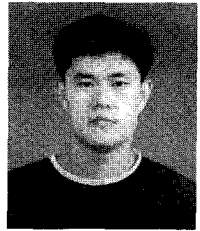


DNA

생명공학과 복제기술

세계 포

김 현 규



한국축육개량협회
한우개량부

1. 머리말

미국의 「뉴욕타임스 매거진」은 최근호에서 고장난 부속품을 갈아 끼우듯이 질병에 걸린 신체 장기를 교체하는 인공장기(人工臟器) 문제를 특집으로 다루었다.

세계적인 과학잡지인 「사이언티픽 아메리칸」도 최근호에서 ‘맞춤 인간이 오고 있다’며 앞으로 10년안에 인간이 마음대로 인공장기를 조립하는 세계가 올 것으로 예견하고 있다.

공상과학만화에서만 봐왔던 인조인간(人造人間)의 탄생이 멀지 않은 것처럼 느껴지는 요즘이다.

만화영화 ‘은하철도 999’의

메탈처럼 영원한 생명을 소유하는 인간이 탄생하고, 그로인한 무한인간과 유한인간과의 갈등이 발생하고 인류파멸의 원인을 제공하는데까지 이러를 것인가?

생각만 해도 스릴과 환희가 교차하는 이야기가 아닐수 없다.

많은 생명과학자들이 인공장기시대의 도래에 대해 “600만달려의 사나이”가 헤산일만 기다리고 있다.”고 표현하며 단지 시일 선택의 문제만 남아 있다고 주장하고 있다.

이러한 생명공학의 발전은 가족을 이용한 연구에서 급진적인 발전을 이룩했으며 1997년 2월 23일, 영국 에든버러(Edinburgh)시 로스린(Roslin)연구소의 아이언 윌머트(Ian

Wilmut) 박사가 6년생 암양을 유전적으로 복사하여 새끼 양을 만들어 냈다고 발표하면서 전세계 인류의 관심사로 발전했다.

지금 우리나라는 구체적으로 축산계 뿐만 아니라 전국민이 떠들석 한 가운데 있다. 그 구체적이 충남 홍성과 보령에 출현하면서 우리나라 한우의 유전보고인 서산 한우개량사업소를 휩쓸지는 않을까 노심초사하고 있는 것이 우리의 현실이다.

또 한편으로는 복제기술의 발달로 인해서 서산목장 종모우들의 체세포만 확보해 놓으면 복제하면 되니까 걱정할 것이 없다는 여유도 부릴수 있을만큼 복제기술의 힘은 크게 느껴진다.

2. 생명공학의 주요 기법

① 유전자 조작 (Genetic Manipulation)

유전자 조작은 한 생물의 유전자를 밖으로 끄집어내어 이를 변형시켜 그 생물체에 다시 집어 넣거나 다른 생물의 유전자에 접합시켜 새로운 생물 또는 물질 등을 만들어내는 방법이다.

② 유전자 전이(轉移)(Gene Transfer)

새로운 유전자를 수정란 또는 세포에 삽입하는 기술을 유전자 전이라고 하며, 이 방법을 이용하여 능력이 우수한 가축을 생산하는 기법이 이용되고 있는데, 그 결과 생산된 가축을 유전자 전이 동물(Transgenic animal)이라 한다.

③ 세포융합(Cell Fusion)

성질이 다른 이종(異種)의 두 세포를 용해(溶解) 효소로써 용해시키고, 두 세포의 원형질을 하나로 융합(融合)시켜 양쪽의 특징을 함께 함으로써 새로운 세포를 만드는 기술이다.

④ 핵 치환(置換)(Nucleus Replacement)

두 생물의 세포에서 서로의 핵

을 바꾸어 새로운 생물을 만드는 기술을 말한다.

⑤ 세포배양(Cell Culture)

세포배양(細胞培養)은 정상적인 체내 항상성(恒常性) 상태와 실험적 스트레스를 받는 동물에서 일어날 수 있는 여러 변화를 배제하기 위하여, 인위적으로 특정 환경을 조성하여 배양 시킴으로서 특정세포의 특성을 연구하는 분야로서, 특히 세포의 대량 생산, 세포와 주위환경과의 상호관계 규명, 백신의 생산, 단일 클론항체 등의 생산은 물론, 최근에는 생물반응로(生物反應爐, Bioreactor)와 세포배양 기법을 이용하여 의학용 인체단백질을 생산하는 등 생물공학의 발달에 지대한 공헌을 하고 있다.

3. 생체공학

▶1950년, 인공수정을 위한 황소 정액의 냉동에 최초로 성공함. 이는 생식 메카니즘(Mechanism)이 처음으로 시간적 제약을 벗어나기 시작한 의미를 지닌다.

▶1952년 미국의 존 브리그 박사팀. 개구리 수정란 세포를 때내 난자에 이식 뒤 개구리 복

제 성공(올챙이까지 성장)

▶1953년, 「Waston & Crick」이 DNA의 이중 와선의 사다리 구조를 규명해냄. 이것은 생화학 및 유전 생물학의 새 장을 여는 사건으로, 이 발견으로 말미암아 개별 생명체의 특성을 결정짓는 비밀이 생화학적인 부호(code)의 형태로 세포의 염색체 속에 내장되어 있음이 처음으로 밝혀졌다.

▶1962년 영국의 고든 박사팀 개구리 내장세포(체세포)를 때내 난자에 이식 복제 성공(최초의 체세포 복제 성공)

▶1970년, 생쥐의 태아(胎兒) 복제에 성공함으로써 포유류의 태아 복제 기술이 본격화됨.

▶1978년, 영국에서 최초의 시험관 아기가 출생함으로써 인간의 체외 수정의 길이 열림.

▶1981년 미국의 일멘스 박사팀. 생쥐의 수정란 세포를 때내 생쥐 복제 성공. (최초의 포유류 복제)

▶1984년, 호주에서 냉동된 수정란으로부터 자란 아기가 출생함. 이로써 수정된 시기와 상관없이 자유롭게 인간 출생의 시기를 선택, 조종할 수 있는, 이른바 '시간차 출생'이 가능해짐.

▶1986년 영국의 윌라드센 박사팀. 수정란세포를 때내 세포

**많은 생명과학자들이 인공장기시대의 도래에 대해
“600만달러의 사나이”가 해산일만 기다리고 있다.”고 표현하며
단지 시일 선택의 문제만 남아 있다고 주장하고 있다.**

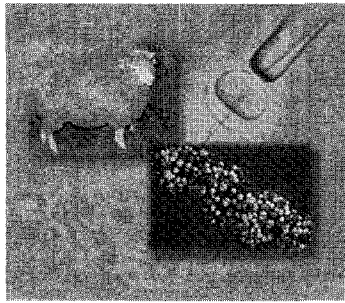
융합 방식으로 면양 복제(최초의 가축 복제)

▶1987년 프라더 박사 팀. 수정란 세포를 떼내 세포융합 방식으로 소 복제 성공

▶1993년, 미국에서 비정상적으로 수정된 태아(정상적인 태아를 대상으로 실험하는 것은 불법화 되어있음)를 이용하여 같은 유전자를 가진 여러개의 태아를 복제해 내는데 성공하였다. 쉽게 표현하면, 인공적으로 여러명의 일란성 쌍둥이 태아를 만들어 한명씩 원하는 때에 태어나도록 할 수 있게 된 것으로, 이는 인간 복제 기술의 새로운 장을 연 중요한 사건이다.

한 개의 난자와 한 개의 정자가 결합하면 수정란을 형성하게 되는데 이 시기를 ‘단세포 태아(單細胞 胎兒)’라고 부른다. 이 단세포 태아가 2세포 태아, 이어서 4세포 태아로 세포 분열해가는데, 이 시기에 과학자들이 재빨리 조작을 가하여 서로 붙은 채로 분열된 세포들을 떼어 놓

는다. 그리고 투명대라고 불리는 태아 세포를 둘러 싸고 있던 피막을 벗겨 내버린다. 이 투명대는 태아 세포 발달에 필수적인 물질을 포함하고 있다. 벗겨낸 투명대를 대신하여 해초를 이용하여 만든 인공 투명대로 하여금 분리된 각각의 세포들을 새롭게 둘러싸게 만든다.



그러면 각 세포들은 다시 원점으로 돌아가 스스로 각각의 단세포 태아가 되어 세포 분열을 시작함으로써 유전적으로 동일한 여러개의 개체들로 성장해 간다.

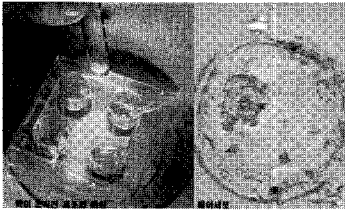
이때 일부 단세포 태아들은 냉동 보관하였다가, 훗날 필요에 따라 개체로 발생시킬 수 있다.

인간의 태아 세포는 8세포 시기까지는, 각 세포들을 떼어 분리시키고 새로운 투명대로 둘러싸주면 각각 원점에서 다시 출발하여 개체로 발전할 수 있는 잠재적 능력을 지니고 있음이 밝혀졌다.

▶1997년 영국의 윌머트 박사팀 양의 젖샘세포(체세포)를 떼내 세포융합 방식으로 복제양 돌리 생산(최초의 포유류 체세포 복제). 이것은 종전의 태아를 이용한 복제 기술과는 차원이 다른 획기적인 것으로서, 지금까지는 불가능하다고 여겨져왔다. 그 이유는 다음과 같다.

세포는 일단 성장한 후에 자기가 담당할 기능(가령 뼈, 신경, 피부, 유방 등)을 가진 것으로 분화되면, 마치 여러곡이 수록된 CD로부터 한 트랙의 곡만을 재생하는 CD Player 같이 되어 버려 자신 속에 잠재된 다른 유전 정보는 소화해내지 못하게 된다.

즉, 인간의 간 세포, 양의 유방



세포 등 모든 세포 속에는 완전한 인간이나 양을 만들기 위한 모든 유전 정보가 담겨져 있기는 하지만 실제로 이 세포들이 판독(判讀)할 수 있는 유전 정보는 간과 유방 세포의 형태와 기능에 관계된 유전정보 뿐이다. 나머지 다른 유전적 정보(예컨대, 피부나 뇌에 관한 유전 정보 등)들은 자신 속에 지니고 있는 지만 판독 불가능한 상태로 비활성화(非活性化) 되어있다. 피부 세포에서 에스트로젠을 생산하지 않으면 뇌 세포에서 인슐린을 만들지 않는다. 마치 중세의 정조대처럼 세포가 자신의 전문 분야 이외의 불필요한 기능을 발휘하는 유전자에 접근을 막는 어떤 물질이 있는 듯하다.

그러나 모두가 불가능한 일이라고 말하는 가운데, 이 연구소의 과학자들은 한개의 성숙한 세포로부터 완벽한 한 마리의 양을 만들어 내는데 필요한 모든 유전정보를 활성화(活性化)시켜 재생할 수 있는 방법을 발견해 내었다. 그 방법은 의외로 간단하면서도 역설적이었다.

첫 단계로서 그들은 임신한 6년생 암양의 유방 세포를 분리해 낸 다음 이 세포를 실험실 접시의 영양액 속에 담가 배양했다. 그런뒤 영양소를 세포가 성장하는데 필요한 양의 20분의 1로 줄이는 획기적인 방법을 시도했다. 5일이 지나면 그 세포는 활동을 정지한다. 그런데 놀랍게도 이때에 세포내의 유전자들은 자신들이 지닌 모든 유전 정보들을 활성화시키는 것이다. 즉 세포를 굶겨서 비활성화될 때에 그 속의 유전자들은 활성화되는 것이다. 이렇게해서 유전자들은 양의 태아를 만들기 시작하라는 난자의 신호를 받아들일 수 있게 된다.

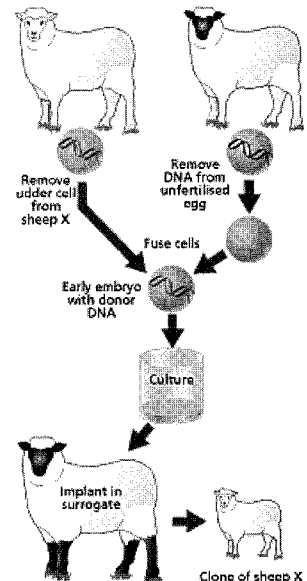
한편 그들은 다른 양으로부터 난자를 분리한 후에 그 난자의 유전 정보를 지우기 위해서 핵을 제거한다. 핵이 제거된 난자와 이미 유전자가 활성화된 유방 세포를 전기 스파크를 이용하여 결합시키면, 결과적으로 유방 세포의 핵(유전자를 포함하는)이 난자 세포로 이전되는 소위 '핵 이식(核移植, Nuclear Transfer)'이 이루어진다. 핵 이식을 받은 난자 세포는 핵 속의 유전 정보에 따라 단백질을 생성하며 세포 분열을 거듭하여 태아로 발달해 간다. 이런 태아

덩어리를 제3의 양, 즉 '대리모' 양의 자궁에 이식시킨다. 이렇게 해서 이 유방 세포를 제공한 양과 유전형질이 동일한 복제양이 탄생하게 된 것이다.

요약하면, 복제양을 출생시키는 데에는 세 마리의 양, 즉 핵(유전자)을 제공하는 피복제양과 난자를 제공하는 양 그리고 자궁을 제공하는 대리모 양이 동원된다.

이중에 가장 중요한 것은 물론 피복제양이다. 그리고 세포 비활성화를 통해 유전자를 활성화시켜서 난자와 결합시키는 기술이 이 성체복제(成體複製, Adult Cloning) 성공의 요체이다.

▶ 1998년 2월 미국의 로블 박사팀. 소 태아의 체세포에 인간

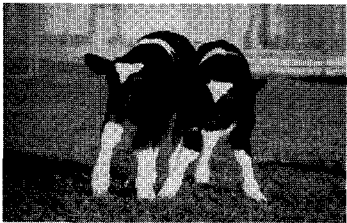


유전자를 주입시켜 인간유전자가 들어간 송아지 복제(3마리).

▶1998년 7월 야나기마치 박사팀 생쥐 체세포 이용 겹복제 성공

▶1998년 일본. 화우 대량복제 생산

▶1998년 미국. 형질전환젓소 복제생산



4. 우리나라의 동물생명공학 기술

우리나라에서도 20여년전부터 가축의 수정란 이식, 체외수정, 체외배양, 세포융합 등의 주변기술이 단계별로 개발되어 오던중 1992년에는 경상대와 서울대에서 수정란 핵이식법에 의한 마우스(실험용 쥐) 복제에 성공하였다.

1995년에는 서울대에서 같은 기술을 젓소 및 한우에 적용시켜 고능력 젓소 송아지와 고품질 육질 및 내병성(耐病性), 증체성(增體性)을 지닌 한우송아

지 생산에 성공한 후 각 단계별 기술 수준 향상에 진력하고 있으며, 국내의 10여개 대학 및 연구기관에서도 관련연구가 진행중이다.

농림부에서는 이 기술을 발전시켜 한우의 국제경쟁력을 향상시키고자 기획과제로 추진중에 있다.

1999년 서울대 수의대 황우석 교수팀에 의해 복제 젓소 송아지 '영롱이'와 복제 한우 송아지 '진이' 등이 출생한 이후 축기연과 관련 기관에 의한 복제소의 출현이 잦아지고 있으며 복제 수컷 송아지까지 탄생시키는데 성공했다.

이러한 수컷 송아지의 탄생이 어려웠던 것은 Y염색체가 X염색체에 비해 약하기 때문이라고 학계에서 추정하고 있다.

'생명복제의 마술사'란 다큐멘터리가 붙은 황우석 교수가 요즘 새로 착수한 일은 백두산 호랑이의 체세포 복제다. 멸종 위기에 놓여있는 백두산 호랑이의 체세포를 복제해 비무장지대에서 수십마리의 백두산 호랑이가 힘차게 뛰어놀게 하겠다는 것이다.

어쩌면 천연기념물이라는 용어가 역사 뒤편으로 사라질 날이 멀지 않은 것 같다.

5. 생명공학기술의 가족에의 응용

① 핵이식 복제송아지의 경제적 의의와 산업적 이용방안

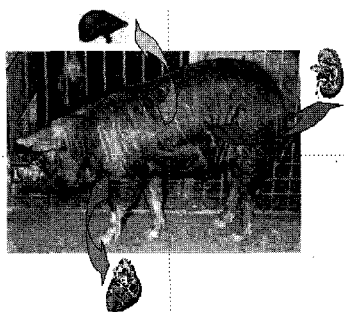
지금까지의 품종개량에 의한, 유전적으로 뛰어난 고능력소를 자연번식에 의한 품종개량을 시도한다 해도 어미소의 유전적 능력을 간직한 소의 생산 확률은 반밖에 안된다. 하지만 시험관 송아지, 핵이식 복제송아지 기법에 의해 경제수명을 다 했거나, 질병 또는 사고에 의해 폐기되는 고능력소의 난소를 얻어 보통의 체외수정기법 만으로도 수십두의 고능력 시험관 송아지를 생산할 수 있고 핵이식기법을 추가하게 되면 동일한 유전능력을 지닌 고능력 송아지를 무한 복제 생산할 수 있다. 또한 종래의 수정란 이식에 의한 방법이 공란우(供卵牛)라는 생체(生體)를 기반으로 하고, 호르몬제를 이용한 과잉 배란(過剩排卵) 처치 등 값비싼 과정을 밟지만 시험관 송아지나 복제 송아지의 생산에는 대부분 과정이 시험관 내에서 이루어지기 때문에 소요 경비가 매우 저렴하다는 측면에서 그 의의가 매우 높다.

또한 비유량이 많거나 양질의

우유를 생산해 내는 특정 유전 능력을 지닌 젖소를 저렴한 가격으로 증식시킬 수 있게 된다.

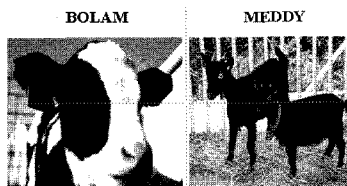
② 형질전환(形質轉換) 동물 생산기법에 의한 가축의 생산성 향상

형질전환동물(또는 유전자 이식동물)이란 어떤 동물 자신이 원래 가지고 있지 않은 외래의 유전자를 재조합(再調合)하여, 이를 동물의 염색체상에 인공적으로 삽입시킴으로서 그 형질의 일부가 변화된 동물을 말한다. 즉 우리가 필요로 하는 유용한 유전자를 실험동물이나 가축에 도입하여 우리가 원하는 바대로의 동물을 만들 수 있는 기술이다.



[인공장기 생산용 형질전환 돼지의 모습도]

그 적용범위는 무궁무진하다고 할수 있는데, 첫째는 성장이 빠르고 사료효율이 높은 고생산성 고품질의 축산물을 생산하는 가축을 개발하여 식량자원을 확보한다는 농축산업적인 응



[사람 락토페린 및 백혈구 증식인자를 각각 대량 생산할수 있는 보람이와 메디]

용이다.

둘째는 우유 성분 조성의 변화, 즉 엄마젖과 유사한 성분의 우유를 생산하는 젖소를 탄생시키고자 하는 연구이며, 셋째는 심장병 치료제로 사용되고 있는 혈전용해제(血栓溶解劑), 항암제 등의 인체생리활성물질(人體生理活性物質)을 형질전환동물(形質轉換動物)의 젖샘을 통해 대량생산하려는 연구이다.

넷째로는 사람에서만 발병하는 각종 난치병에 걸리도록 만든 동물, 즉 질환모델 동물을 개발하여 질환의 연구 및 치료제 개발에 이용하는 것으로 유전병, 간염, 에이즈 및 각종 암질환 모델생쥐가 이에 해당된다.

다섯째 실험관내에서의 실험만으로 해석할 수 없는 각종 유전자의 기능에 대한 연구가 형질전환 생쥐를 실험동물로 이용하여 활발하게 추진되고 있다.

마지막으로 질병에 대한 저항성이 강한 동물을 개발하고자 하는 연구이다.

6. 생명공학의 미래

복제 양을 탄생시킨 로슬린 연구소에서는, 한 개의 양 세포로 무수한 양을 복제하게 되면 목축업계에 도움이 될 것이라는 생각으로 연구를 시작했다고 한다.

동물복제를 통해 우생학(優生學)적으로 우수한 가축을 대량으로 생산하여 식량난을 해결할 수 있고, 유전학 연구와 질병 연구에 큰 도움이 되며 이식용장기를 대량으로 생산할 수 있다는 것이다.

동물복제 등 생명공학 기술은 원래 인간이 건강하고 풍요로운 삶을 누리도록 하기 위해 시작된 과학의 한 지류이다.

즉, 동식물의 품종개량 수단으로는 현존하는 어느 방안보다도 효과적이다. 이를 통해 식량증산을 이루어 기아문제가 해결될수 있다.

특히 우리나라와 같이 척박한 토질과 좁은 국토를 지닌 자원빈국에서는 우량 형질을 보급하여 농민의 소득을 증대시키고 국제 경쟁력을 확보할 수 있게 될 것이다.

가축에의 복제기술에 있어서 가장 큰 흐름은 복제기술의 산업적·의학적 응용이다. 맛좋은

고기를 가진 한우와 우유속에 값비싼 특수 단백질이 포함된 젖소는 우리나라에서도 머지않아 양산될 전망이다. 돌리를 탄생시킨 '이안 월머트'는 치료용 단백질을 분비하는 가축을 5년 안에 상업적으로 기르게 될 것이라고 내다본다. 관련 기술 개발도 활발하다. 미국 '코네티컷대' 과학자들은 최근 형질전환(形質轉換) 동물을 기르는 시간을 단축하는 획기적 기술을 개발했다. 연구자들은 태어난지 두 달 밖에 안된 암송아지에서 난자를 추출해 인공배양한 다음 대리모(代理母)를 이용해 송아지를 출산시키는 데 성공했다. 난자를 제공한 암마소 '의 나이는 불과 11달이었다.

또한 혈우병의 치료제인 안티 트롬빈, 당뇨병 치료제인 인슐린, 각종 암의 치료제인 인터페론 등을 대량생산하는 형질전환 동물을 개발하여 치료약제로서 이용될 수 있다.

또한 머지않은 장래에는 인간의 내장과 비슷한 돼지에 이런 기술을 적용하여 사람의 장기이식에 이용될 수 있는 심장, 간장, 신장 등 장기를 얻을 수 있을 것이다.

실제로 인간 게놈연구소에서는 지금 우라늄을 먹어치우는

생물을 만들어내는 작업을 하고 있다. 메탄이나 천연가스 등 연료를 화석연료가 아닌 실험실에서 만들어내 오염을 원천적으로 없애버리는 실험도 계속된다. 식량증산과 관련해서 이미 슈퍼감자 등으로 그 가능성이 입증돼 있고 일본의 체세포를 이용한 쌍둥이 젖소는 슈퍼 소의 개발이 멀지 않다는 걸 보여주는 것이다. 이미 '오스트레일리아 멜버른 왕립여성병원'의 '로저 쇼트' 교수가 최근 사람의 정자를 생산하는 데 생쥐의 고환을 대신 사용할 것이라고 밝힌 바 있다. 복제기술이야말로 각종 우려에도 불구하고 21세기를 지배할 제3의 새로운 산업을 만들어내는 황금알을 낳는 거위'가 되고 있는 것이다.

그러나 한편으로는 이 기술이 인간복제에 이용되어 인간의 존엄성이 훼손되며 사회적 혼란을 야기시킬 수도 있다는 주장이 거세게 일고있다.

특히 종교계에서는 복제기술이 '생명의 존엄성을 해치며 자연질서를 파괴하는 행위'라고 규탄하고 있다. 한편, 복제 기술이 인위적으로 악용될 경우도 생각해보아야 한다. 이를테면 부작용 없는 장기이식을 위해 자신의 세포를 이용하여 복제인간을

만들어낸 뒤 신체 일부를 떼어내고 죽일 수도 있다는 것이다.

그리고 이 기술로부터 인간의 통제가 불가능한 새로운 생명체가 탄생되어 인류를 재앙에 빠뜨릴 생물재해의 근원이 될 수도 있을 것이다. 대부분의 자연과학은 유용성과 위해(危害)요소를 동시에 지니고 있다.

이미 개발된 과학기술은 되돌릴 수 없다. 제제를 가하더라도 과학자들의 탐구심은 막을 수 없을 것이고, 최선의 방법은 과학이 인간에게 유용하게 이용될 수 있도록 인간이 과학을 통제하고 조정해야 한다는 것이다.

그 통제기능이 상실되기 전에 제동장치가 마련되어야 하지 않을까?

[참고자료]

- 생명공학과 인간생활 : 황우석교수(서울대 수의학과)
- 인간복제 좋은가? : 박용봉교수(제주대 농과대)
- 동물생명공학 : 한용만, 이경광(축산연 동물 발생공학연구실)-비전과 토픽(동물생명, 99년8월호)
- 복제기술에 게임의 규칙을 : 황상의교수(서울대 의대)
- 게놈 프로젝트(신의 영역 흔들... '생명복제') : 한국경제신문 기술/정책 리포트(2000.1.3)
- 'A clone in Sheep's Clothing' : Tim Beardsley, staff writer - Scientific American, 1997.3
- Cloning and genetic modification (Application in medicine) : Roslin Institute, Edinburgh, Annual Report, 1997.12
- Cloning and nuclear transfer(Nuclear transfer technology) : Roslin Institute, Edinburgh, Annual Report, 1997.1