

OECD 유전체 편집기술 회의: 농업분야의 적용

조재성*

1. 서론

국제사회는 UN의 지속가능개발목표(Sustainable Development Goals, SDGs) 중 하나인 전 세계적인 기아와 영양불량의 종식을 위해 노력하고 있다. 하지만 유엔식량농업기구(Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO)에 의하면 세계 영양부족인구는 2015년 7억 7,700만 명에서 2016년에는 8억 1,500만 명으로 오히려 증가한 것으로 나타났다(FAO 2017). 식량 문제는 산업화 및 도시화로 인한 농경지 감소와 세계 인구의 증가 및 기후변화로 인해 앞으로도 지속될 가능성이 높다.

주요 식량 작물의 생산량 증대를 위해서는 단위면적당 생산량 증가나 경작면적의 확대가 필요하다. 유전자 변형(Genetically Modified Organism, GM) 작물로 단위면적당 생산량을 늘리는 것이 가장 쉽고 현실적인 방안이다.

현재 재배하고 있는 GM 작물은 형질 개량을 유도하는 외래 유전자를 작물 세포에 투입하는 유전자 변형기술(Genetic Modification, GM)을 이용하여 만들었다(Royal Society 2016). 유전자 변형기술은 전통적 육종기술(Conventional Breeding Techniques, CBT)보다 효율성과 경제성이 높다. 기존의 육종기술은 시간과 비용 소모가 크고 무작위적인 유전자 변화가 발생할 가능성이 높기 때문이다.

GM 작물은 형질 개량을 위해 외래 유전자를 사용하기 때문에 유전자 변이와 같은 부작용이 발생할 수 있다. 심각한 경우 부작용은 세대를 걸쳐 지속될 수도 있으며, 인류나 환경에 치명적인 종의 출현을 초래할 수도 있다. 하지만 이 같은 우려를 뒷받침할만한 객관적이고

* 충남대학교 동물자원과학부 조교수 (kor0025cho@cnu.ac.kr).

명확한 증거는 없다. 이와는 대조적으로 126명의 노벨상 수상자들은 2016년 GM 작물에 대한 지지성명을 발표했다(Roberts 2017). 영국 왕립학회도 ‘GM 작물: 질의 및 응답(GM plants: Questions and answers)’에서 정부가 관리하는 GM 작물은 기존의 육종기술로 개량한 작물만큼 안전하다고 설명했다(Royal Society 2016).

2015년 과학전문학술지 사이언스는 ‘올해의 획기적 연구(Breakthrough of the Year)’로 3세대 유전체 편집기술(Genome Editing, GE)인 크리스퍼(CRISPR)를 선정했다(Science 2015). 유전체 편집기술은 유전자를 제거·첨가·수정하는 기술로 육종기술이나 유전자 변형 기술보다 훨씬 빠르고 정확하며, 유전자 변형기술과는 달리 외래 유전자의 삽입 없이도 특정 유전형질을 제거하거나 변형할 수 있다. 크리스퍼는 2013년 개발되었음에도 불구하고 이미 인간과 동식물의 질병 치료 및 예방, 동식물 육종 분야의 발전에 크게 이바지하고 있다.

OECD 사무국은 유전체 편집기술의 잠재력과 파급효과를 고려하여 이와 관련한 다양한 논의를 진행하고 있다. 이 글은 2018년 6월 개최된 ‘OECD 유전체 편집기술 회의: 농업분야 적용(OECD Conference on Genome Editing: Applications in Agriculture)’에 관한 내용(OECD 2018)을 중심으로 농업분야 유전체 편집기술의 적용 현황 및 연구 동향을 정리하였다.

2. 유전체 편집기술의 활용

2.1. 유전체 편집기술의 개요

생체의 유전 정보는 두 가닥으로 구성된 DNA에 저장되어 있다. 생체는 자연 상태에서도 엑스레이나 자외선에 의해 DNA가 손상되면 DNA를 복제할 때 해당 DNA를 절단하고 보수하는 기전이 있다. 이를 인위적으로 이용하여 동식물 및 미생물의 세포핵에 존재하는 특정 DNA 염기서열을 제거·첨가·수정하는 기술이 유전체 편집기술이다.

유전체 편집기술은 ‘유전자 가위’로도 불린다. 이유는 유전체 편집기술이 특정 유전자의 DNA 염기서열 부분을 인식하는 단백질 또는 RNA(재단사)와 해당 부위를 잘라내는 제한효소(가위)로 구성되기 때문이다. 즉, 유전체 편집기술은 목표 유전자를 식별한 후 가위로 자르듯이 잘라내고 수정하는 기술이다.

<그림 1> 유전자 가위 개념도



출처: 산은조사월보 제743호(2017. 10.).

유전체 편집기술은 개발 순서에 따라 1세대, 2세대, 3세대로 구분된다. 1세대인 징크핑거 뉴클레이즈(ZFN)는 2003년, 2세대인 탈렌(TALENs)은 2010년, 3세대인 크리스퍼(CRISPR)는 2013년에 개발되었다.

목표 유전자 식별을 위해 징크핑거 뉴클레이즈는 징크핑거 단백질, 탈렌은 TALE (Transcription Activator-Like Effector) 단백질, 크리스퍼는 가이드 RNA를 이용한다. 유전자 절단을 위해 징크핑거 뉴클레이즈와 탈렌은 Fok1, 크리스퍼는 Cas9이라는 제한효소를 사용한다<표 1 참조>.

<표 1> 유전체 편집기술의 세대별 특성

구분	1세대 (징크핑거 뉴클레이즈)	2세대 (탈렌)	3세대 (크리스퍼)
유전자 인식	징크핑거 단백질	TALE 단백질	가이드 RNA
유전자 절단	Fok1	Fok1	Cas9
제작 용이성	복잡	간단	매우 간단
생산비	5,000 유로	1,000 유로	10 유로
실험 기간	수개월(months)	수개월(months)	수일(days)

출처: OECD(2018) 중 Global developments of genome editing in agriculture.

유전체 편집기술은 유전자 변형기술보다 성공률과 정확성이 높고 사용이 간편하여 유전자 변형기술을 빠르게 대체하고 있다. 특히, 크리스퍼는 이전 세대 유전자 가위보다 제작이 쉽고 저렴하여 소규모 기업이나 연구소에서도 이용할 수 있다. 이러한 장점 때문에 크리스퍼 관련 기술과 적용분야는 엄청난 속도로 증가하고 있다. 최근 유전체 편집기술 관련 과학전문 학술지에서는 BC라는 약어가 기원전이라는 의미 대신 크리스퍼 도입(2013년) 이전 시기(Before CRISPR)를 의미할 정도이다(Urnov 2018).

2.2. 농업분야 유전체 편집기술 현황 및 연구 동향

2.2.1. 작물¹⁾

작물 분야에서 유전체 편집기술은 작물의 해충 및 질병에 대한 저항성, 날씨나 온도 등 생육환경에 대한 적응성, 품질 및 경제성 향상을 위해 활용되고 있다. 현재 유전체 편집기술로 개발 및 상용화된 작물에는 갈변 현상을 완화한 버섯과 감자, 영양 가치를 높인 밀과 콩 등이 있다<표 2 참조>.

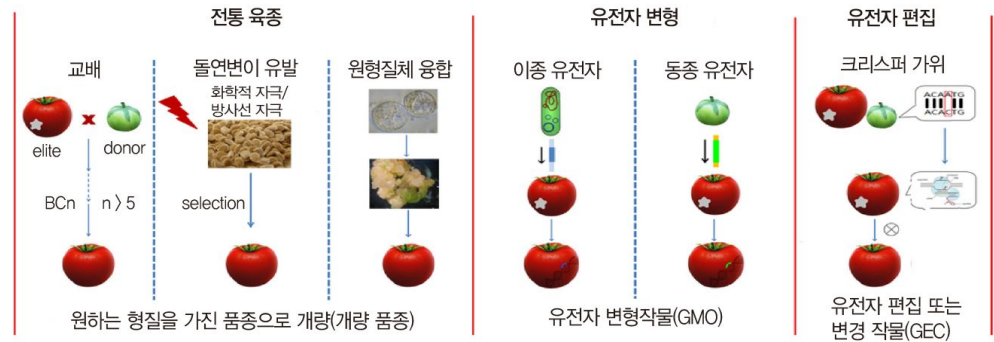
<표 2> 유전체 편집기술로 개량한 작물 상용화 현황

작물	특징	적용 기술	개발사
버섯	갈변 현상 완화(polyphenol oxidase 발현 감소)	크리스퍼	Penn State Univ.(미국)
감자	갈변 현상 완화(polyphenol oxidase 발현 감소)	탈렌	Calyxt Inc(미국)
밀	글루텐 함유량 감소 및 섬유질 함유량 증가	탈렌	Calyxt Inc(미국)
콩	오메가-9 지방산인 올레산 함유량 증가	탈렌	Calyxt Inc(미국)

출처: OECD(2018) 중 Global developments of genome editing in agriculture.

상용화 작물 개발에 사용된 탈렌과 크리스퍼의 도입 연도가 각각 2010년과 2013년이라는 점을 고려하면 유전체 편집기술이 작물 육종 프로그램을 단축하는 데 크게 기여하고 있음을 알 수 있다. 유전체 편집기술은 과거 7~25년이 소요되었던 작물 육종을 짧게는 2~3년으로 단축했다. 작물 개량 과정에서 유전체 편집기법(GE)과 유전자 변형기법(GM) 및 전통 육종기법(CBT)의 차이점은 <그림 2>와 같다.

<그림 2> 작물 품종 개량 방법 비교



출처: Huang et al(2016).

1) OECD(2018)과 Riccroch et al(2017)을 바탕으로 작성함.

현재 유전체 편집기술로 개발하고 있는 작물은 주로 해충 및 질병에 대한 저항성과 환경 적응성이 높은 작물이다<표 3 참조>. 이들 작물이 상용화되면 단위면적당 수확량 증가, 공급의 안정성 증가, 경작 가능 지역의 확대, 기후변화 피해 감소 등의 효과를 기대할 수 있다.

<표 3> 유전체 편집기술을 활용한 작물 개량 연구 동향

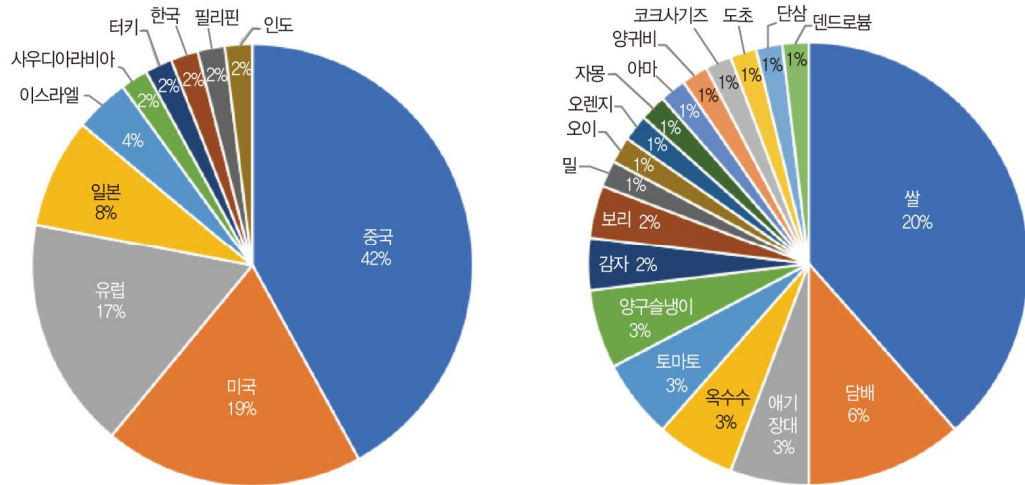
작물	특징
해충 및 질병 제어	• 카사바 갈색 줄무늬병, 모자이크병 • 시금치 누른 오갈병 • 사과 화상병 • 밀 곰팡이병 • 오렌지 녹화병 • 옥수수 치사괴사병 • 아몬드 선충 • 토마토 역병 • 포도 흰가루병 • 토마토 황화잎말림바이러스
잡초 제어	• 제초제 저항 카놀라 • 제초제 저항 쌀 • 제초제 글리포세이트 저항 아마
비생물학적 스트레스 저항	• 기후변화 대응 • 가뭄(토마토), 홍수, 염분(쌀), 극서/극한(감자) • 질소 결핍(쌀)

출처: Ricroch et al(2017).

최근(2014-2017년) 작물 유전자 변경에 크리스퍼 유전자 가위를 이용한 논문 발표를 국가 별로 살펴보면, 총 52개의 논문 중 42%에 해당하는 22편의 논문이 중국에서 발표되었으며, 미국과 유럽²⁾이 각각 10편과 9편으로 뒤를 이었다. 작물별로는 중국의 영향으로 쌀에 관한 연구가 전체의 20%로 가장 많았고 특용작물인 담배에 관한 연구가 전체의 6%로 뒤를 이었다<그림 3 참조>. 쌀은 중국, 담배는 중국과 유럽, 옥수수는 미국에서 주로 연구되었다<그림 4 참조>.

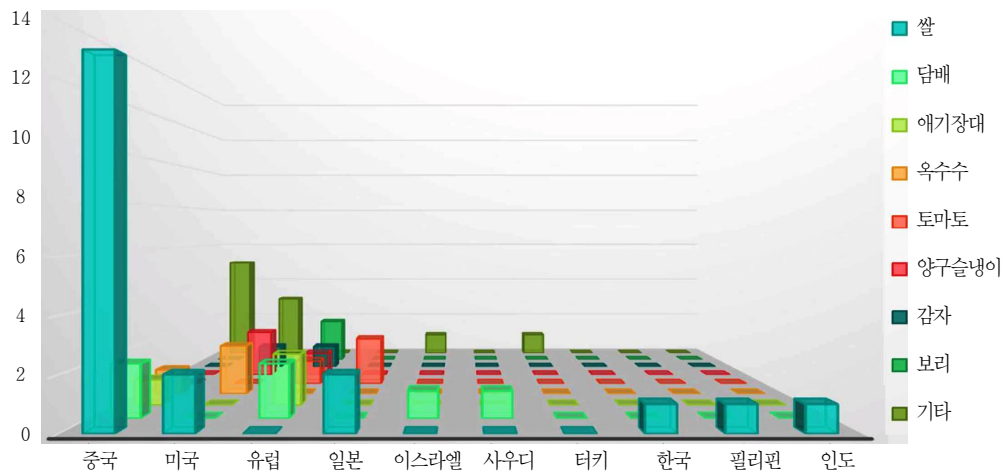
2) 영국, 스웨덴, 프랑스, 헝가리, 독일, 오스트리아, 벨기에.

<그림 3> 작물 유전 변경에 관한 연구논문(2014-2017)의 국가별·작목별 비중



출처: Ricroch et al(2017).

<그림 4> 작물 유전 변경에 관한 연구논문(2014-2017)의 국가별·작목별 논문 편수



출처: Ricroch et al(2017).

2.2.2. 동물³⁾

유전체 편집기술은 가축의 질병 예방, 사육환경에 대한 적응성 증대, 번식능력 향상, 성장 촉진, 동물복지 향상, 실험동물 개발 등 다양한 분야에 활용할 수 있다. 특히, 기존 육종기술을 비용 효율적으로 대체할 수 있다. 동물은 번식 주기가 길고 번식 횟수도 제한적이기

3) OECD(2018)과 Ruan et al(2017)을 바탕으로 작성함.

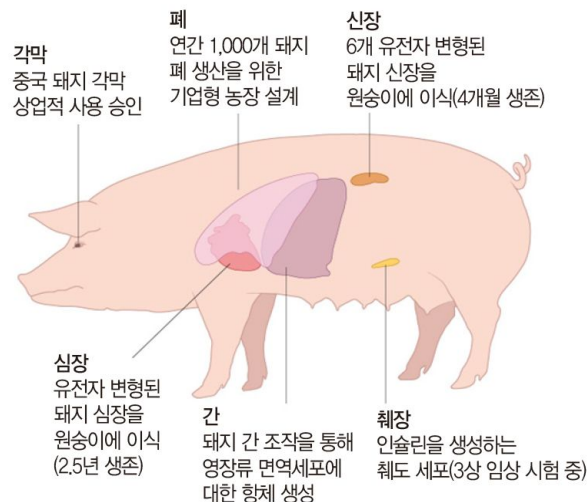
때문이다.

가축의 생산성 및 육질 향상을 위해서는 체내에 산재해 있는 다양한 유전자에 대한 복합적이고 정밀한 교정이 필요하다. 가축의 성장과 발달에는 다수의 유전자가 관계되기 때문이다. 따라서 돼지, 소, 양, 염소 등을 대상으로 다양한 유전자 변경 관련 연구가 진행되고 있으나, 품종 개량 관련 연구의 경우 아직까지 상용화 단계에는 이르지 못하고 있다.

유전체 편집기술을 가축에 적용한 연구 중 다수는 돼지를 대상으로 이루어졌다. 돼지를 대상으로 한 연구에는 수정란의 유전자 교정, 면역결핍, 근육량 증가, 불포화지방산 함량 증가, 지방 함량 감소, 저온 적응성 향상, 질병 저항성 확보 등에 관한 연구가 있다. 이중 면역결핍 돼지와 질병 저항성을 가진 돼지의 생산은 향후 관련 산업에 미칠 파급효과가 매우 클 것으로 예상된다.

먼저, 면역결핍 돼지는 이중 간 장기 이식에 활용할 수 있다. 이중 간 장기 이식 시 가장 큰 문제가 면역 거부 반응이기 때문이다. 따라서 면역결핍 돼지에 사람의 장기를 이식하면 인간 장기에 대한 다양한 질병 및 질병치료 연구를 할 수 있다. 반대로 인간의 면역 체계에 거부 반응을 일으키지 않는 돼지를 생산하여 돼지의 장기를 사람에게 이식할 수도 있다. 이미 중국에서는 돼지 각막을 사람에게 이식하였으며, 이 밖에도 유전체 편집기술을 이용한 돼지와 인간 간 장기이식에 관한 다양한 연구와 실험이 진행 중이다<그림 5 참조>.

<그림 5> 돼지를 이용한 이중 간 장기 이식 실험 현황



출처: OECD 2018(Global developments of genome editing in agriculture), Reardon(2015).

가축 질병 특히, 전염성 가축 질병은 농가 소득뿐만 아니라 동물 복지와 무역 등에도 심각한 피해를 주기 때문에 유전체 편집기법을 활용해 질병에 걸리지 않는 가축을 만들려는 시도가 꾸준히 이뤄지고 있다. 현재까지 주목할 만한 연구 성과는 두 가지이다. 첫째, 크리스퍼 기술을 활용하여 돼지생식기호흡기증후군(Porcine Reproductive and Respiratory Syndrome, PRRS)⁴⁾에 걸리지 않는 돼지가 만들어졌다. 둘째, 징크핑거 뉴클레이즈 기술을 이용하여 아프리카돼지열병(African Swine Fever, ASF)⁵⁾에 저항성을 갖는 야생 멧돼지(warhog)의 유전자를 돼지에 주입하는 연구가 성공한 상태다. 두 질병 모두 심각한 경제적 손실을 유발하는 질병이므로 이들 질병에 저항성을 가진 돼지가 상용화된다면 농가 소득 증대와 동물 복지 향상에 크게 기여할 것으로 보인다.

돼지 외 축종을 대상으로 한 연구는 상대적으로 적다. 소를 대상으로 한 연구에는 수정란의 유전자 교정, 결핵(Tuberculosis) 감수성⁶⁾ 저하, 우유 성분 변화, 근육량 증가, 젖소 땀 제거, 육우 성별 및 형질 결정 등이 있다. 이 밖에 염소와 양을 대상으로 근육량 증가 등에 관한 일부 연구가 수행되었다.

3. 유전자 편집 관련 주요 이슈

3.1. 위험 및 안전성

유전체 편집기술을 포함해 모든 형태의 유전자 조작은 암 유발 및 유전자 변이와 같은 알 수 없고 예상할 수 없는 부작용에 대한 논란이 있다. 여기에는 유전자 조작 과정에서 의도치 않게 추출되는 물질 또는 유전자가 환경을 오염시켜 또 다른 부작용을 유발할 수 있다는 우려도 포함된다. 특히, 자연적으로는 불가능한 이중 유전자를 이용한 신종 개발 등은 유전자 변이 등에 대한 우려가 더욱 클 수밖에 없다. 심각한 경우 부작용은 세대를 걸쳐 지속될 수도 있으며, 인류나 환경에 치명적인 종의 출현을 초래할 수도 있다.

4) 돼지생식기호흡기증후군은 유럽, 북미, 아시아에서 가장 큰 경제적 손실을 유발하는 돼지 전염병으로 미국과 유럽에서만 매년 25억 달러의 손실이 발생하고 있음.

5) 아프리카돼지열병은 주로 사하라 이남 아프리카에 풍토병으로 존재하는 출혈성 돼지 전염병으로 이병률이 높고 급성일 경우 치사율이 100%에 이르는 질병임.

6) 질병에 감염될 수 있는 능력으로 감수성이 낮으면(높으면) 질병에 감염될 가능성이 낮은(높은) 것을 의미함.

유전체 편집기술은 기본적으로 외래 유전자와는 무관하게 생물이 가진 특정 유전자를 절단하는 기술이다. 하지만 이 경우에도 유전자에 인위적인 조작을 가한다는 측면에서 여전히 알 수 없고 예상할 수 없는 위험에 대한 우려가 존재하며, 생명윤리적 논란에서 벗어날 수 없다.

막연한 우려만 존재하는 것은 아니다. 유전체 편집기술의 가장 큰 문제점은 의도하지 않은 부분이 절단되는 비표적절단(Off-target cuts)이다. 극단적인 경우 생명이 위험하거나 신체 기능 일부를 잃어버릴 수 있다. 또한, 유전자 교정을 위해 삽입하는 단백질, RNA, 제한효소 등이 체내에 일시적 또는 지속해서 잔존하는 경우 예상하지 못한 문제가 발생할 수 있다. 즉, 특정 유전자를 인식하는 단백질 또는 RNA가 체내에 잔존해 있는 상태에서 우연히 해당 유전자를 절단하는 제한요소와 만날 경우 비표적절단이 일어나거나 유전적 변이가 발생할 수 있다. 특히, 목표 유전자를 인식하기 위해 사용하는 단백질 또는 RNA가 인식하는 유전자가 많은 경우 비표적절단의 위험이 커진다.

다양한 유전자 조작기법의 개발과 발달로 유전자변형생물에 대한 우려가 확산함에 따라 국제사회는 2000년 세계 3대 환경협약 중 하나로 알려진 생물다양성협약(Convention on Biological Diversity)의 부속 의정서로 바이오안전성의정서(Cartagena Protocol on Biosafety, CPB)를 채택하였다. 유전자 변형에 관한 최소한의 안전성 확보를 목표로 채택된 CPB는 협약 체결국에게 생명공학기술로부터 나온 모든 유전자변형생물체의 개발, 취급, 운송, 이용, 이전, 방출과 관련한 행위가 인체 건강 및 생물 다양성에 미칠 수 있는 위험을 예방하고 줄이기 위한 적절한 조치를 취하도록 규정하고 있다.

OECD는 CPB의 이행에 있어 회원국 간의 생명공학기술 규제법 및 제도 관련 이견을 조율하기 위해 생명공학 규제감시조화 작업반(Working group on Harmonization of Regulatory Oversight in Biotechnology)과 신종 식품 및 사료의 안전성에 관한 실무팀(Task Force for the Safety of Novel Foods and Feeds)을 구성 및 운영하고 있다. OECD는 두 조직을 통해 유전자변형생물체의 위해성 평가에 대한 기술합의서를 개발하고 관련 정보들을 데이터베이스인 바이오트랙온라인(Bio-Track Online)를 통해 회원국 및 비회원국에 공개하고 있다.

3.2. 규제 현황⁷⁾

유전체 편집기술의 짧은 역사로 아직 국제적으로 통용되는 유전체 편집기술 및 이용에 관한 명확한 규정 및 규제는 마련되지 않았다. 다만, 유전체 편집기술과 관련한 다수의 기업이 미국과 유럽에 위치하며, 상당수의 연구가 해당 지역에서 수행되므로 미국과 EU의 관련 규제 및 입장이 국제적으로도 매우 중요하다.

EU는 유럽의회, 각료이사회, 집행위원회와 회원국들이 공동으로 GM 작물 및 관련 식품과 사료(편의상 이하 'GMO'로 표기)를 관리하고 있다. EU는 GMO 관련 주요 분야를 ① 미생물의 밀폐이용, ② 환경방출, ③ 식품 및 사료, ④ 국가 간 이동, ⑤ 표시제 및 이력추적, ⑥ GM 작물의 재배 권한으로 구분하고 각 분야에 대한 규정(Regulation) 및 지침(Directive)을 제정하여 규제하고 있다<표 4 참조>.

<표 4> EU의 GMO 관련 주요 규정

분야	규정 및 지침	내용
환경방출	지침 2001/18/EU	실험목적으로 GMO를 방출하는 행위(시험재배 등)와 GMO를 포함하고 있는 제품의 시장출시 행위(재배, 수입)를 규제
식품 및 사료	규정 1829/2003	GMO로 이루어지거나 GMO를 포함하는 식품 및 사료의 시장출시 및 판매 유통 행위를 규제
회원국의 GM작물 재배 금지	지침 EU 2015/412	EU 차원에서 재배 승인된 GMO에 대한 재배결정 권한을 회원국에 부여
표시 및 이력추적	규정 1829/2003 규정 1830/2003	GMO 또는 GM식품 및 사료의 표시 및 이력추적을 규제
밀폐 이용	지침 2009/41/EU	밀폐상태에서 바이러스나 박테리아와 같은 GM미생물의 연구 또는 산업적인 활동 수행을 규제(실험실 내 모든 행위 포함)
국가 간 이동	규정 1946/2003	EU 회원국과 비회원국(제3국) 간 GMO의 의도적, 비의도적 이동을 규제(역내 의도적인 이동은 적용 제외)

출처: 유럽 위원회, 한국생명공학연구원(2017) 재인용.

유전체 편집기술로 생산된 작물 및 관련 식품과 사료(편의상 이하 'GEO'로 표시)가 GMO에 해당하는지에 대한 논란은 2018년 7월 EU의 최고법원 격인 유럽사법재판소의 판결로 일단락되었다. 유럽사법재판소는 GEO도 GMO에 해당하며, 따라서 유럽연합의 GMO 관련 법규인 2001 GMO 지침(2001 GMO Directive)에 따라 인체 건강과 환경 영향에 미치는

7) OECD(2018)과 한국생명공학연구원(2017)을 참고로 작성함.

위험성을 평가받고 규제받는 절차를 따라야 한다고 판결하였다.

유럽과 같이 GMO만을 대상으로 한 독자적인 규제가 없는 미국은 1986년에 발표된 생명공학기술 규제를 위한 협력체계(Coordinated Framework for Regulation of Biotechnology)를 기초로, GMO 특성에 따른 관계기관 및 역할을 규정하여 GMO를 관리해 왔다. 하지만 해당 협력체계가 제정된 지 30년이 지남에 따라 2015년부터 GMO 규제 담당기관의 규제구조 개선 추진 계획을 진행하여 2017년 GMO 규제체계 개선안을 발표하였다. 개선안은 최신 과학을 기반으로, ① 인체 및 환경을 보호할 수 있는 높은 기준 유지, ② 투명성, 협력, 예측 가능성을 향상하는 협력체계의 효율화, ③ 명확하고 투명한 대중 참여를 통한 생명공학제품 감독에 대한 대중 신뢰 향상을 위해 마련되었으며, 개선안은 각 기관의 현재 역할과 책임을 명확히 하고 있다(한국생명공학연구원 2017).

<표 5> 미국 GMO 관련 규제체계 개선안에 따른 각 기관별 역할 및 관련법

분야	내용
환경방출	• 동식물검역원(APHIS) : 해충과 질병으로부터 농업을 보호 - 동물건강보호법(Animal health Protection Act) - 식물보호법(Plant Protection Act) - 바이러스·혈청·독극물관리법(Virus-Serum-Toxic Act)
식품 및 사료	• 식품안전성검역원(FSIS) : 육류, 가금류, 달걀 제품의 공급과 관련된 공공보건(FDA는 식품 소비 목적의 고기, 가금류, 달걀, GM 유래 어류의 안전성 검토를 FSIS에 통지할 예정) - 연방육류검역법(Federal Meat Inspection Act) - 가금류검역법(Poultry Products Inspection Act) - 계란류검역법(Egg products Inspection Act)
회원국의 GM작물 재배 금지	• 식품 및 사료, 화장품, 인체용·동물용 의약품, 생물제제, 의학장비 등 다양한 범위의 제품을 규제 - 연방식품·의약품·화장품법(Federal Food, Drug, and Cosmetic)을 통해 GM식물 유래 식품 및 사료, GM동물, GM 유래 인체용 의약품, 생물제제, 의학장비 규제 - 공중보건법(Public Health Service Act)
표시 및 이력추적	• 인체 건강 및 환경 보호, 생명공학제품이 새로운 생물체일 경우 규제 - 연방살충제·살균제·위약관리법(Federal Insecticide Fungicide, and Rodenticide) - 연방식품·의약품·화장품법 section 408(Federal Food, Drug, and Cosmetic) - 독극물 관리법(Toxic Substances Control Act)

출처: 한국생명공학연구원(2017) 재인용.

미국은 EU와는 달리 GEO를 GMO와는 구분한다는 입장이다. 미국 농무부(USDA)는 외래 유전자가 삽입되지 않은 유전자 변형 생산물에 대해 규제하지 않을 것을 기본으로 하고 있다. 미국 농무부는 과거에도 유전체 편집기술로 개발된 옥수수 및 벼에 대한 규제를

하지 않았다. 다만, 관련 제품들은 소비자의 식탁에 오르기 전에 미국 환경보호청(EPA)과 식품의약국(FDA)의 승인을 받아야 한다. 미국은 앞으로도 유전체 편집기술을 포함한 식물 육종기술에 대해 해충 또는 이를 이용해서 개발된 경우가 아니면 규제할 계획이 없다고 발표했다. 하지만 가축분야는 좀 더 엄격히 다루어지고 있다. 미국 식품의약국은 유전자 변형 동물을 의약품으로 간주하고 있으므로 유전체 편집기술을 이용하여 생산된 동물도 엄격히 규제할 것이라 밝히고 있다.

이 밖에 아르헨티나, 호주, 뉴질랜드는 새로운 유전자가 삽입되지 않는 경우에는 별도의 규제를 하고 있지 않지만 삽입되는 경우에는 안정성 평가를 받도록 하고 있다. 마지막으로 유전체 교정기술을 활용한 연구가 가장 활발한 국가 중 하나인 중국은 농업 유전자변형생명체 안정성 규정에 따라 유전자가 변형된 모든 농산물은 GMO로 간주하고 있다. 다만, 아직까지 GEO에 대해서는 입장을 명확히 하지 않고 있다.

4. 결론

신토불이(身土不二)란 몸과 땅은 하나라는 뜻으로 우리 땅에서 생산된 농산물이 우리 몸에 잘 맞는다는 의미이다. 신토불이란 용어는 우루과이라운드 협상으로 농산물 시장이 개방된 1990년대 국산 농산물 소비를 촉진하기 위해 널리 사용되기 시작했다. 그로부터 20여 년이 지난 지금에는 신토불이보다는 유기농, 동물복지, HACCP, 무항생제, 무농약 등 안전하고 위생적이며 자연 친화적인 먹거리에 대한 소비자의 관심과 수요가 증가하고 있다. 이러한 분위기에서 아무리 노벨상 수상자들이 GMO에 대한 지지성명을 발표하고 GMO의 안전성이 저명한 학술지나 언론을 통해 소개된다고 하더라도 사람들은 심리적 거부감을 가질 수밖에 없다. 하지만 식량부족 문제와 식량 산업의 환경변화를 고려할 때 언젠가는 GEO를 원료로 하는 식품이 우리 식탁에 올라올 가능성이 크다.

식량 및 영양부족 문제는 현재도 심각하며, 인구의 지속적인 증가와 기후변화 등으로 인해 미래에는 더욱 심각해질 전망이다. 김용 세계은행 총재는 2014년 영국 가디언과의 인터뷰에서 10년 내 물과 식량 부족으로 전쟁이 일어날 수 있다고 경고하였다. 안타깝게도 현재로서는 GMO 및 GEC만큼 식량 문제 해결을 위한 현실적인 방안을 찾기 어려운 상황이

다. 또한, 세계 종자 시장을 주도하고 있는 미국의 다우듀폰, 중국의 쉐닝, 독일의 바이엘 등 거대 기업들은 이미 유전체 편집기술을 종자 개발에 적극 활용하고 있다. 가까운 미래에 가격경쟁력 및 생산성과 기능성을 앞세운 GEC가 전 세계적으로 재배되는 작물 대부분을 차지할 가능성이 높다. 따라서 이에 대한 선제적 준비와 노력이 필요하다.

우선, 유전자 편집에 대한 위해성과 안전성을 고려하여 유럽연합과 같이 GEO에 대해 신중한 태도를 보일 필요가 있다. 다만, 앞서 언급한 바와 같이 외래 유전자가 삽입되는 경우와 외래 DNA 염기서열이 도입되지 않는 경우를 구분하여 규제해야 한다. 두 방식은 위험성 측면에서 큰 차이를 가지기 때문이다. 또한, 학술 목적인 경우 규제를 최소화하여 관련 과학기술 발달을 촉진하도록 해야 한다. 유전체 편집기술을 이용한 농작물 및 가축 생산은 특정 지역 혹은 특수 목적을 달성하기 위해 다양하게 활용할 수 있기 때문이다. 내서성, 내한성, 특정 병충해에 강한 종자 개발 및 사용, 비타민 혹은 단백질(아미노산 함량 변화)의 구성이 조절되어 영양소 보충 혹은 균형에 기여할 수 있는 농산물, 질병 저항성 및 동물 복지를 고려한 가축 생산이 그 예이다.

참고문헌

- 한국생명공학연구원. 2017. *2017 바이오안전성백서*. 한국생명공학연구원.
- FAO. 2017. *The State of Food Security and Nutrition in the World 2017. Building resilience for peace and food security*. FAO.
- Huang, S., Weigel, D., Beachy, R.N., and Li, J. 2016. *A proposed regulatory framework for genome-edited crops*. Nature Genetics, 48(2):109–111.
- Monsanto. 2018. *Monsanto and Pairwise Announce R&D Collaboration to Accelerate Innovation in Agriculture with Gene Editing*. Monsanto News Releases, Mar 20, 2018.
- Reardon, S. 2015. *New life for pig-to-human transplants*. Nature, 527(7577):152–154.
- OECD. 2018. *OECD Conference on Genome Editing: Applications in Agriculture*. OECD.
- Ricroch, A., Clairand, P., and Harwood, W. 2017. *Use of CRISPR systems in plant genome editing: toward new opportunities in agriculture*. Emerg. Top. Life Sci, 1(2):169–182.
- Roberts. 2017. *The Nobel Laureates' campaign supporting GMOs*. Journal of Innovation & Knowledge, 3(2):61–65
- Royal Society. 2016. *GM plants: Question and answer*. Royal Society.
- Ruan, J., Xu, J., Chen-Tsai, R.Y., and Li, K. 2017. *Genome editing in livestock: Are we ready for a revolution in animal breeding industry?* Transgenic Res, 26(6):715–726.
- Science. 2015. *2015 Breakthrough of the Year*. Science.
- Urnov, F.D. 2018. *Genome Editing B.C. (Before CRISPR): Lasting Lessons from the "Old Testament"*. The CRISPR Journal, (1)1:34–46.