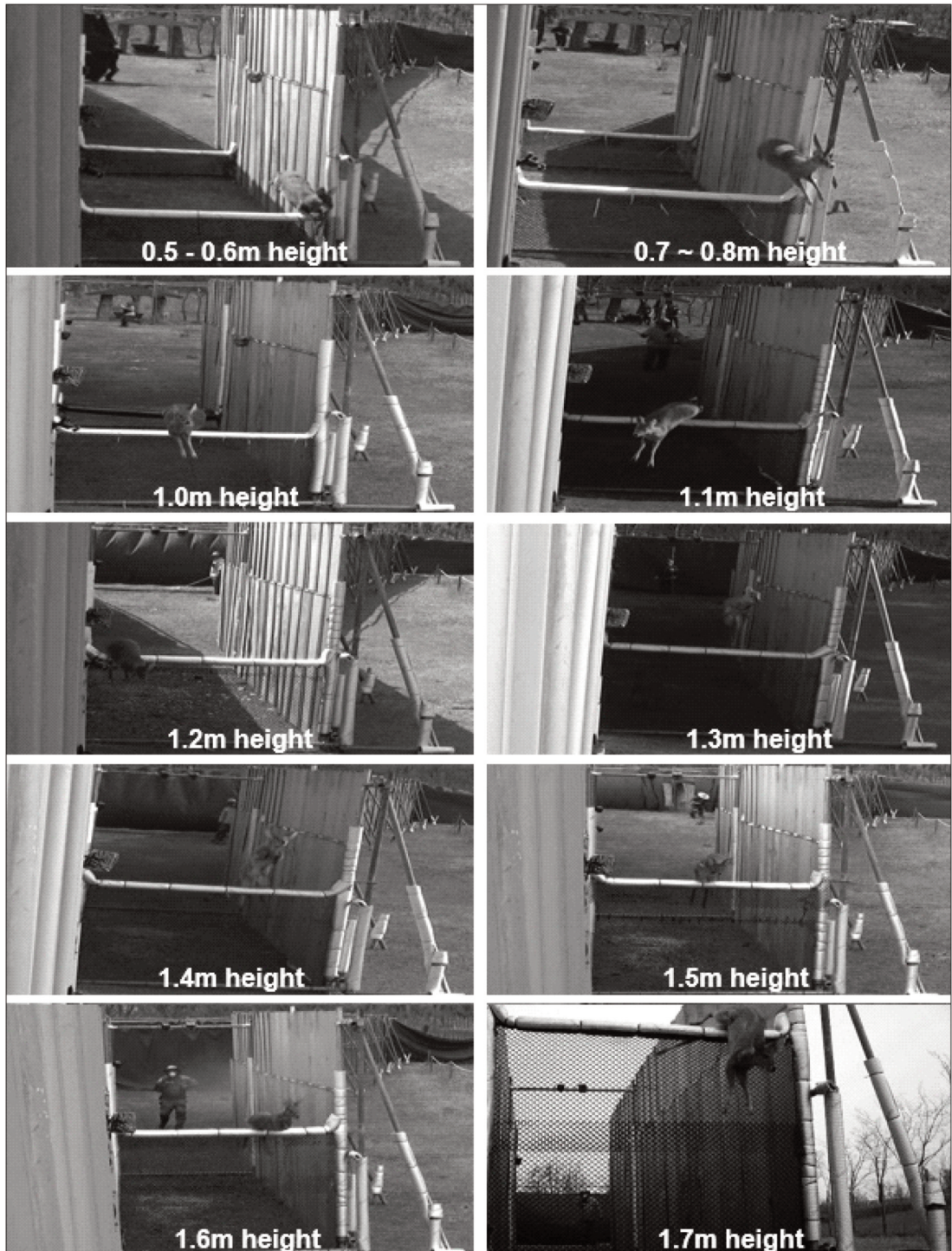


Figure 5. Water deer jumping progressively taller fences starting from 0.5m to 1.7m.

References

- Choi TY. 2016a. Estimation of the Water deer (*Hydropotes inermis*) Roadkill Frequency in South Korea. *Ecology and Resilient Infrastructure*. 3(3): 162-168. [Korean Literature]
- Choi TY. 2016b. Wildlife on the Roads. NIE (National Institute of Ecology) PRESS. p 232. [Korean Literature]
- Huijser MP, MGown P, Fuller J, Hardy A, Kociolek A, Clevenger AP, Smith D, Ament R. 2008. Wildlife-Vehicle Collision Reduction Study: Report To Congress. U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration(FHA). (<https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/safety/08034/08034.pdf>).
- Huijser MP, Kociolek AV, Allen TDH, MGown P. 2015. Construction Guidelines for Wildlife Fencing and Associated Escape and Lateral Access Control Measures. American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO).
- Kim BJ, Lee BG, Kim YJ. 2016. Korean Water Deer. NIE(National Institute of Ecology) PRESS. p 144. [Korean Literature]
- Laubscher LL, Pitts EN, Raath PJ and Hoffman CL. 2015. Non-chemical techniques used for the capture and relocation of wildlife in South Africa. *African Journal of Wildlife Research* 45(3): 275-286
- Ministry of Environment. 2010. Guidelines for Design and Management of Wildlife Crossing Structures in Korea. [Korean Literature]
- National Institute of Ecology(NIE): <http://www.nie.re.kr/>
- Paige C. 2015. A Wyoming Landowner's Handbook to Fences and Wildlife: Practical Tips for Fencing with Wildlife in Mind. Wyoming Community Foundation, Laramie, WY. 56 pp.
- Payne NF. 1994. Techniques for wildlife habitat management of uplands. McGraw-Hill, New York, New York, USA.
- Stull WD, Gulsby DW, Martin AJ, D'angelo JG, Gallagher RG, Osborn, AD, Warren JR, Miller VK. 2011. Comparison of fencing designs for excluding deer from roadways. *Human-Wildlife Interactions* 5(1): 47-57.
- Vercauteren CK, Vandeelen RT, Lavelle JM, Hall W. 2010. Assessment of Abilities of White-Tailed Deer to Jump Fences. *Journal of Wildlife Management* 74(6): 1378-1381.