

전수조사를 통한 국내 유전자변형생물체의 연구 동향 분석

이훈복¹, 최경화^{1,2}, 정순기¹, 김용호², 김환묵^{1*}

¹한국생명공학연구원 바이오평가센터, ²국립환경연구원, 환경바이오안전과

An analysis of research trends on living modified organisms in Korea through questionnaire surveys

Hoonbok Yi¹, Kyung Hwa Choi^{1,2}, Soon Gee Chung¹, Yongho Kim², and Hwanmook Kim^{1*}

¹Bio-Evaluation, Korea Research Institute of Bioscience and Biotechnology, 685-1 Yangcheongri, Cheongwongun 363-883, South Korea

²Environmental Biosafety Division, National Institute of Environmental Research, Ministry of Environment, Kyungseodong, Seogu, Incheon 404-708, South Korea

ABSTRACT We analyzed the current research trends of living modified organisms (LMO) by questionnaires in the interest of making biosafety laws and policies in Korea. We executed a pre-survey at the Crop Functional Genomics 2004 conference and obtained LMO research information from 423 LMO research organizations, including 32 national research institutes, 314 universities, and 77 industries. We found that the total 59 kinds of hosts including 26 kinds of plants, 15 kinds of animals, and 18 kinds of microbes were used for LMO research and *E. coli* was the most common host. The risk of the most experimental hosts was below a biosafety level of 1 (73.8%) and 2 (25.9%). LMO development use purpose was implemented in various developmental uses: 51.3% in test and research use, 19% in health and medical use, and 12.9% in agriculture use. The experiment product, waste product, and products of host for LMO development were 327.2, 223.6, and 13.5 in number of plants; 280.6, 52.4, and 8.7 in number of animals; and 8.3×10^{11} CFU, 7.7×10^{11} CFU, and 6.5×10^{11} CFU in microbes in 2004. The survey results about how to possess the LMO were very unreliable, because only 10.6% of the researchers returned the questionnaires. Consequently, we strongly suggest the scientific organizations as well as scientists should have more interests in biosafety of LMO research and an LMO biosafety management system should be developed for Korea's future biotechnology.

서 론

21세기에 접어들면서 생명공학기술은 비약적으로 발전하여 의학, 식품, 농업, 환경, 화학, 에너지, 해양 등 다양한 분야에 적용되고 있다. 특히 생명공학기술에 의하여 콩, 옥수수, 면화, 유채에 유용유전자를 인위적으로 도입하여 생산한 유

전자변형생물체(LMO; Living Modified Organism)의 개발이 급속하게 진행되어 상업화 되었다. 세계 각국에서의 LMO의 생산량이 매년 증가하는데, 다음의 경우는 LMO 개발 원년이라고 할 수 있는 1996년의 재배 면적과 10년 후인 2006년의 재배 면적을 작물별로 비교하였다. 콩의 경우 1996년에 50만 ha에서 2006년에는 5860만 ha로 증가하였고, 옥수수는 30만 ha에서 2520만 ha로 증가, 면화는 80만 ha에서 1340만 ha로, 기름을 주로 짜는 캐놀라는 10만 ha에서 4800만 ha로 증가하였다 (손종구 등 2003, KBCH 2008). 박무현의 연구에

*Corresponding author Tel 043-240-6500 Fax 043-240-6549
E-mail: hwanmook@kribb.re.kr

의하면 2003년 현재 국내에서도 농업용 LMO 개발이 활발한 연구가 진행되고 있는데, 14개 작물 35종이 연구되고 있는 것으로 보고하고 있다. 이렇듯 LMO가 우리 생활에 직접적으로 많은 영향을 미치게 되면서, LMO의 개발로 인한 이익 외에 부가적으로 발생할 수 있는 인체 및 환경에 대한 잠재적인 위해성에 대한 우려의 목소리도 높아지고 있다 (박무현 2003).

UN 환경계획 (UNEP)은 LMO의 잠재적 위해성으로부터 인간의 건강을 확보하고 환경을 보전하기 위해 국제환경협약인 생물다양성협약 (CBD)의 부속의정서로 우리는 바이오안전성의정서를 2000년 1월 29일에 채택 하였고, 우리나라에서는 2000년 9월 6일 생물다양성협약에 서명하였다. 바이오안전성의정서의 국내 이행을 위하여 산업자원부 주관으로 2001년 3월에 “유전자변형생물체의 국가간 이동 등에 관한 법률” (LMO법률) (CBD 2000), 2005년 9월에 LMO법률 시행령, 2006년 3월에 LMO법률 시행규칙을 제정, 공포하였다. 2007년 10월에는 세계 143번째로 우리나라가 바이오안전성의정서에 비준하였고 2007년 12월에 ‘유전자변형생물체의 국가간 이동 등에 관한 통합고시’(LMO통합고시) (과기부 2007) 가 제정되었으며 2008년 1월 1일부터 LMO 법률이 발효되었다. 산업자원부를 국가책임기관으로 하여 여러 부처가 관여된 LMO법률은 여러 번의 공청회와 설명회를 통해 법 시행에 대한 다양한 이해당사자들의 의견을 도출하였고, LMO법률에 대한 정보를 제공 하는 등 각 부처의 노력에도 불구하고 LMO법률 시행에 대한 일선 연구자들의 이해가 많이 부족한 실정이다 (Kwon and Yi 2007).

현대생명공학기술을 이용해 얻어진 새롭게 조합된 유전 물질을 포함하는 생물체에 관한 연구를 수행하는 모든 연구실은 다양한 형태의 LMO를 다루고 있다. 따라서 LMO를 다루는 모든 연구자들은 2008년도 1월 1일부터 시행되는 LMO법을 정확히 이해하고 이를 준수하여 연구를 수행하여야 한다 (Shin 2007, LMO manual 2007).

LMO 법률에서는 LMO의 이용 목적에 따라 해당부처의 담당업무를 명시하고 있는데, 특히 과학기술부는 시험·연구용 LMO의 개발·생산·수입·수출·판매·운반·보관 등과 관련한 환경에 대한 위해성 관리의 담당부처로 지정되었다. LMO 법률 제9조 및 시행령 제12조에서는 “시험·연구용 유전자변형생물체의 수입은 시험·연구용으로 사용하거나 박람회 또는 전시회에 출품하기 위하여 유전자변형생물체를 수입하고자 하는자는 대통령령이 정하는 바에 따라 관계중

양행정기관의 장의 승인을 얻거나 관계중앙행정기관의 장에게 신고하여야 한다.” 증명까지 명시되지 않고 인체병원성 여부가 밝혀지지 않은 미생물을 이용하여 얻은 LMO, 단백질 독소생산 LMO, 약제내성유전자도입 LMO, 병원성미생물을 이용하여 얻어진 LMO를 수입할 경우는 보건복지부장관의 수입 승인을 받아야 하며 그 외의 시험연구용 LMO 수입은 과학기술부에 신고하여야 한다. 또한 법률 제 22조, 시행령 제 23조에서 “연구시설의 설치·운영허가 등에 의거하여 LMO를 개발하거나 이를 이용하는 실험을 실시하는 시설 (이하 “연구시설” 이라 한다)을 설치·운영하고자 하는 자는 대통령령이 정하는 방법에 따라 연구시설의 안전관리 등급 별로 관계중앙행정기관장에게 허가를 득하거나 신고를 하여야 한다.” 연구시설의 안전관리 등급에 따라서 인체 위해성 3, 4 등급의 연구시설은 보건복지부의 허가를 받아야 하며, 인체 및 환경 1, 2등급 시설은 과학기술부에 신고하며 환경위해성 3, 4등급 시설은 과학기술부의 허가를 받아야 한다 (한국바이오안전성정보센터 2007, Laboratory Biosafety Manual 2004). 또한 법률 제 41조 벌칙에 따라 다음 각호에 1에 해당하는 자는 2년 이하의 징역 또는 3천만원 이하의 벌금에 처한다. 제 9조 제 1항의 규정에 의한 신고를 하지 아니하고 LMO를 수입하는 자, 제 22조 제 1항의 규정에 의한 신고를 하지 아니하고 연구시설을 설치·운영한 자를 포함하며 본 벌칙규정은 양벌규정으로 위반행위자 외에 그 법인 또는 개인에 대하여도 각 해당 조의 벌금형을 과할 수 있다.

현재 국내에서 개발·유통 되어지는 시험·연구용 LMO에 대한 정량적 통계조사 자료가 없는 관계로 정확한 정책적 지원 및 관리정책을 도출하는데 어려움이 있었다. 이러한 문제점을 해소하고 보다 현실적이고 효율적인 관리와 지원을 위한 현황파악을 하기 위하여 전수 조사를 실시하였다. 본 전수조사는 국내에서 아직까지 수행한 바가 없는 LMO 연구 연구동향을 파악하기 위하여 LMO 개발현황 및 수출입현황을 조사한 사례로써 매우 의의가 높다고 할 수 있다. 시험·연구용 LMO의 개발·생산·수입·수출에 대한 정확한 현황을 파악하여 시험·연구용 LMO의 안전관리를 위한 현실적인 규제 방안과 발전이 상생하여 공존할 수 있는 방향을 마련함과 동시에 생명공학 연구 촉진을 위한 계획 수립을 비롯하여 LMO 관련 법규를 제정하는데 참고 자료로 활용하기 위하여 수행하였다.

또한 시험·연구용 LMO의 수입 및 해당 연구시설의 연구 개발 종사자를 대상으로 시험·연구용 유전자변형생물체의

수입과 연구시설 신고·허가에 수반되는 각종 규제와 절차를 사전에 알리고, 다양한 생명현상을 규명하기 위한 순수 기초 연구뿐만 아니라 산업화로 응용되기 전 단계의 시험·연구용 LMO의 수·출입 현황을 조사하여 개발 초기 단계인 실험실 단계에서의 LMO의 취급에 관한 종합적인 안전관리체계를 구축함으로써 국민에게 신뢰받고 최종적으로는 안전성을 보장한 국내 생명공학기술의 발전을 촉진시키기 위한 목적이 있다.

재료 및 방법

전수조사 방법 및 분석

본 연구는 과학기술부 국책과제인 「생명공학안전성평가 기술개발사업」의 제2단계 1차년도 사업으로 2004년도에 추진되었으며, 한국생명공학연구원, 국립환경연구원, 한국환경정책평가연구원이 공동으로 참여하였다. 본 연구를 위하여 총 소요기간은 7개월 이었으며 예비조사와 전수조사를 실시하였다. 2004년 1월부터 2004년 7월까지 총 7개월간의 조사기간을 3단계로 구분하여 본 연구를 수행하였는데, 1단계는 1월 15일부터 4월 30일까지 전수조사 설문지 작성을 포함한 예비조사기간이었으며, 2단계는 5월 3일부터 6월 8일까지 우편을 이용한 전수조사 설문지 발송 및 결과 취합을 위한 기간이었고, 3단계는 6월 9일부터 7월 30일까지 본 연구 결과 분석 및 보고서를 작성한 기간으로 구분되어 연구가 수행되었다.

예비조사를 위해서 과학기술부의 프론티어 연구개발사업인 작물유전체기능연구사업단 (www.cfgc.snu.ac.kr)이 주관한 Crop Functional Genomics 2004에 발표된 모든 연구결과를 분석하였다. 전수조사는 국내에서 생명공학기술을 이용하여 연구를 수행중인 국공립연구소, 대학교, 산업체를 대상으로 하였으며, 총 423곳을 선정하였다. 대상선정에 있어 대학교의 경우는 학과를 하나의 독립기관으로 보았으며, 국공립연구소 및 기업체는 실험실을 하나의 독립기관으로 보았다. 따라서 대학교, 국공립연구소 그리고 기업체의 법인명은 총 대상기관 계상시 중복되었다.

본 조사를 진행할때, 조사대상 범위가 너무나 방대하고 대상 생물체 종류가 너무나 다양하였기 때문에, 1차 적으로 국내의 연구기관에게 시험·연구용 LMO를 공급하는 시약 및 재료회사의 카탈로그를 검토하여 숙주별로 그 종류를 파

악하였으며 2차적으로는 국내 대학교(314개교)와 생명공학 관련 연구기관으로 간주되는 국·공립연구소(32개 기관), 기업연구소(77)로 총 423개 기관에 설문지를 배포하여 조사하였다. 전수조사를 위한 자료 조사 내용은 식물, 동물, 미생물을 기준으로 숙주명, 숙주의 위해도, 발현유전자의 위해도, 숙주의 사용목적별 빈도분석 및 위해도간 관계, 실험량, 폐기량, 생산량과 LMO의 연구 시설, LMO의 획득현황 등이다.

본 연구를 통해서 취합된 조사내용은 공동 시행기관인 국립환경연구원 LMO 환경위해성심사단에서 분석하였으며, 분석은 통계프로그램인 SPSS[®]를 이용하여 빈도분석, 비교분석 및 교차분석 등을 실시하였다 (SPSS 1998).

결과 및 고찰

예비조사

본 연구에서 수행된 예비조사에서 시험·연구용 LMO를 이용한 연구비율은 Bioinformatics 9건, Biotechnology 21건, Developmental Biology 47건, Emerging Technology 5건, Epigenetics and Gene Silencing 11건, Genomics and Molecular Breeding 87건, Signaling and Secondary Metabolism 34건, Stress Biology 65건, Transgenesis 14건, Other Category 25건 등 총 318건 이었다 (Table 1).

Emerging Technology 분야에서는 100%가 시험·연구용 LMO와 관련된 연구였고, Transgenesis 분야는 71%, Developmental Biology분야는 53%가 시험·연구용 LMO를 이용한 연구였다. Bioinformatics와 Emerging Technology부분을 제외한 모든 연구분야에서 시험·연구용 LMO와 관련된 연구의 비율이 높았다 (Table 1). 이는 작물유전체 연구분야에서 시험·연구용 LMO를 이용한 실험이 광범위하게 적용되고 있음을 알 수 있었다.

전수조사

숙주의 빈도 조사

본 조사를 통해 조사된 숙주는 총 59종류였으며, 이중 식물이 26종, 동물이 15종, 그리고 미생물이 18종이었다 (Table 2). 대장균을 포함하는 미생물 숙주의 총 사용빈도수는 106회로 전체의 40.3%를 나타내었고 식물 94회 (36.7%), 동물 63회 (24.0%)다 (Table 2). 그러므로 미생물이 숙주로서 종종 사용되어 지고 있음을 볼 때, 이는 최초로 1973년 Cohen et al.

Table 1. The proportion of LMO for test and research use in research fields of posters presented at the Crop Functional Genomics 2004 conference

Fields of research	Number of posters presented	Number of LMO for test and research use	Proportion (%)
Bioinformatics	9	0	0
Biotechnology	21	9	43
Developmental Biology	47	25	53
Emerging Technology	5	5	100
Epigenetics and Gene Silencing	11	1	9
Genomics and Molecular Breeding	87	16	18
Signaling and Secondary Metabolism	34	13	38
Stress Biology	65	25	38
Transgenesis	14	10	71
Other Category	25	9	36
Total	318	113	36

Table 2. The kinds of host and the number of host usage frequency used for LMO research in 2004

Taxonomical groups of host	The kinds of host used for research (%)	The number of host usage frequency (%)
Plants	26 (44.1)	94 (36.7)
Animals	15 (25.4)	63 (24.0)
Microbes	18 (30.5)	106 (40.3)
Total	59 (100.0)	263 (100.0)

에 의해서 대장균에서 유전자변형체를 성공한 이래 유전자 변형체를 만들기 위한 좋은 재료로 선호되고 있음을 알 수 있고, 이러한 미생물이 실험실에서 다뤄지고 있는 중이나, 이후 폐기처분시에 안전관리대책이 매우 중요한 사안이라고 볼 때, 그 안전관리대책마련이 매우 중요하게 될 것이다 (질병관리본부 2006, 보건복지부 2007).

숙주의 위해도 분석

본 조사를 통해 59개의 숙주종류가 사용되어지고 있음이 밝혀졌는데, 이들의 위해도를 등급별로 분류하여보면 위해성이 없는 위해도 1등급이라고 응답한 경우 전체 숙주 사용빈도수 263건중 194건으로 전체의 73.8%를 차지하였다. 그리고 숙주의 위해도가 조금있지만 치료가 용이한 위해도 2등급이라고 응답한 경우는 전체 숙주사용빈도수 263건중 68건으로 전체의 25.9%를 차지하였고, 숙주의 위해도가 상당할 수 있으나 치유가 가능한 위해도 3등급은 1건이 존재하였는데, H10407 *E. coli*가 이에 해당하는 위해도를 보였다. 따라서 대부분의 숙주의 위해도 등급은 위해도 1, 2등급으로 나타나, 전체 응답자의 99.8%를 나타내었다 (Table 3).

발현 유전자의 위해도별 분석

발현유전자의 위해도 분석결과 위해도1 등급인 경우는 전체 숙주사용빈도수 263개중 232개로 88.2%를 차지하여 발현유전자가 생산하는 물질의 독성이 없다고 응답하였다. 또한 전체 숙주사용빈도수 263개중 30개가 위해도가 2 등급이라고 응답하여 발현유전자가 생산하는 물질의 독성이 매우 낮았다는 것을 알 수 있다.

발현 유전자의 위해도 등급은 유전자 유래 (gene source) 나 벡터 (vector)가 병원체 유래인가, virulency가 있는가 등에 따라 위해도 1, 2, 3, 4등급으로 구분되었다. 숙주의 위해도는 연구자 내지 실험 당사자에게 중요한 부분이지만 발현 유전자의 위해도는 소비자에게 직접적인 영향을 미칠 수 있는 부분이다. 그러나 본 연구를 수행할 당시엔 국내에서는 발현유전자에 대한 정량적인 위해도 등급이 없어 모호한 판단 가능성도 배제할 수는 없었다. 따라서 소비자에게 직접적인 영향을 미칠 수 있는 발현유전자가 생산해 내는 물질에 대한 정확한 위해도 평가가 선행되어야 하며 이를 위해선 보건복지부 (2007) 및 질병관리본부 (2006)에서 발행한 지침서를 참조할 수 있다.

Table 3. The host IDs and their biosafety levels of risk

Host IDs	Biosafety level of risk			Sum of each host ID (%)
	1	2	3	
<i>Oryza sativa</i> L.	7	0	0	7 (2.7)
<i>Nicotiana tabacum</i>	4	1	0	5 (1.9)
<i>Arabidopsis thaliana</i> HEYNH	7	0	0	7 (2.7)
Turfgrass	5	0	0	5 (1.9)
<i>E. coli</i>	76	48	1	125 (47.5)
Yeast	7	2	0	9 (3.4)
<i>Agrobacterium tumefaciens</i>	5	10	0	15 (5.7)
Mouse	18	0	0	18 (6.8)
HEK293 (Human Embryonic Kidney 293)	6	1	0	7 (2.7)
Others	59	6	0	65 (24.7)
Total (%)	194 (73.8)	68 (25.9)	1 (0.3)	263 (100)

숙주의 사용목적별 빈도분석 및 위해도간 관계

본 결과를 통해 조사된 바에 의하면 대부분의 숙주는 시험·연구용을 목적으로 사용된다고 응답한 연구자가 전체의 51.3%로 반 이상이 시험·연구를 목적으로 숙주를 이용하고 있었다. 그리고 치료용, 즉 의약용으로 사용한다고 응답한 연구자는 전체의 19%로 시험·연구용 다음으로 많았다. 다음이 농업용으로 사용한다는 응답자는 12.9%, 환경정화용이 1.9%를 차지하고 있었다 (Table 4). 본 조사에서 나타난 결과 대부분이 시험·연구용으로 LMO를 사용하고 있는 것으로 나타났는데, 이는 상품으로의 개발을 위해 현재 국내 실험실에서 많은 연구활동이 이루어지고 있음을 보여주고 있다.

따라서 시험·연구용 LMO에 대한 관리는 무엇보다도 이들의 안전성을 확보하는 것이 중요한 사항이다. 개발의 초기단계인 시험·연구활동에서부터 LMO를 안전하게 취급하고 관리·통제할 때에만 차후 발생하게 될 2차, 3차의 위해로부터 벗어날 수 있을 것이다.

하지만, 실험실 수준에서 이루어지는 연구는 정확한 현황을 파악하기가 거의 불가능하다고 할 수 있다. 또한 이러한 현황은 기업의 연구활동으로서 기업의 경제적 이익창출과 직결되어 기업비밀에 붙여지는 경우가 대부분이다. 즉, 기업 연구소에서의 연구활동은 직접적 상품화가 유일한 목적이다. 또한 대학내 연구실에서 이루어지는 연구활동도 자체 LMO 개발을 통한 상품화가 목적인 것도 있으며, 순수한 시험·연구를 목적으로만 하는 경우도 있다.

조사결과 시험·연구용 LMO의 숙주위해도 수준은 대부분이 위해도 1등급과 위해도 2등급에 해당하였다. 그리고

치료용으로 사용되는 LMO도 위해도 1등급과 위해도 2등급이었다. 조사된 LMO의 개발용도별 위해도 수준은 위해도 1등급이 전체의 73.8%, 위해도 수준 2등급이 전체의 25.9%를 차지하였으며, 위해도 수준이 3등급인 것은 0.4%로 시험·연구용으로 사용되는 LM-대장균 1종이 해당되었다 (Table 4).

한편, 본 전수조사의 결과에서도 응답자의 약 12.9%가 농업용으로서의 LMO를 개발하고 있다고 응답하여 많은 부분을 차지하고 있었다. 물론 현재 국내의 상황과 기술수준으로 볼 때 개발 및 기술의 초기단계로서 시험·연구용 LMO가 전체 응답자의 51.3%를 차지하고는 있지만, 이중에서도 최종목적이 농업용으로서의 개발이 목적인 LMO가 상당량 포함되어 있을 것으로 추정할 수 있다.

개발의 용도가 치료용이라고 응답한 연구자들도 약 19.0%를 차지하여 농업용보다 많은 것으로 조사되었으나, 농업용과 치료용 모두 인체에 영향이 직접적으로 미칠 수 있는 생물체로서 이들의 위해도 수준에 대한 정확한 판단은 무엇보다도 인체건강을 확보하는데 중요한 지표가 될 것이다.

이러한 결과로부터 위해도 수준 1과 위해도 수준 2에 해당하는 관리대상 숙주가 전체의 99.6%를 차지함을 알 수 있었으며, 이들 중 51.3%가 과학기술부의 관리대상 숙주인 것으로 조사되었다. 따라서 과학기술부는 우선적으로 이들 시험·연구용 LMO에 대한 위해도 수준별 관리대책을 수립해야 할 것이다. 현재도 계속해서 이들의 안전관리가 허술하여 대부분 실험하고 난 후 폐기처리하는 과정이 제재없이 이루어져 환경 중으로 비의도적으로 방출되는 사례가 다반사라는 지적이 있다. 이러한 상황을 방지할 경우 국내 수질에

Table 4. The Pearson's correlation analysis between frequency of LMO development use and biosafety level of host at each purpose of host use in 2004. BL; biosafety level

Purpose of Host Use	LMOs	Biosafety level of Host			Total
		BL 1	BL 2	BL 3	
Test and Research Use	Frequency	91	43	1	135
	Ratio within each host use	67.4	31.9	0.7	100.0
	Ratio within each BL	46.9	63.2	100.0	51.3
Agriculture Use	Frequency	33	1	0	34
	Ratio within each host use	97.1	2.9	0.0	100.0
	Ratio within each BL	17.0	1.5	0.0	12.9
Industry Use	Frequency	10	1	0	11
	Ratio within each host use	90.9	9.1	0.0	100.0
	Ratio within each BL	5.2	1.5	0.0	4.2
Edibility Use	Frequency	4	0	0	4
	Ratio within each host use	100.0	0.0	0.0	100.0
	Ratio within each BL	2.1	0.0	0.0	1.5
Livestock Industry Use	Frequency	1	0	0	1
	Ratio within each host use	100.0	0.0	0.0	100.0
	Ratio within each BL	0.5	0.0	0.0	0.4
Health and Medical Use	Frequency	27	23	0	50
	Ratio within each host use	54.0	46.0	0.0	100.0
	Ratio within each BL	13.9	33.8	0.0	19.0
Edibility and Livestock Industry Use	Frequency	2	0	0	2
	Ratio within each host use	100.0	0.0	0.0	100.0
	Ratio within each BL	1.0	0.0	0.0	0.8
Environment Purification Use	Frequency	5	0	0	5
	Ratio within each host use	100.0	0.0	0.0	100.0
	Ratio within each BL	2.6	0.0	0.0	1.9
Research, Health, and Medical Use	Frequency	21	0	0	21
	Ratio within each host use	100.0	0.0	0.0	100.0
	Ratio within each BL	10.8	0.0	0.0	8.0
Sum	Frequency	194	68	1	263
	Ratio within each host use	73.8	25.9	0.4	100.0
	Ratio within each BL	100.0	100.0	100.0	100.0
Pearson's correlation value (<i>P</i> value)		36.712 (0.002)			

대한 오염과 토양에 대한 오염으로 이어져 2차적으로는 인간에게까지 그 영향이 미칠 수 있음을 명심해야 할 것이다.

숙주의 실험량, 폐기량 및 생산량 분석

미생물의 정량화를 위하여 Colony Forming Unit(CFU)를 사용하였다. 즉, 식물, 동물과는 달리 개체가 사람의 눈으로 확인하기에는 불가능하므로, 집락(colony)의 형태로 확인하는 수밖에 없다. 그러므로 실험시에 관리하기가 힘들고, 특히 폐기하는 과정에서 쉽게 환경중으로 방출될 가능성이 가

장 큰 생물체이다. 또한 번식력이 왕성하여 다른 식물, 동물보다는 환경중에서 적응속도가 빨라 환경중에 방출될 경우 쉽게 살아남을 수 있는 생물체이다. 조사결과 식물은 월별 약 327개, 동물은 월별 약 280마리, 미생물은 월별 약 8.3×10^{11} CFU를 LMO 생산을 위하여 숙주로서 사용하고 있었다 (Table 5).

폐기량은 실험량과 유사하게 폐기되고 있었으나 동물은 실험량에 약 18.7%만이 폐기됨을 알 수 있었다. 이는 숙주가 동물일 경우 그 자체로서 특성을 유지시켜 상업화하거나 반복적인 세대교번을 시키기 때문인 것으로 판단된다. 반면,

Table 5. The quantitative analysis for the experiment product, the waste product, and the products of host for the LMO development in 2004

Taxonomical Groups of Host	Experiment Product	Waste Product	Products
Plants (number)	327.2 number/month	223.6 number/month	13.5 number/month
Freq. of no response/Total Freq.	15.40%	17.30%	19.20%
Animals (number)	280.6 number/month	52.4 number/month	8.7 number/month
Freq. of no response/Total Freq.	25.80%	54.80%	64.50%
Microbes (CFU)	8.3×10^{11} CFU/month	7.7×10^{11} CFU/month	6.5×10^{11} CFU/month
Freq. of no response/Total Freq.	4.80%	13.10%	19.00%

Freq. stands for Frequency. CFU stands for Colony Forming Unit.

The frequency data were from the questionnaires which have sent to the research organizations.

미생물은 자체를 숙주로 이용하여 원하는 특성을 발현시킨 후 또 다른 식물 내지 동물로 감염시키는 vector로서의 역할도 동시에 하거나, 미생물 체내에서 발현시켜 원하는 물질을 생산하여 그 생산된 물질만을 얻은 후 폐기하기 때문에 상대적으로 실험량에 대한 폐기량의 비율이 92.8%를 차지하여 대부분이 폐기되는 것으로 나타났다. 식물의 경우는 실험량에 대한 폐기량의 비율이 68.3%로 반 이상이 폐기되는 것으로 나타나 상당량이 폐기되는 것을 알 수 있다. 특히 가장 많이 사용되는 LMO는 대장균으로서 이들을 폐기처분 과정에서 제대로 관리되지 않을 경우 실험실 하수구를 통해 바로 환경 중에 방출되어 우리 인간의 장내로 들어올 가능성이 큰 생물체이다.

생산량은 식물은 월별 13.5개, 동물은 월별 8.7마리, 미생물은 월별 6.5×10^{11} CFU를 월 단위별로 나타내었다.

설문조사를 통한 LMO의 획득현황

설문지를 통한 국내연구기관의 LMO 수출입현황을 조사한 결과 설문지배포 및 응답현황은 전체 423개 배부처로부터 응답을 한 회수율은 10.6%이었다. 회수율이 가장 낮은 대학의 경우 6.7%로서 추후 보다 응답율이 높은 설문조사가 될 수 있도록 설문지 배부방법, 회수 방법 등에 대한 체계적인 검토가 필요한 것으로 나타났다. 총 회수된 설문지 회수 개수 116개 (이중 수출입 관련하여 응답한 개수는 45개임)의 설문내용을 분석한 결과 총 59종류의 숙주를 대상으로 263건의 LMO에 대한 구매 혹은 구입이 이루어진 것으로 조사되었다. 총 263건에 대한 숙주별 구입 방법을 분석한 결과 숙주의 총사용빈도수 263건에 대하여 172건 (65%)은 구체적인 구입방법을 기술하지 않았으며 회사로부터 구매한 것이 43건, 무상 양수 받았다고 응답한 것이 역시 43건으로 각각 16%를 차지하였으며 구매 혹은 무상양수로 응답한 건수

가 5건으로 2%를 차지하였다.

구매방법에 대하여 응답한 사례가 91건으로 조사되었다. 이들 중 식물이 11건으로 전체 응답자에 12.1%를 차지하였으며, 미생물은 60건으로 65.9%, 동물은 20건으로 22.0%를 나타내었다. 이러한 결과로부터도 시험·연구용 LMO 개발에 대한 연구활동에 있어 미생물이 가장 많이 사용되고 있음을 알 수 있다. 앞에서 이미 기술한 숙주의 총사용빈도수가 미생물이 가장 많았던 사례와 일치하고 있음을 볼 수 있다. 따라서 미생물에 대한 안전관리대책 수립은 식물과 동물에 비해 앞서 수립해야 할 것이라 사료된다. 또한 구매 내지 무상양수는 어디로부터 하였는가에 대한 질문에 대하여 구매하여 사용했다고 응답한 건수 43건 중 26건이 국내에서 구입하였다고 응답하였으며, 16건은 국외를 통해 구입한 것으로 나타났다. 그리고 무상양수의 경우는 16 (67.0%)건이 국내에서, 7 (25.3%)건이 국외에서 이뤄진 것으로 조사되었다.

이러한 결과로부터 국내 연구자들은 LMO의 개발 연구를 위하여 국내에서 숙주를 구매하거나 무상으로 분양받는 사례가 많음을 알 수 있었다. 이는 국외를 통하지 않고서도 국내에서도 원하는 숙주를 쉽게 구매 내지 무상양수를 받을 수 있다는 것을 나타낸다. 즉, 구매의 경우 국내에 있는 생명공학다국적기업을 통해 쉽게 원하는 숙주를 구매할 수 있다는 것이다. 또한 국내 연구자들은 상호 공동연구를 수행하는 과정에서 원하는 숙주를 무상으로 교환하고 있다는 사실도 알 수 있었다.

한편 LMO가 어떠한 경로를 통하여 구입되었는가에 하는 질문에는 전체 응답건수 91건 중 우편으로 구입한 것이 55건으로 60.4%를 나타내었으며, 직접 구입한 것이 33건으로 36.3%, 자체적으로 개발한 경우는 1건, 기타 2건으로 조사되었다. 그리고 우편을 통해 구입한 경우 중 개발목적을 살펴

보면, 시험·연구용이 28건으로 50.9%, 연구 및 치료용이 21건으로 38.2%, 기타 6건으로 11.9%로 나타났다. 또한 직접 구입한 경우도 시험·연구를 목적으로 구입한 경우가 전체 33건 중 26건을 차지하여 78.8%로 나타났다 (Table 6). 따라서 시험·연구용으로 구입하는 경우가 대부분인 것을 알 수 있었으며, 이러한 결과는 개발의 초기단계인 시험연구활동이 국내에서 활발하게 이루어지고 있으며, 이에 대한 관리 방안 마련이 시급히 만들어져 국내의 연구환경 조성 및 철저한 안전관리대책을 마련할 필요가 있음을 알 수 있었다.

결 론

본 연구 결과에 대한 결론을 정리하면, 첫째, 시험·연구용 LMO의 안전관리 방안 마련 시 미생물뿐만 아니라 동물, 식물에 대한 안전관리가 동시에 마련되어야 할 것이다. 둘째, 숙주별 위해도를 분석한 결과 과학기술부 관리대상이 거의 대부분임을 알 수 있었다. 셋째, 대부분이 과학기술부 관리대상이었으나 위해도에 대한 기준이 명확하지 않으므로 숙주별 위해도 기준마련이 시급하다고 판단된다. 넷째, 현재 국내 실험실에서 연구는 반 이상이 시험·연구를 목적으로 하므로 시험·연구 활동의 안전성을 확보할 수 있는 시설기준, 연구자 안전관리지침 등을 마련해야 한다. 다섯째, 본 조사를 바탕으로 실험실 안전관리지침을 제정하고, 폐기에 대한 철저한 관리방안이 수립되어야 할 것이다. 여섯째, 설문조사를 통한 LMO 획득현황을 조사한 결과 숙주별 미생물의 구매가 가장 많았으며, 수출입 안전관리지침 미생물의 안

전관리 수립과 함께 동·식물의 안전관리도 수립해야 한다.

그리고 인위적으로 종간의 벽을 허무는 LMO의 창출과정에 따라 LMO에 대한 인체 및 환경에 대한 잠재적인 악영향이 우려되며 이러한 측면에서 LMO의 연구 목적의 이용 또는 상업화를 위한 시험·연구 단계에서 LMO 및 연구시설의 안전관리가 철저히 이루어져 LMO의 인체 및 환경에 대한 잠재적인 악영향을 사전에 차단해야 한다. 또한 시험·연구용 LMO의 연구가 궁극적으로 고부가 가치의 LMO의 창출이나 가치 있는 유전자의 발굴로 우리나라의 실정에 적합한 과학적이고 통용성이 확보된 시험·연구용 LMO의 위해성 관리기술의 개발에 있으며 수입 LMO의 수량을 포함한 유통경로, 표시제등의 안전관리뿐만 아니라, 국내 연구에서 LMO 취급관련 연구시설도 안전관리를 받아야 하므로 본 연구를 통한 LMO연구의 현황 파악이 더욱 큰 역할을 할 수 있을 것으로 기대된다.

전수조사 결과를 바탕으로 시험·연구용 LMO와 관련된 행정조치사항을 조화롭게 마련하는데 토대가 되었으며 본 연구 결과를 토대로 현재 바이오안전성평가관리사업을 과학기술부와 과학재단의 지원하에 한국생명공학연구원주관으로 수행 중에 있다. 국내의 LMO 연구동향을 파악한 본 연구를 통해 LMO 안전관리 체계마련, LMO 안전성평가기준 마련, LMO안전성 모니터링, LMO 안전관리 교육 및 LMO의 안전성 홍보 등을 시행하여, 국민과 윤택한 삶을 공유할 수 있는 토대를 마련하고 안전한 연구환경을 조성함으로써, 미래 지속가능한 생명공학연구의 발전의 기초를 마련 할 수 있을 것으로 기대된다.

Table 6. The Pearson's correlation analysis between the purpose of host use and the method of host possession in 2004

The Purpose of Host Use	Methods of Host Possesion			
	By Mail	Purchase	Development of Itself	Others
Test and Research Use	28	26	0	0
Agriculture Use	3	1	1	0
Industry Use	0	4	0	0
Edibility Use	0	0	0	0
Livestock Industry Use	0	0	0	0
Health and Medical Use	3	2	0	1
Edibility and Livestock Industry Use	0	0	0	0
Environment Purification Use	0	0	0	1
Research, Health, and Medical Use	21	0	0	0
Sum	55	33	1	2
Pearson's correlation value				124.354
(p value)				(0.000)

사 사

이 논문은 2004년도 과학기술부와 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 생명공학안전성평가기술개발사업(No. M10310010001-07B1001-00110)을 밝힌다.

인용문헌

과학기술부 (2007) 유전자변형생물체의 국가 간 이동 등에 관한 통합고시 제2007-19호

박무현 (2003) GMO의 유통실태와 안전성 확립 방안. 한국과학기술정보연구원보고서

보건복지부 (2007) 유전자재조합실험지침

손종구, 김유일, 이상필 (2003) 기술산업정보분석-유전자변형식품. 한국과학기술정보연구원보고서

질병관리본부 (2006) 실험실생물안전지침

CBD (2000) Cartagena protocol on biosafety to the convention on biological diversity. Montreal, Cannada

한국바이오안전성정보센터 (2007) 유전자변형생물체의 국가간 이동등에 관한 법률. 한국바이오안전성정보센터(www.bch.or.kr)

Cohen S, Chang ACY, Boyert HW, Helling RB (1973) Construction of biologically functional bacterial plasmids *In Vitro*. Proc Nat Acad Sci USA 70: 3240-3244

Health Canada (1996) Laboratory biosafety manual, 2nd ed. Ottawa, Minister of Supply and Services, Canada

KBCH (2008) <http://www.biosafety.or.kr>

Kwon SY, Yi HB (2007) The point view of LMO researchers. Biosafety 8: 105-108

Laboratory biosafety manual (2004) Laboratory biosafety manual, 3rd ed. Geneva, Switzzland

LMO manual (2007) LMO manual to know easy for scientists. Ministry of Science and Technology, Korea Research Institute of Bioscience and Biotechnology

OECD (1982) Biotechnology - Reviewing and Refining the Definition of Biotechnology. International Trends and Perspectives

Shin SK (2007) The safety management system for test and research LMO -by Ministry of Science and Technology. Biosafety 8: 26-30

SPSS (1998) SPSS Base 8.0 User's Guide 1068 pp. Prentice Hall

(접수일자 2008년 2월 27일, 수리일자 2008년 3월 11일)