

<종 설>

체세포복제를 통한 멸종위기동물의 종 보전 평가

현상환^{1,2} · 정연우¹ · 황규찬¹ · 이국진³ · 양일석^{1,*}

¹수암생명공학연구원, ²충북대학교 수의과대학, ³한국환경산업기술원

(접수: 2015년 6월 16일, 수정: 2015년 6월 24일, 게재승인: 2015년 6월 29일)

Evaluation of conservation of endangered species through somatic cell nuclear technology

Sang Hwan Hyun^{1,2}, Yeon Woo Jeong¹, Kyu Chan Hwang¹, Guk Jin Lee³, Il Suk Yang^{1,*}

¹Sooam Biotech Research Foundation, Seoul 152-895, Korea

²Laboratory of Veterinary Embryology and Biotechnology, College of Veterinary Medicine, Chungbuk National University, Cheongju 361-763, Korea

³Technology Strategy Planning Office, Seoul 122-824, Korea

(Received: June 16, 2015; Revised: June 24, 2015; Accepted: June 29, 2015)

Abstract : The number of wild animal species is gradually decreasing due to poaching, hunting and habitat loss. While several endangered animal species have been successfully preserved at the zoo, assisted reproductive technology (ART) must be applied to restore wild animals. In the case of critically endangered animals, somatic cell cloning is considered the most appropriate method of ART. Somatic cell cloning can be beneficial for the reproduction of endangered species with limited female populations. However, gene and cell banks, and understanding of reproductive physiology and optimization of ART for wild animals are urgently required for further activation of artificial reproduction of endangered species, which enlarges its application and maintains biodiversity. Care should also be taken to consider ethical and legal issues associated with somatic cell cloning for conservation of endangered animals.

Keywords : artificial reproduction, conservation, endangered species, ethical and legal issue, somatic cell cloning

서 론

지구 상에는 약 5,000여 종의 포유동물이 서식하고 있다. 그러나 사람에게 의한 포획이나 사살과 같은 직접적인 이유, 그리고 자연 파괴에 의한 서식지 손실 같은 간접적인 이유로 매년 종의 수는 감소하여 27%가 절멸의 위협에 처해 있다 [37]. 따라서 동물원에서만 볼 수 있는 경우도 있고 절멸된 동물도 있다. 국내에서는 멸종위기동물을 보호하기 위하여 환경부령으로 멸종위기동물 I급, 멸종위기동물 II급으로 구분하여 관리 보호하고 있다. 한편 국제자연보전연맹(The International Union for Conservation of Nature, IUCN)은 가속되는 종의 절멸을 막기 위하여 동물의 중요도에 따라 적색 목록을 마련하고 절멸(extinct, EX), 야생 절멸(extinct in the wild, EW), 위급(critically endangered, CR), 위기(endan-

gered, EN), 취약(vulnerable, VU)으로 구분하고, 위기, 위급, 취약의 범주를 합하여 멸종 우려(threatened)라 한다(Fig. 1) [39]. 지역 내에서 잠재적인 번식능력을 갖춘 마지막 개체가 죽거나 지역 내 야생상태에서 사라졌다는 점에 대해 의심할 이유가 없는 경우는 지역 절멸(regionally extinct, RE)이라고 하며, 국내의 늑대, 대륙사슴, 스라소니, 표범, 호랑이가 이 범주에 포함된다.

야생동물 개체군의 복원에는 인공 증식과 해외로부터의 도입이 주된 방법이다. 인공 증식은 동물원과 같은 서식지의 보전기관에서 동물의 개체 수를 늘리는 방법으로 야생에 서식하는 종의 생존을 지원하는 것을 목표로 한다. 산양(양구군), 반달가슴곰(지리산)이 이에 해당한다. 해외로부터의 도입은 여우가 이런 양식으로 증식을 시도하고 있다 [6].

동물 보존의 궁극적인 목표는 각각의 종이 종족을 유지하

*Corresponding author

Tel: +82-2-2616-5658, Fax: +82-2-2616-5672

E-mail: isyang@sooam.org

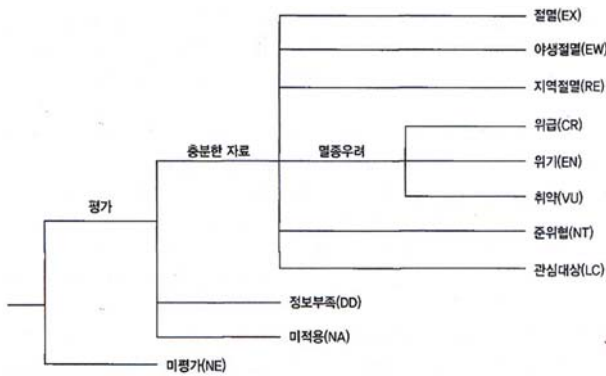


Fig. 1. Regional Red Data Book (<http://www.korearedlist.go.kr>).

면서 생태계에서 균형을 이루고 이를 통해 생물 다양성을 유지하는 데 있다. 생물 다양성을 유지하기 위해서는 서식지를 보전하는 방법이 가장 좋은 방법이다 [28, 31]. 그러나 여러 가지 요인으로 개체 또는 개체군 수가 적거나 많이 감소하고 있어 가까운 장래에 멸종위기에 처할 우려가 있는 I급 멸종위기동물의 경우 그 대안으로 체세포 복제를 통한 종 보전에 대해 살펴볼 필요가 있다. 야생동물의 멸종은 해당 종에 국한된 것이 아니고 먹이사슬을 생각하여야 하며 심지어 동물과 식물이 연결된 경우도 있다. 아프리카 마다가스카르 앞바다 인도양의 모리셔스(Mauritius)섬에서 1,600년쯤 네덜란드 선원에 의하여 처음 발견된 도도과(Raphidae)에 속하는 도도새는 발견 후 채 10년도 되지 않아 멸종하고 말았다 [25]. 과학자들은 박물관에 있는 사진을 통해서만 볼 수 있는 도도새가 닭이나 집오리처럼 잘 날지 못하였을 것으로 추측하고 있다. 그러나 그 섬에 오기 전에는 날아다녔지만 섬에 도착한 후에는 먹을 것이 풍부하고 천적이 없는 서식지를 발견하게 됨에 따라 많은 에너지를 소모하는 방식인 날아다니는 것보다 땅에 남아있는 것이 더 효율적이어서 날지 않도록 진화한 것으로 추측하기도 한다. 도도새는 처음 발견한 네덜란드 선원들의 식용으로 이용되기도 하였지만, 멸종의 주된 원인은 산림 파괴로 인한 먹이 공급 차단, 선원들과 함께 들어온 고양이, 쥐, 돼지들이 도도새의 동지를 파괴함에 따라 서식이 어렵게 된 것으로 보고 있다. 도도새가 나무의 열매를 먹고 배설을 해야만 살아갈 수 있는 나무가 있었는데 도도새의 멸종으로 그 나무 또한 멸종되었다. 이러한 사실은 야생동물 보존정책은 미시적인 면도 중요하지만, 거시적인 면도 함께 고려하여 생태계의 고리가 끊어지지 않도록 신중하게 접근해야 하는 좋은 예가 된다.

야생동물 세포주은행의 설립

멸종위기에 처한 동물을 보호하기 위한 보조생식술(assisted reproductive technology, ART)의 발달은 나라별로 유전자보존은행을 운영하여 멸종위기종의 생식세포(정모세포, 난자, 배아 등)와 더불어 각종 조직을 동결 보존하고 있다. 전 세계 여러 나라(15개 국가)에서 유전자은행을 운영 중인데 미

국은 4개소, 영국은 5개소가 운영되고 있으며, 한국은 서울대학교 수의과대학에 야생동물유전자은행을 운영 중이라고 소개하고 있다 [1]. 그러나 분자생물학적 분석을 위한 단순한 DNA 보전은 야생동물의 분류, 유전적 다양성, 생태, 질병, 보전유전학 연구에는 대단히 유용하지만 현재의 생식공학 기술로는 멸종동물의 복원에 사용할 수는 없다.

1936년 호주의 태즈메이니아늑대가 지구 상에서 사라졌다. 당시 과학자들은 태즈메이니아늑대의 태아를 알코올에 담가 놓았다 [34]. 만약 그때 늑대의 일부 세포를 떼어내 세포주 형태로 보존되었다면, 태즈메이니아늑대는 체세포복제를 통하여 지금 우리와 만날 수 있을 것이다. 멸종위기에 처한 야생동물이나 동물원에서 사육 중인 희귀종의 체세포를 초대 배양(primary culture) 등 일련의 세포배양 과정을 거쳐 액체 질소 내에 동결 보존(cryopreservation)하여 세포주 형태로 보관한다면 여건이 허락할 때 체세포복제를 할 수 있으므로 비록 늦었지만 지금이라도 야생동물의 세포주은행 설립이 시급하다.

최근 동향은 생물다양성 협약에서 채택된 나고야의정서(2010년)의 “생물유전자원의 이용으로부터 발생하는 이익의 공정하고 공평한 공유(Access to genetic resources and Benefit Sharing, ABS)”를 슬로건으로 진행되는 흐름, 이른바 중자전쟁으로 진입하고 있다. 이러한 사실은 야생동물에도 동일하게 적용되고 있으므로 이에 따른 대비를 하여야 할 것이다.

체세포 핵이식(Somatic cell nuclear transfer, SCNT)

야생동물에 사용되는 보조생식술은 첫째로 야생동물의 서식지 개발로 삶의 터전이 분할되어 이동할 수 없음에 따라 개체 수가 감소하는 경우에 시도되는 인공수정이다. 이는 생존 동물이 다소 많은 경우에 사용한다. 다음은 이식할 대리모가 적절하지 못할 경우 멸종 위기종의 배아를 동결 보존하여 두었다가 동종 혹은 가까운 종의 대리모가 준비되는 적절한 시기에 이식하는 수정란이식이다. 동결 난자와 정자가 있을 때 이를 체외에서 수정시켜 배아를 생성하여 대리모에 이식하는 체외수정의 방법을 시도한다. 특히, 멸종 위기종의 난소가 보관되어 있을 경우 체외성숙(*in vitro* maturation)시켜 체외 수정란을 만들기도 한다 [38]. 이외에도 난자와 정자가 귀할 경우 수정률과 임신율을 높이기 위하여 사용하는 배아에 정자를 미세조각으로 수정시켜 배아를 생성하는 방법 [9]과 출산 시 암수를 조정하기 위해서 수정 전 정자의 성별(sperm sexing)을 구별하여 배아를 생산하는 방법이 시도되고 있다 [27].

난자에서 핵을 제거하고 복제하고자 하는 체세포의 핵을 주입하는 과정을 통하여 유전적으로 완벽히 동일한 개체를 생산하는 과정을 SCNT라 한다. 이는 체세포 핵이식란을 대리모에 이식하여 생산하므로 복제산자는 미토콘드리아 DNA를 제외한 모든 게놈 DNA가 같다. 그리하여 SCNT는 우수

한 형질을 그대로 전달할 수 있는 한편 질환 모델 동물로 이용된다. 1996년 영국에서 세계 최초로 포유동물의 체세포 복제동물인 “돌리”가 태어났다. 그리고 10여 년 동안 체세포 복제는 가축(양, 소, 돼지, 염소) [2, 36, 43, 45], 실험동물(마우스, 랫드, 페렛) [10, 24, 42], 반려동물(고양이, 개) [22, 40] 등 여러 동물에 적용되었다.

SCNT를 통해 야생동물 복원에 적용하여 성공한 첫 사례는 뉴질랜드 환경보호국에서 실시한 엔더비 섬(Enderby Island)에 자생 소 복원 사업이다. 복제 양 돌리가 복제된 이듬해에 엔더비 섬 소, “레이디”가 복제되어 멸종위기종의 복원에 성공하였다 [44]. 그 후 Giant panda의 체세포를 토끼의 난자에 이식한 실험이 보고 [4, 5] 되었으나, 산자를 보고하는 데는 실패했다. 아직 모든 동물에 적용할 수는 없지만 SCNT는 멸종위기종 야생동물을 보전하는 대안으로서 보조생식술이 주목 받고 있다. 근연관계가 가까운 종이나 그 아종을 복제하기 위해 쉽게 구할 수 있는 종의 난자를 이용함으로써 동일한 개체를 생산해 낼 수 있기 때문이다.

체세포 복제기술은 난자의 성숙 및 배양에 관한 연구가 중요한 바탕이 된다. 따라서 산업동물로 체외성숙 기법이 잘 확립된 소와 돼지의 난자는 일찍부터 체세포 복제로 활용되는 양질의 난자를 제공하여 보조생식술과 체세포 복제기술이 먼저 정착되었다 [8]. 한편 개의 경우는 체외에서 난자를 성숙하는 기술이 미흡하여 복제가 난관에 봉착하게 되었다. 이를 해결하고자 유사분열 전기(meiotic prophase)에 배란한 후 난관 원위부에서 2-3일에 걸쳐 성숙하게 하고, 유사분열 중기인 배란 후 72시간 무렵에 외과적 방법으로 난관을 세척하여 채란하는 방법으로 “스너피”가 탄생하였다 [22].

개 과(family)는 형태와 자연분포가 다양하다. 체중 1 kg 이하의 아프리카 여우가 있는가 하면 50 kg이 넘는 회색늑대도 있다. 다양한 36종의 개과 동물 중 6종은 멸종우려종으로 분류되어 다른 동물 종보다 시급한 보호 대책이 필요하다. 이러한 개과 동물을 보호하기 위한 번식학적 어려움은 현재까지 개를 제외하면 개과의 번식생리학에 관한 정보가 별로 없다는 점이다 [13]. 개과 동물 중 멸종위기종 또는 절멸종이 존재할 때 보조생식술로서 개 SCNT기술을 적용한다면 해당 종을 복원하는 중요한 도구가 될 것이다. 개과 동물의 체세포 복제기술은 개과 동물의 복제에 전기를 마련하여 늑대 [16]는 물론 코요테 [12]의 복제도 이루어졌다.

체세포 복제란을 대리모에 이식하였을 때 그 복제 효율은 5-10%이다. 체세포 핵을 탈핵된 난자에 주입하면 핵 리프로그래밍 과정을 거치면서 세포가 가지고 있던 분화능을 재설정하게 된다 [32]. 이러한 과정이 비정상적으로 일어나게 되면 복제 난자는 후생학적 유전인자 결합 또는 비정상적인 유전자 발현을 보이게 된다. 최근 연구 결과에 의하면 복제 난자에 비정상적인 유전자 발현을 줄이기 위해서 염색질 재조합 체제를 체세포에 처리하거나 배아줄기세포와 같은 전능성이 높은 세포주를 공여핵원으로 사용하여 복제효율이 향상되었다는 보고가 있다 [18, 48]. 또 종양 억제유전자인 p53 발현의 억제 시 복제란의 리프로그래밍을 효과적으로 유도하

여 복제효율이 향상되었다는 연구 결과 [14] 및 최근 개발된 역분화 기술로 만들어진 줄기세포를 공여핵원으로 사용하였을 경우에도 복제효율이 향상되었다는 연구 결과도 있다 [51]. 하지만 앞서 기술된 배아줄기 세포주를 공여핵원으로 사용하는 것은 멸종위기종을 대상으로 확립하기에 기술적으로 어려운 과정이다. 다만 염색질 재조합 체제의 처리 또는 역분화 줄기세포의 적용은 이러한 과정에 원활한 핵 리프로그래밍이 이루어지도록 유도할 것으로 생각된다. 또한 동물의 나이에 비례하여 말단소립(telomere)이 줄어드는 것을 근거로 복제동물이 정상 분만 동물보다 수명이 짧다고도 말하지만, 핵 리프로그래밍으로 0세포기부터 다시 출발하므로 복제와 수명은 관계없다고 할 수 있다. 한편 체세포 복제가 유전적으로 동일한 개체를 생산한다는 점을 들어 멸종위기종 복원에 이 기술을 적용하면 종 다양성을 해친다는 주장이 대두될 수 있지만 이는 근연관계를 고려하여 여러 개체의 체세포를 활용한 복제를 이룩한다면 생물종다양성 문제를 해결할 수 있다.

이종 간 체세포 핵이식

이종 간 체세포 핵이식 기법(interspecies SCNT, iSCNT)은 종이 다르거나 혹은 속, 과, 목이 다른 동물의 난자를 이용하여 유전적으로 가치가 있거나 멸종위기에 처한 동물의 이종 간 배아를 만들고 체세포를 복제하는 과정이다. 이는 절멸이나 멸종으로 인해 암컷 생식선 또는 난자를 구하기 어려운 종을 복원하기 위해 그 아종이나 가까운 종의 난자를 빌려 체세포 핵이식란을 만들어 대리모에 이식, 산자를 생산하는 것이다. Mastromonaco 등 [29]과 Loi 등 [26]의 연구 검토 자료에 의하면 아주 가까운 이종 간에는 복제 산자가 생산됨을 알 수 있다(Table 1) [26, 29]. 산업동물이나 고양이 같은 반려동물의 난자를 사용하여 인도들소, 야크, 제부, 살쾡이, 물프론이 성공적으로 복제되었다. 특히 개(스너피) 복제가 성공한 후 개의 난자를 이용하여 늑대 [16]와 코요테 [12]를 복제하면서 이종 간 복제기술은 개과의 이종 복제 영역으로 넓어졌다. 이속(inter-genus) 간 복제에 속하는 삶은 고양이 난자를 이용하여 착상되었고 태아까지 생성된 보고가 있다 [47]. 반면에, 소와 돼지 사이의 이과(inter-family) [7, 41], 소의 난자에 개의 체세포를 주입한 이문(inter-order), 토끼의 난자에 판다의 세포를 주입하여 배반포를 생산한 이강(inter-class) 간 복제 연구도 꾸준히 이루어지고 있으나, 건강한 복제 산자 생산에는 성공하지 못하였고 재현성도 불확실하다 [21]. Table 1에서 알 수 있는 바와 같이 모든 멸종위기동물이 iSCNT에 의하여 보전될 수는 없지만 과학은 발전하고 있다. 이러한 iSCNT기법을 통하여 건강한 산자를 생산하기 위해서는 이종 배아의 발육에 미치는 인자에 대한 연구가 더욱 밝혀져야만 한다. 이러한 인자로 미토콘드리아의 불일치, 배아 유전자의 올바른 활성화, 적합한 대리모 선정 등을 들 수 있다.

이종의 난자를 이용해서 iSCNT를 하는 경우 복제 산자의

Table 1. Comprehensive list of interspecies cloning experiments reported (revised from Beyhan *et al.* [3])

Taxonomic relationship	Recipient oocyte	Donor cell	Blastocyst implantation live offspring			Reference
Inter-class	Cow (<i>B. taurus</i>)	Rat (<i>R. norvegicus</i>)	NA*	No	NA	[7]
	Rabbit (<i>O. cuniculus</i>)	Panda (<i>A. melanoleuca</i>)	Yes	Yes	No	[5]
Inter-order	Cow (<i>B. taurus</i>)	Dog (<i>C. familiaris</i>)	Yes	NET	NA	[30]
	Rabbit (<i>O. cuniculus</i>)	Camel (<i>C. dromedaries</i>)	Yes	NET	NA	[50]
Inter-family	Cow (<i>B. taurus</i>)	Takin (<i>B. taxicolor</i>)	Yes	NET	NA	[23]
	Cow (<i>B. taurus</i>)	Sheep (<i>O. aries</i>)	Yes	Yes	No	[7]
Inter-genus	Goat (<i>C. hirus</i>)	Tibetan antelope (<i>P. hodgsonii</i>)	Yes	NET	NA	[49]
	Cow (<i>B. taurus</i>)	Buffalo (<i>B. bubalis</i>)	Yes	NET	NA	[19]
	Cow (<i>B. taurus</i>)	Goral (<i>N. goral</i>)	Yes	NET	NA	[33]
Inter-species	Wild cat (<i>F. silvestris</i>)	Leopard cat (<i>P. bengalensis</i>)	Yes	Yes	No	[46]
	Cow (<i>B. taurus</i>)	Gaur (<i>B. gaurus</i>)	Yes	Yes	Yes	[29]
	Cow (<i>B. taurus</i>)	Yak (<i>B. grunniens</i>)	Yes	Yes	Yes	[23]

*Embryos were transferred at two cell stage. *B. taurus*, *Bos taurus*; *O. cuniculus*, *Oryctolagus cuniculus*; *C. hirus*, *Capra hircus*; *F. silvestris*, *Felis silvestris*; *G. gallus*, *Gallus gallus*; *R. norvegicus*, *Rattus norvegicus*; *A. melanoleuca*, *Ailuropoda melanoleuca*; *C. familiaris*, *Canis familiaris*; *C. dromedaries*, *Camelus dromedaries*; *B. taxicolor*, *Budorcas taxicolor*; *O. aries*, *Ovis aries*; *P. hodgsonii*, *Pantholops hodgsonii*; *B. bubalis*, *Bubalus bubalis*; *N. goral*, *Naemorhedus goral*; *P. bengalensis*, *Prionailurus bengalensis*; *B. gaurus*, *Bos gaurus*; *B. grunniens*, *Bos grunniens*. NA, not applicable; No, pregnancy failure; Yes, pregnancy identified; NET, no embryo transfer.

게놈 DNA는 공여핵과 일치하지만, 미토콘드리아 DNA는 공여핵과 일치하지 않고 난자를 제공한 종을 따르게 된다. 따라서 자연교배로 이루어진 다음 세대는 미토콘드리아 DNA가 다르게 태어난다. 만약 iSCNT로 태어난 코요테 암컷 (iFe)이 야생 코요테 수컷과 자연교배 하여 임신한다면 iFe 난자의 미토콘드리아 DNA는 개의 미토콘드리아 DNA와 같으므로 그 새끼는 개의 미토콘드리아 DNA를 갖고 태어난다. 그러나 iSCNT로 태어난 수컷(iMa)이 야생 코요테 암컷과 자연교배 하여 임신한다면 그 새끼는 코요테의 미토콘드리아 DNA를 갖고 태어난다. 이러한 차이는 미토콘드리아 DNA가 모계 유전하기 때문이다. 복제된 배아의 대부분 미토콘드리아 DNA는 난자로부터 유래되지만 미토콘드리아 DNA의 공여 체세포로부터 유래되어 배아나 분만태아에 일부가 존재하는 이종조직성(heteroplasmy)을 나타내기도 한다.

윤리 종교적 측면과 법적인 문제

근래에 이르러 동물의 신학적 가치를 연구 교육할 목적으로 영국 옥스퍼드 대학에 동물윤리센터가 설립되었고(2006년), 독일 뮌스터 철학신학대학에 신학적 동물학연구소(2009년)가 설립되면서 신학체계 안에 신학적 동물학이라는 새로운 연구 분야가 태동하였다 [15]. 또 동물복제가 동물권을 크게 침해하지 않는 범위에서 이루어진다면 반대할 이유가 없다는 의견이 기독교계의 대체적인 의견이다. 동물복제의 종차역이 인간복제가 아닐까 하는 우려가 남아 있지만, 동물복제가 인간복제 시도로 이어지지 않는다는 점을 명백히 밝힘으로써 이는 불식될 수 있을 것이다.

멸종위기종 보존을 위한 동물복제는 동물의 원형을 보존하며 생태계의 변화를 일으키지 않는다. 또한 멸종위기종 보

존을 위한 동물복제는 불필요한 동물의 희생 없이 체세포 채취와 난자를 이용하여 수행되며, 동물의 생명을 훼손하거나 인위적으로 생명을 박탈하지 않는다. 또한 멸종위기종의 보존을 효율적으로 하기 위한 동물복제 방법은 인간복제와는 거리가 먼 행위로서 기독교적 관점에서도 반대할 내용이 아니다.

불교 경전 속에서 불살생이나 대자대비라는 윤리적 가치는 인간에 한정하지 않고 동물에 이르기까지 모든 살아있는 것의 생명을 존중하는 데에 있다. 사람은 물론 날벌레까지 불쌍히 생각하라는 생명존중 사상은 동물들의 고통에 대한 지대한 관심으로 나타나며, 동물의 고통을 줄이는 것을 기본으로 한다 [11]. 동물의 권리를 보장하기 위해 우리가 당장 서둘러야 할 행동은 동물의 고통을 조금이라도 줄이는 방법을 찾아내고 이를 하나씩 실천하는 것이다. 여기에는 가능한 고기를 먹지 않거나 동물의 가죽이나 털로 된 옷을 사입지 않거나 동물을 대상으로 한 스포츠나 사냥을 하지 않는 것 등을 포함할 수 있다.

동물의 존엄성에 대한 윤리적 이해는 동물을 사물로 보느냐 아니면 인격체로 보느냐에 따라 달라진다. 우리나라 민법상 동물은 물건의 한 유형이다. 민법 99조에 의하면 토지 및 그 정착물은 부동산으로 규정하고 부동산 이외의 물건을 동산으로 규정하고 있으므로 동물은 동산에 해당한다 [35]. 하지만 19세기에 이르러 영국과 독일에서는 동물보호법이 제정되기 시작하였고 1970년대 중후반부터는 동물의 복지 개선을 위한 논의가 활발하게 전개되었을 뿐 아니라 일부 동물들에게 기본적인 권리를 부여하자는 논의가 진행되었다. 독일에서는 1990년 민법 개정으로 동물은 물건이 아니라는 조문을 넣어 동물에게 제3의 지위를 부여하고 있다. 우리나라에서도 1991년에 동물보호법을 제정하기에 이르렀다.

동물에게도 권리가 있는가? 만약 있다면 음식으로 고기를 먹고 있는 사람은 동물의 권리를 침해하고 있는 것인지 또 질병 연구와 의약품 개발을 위해 동물실험을 하는 사람들은 동물의 권리를 침해하는 것인지 하는 명제에 부딪히게 된다. 신약개발과 같은 의학 연구는 정상인과 환자를 대상으로 하는 임상시험을 거쳐 약효를 인정받는다. 그러나 임상시험을 시행하기 전에 임상시험의 피험자들을 보호하기 위하여 동물실험을 한 관련 자료가 요구된다. 그런데도 세계의사회 헬싱키선언 제12조에서는 “인간 대상 의학 연구는 공인된 과학적 원칙에 따라야 한다. 또한 과학문헌과 관련된 정보를 통한 풍부한 지식이 바탕이 되어야 하며, 적절한 실험 실적과 가능한 경우 동물실험 결과가 근거가 되어야 한다. 실험 동물의 복지를 존중하여야 한다.”라고 하여 실험동물에게도 권리가 있음을 말하고 있다 [20].

동물의 복지와 관련한 5대 자유는 배고픔과 갈증으로부터의 자유, 불편함과 고통으로부터의 자유, 고통, 상처, 질병으로부터의 자유, 공포와 스트레스로부터의 자유, 정상적인 행동을 표현할 자유이다 [17]. 이에 대한 핵심적인 표현은 동물에게 고통을 적게 주는 것이다. 이러한 동물복지의 하나로 1959년 영국의 학자들은 동물실험의 세 가지 원칙으로 동물실험을 대신할 다른 방법을 찾을 것(replacement), 동물실험의 횟수를 줄일 것(reduction), 실험동물의 고통을 줄이는 방법을 강구할 것(refinement)을 제시하였다 [39].

결 론

야생동물은 포획, 사살 혹은 환경의 파괴로 인한 서식지 상실로 종의 수가 감소하고 있다. 멸종위기종 중에는 동물원에서만 볼 수 있는 것도 있는데 그러한 종의 수도 증가하고 있다. 야생동물 개체군의 복원에는 인공증식과 해외로부터의 도입이 주된 방법이다. 그러나 가까운 장래에 멸종위기에 처할 우려가 있는 I급 멸종위기동물에 대하여는 체세포복제를 통한 종 보존이 타당할 것으로 생각되며, 이를 위해 다음과 같은 노력이 필요하다.

1. 절멸되어 가는 야생동물의 보전을 위하여 세포주은행을 설립해야 한다.
2. 생물다양성 유지를 위하여 근연관계를 고려한 서로 다른 다수의 세포주를 확보해야 한다.
3. 개체 수가 아주 적거나 암컷의 번식 장애가 있는 멸종위기종의 보전에는 체세포복제 또는 이종 체세포복제를 이용한 보전 방법이 필요하다.
4. 체세포복제 대상 동물의 번식 생리에 관한 정보를 확보해야 한다.
5. 윤리적 법적 측면에서 종 보전을 위한 체세포복제는 그 과정에서 동물의 고통을 줄이도록 노력해야 한다.

감사의 글

이 연구는 2014년도 한국환경산업기술원의 “체세포 복제

를 통한 종복원사업 타당성 분석 연구” 용역 사업으로 수행되었습니다.

References

1. **Andrabi SM, Maxwell WM.** A review on reproductive biotechnologies for conservation of endangered mammalian species. *Anim Reprod Sci* 2007, **99**, 223-243.
2. **Baguisi A, Behboodi E, Melican DT, Pollock JS, Destremes MM, Cammuso C, Williams JL, Nims SD, Porter CA, Midura P, Palacios MJ, Ayres SL, Denniston RS, Hayes ML, Ziomek CA, Meade HM, Godke RA, Gavin WG, Overström EW, Echelard Y.** Production of goats by somatic cell nuclear transfer. *Nat Biotechnol* 1999, **17**, 456-461.
3. **Beyhan Z, Iager AE, Cibelli JB.** Interspecies nuclear transfer: implications for embryonic stem cell biology. *Cell Stem Cell* 2007, **1**, 502-512.
4. **Chen D, Sun Q, Liu J, Li G, Lian L, Wang M, Han Z, Song X, Li J, Sun Q, Chen Y, Zhang Y, Ding B.** The giant panda (*Ailuropoda melanoleuca*) somatic nucleus can dedifferentiate in rabbit ooplasm and support early development of the reconstructed egg. *Sci China C Life Sci* 1999, **42**, 346-353.
5. **Chen DY, Wen DC, Zhang YP, Sun QY, Han ZM, Liu ZH, Shi P, Li JS, Xiangyu JG, Lian L, Kou ZH, Wu YQ, Chen YC, Wang PY, Zhang HM.** Interspecies implantation and mitochondria fate of panda-rabbit cloned embryos. *Biol Reprod* 2002, **67**, 637-642.
6. **Chung CU, Kim YC, Lee HJL, Kim SC, Lee BK.** Changes in suckling behavioral pattern in fox cubs. *Korean J Environ Ecol* 2013, **27**, 690-694.
7. **Dominko T, Mitalipova M, Haley B, Beyhan Z, Memili E, McKusick B, First NL.** Bovine oocyte cytoplasm supports development of embryos produced by nuclear transfer of somatic cell nuclei from various mammalian species. *Biol Reprod* 1999, **60**, 1496-1502.
8. **Galli C, Lazzari G.** The manipulation of gametes and embryos in farm animals. *Reprod Domest Anim* 2008, **43** (Suppl 2), 1-7.
9. **Goto K, Kinoshita A, Takuma Y, Ogawa K.** Birth of calves after the transfers of oocytes fertilized by sperm injection. *Theriogenology* 1991, **35**, 205.
10. **Hayes E, Galea S, Verkuylen A, Pera M, Morrison J, Lacham-Kaplan O, Trounson A.** Nuclear transfer of adult and genetically modified fetal cells of the rat. *Physiol Genomics* 2001, **5**, 193-204.
11. **Heo NK.** The Problem of Animal Rights and the Position of Buddhist Bioethics-centered on the standard of ‘the pain of individual animals’. *Ethics Stud* 2011, **1** (Pt 81), 1-26.
12. **Hwang I, Jeong YW, Kim JJ, Lee HJ, Kang M, Park KB, Park JH, Kim YW, Kim WT, Shin T, Hyun SH, Jeung EB, Hwang WS.** Successful cloning of coyotes through interspecies somatic cell nuclear transfer using domestic dog oocytes. *Reprod Fertil Dev* 2013, **25**, 1142-1148.
13. **Johnson WE, Koepfli K.** The role of genomics in conservation and reproductive sciences. In: Holt WV, Brown JL, Comizzoli P (eds.). *Reproductive Sciences in Animal Conservation: Progress and Prospects*. pp. 71-96, Springer,

- New York, 2014.
14. **Kawamura T, Suzuki J, Wang YV, Menendez S, Morera LB, Raya A, Wahl GM, Izpisua Belmonte JC.** Linking the p53 tumour suppressor pathway to somatic cell reprogramming. *Nature* 2009, **460**, 1140-1144.
 15. **Kim HM.** Ethics and law of the animals in the horizon of biblical tradition. *Crit Rev Religion Cult* 2012, **21**, 87-130.
 16. **Kim MK, Jang G, Oh HJ, Yuda F, Kim HJ, Hwang WS, Hossein MS, Kim JJ, Shin NS, Kang SK, Lee BC.** Endangered wolves cloned from adult somatic cells. *Cloning Stem Cells* 2007, **9**, 130-137.
 17. **Kim OJ, Park HM, Chung TH.** *Animal Welfare Science*. Munundang, Seoul, 2013.
 18. **Kishigami S, Mizutani E, Ohta H, Hikichi T, Thuan NV, Wakayama S, Bui HT, Wakayama T.** Significant improvement of mouse cloning technique by treatment with trichostatin A after somatic nuclear transfer. *Biochem Biophys Res Commun* 2006, **340**, 183-189.
 19. **Kitiyant Y, Saikhun J, Chaisalee B, White KL, Pavasuthipaisit K.** Somatic cell cloning in Buffalo (*Bubalus bubalis*): effects of interspecies cytoplasmic recipients and activation procedures. *Cloning Stem Cells* 2001, **3**, 97-104.
 20. **Korean Medical Association.** World Medical Association declaration of Helsinki-Seoul revision: ethical principles for medical research involving human subjects. *J Korean Med Assoc* 2010, **53**, 739-742.
 21. **Lagutina I, Fulka H, Lazzari G, Galli C.** Interspecies somatic cell nuclear transfer: advancements and problems. *Cell Reprogram* 2013, **15**, 374-384.
 22. **Lee BC, Kim MK, Jang G, Oh HJ, Yuda F, Kim HJ, Hossein MS, Kim JJ, Kang SK, Schatten G, Hwang WS.** Dogs cloned from adult somatic cells. *Nature* 2005, **436**, 641-641.
 23. **Li Y, Dai Y, Du W, Zhao C, Wang H, Wang L, Li R, Liu Y, Wan R, Li N.** Cloned endangered species takin (*Budorcas taxicolor*) by inter-species nuclear transfer and comparison of the blastocyst development with yak (*Bos grunniens*) and bovine. *Mol Reprod Dev* 2006, **73**, 189-195.
 24. **Li Z, Sun X, Chen J, Liu X, Wisely SM, Zhou Q, Renard JP, Leno GH, Engelhardt JF.** Cloned ferrets produced by somatic cell nuclear transfer. *Dev Biol* 2006, **293**, 439-448.
 25. **Livezey BC.** An ecomorphological review of the dodo (*Raphus cucullatus*) and solitaire (*Pezophaps solitaria*), flightless Columbiformes of the Mascarene Islands. *J Zoology* 1993, **230**, 247-292.
 26. **Loi P, Modlinski JA, Ptak G.** Interspecies somatic cell nuclear transfer: a salvage tool seeking first aid. *Theriogenology* 2011, **76**, 217-228.
 27. **Mara L, Pilichi S, Sanna A, Accardo C, Chessa B, Chessa F, Dattena M, Bomboi G, Cappai P.** Sexing of in vitro produced ovine embryos by duplex PCR. *Mol Reprod Dev* 2004, **69**, 35-42.
 28. **Margules CR, Pressey RL.** Systematic conservation planning. *Nature* 2000, **405**, 243-253.
 29. **Mastromonaco GF, Favetta LA, Smith LC, Filion F, King WA.** The influence of nuclear content on developmental competence of gaur × cattle hybrid in vitro fertilized and somatic cell nuclear transfer embryos. *Biol Reprod* 2007, **76**, 514-523.
 30. **Murakami M, Otoi T, Wongsrikeao P, Agung B, Sambuu R, Suzuki T.** Development of interspecies cloned embryos in yak and dog. *Cloning Stem Cells* 2005, **7**, 77-81.
 31. **Myers N, Mittermeier RA, Mittermeier CG, da Fonseca GA, Kent J.** Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 2000, **403**, 853-858.
 32. **Oback B, Wiersema AT, Gaynor P, Laible G, Tucker FC, Oliver JE, Miller AL, Troskie HE, Wilson KL, Forsyth JT, Berg MC, Cockrem K, McMillan V, Tervit HR, Wells DN.** Cloned cattle derived from a novel zona-free embryo reconstruction system. *Cloning Stem Cells* 2003, **5**, 3-12.
 33. **Oh BC, Kim JT, Shin NS, Kwon SW, Kang SK, Lee BC, Hwang WS.** Production of blastocysts after intergeneric nuclear transfer of goral (*Naemorhedus goral*) somatic cells into bovine oocytes. *J Vet Med Sci* 2006, **68**, 1167-1171.
 34. **Paddle R.** *The Last Tasmanian Tiger: The History and Extinction of the Thylacine*. Cambridge University Press, New York, 2002.
 35. **Park JK.** A study on legal status of animals law review. *Law Rev (Pusan)* 2010, **51**, 25-53.
 36. **Polejaeva IA, Chen SH, Vaught TD, Page RL, Mullins J, Ball S, Dai Y, Boone J, Walker S, Ayares DL, Colman A, Campbell KH.** Cloned pigs produced by nuclear transfer from adult somatic cells. *Nature* 2000, **407**, 86-90.
 37. **Primack RB.** *A Primer of Conservation Biology*. 5th ed. Sinauer Associates, Sunderland, 2012.
 38. **Pukazhenti B, Comizzoli P, Travis AJ, Wildt DE.** Applications of emerging technologies to the study and conservation of threatened and endangered species. *Reprod Fertil Dev* 2006, **18**, 77-90.
 39. **Rodrigues AS, Pilgrim JD, Lamoreux JF, Hoffmann M, Brooks TM.** The value of the IUCN Red List for conservation. *Trends Ecol Evol* 2006, **21**, 71-76.
 40. **Shin T, Kraemer D, Pryor J, Liu L, Rugila J, Howe L, Buck S, Murphy K, Lyons L, Westhusin M.** A cat cloned by nuclear transplantation. *Nature* 2002, **415**, 859.
 41. **Uhm SJ, Gupta MK, Kim T, Lee HT.** Expression of enhanced green fluorescent protein in porcine- and bovine-cloned embryos following interspecies somatic cell nuclear transfer of fibroblasts transfected by retrovirus vector. *Mol Reprod Dev* 2007, **74**, 1538-1547.
 42. **Wakayama T, Perry AC, Zuccotti M, Johnson KR, Yanagimachi R.** Full-term development of mice from enucleated oocytes injected with cumulus cell nuclei. *Nature* 1998, **394**, 369-374.
 43. **Wells DN, Misica PM, Tervit HR.** Production of cloned calves following nuclear transfer with cultured adult mural granulosa cells. *Biol Reprod* 1999, **60**, 996-1005.
 44. **Wells DN, Misica PM, Tervit HR, Vivanco WH.** Adult somatic cell nuclear transfer is used to preserve the last surviving cow of the Enderby Island cattle breed. *Reprod Fertil Dev* 1997, **10**, 369-378.
 45. **Wilmut I, Schnieke A, McWhir J, Kind A, Campbell K.** Viable offspring derived from fetal and adult mammalian cells. In: Nussbaum MC, Sunstein CR (eds.). *Clones and Clones: Facts and Fantasies about Human Cloning*. WW Norton & Company, New York, 1999.
 46. **Yin X, Lee Y, Lee H, Kim N, Kim L, Shin H, Kong I.** In vitro production and initiation of pregnancies in inter-genus nuclear transfer embryos derived from leopard cat (*Prionailurus bengalensis*) nuclei fused with domestic cat

- (*Felis silvestris catus*) enucleated oocytes. *Theriogenology* 2006, **66**, 275-282.
47. **Yin XJ, Lee YH, Jin JY, Kim NH, Kong IK.** Nuclear and microtubule remodeling and in vitro development of nuclear transferred cat oocytes with skin fibroblasts of the domestic cat (*Felis silvestris catus*) and leopard cat (*Prionailurus bengalensis*). *Anim Reprod Sci* 2006, **95**, 307-315.
 48. **Zhao J, Ross JW, Hao Y, Spate LD, Walters EM, Samuel MS, Rieke A, Murphy CN, Prather RS.** Significant improvement in cloning efficiency of an inbred miniature pig by histone deacetylase inhibitor treatment after somatic cell nuclear transfer. *Biol Reprod* 2009, **81**, 525-530.
 49. **Zhao ZJ, Li RC, Cao HH, Zhang QJ, Jiang MX, Ouyang YC, Nan CL, Lei ZL, Song XF, Sun QY, Chen DY.** Interspecies nuclear transfer of Tibetan antelope using caprine oocyte as recipient. *Mol Reprod Dev* 2007, **74**, 412-419.
 50. **Zhao ZJ, Ouyang YC, Nan CL, Lei ZL, Song XF, Sun QY, Chen DY.** Rabbit oocyte cytoplasm supports development of nuclear transfer embryos derived from the somatic cells of the camel and Tibetan antelope. *J Reprod Dev* 2006, **52**, 449-59.
 51. **Zhou S, Ding C, Zhao X, Wang E, Dai X, Liu L, Li W, Liu Z, Wan H, Feng C, Hai T, Wang L, Zhou Q.** Successful generation of cloned mice using nuclear transfer from induced pluripotent stem cells. *Cell Res* 2010, **20**, 850-853.