

## 작물형질전환의 현황과 한국내의 발전전망 및 과제

한지학<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>경기도 여주 (주)농우바이오 생명공학연구소

# Current Status and Perspective and Future Task in Korea of Crop Genetic Transformation

Chee Hark Harn\*

*Biotechnology Institute, Nongwoo Bio Co., Yeosu, 469-885, Korea*

**ABSTRACT** According to ISAAA report, the global area of genetically modified (GM) crops increased more than 50 fold during the ten-year period from 1996 to 2005 with a sustained double-digit growth rate of 10%. This biotechnology adoption is one of the highest rates of technology adoption in agriculture history and this phenomenon indicates that the industrial value of the GM crops is highly perspective. In addition, the year 2010, 60% of cereal seeds in the global market would be GM or biotechnology related seeds so that the GM crop regards as the second green revolution that could provide a huge impact to food and agriculture. Nevertheless, there has not been any GM variety ever successfully commercialized in Korea and even none of the GM crops has ever been approved for safety testing by risk assessment. This seems that Korean agriculture industry might be indeed lost in the war of future seed market. However, lots of evidence show that Korean scientists have established advanced technologies and protocols to develop GM crops for last 20 years. Actually there have been many cases of successful transformation of crops that were previously known very difficult in transforming. Therefore, Korean agbiotechnology arena firmly holds an infrastructure for developing GM crops with a superior technology. Then what were the problems? Why has even a single GM crop not been commercialized in Korea? The tardiness shown by business in adopting the GM crop is caused by many factors: academical weakness, poor research funding, short knowledge of risk assessment, public concern, no successful experience, lack of professional leaders on GM variety development, lack of systems toward industrialization and inappropriate target transgenes from the beginning. In order to catch up in the race for the new green industry, each one of us in private sectors alongside academia and national research institutes needs to focus altogether on what can be done best in terms of choosing crops, investing fund and establishing a road map for commercialization of GM crops.

### 서 론

미국을 비롯한 여러 나라에서 형질전환작물을 상업화 한 지 올해가 10년째이다. 지난 10년간 형질전환작물의 재배면

적과 재배농가의 수가 빠른 속도로 증가하고 있으며 또한 형질전환작물의 재배를 허가하고 참여하는 국가 역시 늘고 있어서 형질전환작물의 산업적 가치가 매우 큰 것으로 재평가되고 있다. 형질전환 기술 자체는 미국의 육종학, 원예학 그리고 농업관련 교과서에 이미 기본 육종기술로 자리매김하고 있으며 다국적 종자회사에서는 육종에 응용하는 것이 보편화되었다.

\*Corresponding author Tel 031-883-7055 Fax 02-884-7065

E-mail: chham@nongwoobio.co.kr

국내 형질전환작물 개발의 역사는 약 20년 정도 된다. 1986년 농촌진흥청 산하기관인 유전공학연구소(현 농업생명공학연구원)와 과기부 KIST 부속기관인 유전공학연구소에서부터 기초연구를 시작하였고 더불어 각 대학과 국가연구소에서 참여하여 여러 작물의 형질전환작물 개발 기술에 대해서 많은 발전을 하였다. 또한 정부 차원에서는 형질전환작물의 중요성을 인지하여 지난 수년간 연구비가 급증하고 있는 실정이다. 오랫동안 대부분의 형질전환작물 개발은 담배나 애기장대 같은 모델식물이 위주가 되었으나 약 십여 년 전서부터 벼를 중심으로 채소, 과수, 화훼, 임목 등 여러 식물체에 도전을 해 왔다. 그리고 최근에는 농진청, 식약청 등에서 환경과 인체 안전위해성 평가 청구에 대한 심사를 할 수 있게 되었으며 한국생명공학연구소, 농진청 산하기관, 제주대학교 등 형질전환작물 개발에 대하여 위해성 평가 지정기관으로 정해짐으로서 여러 인프라가 국내에서 잘 구축되었다고 볼 수 있다.

그동안 많은 시간과 연구비를 소진하면서 형질전환작물 개발관련 인프라를 구축했지만 그럼에도 불구하고 형질전환작물의 품종화는 고사하고 아직 안전성 평가를 완료하여 심사청구를 한 작물이 없는 것이 국내 현실이다. 따라서 형질전환작물 개발관련 해서 우리가 안고 있는 문제점이 과연 무엇인지 숙지할 필요가 있다. 여러 가지 복합적인 사유가 있겠지만 크게 3가지로 볼 수 있는데, 첫째는 아직도 우리의 전반적인 역량이 부족하다는 판단이다. 즉 형질전환 기술을 산업적으로 응용하는 실력이 부족하고, 인력과 연구비가 선진국에 비하면 턱없이 부족하다는 것이다. 둘째는 상업성을 위한 정확한 유전자를 선발하여 형질전환작물을 개발하고 이에 따른 품종화, 위해성 심사 그리고 상업화가 추진되어야 하는데 그렇지 못한 것이다. 형질전환체는 급하게 만들었지만 실지 상업성 가치가 없는 것들이 대부분이어서 많은 시행착오로 완전한 형질전환작물을 개발 못하고 있는 것이다. 시작서부터 상업화전까지 최소 10년이 걸리는 작업이니 개발자는 처음 설계서부터 상업성을 참고해야 할 것이다. 셋째는 형질전환 육종을 제대로 하여 계통과 품종을 만들 수 있는 육종가가 부족하여 상업적으로 가는 로드맵이 병목으로 되어 있다. 주로 분자생물학자가 형질전환작물 개발을 시작하는데 특성이 어느 정도 증명이 되면 transgenic 이후 세대의 육종작업에 관해서는 육종가에게 맡겨야 한다. 형질전환체는 transgene 특성만

보인다고 해서 다 된 것이 아니며 원예적으로 허약한 체세포 변이체이기 때문에 계통 만드는데 전문가가 손질을 해야 한다는 것이다.

본 논문은 국내의 형질전환작물의 현황을 다시 종합해 보면서 우리의 현주소를 점검하고자 한다. 그리고 앞으로 해결해야 할 문제를 재조명하면서 형질전환작물 개발관련 연구추진 방향과 형질전환작물 산업화의 활성화 방안 등 여러 가지 국내 연구자들이 상기해야 하는 사항들을 고찰하고자 한다.

형질전환 작물의 재배면적 및 작물 현황

형질전환작물은 숙기지연성 토마토 (Flavr Savr)가 1994년 첫 상업화가 된 이후 1996년서부터 본격적으로 재배면적에 대한 종합적 data가 ISAAA로부터 매년 만들어졌는데 ISAAA 보고에 의하면 지난 10년간 형질전환작물의 상업화는 매년 빠른 속도로 증가하는 현상을 볼 수 있다 (James, 2005). 형질전환작물의 전체 재배면적은 2005년을 기준으로 9000만 ha를 기록하여 한반도의 약 4배 면적을 차지하며 초창기 1996년에 170만 ha 비하면 약 50배 늘어났고 매년 두 자리 이상 꾸준한 증가세를 유지하고 있다 (표 1).

또한 21개 국가의 850만 농가에서 재배하였다는 것은 농민, 경작자가 매우 선호하고 있다는 반증이며 특히 21개 국가 중 90%가 개발도상국 농민이었으니 생명공학 작물이 영세한 소규모 농민들에게 기여를 하였다고 본다. 재배면적 순서로 보면, 미국이 4,980만 ha로 전 세계 재배면적의 55%를 차지하고 이어서 아르헨티나가 1,710만 ha로 19%, 브라질이 940만 ha로 10.4%, 캐나다가 580만 ha로 6.4%, 중국이 330만 ha로 3.7%, 파라과이가 180만 ha로 2%, 인도 130만 ha로 1.4%, 남아프리카공화국이 0.56%, 우루과이와 호주가 각각 0.33%를 차지하고 있다. 이외에도 루마니아, 멕시코, 스페인, 필리핀, 스페인이 약 0.11% 그리고 콜롬비아, 이란 온두라스, 포르투갈, 독일, 프랑스, 체코 등 여러 국가들이 약간의 형질전환 작물을 재배하고 있다 (표 2). 2004년에 비해 신규국가들은 포르투갈, 프랑스, 체코, 이란이다. 그리고 EU 국가에서 형질전환작물재배에 합세한 국가는 총 5개국으로서 2004년에 형질전환작물 재배에 대한 moratorium을 해제한 이후 각 나라별로 재배결정이 좀 자유로워지지 않았나 사려 된다(Black, 2004).

국가별로 형질전환작물의 종류를 보면 미국이 6개 작물로 가장 많은데 squash와 papaya의 재배면적이 증가되고 상업화가 성립됨으로서 원래 4가지 주요 작물 (soybean, maize, cotton, canola)외에 이 2가지가 더 첨가되었다 (표 3). 현재로서 4가지 주 작물을 다 재배하는 국가는 미국밖에 없으며 아르헨티나, 캐나다, 남아프리카공화국이 3종류를 재배하고 있

표 1. 연도별 형질전환작물의 재배면적

1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005 (년)
170	1151	2862	4148	4420	5870	5870	6770	8110	9000 (만 ha)

(ISAAA 2005 자료)

표 2. 국가별 형질전환작물의 재배면적 (ha)

미국	아르헨티나	브라질	캐나다	중국	파라과이	인도
4980만 (55%)	1710만 (19%)	940만 (10.4%)	580만 (6.4%)	330만 (3.7%)	180만 (2.0%)	130만 (1.4%)
남아프리카 공화국	우루과이	호주	멕시코	루마니아	필리핀	스페인
50만 (0.56%)	30만 (0.33%)	30만 (0.33%)	10만 (0.11%)	10만 (0.11%)	10만 (0.11%)	10만 (0.11%)
콜롬비아	이란	온두라스	포르투갈	독일	프랑스	체코
5만 이하 (<0.06%)	5만 이하 (<0.06%)	5만 이하 (<0.06%)	5만 이하 (<0.06%)	5만 이하 (<0.06%)	5만 이하 (<0.06%)	5만 이하 (<0.06%)

(ISAAA 2005 자료)

표 3. 국가별 상업용 형질전환작물 종류

미국	아르헨티나	브라질	캐나다	중국	파라과이	인도
soybean,maize, cotton canola,squash, papaya	soybean,maize, cotton	soybean	canola,soybean, maize	cotton	soybean	cotton
남아프리카공화국	우루과이	호주	멕시코	루마니아	필리핀	스페인
maize, soybean,cotton	soybean,maize	cotton	cotton,soybean	soybean	maize	maize
콜롬비아	이란	온두라스	포르투갈	독일	프랑스	체코
cotton	rice	maize	maize	maize	maize	maize

(ISAAA 2005 자료)

다. 브라질은 최근에 콩 재배를 정부에서 허락한 이후 가장 빨리 많은 양을 재배한 국가가 되었다. 2004년 5백만 ha와 비교해서 2005년에는 940만 ha로 증가했으니 2005년 재배면적 증가 1위국이 된 것이다. 미국 역시 220만 ha, 아르헨티나는 90만 ha, 인도는 80만 ha가 증가했으며 인도는 50만 ha에서 130만 ha가 증가하여 연간 증가율이 약 3배가 되었다. 이외에 포르투갈과 프랑스는 각 5년, 4년 전에 심었던 옥수수를 다시 재배하였고 체코는 옥수수를 처음 재배하였다.

이란이 공식적으로 형질전환벼를 세계 처음으로 상업화시켰다. 그동안 중국이 형질전환벼에 관해서 기술적이나 투자 규모나 여러 측면에서 가장 앞서 있었지만 국가차원에서 방출을 계속 미루고 있는데 이는 워낙 많은 인구에게 한꺼번에 올 수 있는 영향을 사전에 철저히 점검하고 나가겠다는 것이다. 벼는 세계에서 가장 중요한 식량작물로서 2.5억 명이 재배하고 있으며 13억 명의 빈곤층이 소비하는 주식이다. 따라서 향후 생산성이 높은 형질전환벼의 보급은 빈곤, 기근, 영양부족에서 많은 인류를 구제할 수 있을 것으로 사려 된다. 형질전환작물을 선호하는 개발도상국(아르헨티나, 인도, 중국, 브라질, 남아프리카공화국)에서 재배한 형질전환작물의 면적 비율이 매년 증가하는데 이들은 아시아, 라틴아메리카, 아프리카의 3개 대륙을 대표하기 때문에 2010년에는 몇몇 주요 작물 종자시장이 개발도상국에 의해서 점유될 것으로 보

인다.

지난 10년간 가장 많이 재배된 형질전환작물은 콩, 옥수수, 면화, 유채의 4 작물로서 2005년 형질전환 콩의 재배면적이 5,400만 ha로 전체 GMO 재배면적에서 차지하는 비중이 60%에 이른다. 따라서 형질전환콩의 개발과 생산이 타작물 보다 제일 우선적이었음을 말해준다. 그 이유는 콩이 음식물의 재료 뿐만 아니라 산업적으로도 많이 가공되고 있으며 심지어 사료로도 많이 사용되기 때문이다. 그밖에 옥수수는 2,120만 ha로 24%, 면화는 980만 ha로 11%, 유채는 460만 ha로 5%를 차지하고 있다 (표 4). 4대 주요 작물 외에는 호박과 파파야 등이 형질전환 작물로 재배되고 있지만, 이들 품종은 아직까지 상업적으로 총 수백만 불 규모이어서 4대 주요 작물들에 비하면 매우 미미한 실정이다. 본 형질전환작물들의 재배면적이 전 세계 non-GMO 재배면적에서 차지하는 비율은 콩 59.8%, 옥수수 14.4%, 면화 28%, 유채 17.7%이다. 이런 점유 비율은 점점 늘어날 것으로 예상되며 특히 향후 2010년 유통하고 있는 콩의 대부분은 형질전환콩이라고 예측되고 있다.

형질전환작물의 특성을 보면 제초제내성 (bar gene) 또는 해충저항성 (Bt toxin gene) 형질전환체가 대부분이다. 극소수의 유전자를 이용하여 엄청난 상업화를 할 수 있다는 측면에서 어떤 유전자를 그 특성과 목적에 맞게 설정하느냐가 육종과 생명공학을 하는 연구자들의 해안으로 사려 된다. 2005년

표 4. 주요 형질전환작물 종류 및 재배면적 비율

작물명	GMO재배면적 (만 ha)	GMO재배면적/ 전체 GMO 재배면적 (%)	GMO/non-GMO (%)
콩	5440	60	5440/9100 (59.8)
옥수수	2120	24	2120/14700 (14.4)
면화	980	11	980/3500 (28)
유채	460	5	460/2600 (17.7)

(ISAAA 2005 자료)

표 5. 형질전환작물의 특성 및 재배면적 비율

GMO특성	2004 (만ha)	2005 (만 ha)	증가율 (%)
제초제내성	5796	6370 (71%)	9
해충저항성	1555	1620 (18%)	4
제초제내성/ 해충저항성 (stacking)	515	1010 (11%)	49

(ISAAA 2005 자료)

에 콩, 옥수수, 유채, 면화에 적용한 제초제내성 작물 면적은 6370만 ha으로서 전체 GMO 재배면적의 71%를 차지한다 (표 5). 실제로 지난 10년간 제초제내성작물의 재배면적이 계속적으로 증가하였는데 이는 농가에서 제초제 사용에 대한 대체제가 절실하게 필요했던 것을 반증하고 있다. 또한 해충저항성은 18%, 그리고 제초제내성과 해충저항성을 같이 stacking한 경우는 11%이었다. 2004년에 비해 각 특성을 가진 형질전환작물의 재배면적이 제초제내성이 9%, 해충저항성이 4% 증가했으며 두가지 유전자를 stacking한 경우는 무려 49% 증가를 보였다. 따라서 향후 복합내성 작물의 대두가 필연적이라고 사려 된다. 형질전환작물의 각 특성별 재배면적을 조사한 결과는 역시 제초제내성 콩이 전체 형질전환작물 중에서 60%로서 단연 선두였다 (표 6). 그 다음 작물은 미국에서 선호하는 Bt toxin 유전자가 들어 있는 해충저항성 옥수수로서 전체 형질전환작물의 13%를 차지하고 있다.

형질전환작물의 상업화 현황과 가치

지난 10년간 형질전환작물을 재배했던 면적은 4억 7천 5백만 ha으로서 미국 면적의 약 절반을 차지한다. 형질전환작물을 이용한 농가에서 계속 선호하는 이유는 농민과 소비자가 생산성과 경제적 이익 그리고 친환경에 대한 실질적이고 안

표 6. 형질전환작물의 각 특성별 재배면적 비율

GMO 특성	2005 (만 ha)	비율/전체 (%)
제초제내성 콩	5440	60
해충저항성 옥수수	1130	13
제초제내성/해충저항성 옥수수	650	7
해충저항성 면화	490	5
제초제내성 유채	460	5
제초제내성/해충저항성 면화	360	4
제초제내성 옥수수	340	4
제초제내성 면화	130	2

(ISAAA 2005 자료)

표 7. 형질전환작물 축적 순이익의 분포 현황 (1996-2004년)

GM작물	2005 (백만불)	1996-2005 (백만불)
콩	2420	-
옥수수	1910	-
면화	720	-
유채	210	-
총	5250	29300

정된 증진을 받아들였기 때문이다. 1996년서부터 2004년까지 지난 9년 동안 상업화를 이룬 다음 세상에 미친 영향을 조사한 결과에 의하면 2004년 일년간 형질전환작물 재배농가에 돌아간 순이익은 65억불이며 9년간 누적이익은 270억불이었다 (표 7). 이중에 150억불은 개발도상국에서 만든 이익이어서 형질전환작물의 상업화가 반드시 선진산업국만의 혜택은 아니라는 것이다. 각 국가별 이익을 보면 역시 미국이 가장 많지만 아르헨티나, 중국 등이 그 다음으로 순이익을 얻었다 (표 8) (James, 2004).

형질전환작물을 재배함으로써 또 다른 혜택은 친환경 농업이 형성되었다는 것이다. 실제로 관행육종 작물들과 비교하여 형질전환작물 재배가 환경위해성을 14% 줄였으며 자동차 5백만 대에서 일년간 만들어내는 CO2 발생량과 동일한 양을 감소시킨 것으로 나왔다. 따라서 친환경을 선호하는 농업은 거스를 수 없다는 것이 현실화된 것이다.

2005년 예측된 형질전환작물의 시장가치는 52억 5천만 불이며 이는 종자판매와 technology fee를 합한 액수이다 (표 9) (James, 2005). 또한 이 금액은 340억 2천만 불에 달하는 세계 작물보호제 시장의 15%, 그리고 300억불에 달하는 종자시장의 18%를 차지한다. 52억 5천만 불 중에 콩 매출이 24억 2천만 불, 옥수수 매출이 19억 1천만 불, 면화 매출이 7억 2천만 불, 캐놀라가 2억 1천만 불로서 역시 콩의 매출이 제일 많았

표 8. 국가별 형질전환작물 축적 순이익 분포 현황 (1996-2004년)

	GMHT 콩	GMHT 옥수수	GMHT 면화	GMHT 유채	GMHT 옥수수	GMHT 면화	전체
미국	6367	564	746	96	1626	1301	10704
아르헨티나	9965	-	-	-	-	16	10101
브라질	829	-	-	-	-	-	829
파라과이	80	-	-	-	-	-	80
캐나다	55	16	-	617	119	-	807
남아프리카 공화국	0.8	0.2	0.01	-	44	11	56.01
중국	-	-	-	-	-	4160	4160
인도	-	-	-	-	-	124	124
호주	-	-	-	-	-	70	70
멕시코	-	-	-	-	-	41	41

표 9. 2005년 형질전환종자 시장가치

GM작물	2005 (백만불)	1996-2005 (백만불)
콩	2420	-
옥수수	1910	-
면화	720	-
유채	210	-
총	5250	29300

다 (표 9). 그리고 1996년에서부터 2005년 까지 누적된 시장가치는 293억불이나 된다.

형질전환종자시장은 점점 늘어갈 것으로 예상하며 2010년에는 약 200억불을 내다보고 있다 (표 10). 또한 2003년에는 18개국에서 7백만 농가가 재배를 하였고, 2004년에는 17개국에서 8.25백만 농가, 2005년에는 21개국에서 8.5백만 농가에서 재배하였다. 그리고 2006년에는 23개국에서 9백만, 그리고 2010년에는 30개국에서 15백만 농가에서 GM작물을 재배할 것으로 예상하고 있다 (농우바이오). 결국엔 이런 증가일로의 재배면적으로 농가 순이익이 10년 뒤인 2015년에는 \$2000억을 예견됨으로서 관행육종의 농법이 많이 달라질 것으로 보인다 (James, 2005).

형질전환작물의 최근 및 향후 동향

2005년도 ISAAA의 형질전환작물현황 보고에 의하면 향후 미래에도 재배 면적이 계속적으로 증가할 것이라는 것은 자명하다. 특히 빠른 기간 내에 인도, 중국, 북남미 등 재배면적과 인구에서 전 세계의 60%를 차지하는 시장이 형성되었다는 것에 놀라울 따름이다. 그것도 불과 극소수의 유전자를 이용한 극소수의 작물이 기존 종자시장을 잠식하고 있는 것이

표 10. 형질전환종자시장 현황

년도	GM 종자시장	농가수 (백만)	재배 국가수
1996	24	-	-
2002	40	-	-
2003	45	7	18
2004	48	8.25	17
2005	52	8.5	21
2006	55	9.0	23
2010	200	15	30

(2006, 2010년 data는 예상치, 농우바이오)

현 시장 현실이다. 지금까지는 해충저항성, 제초제내성 작물이 대표주자이었는데 과연 이것이 전부일까? 그동안 엄청난 연구비와 결과를 통해서 많은 형질전환작물들이 개발되었지만 왜 상업화 결과에 대해서 소개가 되지 않았을까? 아마도 제초제내성, 해충저항성 만큼 상업적 효과가 있는 것을 아직 발견하지는 못한 것 같다. 설사 있다고 해도 public concern 때문에 전략적으로 기다리고 있거나 현재 극소수 유전자 형질전환작물가지고도 사업성이 좋으니 서두르지 않을 수도 있다.

현재까지 상업적으로 방출 (재배, 식품, 사료용)을 허가한 국의 형질전환작물 수는 19 작물, 약 80여 가지 품목에 달하였다 (Kim, 2006). 형질전환작물은 옥수수, 콩, 유채, 토마토, 면화, 감자, 카네이션, 벼, 호박, 사탕무, 담배, 치커리, 아마, 메론, 파파야, 폴리시유채, 밀, 해바라기이다 (표 11). 한 작물에 대해서 여러 품목을 만들었고 또한 같은 종류의 품목에서도 유전자를 modify한 경우가 있어서 전체 품목 수가 많아진 것이다. 주요 특성을 보면 제초제내성과 해충저항성 또는 제초제/해충저항성 stacking이다.

안전성 평가를 통과하여 상업적으로 허가를 받았다고 해서 모든 것이 상업화되는 것은 아니며 개발해 놓고 판매가 되

표 11. 상업적으로 방출허가를 받은 형질전환작물

작물	형질전환 특성
옥수수	제초제 저항성, 해충저항성, 알칼리토양 내성, 병저항성, 해중/제초제 저항성
콩	제초제 저항성, high oleic acid, low linolenic, low saturate oil
토마토	숙기지연, 고펙틴 함유, 해충저항성
면화	제초제 저항성, 해충저항성, 제초제/해충저항성, 병저항성
유채	제초제 저항성, high laurate 함유오일
감자	해충저항성, 특이전분
벼	제초제저항성, 해충저항성
밀	제초제저항성
사탕무	제초제저항성
호박	바이러스저항성 (ZYMV, WMV, CMV)
메론	숙기지연 (연화방지)
파파야	바이러스저항성 (papaya ringspot virus)
폴리시유채	제초제저항성
아마	제초제저항성
치커리	MS, 제초제저항성
카네이션	저장성, 색소(blue), 제초제저항성
해바라기	제초제저항성
담배	제초제저항성, 바이러스저항성
땅콩	고농도올레인산

지 않은 것이 대부분일 것이다. 당분간은 마케팅 규모가 큰 식량작물이 상업화의 주가 될 것이며 채소 분야, 화훼, 과수, 임목에서 획기적인 품종이 도출되지 않는 한 계속 저조한 상태일 것으로 사려 된다.

현재 상업화가 되고 있는 해충저항성, 제초제내성 작물들은 제 1세대라고 말하며 앞으로도 계속 상업성이 있기 때문에 각 작물에 대해서 1세대가 cash cow로서 꾸준히 성장할 것으로 본다. 또한 작물 질병에 관해서 현재 미약하나마 바이러스저항성 작물 (호박, 파파야)이 상업화되고 있으며 역시 1세대의 구성원이다. 제 1세대의 주요 목적은 생산성 증대이다. 즉 해충, 잡초, 병, 환경스트레스에 의해 매년 생산량이 타격을 받는 것을 해결하기 위해서 저항성 또는 내성작물을 개발하는 차원이다. 지금까지 성공을 했다고 평가할 수 있으며 향후 환경스트레스 (가뭄, 염, 냉, 고온 등)에 내성을 갖는 작물이 시장에 나오면 더 한층 생산성 증가를 가져올 것으로 기대한다. 최근 주요 성과로는 수확량 보다는 기능성을 강조한 제 2세대 형질전환 농산물들은 상품화되기 시작한 것이다. 현재로는 그 상업성, 재배면적 및 유통 규모가 미약한 상황이지만 관심은 점점 커지고 있는 있으며 예를 들어서 숙기지연, 고펙틴 토마토; 숙성조절 딸기, 바나나, 고당도 고추, 토마토; 전분 함량증진 감자; 지방산 조성이 변화된 대두, 유채, 해바라기,

땅콩 등이다.

이외 분자농업 (molecular farming)을 통해서 고부가가치 생체활성물질, 의약, 약제품, 유용단백질 등을 생산할 수 있는 기술 개발이 활성화되고 있는데 목적하는 target을 위해서 동물, 미생물, 식물이건 간에 출처에 관계없이 유용 유전자를 분리하여 작물에 삽입하고 대량 발현하여 그 생산물을 추출하여 이용하는 것이다. 또는 형질전환식물 세포배양체에서 고부가가치 유용물질을 생산하는 것도 같은 맥락이다. 이런 형질전환작물의 개발이 제 3세대라고 일컬으며 형질전환작물을 통하여 주요 의약품생산 연구가 여기에 속한다. 그동안 담배를 중심으로 당뇨병, 탄저병 백신, B형 간염 백신 등 여러 작물에 인간의 건강을 위해서 개발된 것 뿐 만 아니라 상추, 알팔파에서 돼지 콜레라균 항체, 토마토의 조류독감 백신 등이 개발되어 동물 질병치료를 근접하여 있다 (Kim, 2006).

과일, 채소로 만든 식물 백신에 대한 동물 실험에서 보여준 백신의 효능도 사람을 대상으로 한 임상 시험을 통해 입증되고 있는 상태다. 식물을 이용하여 이런 고부가가치 물질을 생산할 경우 제조비용이 적게 들어서 획기적이기는 하나 단백질이나 활성물질 자체의 activity 조절 및 임상실험 관련해서 아직도 많은 연구가 되어야 하기 때문에 시간이 더 필요한 것으로 보인다.

일본의 경우 여러 가지 연구를 하고는 있지만 현재 상업화가 되고 있는 GM작물은 없다. 다만 많은 연구를 통하여 기술을 축적하고 있으며 개발단계에 간 것은 다양하다. 최근에 Monsanto Japan를 통해서 해충저항성, 제초제내성 옥수수와 콩을 자체적으로 위해성 검정을 끝내고 형질전환작물의 종자로서는 처음으로 일본 농가에 재배를 하였다. 이외 가장 큰 연구 성과로는 악명 높은 일본의 삼나무 엘러지에 내성을 갖게 하는 엘러지 내성 형질전환벼를 개발함으로써 임상실험 결과 90% 이상 엘러지를 극복하게 되었다. 일본 농업생물자원연구소에서 개발한 벼로서 현재 위해성 검사가 종료단계에 있어서 수년 안에 상업화가 될 것으로 보인다 (NIAS, 2004).

중국은 아시아에서 형질전환작물 개발 및 상업화에 강국이다. 2005년 중국의 전체 식량관련 생산량은 약 5억 톤이며 2030년경에는 전체 생산량의 30% 이상 부족할 것으로 예상되어 높은 생산성과 수확량을 보장하는 형질전환작물 개발에 역점을 두었다. 이미 1990년 초에 TMV 바이러스 저항성 담배를 개발하여 시장에 보급한 경험이 있던 중국이 식량작물, 면화, 채소 등 많은 작물에서 GMO를 개발하고 있다. 2003년 8월까지 중국은 1044점의 안전성의뢰 요청을 접수받았으며 그중 약 30개 작물에서 777점이 field trial 승인을 받았다 (IAPTC&B, 2006). 안전성 검사를 통과하여 상업화할 수 있도록 승인을 받은 형질전환작물은 다음과 같으나(표 12) 현재 시판되고 있는 것은 면화, 옥수수, 토마토, 피망으로 알려져

표 12. 중국의 상용화 가능한 형질전환작물

작물	형질전환 특성
면화	*Insect resistance, Disease resistance
벼	Insect resistance, Disease resistance, Herbicide resistance, Salt tolerance
밀	BYDV resistance, Quality improvement
옥수수	*Insect resistance, *Herbicide resistance, Quality improvement
콩	Herbicide resistance
감자	Disease resistance, Quality improvement
Rapeseed	Disease resistance
땅콩	Virus resistance
담배	Insect resistance, virus resistance
배추	virus resistance
토마토	*virus resistance, *Shelf. life prolonged, Cold tolerance
메론	virus resistance
피망	*virus resistance
고추	virus resistance
파파야	virus resistance
페튜니아	*Altered color

\* 비공식적으로 시장에서 유통되는 것으로 알려진 작물

있다. 그러나 국제적으로 중국에 공식적으로 재배 공인된 것은 면화 한가지 이다.

특히 면화는 해충 저항성 품종들이 면화 전체 재배 면적의 60%를 차지하고 있으며 약 30% 농약 절감과 9.6% 생산성 증가 효과를 보였다. 이외에도 해충저항성 벼; oil 함량 변화, 내염성, 내서성 콩; 고함량 라이신 옥수수, 바이러스 감자 등이 수년 안에 시판될 것으로 기대하고 있다.

미국 몬산토는 크게 4가지 분야에서 주요성과를 발표하였다 (IAPTC&B, 2006). 1) 제 1세대인 제초제내성, 해충저항성, 제초제내성과 해충저항성 stacking 작물들의 spectrum 확대, 즉 면화, 옥수수, 콩 외에도, 밀, 벼, 보리 등 식량작물과 감자를 비롯한 밭작물 그리고 채소 작물들도 제초제내성과 해충저항성 특성을 이용하여 개발하고자 한다. 2) 또한 역시 제 1세대인 고수확과 환경스트레스에 강한 작물 개발 (내염성, 내서성, 내한성)에 주력하고 있다. 3) 인간이 먹는 것 외에도 동물사료용이나 가공용 작물을 목표로 하고 있으며, 4) 영양과 건강을 위한 식품용 작물, 즉 비만에 관여하는 지방산 함량의 변화유도 (예: Omega-3, low cholesterol)를 위한 대두 등을 개발하고 있다.

미국 파이오니아 하이-브리드 (Pioneer Hi-bred International, Inc)는 듀폰계열회사로서 전통적인 종자회사이다. 전통육종기술에 생명공학을 접목하여 가뭄에 내성, 질소동화작용 향상 대두, 탄저병내성 옥수수, 저농도의 리놀렌산 대두,

고농도의 올레산과 스테아린산 대두, 에탄올 생산 옥수수를 개발하고 있으며 수년 내 상업화할 수 있을 것으로 보고 있다 (KBCH, 2006).

이외에도 향후 2010년 까지 개발되어 상업화 가능한 작물은 해충, 제초제저항성은 물론 고온, 건조 등 환경저항성, 복합내병성, 산업쓰레기, 방사선물질, 중금속, 농약 등을 흡수하는 작물, 백신을 비롯한 바이오 의약품을 생산하는 작물, 고농도의 비타민과 단백질, 불포화지방산을 가진 기능성작물이 방출 될 것으로 보인다. 또한 2010-2020년에는 비농경지에서 잘 자라는 작물 (아프리카, 사막), 바다 물로 쉽게 경작할 수 작물, 광합성과 질소고정율이 매우 높은 작물, 작물의 구조 변형 작물 (다수확, 작물크기변경으로 재배변경), 우주 공간에서 자랄 수 있는 작물개발 등 다양한 형질전환작물이 예상 된다 (Harn, 2004).

### 국내 형질전환작물의 개발현황

국내개발 중인 형질전환작물의 현황은 총 22작물 48품목이 연구개발 중이며 품목별로 보면 벼가 10점, 감자가 8점으로 가장 많다 (표 13) (Kim, 2006). 현재 9 품목이 안전성검사 연구를 자체적으로 수행하고 있으며 이들은 벼, 고추, 들깨, 잔디의 제초제저항성; 고추의 탄저병, 바이러스 저항성; 감자, 수박의 바이러스저항성; 좁나방 저항성 배추이다. 국내에서는 아직 안전성검사가 완료되어 심사청구를 한 적이 없으며 따라서 아직도 형질전환작물의 품종화 및 상품화가 된 적은 없다. 그럼에도 불구하고 이중에서 가장 먼저 심사청구를 신청하여 제일 먼저 품종화에 접근할 수 있는 품목이 제주대학에서 개발한 제초제저항성 들잔디일 것으로 사려 된다.

표 13 이외에도 많은 작물들이 산·학·연 실험실에서 유전자의 도입 확인 및 특성분석 단계를 거치고 있는데 형질전환작물을 개발하여 판매하기까지는 수많은 연구와 규제가 따르고 막대한 연구비가 요구된다. 최근 들어 연구 목표가 상업성을 추구하는 과제들이 많아져 향후 전망은 밝다고 볼 수 있지만 좀 더 체계적인 연구를 통하여 target 유전자의 정당성을 보안해야 할 필요성이 있다.

### 국내 형질전환작물의 개발을 위한 형질전환 protocol

상기 언급된 형질전환 작물 이외에도 (표 13) 형질전환을 성공적으로 수행할 수 기술방법 및 그 예를 보여주는 protocol이 완성되었다 (표 14) (KSPGT, in press). 식량작물을 비롯하여, 밭, 채소, 화훼, 사료, 목본, 특용작물 등 다양한 작물 총 33점에 대한 형질전환 방법을 수록하였다. 비록 모든 중요한 작물에 대한 protocol이 집대성되지는 않았지만 국내 최초로

표 13. 국내 개발 중인 형질전환작물

작물	특성	연구기관	작물	특성	연구기관
벼	광합성능력 향상	생공원	양배추	용성불입성	생공
	라이신함량증진	생공원	토마토	바이러스저항성	고시
	근사미저항성	생공원	들깨	*제조제저항성	생공원
	내염성, 가뭄저항성	명지대, 호시		비타민E 강화	생공원, 작과원
	멸주저항성	생공원	콩	바이러스저항성	작과원
	흰잎마름병저항성	생공원, 작과원	나리	화색변형	원예연
	*제조제저항성	생공원, 작과원	참박	제조제저항성	원예연
	문고병저항성	호시		칼슘이온 흡수	원예연
Isoflavone 생합성	작과원	바이러스저항성		농우바이오	
고추	*제조제저항성	생공원	사과	착색증진	원예연
	천연색소조절	생공원	알팔파	내열성	축산연
	*단저병 저항성	금호		제조제저항성	축산연
	*바이러스저항성	농우바이오	버즈풋 트레포일	내열성	축산연
상추	전분조절	생공원		콜레라백신생산	축산연
	비타민C고함유	농우바이오	오체드 그라스	재해저항성	축산연
감자	재해저항성	생공원	톨페스큐	재해저항성	축산연
	철분강화	생공원	들잔디	*제조제저항성	제주대
	제조제저항성	생공원, 고시	감굴	카로티노이드합성	난지농업연
	내병성	생공원, 고시	오이	EGF	넥스젠
	*바이러스저항성	고시	고구마	항산화	KRIBB
	세균병저항성	고시			
	숙기조절	고시			
	항체	KRIBB			
밀	녹병저항성	고시			
수박	*바이러스저항성	농우바이오			
배추	*좁나방저항성	생공원	총	22작물 48품목	

\* : 위해성평가 진행 중인 작물

보편적으로 수행 가능한 형질전환 방법이 수록되어 있어서 그 출간의 의의가 매우 높다. 표 14에서 언급된 작물 외에도 형질전환이 가능한 여러 작물들이 있는데 단지 protocol이 제공되지 않았을 뿐이다. 특히 그 중에서 담배는 누구나 쉽게 형질전환 할 수 있는 작물이고 형질전환 효율도 평균 30% 이상이 되어서 기술되지 않았다. 표 14에 언급된 저자들은 protocol을 기술하는데 첫 번째 저자이거나 corresponding 저자로서 대표저자의 성격을 갖는다. 일반적으로 각 작물에 대해서 본 저자들 이외에도 많은 국내 연구자들이 같은 작물을 연구하고 있다. 예를 들어서 콩은 정영수외에 정우석, 작물과 학원, 최양도, 최필선 등이 수행하였으며 고구마는 이혜순, 사과와 원예연구소와 성순기, 형남인 등을 들 수 있다. 지금까지 국내에서 한 연구자가 형질전환을 제일 많이 한 경우는 한국생명공학연구원 유장렬으로서 지난 20년간 수박, 당근, 오이, 고구마, 메론, 장미 등 약 20 여 가지 식물에 형질전환을 시도하였다. 표 15에 나온 대표저자의 많은 경우가 유장

렬의 공동저자이며 한국생명공학연구원 실험실과 유진택 (대표이사: 유장렬)을 통해서 국내 형질전환작물 개발의 기반 연구가 수립되었다고 해도 과언이 아니다.

국내의 형질전환체가 품종화 측면에서는 전무상태이지만 세계에서 최초로 형질전환 시스템을 개발하여 한국만이 독보적으로 가지고 있는 형질전환 기술들이 있다. 예를 들어서 들깨, 수박, 참박, 마늘, 고추, 나리, 인삼 등은 국내 기술들이 세계 최고이며 나름대로 형질전환기술을 저변에 확장하는데 선도적인 역할을 하였다. 이들은 외국에서 이미 상업화하고 있는 작물들과 중복되지 않는다는 점에서 (표 11, 12) 기술적인 면이나 향후 상업화 관련하여서 대한민국이 우위에 있다.

표 11, 12, 13에서 보듯이 외국에서 이미 상업화 가능한 작물들과 중복되고 있는 국내 형질전환작물들은 메론, 감자, 토마토, 배추, 벼 등이어서 향후 경쟁력이 관건이다. 그러나 표 13에서 거론된 국내에서 형질전환이 가능한 작물의 수는 결코 적은 수가 않으며 외국서 취급하지 않은 작물에 대해서 우



표 14. 형질전환 protocol이 완성되어 있는 작물

애기장대	벼	콩	보리	고구마	들깨	감자
정우석	이장용	정영수	이대원	민성란	김용환	김현순
옥수수	상치	배추	고추	수박	참박	당근
최필선	민병환	박영두	한지학	최필선	한중술	인동수
오이	마늘	메론	양파	호접난	나리	국화
최필선	최양도	최필선	박세원	김두환	안병준	형남인
장미	포플러	사과	포도	감귤	가시오갈피	인삼
김석원	노은운	송관정	이창후	송관정	김재훈	최용의
토마토	들잔디	통 페스큐	라이그래스	오차드그래스		
한지학	이효연	이병현	이병현	이병현		

위에 있기 때문에 상업성이 높은 고추, 인삼 등 여러 작물에 대해서 집중 연구할 필요가 있다.

### 국내 형질전환작물 상업화의 문제점

미국을 비롯한 선진국은 물론이지만 심지어 개발도상국에서도 형질전환작물의 상업화가 왕성하게 이루어지고 있는데 비해 20년 역사를 가지고 있는 국내의 형질전환작물 개발연구가 왜 상업화를 하지 못하고 있는가? 여러 가지 측면에서 그 이유를 설명할 수 있다. 1) 한국은 특히 형질전환콩과 옥수수의 상당량을 수입하고 있는데 대량면적이 요구되는 콩과 옥수수 같은 형질전환작물을 재배할 수 있는 생산능력이 없고 재배면적도 없다. 따라서 대량면적을 보유하고 있는 타 개발도상국과는 현실적으로 차이가 난다. 2) 아르헨티나, 브라질 등은 자체적인 연구개발 보다는 형질전환작물의 F<sub>1</sub> 종자를 구입해서 대량 파종, 생산한 다음 그 생산물 또는 종자를 가공해서 타 국가에 파는 경우이다. 현재 한국은 형질전환종자를 재배할 수 있는 근거를 국내적으로 만들지 못해서 재배 자체를 할 수 없다. 3) 표 13에서 보는 것처럼 많은 형질전환작물을 개발하고 검정하고 또 위해성 평가를 실시하고 있으나 과연 상업화가 가능한 것이 몇 점인가 반문했을 때 현재 비전이 있는 작물이 거의 없다. 즉 그동안 연구자체가 장기간 걸리는 상업화 보다는 단기간의 논문 같은 실적주위에 급급해서 나온 결과이다. 4) 그동안 형질전환작물 개발은 기업체에서 주관하지 않았기 때문에 실제로 상업화할 수 있는 로드맵을 제대로 그리지 못했다. 미국에서 2000년 행한 field trial 수행중인 형질전환작물 수가 약 8000점 이었는데 이중에서 97%가 Monsanto를 비롯하여 여러 다국적 기업체에서 주관하고 있었다 (농우바이오 자체자료). 5) 또 다른 문제로는 형질전환작물 개발서부터 상업화를 위한 로드맵이 전무한 상태이다. 특히 실현 가능한 목적과 target을 정하는 능력이 매우 약하며 형질전환체를 육종할 수 있는 육종인력과 위해성 평가

를 해줄 인력 및 기관이 극소수이다. 6) 국내에서 형질전환작물의 성공사례가 없기 때문에 아직 사회에서 인정을 해주고 있지 않고 있으며 따라서 지지를 받지 못함으로서 투자가 미흡하다. 7) 형질전환작물에 대한 장단점과 필요성관련 교육이 초, 중, 고, 대학에 걸쳐서 전무한 실정이어서 국민의 전체가 무지한 상태이다. 8) 형질전환작물에 대한 적절한 홍보가 매우 저조하여 전체적으로 편견과 오해가 심한 것이 현실이다.

만약 어느 한 작물이라도 국내에서 성공하여 상업화가 될 수만 있으면 국내 일반 국민의 생각을 바꿀 수 있다. 즉 형질전환작물이 친환경적이며 식품으로서 안전하고, 또 생산력으로 수요를 충족시키면서 고부가가치에다가 값이 싸다면 결국 국민의 선택이 될 것으로 사려 된다.

### 형질전환작물의 육종 및 상업화를 위한 로드맵

#### 1) 형질전환작물의 육종

형질전환체를 기내에서 육성할 때부터 복잡 다양한 변이를 예상하기 때문에 형질전환체를 육성하는 것은 매우 어려운 일이며 용의주도한 실험계획이 필요하다. 무작정 종자 받기 위해서 또는 원하는 특성만 갖는 T 세대를 고정하기 위해서 계속 자기수분을 해서는 삼가야 하는 것이다. 이 분야는 생명공학자의 전문분야가 아니기 때문에 반드시 육종가에 자문을 구해야 하며 형질전환체의 육종이 필요한 것이다.

T<sub>1</sub> 세대 형질전환체중 어떤 경우에는 모본 (계통)과 비교해서 원예적인 차이가 거의 없는 것들도 있다. 그러나 대부분의 경우 형질전환체와 모본간에는 정도에 차이는 있겠지만 다를 수 있는 확률이 더 많다. 일반적으로 식물의 생식기관이 제일 민감하여 형질전환체인 경우 생식기관에 변이가 자주 일어난다. 따라서 종자가 발달하지 않는 경우도 있고 pollen이 생기지 않는 경우도 있으며 또한 배수체의 출현 빈도가 높아져 착과에 어려움을 주는 경우도 있다.

일반적으로 육종가가 육종을 할 때 여러 가지 조건이나 변

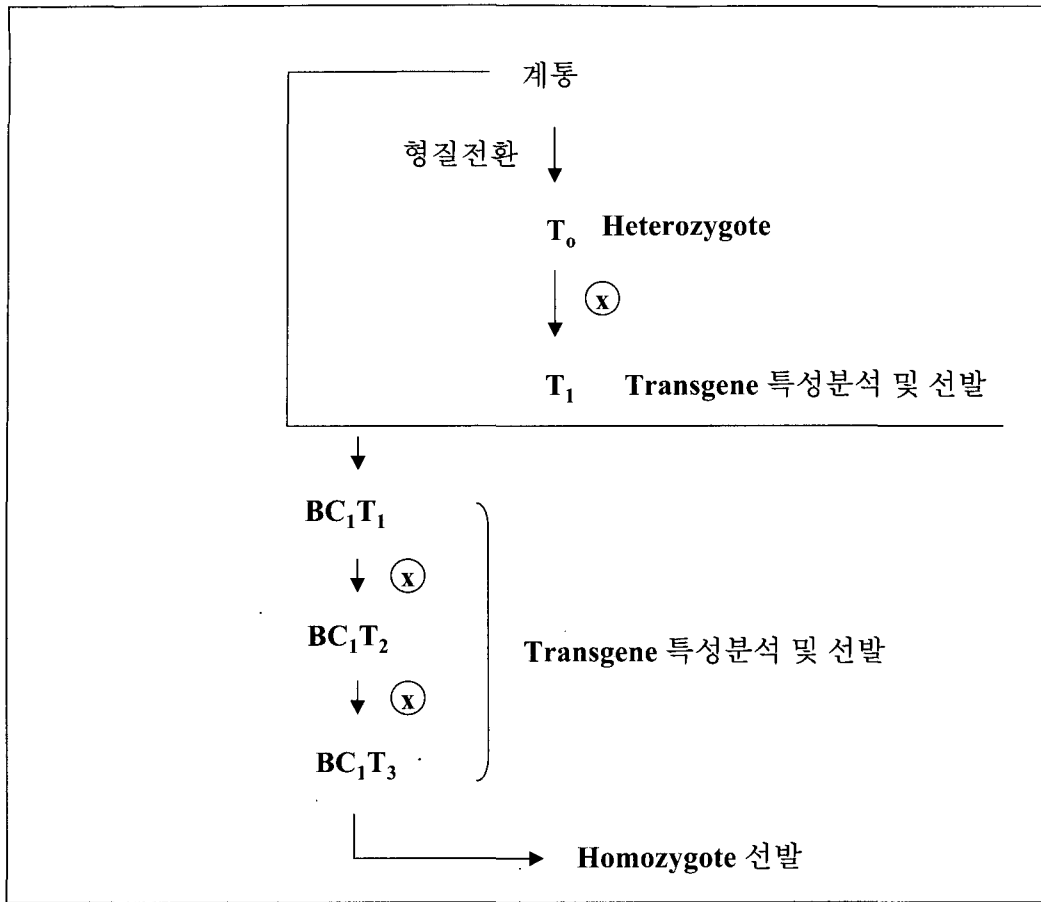


그림 1. 형질전환체 육종 : 형질전환체의 자식열세를 피할 수 있는 경우

수에 따라 육종이 쉽게 될 수도 있지만 중간 잡종 등 원연간의 교잡 육종을 통해서 한 품종을 만들 때는 많이 세월이 소요된다. 형질전환체 육종도 같은 맥락이며 더욱이 체세포변이란 부가적 변이체를 가지고 육종을 해야 하기 때문에 육종가가 잘 판단하여 향후 T 세대 육종 program을 어떻게 만들 것인지 구상해야 한다.

T 세대 재배를 위해서 자가수분을 계속 수행하면 자식열세가 많이 나오는데 자식열세를 피하면서 육종기간을 최소화할 수 있는 간단한 육종방법이 있다 (그림 1). 먼저 T<sub>1</sub> 세대에서 특성분석을 한 다음 선발개체를 확보한다. 이 때 선발의 기준은 그 transgene 특성을 갖는 것 외에도 외형적으로 좋은 것을 위주로 선발한다 (육종가의 도움을 받음). 그리고 가능하다면 그 선발개체를 역교배하여 종자를 받는다 (BC<sub>1</sub>T<sub>1</sub>). BC<sub>1</sub>T<sub>1</sub>의 외형적인 모습을 잘 관찰하면 모본과 거의 유사한 특성을 볼 수 있다. 여기서 transgene이 들어 있는 것들만 PCR을 통하여 구별한 다음 transgene 특성 분석을 한다. 여기서 다시 transgene의 특성을 확인한 개체 중에서 외형적으로 가장 좋은 것을 계속 자가수분하여 BC<sub>1</sub>T<sub>3</sub>를 확보한다. 이 세대는 비교적 자식열세나 변이체가 거의 없으며 외형적으로 모본과 거의 흡사하다. 따라서 homozygote만 선발하면 계통

으로 충분히 사용할 수 있다.

## 2) 형질전환체 계통과 시교

계통 (inbred line)이란 육종가들이 원하는 형질을 교배에 의해서 고정시킨 순계를 말한다. 이 경우 육종가들은 타가수분에 의하여 그 형질을 가져온 다음 자가수분을 여러 번 거쳐서 유전적으로 고정되고 안정되게 한다. 그래서 그 자식 세대에서는 개체 변이가 없는 집단이다. 육종가들은 이런 계통들을 만들어 유전자원 pool을 개척하기도 하지만 이런 계통들을 서로 교배시켜서 수많은 교배조합을 통하여 F<sub>1</sub>을 만들어 원예적으로 육종가가 원하는 조합을 선발하게 된다. 따라서 품종이란 위의 계통 양친을 교배하여 나온 F<sub>1</sub>을 뜻하면서 이 F<sub>1</sub>이 원예적 가치가 있거나 잡종강세의 성격을 가져 상업화할 수 있는 종자를 말한다. 형질전환체의 계통도 같은 맥락이다. 형질전환을 할 때 육종가들이 공급하는 모본은 계통으로서 이미 다른 계통과의 선발조합을 알고 있으며 F<sub>1</sub>이 어떤 특성이 있다라는 것을 육종가는 알고 있다. 여기에서 형질전환을 이용하여 특정 유전자를 삽입하고 F<sub>1</sub>을 만들 경우 그 F<sub>1</sub>이 부가적인 상품가치를 가질 수 있고 또한 한 형질전환 계통으로부터 많은 조합을 만들어서 품종개발의 범위를 넓힐 수

가 있다. 형질전환 계통의 특성은 transgene이 chromosome 상에서 homozygote이어야 하고, 원하는 특성 및 성능이 있어야 하며, 원예적으로 모본과 동일하면서 유전적으로 안정된 형질전환체인 것이다.

1) 형질전환 계통이 육성되면 육종가에 의해서 여러 계통과 조합을 작성하여  $F_1$ 을 만들어내고 이  $F_1$ 의 성능을 검정할 것이다. 그리고 transgene의 특성과 성능이 우수한 정도가 이  $F_1$ 에 의해 재 증명이 되면 육종가 입맛에 맞는  $F_1$  조합을 선발하여 농가에 시교를 할 것이다. 2) 이런 형질전환체 계통을 이용하여 환경위해성, 인체위해성 평가 연구를 동시에 시작할 수 있는 것이다. 위해성 평가연구는 일반적으로 3년이란 기간이 필요하기 때문에 일찍 시작하는 것이 좋다. 만약 위해성 결과가 안 좋아서 심사청구가 안될 경우 아무리 좋은  $F_1$ 을 만들었다 해도 의미가 없어지는 것이다. 3) 육종가가 선발된 형질전환된 예비 품종 ( $F_1$ )을 농가에서 일반 시교 사업을 해야 하는데 현재 한국에서는 형질전환체를 일반 농지에 재배할 수가 없다. 형질전환품종을 어떤 재배 방법이나 관리 또는 규제를 통해서 농민들이 농토에 재배할 수 있는지에 대한 지침고시가 되어 있지 않다. 따라서 일반 농가에서는 형질전환 품종을 재배하거나 시교사업을 할 수 있는 여건이 만들어지지 않았다. 우리나라 정부에서는 2007년에 국제 바이오안전성 Cartagena 의정서에 가입할 예정이고 또한 정부에서 GMO 법률안 발효를 준비하고 있기 때문에 이 문제가 앞으로 커다란 이슈가 될 것이다. 왜냐하면 국내에서 아직 상업적으로 품종화가 될만한 GM 종자가 없는 반면 몇 년 안에 외국의 GM 종자가 수입되어 우리나라 농토에 심겨질 확률이 높기 때문이다. 따라서 형질전환 연구자들은 빠른 기간 안에 외국 종자보다 우수한 GM 종자를 만들어 국내 종자시장 또는 농가를 보호해야 할 뿐 아니라 국외 수출용으로 개발해야 하는 것이 당위적이다.

### 3) 형질전환체 계통의 인체위해성, 환경위해성 평가

형질전환  $F_1$  조합의 성능검정을 통하여 우수한 예비 품종을 만들 수 있다고 판정되면 그 형질전환체 계통은 환경위해성, 인체위해성 평가를 위한 안전성 조사를 받도록 하여 검사 자료들을 엮어서 국외로 논문화 시키는 것이 좋다. 안전성 검정에 관한 data가 국제기준에 의해 인정되면 국내관련 기관에서 안전성에 관한 심사청구를 할 때 서류검사가 쉬어진다.

인체, 환경위해성 평가조사는 개발자가 해야 하는데 현재 국내에는 개인 개발자들에게 평가조사를 해줄 수 있는 기관은 없다. 어떻게 하든지 개발자가 위해성 평가를 할 수 있는 기관과 공동으로 과제를 운용하든지, 협력관계를 유지하든지 등 알아서 풀어야 할 상황이어서 이과정이 형질전환작물 개발에 대한 또 다른 병목이나 걸림돌이 된다. 국내에서는 기술

적으로 그리고 시설측면에서 이런 조사를 할 수 있는 기관 역시 매우 부족하다. 한국생명공학연구원은 환경과 인체위해성 평가를, 농진청은 환경위해성 평가, 그리고 식약청은 인체위해성 평가를, 그리고 제주대학은 자체적으로 환경위해성평가를 수행할 수 있는 지정을 받았다. 그러나 특별한 공동연구 없이는 개인적 평가조사 요청은 받아주지 않아서 일반 대학 연구자나 산업체에서 평가조사를 신청하기에는 매우 어려운 실정인 것이 우리의 현실이다. 최근 들어서 각 대학교에서 환경평가 또는 독성 평가하는 교수들이 서로 같이 위해성 연구 조사를 하는 경우들이 늘고 있다.

평가관련 연구 조사가 끝나면 환경위해성은 농진청에서 그리고 인체위해성은 식약청에 평가조사를 제출하여 안전성 평가심사를 청구, 신청한다. 약 270일 안에 허가를 해주기로 되어 있지만 평가조사에 하자가 있을 경우 재 실험을 해야 함으로 서류 제출 시 완벽한 준비를 하는 것이 좋다 (NIAB, 2006).

안전성 평가 대상은 계통이지 품종이 아니다. 일단 계통이 심사청구에서 통과될 경우 이 계통을 이용하여 많은 조합이 시도되어 많은 품종이 선발되는데 품종들은 위해성 평가를 받을 필요가 없다.

### 4) $F_1$ 품종 출원 및 등록 그리고 상품화

선발된 형질전환체 계통으로부터 선발한  $F_1$  예비 품종을 농가에 시교 사업하여 시장성이나 상품성 가치가 있다고 판단하면 국립종자관리소에 품종 출원을 할 것이다. 종자관리소에서는 환경위해성, 인체위해성 관련 안전성 검사가 통과된 형질전환체 계통에 한해서만 출원을 허락한다. 그리고 국립종자관리소에서 형질전환체를 직접 재배해서 2년간에 걸쳐 새 품종이라는 근거를 자체적으로 평가하여 등록을 허가할 것이다. 아직까지 2006년 기준으로 국내에서 위해성 심사청구를 의뢰한 경우가 없어서 어떤 형질전환작물을 품종화하여 등록하는 것까지는 향후 몇 년을 더 기다려야 할 것이다. 그 이후 일단 등록이 되면 종자회사나 개발자는 국내에서 형질전환 품종을 일반 종묘상을 통해서 판매를 할 수 있다. 형질전환체의 상품화는 기술과 시간 싸움이다. 형질전환 작물을 개발서부터 품종 등록하는데 까지 걸릴 수 있는 기간은 최소 10년이다. 따라서 상품화까지의 전체적인 로드맵을 잘 구성하여 추진하는 계획이 절대적으로 요구된다 (그림 2). 현 단계에서는 국내에서 형질전환 종자를 재배할 수 있는 GMO 법률안이 추진 중에 있기 때문에 종자의 상품화가 불가능하며 또한 국내에서 개발된 형질전환 품종도 없어서 아마도 해외 수입종자가 먼저 농가에 재배될 가능성이 높지 않을까 사례 된다.

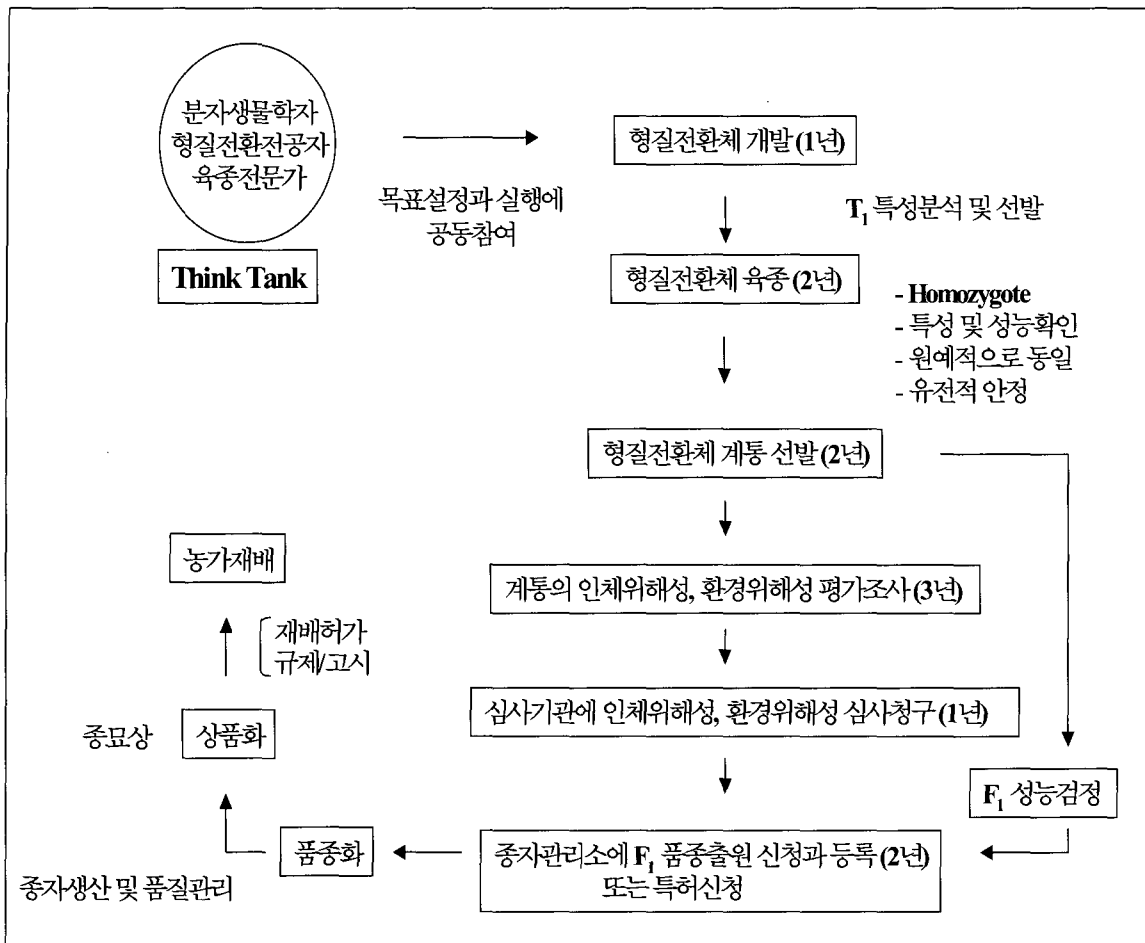


그림 2. 형질전환작물의 개발서부터 품종화를 위한 로드맵

형질전환작물의 산업화 활성화 방안

형질전환작물은 개발서부터 정확한 target을 설정하고 품종화할 때까지 시간, 인력, 연구비가 많이 드는 3D 업종 + BT 분야이기 때문에 실제로 산업화를 위해서는 여러 각도에서 도움을 받아야 한다. 따라서 형질전환작물의 산업화를 위해서는 분야별로 다음과 같은 역할로 활성화가 되어야 한다 (Ham, 2004).

1) 정부의 역할

정부는 BT 관련해서 대학과 국립연구소에 유전자 기능 기반연구에 집중투자를 하여 형질전환에 필요한 고부가가치 target 유전자를 발굴하도록 하며 또한 산업체가 business model을 확충할 수 있도록 연구과제의 산업화, 실용화를 위한 연구비 배정이 있어야 한다. 또한 현재 국가에서 운영하는 환경과 인체안전성평가 센터, 형질전환을 전문적으로 할 수 있는 작물형질전환 센터, 그리고 agbiotech valley를 확충하여 산업체나 민간의 요청 시 공동 연구할 수 있도록 체계가 필요하다.

정부기관에서 주장하는 2010년 세계 7위 농업선진국진입을 위한 생명공학 산업인프라 구축을 위한 슬로전에도 불구하고 형질전환작물의 이용가치에 대한 홍보가 빈약하여 국내에서는 투자가치가 없는 산업으로 간주되고 있어서 정부차원의 홍보 개입이 절실하다.

2) 대학과 국립연구소의 역할

대학과 국립연구소는 농업생명공학기초연구 및 원천 기반 기술개발에 총력을 기울여 우수한 형질전환작물을 개발하기 위한 유전자 발굴과 첨단 형질전환시스템 구축에 노력해야 한다. 또한 안전성 평가방법과 형질전환작물의 육종방법이 열악하여 형질전환개발자, 안전성 전문가, 육종가 등 고급 전문 인력 배출에 주력해야 할 것이다.

국민 전체가 형질전환작물 관련 체계적인 교육에 노출된 적이 없기 때문에 오해소지만 늘고 있다. 따라서 대학과 국립연구소가 초, 중, 고, 대학에 형질전환관련해서 교육을 통한 홍보의 주체가 되어야 한다.

### 3) 산업체의 역할

외국에선 다국적 기업들이 형질전환작물 개발과 상업화의 主 역할을 담당한다. 따라서 국내에서도 형질전환산업의 leader는 국내 종자기업에서 하되 품종개발을 위해서는 산·학·연 인프라 구축을 통하여 상호 최대한의 협력체계를 이루어야 한다. 특히 육종기술이 발달되어 있는 종자회사는 자체 형질전환작물 개발 외에도 대학이나 연구소에서 개발한 형질전환작물을 계통화, 품종화하여 형질전환작물 상품화관련 로드맵을 구축하도록 한다.

### 4) 국민의 역할

국민의 대다수는 형질전환작물의 장단점을 교육 받은 적이 없기 때문에 특히 negative한 편견을 가질 수 있으며 현실이 그렇다. 왜 수많은 과학자들이 유용 가치가 있는 형질전환작물을 개발하고자 하는지 이해와 신뢰가 확대되어야 한다. 농업생명공학 발전만이 수량증대, 품질향상, 생산비절감, 노동절감, 농가소득증대, 친환경자연과 생태계보호, 기능성을 이용한 인류건강 향상과 의약품개발 등을 이룰 수 있다. 현재의 관행육종으로는 이미 한계가 있다고 알려져 있으며 전 인류의 먹거리를 책임질 수 없다는 것이다. 또한 우리가 하지 않으면 세계 종자전쟁에서 낙오되며 수입자유화에 따른 농가 피해가 급증하게 된다. 따라서 현시점에서 국민들은 농업의 생존전략으로 형질전환작물이 첨단 육종기술영입이라고 인식하면서 시민연대, 환경론자, NGO들의 편파적인 주장에 대해서 선별력을 키워야 한다.

## 요 약

형질전환작물의 재배면적은 초창기 1996년에 비해 2005년 기준으로 약 50배 늘어났고 매년 10% 이상 꾸준한 증가세를 유지하고 있으며 지난 10년간 형질전환작물에 의한 산업 가치가 매우 큰 것으로 확인되었다. 또한 2010년에는 약 60%의 종자 매출이 형질전환기술을 이용한 개량종자일 것으로 예측하고 있어서 인류 먹거리사에 막대한 영향력을 가져다주고 있는 제 2의 녹색혁명이라고 간주될 수 있다.

그럼에도 불구하고 대한민국에서는 형질전환작물에 대한 상업화가 전혀 활성화가 되지 않아서 미래 종자전쟁에서 패배할 수밖에 없을 것으로 보인다. 그러나 결코 기술적으로 뒤떨어져 있지 않으며 실제로 외국과 비교하여 많은 작물들에 대한 protocol이 국내 연구자들에 의해서 완성되어 왔다. 또한 몇몇 작물은 세계 최초로 형질전환시스템을 구축한 경우들도 있어서 외국과의 경쟁력에서 우위에 있는 것이 사실이다. 따라서 형질전환개발 기술측면에서는 국가 경쟁력이 있었지만 상업화하기 위한 몇 가지 시스템이 부족하였던 것이 현주소

라고 사려 된다. 가장 큰 문제는 형질전환작물 개발 초기서부터 target 유전자가 제대로 상업화가 될 수 있도록 설정되어 있지 않은 것이다. 그리고 형질전환작물이 개발되었을 경우 육종가에 의한 형질전환육종이 실행되지 않고 비육종가 직접 재배한 경우가 대부분이어서 체세포 변이에 의한 열성 개체들이 선발되거나 transgene의 효과가 자식열세에 의해서 상쇄되어 원예적으로 불량하게 선발된 것이 아닌가 사려 된다.

앞으로 이런 문제점들을 잘 숙지하고 형질전환작물의 상업화를 위하여 정부, 대학, 국립연구소, 산업체, 국민 모두 자기 역할을 활성화하여야 한다. 향후 종자전쟁의 경쟁에서 우리가 시장점유를 확실히 하기 위해서는 지금서부터 젊어지고 가야할 숙제와 난관이 너무 많다. 이미 국제적 경쟁에서 많이 뒤져있어서 우리가 제일 잘 할 수 있는 작물을 선택하여 개발하는 것을 제 1우선순위로 채택하고 산·학·연 협력으로 집중 연구하여 많은 사람들이 진정으로 인정하는 형질전환작물 품종개발이 가급적 빠른 기간 내에 마련되어야 할 것이다.

## 사 사

본 논문은 작물유전체기능연구사업단 (CG2242)과 바이오그린 21 사업단의 지원에 의해 이루어졌으며 이에 감사드립니다.

## 인용문헌

- Black R (2004) BBC News. Europe Gives Transgenic Seed Green Light. Agbioworld at www.agbioworld.org; September 9
- Clive James (2004) Global status of commercialized transgenic crops ISAAA
- Clive James (2005) Global status of commercialized transgenic crops ISAAA
- Kim JH (2006) LMOs research development. 2006 Biosafety white paper. Korea Biosafety Clearing House (KBCH) of KRIBB. I will publishing Co. 214-234
- NIAS: National Institute of Agrobiological Science in Japan (2004) Field trial of genetically modified crops. News 13
- IAPTC&B: The international Association for Plant Tissue Culture & Biotechnology (2006) Biotechnology and sustainable agriculture 2006 and beyond. Proceeding of 11th IAPTC&B congress. Beijing, China. August 13-18
- KBCH: Korea Biosafety Clearing House (KBCH) of KRIBB (2006) Introduction of private sector: Pioneer Hi-Bred International, Inc. Biosafety 7: 102-106
- Harn CH (2004) Advantages of GM crops. Korea Biosafety Clearing House (KBCH) of KRIBB. Biosafety 5: 8-15
- KSPGT: Korean Society of Plant Genetic Transformation. Transformation of crops. Jeong Mun Kak publishing Co. in press

NIAB: National Institute of Agricultural Biotechnology of Rural Development Administration. Guideline for environmental risk assessment of GM crops: for public. Registration number: 11-1390564-000045-14. 2006, 1-13

Harn CH (2004) Role of scientists developing LMO regarding the safety and improvement of system for commercialization. Korean Society of Plant Biotechnology. May 7-8. Proceeding of 2004 Spring Congress. 75-78

(접수일자 2006년 10월 12일, 수리일자 2006년 10월 22일)