

동물원 동물에서 백신접종 후 구제역바이러스(O형) 구조단백질 항체가 분석

이현호¹ · 어경연^{2*}

서울특별시보건환경연구원¹, 세명대학교 보건바이오대학²

Analysis on antibody titer of structural protein after vaccination against foot-and-mouth disease virus (Type O) in zoo animals

Hyun-Ho Lee¹, Kyung-Yeon Eo^{2*}

¹Seoul Metropolitan Government Research Institute of Public Health & Environment, Gwacheon 13818, Korea

²Department of Animal Health and Welfare, College of Healthcare and Biotechnology, Semyung University, Jecheon 27136, Korea

Received May 4, 2022
Revised June 16, 2022
Accepted June 17, 2022

Corresponding author:

Kyung-Yeon Eo

E-mail: vetinseoul@semyung.ac.kr

https://orcid.org/0000-0003-1486-6983

The purpose of this study was to examine antibody titers to structural protein (SP) of the foot-and-mouth disease (FMD) virus after vaccination in animals of the Seoul zoo. After the initial inoculation of FMD vaccine to the susceptible animals of the zoo, a total of 235 blood samples were collected from 42 species of zoo animals during treatment or necropsy. All samples were tested by using enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA). The overall positive rate of SP antibodies against FMD virus was 94.0% (221/235). However, the positive rates varied according to animal species. The results of positive rates in 30 species were 100% but in 12 species were 50-94.7%. We showed that most animals that have received FMD vaccine in Seoul zoo have been reached to the level of herd immunity against FMD virus after the vaccination. To the best of our knowledge, this study would be the first report for monitoring the vaccine-induced SP antibody titers against FMD virus after vaccination in various zoo animal species in Korea.

Key Words: Foot-and-mouth disease, Structural protein, ELISA, Antibody titer

서론

구제역은 소, 양, 사슴, 돼지 등 우제류에서 발열, 수포형성, 유연, 사료 섭취 감소를 나타내는 전염성이 매우 높은 질병으로, Picornaviridae과 Aphthovirus속에 속하는 single-stranded positive RNA (8 kb)를 가지는, 크기가 21~25 nm로 작은 20면체의 외피가 없는 바이러스가 원인체이다(OIE, 2012; Sohn 등, 2015). 질병 발생 시 살처분 및 백신접종의 비용과 생산성 감소, 동물 및 축산물의 국제적인 교역 제한 등으로 국가 경제에 미치는 영향이 매우 커서 세계동물보건기구(Office Interna-

tional des Epizooties, OIE)에서 A급 질병으로 분류하여 관리하고 있으며, 우리나라에서도 제1종 가축전염병으로 지정하여 관리하고 있는 질병이다(Doel, 2003; Sohn 등, 2015).

FMD virus에는 7 종류의 혈청형(O, A, C, SAT1, SAT2, SAT3, Asia1)이 있으며, 각각의 혈청형 간에 면역학적으로 영향을 주지 않고, 혈청형 내에서도 완전한 방어를 하지 못하는 다양한 subtype이 존재하며, 바이러스 자체의 변이로 인해 백신 개발이 어려워져 질병 근절이 용이하지 않다(Sur 등, 2000; OIE, 2012).

FMD virus에 감수성이 있는 가축은 소, 돼지, 양, 염소, 물

소 및 야크 외에도 낙타 및 목장의 사슴에 감수성이 있다. 실험적으로 라마와 알파카도 감염을 일으킨다. 야생동물에서는 아프리카물소(*Syncerus caffer*), 들소(*Bison spp.*), 무스(*Alces alces*), 기린(*Giraffa camelopardalis*), 누우(*Connochaetes gnou*), 블랙벅(*Antilopa cervicapra*), 멧돼지(*Phacochoerus aethiopicus*), 쿠두(*Tragelaphus strepsicornis*), 임팔라(*Aepyceros melampus*) 등의 우제목 외에도 개, 고슴도치, 곰, 아르마딜로, 캥거루, 뉴트리아(*Myocastor coypus*), 카피바라(*Hydrochaerus hydrochaeris*) 등 최소 70 종에서 감염 보고가 됐다(IICAB, 2021).

동물원에서의 구제역 발생은 1937년 프랑스 파리동물원에서 발생이 수의학적인 최초 보고이며, 독일, 네덜란드, 스위스, 폴란드, 네팔, 인도, 이스라엘 등의 동물원에서 들소, 야크, 큰뿔소, 가알, 멧돼지, 바비루사, 코끼리 등 다양한 종의 동물에서 발생한 보고가 있다(Schaftenaar, 2002). 이들 국가 중에 네덜란드 로테르담동물원과 독일 쾰른동물원, 베를린동물원, 폴란드 포즈난동물원, 인도의 캘커타동물원에서 구제역 발생 후 우제류를 대상으로 백신을 접종한 보고가 있다(Table 1).

아프리카 짐바브웨에서 버팔로와 임팔라, 일린드를 대상으로 구제역 백신(SAT형)에 대한 항체 형성 역가를 가축의 소와 비교한 연구에서 이들 야생동물이 소에 비해 항체 형성 역가가 낮은 연구 결과가 있었으나(Schaftenaar, 2002), 야생동물과 동물원 동물의 구제역 백신 접종 후 항체 형성에 대한 연구가 부족한 실정이다.

본 연구는 서울동물원에서 사육하는 구제역 감수성 동물(유대목, 장비목, 우제목)을 대상으로 구제역바이러스(O형) 구조단백질 항체를 ELISA법으로 측정하여 소를 위해 제조된 구제역 백신이 동물원 동물들의 항체 형성에 효과적인지 확인하고자 수행하였다.

재료 및 방법

구제역 백신접종 현황

서울동물원은 2010년에서 2011년 구제역이 전국적으로 확산될 때 정부의 정책에 따라 구제역 백신접종을 시작하였다. 보유동물 중 유대목, 우제목, 장비목을 대상으로 2011년 1월 1차 접종, 4주 후 2차 접종을 하였으며, 이후 6개월 주기로 백신을 접종하였다(Table 2). 하마와 꼬마하마는 피부 및 피하조직이 두꺼워 접종이 어렵고 구제역바이러스에 대한 감수성이 낮아 접종대상에서 제외하였다(Schaftenaar, 2002). 이외에도 아시아

코끼리는 접종 후 무균성 농양 발생되고 회복이 느려서, 바라싱가는 매우 예민하여 접종 과정에서 물리적인 사고로 인한 폐사 위험성이 높아 최초 접종 실시 후 접종대상에서 제외하였다.

접종 백신의 종류

접종에 사용된 백신은 1, 2차에는 메리얼사가 제조한 단가 백신(O1 Manisa), 3차에는 Intervet사가 제조한 단가 백신(O1 Manisa), 4~10차에는 메리얼사가 제조한 3가 백신(virus strain은 O Manisa, A malaysia 97, Asia 1 Shamir 포함), 11~12차에는 O Manisa, A22 Iraq, Asia 1 Shamir 3가 백신이 사용되었다.

접종 방법

구제역 백신은 오일백신으로 4℃에서 냉장보관하여 사용하였으며, 주사 전 상온에서 1시간가량 보관하여 차갑지 않게 한 후 부드럽게 위 아래로 뒤집어 섞어서 접종에 사용하였다.

접종방법은 포획이 가능한 동물은 포획하여 근육내 주사하였으며, 포획이 어렵고 근거리 접근이 가능한 동물은 블로우건을 이용하여 접종하였다. 접종 용량은 대형 초식동물은 2 mL, 중소형 초식동물은 1 mL를 주사하였다.

시료 채취

2011년 1월 백신접종 이후부터 2015년 7월까지 구제역 백신을 1회 이상 접종한 동물 중에서 진료를 위한 보정 또는 폐사 후 부검 과정에서 235두의 혈액을 채취하였다. 채취한 혈액으로부터 원심분리한 혈청은 실험을 실시할 때까지 영하 20℃에서 냉동 보관하였다.

FMD virus SP ELISA

실험은 농림축산검역본부에서 권장하는 PrioCHECK® FMDV type O ELISA kit (Prionics Lelystad B.V., Netherlands)를 사용하여 제조사에서 제공하는 실험방법에 따라 실시하였다. 먼저 플레이트를 25℃ 인큐베이터에 15분간 방치한 후, 모든 웰에 ELISA buffer 90 µL씩 분주하였다. 표준혈청과 검사시료를 10 µL씩 분주하여 25℃에서 1시간 배양시킨 후, washing buffer로 6회 세척하고 물기를 제거하였다. 모든

Table 1. FMD outbreak cases of the zoo in the world

Year	Country	Name of zoo	Animal species	No. of case	No. of death	Remarks
1931	Germany	Leipzig	Reindeer	1	1	Myocarditis, Vaccination of remaining artiodactyls
1932	Germany	Leipzig	Blackbuck, Porcupine	4	4	
1937	Netherland	Amsterdam	African buffalo, Bison, Eland, Mouflon, Tedal sheep, Water buffalo, Wisent			Hyper-immune serum used in wisent
1937	France	Paris	Babirusa, Bison, Elk, Fallow deer, Gaur, Gayal, Kouprey, Kudu, Tapir, Warthhog, Water buffalo, Wild boar, Wildbeest	32	4	Artiodactyls and tapir treated with hyper-immune serum
1938	Switzerland	Bern	Bison, Steinbok	23	1	
1939	Switzerland	Zurich	Bison, Watusi, Yak, Zebu	?	0	
1951	Netherland	Rotterdam	Yak	?	0	All susceptible artiodactyls vaccinated
1951	Germany	Wuppertal	Bison	?	0	Domestic pigs infected first
1953~4	Poland	Lopuszna and szcynareserve	Wisent	?	42	Type A5
1957	Germany	Berlin	Water buffalo, Watusi, Wisent	?	1	
1958	Germany	Circus	Asian elephant	1	1	Type C
1961	Germany	Hannover	Yak, Watusi	?	0	
1962	Germany	Cologne	Watusi, Kudu	10	5	Vaccination of remaining artiodactyls
1962	Germany	Berlin	Bison, Wild boar	?	1	Vaccination of remaining artiodactyls
1962	Germany	Leipzig	Reindeer	1	0	Type C, hyper-immune serum used, Vaccination of remaining artiodactyls
1962	Germany	Halle	Bison, Caucasian tur	7	1	78 artiodactyls vaccinated with Type C
1962	Poland	Waszana	Mouflon, Wisent, Zebu	8	1	60 artiodactyls vaccinated with Type C
1963	Poland	Waszana	Wisent	2	2	36 artiodactyls vaccinated with Type A and O
1963	Poland	Lodz	Bison, Wisent	6	1	Artiodactyls vaccinated with Type A, C, O
1963	Poland	Poznan	Bison, Wisent	7	0	Artiodactyls vaccinated with Type A, O
1970	Italy	Circus	African elephant	1	0	Type A7; 1 out of 15 animals, source: cattle
1975	Nepal	Kathmandu	Asian elephant	16	0	Type O, 60% herd affected, suspected source: water buffalo
1981	India	Assam State	Gayal, Sambar deer	36	1	Type O
1985	Israel	Ramot Yissakhar	Mountain gazelle	>300	1,500	Type O
1987	India	-	Asian elephant	1	0	Type Asia 1 Source: cattle and water buffalo
1990	India	Calcutta	Gayal	5	2	Type O : myocardial necrosis Source: domestic animals

Table 2. FMD vaccination of the animals in Seoul zoo

Times of vaccination	Vaccination period	Number of species	Number of individuals
1st	2011. 1. 8~2011. 1. 12	53	610
2nd	2011. 2. 7~2011. 2. 10	52	565
3rd	2011. 8. 25~2011. 8. 31	52	564
4th	2012. 2. 22~2012. 2. 29	49	494
5th	2012. 9. 12~2012. 9. 26	49	532
6th	2013. 4. 15~2012. 4. 26	48	511
7th	2013. 10. 19~2013. 11. 1	48	483
8th	2014. 4. 11~2014. 4. 25	47	522
9th	2014. 10. 10~2014. 11. 5	46	518
10th	2015. 4. 15~2015. 4. 24	46	529
11th	2015. 11. 18~2015. 11. 27	43	449
12th	2016. 3. 25~2016. 5. 1	43	444

웰에 conjugate 100 μL를 분주하여 25°C에서 1시간 배양시킨 후, washing buffer로 6회 세척 후 물기를 제거하였다. 발색제(chromogen TMB substrate)를 100 μL 분주하여 25°C에서 15분간 배양시킨 후, stop solution 100 μL를 분주하여 반응을 정지시킨 다음, 450 nm의 파장에서 흡광도(optical density, OD)를 측정하였다. ELISA 결과 판정은 제조사의 계산식 $\{100 - (\text{corrected OD}_{450} \text{ test sample} / \text{corrected OD}_{450} \text{max}) \times 100\}$ 에 따라 Percentage Inhibition (PI) 값을 확인하였으며, PI 값이 50 이상일 경우 양성, 50 미만일 경우 음성으로 판정하였다.

결 과

총 42종 235점의 시료를 검사한 결과 221점이 양성으로 판정되어 94.0%의 높은 구조단백질 항체 양성률을 나타내었다. 구제역바이러스 구조단백질 항체 양성률을 접종한 동물의 과별로 나누어 살펴본 결과, 캥거루과 92.3% (12/13), 코끼리과 50% (1/2), 낙타과 92.3% (12/13), 사슴과 96.3% (78/81), 기린과 100% (2/2), 소과 93.5% (116/124)의 항체 양성률을 나타내었다(Table 3). 구제역바이러스 구조단백질 항체 양성률을 동물의 종별로 나누어 살펴본 결과, 동부회색캥거루(2/2), 붉은 캥거루(5/5), 왈라루(3/3), 라마(2/2), 엑시스사슴(2/2), 와퍼티(7/7), 예조사슴(10/10), 다마스슴(3/3), 물사슴(10/10), 일본사슴(1/1), 사불상(4/4), 붉은사슴(10/10), 순록(1/1), 노루(4/4), 잡종사슴(1/1), 야쿠사슴(10/10), 그물무늬기린(2/2), 아프리카물소(2/2), 블레스벅(1/1), 코리텔(6/6), 아시아물소(1/1), 유럽 들소(1/1), 무플론(5/5), 히말라야타알(4/4), 아이벡스(6/6), 니

알라(1/1), 큰뿔양(12/12), 시타통가(3/3), 스프링벅(3/3), 큰뿔소(6/6) 등 총 30종에서 100%의 항체 양성률을 나타내었다(Table 3).

나머지 12종의 항체 양성률은 서부회색캥거루 66.7% (2/3), 아시아코끼리 50% (1/2), 과나코 90.9% (10/11), 바라싱가 83.3% (5/6), 꽃사슴 88.9% (8/9), 바바리양 94.7% (18/19), 흑염소 80% (4/5), 자넨 75% (3/4), 겐스복 85.7% (12/14), 세이블엔틸롭 92.3% (12/13), 흰오릭스 90% (9/10), 돌산양 91.7% (11/12)로 각각 나타내었다.

아시아코끼리는 구제역 감수성이 낮고 백신접종 부위에 무균성 농양이 형성되어 1차 접종 후부터 제외하였다. 1차 접종 6개월 경과 후 코끼리에서 채혈한 시료로 항체가를 검사한 결과 PI 수치가 각각 52%와 43%로 확인되었다. 그리고 바라싱가는 매우 예민하여 접종 과정에서 물리적인 사고로 인한 폐사의 위험성이 높아 1차 접종 후 접종대상에서 제외하였다. 접종 후 1개월에서 2년 사이에 채혈한 바라싱가의 혈액으로 항체가를 검사한 결과 6마리 중에 5마리가 양성으로 판정되었다.

국내 동물원에서 사육전시 중인 동물에 대하여 구제역 백신접종 후의 항체 양성률에 대한 검사는 본 연구가 최초의 보고이다. 국내 축산농가에서 실시한 가축의 구제역 백신접종 후 항체 양성률에 대한 연구에 따르면, 축종별로 한우 99.5% (367/369), 젖소 97.7% (293/300), 돼지 95.9% (1,468/1,530)를 나타내어 소와 돼지에서 모두 95% 이상의 높은 항체 양성률을 나타내었다(Choe, 2018).

고 찰

서울동물원은 국가의 구제역방역정책에 따라 동물원 개원이래 처음으로 구제역 감수성 동물을 대상으로 2011년 1월부터 구제역 백신 접종을 시작하였으며, 2016년 5월까지 총 12차에 걸쳐 접종하였다. 사용된 구제역 백신은 불활화 오일백신으로 최초 긴급 예방접종 기간에는 당시 발생한 O형을 막을 수 있는 단일 항원으로 만든 단가백신을 접종했으나, 이후에는 향후 국내 유입 가능성이 높은 바이러스 유형을 동시에 막을 수 있도록 항원을 보강한 다가백신(O, A, Asia1형)을 접종하고 있다. 또한 접종하는 백신의 항원량은 긴급백신 및 정기백신 모두 50% protective dose의 6배 용량(6PD₅₀)을 이용하였다.

우리나라의 구제역 발생은 주변국가의 발생과 밀접하게 연관되어 있다. 그동안 발생한 구제역 분석 결과에 따르면, 구제역바이러스의 혈청형은 2010년 1월에 발생한 A형을 제외하고 모두 O형이었다(Yoo, 2011; Ahn 등, 2013). 2000년과 2002년에

Table 3. FMD virus structural protein antibody titer analysis

Family name	English name	Scientific name	Samples	Positive	Positive rate (%)	Times of vaccine*	PI†	
<i>Macropodidae</i>	Eastern grey kangaroo	<i>Macropus giganteus</i>	2	2	100	3	74	
	Red kangaroo	<i>Macropus rufus</i>	5	5	100	4	78	
	Western grey kangaroo	<i>Macropus fuliginosus</i>	3	2	66.7	2	58	
	Wallaroo	<i>Macropus robustus</i>	3	3	100	6	86	
	Subtotal		13	12	92.3	4	75	
<i>Proboscidea</i>	Asian elephant	<i>Elephas maximus</i>	2	1	50	2	48	
<i>Camelidae</i>	Guanaco	<i>Lama guanicoe</i>	11	10	90.9	4	77	
	Llama	<i>Lama glama</i>	2	2	100	5	76	
	Subtotal		13	12	92.3	4	77	
<i>Cervidae</i>	Barasingha	<i>Rucervus duvaucelii</i>	6	5	83.3	1	77	
	Chital	<i>Axis axis</i>	2	2	100	4	96	
	East wapiti	<i>Cervus canadensis</i>	7	7	100	6	99	
	Ezo sika	<i>Cervus nippon yesoensis</i>	10	10	100	5	94	
	Fallow deer	<i>Dama dama</i>	3	3	100	6	99	
	Formosa deer	<i>Cervus nippon hortulorum</i>	9	8	88.9	5	72	
	Indian sambar	<i>Cervus unicolor</i>	10	10	100	5	95	
	Japanese sika	<i>Cervus nippon nippon</i>	1	1	100	6	100	
	Pere david's deer	<i>Elaphurus davidianus</i>	4	4	100	6	100	
	Red deer	<i>Cervus elaphus</i>	10	10	100	5	97	
	Reindeer	<i>Rangifer tarandus</i>	1	1	100	3	84	
	Roe deer	<i>Capreolus pygargus</i>	4	4	100	3	92	
	Sika deer (hybrid)	<i>Cervus nippon (hybrid)</i>	1	1	100	4	100	
	Yak sika	<i>Cervus nippon yakushimae</i>	10	10	100	6	97	
		Subtotal		81	78	96.3	5	92
	<i>Giraffidae</i>	Reticulated giraffe	<i>Giraffa camelopardalis reticulata</i>	2	2	100	3	92
<i>Bovidae</i>	African buffalo	<i>Syncerus caffer</i>	2	2	100	7	100	
	Barbary sheep	<i>Ammotragus lervia</i>	19	18	94.7	7	91	
	Blesbok	<i>Damaliscus pygargus</i>	1	1	100	7	100	
	Domestic goat (black)	<i>Capra hircus</i>	5	4	80	4	76	
	Domestic goat (saanen)	<i>Capra hircus</i>	4	3	75	5	74	
	Domesite seep (corriedale)	<i>Ovis aries</i>	6	6	100	6	98	
	Domestic water buffalo	<i>Bubalus bubalis</i>	1	1	100	5	100	
	European bison	<i>Bison bonasus</i>	1	1	100	7	100	
	European mouflon	<i>Ovis orientalis</i>	5	5	100	7	94	
	Gemsbok	<i>Oryx gazella</i>	14	12	85.7	4	72	
	Himalayan tahr	<i>Hemitragus jemlahicus</i>	4	4	100	4	91	
	Ibex	<i>Capra ibex</i>	6	6	100	5	93	
	Nyala	<i>Tragelaphus angasii</i>	1	1	100	10	89	
	Rocky mountain big-horn sheep	<i>Ovis canadensis</i>	12	12	100	9	97	
	Sable antelope	<i>Hippotragus niger</i>	13	12	92.3	3	89	
	Scimitar-horned oryx	<i>Oryx dammah</i>	10	9	90	4	88	
	Sitatunga	<i>Tragelaphus spekii</i>	3	3	100	4	98	
	Springbuck	<i>Antidorcas marsupialis</i>	3	3	100	7	91	
	Thinhorn sheep	<i>Ovis dalli</i>	12	11	91.7	7	87	
	Watusi	<i>Bos taurus</i>	6	6	100	5	98	
	Subtotal		124	116	93.5	6	90	
Total			235	221	94.0	5	87	

*Mean values of times of vaccination.

†Mean values of PI (percentage inhibition).

발생한 O형은 1999년부터 2000년까지 중국과 대만, 일본, 태국에서 발생한 PanAsia 계열이었으며, 2010년에 발생한 O형은 같은 해 러시아와 일본, 중국, 홍콩, 베트남에서 발생한 Mya-98 계열이었으며, 2010년 1월에 발생한 A형은 2009년에 중국과 베트남에서 발생한 Sea-97 계열이었다. 전파의 원인은 여행자나 외국인 근로자, 수입된 건초와 국제수화물 등으로 추정하고 있다. 국가간 교역 및 여행객 증가, 우리나라 농장에서 일하는 베트남과 캄보디아, 태국, 중국 출신 외국인 근로자가 2005년 이래 계속 증가하고 있는 추세로 인해 구제역 등 가축전염병 발생 위험성이 매우 높은 실정이다(Park 등, 2014).

FMD virus는 호흡기, 소화기, 생식기를 통해 감염이 되는데 소, 양, 염소 등은 호흡기감염이 잘 일어나며, 돼지는 일반적으로 소화기감염이 잘 일어난다. 돼지는 반추동물에 비해 100~2,000배 많은 바이러스를 배출하기 때문에 FMD virus의 아주 중요한 증폭숙주(amplifying host)로 간주되고 있으며, 소는 FMD virus에 민감하므로 바이러스의 존재를 알 수 있는 지표숙주(indicator host)로 인식되고 있다. 양은 FMD virus에 의한 증상이 경미하기 때문에 쉽게 간과되어 구제역 전파에 상당한 원인이 되고 있다(Yilma, 1980; Kiching, 1998; Leforban, 1999; Moon 등, 2005).

서울동물원은 47종 470여 마리의 구제역 감수성 동물을 보유하고 있다. 이 중에 국제적멸종위기종이 9종 135마리를 차지하고 있어 보호 가치가 매우 높다. 그러나 동물원 특성상 전파 각지에서 불특정 다수가 찾는 관람시설이다 보니 높은 수준의 차단방역을 실시하기 어려운 실정이다. 따라서 국내에 구제역이 발생했을 경우 동물원 동물의 보호를 위해 철저한 백신접종을 통한 군집면역 형성이 무엇보다 중요하다. 질병 역학자들은 집단 내 80% 이상의 개체가 면역이 형성되어야 확산 방지가 가능한 것으로 보고 있다(박, 2012).

결론

본 연구 결과에서 도출된 구제역바이러스(O형) 구조단백질 항체 양성률이 94.0%라는 것은 서울동물원 구제역 감수성 동물의 구제역바이러스에 대한 군집면역이 충분히 형성되어 있다는 것을 의미한다. 그리고 총 42종 중에서 자넨 75% (3/4), 서부회색갯거위 66.7% (2/3)와 아시아코끼리 50% (1/2)를 제외한 39종에서 80% 이상의 항체 양성률을 보여 소에 사용하고 있는 구제역백신이 동물원 동물의 항체 형성 능력을 충분히 발휘하는 것으로 확인되었다. 그러나 본 연구에서는 유럽들소나 아시아물소 등 일부 종에서 샘플 확보가 어려워 많은 개체를 검사하지 못

하였기 때문에 이들에 대한 지속적인 데이터 확보가 필요하다. 또한, 최근 주변국에서 유행하고 있고 A형에 대한 항체가 조사와 최근에는 발생하고 있지 않지만 접종 백신에 포함되어 있는 Asia 1형에 대한 항체가 조사가 추가적으로 필요할 것으로 보인다.

본 연구를 통하여 서울동물원 구제역 감수성 동물의 구제역 바이러스에 대한 군집면역이 충분히 형성되어 있으며, 소에 사용하고 있는 구제역 백신이 동물원 동물의 항체 형성 능력을 충분히 발휘한다는 것이 증명되었고, 이 결과는 국내 동물원에서의 구제역 백신 접종을 위한 중요한 자료로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

CONFLICT OF INTEREST

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

ORCID

Hyun-Ho Lee, <https://orcid.org/0000-0002-5347-9014>
Kyung-Yeon Eo, <https://orcid.org/0000-0003-1486-6983>

REFERENCES

- 박최규. 2012. 구제역 백신의 특성과 올바른 사용방법. *대한수의사회지* 48: 144-149.
- Ahn GH, Bae JG, Jung K, Wang, Jung JY, Kang SK, Kwon HM. 2013. Development of antibodies after foot and mouth disease vaccination in pigs. *Korean J Vet Serv* 36: 15-21.
- Choe CY, Jung YH, Do YJ, Cho A, Kang SJ, Kim UH, Kim CL, Shin SM, Yoo JG, Tark DS, Park MY, Wee SH, Ku BK. 2018. Analysis of foot-and-mouth disease virus structural protein antibody positive rates according to ages in cattle and pigs. *Korean J Vet Serv* 41: 9-13.
- Doel TR. 2003. FMD vaccines. *Virus Research* 91: 81-99.
- IICAB. Institution for International Cooperation in Animal Biologics. 2021. Foot and Mouth Disease. Retrieved from <http://www.cfsph.iastate.edu/Fact->

- sheets/pdfs/foot_and_mouth_disease.pdf.
- Kiching RP. 1998. A recent history of foot-and-mouth disease. *J Comp Pathol* 118: 89-108.
- Leforban Y. 1999. Prevention measures against foot-and-mouth disease in Europe in recent years. *Vaccine* 17: 1755-1759.
- Moon SH, Yang JS. 2005. Pathogenesis, diagnosis and prophylactic vaccine development for foot-and-mouth disease. *J Korean Soc Appl Biol Chem* 48: 301-310.
- OIE. World Organisation for Animal Health, Office International des Epizooties. 2012. *Manual of Diagnostic Tests and Vaccines for Terrestrial Animals*.
- Park CG. 2012. Properties of foot-and-mouth disease vaccine and correct use. *J Korean Vet Med Assoc* 48: 144-149.
- Park JH, Lee KN, Kim SM, Lee HS, Ko YJ, Tark DS, Shin YK, Seo MG, Kim BH. 2014. Reemergence of Foot-and-Mouth Disease, South Korea, 2000-2011. *Emerg Infect Dis* 20: 2158-2161.
- Schaftenaar W. 2002. Use of vaccination against foot and mouth disease in zoo animals, endangered species and exceptionally valuable animals. *Foot and mouth disease : facing the new dilemmas* 21: 613-623.
- Sohn JH, Hwang YS, Sohn KH, Shin SH, Lee EM, Kim ST, Cho MH, Yun MJ. 2015. Survey of foot-and-mouth disease virus structural protein antibody titer in Yeongcheon. *Korean J Vet Serv* 38: 13-17.
- Sur JH, Shin JH, Juan L, Max Y, Ku BK, Choi KS, Kweon BJ, Sohn HJ, Ko YJ, Choi CU, Kwon CH, Kim JY, An SH, Kim KS, Moon OK, Kim JH, Choi SH, Lee HG, Hwang EK, Kim SB, Kang, SS, Kim OK. 2000. In vivo characterization, and transmission of Korean foot-and-mouth disease virus(FMDV). *Korean J Res* 40: 719-727.
- Yilma T. 1980. Morphogenesis of vesiculation in foot-and-mouth disease. *Am J Vet Res* 41: 1537-1542.
- Yoo HS. 2011. *Foot and Mouth Disease : Etiology, Epidemiology and Control Measures*. *Infect Chemother* 43: 178-185.