보안 과제( ), 일반 과제(O) / 공개(O), 비공개( )발간등록번호(O)
농생명산업기술개발사업 2021년도 최종보고서

발간등록번호
11-1543000-003364-01

종자용 LMO 유채의 환경영향 저감을 위한 현장적용 기술개발

2021. 1. 22

주관연구기관 / 서울여자대학교 산학협력단
협동연구기관 / 전주대학교 산학협력단

농 림 축 산 식 품 부
(전문기관) 농림식품기술기획평가원

제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

본 보고서를 "종자용 LMO 유채의 환경영향 저감을 위한 현장적용 기술개발"(개발기간 : 2019.09.19 ~ 2021.01.22.)과제의 최종보고서로 제출합니다.

2021. 01. 22

주관연구기관명 : 서울여자대학교 산학협력단 (정소연) (인)
협동연구기관명 : 전주대학교 산학협력단 (변주승) (인)

주관연구책임자 : 이 훈 복
협동연구책임자 : 이 범 규

국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제18조에 따라 보고서 열람에 동의 합니다.

<보고서 요약서>

보고서 요약서

과제고유번호	319105-01	해 당 단 계 연 구 기 간	1차년도	단 계 구 분	1차년도/ 1차년도
연 구 사 업 명	단 위 사 업	농식품기술개발사업			
	사 업 명	농생명산업기술개발사업			
연 구 과 제 명	대 과 제 명	(해당 없음)			
	세부 과제명	종자용 LMO 유채의 환경영향 저감을 위한 현장적용 기술 개발			
연 구 책 임 자	이훈복	해당단계 참여연구원 수	총: 9명 내부: 9명 외부: 0명	해당단계 연구개발비	정부:90,000천원 민간: 0천원 계: 90,000천원
		총 연구기간 참여연구원 수	총: 9명 내부: 9명 외부: 0명	총 연구개발비	정부:90,000천원 민간: 천원 계: 90,000천원
연구기관명 및 소 속 부 서 명	서울여자대학교 산학협력단			참여기업명	
국제공동연구	상대국명:			상대국 연구기관명:	
위 탁 연 구	연구기관명:			연구책임자:	

※ 국내외의 기술개발 현황은 연구개발계획서에 기재한 내용으로 갈음

연구개발성과의 보안등급 및 사유	

9대 성과 등록·기탁번호

구분	논문	특허	보고서 원문	연구시설 ·장비	기술요약 정보	소프트 웨어	화합물	생명자원		신품종	
								생명 정보	생물 자원	정보	실물
등록·기탁 번호											

국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설·장비 현황

구입기관	연구시설· 장비명	규격 (모델명)	수량	구입연월일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장소)	NTIS 등록번호

본 연구과제는 2017년 5월 태백 문곡소도동 유채꽃 축제지에서 미승인 LM유채가 발견된 이후로 LMO의 비의도적 환경방출에 따른 환경 영향조사를 위해 추진된 과제로써, 2년여간 농업생명산업기술개발사업으로 발견지 및 주변환경영향조사를 실시하여 LMO 유채 발견지를 감소해 나갔으나, 33개소의 추가 조사가 필요하여 1년여간의 기간을 추가로 연장하여 조사가 진행되었음. 1년간의 2회의 유관기관 민관합동 환경영향조사(서울여자대학교, 전주대학교, 농식품부, 농림축산검역본부, 국립종자원, 국립농업과학원, 유관기관, 지자체, 시민단체 참여)와 2회의 자체영향조사(서울여자대학교, 전주대학교 참여)가 추진되었으며 그 결과 미승인 LM유채 발견지 총 33개소 중 33개소가 모두 일반관리지역으로 전환되었으며, 16개소가 민관합동조사에서 제외 되었음, 본 과제를 통해 미승인 LM유채의 효율적 관리 방안 구축이 가능할 것으로 기대되며, 본 연구에서 제시된 가이드라인은 LM유채로부터 생태계 위해성에 대한 안전관리 방안 마련 및 종합관리 체계 수립을 위한 기초 자료로 활용될 것으로 기대됨.	보고서 면수 77

<요약문>

연구의 목적 및 내용	- 종자용 LM유채의 환경영향 저감을 위한 현장적용 기술 개발 - LM유채가 비의도적으로 환경방출 되어 집중관리가 필요한 지역의 발생밀도, 빈도, 생육단계 및 분포현황조사 및 유채 근연종으로의 유전자 이동성 조사를 통한 효과적 방제 및 조치방안 마련. - 재발생 LM유채 처리 및 효율적 관리를 위한 저감기술 개발 - 환경방출 LM유채의 효율적 안전관리 및 방제기술 가이드라인 도출				
연구개발성과	○ LM유채 발견지 환경방출 모니터링 - 대상 권역 : 경기권, 충청권, 전라권, 경상권 - 발견지 주변 지리적 특성 및 위치 조사 - 발견지별 LM유채 재 발생 현황 조사 및 LMO 검정 분석 - 발견지별 주변 환경 동종/근연종 작물 재배·주변 식생 및 토양환경 조사 ○ 재발생 LM유채 처리 및 효율적 관리를 위한 저감기술 개발 및 현장적용 가이드라인 도출 - LM유채 유전자 이동성에 대한 학술논문 및 연구자료 분석 - LMO 발견지의 관리 유형에 따른 재발생 빈도 조사 분석 - LM유채 발생지의 환경적 특성을 분석하여 지역 관리 방안 도출을 통한 저감기술 개발 - 재발생 LM유채를 제거할 수 있는 최적의 현장적용 관리방안 가이드라인 개발				
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	○ (정책적지표) LM유채 발견지별 환경영향 분석 결과가 반영된 종합 보고서, 안전관리 및 효율적 관리방안 가이드라인(1건 이상). ○ (연구기반지표) 비SCI급 1편 이상 ○ 본 연구를 통해 LM유채 발견지의 유전자이동성 예측이 가능할 것으로 기대 ○ 본 연구에서 제시할 매뉴얼은 LM유채로부터 생태계 위해성에 대한 안전관리 방안 마련 및 종합관리체계 수립을 위한 기초 자료로 활용될 것으로 기대				
국문핵심어 (5개 이내)	유채	환경방출	근연종	유전자이동	모니터링
영문핵심어 (5개 이내)	Canola	Environmental release	Relative species	Gene flow	Monitoring

※ 국문으로 작성(영문 핵심어 제외)

<본문목차>

〈 목 차 〉

1장. 연구개발과제의 개요 ····· 6
1절. 연구개발 목적, 필요성 및 연구개발 범위 ····· 6
1-1. 연구개발 목적 ····· 6
1-2. 연구개발의 필요성 ····· 8
1-3. 연구개발 범위 ····· 9
가. 최종목표 ····· 9
나. 세부목표 ····· 9
2장. 연구수행 내용 및 결과 ····· 10
1절. 연차별 개발목표 및 내용 ····· 10
1-1. 1차년도 연구내용 ····· 10
가. 연구개발 목표 ····· 10
나. 개발 내용 및 범위 ····· 15
3장. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도 ····· 61
1절. 목표 ····· 61
1-1. 정성적 목표 ····· 61
1-2. 정량적 목표 ····· 61
1-3. 연구기반 지표 ····· 61
2절. 목표 달성여부 ····· 62
3절. 목표 미달성 시 원인(사유) 및 차후대책(후속연구의 필요성 등) ····· 62
4장. 연구결과의 활용 계획 등 ····· 63
1절. 연구개발 결과의 활용방안 ····· 63
2절. 기대성과 및 파급효과 ····· 63
1-1. 기술적 측면 ····· 63
1-2. 경제적·산업적 측면 ····· 63
붙임. 참고 문헌 ····· 64

<별첨> 연구개발보고서 초록
<별첨> 주관연구기관의 자체평가의견서
<별첨> 연구성과 활용계획서

1장. 연구개발과제의 개요

1절. 연구개발 목적, 필요성 및 연구개발 범위

1-1. 연구개발 목적

- 생명공학기술의 잠재적인 고부가 가치 창출 가능성과 인체·환경에 대한 이익 때문에 국내외에서 신품종 유전자변형생물체(LMO: Living Modified Organisms)의 개발이 가속화 되고 있음. 이는 잠재적 환경 위해 가능성에 대한 논란을 불러옴.
- 이에 따라 인간 건강 및 환경보호에 미칠 위해를 사전에 방지하기 위한 국제적 노력이 진행됨.
- LMO에 대한 잠재적 위험성은 첫째, 인류 건강에 대한 위해성으로 알레르기, 독성 면역체계 약화 등에 대한 우려. 둘째, LM작물의 장기간 재배 시 발생할 수 있는 생태계 교란에 대한 우려임.
- 결과적으로, 국제적인 합의문인 2000년 1월 바이오안정성의정서(CPB, Cartagena Protocol on Biosafety; 카르타헤나 의정서)가 생물다양성협약(CBD, Convention on Biological Diversity)기구에 의해 채택. 2003년 9월에 전 세계적으로 발효됨.
- 우리나라는 의정서에 비준할 것에 대비하여 2001년 3월에 “유전자변형생물체의 국가 간 이동 등에 관한 법률(LMO법)을 제정・공포. 2007년 10월 3일 바이오안전성 위원회에 비준서를 기탁함에 따라 2008년 1월 1일부터「유전자변형생물체의 국가간이동 등에 관한 법률(LMO법)」이 시행됨.

그림 1. 유전자 변형 생물체 협약

- 유전자변형 작물이 개발되고 상업화된 이후로 LM 작물의 재배면적은 세계적으로 꾸준히 증가.
- 2018년 전 세계 LM 작물 재배 국가는 26개국으로 총 재배면적은 1억 9,170만 헥타르에 달하며, 상업화 초기인 1996년부터 지속적으로 증가하는 추세로, LM 작물은 세계 전체 종자 시장의 약 3분의 1을 차지하고 있으며 시장규모가 점점 더 빠르게 성장하고 있음.
- 가장 많은 비중을 차지한 작물은 콩(Glycine max L.)으로 전체 재배면적의 50%를 차지했으며, 옥수수와 면화, 유채 등 뒤를 잇고 있음.
- 유전자변형작물 중 유채(*Brassica napus* L.)는 콩, 옥수수, 면화에 이어 전세계적으로 네번째로 많이 재배되는 작물로 2018년 기준으로 10.1만 헥타르에서 재배되어 전체 유전자변형작물의 5.3%를 차지하였음.
- 농림부 통계자료에 따르면 2011년 한국의 전체 식량자급률은 22.6%로 OECD에 가입된 30개국 중 26위로 극히 낮은 수준으로, 외국농산물에 대한 수입의존도가 높고, LMO-FFP (Food, Feed, Products ; 식품, 사료, 생산품)로 수입되는 곡물들은 많은 부분이 LMO일 가능성이 높음. 운송 과정 중에 국내환경에 비의도적으로 노출될 가능성이 높음에 따라 이에 대비한 안전대책 마련이 시급한 상황임.
- 아직 국내에는 재배용으로 허가된 LM 유채는 없으나 식용 및 사료용의 용도로 14종의 이벤트가 수입 승인된 상황임.
- 해외에서는 LM유채가 이미 개발되어 재배 유통되고 있으며 일부 비의도적/의도적인 LM 작물의 환경유출로 잡초화 및 유전자이동 등의 문제가 되고 있음. 일본과 캐나다에서는 곡물 수송항과 운송로 주변에 낙곡으로 인한 LM 유채의 유출이 보고되었음.
- 국내에서도 인천 항만 주변과 운송로에서 LM 옥수수가 발견되었으며, 2009년부터 2013년까지 국내 자연생태계 모니터링을 통해 LM 유채가 자연 생태계에서 발견되었음. 또한 최근 국내에서 미승인된 LM 유채가 비의도적으로 유통, 재배되는 사고가 발생하여 논란이 되기도 하였음.
- 이와같이 LM 곡물의 환경방출 사례가 지속적으로 나타나고 있으므로 이러한 환경방출시 유전자이동 등의 환경위해성이 우려되고 LM 작물 집단 생육지 발견 시 체계적인 대응방안 마련이 요구됨.
- 특히 유채는 국내에서 잡초화가능성이 크고, 타가 수분률이 높아 화분에 의한 유전자이동이 가능하며 갓, 무, 배추 등의 십자화과 근연종과의 교잡이 가능하여 철저한 관리가 요구되는 작물임.
- LM 유채로부터 재배되고 있거나 야생에 자생중인 유채로의 교잡은 도입유전자의 확산으로 인한 안전관리에 문제를 발생할 수 있으며, 특히 갓 등 교잡 가능한 국내 야생종으로의 교잡은 장기 생태적인 측면에서 확산 방제에 큰 문제를 야기할 수 있음.
- 따라서 본 연구에서는 LM 유채의 비의도적 환경방출에 대한 발생지 및 주변 환경영향조사, 유전자이동성 연구를 통해 LM 유채의 생태지속성 분석 및 효율적인 관리 방안을 구축하고자 함.

1-2. 연구개발의 필요성

○ 연구대상

- 학명 : *Brassica napus*
- 일반명 : 유채
- 영문명 : Oilseed rape, Canola

- 유채의 종실은 압착 및 추출을 통해 카놀라유 및 카놀라박으로 분리. 카톨라유, 카놀라박은 식용, 산업용, 사료용으로 이용.
- 유채는 지난 40년 만에 세계적으로 생산량이 급속히 증가하여, 세계 6위의 유량작물(oil crop)에서 2위의 유량작물로 성장.
- 카놀라 재배는 적도에서 멀고, 건조하며 생장기(growing season)가 짧은 지역에 집중. 카놀라 추출에 있어서의 선두국가는 캐나다. 세계 카놀라 교역량의 50% 이상을 차지.
- 지난 2009년 이후 캐나다의 유전자 변형 카놀라 파종 면적은 전체 재배 면적의 약 90%를 상회함(www.canolacouncil.org).

1-3. 연구개발 범위

가. 최종목표

○ LM유채가 비의도적으로 환경방출 되어 집중관리가 필요한 지역 및 주변 식생조사, 토양환경 조사 및 유채 근연종으로의 유전자 이동성 조사를 통한 국내 자연생태계로의 환경 영향 연구
○ 재발생 LM유채 처리 및 효율적 관리를 위한 저감기술 개발
○ 환경방출 LM유채의 효율적 안전관리 및 방제기술 가이드라인 도출

나. 세부목표

○ 환경 모니터링을 통한 비의도적 환경 방출 LM유채의 재발생 현황 조사 및 방제
○ 학술 자료를 분석을 통한 비의도적 방출 LM유채로부터 교잡 가능 십자화과 작물로의 유전자 이동성 조사
○ 연구자료 분석 및 실제 환경 자료를 기반으로 한 재발생한 LM유채 처리 및 효율적 관리를 위한 저감기술 개발
○ 정부기관 모니터링 시스템과 차별화된 환경방출 LM유채의 체계적 안전관리 및 방제기술 가이드라인 도출

2장. 연구수행 내용 및 결과

1절. 연차별 개발목표 및 내용

1-1. 1차년도 연구내용

가. 연구개발 목표

(1) 주관연구기관(서울여자대학교) : 경기, 강원, 충청 지역 LM유채 환경영향 모니터링 및 효율적 안전관리 기술개발

- 경기, 충청, 경북 지역 LM유채 발생밀도 환경조사 및 양성개체 폐기처리
- LM유채 자생지 주변 동종/근연종 식물종에 대한 자체 토양환경 조사 및 양성개체 폐기처리
- 재발생 LM유채 처리 및 효율적 관리를 위한 저감기술 개발

(2) 협동연구기관(전주대학교) : 전라, 경상 지역 LM유채 환경영향 모니터링 및 효율적 안전관리 기술개발

- 경남, 전라 지역 LM유채 발생밀도 환경조사 및 양성개체 폐기처리
- LM유채 자생지 주변 동종/근연종 식물종에 대한 자체 환경 조사 및 양성개체 폐기처리
- 학술자료를 분석을 통한 LM유채 유전자 이동성 조사
- 환경방출 LM유채의 효율적 안전관리 및 방제기술 가이드라인 도출

총괄
서울여자대학교
이훈복 교수
• 연구 총괄
• 분석 총괄
• 보고서 작성 총괄
• 전라, 경상 LM 유채 재발생 지역 집중
제1세부
서울여자대학교
이훈복 교수
• LM유채 환경모니터링 지점 협의 및 선정
• 경기, 충청, 경북 권역 모니터링
• 재발생 LM 유채 처리 및 효율적 관리를 위한 저감기술 개발
제1협동
전주대학교
이범규 교수
• 전라, 경상 권역 모니터링
• LM 유채 유전자 이동성 조사
• 환경방출 LM 유채의 효율적 안전관리 및 방제기술 가이드라인 도출
LM 유채 저감기술 현장적용
가이드라인 방안 도출

그림 2. 연구 체계도

제목	종자용 LM 유채의 환경영향 저감을 위한 현장적용 기술 개발	
목표	LM 유채의 집중관리가 필요한 지역 식생, 토양환경 조사 및 근연종 유전자 이동성 조사를 통한 자연생태계로의 환경영향 연구 LM 유채 저감기술 현장적용 가이드라인 방안 도출	
세부 목표	경기, 충청, 경북 권역 모니터링 LM 유채 처리 및 저감기술 개발 방제기술 가이드라인 도출	전라, 경상 권역 모니터링 LM 유채 유전자 이동성 조사
1단계	LM 유채 환경모니터링 지점 협의 및 선정	LM 유채와 유채 교잡종 및 유전자이동성 관련 문헌 조사
2단계	경기, 충청, 경북 권역 환경모니터링을 통한 비의도적 방출 LM 유채의 현황 조사 및 방제	전라, 경상 권역 환경모니터링을 통한 비의도적 방출 LM 유채의 현황 조사 및 방제
3단계	재발생 LM 유채 처리 및 효율적 관리를 위한 저감기술 개발	환경방출 LM 유채의 효율적 안전관리 및 방제기술 가이드라인 도출

그림 3. 연구 일정 체계

<연구개발 추진체계>

연구개발과제		총 참 여 연 구 원
과제명	종자용 LMO 유채의 환경영향 저감을 위한 현장적용 기술 개발	주관연구책임자 이훈복 외 총 8명

기 관 별 참 여 현 황		
구 분	연구기관수	참여연구원수
대 기 업		
중견기업		
중소기업		
대 학	2	4명(서울여자대학교) 5명(전주대학교)
국공립(연)		
출 연 (연)		
기 타		

서울여자대학교	전주대학교
경기, 강원, 충청 지역 LM유채 환경영향 모니터링 및 효율적 안전관리 기술개발	전라, 경상 지역 LM유채 환경영향 모니터링 및 효율적 안전관리 기술개발
이훈복외 4명	이범규외 5명
담당기술개발내용	담당기술개발내용
○경기, 충청, 경북 권역 LM유채 발생 및 환경영향 조사 ○LM유채 종합환경영향 분석 보고서 작성 ○LM유채 효율적 안전관리 매뉴얼 작성	○전라, 경상 권역의 LM유채 발생 및 환경영향 조사 ○LM유채 효율적 안전관리 매뉴얼 작성

국립종자원	농촌진흥청
- 지자체 및 기관 공문 발송 - 민간합동 모니터링 관련 시민단체 관리 - 연구기관과 시민단체 중재 및 관리 - LM 양성 유채 처리 및 관리	- LM유채 환경 모니터링 - 민관합동조사 지원 - LM유채 판별 지원 - 판별기술 및 안전관리 체계 확립

* 국립종자원, 농촌진흥청은 본 과제 연구원으로는 속해있지 않으나, 협력 기관으로써 수행 하였음.

<추진 일정>

1차년도															
일련번호	연구내용	월별 추진 일정												연구개발비(단위:천원)	책임자(소속기관)
		10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
1	1차 LM유채 자제조사 (일반관리 및 중점관리 지역)													10,000	이훈복 (서울여대)
2	1차 LM유채 민관합동 모니터링 (중점관리 지역)													4,000	이훈복 (서울여대)
3	조사결과 비교분석 및 보고서 작성													5,000	이훈복 (서울여대)
4	합동 보고회 및 안전관리 매뉴얼 개발													7,000	이훈복 (서울여대)
5	2차 LM유채 자체 조사 (일반관리 및 중점관리 지역)													10,000	이훈복 (서울여대)
6	2차 LM유채 민관 합동 모니터링 (중점관리 지역)													4,000	이훈복 (서울여대)
7	조사결과 비교분석 및 안전관리 방안 개발													5,000	이훈복 (서울여대)
8	최종보고서 작성													5,000	이훈복 (서울여대)
1	1차 LM유채 자제조사 (일반관리 및 중점관리 지역)													7,000	이범규 (전주대)
2	1차 LM유채 민관합동 모니터링 (중점관리 지역)													7,000	이범규 (전주대)
3	조사결과 비교분석 및 보고서 작성													3,000	이범규 (전주대)
4	합동 보고회 및 안전관리 매뉴얼 개발													3,000	이범규 (전주대)
5	2차 LM유채 자체 조사 (일반관리 및 중점관리 지역)													7,000	이범규 (전주대)
6	2차 LM유채 민관 합동 모니터링 (중점관리 지역)													7,000	이범규 (전주대)
7	조사결과 비교분석 및 안전관리 방안 개발													3,000	이범규 (전주대)
8	최종보고서 작성													3,000	이범규 (전주대)

나. 개발 내용 및 범위

(가). 미승인 LM유채 발견에 따른 사후관리 및 전국 환경영향조사

①. LM유채 사후관리를 위한 연구 팀 구성

- 국내에서 LM유채는 2017년 5월 11일 태백 문곡소도동 체험공원에서 최초 발견 되었다. 그 이후 2017년 5월 17일부터 현재까지 미승인 LM유채 사후관리를 위해 연구팀이 구성 되어 운영되고 있다. 첫 발견 후 2018년도부터 2019년도까지 유채 방출 지역을 98개소로 파악하였으며, 국립농업과학원, 국립종자원의 자체조사와 시민단체가 함께하는 민관합동조사를 실시하며 사후 조사를 실시 및 양성 유채를 폐기하였으며, 이로써 65개소가 민관합동조사 지점에서 제외되어 총 33개소가 남았다. 33개소의 지점은 추가적으로 사후조사 및 조치가 필요할 것으로 판단되었으며, 이에 1년 여간의 조사 기간 연장을 하여 본 연구를 진행하였다.

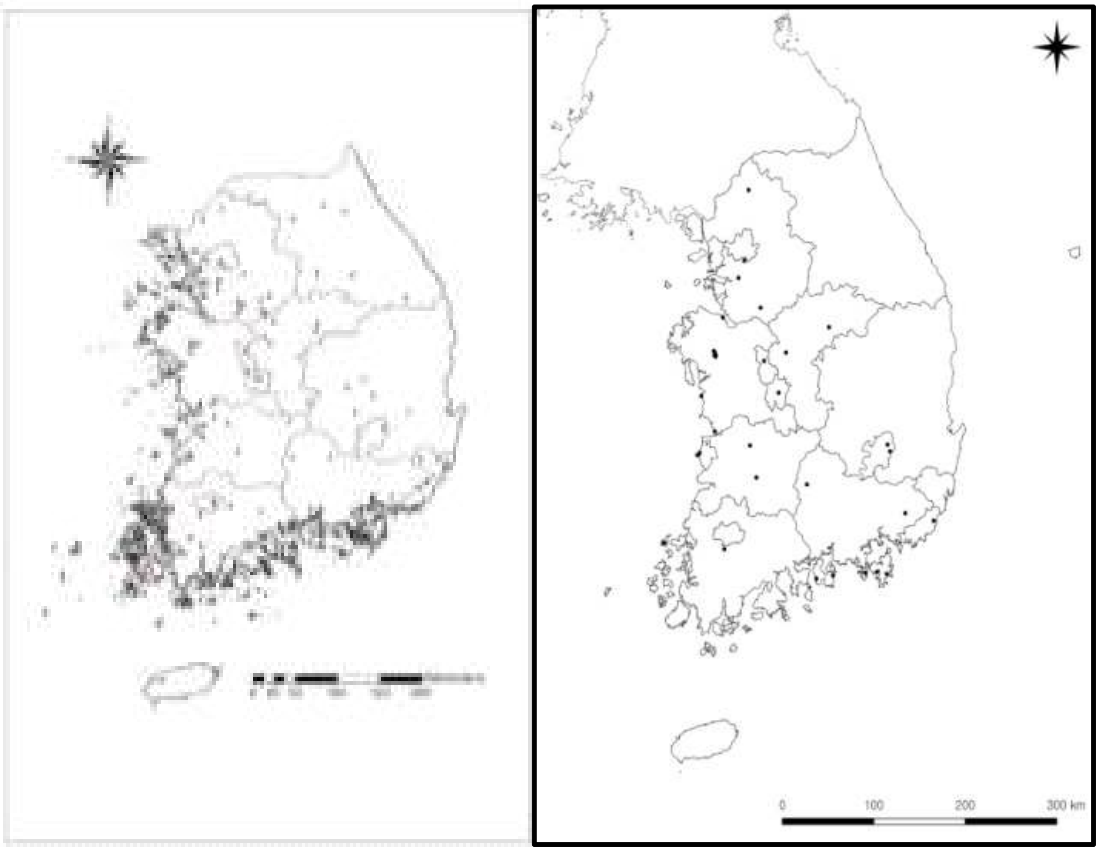


그림 4. LM유채가 발견된 전국 대상지 권역별 위치

a. 초기 LM유채 방출지역 98개소 b. 현재 LM유채 방출지역 모니터링 대상지역 33개소

- 환경모니터링을 통한 비의도적 환경 방출 LM유채의 현황 조사 및 방제의 목적으로 원활한 조사 진행을 위하여 서울여자대학교와 전주대학교 33지점을 나누었으며 검역정책과, 종자원, 농진청, 검역본부와 협의하여 권역 및 모니터링 지역을 협의하였다. 주관기관인 서울여자대학교에서는 경기(4개 개소), 충북(3개 개소), 충남(7개 개소), 경북(2개 개소)으로 총 16 개소를 맡았으며, 협동연구기관인 전주학교에서는 전북(4개 개소), 전남(2개 개소), 경남(11개 개소)으로 총 17개소를 맡아 모니터링을 진행하였다. 세부 조사 지점은 표 1과 같다.

표 1. 미승인 LM유채 33개소 발견지 현황

관리유형 / 권역	중점관리*		일반관리**	
경기 (4개소)	-		4개소	경기 수원시 권선구 경기 과천시 막계동 경기 안성시 대덕면 경기 연천군 전곡읍
충북 (3개소)	-		3개소	충북 청주시 청원구(1) 충북 청주시 청원구(2) 충북 충주시 수안보면
충남 (7개소)	-		7개소	충남 예산군 덕산면 대전시 서구 충남 당진시 세종시 연서면 충남 홍성군 내포신도시 충남 보령시 신흑동 충남 서천군 장항읍
전북 (4개소)	-		4개소	전북 임실군 운암면 전북 군산시 옥도면(1) 전북 군산시 옥도면(2) 전북 완주군 삼례읍
전남 (2개소)	1개소	전남 신안 임자면	1개소	전남 나주시
경북 (2개소)	-		2개소	대구시 수성구 매호동 대구시 동구 둔산동
경남 (11개소)	-		11개소	경남 거제시 거제면 경남 거제시 일운면 경남 김해시 대청로 경남 남해군 삼동면 경남 남해군 삼동면 부산시 금정구 경남 통영시 발개로(1) 경남 통영시 발개로(2) 경남 통영시 발개로(3) 경남 통영시 발개로(4) 경남 함양군 지곡면
계 (33개소)	1개소		32개소	

- LM유채 환경모니터링에 대해 국립농업과학원은 2018년부터 2019년 중순까지 주관으로 연구를 수행하였으며, 이후 국립종자원이 주관으로 모니터링을 진행하였다. 본 연구과제는 국립종자원 및 농촌진흥청과 긴밀한 협력 및 협조를 통해 수행되었으며, 이에 대한 정부기관의 역할은 표 2와 같다. 정부기관과의 협조를 통해 민관합동모니터링 및 결과 발표회 등 시민단체를 대상으로 객관적 LMO 정보제공을 수행하였으며, 정책부서(검역정책과, 종자원, 농진청 등)와의 소통 및 협조체제 강화하였고, 환경방출 모니터링 사전계획, 현장조사 결과 보고 수행 및 수시·정기적 소통, 합동모니터링 및 분석 지원 등을 통하여 협력 네트워크 체제 구축하였다.

표 2. 과제 진행을 위한 정부기관의 역할

국립종자원	농촌진흥청
- 지자체 및 기관 공문 발송 - 민간합동 모니터링 관련 시민단체 관리 - 연구기관과 시민단체 중재 및 관리 - LM 양성 유채 처리 및 관리	- LM유채 환경 모니터링 - 민관합동조사 지원 - LM유채 판별 지원 - 판별기술 및 안전관리 체계 확립

②. LM유채 사후조사 전수 조사 및 폐기 운영

- 모니터링은 민관합동조사와 자체조사로 나누어 진행하였다. 민관합동조사는 유관기관이(서울여자대학교, 전주대학교, 농식품부, 농림축산검역본부, 국립종자원, 국립농업과학원, 유관기관, 지자체, 시민단체 참여) 참여하여 조사를 진행하였으며, 자체조사는 서울여자대학교와 전주대학교가 참여하여 추진되었다. 민관합동조사 2회, 자체조사 2회로 계획하여 총 4회의 조사를 실시하였다. 전체적인 조사 일정은 아래 표 3과 같다.

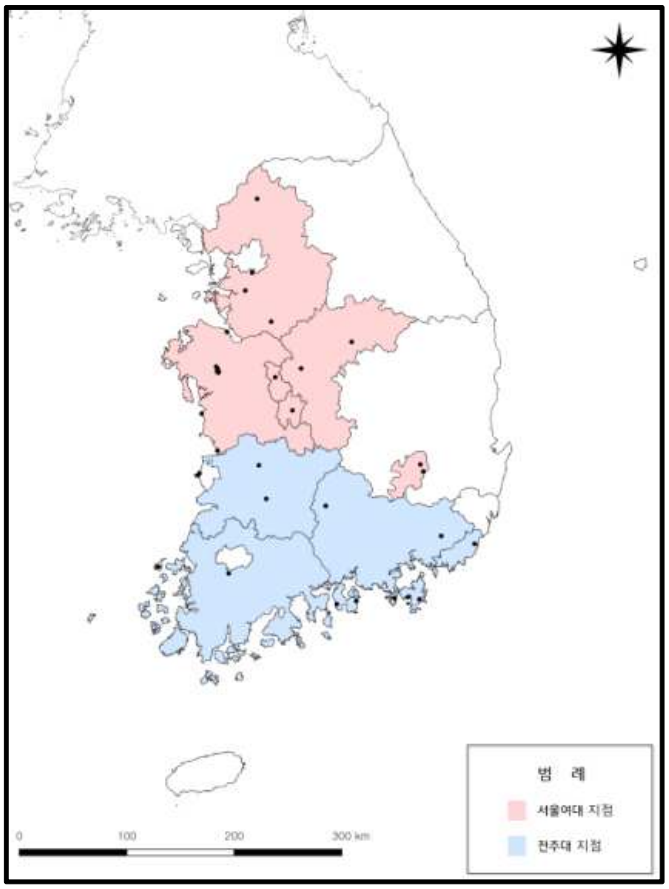


그림 5. 미승인 LM유채 33개소 발견지 위치

빨간색. 서울여대 모니터링 지점, 파란색. 전주대학교 모니터링 지점

표 3. 미승인 LM유채 33개소 조사 일정

조사 목적	자체조사		민관합동조사	
조사 회차	5차	6차	6차	7차
조사 기간	'20.04.23.~05.07.	'20.03.10, 20.03.11. 20.06.15	' 19.10.29.~11.14	' 20.05.21.~.06.02
조사 대상 지역 (민관합동조사 대상지)	33	24	33	24

- 사후조사의 목적은 33개소에 대하여 LM유채 발견지 및 발생밀도에 대한 종합적인 분석이 시행었다. 세부적으로는 LM유채 재배지에서의 동종 및 근연종 발생밀도 현황 파악, 주변 동종 및 근연종 식물종에 대한 교잡 가능성 조사, LM유채 의심 개체의 발견지 및 식물생육단계 등 조사, LMO 양성 반응 여부 분석 및 폐기처리 등으로 수행되었다.
- 현장 조사 결과 모니터링 지점에서 유채가 발견될 경우 간이 단백질면역테스트를 진행하였으며, LM 양성 유채로 발견되었을 경우 양성 유채를 국립종자원에 발송하여 PCR 검정을 수행하였다. 양성 LM유채가 발견된 지역은 국립종자원이 주관하에 관할 지자체에 연락하여 현장 상황에 따라 경운, 제초제 살포, 손제초, 매몰, 소각 등의 방법으로 폐기처리 하였다.

③. LM유채 발견지 전국 환경 영향조사

㉮ 2019년 제6차 미승인 LM유채 민관합동 환경영향조사

○ 조사 목적

- 제 6차 민관합동조사는 미승인 종자용 LM유채 발견지 사후 안전관리를 통해 주변 확산 방지의 목적으로 진행되었다.

○ 조사 개요

- 기간은 2019년 10월 29일부터 11월 14일 전국 33개소를 대상으로 하여 실시되었다. 조사반은 권역별로 7개반을 편성하였으며 각각 경기(4개소), 충북(3개소), 충남(7개소), 전북(4개소), 전남(2개소), 경북(2개소), 경남(11개소)과 같다.
- 조사반은 국립종자원 주관 서울여대, 전주대 2개 대학, 종자원, 농과원 등 7개 유관기관, 12개 지자체 및 7개 시민단체가 참여하였으며 총 95명이 조사에 참여하였다.

표 4. 조사지역 관리 현황

대상	일반관리[1]						중점관리[2]					
	1차 ('17.7.)	2차 ('17.11.)	3차 ('18.5.)	4차 ('18.11.)	5차 ('19.5.)	6차 ('19.10.)	1차	2차	3차	4차	5차	6차
98개소	84	88(4↑)	91(3↑)	97(6↑)	97	97	14	10(4↓)	7(3↓)	1(6↓)	1	0(1↓)

○ 조사 결과

- 총 33개소 중 8개소에서 유채가 발견되었으며, 그중 1개소인 예산군 덕산면(1개체)에서 양성개체 발견되었으며, 7개소에서 발견된 유채는 음성으로 판명났다.
- 경기 연천군 전곡읍의 경우 아프리카돼지열병 확진 발생지로 이번 6차 민관합동조사에서는 조사를 수행하지 못하였으며, 추후 11월 23일 서울여대만 방문하여 조사를 실시하였고 근연종과 유채 모두 미발견되었다.
- 관리상태가 양호한 32개소는 일반관리 지역으로 관리, 다수 개체가 발견되었던 1개소(신안)는 중점관리 대상지역이였으나, 양성개체 발견되지 않아 일반관리 지역으로 변경되었다. 33개소 대상지역 및 주변지 근연종(야생갓, 배추)에 대해 조사결과 유전자 이동 개체는 없었다.

표 5. 2019년 미승인 LM유채 6차 민관합동조사 결과 (1)

권역 (개소)	일정	조사결과		
		미발견	음성	양성
경기 (4)	10.30.	4 수원시 권선구, 과천시 막계동, 안성시 대덕면, 연천군 전곡읍	0	0
충북 (3)	10.29.	2 청주시 청원구 주성동(1), 청주시 청원구 주성동(2)	1 충주시 수안보면	0
충남 (7)	10.29. ~ 11.04.	3 홍성군 내포신도시, 보령시 신흑동, 서천군 장항읍	3 세종시 연서면 (재식재) 당진시 송악읍 대전시 서구	1 예산군 덕산면 총1점 (양성100%/음성0%) • 예산군 덕산면(1점) - 양성1/음성0
전북 (4)	11.04.	4 임실군 입석리, 완주군 삼례읍, 군산시 옥도면(1) 군산시 옥도면(2)	0	0
전남 (2)	11.05.	1 나주시 빛가람동	1 신안군 임자도	0
경북 (2)	11.06.	2 수성구 매호동, 동구 둔산동	0	0
경남 (11)	11.12. ~ 11.14.	9 김해시 상동면, 부산시 기장군, 거제시 일운면, 거제시 거제면, 통영시 발개로(1), 통영시 발개로(2), 통영시 발개로(3), 통영시 발개로(4), 남해군 상동면	2 함양군 지곡면, 남해군 남면	0
계(33)		25(75.8)	7(21.2%)	1(3.0%) 총1점 (양성1 : 100%, 음성0 : 0%)

* 양성개체 수는 확보된 시료량 및 추가분석 결과에 따라 변동가능

* 경기 연천군 전곡읍의 경우 아프리카돼지열병 확진 발생지로 이번 6차 민관합동조사에서 제외하고, 내년 자체조사를 진행하는 것에 허가받음.

표 6. 2019년 미승인 LM유채 6차 민관합동조사 결과 (2)

관리유형 / 권역	중점관리*	일반관리**	
경기 (4개소)	-	4개소	경기 수원시 권선구 경기 과천시 막계동 경기 안성시 대덕면 경기 연천군 전곡읍
충북 (3개소)	-	3개소	충북 청주시 청원구(1) 충북 청주시 청원구(2) 충북 충주시 수안보면
충남 (7개소)	-	7개소	충남 예산군 덕산면 대전시 서구 충남 당진시 세종시 연서면 충남 홍성군 내포신도시 충남 보령시 신흑동 충남 서천군 장항읍
전북 (4개소)	-	4개소	전북 임실군 운암면 전북 군산시 옥도면(1) 전북 군산시 옥도면(2) 전북 완주군 삼례읍
전남 (2개소)	-	2개소	전남 나주시 전남 신안 임자면
경북 (2개소)	-	2개소	대구시 수성구 매호동 대구시 동구 둔산동
경남 (11개소)	-	11개소	경남 거제시 거제면 경남 거제시 일운면 경남 김해시 대청로 경남 남해군 삼동면 경남 남해군 삼동면 부산시 금정구 경남 통영시 발개로(1) 경남 통영시 발개로(2) 경남 통영시 발개로(3) 경남 통영시 발개로(4) 경남 함양군 지곡면
계 (33개소)	0 개소	33개소	

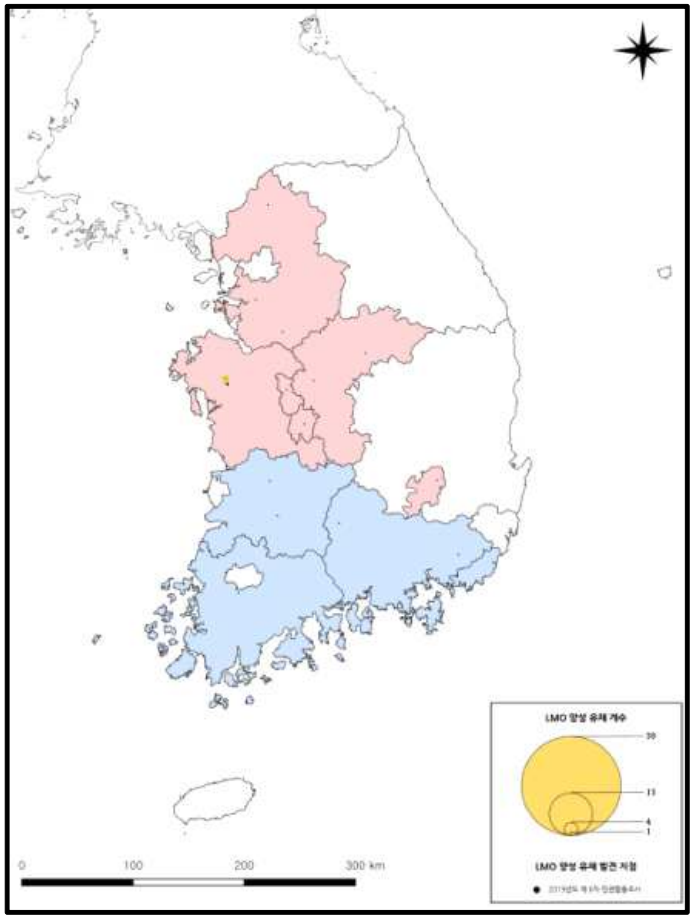


그림 6. 2019년 제6차 미승인 LM유채 민관합동 환경영향조사 결과

a. 충북 충주시 수안보면

b. 충남 세종시 연서면

c. 충남 당진시 송악읍

d. 대전시 서구

e. 전남 신안군 임자면

f. 경남 함양군 지곡면

g. 경남 남해군 남면

h. 충남 예산군 덕산면 (양성 유채 발견)

그림 7. 2019년 제6차 미승인 LM유채 민관합동 환경영향조사 지점 사진

㉯. 2019년 제6차 미승인 LM유채 민관합동 환경영향조사 결과보고회

○ 회의 목적

- 제6차 민관합동조사 결과보고회는 제6차 LM유채 민관합동조사 결과 보고 및 향후 조사 방향 협의의 목적으로 진행되었다.

○ 회의 개요

- 회의 일정은 2019년 11월 26일 진행되었으며, 국립종자원 주관으로 진행되었고, 참석자는 국립종자원 2명, 국립농업과학원 2명, 농림축산식품부 1명, 서울여자대학교 3명, 전주대학교 1명, 시민단체 5명으로 총 14명이였다.

○ 회의 내용

- 회의 결과 8개소는 민관합동조사 대상에서 제외키로 하였다. 8개소는 각각 수원, 보령, 대구(수성), 대구(동구), 임실, 완주, 군산(옥도) 2개소, 홍성군(보건환경연구원만 제외)과 같다.
- 2개소는 내년 3월 자체조사 시 유채가 발견되지 않을 경우 민관합동조사대상에서 제외키로 하였다. 2개소는 홍성군(해링턴아파트, 중흥S아파트, 한울초등학교), 서천과 같다.

그림 8. 민관합동조사 후 결과보고회 개최

㉰. 2020년 제5차 미승인 LM유채 자체조사 환경영향조사

○ 조사 목적

- 제 5차 자체조사는 미승인 종자용 LM유채 발견지 사후 안전관리를 통해 주변 확산 방지의 목적으로 진행되었다.

○ 조사 개요

- 기간은 2020년 04월23일부터 05월 07일 전국 33개소를 대상으로 실시되었다. 조사반은 2개반을 편성하여 나누었으며, 각각 서울여대(경기, 충북, 충남, 경북), 전주대(전북, 전남, 경남)로 나누어 수행되었다. 조사반은 코로나 19의 영향으로 대학 두 곳으로만 축소하여 진행하였다.

○ 조사 결과

- 총 33개소 중 11개소에서 유채가 발견되었으며, 그중 2개소인 신안군 임자도(4개체), 함양군 지곡면(1개체)에서 양성개체가 발견되었으며, 9개소에서 발견된 유채는 음성으로 판명났다. 33개소 대상지역 및 주변지 근연종(야생갓, 배추)에 대해 조사결과 유전자 이동 개체는 없었다.
- 제5차 자체조사 결과 홍성군(해링턴아파트)는 유채(음성)이 발견되어 조사대상에서 포함시키며, 서천의 경우 유채가 발견되지 않아 민관합동조사대상에서 제외 시키기로 되었다. 충남 당진, 대구 동구는 사전에 출입허가를 받아 조사를 진행하려 하였으나, 당일 행사 및 사고로 인해 출입허가를 받지 못하여 조사를 수행할 수 없었다.

표 7. 2020년 미승인 LM유채 5차 자체조사 결과

권역 (개소)	일정	조사결과			
		미발견	음성	양성	
경기 (4)	4. 27.	3 과천시 막계동, 안성시 대덕면, 연천군 전곡읍	1 수원시 권선구	0	
충북 (3)	4. 28.	2 청주시 청원구 주성동(1), 청주시 청원구 주성동(2)	1 충주시 수안보면	0	
충남 (6)	5. 6. ~ 5. 7.	2 예산군 덕산면, 서천군 장항읍	4 대전시 서구 세종시 연서면 (재식재) 홍성군 내포신도시 보령시 신흑동		
전북 (4)	4. 27.	2 임실군 입석리, 군산시 옥도면(1)	2 완주군 삼례읍, 군산시 옥도면(2)	0	
전남 (2)	5. 04.	0	1 나주시 빛가람동	1 신안군 임자도	총4점 (양성 20%/음성 80%) •임자도 이흑암리(4점) - 양성4/음성16
경북 (1)	4. 29.	1 수성구 매호동	0	0	
경남 (11)	4.23. ~ 4.24.	10 거제시 거제면, 거제시 일운면, 김해시 상동면, 남해군 상동면, 남해군 남면 부산시 기장군, 통영시 발개로(1)-(4),	0	1 함양군 지곡면	총1점 (양성 0.5%/음성 99.5%) •함양군 지곡면(1점) - 양성1/음성199
계(31)		20(64.52%)	9(29.03%)	2(6.45%)	총220점 (양성5 : 2.27%, 음성215 : 97.73%)

* 양성 개체 수는 확보된 시료량 및 추가분석 결과에 따라 변동가능.
* 충남 당진시 송악읍의 경우 코로나 19의 영향으로 외부인의 출입이 금지되어 조사를 실시 할 수 없었음.
* 대구 동구 둔산동의 경우 재배지 내 인명사고가 발생하여 외부인의 출입이 금지되어 조사를 실시 할 수 없었음.

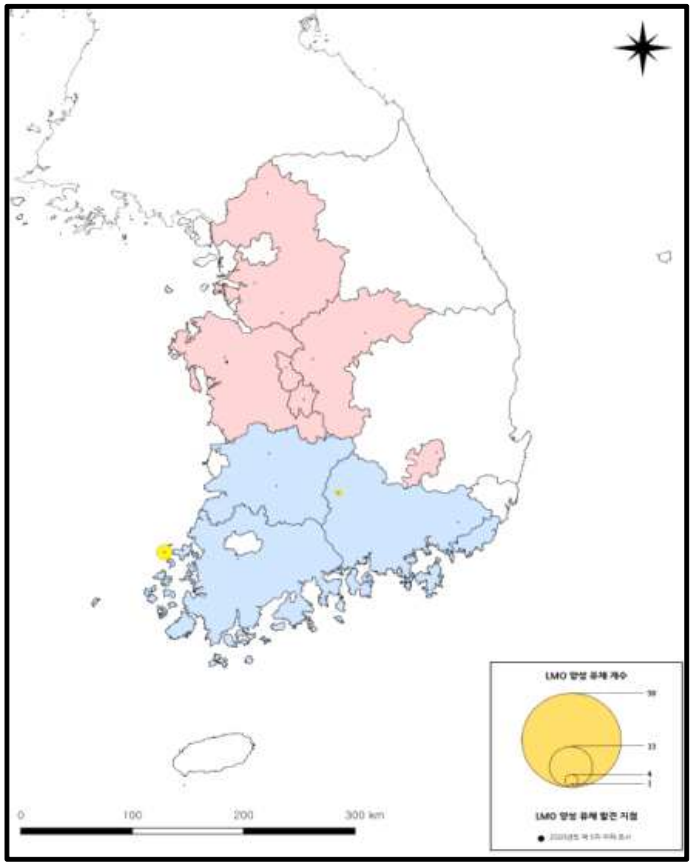
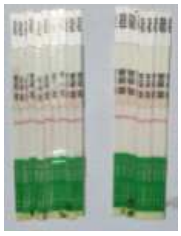


그림 9. 2020년 제5차 미승인 LM유채 자체조사 환경영향조사 결과

a. 경기 수원시 권선구

b. 충북 충주시 수안보면

c. 대전시 서구



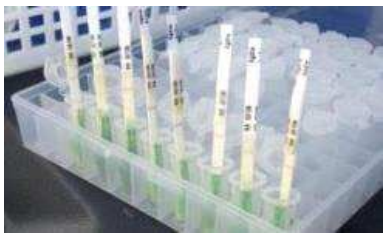
d. 세종시 연서면

e. 충남 홍성군 내포신도시

f. 충남 보령시 신흑동

g. 전북 완주군 삼례읍

h. 전북 군산시 옥도면



I. 전남 나주시 빛가람동

g. 전남 신안군 임자면 (양성 유채 발견)

k. 경남 함양군 지곡면 (양성 유채 발견)

그림 10. 2020년 제5차 미승인 LM유채 자체조사 환경영향조사 지점 사진

㉱. 2020년 제7차 미승인 LM유채 민관합동 환경영향조사

○ 조사 목적

- 제 7차 민관합동조사는 미승인 종자용 LM유채 발견지 사후 안전관리를 통해 주변 확산 방지의 목적으로 진행되었다.

○ 조사 개요

- 기간은 2020년 05월 21일부터 06월 02일 전국 24개소를 대상으로 하여 실시되었다. 조사반은 권역별로 5개반을 편성하였으며, 각각 경기(3개소), 충북(3개소), 충남(5개소), 전남(2개소), 경남(11개소)과 같다.
- 앞서 4차 민관합동조사 이후 민관합동조사 리스트에서 제외되었던 충남 홍성내포신도시의 삽교읍언덕에서 시민단체에서 자체조사 결과 양성 유채가 발견되어 7차 민관합동조사에서는 충남 홍성 내포 신도시내 6지점을 모두 조사를 실시하였다.
- 조사반은 코로나 19의 영향으로 인원을 최소화 하여 진행하였으며 각 기관별로 2~3명의 인원수를 유지하고자 하였다. 국립종자원 주관 서울여대, 전주대 2개 대학, 종자원, 농과원 지자체 등 12개 유관기관 및 3개의 시민단체가 참여하였으며 총 56명이 조사에 참여하였다.

○ 조사 결과

- 총 24개소 중 12개소에서 유채가 발견되었으며, 그중 2개소에서 양성개체가 발견되었으며 각각 예산군 덕산면(1개체)과, 신안군 임자도(14개체) 이다. 나머지 10개소에서 발견된 유채는 음성으로 판명났다.
- 충남 홍성내포신도시는 모든 지점에서 유채가 발견되지 않았으나, 삽교읍 언덕 지점은 민관합동조사 리스트에 재 포함 시키는 것으로 협의하였다.
- 경남 남해군 아난티CC의 경우 사전에 출입허가를 받아 조사를 진행하려 하였으나, 조사 당일 개소식 행사로 인해 모니터링 수행 불가 하였다.
- 24개소 대상지역 및 주변지 근연종(야생갓, 배추)에 대해 조사결과 유전자 이동 개체는 없었다.
- 조사를 실시하며 양성 유채 발견 가능성이 낮다고 판단되는 13개소에 대해 민관합동조사 리스트에서 제외 하는 것에 대한 협의를 얻었다. 13개소는 과천, 안성, 연천, 청주(1), 청주(2), 대전, 당진, 나주, 거제, 김해, 남해군 상동면, 남해군 남면, 부산과 같다.

표 8. 조사지역 관리 현황

대상	일반관리[1]							중점관리[2]						
	1차 ('17.7.)	2차 ('17.11.)	3차 ('18.5.)	4차 ('18.11.)	5차 ('19.5.)	6차 ('19.10.)	7차 ('20.06.)	1차	2차	3차	4차	5차	6차	7차
98개소	84	88(4↑)	91(3↑)	97(6↑)	97	98	98	14	10(4↓)	7(3↓)	1(6↓)	1	0(1↓)	0

표 9. 2020년 미승인 LM유채 7차 민관합동조사 결과

권역 (개소)	일정	조사결과			
		미발견	음성	양성	
경기 (3)	6.2	3 수원시 권선구, 안성시 대덕면, 연천군 전곡읍	0	0	
충북 (3)	5.27	2 청주시 청원구 주성동(1), 청주시 청원구 주성동(2)	1 충주시 수안보면	0	
충남 (5)	5.25~5.26	1 홍성군 내포신도시	3 세종시 연서면 당진시 송악읍 대전시 서구	1 예산군 덕산면	총1점 (양성100%/음성0%) • 예산군 덕산면(1점) - 양성1/음성0
전남 (2)	5.21	0	1 나주시 빛가람동	1 신안군 임자도	총14점 (양성93%/음성7%) • 신안군 임자도(14점) - 양성13/음성1
경남 (11)	5.25~5.27	5 김해시 상동면, 부산시 기장군, 거제시 일운면, 거제시 거제면, 남해군 상동면	5 함양군 지곡면, 통영시 발개로(1), 통영시 발개로(2), 통영시 발개로(3), 통영시 발개로(4)	0	
계(24)	3주간	11(4%)	10(42%)	2(8%)	총점 15 (양성14 : 93%, 음성1 : 7%)

* 양성개체 수는 확보된 시료량 및 추가분석 결과에 따라 변동가능
* 경남 남해군 아난티CC의 경우 개소식 행사로 인해 모니터링 수행 불가

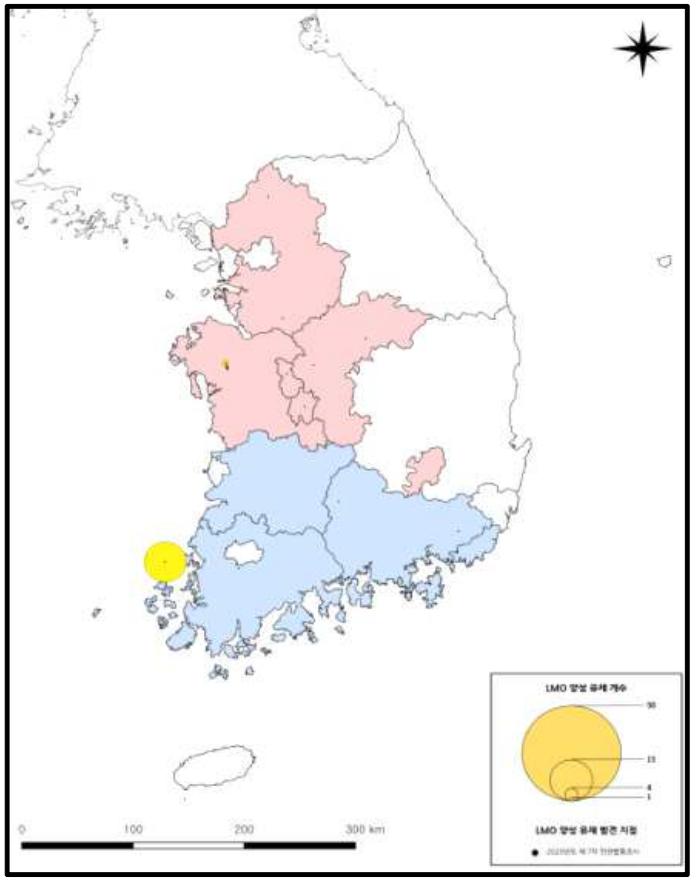


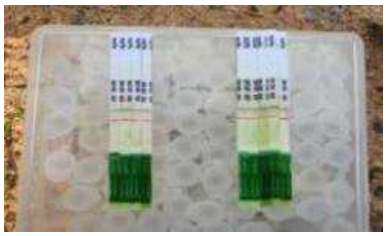
그림 11. 2020년 제7차 미승인 LM유채 민관합동 환경영향조사 결과

a. 충북 충주시 수안보면

b. 충남 세종시 연서면

c. 충남 당진시 송악읍

d. 대전시 서구



e. 전남 나주시 빛가람동

f. 경남 함양군 지곡면

g. 경남 통영시 발개로

h. 충남 예산군 덕산면 (양성 유채 발견)

I. 전남 신안군 임자면 (양성 유채 발견)

그림 12. 2020년 제7차 미승인 LM유채 민관합동 환경영향조사 지점 사진

㉲. 2020년 제7차 미승인 LM유채 민관합동 환경영향조사 결과 보고회

○ 회의 목적

- 제7차 민관합동조사 결과보고회는 제7차 LM유채 민관합동조사 결과 보고 및 향후 조사 방향 협의의 목적으로 진행되었다.

○ 회의 개요

- 회의 일정은 2020년 06월 16일 진행되었으며, 국립종자원 주관으로 진행되었고, 참석자는 국립종자원 2명, 국립농업과학원 1명, 농식품부 1명, 서울여자대학교 3명, 전주대학교 1명, 시민단체 5명으로 총 13명이였다.

○ 회의 내용

- 시민단체에서 민관합동조사 리스트에서 제외할 시 기준이 필요하다는 건의를 내었고, 이에 최근 3년이내 양성개체가 발견된 개소는 조사를 지속하는 것으로 협의하였다. 앞서 7차 민관합동조사에서 민관합동조사 리스트에서 제외하기로 협의하였던 13개소 중 6개 개소에 대하여 조사를 지속하는 것으로 협의하였으며 6개소는 연천, 나주, 거제, 김해, 남해, 부산과 같다. 결과적으로 남은 개소는 총 17개소이다.
- 또한 시민단체에서는 원활한 민간 참여 활성화를 위해 조사 일정을 최소 보름 전에는 통지 바란다 하였고, 회의 자료를 사전에 공지 바란다는 의견을 내었다.
- 마지막으로 대학에서 수행하는 본 과제가 2020년 9월에 종료됨에 따라 향후 조사를 위한 예산 확보 등 추진 방향에 대해 관계기관과 추가 논의가 필요할 것으로 논의되었다.

그림 13. 민관합동조사 후 결과보고회 개최

㉥. 2020년 제6차 미승인 LM유채 자체조사 환경영향조사

○ 조사 목적

- 제 6차 자체조사는 미승인 종자용 LM유채 발견지 사후 안전관리를 통해 주변 확산 방지의 목적으로 진행되었다.

○ 조사 개요

- 기간은 2020년 03월 10일, 03월 11일, 06월 15일 전국 4개소를 대상으로 실시되었다. 해당 4개소는 양성 유채가 다발생 된 곳을 선정하여 민관합동 조사 전 사전 모니터링을 위해 조사를 수행하였으며, 조사반은 2개반을 편성하여 나누었으며, 각각 서울여대(충북, 충남), 전주대(전남)로 나누어 수행되었다. 조사반은 코로나 19의 영향으로 대학 두 곳으로만 축소하여 진행하였다.

○ 조사 결과

- 총 4개소 중 1개소에서 유채가 발견되었으며, 신안군 임자도 (40개체)에서 양성 개체가 다수 발견되었다.
- 대기리에서 채취한 유채를 단백질 면역 테스트 한 결과 20개체 모두 양성으로 나타났으며, 이흑암리의 재배지의 경우 수로 변에 서식하고 있는 개체만이 양성으로 나타나고, 반대편은 음성으로 나타났다.
- 4개소 대상지역 및 주변지 근연종(야생갓, 배추)에 대해 조사결과 유전자 이동 개체는 없었다.

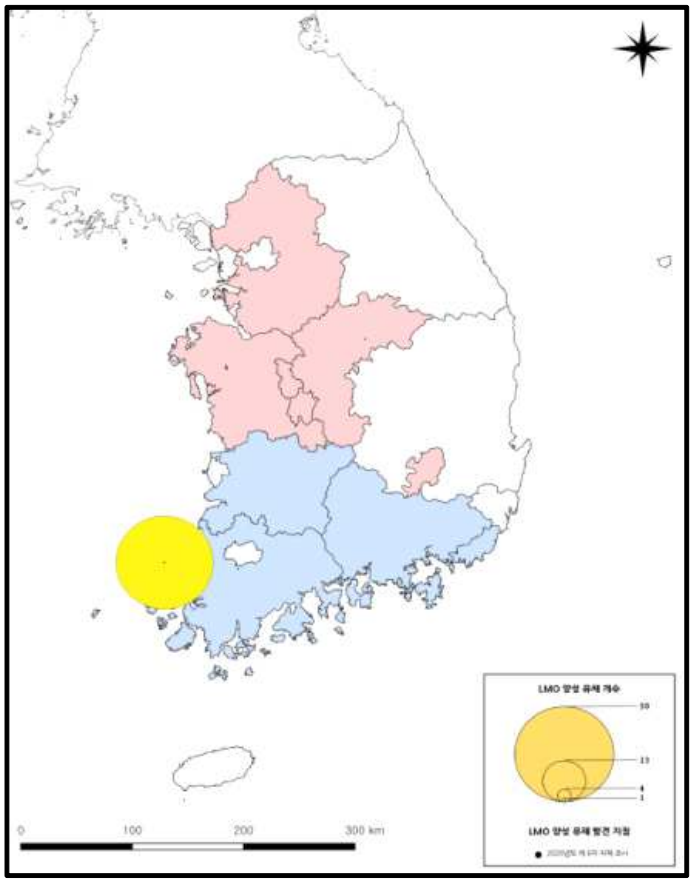


그림 14. 2020년 제6차 미승인 LM유채 자체조사 환경영향조사 결과

a. 전남 신안군 임자면 (양성 유채 발견)

위 대기리, 아래 이흑암리

그림 15. 2020년 제6차 미승인 LM유채 자체조사 환경영향조사 지점 사진

표 10. 미승인 LM유채 추진 현황 및 향후 계획

조사지역			자체조사					민관합동조사						비고
			① 1차 ('17.9.20.~9.26.)	③ 2차 ('18.2.26.~3.14.)	⑤ 3차 ('18.9.3~9.17.)	⑦ 4차 ('19.2.27.~3.22.)	⑩ 5차 ('20.04.23.~05.07.)	② 2차 ('17.10.23.~11.22.)	④ 3차 ('18.4.24.~5.15.)	⑥ 4차 ('18.10.22.~11.2.)	⑧ 5차 ('19.4.29.~5.24.)	⑨ 6차 (' 19.10.29.~11.14)	⑪ 7차 (' 20.05.21.~06.02)	향후 계획 (33)
			14개소	98개소	98개소	98개소	33개소	98개소/107명	98개소/178명	90개소/152명	64개소/154명	33개소/95명	24개소/56명	
		미발견/음성/양성	3/1/10	86/6/6	95/2/1	86/9/3	22/9/2	60/10/28	49/28/21	80/6/4	47/14/3	25/7/1	12/10/2	
경기 (4)	12	경기 수원시 권선구 당수동		미발견	미발견	미발견	발견 (음성)	미발견	미발견	미발견	미발견	미발견		제외
	14	경기 과천시 막계동		미발견	미발견	미발견	미발견	미발견	발견 (음성)	미발견	발견 (음성)	미발견	미발견	제외
	21	경기 안성시 대덕면 만세로길		미발견	미발견	미발견	미발견	발견 (양성)	미발견	미발견	발견 (음성)	미발견	미발견	제외
	26	경기 연천군 전곡읍 전곡로		미발견	미발견	미발견	미발견	미발견	미발견	발견 (양성)	미발견	미발견	미발견	계속
충북 (3)	34	충북 청주시 청원구 주성동(1)		미발견	미발견	미발견	미발견	미발견	발견 (음성)	미발견	발견 (음성)	미발견	미발견	제외
	35	충북 청주시 청원구 주성동(2)		미발견	미발견	미발견	미발견	미발견	발견 (음성)	미발견	발견 (음성)	미발견	미발견	제외
	37	충북 충주시 수안보면 중산리	발견 (양성)	미발견	발견 (음성)	발견 (음성)	발견 (음성)	발견 (양성)	발견 (음성)	발견 (양성)	발견 (음성)	발견 (음성)	발견 (음성)	계속
충남 (7)	38	충남 예산군 덕산면 사동리	발견 (양성)	미발견	미발견	미발견	미발견	발견 (양성)	발견 (양성)	발견 (양성)	발견 (양성)	발견 (양성)	발견 (양성)	계속
	40	충남 대전 서구, 유등천동로	발견 (양성)	미발견	미발견	미발견	발견 (음성)	미발견	발견 (음성)	미발견	미발견	발견 (음성)	발견 (음성)	제외
	41	충남 당진시 송악읍 한진1길	발견 (음성)	미발견	발견 (음성)	미발견	미발견	발견 (음성)	발견 (음성)	미발견	발견 (음성)	발견 (음성)	발견 (음성)	제외
	42	세종시 연서면 고복리		미발견	미발견	미발견	발견 (음성)	발견 (음성)	발견 (음성)	미발견	발견 (음성)	발견 (음성)	발견 (음성)	계속
	43	충남 홍성 내포신도시	발견 (양성)	미발견	미발견	미발견	발견 (음성)	발견 (양성)	발견 (양성)	미발견	미발견	미발견	미발견	계속
	43	충남 홍성 내포신도시(보건환경연구원)		미발견	미발견	미발견	발견 (음성)		발견 (음성)	미발견	미발견	미발견	미발견	제외
	43	충남 홍성 내포신도시(중흥S 아파트)		미발견	미발견	미발견	미발견		발견 (음성)	미발견	미발견	미발견	미발견	제외
	43	충남 홍성 내포신도시(한울초등학교)		미발견	미발견	미발견	미발견		발견 (양성)	미발견	미발견	미발견	미발견	제외
	43	충남 홍성 내포신도시(해랑턴 아파트)		미발견	미발견	미발견	발견 (음성)		발견 (음성)	미발견	미발견	미발견	미발견	계속
	43	충남 홍성 내포신도시(홍보관)		미발견	미발견				발견 (음성)	미발견	미발견		미발견	제외
	43	충남 홍성 내포신도시(삼교읍 언덕)		발견 (음성)	미발견				발견 (양성)	미발견			미발견	계속
	46	충남 보령시 신흑동		미발견	미발견	미발견	발견 (음성)	발견 (양성)	발견 (음성)	미발견	미발견	미발견		제외
	47	충남 서천군 장항읍 장산로	발견 (양성)	미발견	미발견	미발견	미발견	발견 (양성)	발견 (양성)	미발견	미발견	미발견		제외
전북 (4)	50	전북 임실군 운암면 입석리		미발견	미발견	미발견	미발견	미발견	미발견	미발견	미발견	미발견		제외
	52	전북 군산시 옥도면 신시도리		미발견	미발견	미발견	발견 (음성)	미발견	발견 (음성)	미발견	미발견	미발견		제외
	53	전북 군산시 옥도면 야미도리		미발견	미발견	발견 (음성)	미발견	미발견	발견 (음성)	발견 (음성)	미발견	미발견		제외
	55	전북 완주군 삼례읍 비비정마을		미발견	미발견	미발견	발견 (음성)	발견 (양성)	미발견	미발견	미발견	미발견		제외
전남 (2)	62	전남 나주시 빛가람로		발견 (양성)	미발견	발견 (음성)	발견 (음성)	발견 (양성)	발견 (양성)	미발견	미발견	미발견	발견 (음성)	계속
	69	전남 신안군 임자면 대기리		발견 (양성)	발견 (양성)	발견 (양성)	발견 (양성)	발견 (양성)	발견 (양성)	발견 (양성)	발견 (양성)	발견 (음성)	발견 (양성)	계속
경북 (2)	78	대구시 수성구 매호동		미발견	미발견	미발견	미발견	미발견	미발견	미발견	발견 (음성)	미발견		제외
	79	대구시 동구 둔산동	미발견	미발견	미발견	미발견	미발견	발견 (양성)	발견 (양성)	미발견	미발견	미발견		제외
경남 (11)	81	경남 거제시 거제면 소량리	미발견	미발견	미발견	발견 (양성)	미발견	미발견	발견 (양성)	미발견	발견 (음성)	미발견	미발견	계속
	82	경남 거제시 일운면 망양1길		미발견	미발견	미발견	미발견	발견 (양성)	발견 (양성)	미발견	미발견	미발견	미발견	계속
	83	경남 김해시 대청로 104번길	발견 (양성)	미발견	미발견	미발견	미발견	발견 (양성)	발견 (양성)	미발견	미발견	미발견	미발견	계속
	84	경남 남해군 삼동면 동부대로		발견 (음성)	미발견	발견 (양성)	미발견	미발견	발견 (양성)	미발견	미발견	미발견	미발견	계속
	85	경남 남해군 남면 남서대로 1179번길		미발견	미발견	미발견	미발견	미발견	미발견	발견 (음성)	발견 (음성)	발견 (음성)		제외
	88	부산시 금정구 청룡로		미발견	미발견	미발견	미발견	발견 (양성)	발견 (양성)	미발견	미발견	미발견	미발견	계속
	90	경남 통영시 발개로(1)		발견 (양성)	미발견	미발견	미발견	발견 (양성)	발견 (양성)	미발견	미발견	미발견	발견 (음성)	계속
	91	경남 통영시 발개로(2)		미발견	미발견	미발견	미발견	미발견	미발견	미발견	미발견	미발견	발견 (음성)	계속
	92	경남 통영시 발개로(3)		미발견	미발견	미발견	미발견	미발견	미발견	미발견	미발견	미발견	발견 (음성)	계속
	93	경남 통영시 발개로(4)		미발견	미발견	미발견	미발견	미발견	미발견	미발견	미발견	미발견	발견 (음성)	계속
	96	경남 함양군 지곡면 병곡지곡로		미발견	미발견	미발견	발견 (양성)	발견 (양성)	미발견	미발견	발견 (양성)	발견 (음성)	발견 (음성)	계속

(나). 학술자료를 분석을 통한 LM유채 유전자 이동성 조사

①. 학술자료를 분석을 통한 LM유채로부터 교잡 가능 십자화과 작물로의 유전자 이동성 조사

○ 유채의 수분, 화분 확산 및 생존능력

- 유채는 자가수분을 하지만 수정의 효과를 위해 인근 및 멀리 떨어진 유채로부터의 화분과 경쟁을 하게 되는데 이는 유채 식물들 사이의 교차수분에 있어서 유전적 혹은 형태적 장벽이 존재하지 않기 때문이다(Becker et al., 1992; Rakow and Woods, 1987). 유전자변형 유채로부터 재배되고 있거나 야생에 자생중인 유채로의 교잡은 도입유전자의 확산으로 인한 안전관리에 문제를 발생할 수 있으며, 특히 갓 등 교잡 가능한 국내 야생종으로의 교잡은 장기 생태적인 측면에서 확산 방제에 큰 문제를 야기할 수 있다.
- 유채의 교잡은 화분 이동을 통해 발생하며 화분 이동은 주로 바람과 매개충에 의해 발생된다. 야외포장에서 봄 재배 유채는 1 헥타르 당 매일 9.3±0.5 kg의 화분을 생산한다고 알려져 있다(Szabo, 1985).
- 유채의 화분은 바람, 매개충, 인간 및 동물 등에 의해 이동될 수 있다. 유채와 같은 배추과 작물의 화분은 무겁고 약간 끈적거리는데 공중으로 분산이 가능하며, 30~40 ㎛의 매우 작은 크기이므로 바람에 의해 퍼질 수 있다. 이외에 곤충에 의해 화분을 이동시키기도 하는데 주로 꿀벌에 의해 화분이 이동된다(Williams et al., 19 986, 1987; Scheffler et al., 1993; Paul et al., 1995; Timmons et al.,1995; Thompson et al., 1999). 꽃과 이웃한 꽃들 간의 물리적인 연결 또한 동물이나 인간이 배추꽃밭을 지나면서도 화분 비산이 가능하다.
- Ranito-Lehtimaki(1995)의 보고서에 따르면 자연적인 상태에서 화분의 생존능력 감소는 4~5일 사이에 점차적으로 이루어진다. Mesquida와 Renard (1982)는 실험에서 24시간에서 일주일 사이에 화분이 생존 가능하다는 것을 발견했다. 하지만 Chiang (1974)은 양배추의 화분을 4℃에서 보관했을 경우 처음 10일간 20%정도 발아하며 6~7주가 지난 후에도 약 4.5%의 생존 가능한 화분이 남아있음을 발견했다.

○ 야외 환경에서의 유채 이종교배

- 유채로부터 유채로의 화분 이동에 의한 이종교배는 화분원에서의 거리에 따라 감소된다고 보고되었으며, 이종교배의 빈도가 어떻게 변하는지를 알아내기 위해 다양한 연구가 수행되었다. 제초제저항성 유전자와 다른 마커들의 이용은 유채 유전자이동을 파악하기에 용이하여 유전자이동 연구에 많이 사용되고 있다. 그러나 이종교배율의 측정은 실험설계가 환경적인 요인, 품종, 개화의 동시발생, 곤충에 의한 화분 매개 활동, 국부 지형, 자생식물과 수령자의 크기와 배열 등 다양한 요인들에 따라 달라지므로 복잡하다.
- 유전자이동성 실험에 일반적으로 연속 설계와 비연속 설계가 이용된다. 연속 설계(continuous design)는 화분 수용체 집단이 화분 공급자를 둘러싸고 있다는 것이고, 반면에 비연속 설계(discontinuous design)는 화분 수용체 집단이 화분 공급자로부터 거리가 멀어

질 때 다른 지역으로 분산되는 설계이다(Hüsken and Dietz-Pfeilstetter, 2007). 영국, 미국 그리고 캐나다에서 수행된 연속 설계(작은 면적 실험 설계) 실험에서 화분 공급원으로부터 거리가 멀어지는 포장의 가장자리에서 샘플을 채취한 결과 이종교배율이 급격히 떨어짐을 관찰하여 표 11과 같은 결과를 제시하였다(Scheffler et al., 1993; Morris et al., 1994; Brown et al., 1996; Staniland et al., 2000; Reboud, 2003; Dietz-Pfeilstetter and Zwerger, 2004, 2009). 이 결과는 부분적이나 전체 포장에서 진행되는 이종교배 자료 결정에 거리가 중요한 요소임을 강조한다. 하지만 Rieger et al.(2002)은 통상적인 크기의 포장에서 비연속 설계를 적용하면, 화분공급지로부터 100 m 이내에 있는 포장은 가장자리 효과가 적게 나타나지만 화분 공급지로부터 멀리 떨어진 포장은 가장자리 효과가 적을지라도 교잡율이 다양하게 나타난다 보고하였다.

표 11. 영국, 미국과 캐나다에서 짧은 거리의 유채 화분 공급자로부터 수령자 포장/지역의 유전자 이동(OECD, 2012)

Metres into recipient field	Outcrossing %	Reference, location and trial year
0.5	4.8	
1.0	1.5	Scheffler *et al.* 1993
3.0	0.4	UK, 1991
6.0	0.11	
12.0	0.016	
24.0	0.004	
36.0	0.001	
0.0	2.0/3.5	Morris *et al.* 1994
0.3	1.0/1.5	USA, 1992
0.6	0.75/1.2	east/west wind
3.0	0.65/0.6	direction
4.6	0.50/0.6	
0.0	0.70	Staniland *et al.* 2000
2.5	0.30	Canada 1994-95
5.0	0.10	Data averaged over wind directions
10.0	0.07	years
15.0	0.08	
20.0	0.07	
25.0	0.04	
30.0	0.03	

- 대부분의 연속 설계 실험을 위해 디자인된 시험포장은 화분 공여체 식물 집단이 화분 수용체 식물 집단에 비해 약 1:4의 비율로 작았다. 이와 같은 불균형한 화분의 면적은 바람과 벌떼가 온전히 작용할 수 있는 화분의 양을 희석시키는 경향이 있다. 그 결과 30m 이상 떨어진 지역의 시험 포장 연구에서 이종교배율은 화분의 이동이 대체로 활발한 지역의 대규모 포장 조사에 비해 낮게 나타난다(OECD, 2012). Crawford et al.(1999)은 가장자리에서 화분 공여체의 유효성 감소를 피하기 위해서는 적어도 400 m^2 의 정사각형 화분 공급지가 필요하다고 보고하였다.
- 화분 공여체와 수용체 포장의 위치 또한 이종교배율을 측정하는데 영향을 줄 수 있다. Ingram(2000)은 이종교배율이 화분 공여체와 수용체 포장의 긴 변이 각각 마주할 때 더 높아진다는 것을 알아내었다. Husken and Dietz-Pfeilstetter(2007)은 연속 설계 포장실험과

비연속 설계 포장실험 연구의 이종교배 결과를 통계적으로 분석한 결과 대규모 시험 포장 설계(비연속 설계)에서 유채 간 이종교배는 50~100m에서 0.11%의 유의성을 가졌고, 200m에선 0.05%로 나타나며, 연속 설계(소규모 시험 설계) 시 그 보다 낮은 비율이 나타난다고 보고하였다(표 12).

표 12. 다양한 분리된 거리와 두 가지 설계에 따른 유채의 화분 공급자와 수령자의 이종교배율의 유의성(Husken and Dietz-Pfeilstetter, 2007).

Distance from pollen source (m)	Continuous design			Discontinuous design		
	Mean	Std.[1]	n[2]	Mean	Std.[1]	n[2]
0-10	1.78	2.48	26	0.94	0.51	10
10-20	0.33	0.45	7	0.40	0.47	8
20-50	0.05	0.05	10	0.14	0.11	11
50-100	0.04	0.04	3	0.11	0.11	11
>200	n.d.[3]	n.d.[3]	n.d.[3]	0.05	0.05	6

[1]Std. = standard deviation, [2]n = number of data points, [3]n.d. = insufficient data
Source: Hüsken and Dietz-Pfeilstetter, 2007

- 유채는 바람 외에도 꿀벌과 일부 딱정벌레 등 매개충에 의한 화분 이동도 가능하다. 많은 연구에서 주요 매개충으로 꿀벌에 대한 연구가 수행되었으며, 일반적으로 5 m 이상 화분 매개가 가능한 것으로 알려져 있고 어떤 연구에서는 2 km 이상의 거리까지 화분을 매개하는 것으로 보고되었다(Cresswell, 1994; Timmons et al., 1996).

○ 유채 교잡 가능종으로의 유전자이동

- 유채는 국내에서 배추로 알려져 있는 *Brassica rapa* (AA genom)와 양배추로 불리는 *Brassica oleracea* (CC genom)에서 파생된 복이배체로서 AACC genom을 가지며 유전적 친화성으로 인해 *B. rapa*, *B. oleraceae*, *Brassica juncea* 등과 교잡이 가능하다(Liu et al., 2013). 표 13은 배추과 작물 사이에서 이종간, 속간의 교잡 가능성을 정리한 표이다.

표 13. 배추과 작물에서의 이종간, 속간 교잡 가능성(OECD, 2012).

Interspecific cross	Sexual cross	Field cross	Seeds /cross	BC ♂	BC ♀	Potential Natural cross	Potential Introgression
Brassica napus							
B. napus × *B. carinata*	Y	NR	8		Y	L	L
B. carinata × *B. napus*	F, Y,	NR	<1		Y	L	L
B. napus × *B. juncea*	Y	Y	4	Y	Y	H	H
B. juncea × *B. napus*	Y	Y	0.54	Y	Y	H	H
B. napus × *B. fruticulosa*	Y	NR	0.008			VL	VL
B. fruticulosa × *B. napus*	Y	NR	F			VL	EL
B. napus × *B. maurorum*	Y					EL	EL
B. maurorum × *B. napus*							
B. napus × *B. nigra*	Y	Y	0–0.09	Y	F	L	L
B. nigra × *B. napus*		F	0.01	F	F	VL	L
B. napus × *B. oleracea*	Y	NR		Y	Y	VL	VL
B. oleracea × *B. napus*	Y	Y				VL	VL
B. napus × *B. rapa*	Y	Y	Many	Y	Y	H	H
B. rapa × *B. napus*	Y	Y	Many	Y	Y	H	H
B. napus × *B. tournefortii*	Y	NR	0.69			L	L
B. tournefortii × *B. napus*	F					VL	VL
B. napus × *D. catholica*	Y	NR	NR	NR	NR	VL	VL
D. catholica × *B. napus*	NR	NR	NR	NR	NR	EL	EL
B. napus × *D. muralis*	Y	NR	0.28			L	VL
D. muralis × *B. napus*	NR	NR					
B. napus × *Eruca sativa*	Y	NR				L	VL
Eruca sativa × *B. napus*	NR	NR					
B. napus × *Erucastrum gallicum*	Y	F	0.1	Y	Y	VL	VL
Erucastrum gallicum × *B. napus*	F	F	0			VL	VL
B. napus × *H. incana*	Y	Y	2	Y	Y	H	L
H. incana × *B. napus*	Y	Y	2×10^{-5}		Y	H	L
B. napus × *R. raphanistrum*	Y	Y	Y	Y	Y	H	L
R. raphanistrum × *B. napus*	Y	F	$10^{-4,-8}$	Y	Y	VL	VL
B. napus × *R. sativus*	Y	NR	0.6	NR	NR	VL	EL
R. sativus × *B. napus*	NR	F	0	NR	NR	VL	EL
B. napus × *S. alba*	Y	NR	Y			VL	EL
S. alba × *B. napus*	F	NR				EL	EL
B. napus × *S. arvensis*	Y	F	0.18			L	VL
S. arvensis × *B. napus*	Y	F	F	F		EL	EL
B. napus × *D. erucoides*	NR	NR					
D. erucoides × *B. napus*	Y	NR		Y		VL	VL

[1]Y = Successful cross by hand pollination or in the field, F = Cross attempted but failed, NR= Not reported.
Probability of crossing in nature and/or gene introgression H = High, L = Low, VL = Very low, EL = extremely low.

- 우리나라에는 배추, 순무, 갓 등 유채와 교잡가능한 다양한 배추과 작물 및 잡초가 다수 분포하고 있는 실정이다. Jenkins et al. (2001)은 야외 환경 실험에서 유채로부터 *B. rapa* 종인 순무(turnip)로의 이종교배가 1.5 m 이내 거리에서 0.06-2.13%의 교잡율로 발생한다고 보고하였다. 유채로부터 갓으로의 유전자이동은 유채에서 유채로 또는 유채에서 배추로의 유전자이동에 비해 비율이 낮다.
- Warwick (2007)는 야외 환경에서 유채로부터 갓으로의 화분에 의한 교잡율이 인접 시 0.245%, 50 m 거리에서 0.030%, 100 m 거리에서 0.021%이었다고 보고하였다. 또한 유채와 갓의 비율이 1:3에서 1:15로 증가됨에 따라 교잡율이 2.3%에서 0.3%로 감소하여 교잡율은 화분수용체의 개체 수가 증가함에 따라 감소되는 결과를 보인다(Jørgensen et al., 1998). Lee and Sohn (2019)은 제초제저항성 유채를 이용한 대규모 면적에서의 유전자이동성을 조사한 결과 0-6.1 m의 거리에서 유채로부터 배추 및 순무로의 교잡율은 각각 0.083%와 0.033%로 나타났으며, 유채에서 갓으로의 유전자이동성은 관찰되지 않았다고 보고하였다.
- Zhang et al. (2018a, 2018b)은 국내 연구를 통해 꿀벌과 바람에 의한 제초제 저항성 유채에서 다른 유채와 갓, 무(Raphanus sativus L.)로의 유전자이동을 조사한 결과 유채로부터 유채로의 유전자 이동이 유채로부터 갓으로의 이동에 비해 높았으며 무로의 이동은 발견되지 않았다고 보고했다. 또한 꿀벌을 통한 다른 유채로의 유전자 이동은 화분원에서 2 m의 거리에서 17.78% 교잡률을 나타냈으나 128 m의 거리에서는 0.03%로 줄어들어 거리에 따라 유전자 이동이 감소함을 밝혔다.

②. 유채 근연종으로의 유전자 이동성 분석

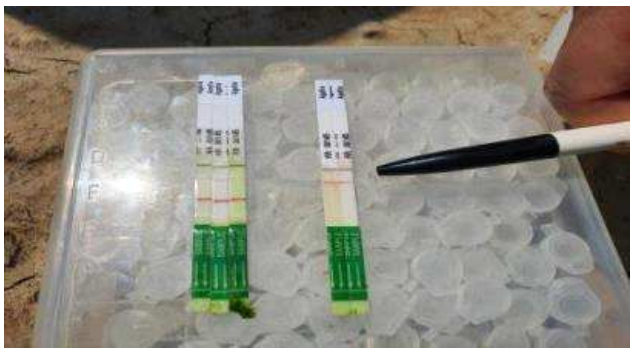
○ 전국 환경영향조사에서의 유채 간의 이종교배 조사

- 유채의 먼 거리까지의 화분 이동 능력과 높은 이종 교배율을 나타내어 유전자변형 유채의 안전관리에 많은 노력이 요구된다.
- 프랑스 지역에서 도로변의 자생 유채를 조사·분석한 결과에 따르면, 유채 군집에서 최근 8-9년간 재배되지 않은 품종이 포함된 것이 확인되었으며, 이러한 결과는 해당 유채 품종이 운송 중 낙곡에 의해 유출된 것이 아닌 자연 생태계에서 자생했음을 의미한다. Pessel et al. (2001)은 도로변에서 자생 유채가 발생하는 것은 운송 중 낙곡 뿐 아니라 다른 필드나 혼합된 종자은행(seed bank)에서 발아하는 등 여러 가지 원인이 있을 것이라고 제안했다. Pascher et al. (2006)은 호주에서 50-150개의 유전자로 구성된 유채 9종을 분석한 결과 야생 개체군이 지난 5년간 그 지역에서 주도적으로 재배된 품종보다 유전적으로 더 다양하다는 것을 확인하였다. 그들은 자생 유채의 주도적 품종의 유전적 구성을 반영하더라도 이러한 유채 식물의 상당부분은 5년 이상의 토양에서 유래했다고 결론지었다.
- 본 환경모니터링에서 유전자변형 유채로부터 주변에 자생중인 유채로의 유전자 이동은 발견되지 않았다. 2019년 10월에 수행된 제6차 민관합동 환경영향조사에서 충남 예산 지역에서 1개의 유전자변형 유채가 발견되었으며, 2020년 4월의 제5차 자체 환경조사에서 전남 신안군 지역의 4개체와 경남 함양군 지역에서 1개체, 2020년 5월의 제7차 합동 민관합동 조사에서 충남 예산군 지역의 1개체와 전남 신안군 지역에서 14점의 유전자변형 유채가 발견되었다(그림 16). 하지만 이들 양성 개체는 모두 기존 유전자변형 유채 재배지에서 발견된 개체들로 유전자 이동 보다는 월동을 거친 자가 발생 개체(volunteer)의 가능성이 높다. 종자 산포를 통한 유전자변형 유채가 재배지 안으로 도입 된 후 유전자변형 유채와 이종교배 될 가능성은 낮지만 존재하며 이 경우 분석을 통해 구분해 내기에는 어려움이 있다. 만약 수입 유채와 국내 자생 유채의 품종, 생태형 등에 차이가 있다면 유전체 분석을 통해 구분은 가능하다.

A

B

C



D

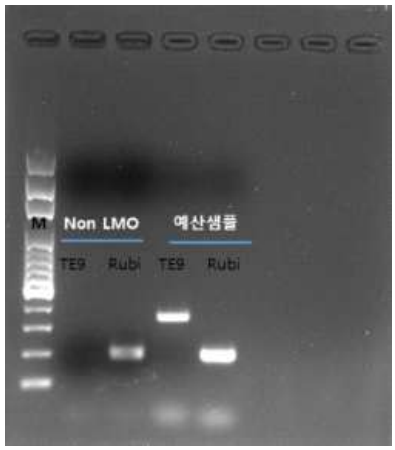


그림 16. 유전자변형 유채 환경생태 모니터링과 진단막대 및 PCR 분석

A. 전남 신안군 유전자변형 유채 환경 모니터링(2020년 5월), B. 발견된 유전자변형 유채, C. 진단막대를 통한 유전자이동성 검정 결과, D. PCR 분석을 통한 유전자변형 유채 검정(충남 예산 샘플).

○ 전국 환경영향조사에서의 유채 근연종으로의 유전자 이동

- 국내 자연환경에서 유채는 잡초화가능성이 크고, 타가 수분률이 높아 화분에 의한 유전자 이동이 가능하며 갓, 무, 배추 등의 배추과 근연종과의 교잡이 가능하여 철저한 관리가 요구되는 작물이다.
- 본 연구기간 동안 2회의 민관합동조사와 2회의 자체조사에서 유전자변형 유채가 재배되었던 33개 지역에서 주변 배추와 야생갓 등 유채와 교잡가능 식물들을 채집하여 검정막대(Immuno Strip)로 유전자 이동을 조사한 결과 제초제저항성 유전자가 이동된 개체는 발견되지 않았다(그림 17).
- 현재까지 국내에서 야외 생태환경에서 유전자변형 유채의 도입유전자가 배추, 갓 등 교잡가능 식물로 전이된 보고는 없다.

A

B

C

D

그림 17. 진단막대를 이용한 유전자변형 유채로부터 교잡 가능 식물로의 유전자이동 조사

A-C. 유전자변형 유채 재배지 주변 야생갓 분포, A. 전북 군산시(2020년 4월), B. 경남 통영시(2020년 5월), C. 전남 나주시(2020년 4월), D. 진단막대를 통한 유전자이동성 검정 결과(왼쪽 막대는 양성대조구).

○ 국내 유채 유전자 이동 안전관리 시스템 개발

- 유채의 먼 거리까지의 화분 이동 능력과 높은 이종 교배율, 국내에서의 배추, 갓 등 다양한 교잡가능한 배추과 작물 및 잡초의 분포는 유전자변형 유채의 안전관리에 있어 콩, 옥수수, 면화 등 다른 주요 유전자변형 작물에 비해 더욱 많은 노력이 요구된다.
- 유전자변형 유채의 개발을 위한 격리포장에서의 환경위해성 평가 실험과 수입된 유전자변형 유채의 환경방출에 따른 방제 등에 있어 화분을 통한 유채 도입유전자의 확산 방지를 위한 격리 거리가 고려되어야 한다. 유전자변형 유채의 안전관리를 위한 격리거리 설정은 각 나라마다 다양하다.
- 미국은 종자공인기관협회(Association of Seed Certifying Agencies)의 규정을 활용할 것을 권고하고 있는데, 이때 유채의 원원종(foundation seed) 생산 시 교잡 방지를 위해 격리 거리를 400 m로 규정하고 있다. 일본 농림수산성은 유전자변형 유채의 교잡 방지를 위해 격리거리를 600 m로 지정하고 있으며, 중국 농무부는 유전자변형 유채의 격리거리를 1,000 m로 규정하는 등 각 나라마다 자국의 환경을 고려하여 거리를 규정하고 있는 실정이다.
- 아직 국내에는 유전자변형 작물에 대한 격리거리 기준이 마련되어 있지 않은 실정이며, 이에 대해 Lee (2017)는 국내 유전자변형 유채의 안전관리를 위해 국립종자원의 종자관리요

강에 따른 격리거리 설정을 제안하였으며(표 14), 정책적 도입이 필요할 것으로 판단된다.

표 14. 국내 종자관리요강의 작물별 격리거리

Crop	Foundation	Registered	Certified
Corn (inbred)	300 m or 200 m with the presence of a windbreak	300 m or 200 m with the presence of a windbreak	200 m
Soybean	3 m	3 m	1 m
Rice	3 m	3 m	1 m
Rapeseed	only in mesh greenhouse	1,000 m or 500 m with the presence of a windbreak	1,000 m or 500 m with the presence of a windbreak
Tomato	300 m	300 m	300 m

- 국내 환경에서의 유전자변형 배추과 작물의 이종교배와 유전자 이동에 대해 몇몇 연구가 수행되었다. Lee et al. (2009b)은 제초제저항성 유채를 이용하여 비현형 유채 및 배추, 흑겨자로의 유전자이동성을 온실실험을 통해 확인하였으며, Kim et al. (2014)은 유전자변형 양배추로부터 비유전자변형 모본으로의 유전자 이동성을 조사하였다. Lim et al. (2015)은 유채로부터 갓으로 유전자이동에 의한 교잡종의 휴면과 이에 대한 잡초화 가능성을 조사하여 보고하였다. 국내에서 수입된 유전자변형 유채의 안전한 이용과 향후 국내개발 유전자변형 유채의 상용화에 대비하여 유전자 이동성에 대한 안전관리 체계 확립이 요구되는 실정이나 국내에서 수행된 연구는 부족한 편으로 지속적이고 다양한 연구 수행이 요구되는 실정이다.

(다). LM유채 처리 및 효율적 관리를 위한 저감기술 개발

①. LM유채 전국 환경 영향조사 데이터 분석 자료 확보

㉮. 대상 지점 수

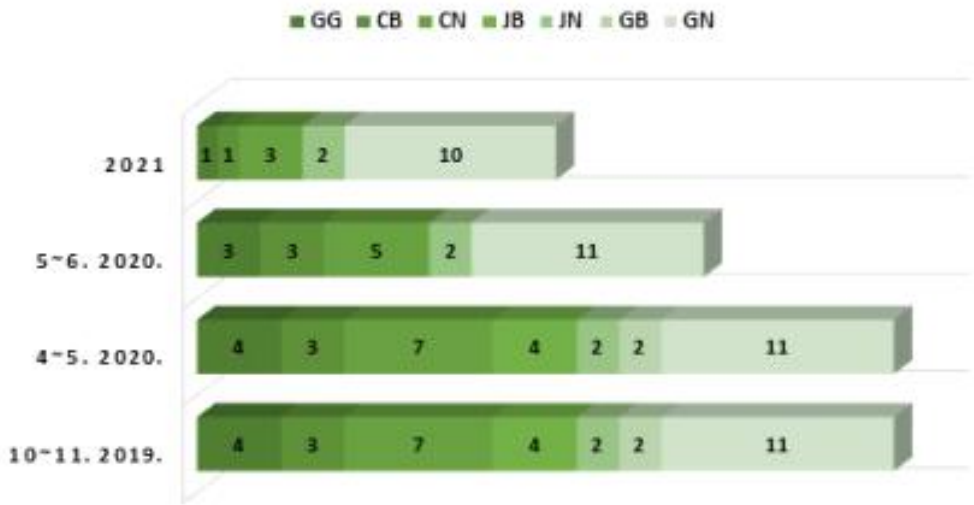


그림 18. LM유채 전국 환경 영향조사 대상 지점 수 (민관합동조사 유지 지점 수)
GG: 경기도, CB: 충청북도, CN: 충청남도, JB: 전라북도, JN: 전라남도, GB: 경상북도, GN: 경상남도
10~11. 2019: 6차 민관합동, 4~5. 2020: 5차 자체조사, 5~6. 2020: 7차 민관합동, 2021: 8차 민관합동

- 모니터링은 자체조사 2회, 민관합동조사 2회로 진행되었으며, 조사 개소 수는 그림18과 같다.
- 민관합동조사시 유관기관과 시민단체 및 대학에서 해당 장소를 방문하여 모니터링 후 LM유채 발견이 희박하다고 여겨지는 곳은 대상 지역에서 제외를 하고 있다. 민관합동조사에서 제외된 지역은 자체조사를 통해 유지되고 있으며, 사후관리를 통해 꾸준한 모니터링을 실시 하고 있다.
- 2019년도 11월~12월 실시된 6차 민관합동조사 시 대상 지점 수는 총 33개소였으나, 2020년도 5월~6월에 실시된 7차 민관합동조사 24개소, 8차 민관합동조사 17개소로 점차 감소하고 있다.
- 가장 많이 감소한 지역은 충남과 전북으로 각각 4개소가 감소하였으며, 순서대로 경기가 3개소, 충북과 경북이 2개소 경남이 1개소가 감소되었다.
- 전남 나주시 빛가람동은 LM유채는 발견되지 않았으나 소량의 유채가 발견되고 있어 모니터링을 유지 중이며, 전남 신안군 임자면은 다량의 LM유채가 발견되고 있어 집중적인 경운과 제초를 실시하며 유채 발생을 막고 있다.
- 현재 8차 민관합동조사 대상 지역은 경기 1개소, 충북 1개소, 충남 3개소, 전남 2개소, 경남 10개소로 경남 지역이 가장 많은 지점을 유지하고 있다.

㉯. 유채 발견지

그림 19. LM유채 전국 환경 영향조사 유채 발견지

GG: 경기도, CB: 충청북도, CN: 충청남도, JB: 전라북도, JN: 전라남도, GB: 경상북도, GN: 경상남도

10~11. 2019: 6차 민관합동, 4~5. 2020: 5차 자체조사, 5~6. 2020: 7차 민관합동

- LM유채 사후 모니터링과 점검의 중요성은 비 의도적으로 방출된 LM유채 자체를 제거하는 것도 중요하지만, 근연종이나 유채로의 교잡을 막는 것도 중요하다. 그러나 현재까지의 자연에서의 근연종으로부터 교잡에 대한 결과는 보고되고 있지 않기 때문에 근연종보다는 재배지나 주변으로의 수분을 막는 것이 더욱 중요하다고 볼 수 있다.
- 민관합동 조사지에서의 재배지 내 유채 발견지는 표 15 와 같다. 결과적으로 충남에서 12회 발견되었으며, 경남이 8회, 전남이 5회, 충북이 3회, 전북이 2회, 경기가 1회 서식을 확인 하였다.
- 현재 LM유채가 발견되고 있는 충남과 전남, 경남에서 유채 발견이 높게 나오고 있어 주의 깊은 관리가 필요한 실정이다.
- 그중 경상남도 함양군 지곡면, 대전 중촌동, 세종시 연서면, 전남 신안군 임자면, 충북 청주시 수안보면은 3번 연속으로 유채가 발견되어 지속적으로 유채가 확인되는 지역이다. 또한 전남 나주시 빛가람동, 충남 당진시 송악읍, 예산군 덕산면은 연속 2번 유채가 확인된 지역이다. 이중 충남 예산군 덕산면, 경남 함양군 지곡면과 전남 신안군 임자면은 LM유채가 발견된 곳으로 LM유채가 잡초화 되지 않도록 방제에 노력을 기울여야 할 것이다.

㉰. LM유채 발견지

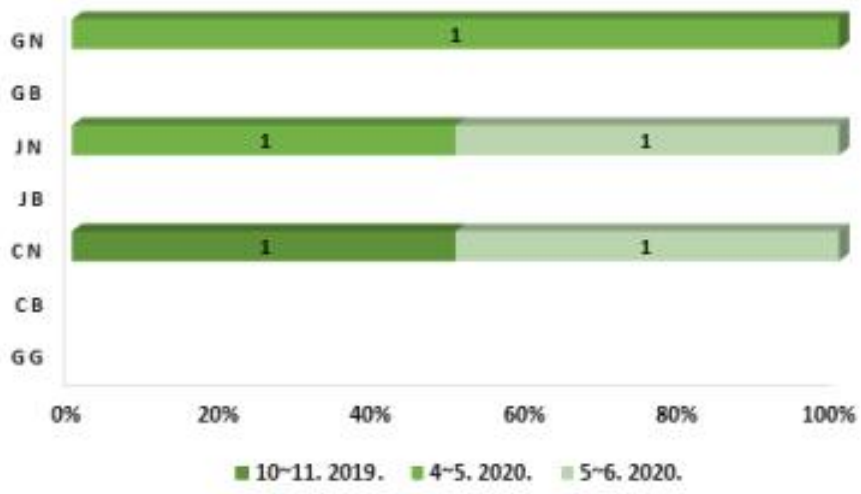


그림 20. LM유채 전국 환경 영향조사 LM유채 발견지

GG: 경기도, CB: 충청북도, CN: 충청남도, JB: 전라북도, JN: 전라남도, GB: 경상북도, GN: 경상남도
10~11. 2019: 6차 민관합동, 4~5. 2020: 5차 자체조사, 5~6. 2020: 7차 민관합동

- 3회의 모니터링 조사 동안 LM유채가 발견된 곳은 3개소이며. 경남에 1개소, 전남에 1개소 충남에 1개소이다.
- 2019년도 10월~11월에 실시된 6차 민관합동조사에서는 1개소에서 LM유채가 발견되었고, 2020년도 4월~5월에 실시된 5차 자체조사에서 2개소에서, 2020년 5월~6월에 실시된 7차 민관합동조사에서 2개소에서 LM유채가 발견되었다.
- 전남 신안군 임자면에서 5차 자체조사, 7차 민관합동조사에서 LM유채가 발견되었으며, 충남 예산군 덕산면에서 6차 민관합동조사, 7차 민관합동조사에서, 경남 함양군 지곡면은 5차 자체조사에서 LM유채가 발견되었다.

②. LM유채 발생밀도, 빈도, 생육단계 및 분포현황 파악을 통한 저감기술 분석

㉮. LM유채 발생밀도 및 빈도

그림 21. LM유채 전국 환경 영향조사 LM유채 누적 개체수

10~11. 2019: 6차 민관합동, 4~5. 2020: 5차 자체조사, 5~6. 2020: 7차 민관합동

- LM유채가 발견되는 세 지점 중 가장 많은 개체수를 나타내는 곳은 신안군 임자면인 것으로 나타났다. 총 누적 개체수는 신안군 임자면 17개체, 충남 예산군 덕산면 2개체. 경남 함양군 지곡면은 1개체이다.

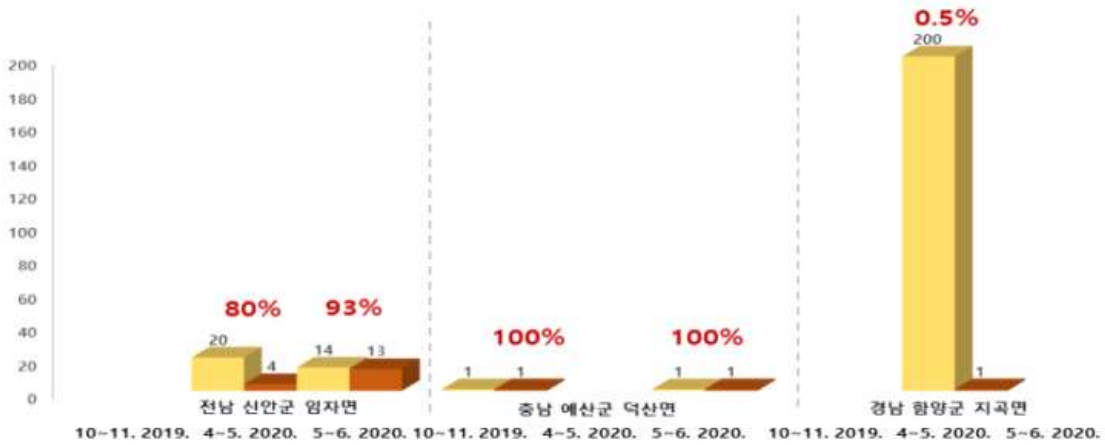


그림 22. LM유채 전국 환경 영향조사 유채 개체수 및 LM유채 개체수

노란색: 유채 개체수, 갈색: LM유채 개체수

10~11. 2019: 6차 민관합동, 4~5. 2020: 5차 자체조사, 5~6. 2020: 7차 민관합동

- 유채 개체수와 LM유채 개체수를 비교해 보았을 때 경남 함양군에서 높은 유채 개체수를 보이는데 해당 지역은 2019년 가을 토지 소유주가 non-GM 유채를 재파종 한 것으로 확인되었다. LM유채는 적은 개체수를 보이지만 non-GM와의 수분이 일어날 가능성이 있으므로 더욱 많은 노력을 기울여야 할 것 이다.

㉯. LM유채 생육단계 및 분포 현황

표 15. LM유채 전국 환경 영향조사 LM유채 발견지 정보

지점 넘버	개소 명	조사 명	조사 일자	발생 정도	생육단계	분포현황	유채 개체수	LM유채 개체수
38	충남 예산군 덕산면	6차 민관합동 조사	2019. 10. 31.	소량	유식물	단생	1	1
		7차 민관합동 조사	2020. 05. 25.	소량	개화기 꼬투리형 성기	단생	1	1
69	전남 신안군 임자면	5차 자체조사	2020. 05. 04.	소량	개화기 꼬투리 형성기	단생/산재	20	4
		7차 민관합동 조사	2020. 05. 21.	소량	유식물	단생	14	13
96	경남 함양군 지곡면	5차 자체조사	2020. 04. 23.	대량	개화기 꼬투리 형성기	군생/단생/ 산재	200	1

표 16. 유채의 생활사

9월	10월			11월			12월			1월			2월			3월			4월			5월			6월	7월	8월
	상	중	하	상	중	하	상	중	하	상	중	하	상	중	하	상	중	하	상	중	하	상	중	하			
		유묘기		영양생장기				신장기		추대기		개화시		개화기		등숙기											

- 3회의 모니터링 중 2회는 봄철, 1회는 가을 철에 실시 하였다. 모니터링 시기 시 발견된 유채의 생육단계는 개화기 및 꼬투리형성기 였으며, LM유채 발견지 근처에서 발견된 꼬투리 또한 모두 수거하여 폐기처리 하였다.
- 유채가 발견된 총 31건 중 7건이 유식물 단계로 확인되었으며 주로 10월~11월경의 가을철 조사에서 발견된 것으로 확인하였다.
- 또한 20건이 꼬투리 형성기로 확인되며, 4월 말경부터 꼬투리 형성기에 돌입하는 것으로 나타났다. 따라서 매년 3월 말경 자체조사를 실시하여 꼬투리 형성 전 유채를 제거하는 것이 재발생 억제에 도움이 될 것으로 보인다.

㉰. 근연종으로의 교잡 여부

- 민관합동조사 2회, 자체조사 2회 모두 대상 지역 및 주변지 근연종(야생갓, 배추)에 대해 조사결과 유전자 이동 개체는 없었다.

㉱. LM유채 발견지 특징

○ 전남 신안군 임자면

- 전남 신안군 임자면은 재배면적이 약 773,000m^2으로 현재 남아있는 모니터링 지역 중 가장 필지가 넓은 곳이며, 파종량 또한 1,100kg으로 가장 많은 양을 파종하였다.
- 해당 지역은 대기리와 이흑암리 두 곳으로 나뉘어져 있으며, 로터리 작업을 지속적으로 수행하고 있으나 유채가 완전히 사멸되진 않고 있다.
- 2017년도부터 LM유채 모니터링을 수행하며 발견되는 유채를 지속적으로 폐기처리 하고 있으나 해당 지역은 꾸준히 LM유채가 발생하고 있으며, 타 지점에 비해서도 눈에 띄게 많은 양이 발견되고 있다.
- 전남 신안군에서의 지속적인 다량의 LM유채 발생 원인으로 해당지역(섬) 전체가 친환경 농산물 단지로 지정되어 있어 제초제 살포에 제한을 받는 것을 꼽을 수 있다. LM유채의 방제는 제초제 살포, 토양 경운, 타 식물 재배 등을 복합적으로 적용할 때 효과적 방제가 될 수 있으나 신안군의 경우 경운과 손 제초에만 의존하고 있는 실정이다.
- 신안군에서의 LM유채 지속적 발생의 또 다른 원인은 유채 생육에 적절한 기온과 강수량이다. 신안군 임자도는 우리나라 남해에 위치하여 기온이 비교적 따뜻해 다른 추운 내륙 지역에 비해 겨울 유채가 식물체로 월동하기에 유리한 조건이다.
- LM유채 방제의 어려움으로 임자면 대기리의 경우 길가에 LM유채가 발생하여 제초작업에 제한이 있는 실정이다. 길가에 조경수가 있어 제초기 및 제초제 살포에 어려움이 있다.
- 또한 임자면 이흑암리의 경우 LM유채 발생 초기에 발견되지 않고 이후 환경 모니터링에서 LM유채 발생지로 발견되어 초기 LM유채가 종자를 맺고 토양에 산포된 후에 방제가 시작되었다. 토양에 산포된 유채 종자는 10년 간 휴면 가능하다는 연구 보고도 있기 때문에 매년 지속적으로 volunteer가 발생할 가능성이 있다. 따라서 지속적이고 집중적인 모니터링이 요구된다.

○ 충남 예산군 덕산면

- 충남 예산군 덕산면은 관광온천 앞 4개의 필지로 이루어져 있으며, 재배면적은 약 23,000 m^2, 파종량은 800kg이다. 해당 지역은 2차~7차 민관합동조사에서 양성 유채가 지속적으로 발견되는 곳이다.
- 해당 지역은 유채 자체가 적게 발견되고, 근연종도 발견되지 않아 교잡에 대한 위험도는 적으나, 발견되는 유채가 모두 LM유채라는 점으로 보아, 방제를 꾸준히 진행 한다면 LM 유채를 모두 사멸 시킬 수 있을 것으로 판단된다.
- 첫 LM유채 발견 시에 비하여 양성 개체 수는 많이 감소하였지만, 지속적으로 양성 개체가 1개체 씩 발견되고 있어 지속적인 관리가 필요한 지역이다.
- 해당 지역은 토지를 경운을 하며 관리를 하고 있지만 타 식물을 식재하지 않고 나지로 두고 있다. 유채는 자연생태계 내에서 낮은 침입성을 갖고 있으며, 타 식물과 비교 하였을 때 낮은 적응력을 보여주고 있다.
- 현재까지의 연구결과로 보아 LMO 유채의 방제는 경운 및 제초와 같은 방식으로 관리가 가능한 것으로 알려져 있으나 이와 더불어 십자화과가 아닌 타 식물을 식재하여 관리를 할 경우 LM유채가 경쟁력이 낮아 자연스럽게 방제 효과 더욱 증대될 것으로 판단된다.

○ 경남 함양군 지곡면

- 경남 함양군 지곡면 재배면적이 약 990m^2, 파종량은 10kg이다.
- 해당 지역에서 LM유채 예취 및 매몰은 2017년 6월 수행되었으며, 환경 모니터링을 통해 2017월 11월 양성 유채가 1개체 발견되었으며, 2019년 5월에도 양성 개체가 1건 발견되었다.
- 2019년 가을 조사에서 토지 소유주가 non-GM 유채를 대량으로 재파종하여 현재 재배지 내에 다수의 유채가 분포하고 있는 실정이다.
- 재배지 내 다수의 유채가 존재하여 LM유채 모니터링 시 시료 채취에 어려움이 있다(수백 개의 샘플 조사가 요구됨).
- 2020년 4월 조사에서 재배지 내 1개의 양성 유채가 발견됨에 따라 LM유채의 확산 가능성이 높은 지점이다.
- 본 지점은 LM유채와 non-GM 유채가 같은 재배지 내에 위치하고 있기 때문에 종간 교잡 시에 더욱 위험한 결과가 나타날 수 있어 철저한 모니터링과 관리가 요구된다.
- 토지 소유주와 협의를 통해 제초제 살포 등의 방법으로 완전 방제가 필요할 것으로 사료된다.

○ 충남 홍성 내포 신도시

- 충남 내포 신도시는 총 6개의 필지로 이루어져 있으며, 각 지역이 5km 이내로 비교적 가깝게 위치 되어져 있다. 모든 필지는 홍성군청에서 관리하고 있으며, 군청 근처의 경관용 목적으로 유채를 식재하였다. 현재는 1년에 5번 정도 로터리를 치며 경운을 하고 있으며, 이탈리안라이그라스 및 고구마를 식재하여 유채 재발생을 막고 있다.
- 기존의 6개의 필지 중 해링턴아파트와 삽교읍 언덕만이 민관합동조사 리스트로 남아 있으며, 해링턴아파트 에서는 소량의 유채가 발견이 되고 있어 유지 중이다. 그러나 2018년도 2월~3월 2차 자제조사부터 LM유채가 미발견 되어, 8차 민관합동조사에서 LM유채가 발견되지 않을 경우 민관합동조사 리스트에서 제외하는 것으로 협의를 하였다.
- 대부분의 필지에서 LM유채의 발생율이 줄어들고 있으나, 올해 초, 4차 민관합동 조사 시 (2018년 10월 24일) 민관합동 조사 리스트에서 제외되었던 지점인 삽교읍 언덕에서 양성 유채가 발견되었다. 해당 지역은 한국 토지 주택공사 소유지로 매각이 완료 되어 건물 건설이 예정되어 있어 더 이상의 조사는 무의미하다 판단하여 제외 된 것으로 확인 되었다. 그러나 예정된 일정이 2년이 다 지나가도록 건물 건설은 진행되지 않았으며. 이로 인해 관리 감독이 느슨해져 LM유채가 재발생 한 것으로 보인다.
- 따라서 민관합동조사 리스트에서 제외된 이후의 사후 조사 즉 유관기관에서의 자체조사와 해당 지자체에서의 지속적인 제초와 경운이 LM유채 박멸에 매우 중요하다는 것을 이번 사건으로 인해
- 해당 지역은 2020년 7차 민관합동 조사 지점으로 다시 부활하여 8차 민관합동조사 모니터링을 예정하고 있다.

(라). 환경방출 LM유채의 효율적 안전관리 및 방제기술 가이드라인 도출

①. 비 의도적 방출 LM유채의 체계적 안전관리 및 방제 전략

○ 운송로 주변 유전자변형 유채 환경모니터링 강화

- 야생 유채 집단은 많은 나라에서 도로 주변, 경작지 주변, 철도 주변 등에서 쉽게 찾아볼 수 있다(Orson, 2002; Pessel et al., 2001; Salisbury, 2002). 자생하는 유전자변형 유채의 경우 운송로 주변에서 빈번한 발생이 보고되었는데(Agrisearch, 2001; Aono et al., 2006; Hecht et al., 2014; Saji et al., 2005), 호주에서의 조사에 따르면 거의 모든 유채 식물이 도로의 가장자리 혹은 대다수의 길가에서 5 m 이내에서 자생하기 때문에 이러한 장소에서의 유채 발생은 월동에 의한 자생보다는 운송 과정 중의 낙곡이 원인일 가능성이 더 높을 것이라고 추측된다(Agrisearch, 2001).
- 유채 종자는 약 1.8 mm의 직경과 2.5-4.6 mg의 무게를 지녀 크기가 작고 가벼워 운송 중 낙곡의 가능성이 옥수수나 콩, 면화와 같은 다른 유전자변형 작물에 비해 높다. 다른 배추속 식물 종들과 마찬가지로 유채는 다른 주요 서식자 들과 경쟁하여 경운된 땅에서 살아남아 군락을 형성하는 개체이다. 하지만 유채는 경쟁력이 부족하고 환경 유해 정착 종으로 간주되지는 않으며, 서식지가 정기적으로 경작되지 않는 한 자연생태계에서 유채는 소멸될 가능성이 높다(Beckie and Warwick, 2010). 하지만 Crawley and Brown (1995)은 영국 지역의 도로에서 유채의 자생이 3-4년 간 지속되는 것을 보고하였고, 스코틀랜드와 영국 남부에서 도로변의 유채 야생 군집을 조사한 연구에서 매년 개체수가 매년 증가되었다고 밝혔다(Crawley and Brown, 1995; Wilkinson et al. 2000). 이러한 결과를 종합해 보면 길가 및 운송로 주변에서의 자생 유채 증가는 차량 운송과 같은 인간의 활동과 관련이 있음을 시사한다.
- Aono et al. (2006)은 유전자변형 유채의 운송로 주변에서 glyphosate와 glufosinate 제초제 저항성 유전자를 모두 포함한 유전자변형 유채를 발견하였다. 상업적으로 개발된 제초제 저항성 유채는 glyphosate 또는 glufosinate에 각각 저항성을 나타내며 이러한 두 제초제에 모두 저항성을 나타내는 품종은 자연생태계에서 교잡에 의해 발생했음을 시사한다. 두 제초제에 모두 저항성을 나타내는 이중 제초제 내성 유채는 미국과 캐나다의 운송로 주변에서도 확인되었다(Knispel et al., 2008; Schafer et al., 2011; Yoshimura et al., 2006). 이러한 연구 결과를 종합하면 국내 유전자변형 유채의 안전관리에 있어 수입항 주변과 종자 운송로에 대한 환경방출 모니터링의 중요성이 높은 것으로 판단된다.

▶ 유전자변형 유채의 경우 국내에서는 2012년과 2013년에만 식품용으로 4만4천 톤이 수입되었다. 따라서 국내에서 운송중 낙곡에 의한 우려는 앞서 살펴본 미국, 유럽, 호주, 일본 등에 비해 낮은 편이다. 하지만, Shin et al. (2016)은 2009년부터 2013년까지 국내 자연생태계 모니터링을 통해 유전자변형 유채를 발견하여 보고한 사례 등을 통해 지속적인 환경생태 모니터링이 필요한 것으로 사료된다.

○ 재배지 확산 유전자변형 유채 방제

(1) 환경 모니터링 수행과 방제시기

- 유채가 속한 배추과 식물은 상대적으로 낮은 온도에서도 잘 자라며 추위에 견디는 능력을 가지고 있어 낮은 온도의 지방에서 재배되며, 열대 지방의 높은 고도에서 겨울 작물로 재배된다(OECD, 2012). 유채는 봄에 파종하여 재배하는 1년생과 겨울에 파종하는 2년생 형태가 있다. 1년생 형태는 캐나다 서부와 중국 북부 등에서 주로 재배되며, 2년생 형태는 호주와 온화한 겨울 기후를 가진 나라에서 겨울 작물로 재배된다.
- 우리나라의 경우 봄 재배는 2월 하순에서 3월 상순에 파종하여 6월 하순부터 종자를 수확하며, 겨울 재배는 10월에 파종하여 6월에 수확한다(NICS, 2018). 유채는 일반적으로 2-3 cm 깊이로 파종하며, 파종 후 4-5일 안에 발아한다. 자엽의 확장은 줄기 원목이 꽃을 피우는 7-8엽의 로제트 형성에 따라 빠르게 진행된다. 작물이 로제트 단계에 머무르는 기간은 적게는 30일에서 길게는 210일까지로 다양하며, 이는 기후, 종, 재배양식에 따라 결정된다. 우리나라의 경우 한 생장주기를 완료할 때까지 봄 재배의 경우 약 130일이 소요되며, 가을 재배의 경우 약 240일이 소요된다(NICS, 2018).

▶ 유전자변형 유채 확산 방지를 위해서는 환경 모니터링을 통한 유전자변형 유채 탐색과 양성개체 발생 시 제거가 필요하다. 환경 모니터링이 너무 이르면 유식물 개체 탐색에 어려움이 있으며, 너무 늦으면 종자생성을 통한 종자 산포가 발생할 수 있다. 따라서 국내 환경조건에서는 봄 유채 및 겨울유채의 경우 4월 말~ 5월 초의 모니터링 수행이 요구되며, 겨울유채의 파악을 위해 10월 말 ~ 11월 초의 추가 모니터링이 요구된다.

(2) 토양 환경에 따른 방제 구분

- 유채와 같은 배추과 유지작물은 비옥한 토양에서 더 잘 자라긴 하지만 다양한 종류의 토양 상태에서도 생육이 좋으며 pH 5.5에서 8범위 내에서 견딜 수 있다.
- 유채는 토성의 영향보다 유묘기와 영양생장기 때 습해에 민감하여, 토양에 수분이 많으면 추대가 불안정하고 생육이 지연되는 특징이 있다(NICS, 2018; OECD, 2012).
- 유채는 다른 곡식 작물과 비교할 때 재배 시 25% 이상의 질소(N), 인(P), 칼륨(K) 등 풍부한 양분을 필요로 하기 때문에 밭과 같은 영양분이 많은 토양에서 생육이 우수한 특징이 있다.

▶ 따라서 유전자변형 유채의 안전관리 측면에서 생태환경 방출 사고가 발생되었을 때 시비가 충분한 토양 환경에 대한 집중적 관리가 요구된다. 토양 환경에 대한 pH 및 영양 조성 등에 대한 정보는 국립농업과학원의 흙토람(http://soil.rda.go.kr/soil/index.jsp) 사이트를 이용할 수 있다(그림 23).

A B

그림 23. 흙토람 농업 토양 환경 정보 시스템.
A. 흙토람 사이트, B. 토양 환경 정보 예시.

(3) 종자 휴면에 따른 유전자변형 유체 안전관리

- 봄과 겨울 유채 모두 생태적으로 성숙한 꼬투리는 쉽게 부숴져 수확 시 많은 양의 종자가 땅에 비산하기 때문에 농업적 수확 측면에서 불리한 특성을 나타낸다(Price et al., 1996). 이러한 종자 비산은 수량의 손실에도 영향을 미치지만 유전자변형 유채의 안전관리에도 부정적 영향을 미칠 수 있다.
- 유채 종자는 1차 휴면(자발휴면)이 없기 때문에 적절한 온도와 습도 조건에서 대부분의 종자가 발아할 수 있다. 유채의 2차 휴면(타발휴면)은 고온, 암조건, 삼수압, 산소 부족 등 비생물적 스트레스에 의해 유도된다(Gulden et al., 2004; Pekrun et al., 1997). 또한 유채의 2차 휴면은 종자의 매몰 깊이에 영향을 받는 것으로 보고되었는데, Gulden et al. (2004)은 얕은 깊이에 비해 10 cm 깊이의 깊은 토양 속에서 종자 휴면이 더 높다고 보고하였다. 유채 종자의 토양 내 휴면에 대한 연구에서, Masden (1962)은 토양에 5년간 보존된 유채 종자의 1%가 발아 능력이 유지된다고 보고하였으며, Lutman et al. (2005)은 영향을 받지 않는 토양에서 유채 종자의 약 1%는 10년 동안 발아 능력을 유지할 수 있다는 연구결과를 발표하였다. 이러한 유채의 토양 내 2차 휴면은 안전관리 측면에서 매우 중요하다.

▶ 유전자변형 유채의 시험포장 관리 및 시험포 폐쇄, 의도적/비의도적 방출지 관리 등에 있어서 유채 종자의 휴면 정보가 반영되어야 한다. 하지만 유채 방제를 위해 생육 초기에 토양을 경운하면 유채 자생식물 발생 억제에 효과적이지만 얕은 경운을 수행하게 된다면 오히려 더 많은 자생식물이 발생할 수 있다는 연구결과도 있기 때문에 경운에 의한 유채 방제 및 관리 시 세밀한 검토가 필요하다(OECD, 2012).

(4) 유전자변형 유채의 자생과 방제

- 유채는 도로나 철도, 포장 주변에서 자주 발견되며 많은 나라에서 여러 다양한 형태의 풍부도와 지속성을 나타낸다(Williamson, 1996). 유채는 재배 포장에서 수송 및 이동 시 많은 양의 종자가 토양으로 유출되기 때문에 비 경작지에서 자생식물로 자라날 수 있으며(Orson, 2002; Pessel et al., 2001; Price et al., 1996), 높은 자생력과 번식력을 가지고 있어 유럽의 일부 지역에서 반영구적인 상태로 자신을 유지할 수 있는 야생 개체군이 발견되기도 하였다(Pivard et al., 2008). 이러한 연구결과는 유채가 높은 잡초화 가능성을 지니고 있음을 의미할 수 있다.
- 하지만 유채가 많은 종자를 생산하고, 높은 번식율을 통해 야외 환경에서 자생하더라도 자연 생태계에서 우점하는 다른 다년생 잡초에 비해서는 낮은 경쟁력을 보인다(OECD, 2012). 자연 생태계에서 유채는 침입성을 갖고 있지 않으며, 어느 식물군락에서도 우점하지 않는 것으로 알려져 있다(Warwick et al., 1999). 미국, 캐나다, 영국 등에서 수행된 제초제저항성 유전자변형 유채를 이용한 자생 능력 실험에서 유전자변형 유채를 재배 다음해에 일반 품종과 비교했을 때 비슷하거나 낮은 자생능력을 보였다(Crawley et al., 1993; Sweet and Shepperson, 1998). 이러한 결과들을 종합해 볼 때 제초제저항성 유채의 경우 자연 생태계에서의 잡초화 가능성은 크지 않을 것으로 보인다.

▶ 이러한 결과는 국내 유전자변형 유채 발생 시 자생력이 강한 잡초성 식물 및 작물의 재배하는 것이 유채 방제에 효과를 나타낼 수 있는 것을 의미한다. 실제로 금번 환경 방출 모니터링에서 전남 나주시와 전북 군산시의 경우 고구마 및 화초 등을 재배하여 다른 지역에 비해 유채 발생이 적었다. 하지만 유전자변형 유채에서 환경스트레스 내성 등 다양한 도입 형질과 적용되는 자연 환경의 다양성에 의해 잡초화 가능성은 증가될 수 있기 때문에 이에 대한 다양한 검토가 요구된다.

- 자생하는 유전자변형 유채의 방제는 경운 등 일반적인 농법으로 관리가 가능하다. 캐나다에서 수행된 연구에서 유전자변형 제초제저항성 유채의 경우 기존의 일반 유채 방제를 위한 동일한 관행 농법으로 쉽게 관리되었다고 보고했다(Downey and Buth, 2003). 호주에서 수행된 6년간의 유전자변형 유채 관리 연구에서 제초제 또는 경운을 통해 유채를 적절히 통제할 수 있었다(Salisbury, 2002).

▶ 이러한 결과들은 국내에서 발생한 환경에 방출된 유전자변형 유채는 경운 및 제초제 살포 등으로 제어가 가능함을 시사한다. 실질적으로 본 연구에서 환경 방출 모니터링을 수행한 결과 초기 유전자변형 작물 출현시 적극적 제초제 살포와 경운 등 작업 수행된 경우 현재 유전자 유채가 발견되지 않아 유채 제거에 효과 큰 것으로 판단된다. 전남 신안군의 경우, 유채 발생지가 친환경 농업단지 내에 포함되어 있어 제초제 살포에 어려움이 있어 경운에만 의존한 결과 현재까지 지속적으로 유전자변형 유채가 발생하고 있는 상황이다. 따라서 유전자변형 유채의 제거에는 유채 발생지에 제초제 처리, 지속적 경운, 경합력 강한 타 식물 식재 등의 방제법을 종합적으로 이용할 때 효율적으로 관리될 수 있을 것으로 판단된다.

②. 재발생한 LM유채 처리 및 효율적 관리를 위한 저감기술 가이드라인

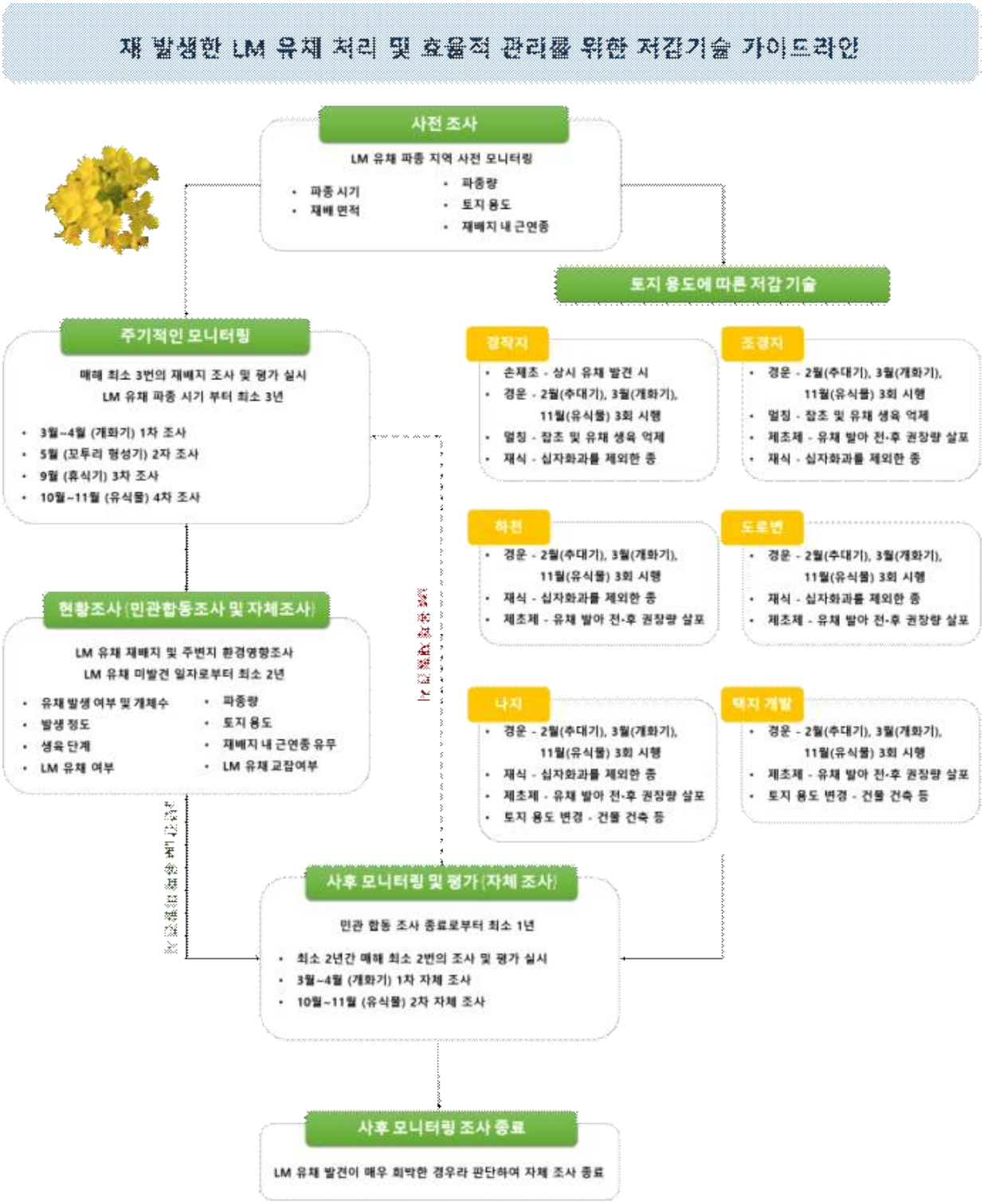


그림 24. 재발생한 LM유채 처리 및 효율적 관리를 위한 저감기술 가이드라인

3장. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

1절. 목표

1-1. 정성적 목표

- 우리나라 환경에서 LM유채의 생태계로의 유전자 이동성 평가에 대한 기초자료 확보
- LM유채의 발생, 확산, 저감, 방제, 재발생 등 정보 수집에 따른 대한 영향 방제 데이터 분석 자료 확보
- 선행 LM유채 환경위해성 관련 연구 자료 수집·분석을 통한 효율적 안전관리 방안 마련

1-2. 정량적 목표

- LM유채 발견지별 환경영향 분석 결과가 반영된 종합 보고서, 효율적 관리방안 및 방제기술 가이드라인(1건 이상)

1-3. 연구기반 지표

- 논문투고(비SCI 1편)
- 학술발표(국내 2건)
- 기타 : LM유채 발견지 환경영향 분석 종합 보고서, LM유채 효율적 관리방안 가이드라인 각1건

2절. 목표 달성여부

	당초목표		개발내용	달성도(%)
정성	미승인 LM유채 전국환경영향조사		미승인 LM유채 자체 환경영향 조사 2건, 민관합동 환경영향조사 2건 추진	100%
	LM유채의 생태계로의 유전자 이동성 평가		전국 환경영향 조사 및 학술자료 분석을 통한 유전자 이동성 조사 진행	100%
	LM유채 방제 데이터 분석 자료 확보		미승인 LM유채 자체 환경영향 조사 2건, 민관합동 환경영향조사 2건 추진 결과를 DB화 GPS 자료로 입력 및 분석 진행	100%
	LM유채 효율적 안전관리 방안 마련		비 의도적 방출 LM유채의 체계적 안전관리 및 방제기술 가이드라인 도출 재발생한 LM유채 처리 및 효율적인 관리를 위한 저감기술 가이드라인 도출	100%
정량	비SCI	1	1. 유전자변형 유채의 환경 모니터링과 안전관리 연구 (2020 한국잔디학회)	100%
	학술발표	2	1. 경기도, 충청도, 경상북도 지역 LM유채 환경영향 모니터링 및 효율적 안전관리 기술개발 (2020 한국환경생물학회 춘계학술대회) 2. 전북, 전남, 경남 지역 LM유채 환경영향 모니터링 및 효율적 안전관리 기술개발 (2020 한국환경생물학회 춘계학술대회)	100%
	종합보고서	1	미승인 LM유채 발견지별 환경영향 분석 결과 반영된 종합 보고서 작성	100%
	가이드라인	1	효율적 안전관리 및 방제기술 관리방안 가이드라인 작성	100%

3절. 목표 미달성 시 원인(사유) 및 차후대책(후속연구의 필요성 등)

- 해당사항 없음.

4. 연구결과의 활용 계획 등

1절. 연구개발 결과의 활용방안

○ 본 연구에서 LM유채 발생지 지도화 및 정보 수집을 통한 방제 데이터 축적.

○ LM유채 발생지 및 주변 환경 유전자 이동성 평가를 통해 LM유채 근연종으로의 유전자이동에 대한 안전관리 방안을 매뉴얼 화.

○ LM유채 발생지에 대한 물리·화학적 및 효율적 LM유채 처리 등 결과는 향후 논문투고 및 매뉴얼 화.

○ 선행된 LM유채 환경 유해성 연구자료를 수집하여 효율적인 안전관리 체계 마련.

○ 연구 결과를 기반으로 하여 민간단체 또는 영농인 대상 LM 유채 교육을 통한 LM0 투명성 증대 및 유채 생산성 향상.

2절. 기대성과 및 파급효과

1-1. 기술적 측면

- LM유채 발견지 및 주변 환경의 지속적인 모니터링을 통하여 미승인 LM유채를 효율적으로 사멸 및 모니터링 할 수 있는 기술 축적 및 기반 마련.
- LM유채 교잡종, 근연종 관련 자료를 수집함으로써 환경 영향 분석 기초정보를 수립.

1-2. 경제적·산업적 측면

- LM유채 발생지의 재발생 개체에 대한 안전 사후처리 방안 구축을 통해 농업 생태계보존 및 수입 작물 소비자 신뢰 증진.
- LM유채 발생지의 재발생 방지를 위한 지속적인 모니터링을 통해 안전한 먹거리 기반 확보.
- 유전자 이동성 조사 및 효율적 관리를 위한 저감기술을 개발함으로써 LM유채 제거비용 절감.
- 도출된 가이드라인을 통해 민간 영농인에게 교육을 수행할 경우 유채 생산성 향상 및 LM유채 제거 비용 절감에 기여.
- 본 과제의 결과를 기반으로 LM유채 교잡종 분석이 가능한 키트를 개발할 경우 상용화 가치가 매우 높을 것으로 기대.

붙임. 참고문헌

Agrisearch (2001), A Physical Survey of Representative Australian Roadside Vegetation to Evaluate the Incidence and Distribution of Canola and Key Brassicaceae Weeds, pp. 54.

Aono, M., et al. (2006), "Detection of Feral Transgenic Oilseed Rape with Multiple-herbicide Resistance", Japan Environ. Biosafety Res., 5, pp. 77-87.

Becker, H.C., Damgaard, C. and Karlsson, B. 1992. Environmental variation for outcrossing rate in rapeseed (Brassica napus). Theor. Appl. Genet. 84(3-4):303-306.

Beckie, H.J. and S.I. Warwick (2010), "Persistence of an Oilseed Rape Transgene in the Environment", Crop Prot., 29(5), pp. 509-512.

Brown, A.P., et al. (1996), "Gene Transfer between Canola (Brassica napus) and Related Weed Species", Proc. 8th Symposium on Environmental Releases of Biotechnology Products: Risk Assessment Methods and Research Progress, Ottawa, Canada.

Chiang, M.S. (1974), "Cabbage Pollen Germination and Longevity", Euphytica, 23, pp. 579-584.

Crawford, J.W., et al. (1999), "Modelling Spread of Herbicide Resistance in Oilseed Rape", in A.J. Gray, et al.(eds.), Enviromental Impact of Genetically Modified Crops, Research Report No. 10, DETR, London, pp. 97-106.

Crawley, M.J. and S.L. Brown (1995), "Seed Limitation and the Dynamics of Feral Oilseed Rape on the M25 Motorway", Proc. Roy. Soc. Lond., 259, pp. 49-54.

Crawley, M.J., et al. (1993), "Ecology of Transgenic Oilseed Rape in Natural Habitat", Nature, 363, pp. 620-623.

Cresswell, J.E. 1994. A method for quantifying the gene flow that results from a single bumblebee visit using transgenic oilseed rape, Brassica napus L. cv. Westar. Transgen. Res. 3(2):134-137.

Dietz-Pfeilstetter, A. and P. Zwerger (2004), "Dispersal of Herbicide Resistance Genes during the Large Scale Cultivation of Different Transgenic, Herbicide Resistant Oilseed Rape Varieties", J. Plant Diseases Protect, Sonderheft XIX, pp. 831-838.

Dietz-Pfeilstetter, A. and P. Zwerger (2009), "In-field Frequencies and Characteristics of Oilseed Rape with Double Herbicide Resistance", Environ. Biosafety Res., 8, pp. 100-111.

Downey, R.K. and J. Buth (2003), "Transgenic Rapeseed - Grower Adoption and Consumer Acceptance", Proc. 11th Rapeseed Congr., Copenhagen, pp. 1190-1194.

Gulden, R.H., Gordon, T.A. and Shirtliffe, S.J. 2004. Secondary dormancy, temperature and burial depth regulate seedbank dynamics in canola. Weed Sci. 52(3):382-388.

Hecht, M., Oehen, B., Schulze, J., Brodmann, P. and Bagutti, C. 2014. Detection of feral GT73 transgenic oilseed rape (Brassica napus) along railway lines on entry routes to oilseed factories in Switzerland. Environ. Sci. Pollut. Res. 21(2):1455-1465.

Hüsken, A. and A. Dietz-Pfeilstetter (2007), "Pollen-mediated Intraspecific Gene Flow from Herbicide Resistant Oilseed Rape (Brassica napus L.)", Transgenic Res., 16, pp. 557-569.

Ingram, J. (2000), "The Separation Distances Required to Ensure Cross-pollination is below Specified Limits in Non-seed Crops of Sugar Beet, Maize and Oilseed Rape", Plant Var. Seeds, 13, pp. 1981-1999.

Jenkins, T.E., et al. (2001), "Investigating Gene Introgression from Rape to Wild Turnip", New Zealand Plant Protection, 54, pp. 101-104.

Jørgensen, R.B., et al. (1998), "Introgression of Crop Genes from Oilseed Rape (Brassica napus) to Related Wild Species - an Avenue for the Escape of Engineered Genes", Acta Hort., 459, pp. 211-217.

Kim, Y.J., Nam, K.H., Pack, I.S., Park, J.H., Jeong, S.C., et al. 2014. Gene flow from GM cabbage to non-GM control. J. Agri. Sci. 41(3):157-161. (In Korean)

Knispel, A.L., et al. (2008), "Gene Flow and Multiple Herbicide Resistance in Escaped Canola Populations", Weed Science, 56, pp. 72-80.

Lee, B.K. 2017. A study on the establishment of isolation distances for environmental release of biotech crops. Korean J. Agric. Sci. 44(2):188-195. (In Korean)

Lee, B.K. and Sohn, S.I. 2019. Pollen-mediated gene flow from herbicide resistant oilseed rape (Brassica napus L.) to its relatives. Weed Turf. Sci. 8(2):99-107. (In Korean)

Lee, Y.H., Kim, K.S., Jang, Y.S., Cho, H.J., Bang, J.K., et. al. 2009b. Pollen-mediated gene flow from glufosinate resistant transgenic oilseed rape (Brassica napus L.) into its wild relatives. Kor. J. Intl. Agri. 21(3):193-198. (In Korean)

Lim, Y.H., Yook, M.J., Zhang, C.J., Nah, G.J., Park, S.H., et al. 2015. Dormancy associated weedy risk of the F1 hybrid resulted from gene flow from oilseed rape to mustard. Weed Turf. Sci. 4(1):35-43. (In Korean)

Liu, Y., Wei. W., Ma, K., Li, J. and Liang, Y. 2013. Consequences of gene flow between oilseed rape (Brassica napus) and its relatives. Plant Sci. 211:42-51.

Lutman, P.J.W., et al. (2005), "Persistence of Seeds from Crops of Conventional and Herbicide Tolerant Oilseed Rape (Brassica napus)", Proc. R. Soc. B., 272, pp. 1909-1915.

Masden, S.B. (1962), "Germination of Buried and Dry Stored Seed III. 1934-1960", Proc. Int. Seed Testing Assoc, 27, pp. 920-928.

Mesquida, J. and M. Renard (1982), "Study of the Pollen Dispersal by Wind and of the Importance of Wind Pollination in Rapeseed (Brassica napus var. oleifera Metzger)", Apidologie, 4, pp. 353-366, (English summary).

Morris, W.K., et al. (1994), "Do Barren Zones and Pollen Traps Reduce Gene Escape from Transgenic Crops?", Ecol. Appl., 4, pp. 157-165.

NICS (National Institute of Crop Science). 2018. Domestic canola varieties and cultivation techniques. RDA. Jeonnam. Korea. (In Korean)

OECD (Organization for Economic Cooperation and Development). 2012. Consensus document on the biology of the brassica crops (Brassica spp.). www.oecd/org. (Accessed Dec. 18, 2012)

Orson, J. (2002), "Gene Stacking in Herbicide Tolerant Oilseed Rape: Lessons from the North American Experience", English Nature Research Reports, No. 443, pp. 17.

Pascher, K.P., et al. (2006), "Feral Oilseed Rape - Investigations on its Potential for Hybridization", Final Report to the commission of the Federal Ministry of Health and Women, Austria, pp. 85.

Paul, E.M., et al. (1995), "Gene Dispersal from Genetically Modified Oilseed Rape in the Field", Euphytica, 81, pp. 283-289.

Pekrun, C., Lutman, P.J.W. and Baeumer, K. 1997. Induction of secondary dormancy in rape seeds (Brassica napus L.) by prolonged imbibitions of water stress or oxygen deficiency in darkness. European J. Agron. 6(3-4):245-255.

Pessel, F.D., et al. (2001), "Persistence of Oilseed Rape (Brassica napus L.) Outside of Cultivated Fields", Theor. Appl. Genet., 102, pp. 841-846.

Pivard, S., et al. (2008), "Where do the Feral Oilseed Rape Populations Come from? A Large Scale Study of their Possible Origin in a Farmland Area", J. Appl. Ecology, 45, pp. 476-485.

Price, J.S., et al. (1996), "Seed Losses in Commercial Harvesting of Oilseed Rape", J. Agric. Eng. Res., 65, pp. 183-191.

Price, J.S., Hobson, R.N., Neale, M.A. and Bruce, D.M. 1996. Seed losses in commercial harvesting of oilseed rape. J. Agric. Eng. Res. 65(3):183-191.

Rakow, G. and Woods, D.L. 1987. Outcrossing in rape and mustard under Saskatchewan prairie conditions. Can. J. Plant Sci. 67(1):147-151.

Ranito-Lehtimäki, A. (1995), "Aerobiology of Pollen and Pollen Antigens", in C.S. Cox and C.M. Wathes (eds.), Bioaerosols Handbook, CRC Lewis Press: Boca Raton, Florida, pp. 387-406.

Reboud, X. (2003), "Effect of Gap on Gene Flow between Otherwise Adjacent Transgenic Brassica napus Crops", Theor. Appl. Genet., 106, pp. 1048-1058.

Rieger, M.A., et al. (2002), "Pollen-mediated Movement of Herbicide Resistance between Commercial Canola Fields", Science, 296, pp. 2386-2388.

Saji, H., et al. (2005), "Monitoring the Escape of Transgenic Oilseed Rape around Japanese Ports and Roadsides", Environ. Biosafety Res., 4, pp. 217-222.

Salisbury, P. (2002), Genetically Modified Canola in Australia: Agronomic and Environmental Considerations, R.K. Downey (ed.), Australian Oilseeds Federation, pp. 69.

Schafer, M.G., Ross, A.A., Londo, J.P., Burdick, C.A., Lee, E.H., et al. 2011. The establishment of genetically engineered canola populations in the US. PLoS One. 6(10):e25736.

Scheffler, J.A., et al. (1993), "Frequency and Distance of Pollen Dispersal from Transgenic Oilseed Rape(Brassica napus)", Transgen. Res., 2, pp. 356-364.

Shin, S.Y., Jo, B.H., Moon, J.C., Lee, J.R., Choi, W.K., et al. 2016. Detection of LM canola with tolerance to glyphosate and glufosinate-ammonium via the Environmental monitoring in South Korea. J Plant Biotechnol. 43(4):479-485. (In Korean)

Staniland, B.K., et al. (2000), “Effectiveness of Border Areas in Confining the Spread of Transgenic Brassica napus Pollen” , Can. J. Pl. Sci., 80, pp. 521-526.

Sweet, J.B. and R. Shepperson (1998), “The Impact of Releases of Genetically Modified Tolerant Oilseed Rape in UK” , Acta Horticulturae, 459, pp. 225-234.

Szabo, T. 1985. Variability of flower, nectar, pollen and seed production in some Canadian canola varieties. Amer. Bee Jour. 125(5):351-354.

Thompson, C.E., et al. (1999), “Regional Patterns of Gene Flow and its Consequences for GM Oilseed Rape” , in P.J.W. Lutmann (ed.), Gene Flow and Agriculture: Relevance for Transgenic Crops, BCPC Symp. Proc., 72, pp. 95-100.

Timmons, A.M., Charters, Y.M., Crawford, J.W., Burn, D., Scott, S.E., et al. 1996. Risks from transgenic crops. Nature. 380:487.

Timmons, A.M., et al. (1995), “Assessing the Risks of Wind Pollination from Fields of Brassica napus subsp. oleifera” , Euphytica, 85, pp. 417-423.

Warwick, S.I. 2007. Gene flow between GM crops and related species in Canada: The first decade of herbicide resistant crops in Canada. Canadian Weed Science Soc., Saint-Anne-de Bellevue, QC, Canada.

Wilkinson, M.J., et al. (2000), “A Direct Regional Scale Estimate of Transgene Movement from Genetically Modified Oilseed Rape to its Wild Progenitors” , Mol. Ecol., 9, pp. 983-991.

Williams, I., et al. (1986), “The Pollination Requirements of Oil-seed Rape” , J. Agric. Sci., 106, pp. 27-30.

Williams, I., et al. (1987), “The Effect of Insect Pollination on Plant Development and Seed Production in Winter Oil-seed Rape (Brassica napus L.)” , J. Agric. Sci., 109, pp. 135-139.

Williamson, M.H. 1996. Biological invasions. Chapman and Hall, London, UK.

www.canolacouncil.org

Yoshimura, Y., et al. (2006), “Transgenic Oilseed Rape along Transportation Routes and Port of Vancouver in Western Canada” , Environ. Biosafety Res., 5, pp. 2-9.

Zhang, C.J., Yook, M.J., Park, H.R., Lim, S.H., Kim, J.W., et al. 2018a. Evaluation of maximum potential gene flow from herbicide resistant Brassica napus to its male sterile relatives under open and wind pollination conditions. Sci. Total Environ. 634:821-830..

Zhang, C.J., Yook, M.J., Park, H.R., Lim, S.H., Kim, J.W., et al. 2018b. Assessment of potential environmental risks of transgene flow in smallholder farming systems in Asia: Brassica napus as a case study in Korea. Sci. Total Environ. 640-641:688-695.

<별첨작성 양식>

[별첨 1]

연구개발보고서 초록

<table>
<tr><td rowspan="2">과 제 명</td><td colspan="6">(국문) 종자용 LMO 유채의 환경영향 저감을 위한 현장적용 기술개발</td></tr>
<tr><td colspan="6">(영문) Development of Field Application Technology to Reduce the Environmental Effects LM Canola for seed</td></tr>
<tr><td>주관연구기관</td><td colspan="2">서울여자대학교 산학협력단</td><td colspan="2">주 관 연 구 책 임 자</td><td colspan="2">(소속) 서울여자대학교 산학협력단</td></tr>
<tr><td>참 여 기 업</td><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td><td colspan="2">(성명) 이 훈 복</td></tr>
<tr><td rowspan="4">총연구개발비
(90,000천원)</td><td>계</td><td>90,000천원</td><td>총 연 구 기 간</td><td colspan="2">2019. 09. 20.~2020. 09. 19.(1년 0월)</td></tr>
<tr><td>정부출연
연구개발비</td><td>90,000천원</td><td rowspan="3">총 참 여
연 구 원 수</td><td>총 인 원</td><td>9</td></tr>
<tr><td>기업부담금</td><td></td><td>내부인원</td><td>9</td></tr>
<tr><td>연구기관부담금</td><td></td><td>외부인원</td><td></td></tr>
</table>

○ 연구개발 목표 및 성과

< 연구 목표 >

- 종자용 LM유채의 환경영향 저감을 위한 현장적용 기술 개발
- LM유채가 비의도적으로 환경방출 되어 집중관리가 필요한 지역의 발생밀도, 빈도, 생육단계 및 분포 현황조사 및 유채 근연종으로의 유전자 이동성 조사를 통한 효과적 방제 및 조치방안 마련.
- 재발생 LM유채 처리 및 효율적 관리를 위한 저감기술 개발
- 환경방출 LM유채의 효율적 안전관리 및 방제기술 가이드라인 도출

< 연구 성과 >

- 비SCI급(1편), 학술발표(2건), LM유채 발견지별 환경영향 분석 결과가 반영된 종합 보고서(1건), 효율적 안전관리 및 방제기술 가이드라인(1건)

○ 연구내용 및 결과

- LM유채 발견지 환경방출 모니터링
  - ▪ 대상 권역 : 경기권, 충청권, 경상권, 전라권
  - ▪ 발견지 주변 지리적 특성 및 위치 조사
  - ▪ 발견지별 LM유채 재 발생 현황 조사 및 LMO 검정 분석
  - ▪ 발견지별 주변 환경 동종/근연종 작물 재배·주변 식생 및 토양환경 조사
- 재발생 LM유채 처리 및 효율적 관리를 위한 저감기술 개발 및 현장적용 가이드라인 도출
  - ▪ LM유채 유전자 이동성에 대한 학술논문 및 연구자료 분석
  - ▪ LMO 발견지의 관리 유형에 따른 재발생 빈도 조사 분석
  - ▪ LM유채 발생지의 환경적 특성을 분석하여 지역 관리 방안 도출을 통한 저감기술 개발
  - ▪ 재발생 LM유채를 제거할 수 있는 최적의 현장적용 관리방안 가이드라인 개발
  - ▪ 도출된 가이드라인 교육 홍보 프로그램 개발 및 배포

○ 연구성과 활용실적 및 계획

< 연구성과 활용실적 >

- 비SCI급(1편) : 1. 유전자변형 유채의 환경 모니터링과 안전관리 연구 (2020 한국잔디학회)
- 학술발표(2건) : 1. 경기도, 충청도, 경상북도 지역 LM유채 환경영향 모니터링 및 효율적 안전관리 기술개발 (2020 한국환경생물학회 춘계학술대회), 2. 전북, 전남, 경남 지역 LM유채 환경영향 모니터링 및 효율적 안전관리 기술개발 (2020 한국환경생물학회 춘계학술대회)
- LM유채 발견지별 환경영향 분석 결과가 반영된 종합 보고서(1건)
- 안전관리 및 효율적 관리방안 가이드라인(1건)

< 계획 >

- 본 연구를 통해 LM유채 발견지의 유전자이동성 예측이 가능할 것으로 기대
- 본 연구에서 제시할 매뉴얼은 LM유채로부터 생태계 위해성에 대한 안전관리 방안 마련 및 종합관리체계 수립을 위한 기초 자료로 활용될 것으로 기대

[별첨 2]

자체평가의견서

1. 과제현황

		과제번호		319105-1	
사업구분	지정공모				
연구분야	농림식품 환경생태			과제구분	단위
사 업 명	농생명산업기술개발사업				주관
총괄과제	기재하지 않음			총괄책임자	기재하지 않음
과 제 명	종자용 LMO 유채의 환경영향 저감을 위한 현장적용 기술개발			과제유형	기초
연구기관	서울여자대학교 산학협력단			연구책임자	이훈복
연구기간 연 구 비 (천원)	연차	기간	정부	민간	계
	1차연도	2019.09.20. ~ 2020.09.19.	90,000		90,000
	2차연도				
	3차연도				
	4차연도				
	5차연도				
	계		90,000		90,000
참여기업					
상 대 국		상대국연구기관			

※ 총 연구기간이 5차연도 이상인 경우 셀을 추가하여 작성 요망

2. 평가일 : 2020. 09. 19

3. 평가자(연구책임자) :

소속	직위	성명
서울여자대학교 산학협력단	부교수	이훈복

4. 평가자(연구책임자) 확인 :

본인은 평가대상 과제에 대한 연구결과에 대하여 객관적으로 기술하였으며, 공정하게 평가하였음을 확약하며, 본 자료가 전문가 및 전문기관 평가 시에 기초자료로 활용되기를 바랍니다.

확 약	

Ⅰ. 연구개발실적

※ 다음 각 평가항목에 따라 자체평가한 등급 및 실적을 간략하게 기술(200자 이내)

1. 연구개발결과의 우수성/창의성

■ 등급 : (아주우수)

○ 본 연구는 아직 비 의도적 방출된 양성 LM유채가 발견되는 개소를 주기적으로 모니터링하여 LM유채 발견지 및 주변지 환경영향조사를 통한 LM유채 정보 수집 및 LM유채 양성 분석 및 폐기처리를 중점으로 하여 진행되었음 ○ 1년간의 2회의 유관기관 민관합동 환경영향조사와 2회의 자체 환경영향조사가 추진되었으며 그 결과 미승인 LM유채 발견지 총 33개소 중 33개소가 모두 일반관리지역으로 전환되었음. ○ 본 연구의 결과로 33개소 중 16개소가 민관합동조사 리스트에서 제외되는 성과를 얻었음.

2. 연구개발결과의 파급효과

■ 등급 : (아주우수)

○ LM유채 발견지 및 주변 환경의 지속적인 모니터링을 통하여 미승인 LM유채를 효율적으로 사멸 및 모니터링 할 수 있는 기술 축적 및 기반 마련하였음. ○ 실제 LM유채 발견지 및 주변지의 환경영향조사 결과의 장기간 축적된 데이터를 분석하여 환경 영향 분석 기초정보를 수립하였음. ○ LM유채의 근연종으로의 유전자 이동성 조사 및 효율적 관리를 위한 저감기술을 개발함으로써 LM유채 제거비용 절감할 수 있을 것으로 기대됨.

3. 연구개발결과에 대한 활용가능성

■ 등급 : (아주우수)

○ 본 과제를 통해 LM유채 발견지 및 주변지 환경영향조사 결과를 분석하여 재발생 LM유채 처리 및 효율적 관리를 위한 저감기술을 도출하였으며, 이로써 비 의도적 환경방출 LM유채의 효율적 안전관리 및 방제기술 가이드라인 도출 하였음. ○ 본 연구에서 제시된 가이드라인은 비 의도적으로 방출된 LM유채로부터 생태계 위해성에 대한 안전관리 방안 마련 및 종합관리체계 수립을 위한 기초 자료로 활용될 것으로 기대됨

4. 연구개발 수행노력의 성실도

■ 등급 : (아주우수)

○ 1년간의 2회의 유관기관 민관합동 환경영향조사(서울여자대학교, 전주대학교, 농식품부, 농림축산검역본부, 국립종자원, 국립농업과학원, 유관기관, 지자체, 시민단체 참여)와 2회의 자체 환경영향조사(서울여자대학교, 전주대학교 참여)가 추진되었음 ○ 미승인 LM유채 발견지 총 33개소 중 33개소가 모두 일반관리지역으로 전환되었음 ○ 본 연구의 결과로 33개소 중 16개소가 민관합동조사 리스트에서 제외되는 성과를 얻었음. ○ 본 과제를 수행하며 유관기관, 지자체, 시민단체 등 많은 기관에서 참여하여 LMO의 사후관리가 안전하게 진행되고 있으며 투명하게 관리가 되고 있음을 안내하였음. ○ 본 과제를 수행하며 대학에서의 자체조사 수행, 유관기관, 지자체, 시민단체 참여 민관합동조사 일정 수립 및 조율, 민관합동조사 수행, 민관합동 결과 협의회 개최, 유관기관 및 시민단체에 민관합동조사 결과 발송, LM유채 효율적 관리방안 가이드라인개발 등 과제를 충실히 이행하였음.

5. 공개발표된 연구개발성과(논문, 지적소유권, 발표회 개최 등)

■ 등급 : (아주우수)

○ 비SCI급(1편) : 1. 유전자변형 유채의 환경 모니터링과 안전관리 연구 (2020 한국잔디학회) ○ 학술발표(2건) : 1. 경기도, 충청도, 경상북도 지역 LM유채 환경영향 모니터링 및 효율적 안전관리 기술개발 (2020 한국환경생물학회 춘계학술대회) 2. 전북, 전남, 경남 지역 LM유채 환경영향 모니터링 및 효율적 안전관리 기술개발 (2020 한국환경생물학회 춘계학술대회) ○ LM유채 발견지별 환경영향 분석 결과가 반영된 종합 보고서(1건) ○ 안전관리 및 효율적 관리방안 가이드라인(1건)

Ⅱ. 연구목표 달성도

세부연구목표 (연구계획서상의 목표)	비중 (%)	달성도 (%)	자체평가
LM유채 발견지 및 주변지 환경영향조사	20	100%	미승인 LM유채 자체 환경영향 조사 2건, 민관합동 환경영향조사 2건 추진
LM유채 발견지 및 주변지 환경영향 분석	5	100%	미승인 LM유채 발견지 및 주변지의 발생밀도, 빈도, 생육단계 및 분포현황 분석
LM유채 동종, 근연종 발생밀도 및 주변 동종 근연종 조사	5	100%	미승인 LM유채 발견지 및 주변지의 동종 근연종의 개체수 및 빈도 분석
LM유채 정보 수집 및 LM유채 양성 분석 및 폐기처리	5	100%	미승인 LM유채 의심 개체의 단백질면역테스트 실시 및 양성개체 폐기처리
LM유채 발견지 GPS 자료 입력 및 분석	5	100%	LM유채 발견지 및 주변지 환경영향조사 데이터 GPS입력 및 분석
비 SCI 논문투고 1건	10	100%	1. 유전자변형 유채의 환경 모니터링과 안전관리 연구 (2020 한국잔디학회)
학술발표 2건	10	100%	1. 경기도, 충청도, 경상북도 지역 LM유채 환경영향 모니터링 및 효율적 안전관리 기술개발 (2020 한국환경생물학회 춘계학술대회) 2. 전북, 전남, 경남 지역 LM유채 환경영향 모니터링 및 효율적 안전관리 기술개발 (2020 한국환경생물학회 춘계학술대회)
LM유채 발견지 환경영향 분석 종합 보고서 작성	20	100%	미승인 LM유채 발견지별 환경영향 분석 결과 반영된 종합 보고서 작성
LM유채 효율적 관리방안 가이드라인개발	20	100%	미승인 LM유채 효율적 관리방안 가이드라인 작성
합계	100점	100%	

Ⅲ. 종합의견

1. 연구개발결과에 대한 종합의견

○ 본 연구과제는 2017년 5월 태백 문곡소도동 유채꽃 축제지에서 미승인 LM유채가 발견된 이후로 LMO의 비의도적 환경방출에 따른 환경 영향조사를 위해 추진된 과제로써, 2년여간 농업생명산업기술개발사업으로 발견지 및 주변 환경 영향 조사를 실시하여 LMO 유채 발견지를 감소해 나갔으나, 33개소의 추가 조사가 필요하여 1년여간의 기간을 추가로 연장하여 조사가 진행되었음.

○ 1년간의 2회의 유관기관 민관합동 환경영향조사(서울여자대학교, 전주대학교, 농식품부, 농림축산검역본부, 국립종자원, 국립농업과학원, 유관기관, 지자체, 시민단체 참여)와 2회의 자체 환경영향조사(서울여자대학교, 전주대학교 참여)가 추진되었으며 그 결과 미승인 LM 유채 발견지 총 33개소 중 33개소가 모두 일반관리지역으로 전환되었음.

○ 본 과제를 통해 미승인 LM유채의 효율적 관리 방안 구축이 가능할 것으로 기대되며, 본 연구에서 제시된 가이드라인은 LM유채로부터 생태계 위해성에 대한 안전관리 방안 마련 및 종합관리체계 수립을 위한 기초 자료로 활용될 것으로 기대됨

○ 본 과제를 수행하며 유관기관, 지자체, 시민단체 등 많은 기관에서 참여하여 LMO의 사후관리가 안전하게 진행되고 있으며 투명하게 관리가 되고 있음을 안내하였음.

○ 본 연구의 결과로 33개소 중 16개소가 민관합동조사 리스트에서 제외되었으며 대부분의 발견지에서 유채 발견 비율이 감소하고 있으나 유채의 생육 특성상 월동의 가능성이 있어 남은 17개소는 지속적으로 관심을 집중해야 할 것으로 보이며 추가 조사가 필수적으로 시행되어야 할 것으로 보임

2. 평가시 고려할 사항 또는 요구사항

○ 본 과제는 2년여간 농업생명산업기술개발사업의 연장선으로 시작이 된 과제였습니다. 이에 본 연구는 아직 비 의도적 방출된 양성 LM유채가 발견되는 개소를 주기적으로 모니터링하여 LM유채 발견지 및 주변지 환경영향조사를 통한 LM유채 정보 수집 및 LM유채 양성 분석 및 폐기처리를 중점으로 하여 진행되었습니다.

○ 본 과제를 수행하며 대학에서의 자체조사 수행, 유관기관, 지자체, 시민단체 참여 민관합동조사 일정 수립 및 조율, 민관합동조사 수행, 민관합동 결과 협의회 개최, 유관기관 및 시민단체에 민관합동조사 결과 발송, LM유채 효율적 관리방안 가이드라인개발 등 1년의 시간 동안 본 연구진들은 바쁘게 움직이며 과제를 최선을 다하여 수행하였습니다.

○ 코로나 19가 창궐하는 어려운 상황 속에서도 LM유채 모니터링을 위해 방역당국의 지침을 준수하며 안전하게 조사를 진행하였습니다. 해당 지침을 준수하기 위하여 조사 인원수 제한하였으며, 사회적 거리두기 1단계 시기에 조사를 진행하며 조사 일정 변경 등 세심한 노력을 기울였으며, 민관합동 조사 사전 회의를 비대면 화상회의로 진행하였습니다.

○ 평가위원 분들께서도 본 과제의 특성을 이해해 주시기를 부탁드리며, 연구 진행 과정에 대해서 주의 깊게 봐주셨으면 좋겠습니다.

3. 연구결과의 활용방안 및 향후조치에 대한 의견

○ 본 연구에서 제시된 가이드라인은 비 의도적으로 방출된 LM유채로부터 생태계 위해성에 대한 안전관리 방안 마련 및 종합관리체계 수립을 위한 기초 자료로 활용될 것으로 기대됨

Ⅳ. 보안성 검토

o 해당사항 없음.

1. 연구책임자의 의견

o 해당사항 없음.

2. 연구기관 자체의 검토결과

o 해당사항 없음.

[별첨 3]

연구성과 활용계획서

1. 연구과제 개요

사업추진형태	□자유응모과제 ■지정공모과제	분 야	농생명산업기술개발사업
연 구 과 제 명	종자용 LMO 유채의 환경영향 저감을 위한 현장적용 기술개발		
주관연구기관	서울여자대학교 산학협력단	주관연구책임자	이훈복
연 구 개 발 비	정부출연 연구개발비	기업부담금	연구기관부담금	총연구개발비
	90,000 천원			90,000 천원
연구개발기간	2019. 9. 20 - 2020. 9. 19		
주요활용유형	□산업체이전 ■교육 및 지도 □정책자료 ■기타(논문, 학술발표, 종합보고서, 가이드라인) □미활용 (사유:)		

2. 연구목표 대비 결과

당초목표	당초연구목표 대비 연구결과
① LM유채가 비의도적으로 환경방출 되어 집중관리가 필요한 지역의 발생밀도, 빈도, 생육단계 및 분포현황조사 및 유채 근연종으로의 유전자 이동성 조사를 통한 효과적 방제 및 조치방안 마련.	미승인 LM유채 자체 환경영향 조사 2건, 민관합동 환경영향조사 2건 추진
② 재발생 LM유채 처리 및 효율적 관리를 위한 저감기술 개발	재발생한 미승인 LM유채 효율적 관리방안 가이드라인 작성
③ 환경방출 LM유채의 효율적 안전관리 및 방제기술 가이드라인 도출	비 의도적으로 방출된 미승인 LM유채 효율적 관리방안 가이드라인 작성

* 결과에 대한 의견 첨부 가능

3. 연구목표 대비 성과

성과목표	사업화지표											연구기반지표								
	지식재산권			기술실시(이전)		사업화					기술인증	학술성과				교육지도	인력양성	정책활용·홍보		기타(타연구활용)
												논문		논문평균	학술발표					
	특허출원	특허등록	품종등록	건수	기술료	제품화	매출액	수출액	고용창출	투자유치		SCI	비SCI					정책활용	홍보전시	

														IF						등)
단위	건	건	건	건	백만원	백만원	백만원	백만원	명	백만원	건	건	건		건		명	건	건	
가중치															40					60
최종목표													1		2					2
연구기간내 달성실적													1		2					2
달성율(%)													100		100					100

4. 핵심기술

구분	핵 심 기 술 명
①	재발생한 LM유채 처리 및 효율적 관리를 위한 저감기술
②	비 의도적 방출 LM유채의 체계적 안전관리 및 방제기술
③	

5. 연구결과별 기술적 수준

구분	핵심기술 수준					기술의 활용유형(복수표기 가능)				
	세계 최초	국내 최초	외국기술 복 제	외국기술 소화·흡수	외국기술 개선·개량	특허 출원	산업체이전 (상품화)	현장애로 해 결	정책 자료	기타
①의 기술	V									
②의 기술	V									
③의 기술	V									

* 각 해당란에 v 표시

6. 각 연구결과별 구체적 활용계획

핵심기술명	핵심기술별 연구결과활용계획 및 기대효과
①의 기술	재발생한 LM유채 처리 및 효율적 관리를 위한 저감기술 가이드라인으로 활용
②의 기술	비 의도적 방출 LM유채의 체계적 안전관리 및 방제기술 가이드라인으로 활용
③의 기술	

7. 연구종료 후 성과창출 계획

- 해당사항 없음

8. 연구결과의 기술이전조건(산업체이전 및 상품화연구결과에 한함)

- 해당사항 없음

주 의

1. 이 보고서는 농림축산식품부에서 시행한 농생명산업기술개발사업의 연구보고서입니다.

2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 농림축산식품부에서 시행한 농생명산업기술개발사업의 연구 결과임을 밝혀야 합니다.

3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안됩니다.