

발 간 등 록 번 호

11-1543000-002077-01

# 종자용 미승인 LMO 유채 환경방출 영향분석 및 관리방안 연구 최종보고서

2018. 1.

주관연구기관 / 서울대학교 산학협력단

농림축산식품부



# 제 출 문

## 농림축산식품부 장관 귀하

본 보고서를 ‘종자용 미승인 LMO 유채 환경방출 영향분석 및 관리방안 연구’ 정책용역과제의 결과보고서로 제출합니다.

2018. 1.

연구기관명 서울대학교

연구책임자 김도순

연구원  
임수현  
육민정  
박연호  
유혜진  
김희주



---

# 차 례

---

차례 .....	i
표 차례 .....	iii
그림 차례 .....	iv
<b>I. 서론 .....</b>	<b>1</b>
1. 연구배경 및 필요성 .....	3
2. 연구목표 .....	7
<b>II. 연구내용 및 방법 .....</b>	<b>8</b>
1. 과업의 범위 .....	8
2. 연구 추진체계 및 연구진 구성 .....	8
가. 연구 추진체계 .....	8
나. 연구진 구성 세부내용 .....	9
3. 조사 및 분석방법 .....	10
가. LM유채 환경방출 관련 문헌 및 자료 조사 .....	10
나. LM유채 사고지역 농업환경 및 정부초기대응 분석 .....	10
다. LM유채 국내외 유통·보급 경로 파악 및 문제점 분석 .....	12
라. LMO 안전관리 정부 대응체계에 대한 개선점 및 관리방안 제안 .....	12
<b>III. 연구 수행 결과 .....</b>	<b>13</b>
1. LM유채 환경방출 관련 문헌 및 자료 조사 .....	13
가. LM유채 수입·재배 승인 현황 .....	13
나. LM유채 환경방출 연구사례 조사 .....	17
다. LMO 환경방출 해외사례 조사 .....	35

2. LM유채 환경방출 사고지역의 농업환경 및 정부대응 분석 .....	41
가. LM유채 환경방출 사고지역의 농업환경 분석 .....	41
나. LM유채 환경방출 후 정부대응 분석 .....	47
다. LM유채 환경방출 사고지역 방문조사 .....	51
라. LM유채 환경방출 사고지역의 위해도 분석 .....	55
3. LM유채 국내외 유통·보급경로 파악 및 문제점 분석 .....	65
가. 국내 유통경로 파악 및 문제점 분석 .....	65
나. 수출국 현지 방문 조사 .....	66
4. 국내 LMO 관련 법령 검토 및 제도적 문제점 분석 .....	68
가. 국내 LMO 관련 법령 및 제도 .....	68
나. 농업용 LMO 유통단계별 법령 검토 및 제도적 문제점 분석 .....	71
<b>IV. LM유채 환경방출 사고에 대한 정부대응체계 개선점 및 사고지역 관리방안</b> .....	<b>76</b>
1. LM유채 환경방출 사고에 대한 정부대응체계 개선점 .....	76
가. LM유채의 수입, 검역, 유통 및 환경방출 단계별 제도적 개선점 .....	76
나. LM유채 환경방출 사고 이후 대응체계상 개선점 .....	78
2. LM유채 환경방출 사고지역 후속 관리방안 .....	79
가. LM유채 환경방출 지역의 사후관리 방안: 단기적 관리방안(2018년) ..	79
나. LM유채 환경방출 지역의 사후관리 방안: 장기적 관리방안 .....	81
<b>참고문헌</b> .....	<b>85</b>

## 표 차 례

표 2-1. 권역별 LM유채 환경위해성 .....	11
표 2-2. 종자용 미승인 LM유채 환경방출지 98개소 현황 .....	11
표 3-1. LM유채 GT73 이벤트 수입/재배 승인 국가 및 승인연도 .....	14
표 3-2. 국내 승인 LM유채 이벤트 .....	16
표 3-3. LM유채 재배수출국의 LM유채로부터 non-LM유채로의 유전자 이동성 평가 연구사례 .....	21
표 3-4. LM유채 비재배국의 LM유채로부터 non-LM유채로의 유전자 이동성 평가 연구사례 .....	24
표 3-5. LM유채와 교잡 가능한 식물종 .....	27
표 3-6. LM유채 환경방출 사고지역 및 파종·재식 종합 현황(국립종자원) .....	43
표 3-7. LM유채 환경방출 사고지역 농업환경분석(국립종자원) .....	45
표 3-8. LM유채 환경방출 사고지역 지역별 분포 현황 .....	47
표 3-9. LM유채 환경방출 사고지역 정부대응현황 종합(국립종자원) .....	49
표 3-10. LM유채 환경방출 사고지역(44개소) 현장방문 조사 결과 .....	52
표 3-11. LM유채 양성 검출 지역 .....	54
표 3-12. LM유채 환경방출 사고지역 유전자 이동 위해성 분석 .....	57
표 3-13. LM유채 환경방출 사고지역 잡초화 위해성 분석 .....	59
표 3-14. LM유채 환경방출지별 위해도 구분 및 기준 .....	61
표 3-15. LM유채 환경방출 사고지별 환경위해도 .....	63
표 3-16. 국내 LMO 관련 행정규칙 .....	70
표 4-1. 위해도에 따른 LM유채 환경방출사고지역 사후관리 방안(제안) .....	84

## 그 립 차 례

그림 1-1. LM작물의 전 생애주기 및 재배 중 환경방출 가능 경로 .....	4
그림 1-2. 국내 비의도적 유출 LM작물의 전국 분포 현황(2009-2012년) .....	5
그림 1-3. GM작물(벼, 옥수수, 유채 및 콩)의 연도별 오염 사고 발생 수 .....	5
그림 2-1. LM유채 환경방출 영향분석 및 관리방안 연구 추진체계 .....	9
그림 3-1. LM유채의 시공간적 확산 가능 경로 .....	17
그림 3-2. LM유채의 생애전주기적 평가(Life cycle assessment) .....	18
그림 3-3. LM유채로부터 일반 유채로의 유전자 이동율(LM유채 재배국) .....	20
그림 3-4. LM유채로부터 일반 유채로의 유전자 이동율(LM유채 비재배국) .....	22
그림 3-5. 배추속의 종간 유연관계(U' s triangle) .....	26
그림 3-6. 월하 및 월동 조건에 따른 유채, 갓, 교잡후대의 종자수명 .....	31
그림 3-7. LM유채 환경방출 사고지역 특성에 따른 구분 .....	42
그림 3-8. LM유채 환경방출 사고지역 관리 현황 .....	48
그림 3-9. 현장방문조사 지역 .....	52
그림 3-10. 유채발생 확인지역의 유채 발생 정도 .....	52
그림 3-11. 방문지 채집한 유채의 LM여부 간이 진단 결과 (국내) .....	54
그림 3-12. LM유채 방출지의 권역별 특성과 위해도 .....	55
그림 3-13. LM유채 환경방출 사고지역 위해성 정도 .....	62
그림 3-14. 종자용 미승인 LM유채 수입업체별 공급 개소 .....	65
그림 3-15. 강소성 유채 재배지 방문 지역 .....	66
그림 3-16. 방문지 채집한 유채의 LM여부 간이 진단 결과 (중국) .....	67
그림 3-17. LMO 용도별 소관 부처 .....	68
그림 3-18. 농림축산업용 LMO 안전관리 관련 조직도 및 소관업무 .....	71
그림 3-19. 농업용 LMO 유통단계별 국내 안전관리체계 .....	72
그림 4-1. 미승인 LMO불법유입 차단을 위한 단계별 제도적 개선점 .....	78



# I. 서 론

ISAAA의 보고에 따르면 1996년 유전자변형작물이 최초로 상업화 된 이후 전 세계적으로 LM작물의 재배 면적은 꾸준히 증가하여 2016년에는 1억 8,510만 ha에 달하였고, LM유채의 경우 재배 면적은 860만 ha로 전 세계 유채 총 재배 면적의 24%에 달하며 캐나다, 미국, 호주 및 칠레에서 생산되고 있다. 같은 해 LM작물의 종자 시장 규모는 약 158억 달러로 전 세계 상업 종자 시장의 35% 가량을 차지하는 것으로 추정된다(ISAAA, 2016). 이와 같이 전 세계적으로 LM작물의 재배 및 수출입 규모가 증가함에 따라 환경 방출에 대한 우려가 커지고 있으며 실제 LM작물의 환경 방출 사고 역시 꾸준히 발생하고 있다(Price & Cotter, 2014).

2017년 5월 15일 강원 태백에서 종자용 미승인 LM유채의 환경방출이 보고된 이후 전국적인 환경방출 사고가 발생하였다. 지금까지 국내에서는 인천항만 주변 및 사료가공 공장 주변 등 6개 지역에서 비의도적으로 유출된 사료용 LM유채의 발견이 보고된 바 있으나(신 등, 2016), 이번 사고와 같이 종자용으로 수입된 유채 종자에 LM유채가 혼입되어 전국적으로 유통·재배된 사례는 전무하다. 종자용 미승인 LM유채의 환경방출이 확인된 직후 농림축산식품부 주관으로 안전관리 대책팀을 구성·운영하여 전국의 미승인 LM유채 재배지를 조사한 결과 전국적으로 98개소에 달하는 지역에서 환경방출 사고가 발생한 것으로 파악되었으며, 이에 따라 정부에서는 지속적으로 사고 지역 유채의 폐기조치를 수행하고 있다. 한국의 농업생태계에는 유채뿐만 아니라 갯, 배추, 무 등과 같은 유채의 근연종들이 다양하게 재배되고 있어 LM유채로부터 유전자가 이동될 경우 농업생태계는 물론 자연환경에 미칠 영향은 클 것으로 우려되고 있으며, LM유채의 비의도적 방출에 의한 환경영향을 최소화하기 위해서는 적극적인 초동 대처 및 관리가 매우 중요하다. 특히 이번 LM유채 환경방출 사고가 전국의 여러 지역에서 발생하였기에 각 지역의 특성을 고려한 사후관리방안 마련이 필수적이다.

따라서 본 용역과제를 통해 종자용 미승인 LM유채의 비의도적 환경방출 사고가 발생한 시점에서 지역적 특성을 고려한 LM유채의 환경방출영향을 분석하고, 본 사고사례에 대한 정부의 대응체계를 검토하여 개선점 발굴 및 LMO 작물 환경방출에 대한 국가차원의 대응전략 마련에 기여하고자 한다.

## 1. 연구배경 및 필요성

- 2017년 5월 15일 국내 처음으로 강원 태백에서 종자용으로 미승인된 LMO 유채 발견 이후 농식품부 내에 안전관리 대책팀을 구성하여 전국 재배지 조사를 수행하여 LMO 유채가 확인된 재배지(98개소, 642ha) 및 보관 중이던 종자(16.5톤)에 대해 폐기조치 완료하였음
- LM유채(*Brassica napus*)가 재래종 유채뿐만 아니라 근연종인 갓(*B. juncea*), 배추(*B. rapa*), 무(*Raphanus raphanistrum*) 등과 종속 간 교배가 가능하다는 보고가 있음(Warwick 등, 2003). 국내에는 유채와 같은 배추과에 속하는 근연종 18속 58종이 국내에 분포하고 있어 종간 및 속간 유전자 이동이 발생할 우려가 있음
- 국내에서 학문적으로 LM작물로부터 유전자이동에 대한 본격적인 논의는 2000년대 초이며, 이때 최초로 LM작물로부터 유전자이동의 위해성과 평가방법에 대한 고찰을 실시하였음(Kwon et al., 2001a; Kwon et al., 2001b)
- LM작물의 재배·이용 시 비의도적 환경방출은 화분(pollen) 또는 종자(seed)의 형태로 이루어지며 다양한 경로를 통해 발생할 수 있음(그림 1-1).
- 화분 형태의 환경방출은 재배 시 LM작물의 도입유전자를 포함하고 있는 화분이 바람 또는 수분 매개충을 통하여 주변의 재배종/야생종 등과 교잡되는 방식으로 발생함. 종자 형태의 환경방출은 더 다양한 경로가 가능한데, 종자의 운반 중 방출되거나 재배 시 토양 중으로 방출되어 휴면 상태를 유지할 수 있음

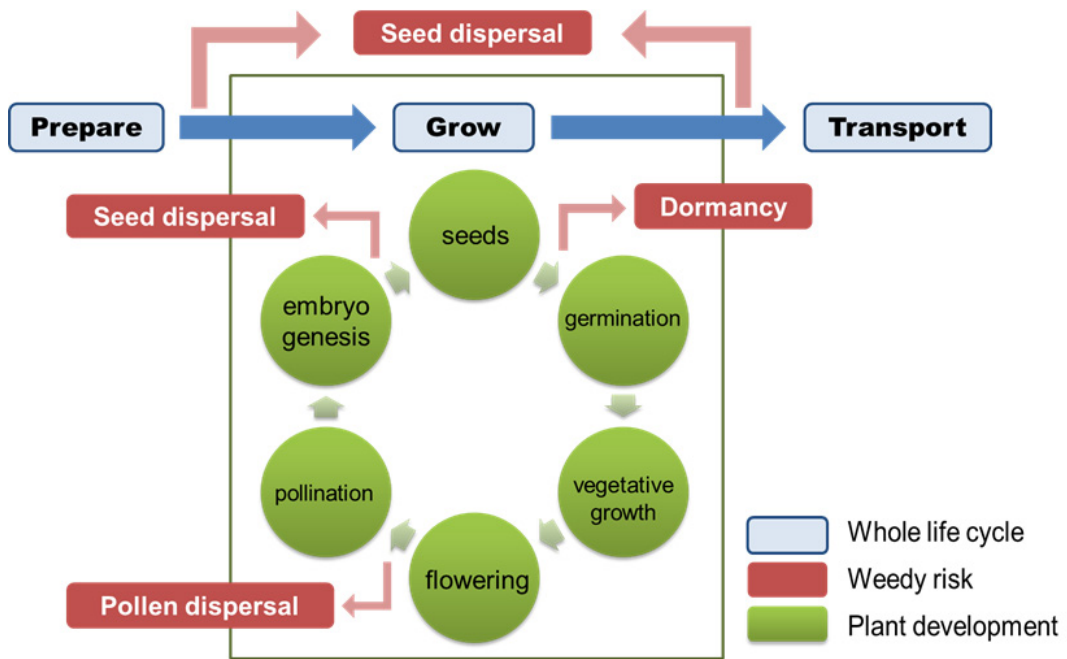


그림 1-1. LM작물의 전 생애주기 및 재배 중 환경방출 가능 경로

- 국내에서 LM유채가 재식된 격리포장 주변 식생 모니터링 결과 반경 670m에서 1.3km 이내에 자생 또는 재배되고 있는 유채와 갯이 발견되었으나 LM유채로부터의 유전자이동이 발생하지 않은 것으로 확인됨(김 등, 2012)
- 환경부에서 2009년부터 2013년까지 LM유채의 비의도적 환경 방출을 모니터링한 결과 항만, 사료가공 공장, 축산 농가 주변 및 축제지 등 6개 지역에서 비의도적으로 유출된 LM유채(GT73 및 Topas 19-2)의 발견이 보고됨(신 등, 2016; 그림 1-2)

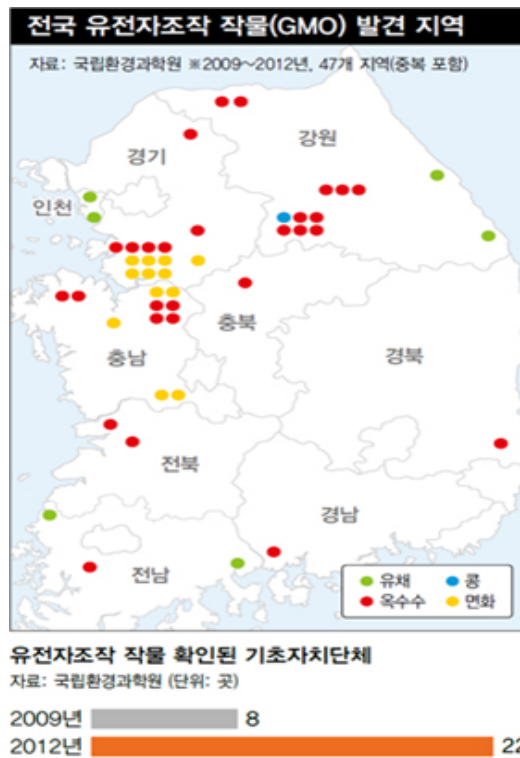


그림 1-2. 국내 비의도적 유출 LM작물의 전국 분포 현황(2009-2012년)

- 국제 환경보호단체인 그린피스(Greenpeace)의 조사에 따르면 2013년 기준 LM작물의 환경방출 사고가 63개국에서 396건 발생하였으며, 이 중 LM유채의 환경방출 사고 건수는 40건으로 전체 사고의 약 10%에 해당됨(Price & Cotter, 2014; 그림 1-3)

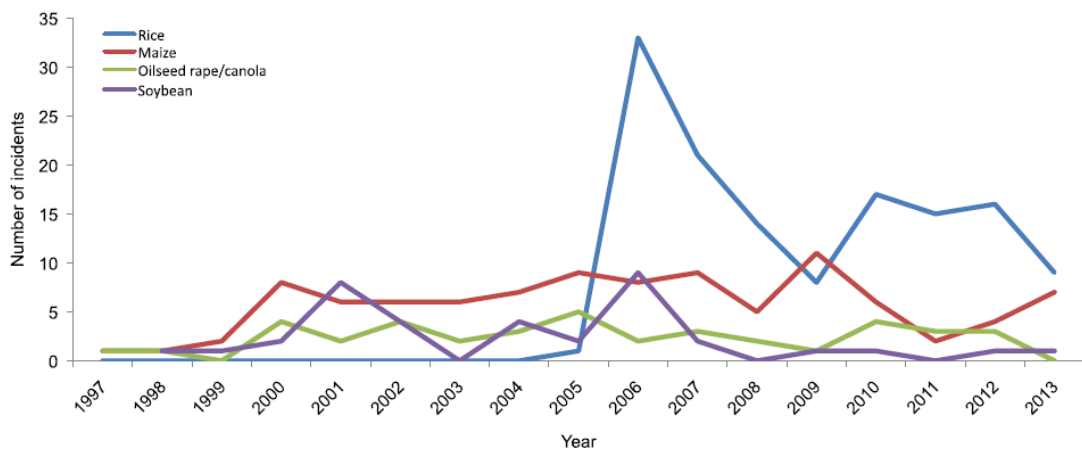


그림 1-3. GM작물(벼, 옥수수, 유채 및 콩)의 연도별 오염 사고 발생 수

- LM유채의 최대 잠재 유전자이동을 예측하기 위해 옹성불임 화분수용체(유채, 갓, 무) 사용, 개화기 조절을 통한 중첩 기간 최대화, 인위적으로 벌 밀도가 높은 조건을 조성하여 연구를 수행한 결과, 옹성불인 유채, 갓, 무 모두 최장 실험거리인 128m까지 유전자 이동이 발생한 것이 확인됨(김 등, 2013; 김 등, 2014a)
- LM유채의 잡초화 가능성을 예측하기 위하여 LM유채 및 근연종 간 교잡후 대종을 대상으로 유채의 전생애주기 동안 잡초화에 관련된 특성인 발아휴면 특성, 종자 월하·월동휴면특성, 성장특성 및 종자생산특성을 평가하였음. 그 결과 LM유채×유채, LM유채×갓의 교잡후대가 부모종의 중간적 특성을 지니며, 특히 종자 휴면성 및 월동·월하능력이 LM유채에 비해 향상되어 잡초화 가능성이 우려됨(김 등, 2014b; 임 등, 2015)
- LM유채로부터 유전자이동에 대한 연구는 유럽과 캐나다에서 활발하게 진행되었으며, LM유채로부터 유전자이동에 대한 다수의 사례가 보고되었음(Beckie 등, 2003; Warwick 등, 2003)
- LM유채로부터 유전자전이를 EU의 한계전이율 0.9%이하로 유지하기 위해서는 LM유채와 non-LM유채간의 이격거리를 최소 1,000m 이상 유지해야한다는 예측 결과가 보고되었음(Hoyle & Cresswell, 2009)
- 국내에서 처음으로 발생한 종자용 미승인 LM유채의 환경방출사고로 인해 유전자 이동 및 잡초화 등의 환경영향이 우려됨
- LM유채 환경방출사고가 여러 지역에서 발생하였기에 각 지역의 특성을 고려한 대책마련이 필요함. 특히 남부지역의 경우 온화한 기후로 인해 유채의 월동이 가능하여 LM유채 유전자의 이동/ 잡초화 위해성이 큼
- 적극적인 초동대처만이 이번의 LM유채의 불법적 환경방출에 따른 환경위해성을 최소화할 수 있음. 따라서 정부의 LMO 환경방출 시 초기 대응이 적합했는지 검토하고 개선점을 발굴하여 LMO 유채의 재발생 시기 이전에 개선된 대책을 수립하여 현장에 적용하는 것이 매우 시급함
- 국내에서 처음으로 일어난 미승인 LMO 유채의 발견·처리 건을 계기로 전국적인

환경방출 사고 발생 시 긴급 대응 및 환경위해성을 최소화 할 수 있는 사후관리방안 등 정책방향 마련 필요

## 2. 연구목표

본 연구는 종자용 미승인 LM유채의 전국적인 비의도적 환경방출 사고가 발생한 시점에서 LM유채의 환경방출영향을 분석하고, 본 사고사례에 대한 정부의 대응체계를 검토하여 개선점 발굴 및 LMO 작물 환경방출에 대한 국가차원의 대응전략 마련에 기여하고자 수행되었음. 이를 위하여 LM유채 환경방출과 관련된 국내외 사고사례, 연구사례, 제도 등의 문헌을 조사 및 분석하고, 실제 사고현장 방문 조사를 통하여 사고지역 농업환경분석 및 정부의 초기대응 분석을 수행하여 최종적으로 개선점 및 단기적·장기적 사후관리 방안을 제안하는 것을 연구목표로 하였음

## II. 연구내용 및 방법

### 1. 과업의 범위

본 용역과제의 과업의 범위는 1) LM유채 환경방출 관련 국내외 문헌조사 및 분석, 2) 국내 사고지역 및 수출국(중국) 현장방문 조사를 바탕으로 3) 정부 대응체계 점검 및 개선점 발굴·사후관리 방안 제안으로 함

- LM유채 등의 환경방출 및 환경 영향평가 국내외 사례 조사
- LM유채 등의 환경방출 관리방안 해외사례 조사
- LM유채 환경방출 사고지역의 농업환경 분석
- LM유채의 국내 유통/보급 경로 파악 및 문제점 분석
- LM유채의 환경방출 사고에 대한 농식품부 대응체계 점검 및 개선점 발굴을 통해 LMO 안전관리 정부 대응체계에 대한 개선방안 제시
- LM유채 환경방출 지역에 대한 사후관리 방안 제시

### 2. 연구 추진체계 및 연구진 구성

#### 가. 연구 추진체계

- 본 연구의 목표를 달성하기 위하여 2개의 연구팀(문헌 분석팀, 현장 방문팀)을 구성하여 연구를 수행하였으며, 2개 팀의 연구 결과를 종합 분석하여 금번 LM유채 환경방출 사고에 대한 정부 대응체계 개선점 및 사후관리 방안을 제안하였음 (그림 2-1).



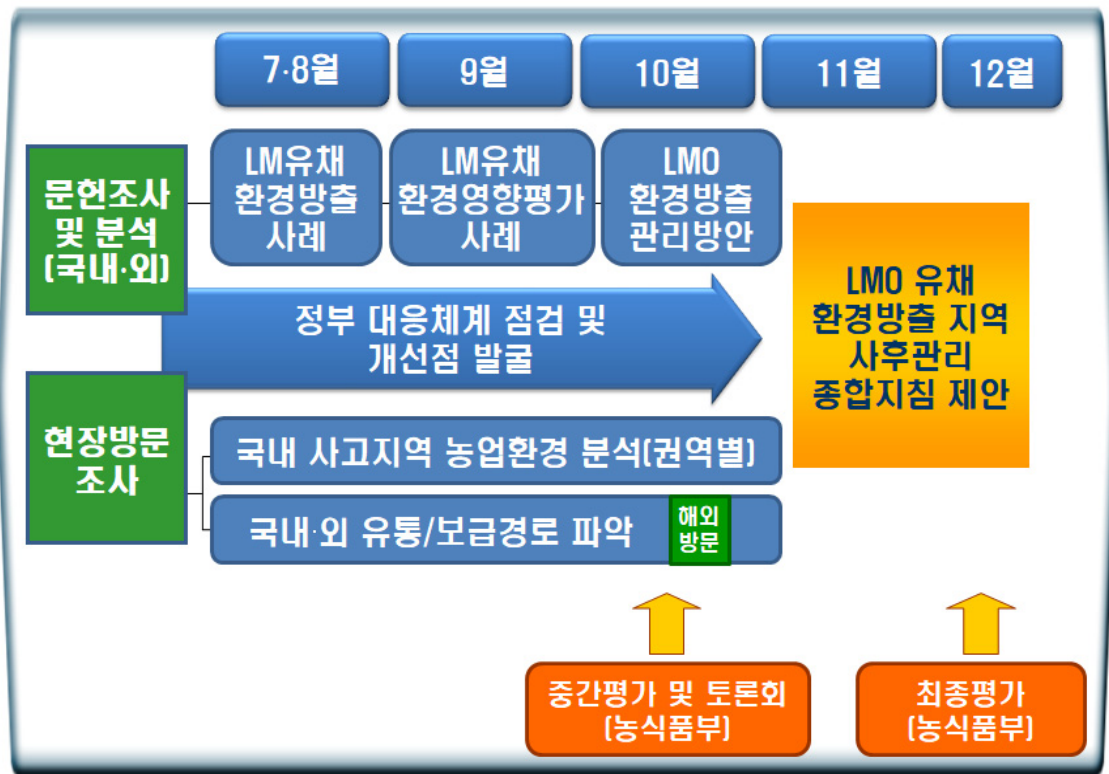


그림 2-1. LM유채 환경방출 영향분석 및 관리방안 연구 추진체계

나. 연구진 구성 세부내용

구분	소속	직위	성명	전공	담당분야
연구책임자	서울대학교	교수	김도순	잡초과학	총괄 과제운영 현장방문조사
연구원	서울대학교	박사	육민정	작물생명과학	문헌조사
	서울대학교	박사	임수현	작물생명과학	현장방문조사
연구보조원	서울대학교	석사과정	박연호	작물생명과학	현장방문조사
	서울대학교	석사과정	유혜진	작물생명과학	문헌조사
	서울대학교	연구원	김희주	축산학	연구보조

### 3. 조사 및 분석방법

#### 가. LM유채 환경방출 관련 문헌 및 자료 조사

- LM유채 등의 환경방출과 관련된 국내·외 문헌 및 자료를 수집, 분석하여 국내 LM유채 환경방출사고 대응 및 관리방안 마련에 활용하고자 함
- LMO 작물의 대표적 환경방출 사례 분석을 위하여 언론 보도, 보고서 등의 자료를 수집하여 조사하였음
- LM유채의 국내외 수입·재배 승인 현황을 조사하였음
- LM유채 환경방출 관련 연구 사례 조사 및 분석을 위해 LM유채 재배국(미국, 캐나다, 호주 등) 및 LM유채 비재배국(서유럽, 동아시아 등)의 유전자이동성 평가, LM유채 종자의 토양 중 지속성 연구, LM유채 및 교집후대의 잡초화 가능성 연구사례를 수집하여 분석함
- 국내의 LMO 관련 제도 및 법규 분석 및 개선점 발굴을 위해 유전자변형생물체의 국가 간 이동 등에 관한 법률(이하 LMO법)을 비롯한 농림축산업용 LMO 관련 법령을 조사하였음

#### 나. LM유채 사고지역 농업환경 및 정부초기대응 분석

- LM유채 환경방출사고 발생에 대한 정보를 수집하고 사고 현장 방문 조사를 수행하여 사후 관리방안 마련에 활용하고자 함
- 유관 기관의 협조(정보 제공, 담당자 면담 등)를 통해 LM유채 환경방출 사고 발생지역 정보를 수집하고 이를 바탕으로 권역별 대표 사고 지역을 선정함
- 미승인 LM유채 재배지역 분포 및 농업환경을 고려하여 북부(경기·강원), 중부(충북·충남·경북), 남부(전북·전남·경남)와 같이 3개 권역으로 분류함. 표 2-1과 같이 권역별 농업환경에 따라 위해성 정도가 다름
- LM유채 환경방출 사고지역 총 98개소(표 2-2) 중 권역별 대표 사고 지역을 선정

후 LM유채 환경방출 사고 현장을 방문하여 농업환경 분석(지리기후환경, 농업환경, 생태환경) 및 현장조사 수행

- 사고지역에 유채 또는 근연종(갯, 무 등)이 발생한 경우 샘플링하여 간이진단 검사 수행. 간이진단 검사는 Roundup Ready ImmunoStrip® (Agida, USA)를 이용함

표 2-1. 권역별 LM유채 환경위해성

권역	근연종 분포 <sup>a</sup>	유채 월하 가능성	유채 월동 가능성 <sup>b</sup>
북부: 경기·강원	적음	높음	낮음
중부: 충북·충남·경북	보통	높음	보통
남부: 전북·전남·경남	많음	높음	높음

<sup>a</sup>무, 갯 등

<sup>b</sup>유채 재배 한계: 1월 최저 평균 기온 -5°C로 북방 한계는 대전

표 2-2. 종자용 미승인 LM유채 환경방출지 98개소 현황

시도	시군구
특별·광역시	서울1, 인천3, 대전1, 세종1, 광주2, 대구2, 부산3, 울산2
강원	춘천1, 태백1, 평창1, 인제2, 원주1
경기	수원2, 부천1, 과천1, 광주1, 이천1, 화성1, 용인2, 안성6, 연천1, 파주2
충북	괴산1, 영동1, 음성1, 진천2, 청주3, 충주1
충남	예산1, 서천2, 당진1, 홍성2, 공주1, 보령1
전북	고창2, 임실1, 무주1, 군산2, 부안1, 완주1, 익산2
전남	순천1, 화순1, 나주1, 무안1, 영암2, 강진1, 신안3, 진도4
경북	군위1, 영청1, 의성1, 칠곡1, 구미1
경남	거제2, 김해1, 남해2, 사천1, 통영4, 함양1, 합천1
제주	제주1

#### 다. LM유채 국내의 유통·보급 경로 파악 및 문제점 분석

- LM유채의 국내 수입/유통/보급 경로 및 수출국인 중국 내 유통 보급 경로를 파악하고 문제점을 분석하여 사후 관리방안 마련에 활용하고자 함
- 유관 기관의 담당자 면담 등을 통해 금번 LM유채 환경방출 사고의 경위 파악 및 문제점 분석
- 대표 수입·유통 업체 방문조사 수행
- LM유채의 수출국인 중국 내 유채 재배지역 현장조사 수행

#### 라. LMO 안전관리 정부 대응체계에 대한 개선점 및 관리방안 제안

- LM유채 수입에서 보급에 이르는 전 과정의 각 단계별로 정부의 대응을 점검 및 개선점 발굴
- 문헌조사 및 현장방문 조사 결과를 취합하고 관련 전문가 자문 및 토론회 내용을 반영하여 LMO 안전관리 정부 대응체계에 대한 개선방안을 제시하고 LMO 유채 환경방출 지역 사후관리 방안을 제안

### III. 연구 수행 결과

#### 1. LM유채 환경방출 관련 문헌 및 자료 조사

##### 가. LM유채 수입·재배 승인 현황

###### (1) 전 세계 LM유채 수입·재배 승인 현황

국제생명공학응용정보서비스(ISAAA)의 데이터베이스에 따르면, 주요 4대 LM작물인 대두, 면화, 옥수수, 유채를 비롯하여 총 29종의 식물이 LMO로 개발되었으며, 식용(food)·사료용(feed)·재배용(cultivation)으로 승인된 이벤트는 2016년 10월 기준 404개였다. LM유채의 경우, 전 세계 13개국에서 총 40개의 LM유채 이벤트가 승인되었으며, 그 중 24개 이벤트는 복합 형질(Stacked)이 도입되었다.

LM유채는 도입형질에 따라 아래와 같이 세 종류로 분류되며 상용화된 LM이벤트는 대부분 제초제 저항성 형질을 지니고 있다.

1. 제초제 저항성: Glyphosate, Glufosinate, Bromoxynil
2. Pollination Control System: 웅성불임, 임성회복
3. Modified Product Quality: Modified oil/fatty acid

LM유채 이벤트가 승인된 13국 중 재배 승인이 된 국가는 미국, 캐나다, 호주 및 칠레인데, 이 중 칠레는 수출을 위한 종자 생산만 가능하며, 승인된 GM유채 이벤트가 몬산토 사의 GT200 이벤트 단 한 건이다. 표 3-1은 금번 국내에서 문제가 된 몬산토 사의 GT73 이벤트 승인 현황을 나타내는데 일본의 경우 재배용으로도 승인되어 있으나 국내 LMO규정과의 차이로 인해 실제 상업적 재배는 불가하다.

표 3-1. LM유채 GT73 이벤트 수입/재배 승인 국가 및 승인연도

국가	식용	사료용	재배용
뉴질랜드	2000		
대만	2015		
대한민국	2003	2005	
멕시코	1996		
미국	1995	1995	1999
싱가포르	2014	2014	
유럽 연합	1997	2007	
일본*	2001	2003	2006
중국	2002	2002	
캐나다	1994	1995	1995
필리핀	2003	2003	
호주	2000		2003

## (2) 국내 LM유채 수입·재배 승인 현황

국내에서는 다른 LM작물과 마찬가지로 LM유채의 상업적 재배가 승인된 사례는 없으나, 식품 및 사료용 LM유채의 수입은 2003년 식용 LM유채로서 GT73 이벤트의 수입을 승인한 이래 현재까지 14개 LM유채 이벤트의 수입이 승인된 바 있다(표 3-2). 국내 식용·사료용으로 승인된 LM유채의 이벤트는 제초제 저항성(Glufosinate, Glyphosate) 및 음성 조절 유전자가 도입되어 있다.

국내로 수입된 LM유채는 주로 카놀라유 생산을 위한 식품용 LM유채로서 지금까지 2012년 11,000여 톤, 2013년 33,000여 톤 등 두 해에만 수입된 것으로 보고되었으며(KBCH, 2017), 사료용 LM유채의 경우 혼합사료 형태로 소량 수입되는 것으로 알려져 있다.

아직까지 국내에서 재배 승인된 GM유채 이벤트는 없으며, 금번 비의도적 환경 방출 사고가 발생한 LM유채의 경우 관상용으로 재배하기 위해 수입된 일반 유채 종자에 혼입된 것으로 파악된다. 환경방출된 LM유채는 몬산토 사의 GT73 이벤트로서 미생물로부터 유래한 외래 유전자인 *cp4 epsps*가 도입되어 있으며, 이로 인해 제초제 글라이포세이트(glyphosate) 저항성 형질을 지니고 있고 국내에 식품

용 및 사료용으로 승인되어 있어 인체 및 동물에 대한 위해성은 없는 것으로 볼 수 있다. 수출국인 중국의 경우 12개의 LM유채 event가 식용·사료용으로 수입 승인되었으며 국내 승인 이벤트 이외에 Bromoxynil 제초제 저항성 유전자가 도입된 이벤트가 존재하나, 우리나라와 마찬가지로 재배 승인된 LM유채 이벤트는 전무한 상황이다.

표 3-2. 국내 승인 LM유채 이벤트

이벤트명	상표명	도입형질	도입유전자	제조사
73496	Optimum <sup>®</sup> Gly canola	HR:Glyphosate	gat4621	DuPont
73496 x RF3	not available	HR:Glufosinate, Glyphosate Fertility restoration	gat4621, bar, bastar	DuPont
GT73 (RT73)	Roundup Ready <sup>™</sup> Canola	HR:Glyphosate	cp4 epsps, goxv247	Monsanto
HCN28 (T45)	InVigor <sup>™</sup> Canola	HR: Glufosinate	Pat	Bayer
HCN92 (Topas 19/2)	Liberty Link <sup>™</sup> Innovator <sup>™</sup>	HR: Glufosinate	bar, nptII	Bayer
MON88302	TruFlex <sup>™</sup> Roundup Ready <sup>™</sup> Canola	HR:Glyphosate	cp4 epsps	Monsanto
MON88302 x MS8 x RF3	InVigor <sup>™</sup> x TruFlex <sup>™</sup> Roundup Ready <sup>™</sup> Canola	HR:Glufosinate, Glyphosate Male sterility , Fertility restoration	cp4 epsps, bar, barnase, barstar	Monsanto
MON88302 x RF3	not available	HR:Glufosinate, Glyphosate Fertility restoration	cp4 epsps, bar, barstar	Bayer
MS1 x RF1 (PGS1)	InVigor <sup>™</sup> Canola	HR: Glufosinate Male sterility , Fertility restoration	bar, barnase, bastar, nptII	Bayer
MS1 x RF2 (PGS2)	InVigor <sup>™</sup> Canola	HR: Glufosinate Male sterility , Fertility restoration	bar, barnase, bastar, nptII	Bayer
MS8	InVigor <sup>™</sup> Canola	HR: Glufosinate, Male sterility	bar, barnase	Bayer
MS8 x RF3	InVigor <sup>™</sup> Canola	HR: Glufosinate Male sterility , Fertility restoration	barnase, bar, barstar	Bayer
MS8 x RF3 x GT73 (RT73)	not available	HR:Glufosinate, Glyphosate Male sterility , Fertility restoration	cp4 epsps, bar, barnase, barstar, goxv247	Bayer
RF3	InVigor <sup>™</sup> Canola	HR: Glufosinate, Fertility restoration	bar, barstar	Bayer

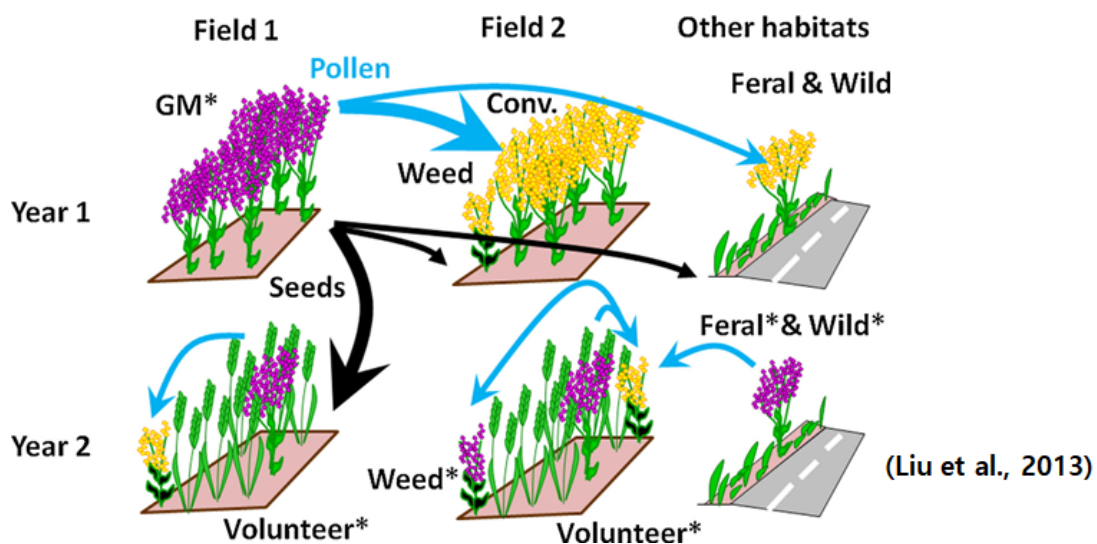


## 나. LM유채 환경방출 연구사례 조사

금번 비의도적으로 환경 방출된 미숙인 LM유채의 환경 위해성을 최소화하기 위한 사후관리 방안 마련에 참고하고자 국내·외 LM유채 환경방출 연구사례를 조사하였다. 이를 위하여 “LM/GM OSR, rapeseed, pollen dispersal, gene flow, outcrossing, seed persistence, weedy risk, weediness, *Brassica* family, *B. napus*, *B. juncea*, *Raphanus sativus*” 등의 키워드를 조합하여 얻은 검색 결과 중 본 연구의 목적에 적합한 연구 사례를 대상으로 분석을 실시하여 다음과 같이 정리하였다.

### (1) LM유채의 유전자 이동성

LM유채의 환경 방출 시 환경 생태계에 대한 가장 큰 위해요소는 도입 유전자(transgene)의 이동으로서 화분 또는 종자의 형태로 발생할 수 있다. LM유채의 도입 유전자는 화분비산(pollen dispersal) 또는 종자의 이동(seed dispersal)에 의해 주변 포장이나 밭둑, 도로 등으로 공간적으로 확산하여 잡초화되거나 교잡후대를 생산하기도 하며, 휴면종자로 토양 중 Seedbank를 형성함으로써 시간적 확산이 가능하다(Liu et al., 2013; 그림 3-1).



\* 보라색꽃: LM유전자(transgene)을 포함

그림 3-1. LM유채의 시공간적 확산 가능 경로

그림 3-2는 LM유채가 환경 방출되었을 경우 생태계 내에서 생육을 유지하고 후대 종자를 생산하여 생존을 지속해나가는 과정을 도식화한 것으로서(김 등, 2014), 생육단계에 따라 LM유채의 유전자 이동성/ 잡초화 가능성에 관여하는 요인이 다름을 보여 준다. 예를 들어, 국내 환경 조건 하에서 봄에 등숙된 종자는 토중에 매립되어 습하고 더운 여름을 지나게 되는데 이 때 종자의 월하 휴면성에 따라 종자의 생존 여부가 결정되며 생존 종자는 가을에 출아하거나 종자 상태로 휴면을 지속한다. 가을에 출아한 생존 개체는 적응력에 따라 생육을 유지하여 개화하여 화분 비산 및 종자 생산에 이르기도 하지만 일부는 자연 도태된다. 가을 동안 토중에 계속 휴면 상태로 매립된 종자의 경우는 다시 겨울 중 월동 휴면성에 따라 생존여부가 결정된다. 이처럼 생육단계에 따라 LM유채의 유전자이동성/잡초화 가능성에 관여하는 요인이 다르므로 LM유채의 전생애주기를 고려하여 체계적·과학적인 사후관리 시스템을 마련하는 것이 필요하다.

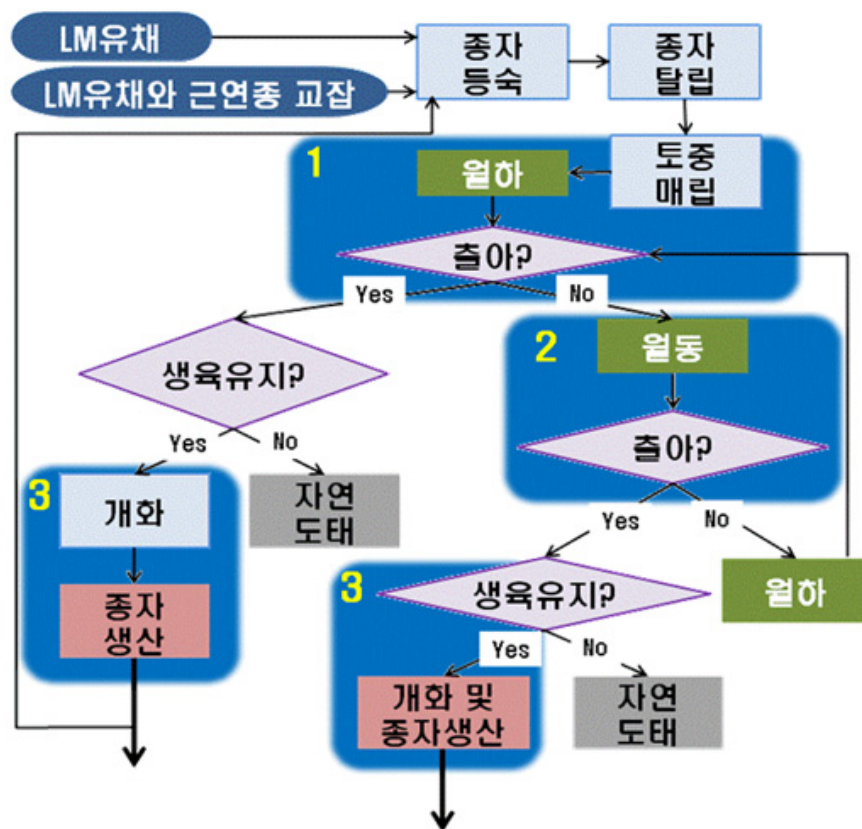


그림 3-2. LM유채의 생애전주기적 평가(Life cycle assessment)

## (2) LM유채에서 유채로의 화분비산을 통한 유전자 이동

LM유채로부터 유채로의 화분비산을 통한 유전자이동성 평가 연구는 여러 나라에서 1980년대부터 최근에 이르기까지 꾸준히 수행되어 왔다. 본 장에서는 LM유채의 재배·수출국(캐나다, 미국, 호주)에서 수행된 LM유채에서 유전자 이동의 연구사례와 LM유채 비재배국(영국, 프랑스, 중국 등)에서 수행된 연구사례를 구별하여 분석하였다. LM유채로부터 화분 비산에 의한 유전자 이동은 연구 사례에 따라 교잡율, 교잡 개체 수 등으로 표기하였으며 실험구의 반복에 따라 편차가 존재하는 경우도 있었다. 본 연구에서는 다양한 연구 사례를 종합하여 비교하고자 유전자 이동을 교잡율(%)의 형태로 변환하였으며, 편차가 있는 경우에는 최대 교잡율을 선택하여 표기하였다.

### ○ LM유채 재배·수출국 연구 사례

LM유채의 상업적 재배는 캐나다, 미국, 호주 및 칠레에서 이루어지고 있으며, 이들 LM유채 재배·수출국에서 수행된 LM유채로부터 일반 유채(non-LM)로의 유전자 이동성 포장 평가 사례를 그림 3-3과 표 3-3에 요약하여 제시하였다. 연구 결과에 따르면, 화분공여자인 LM유채로부터의 거리가 멀어질수록 교잡율이 급격히 감소하는 양상을 보였다. 캐나다의 Rakow & Woods (1987)가 수행한 연구에서 화분공여자인 LM유채와 화분수용체인 일반 유채를 함께 재식한 경우 최대 21.8%의 교잡이 발생했으며, 100m 이상의 거리에서는 대체로 1% 미만의 교잡이 발생하였다. 조사된 연구 결과 중 가장 원거리에서 교잡이 발생한 경우는 호주의 대규모 포장에서 수행한 연구로 2500 m 거리에서 0.15%의 교잡율을 보였으며, 3000 m 이상의 거리에서는 교잡이 발생하지 않았다(Rieger et al., 2002).

한편, 미국의 캘리포니아와 조지아에서 각각 실시된 유전자 이동성 평가에서는 화분 공여자로부터의 거리가 같을 때에도 교잡율에 변이가 존재하는 것으로 나타났다. 캘리포니아에서 진행된 연구에서 화분 공여자 주변의 교잡율은 2.0%, 4.6 m 지점의 교잡율은 0.4%였으며, 조지아에서 실시된 연구에서는 같은 거리에서 각각 3.5%, 0.7%의 비교적 높은 교잡율이 측정되었다(Morris et al., 1994). 이는 LM유채에서 일반 유채로 화분(도입 유전자를 포함)이 이동하는 것은 부모

개체 간의 거리뿐만 아니라 집단 크기, 지역 지형이나 기후, 생태계 조건 등 다양한 요인에 영향 받기 때문이다(Bing et al. 1991; Jørgensen and Andersen, 1994; Halfhill et al. 2004; Hansen et al. 2003). 이와 같이 LM유채의 화분비산을 통한 유전자 이동이 다양한 영향 요인들에 의해 조절되므로, LM유채 환경방출 사고 발생 지역의 사후 관리 시 일괄적인 관리 방안보다는 각 환경방출지의 지형과 기후, 집단의 크기 등 다양한 측면의 정보에 기반을 둔 특화된 관리 방안을 수립하여야 한다.

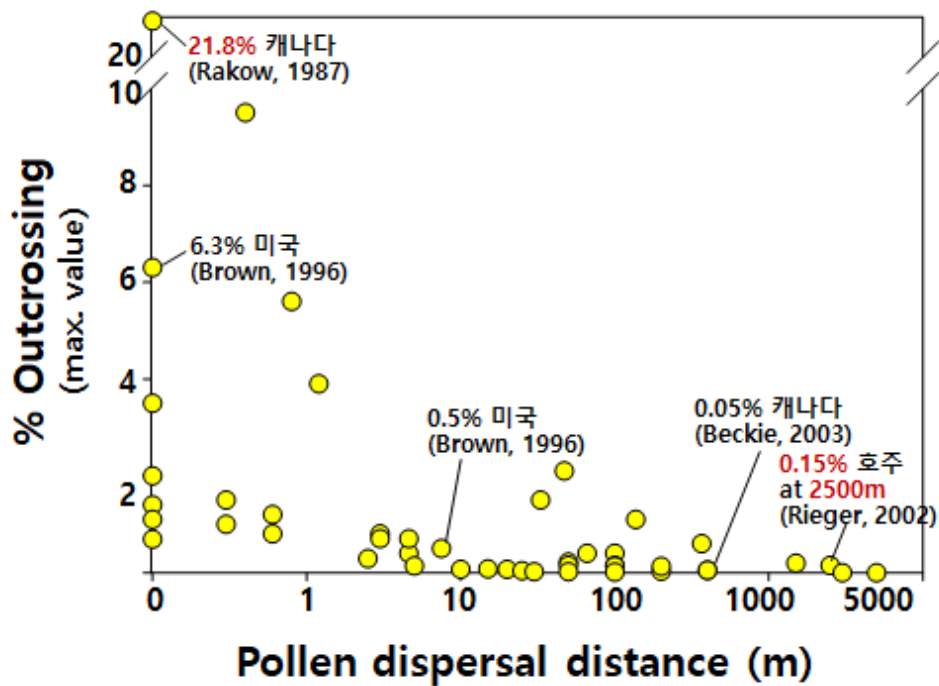


그림 3-3. LM유채로부터 일반 유채로의 유전자 이동률(LM유채 재배국)

표 3-3. LM유채 재배수출국에서 수행된 LM유채로부터 non-LM유채로의 유전자 이동성 평가 연구사례

화분공여자	도입형질	화분수용체	화분 비산 거리(m)	거리별 최대 교잡율(%)	실험국가	참고문헌
<i>B. napus</i>	imidazolinone resistance	<i>B. napus</i>	1500, 2500, 3000, 5000	0.197, 0.15, 0, 0	Australia	Rieger et al. 2002
<i>B. napus</i>	glyphosate resistance	<i>B. napus</i>	47, 137, 366	2.1, 1.1, 0.6	Canada	Stringam & Downey 1982
<i>B. napus</i>	erucic acid	<i>B. napus</i>	0	21.8	Canada	Rakow & Woods 1987
<i>B. napus</i>	glyphosate resistance	<i>B. napus</i>	50, 100	0.022, 0.011	Canada	Manasse & Kareiva 1991
<i>B. napus</i>	glyphosate resistance	<i>B. napus</i>	33, 66, 100	1.5, 0.4, 0.4	Canada	Downey 1999
<i>B. napus</i>	bromoxynil resistance	<i>B. napus</i>	0, 2.5, 5, 10, 15, 20, 25, 30	0.69, 0.29, 0.14, 0.07, 0.08, 0.07, 0.04, 0.02	Canada	Staniland et al. 2000
<i>B. napus</i>	bromoxynil resistance	<i>B. napus</i>	0.4, 0.8, 1.2	9.5, 5.6, 3.9	Canada	Cuthbert & McVetty 2001
<i>B. napus</i>	glyphosate resistance	<i>B. napus</i>	0	7	Canada	Warwick et al. 2003
<i>B. napus</i>	glufosinate resistance	<i>B. napus</i>	0, 50, 100, 200, 400	1.40, 0.22, 0.15, 0.03, 0.05	Canada	Beckie et al. 2003
<i>B. napus</i>	glyphosate resistance	<i>B. napus</i>	0, 50, 100, 200, 400	1.10, 0.15, 0.13, 0.13, 0.05	Canada	Beckie et al. 2003
<i>B. napus</i>	kanamycin resistance	<i>B. napus</i>	0,0.3,0.6,3,4.6	2.0, 1.0, 0.8, 0.8, 0.4	USA (California)	Morris et al. 1994
<i>B. napus</i>	kanamycin resistance	<i>B. napus</i>	0,0.3,0.6,3,4.6	3.5, 1.5, 1.2, 0.7, 0.7	USA (Georgia)	Morris et al. 1994
<i>B. napus</i>	glyphosate resistance	<i>B. napus</i>	0, 7.5	6.3, 0.5	USA	Brown et al. 1996

○ LM유채 비재배국 연구 사례

현재까지 영국, 독일, 프랑스 등 유럽 국가와 한국, 중국, 일본 등의 아시아 국가에서 유전자 변형 유채의 상업적 재배는 허용되지 않고 있으나, LM유채의 화분 비산 거리, 유채 간 교잡율 등 LM유채의 유전자 이동성에 관한 연구가 다수 보고되었으며, 특히 영국의 연구 사례가 많았다(그림 3-4 및 표 3-4). LM유채 비재배국의 경우 충분한 크기의 실험포장을 확보하기 어려운 관계로 LM유채 재배국에 비해 소규모로 실험이 수행되었는데, 이 경우에도 화분 공여자인 LM유채와 화분 수용체인 일반 유채 간 거리가 멀어질수록 교잡율이 급격히 감소하였으며, 10 m 이상의 거리에서는 교잡율이 1% 미만으로 나타났다. LM유채와 일반 유채가 혼재된 조건에서는 최대 12%의 교잡율이 보고되었고(Paul et al., 1995), Ramsay (2003)의 연구에 따르면 800 m의 원거리에서도 0.03%의 교잡이 발생하였다.

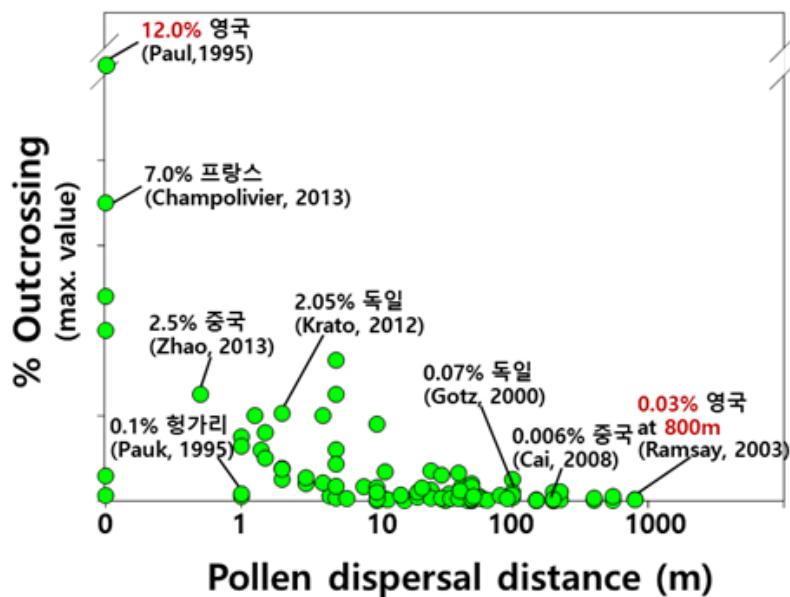


그림 3-4. LM유채로부터 일반 유채로의 유전자 이동률(LM유채 비재배국)

LM유채 재배국과 비재배국 간 LM유채의 유전자이동의 차이는 화분공여자의 집단(pollen source) 크기에 기인한다. 국내에서 발생한 미승인

LM유채 환경방출 사고의 경우 유출된 LM유채의 즉각적인 제거작업 수행을 통해 pollen source의 규모가 극히 제한되었으므로 본 연구 사례의 교잡율을 토대로 유전자 이동을 예측하는 것은 부적합하다. 다만 본 연구 결과는 향후 정기적 모니터링을 통해 재발생 LM유채를 개화 이전에 제거하는 것이 LM유채의 화분 비산을 통한 환경위해성을 낮추는 데 매우 중요함을 시사한다.

표 3-4. LM유채 비재배수출국에서 수행된 LM유채로부터 non-LM유채로의 유전자 이동성 평가 연구사례

화분공여자	도입형질	화분수용체	화분 비산 거리(m)	거리별 최대 교잡율(%)	실험국가	참고문헌
<i>B. napus</i>	glufosinate resistance	<i>B. napus</i>	1.4, 4.5, 11.5, 200	1.19, 0.11, 0.04, 0.006	China	Cai et al. 2008
<i>B. napus</i>	glyphosate resistance	<i>B. napus</i>	1, 5, 10, 50	0.16, 0.059, 0, 0	China	Di et al. 2009
<i>B. napus</i>	glufosinate resistance	<i>B. napus</i>	0.5, 5, 10, 50, 60	2.50, 0.34, 0.20, 0.04, 0.04	China	Zhao et al. 2013
<i>B. napus</i>	-	<i>B. napus</i>	450, 800	1.0, 0.1	France	Darmency and Renard 1992
<i>B. napus</i>	-	<i>B. napus</i>	0, 5, 10, 30	4, 2.5, 1.8, 0.6	France	Champolivier et al. 1999
<i>B. napus</i>	-	<i>B. napus</i>	0, 1, 20, 65	7, 2, 0.2, 0.01	France	Champolivier et al. 1999
<i>B. napus</i>	-	<i>B. napus</i>	100, 150	0.07, 0	Germany	Gotz and Ammer 2000
<i>B. napus</i>	imidazolinone resistance	<i>B. napus</i>	2, 45	2.05, 0.05	Germany	Krato and Petersen 2012
<i>B. napus</i>	-	<i>B. napus</i>	1, 16, 32	0.1, 0.001, 0.001	Hungary	Paul et al. 1995
<i>B. napus</i>	glufosinate resistance	<i>B. napus</i>	1, 3, 12, 47	1.5, 0.4, 0.02, 0.00033	UK	Scheffler et al. 1993
<i>B. napus</i>	glufosinate resistance	<i>B. napus</i>	200, 400	0.016, 0.004	UK	Scheffler et al. 1995
<i>B. napus</i>	-	<i>B. napus</i>	0	12	UK	Paul et al. 1995
<i>B. napus</i>	-	<i>B. napus</i>	6, 30, 42, 50	0.05, 0.05, 0.33, 0.16	UK	Simpson et al. 1999

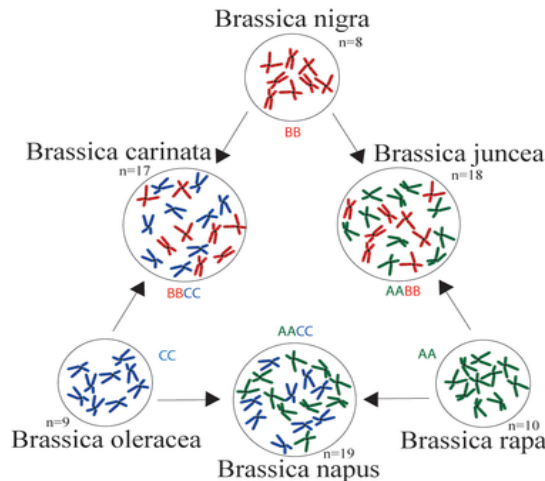


표 3-4. LM유채 비재배수출국에서 수행된 LM유채로부터 non-LM유채로의 유전자 이동성 평가 연구사례(계속)

화분공여자	도입형질	화분수용체	화분 비산 거리(m)	거리별 최대 교잡율(%)	실험국가	참고문헌
LM유채 비재배국(계속)						
<i>B. napus</i>	glufosinate resistance	<i>B. napus</i>	10, 20, 150	0.44, 0.05, 0.22	UK	Simpson et al. 1999
<i>B. napus</i>	-	<i>B. napus</i>	4, 8, 20, 34, 56	2, 0.33, 0.16, 0.16, 0.11	UK	Sweet et al. 1999
<i>B. napus</i>	glufosinate resistance	<i>B. napus</i>	1.5, 4, 11.5, 21.5, 31.5	1.6, 0.7, 0.3, 0.2, 0.03	UK	Ingram, 2000
<i>B. napus</i>	glufosinate resistance	<i>B. napus</i>	1.5, 21.5, 51.5, 91.5	1.0, 0.3, 0.1, 0.05		Sweet et al. 2001
<i>B. napus</i>	glufosinate resistance	<i>B. napus</i>	5, 50, 100, 200	3.3, 0.4, 0.5, 0.3	UK	Norris, cited by Sweet et al., 2001
<i>B. napus</i>	glufosinate resistance	<i>B. napus</i>	100, 200, 400	0.13, 0.03, 0.6	UK	Simpson, cited by Sweet et al., 2001
<i>B. napus</i>	-	<i>B. napus</i>	1.5, 11.5, 26.5, 51.5, 91.5	1.0, 0.5, 0.15, 0.1, 0.05	UK	Eastham and Sweet, 2002
<i>B. napus</i>	-	<i>B. napus</i>	5, 25, 40, 50, 100, 200	1.2, 0.25, 0.65, 0.1, 0.5, 0.2	UK	Norris 2002
<i>B. napus</i>	kanamycin resistance	<i>B. napus</i>	0, 10, 50, 225, 550, 800	0.12, 0.04, 0.02, 0.02, 0.001, 0.03	UK	Ramsay et al. 2003
<i>B. napus</i>	glufosinate resistance	<i>B. napus</i>	2, 50, 150	0.76, 0.04, 0.02	UK	Weekes et al. 2005

## (2) LM유채에서 근연종으로의 유전자 이동

유채가 속한 배추과(십자화과; Brassicaceae)는 370속 3000여 종 이상의 식물종이 속해 있으며, 국내에는 18속 58종의 배추과 식물이 분포한다. 유채는 원칙적으로는 자가수분 식물로 분류되나, 화분의 양이 헥타르 당  $10^{12}$  량 정도로 매우 많고 풍매와 충매가 모두 가능하며, 배추속의 식물종 중 *B. napus*와 *B. juncea* 외의 다른 종은 자가불화합성을 지니므로 종간 교잡이 비교적 빈번히 일어난다 (Gulden et al., 2008). 배추속의 종간 유연관계는 그림 3-5와 같다. 유채는 38개의 염색체를 가지는 복2배체 식물로 AACCC의 유전자형을 지니고 있다. 따라서 동일한 AA 염색체 세트를 공유하는 배추(*B. rapa*) 및 갯(*B. juncea*), 같은 CC 유전자형을 공유하는 꽃양배추(*B. oleracea*)과의 교잡이 비교적 빈번하며, 서양무아재비 (*Raphanus raphanistrum*)나 Hoary mustard (*Hirschfeldia incana*)와의 속간 교잡 사례도 보고된 바 있다.



AA:  $2n=2x=20$ : *Brassica rapa* (syn. *Brassica campestris*): Turnip, Chinese cabbage

BB:  $2n=2x=16$ : *Brassica nigra*: Black mustard

CC:  $2n=2x=18$ : *Brassica oleracea*: Cabbage, kale, broccoli, brussels sprouts, cauliflower

AABB:  $2n=4x=36$ : *Brassica juncea*: Indian mustard

AACC:  $2n=4x=38$ : *Brassica napus*: Rapeseed, rutabaga

BBCC:  $2n=4x=34$ : *Brassica carinata*: Ethiopian mustard

그림 3-5. 배추속의 종간 유연관계(U' s triangle)

유채와 자연교잡 사례가 보고된 배추과 식물종은 표 3-5와 같다. 이 중 유채, 갓, 배추, 꽃양배추는 널리 재배되는 작물로서 국내에 전국적으로 분포하며 귀화 식물인 서양무아재비는 안산, 인천 등지에 서식한다. 배추 및 꽃양배추는 재배특성상 개화 이전에 수확이 완료되어 LM유채와의 교잡가능성이 희박하지만, 유채의 경우 지역 축제의 소재로 널리 활용되고 있으며 특히 갓은 일부 야생화 되어 각별한 주의가 필요하다.

표 3-5. LM유채와 교잡 가능한 식물종

종명	학명	Genome	국내분포*	비고*
유채	<i>Brassica napus</i>	AACC, n=19	전국	재배종, 남부지역 다수 재배
갓	<i>Brassica juncea</i>	AABB, n=18	전국	재배종, 일부 야생화됨
배추	<i>Brassica rapa</i>	AA, n=10	전국	재배
꽃양배추	<i>Brassica oleracea</i>	CC, n=9	전국	재배, 브로콜리 등
서양무아재비	<i>Raphanus raphanistrum</i>	RrRr, n=9	안산 인천	귀화식물
Hoary mustard	<i>Hirschfeldia incana</i>	AdAd, n=7	-	-

\* 국립생물자원관 한반도의 생물다양성 포털

LM유채에서 근연종으로의 화분 비산을 통한 유전자 이동 연구의 경우 주로 LM유채 재배 포장 내부나 밭둑 등 근접지역을 대상으로 연구가 수행되었으며, 연구 건수도 매우 제한적인 관계로 LM유채 또는 일반 유채와 근연종 간 유전자 이동 연구 사례를 함께 수집하여 조사하였다.

유채(*B. napus*, AACC)와 갓(*B. juncea*, AABB)의 동일한 염색체 세트(AA)는 이들 사이의 교잡 및 유전자 이동의 가능성을 높게 한다. 유채와 갓 종간 교잡의 자연 발생은 캐나다, 덴마크 등 여러 국가에서 보고된 바 있는데(Bing et al., 1996; Frello et al., 1995), 유채와 갓 식물체의 상대적 비율에 따라 이종 간 hybrid가 3%까지 발견되었다.

배추(*B. rapa*, AA)의 경우도 갖과 마찬가지로 유채와 동일한 염색체 세트를 지니고 있어 종간의 유전자 이동이 쉽게 일어날 수 있다. 유채와 배추의 종간 교잡은 캐나다, 영국, 체코 등지에서 보고된 바 있다(Simard et al., 2006; Allainguillaume et al., 2006; Bielikova & Rakouskey, 2001; Hansen et al., 2001; Warwick et al., 2003). 유채와 배추 간 교잡율은 혼재된 조건에서는 최대 17.5%에 달하였으며, 10 m 이내에서는 최대 1.58%의 교잡이 발생하는 등 다른 종에 비해 높은 교잡 가능성을 지님을 알 수 있다.

유채와 CC염색체 세트를 공유하는 꽃양배추(*B. oleracea*, CC)는 0-2 m 거리에서 최대 3.5%, 2-25 m에서 최대 0.8%의 교잡이 발생되었다(Ford et al., 2006). 유채와 서양무아재비(*R. raphanistrum*, RrRr, 2n=18) 간의 자연교잡에 의한 유전자 이동은 근거리에서 발생하지 않거나 0.0003-0.2% 정도의 매우 낮은 빈도로 발생하였으며, 이는 호주, 캐나다, 덴마크 및 프랑스 등에서 보고되었다(Ammitzboll and Jørgensen 2006; Baranger et al. 1995; Chevre et al. 2000, 2003; Darmency et al. 1995; Rieger et al. 2001; Warwick et al. 2003).

유채로부터 근연종으로의 유전자 이동은 유채 간 교잡에 비해 낮은 교잡율을 보였으며, 10m 미만의 이격거리 내에서도 거리에 반비례하여 교잡율이 급격히 낮아졌으나 유채의 이종 간 자연교잡이 가능한 것이 실험적으로 증명되었다.

이상의 연구사례 결과를 종합한 결과, LM유채의 화분비산을 통한 유전자 이동은 부모종 간의 거리뿐 아니라 부모의 유전형, 집단 크기, 지형 및 기후 등 다양한 조건에 영향을 시사하고 있다. 따라서 국내의 LM유채 유출 사고 지역의 규모, 지형 및 기후 등의 조건을 고려하여 위해성 관리 대책을 수립해야 한다. 또한 유채와 근연종 간의 교잡 가능성이 제시되었으므로 LM유채 환경방출 사고 지역에 유채 및 동속 작물의 재배를 제한할 필요가 있다.

### (3) LM유채 종자의 토양 중 지속성 연구

LM유채의 도입유전자는 종자의 형태로 시·공간적 확산이 가능하다. 종자가 의도적 또는 비의도적으로 다른 장소로 이동되거나 휴면종자 형태로 토양 중 Seedbank를 형성하여 시간적으로 확산 가능하다(Liu et al., 2013; 그림 3-1). 본 장에서는 국내에서 발생한 미승인 LM유채 환경방출 사고 이후 장기적인 후속관리 방안 수립에 참고하고자 LM유채의 토양 중 지속성 연구 사례를 수집·분석하였다.

#### ○ 해외연구 사례

유채 종자의 토양 중 지속성 연구는 장기적인 연구 기간이 요구되며, LM유채를 상업적으로 재배하는 지역에서는 경작지에 매년 새로운 LM유채 종자가 유입되어 실제 경작 조건에서 종자 지속성 연구를 수행하기 어려운 까닭에 연구 사례가 제한적이었다. 따라서 주요 유지 작물로서 다양한 유채 품종을 경작하는 유럽 지역의 일반 유채 종자 지속성 연구 사례를 참고하였으며, 일부 LM유채의 시험재배 수행 이력이 있는 경작지를 대상으로 수행한 종자 지속성 연구 사례도 분석하였다.

영국의 Lutman 등(2003)이 수행한 연구에 따르면, 유채 종자가 탈립되어 표토(soil surface) 조건 하에 놓일 경우에는 휴면성이 거의 발현되지 않았다. 반면 유채 종자가 경운 등에 의하여 토중으로 들어가게 되면 휴면 상태로 수년간 지속되었는데, 정상적인 작물 재배 및 수확 조건에서는 4년까지 지속되며, 재배가 없을 경우 11년 이상 지속된다고 보고하였다. 이러한 연구 결과는 유채 종자의 토양 중 지속성을 감소시키기 위하여 탈립 직후에는 경운을 하지 않는 것이 좋으며, 토양 중으로 종자가 유입된 이후에는 토양의 교란이 종자 지속성을 신속히 감퇴시키므로 밭둑(field margin)이나 도로변의 종자의 지속 기간이 경작지에 비해 길 것을 시사한다.

덴마크의 Jorgensen 등(2007)은 다양한 유채 품종의 재배 이력이 있는 농경지와 그 주변 농경지 및 도로에 발생한 유채를 대상으로 품종 특이적인 ISSR 분자

마커 검정을 수행하여 유채 seedbank의 지속기간을 4-17년으로 추정하였다.

스웨덴과 프랑스 연구팀은 과거 LM유채의 시험재배가 수행되었던 지역에서 각각 재발생 개체 검정 및 수확 종자 내 GM종자 혼입을 조사를 통해 LM유채 종자가 토양 중에 3년에서 최대 10년 간 지속하였다고 추정하였다(D' Hertefeldt et al., 2008; Messean et al., 2007).

캐나다 연구팀(Knispel et al., 2008)은 제초제 저항성 LM유채 재배이력이 있는 여러 곳의 경작지 주변 도로에서 LM유채 발생밀도를 조사하여 마지막 LM유채 재배 이후 10년 이상 된 경작지 주변은 0.3-2.8개체, 5년 미만 경작지 주변 0.5-15.5 개체/m<sup>2</sup>가 발생한 것을 보고하였다. 도로변의 LM유채 Seedbank size가 매우 작고, 후대 종자생산성도 매우 낮으나, 10년 이상 지속되었다는 점에서 간과할 수 없는 결과이다.

유채 종자의 토양 중 지속성과 관련된 해외 연구사례는 일반적인 재배 조건에서 수행된 사례연구이므로 금번 국내에서 발생한 LM유채의 환경방출 사고의 경우에 직접적으로 적용할 수 없다. 유럽의 경우 일반적인 경작 조건에서 유채는 수확 이전과 수확 중 2-10% (2,000 - 10,000립/m<sup>2</sup>)의 종자가 탈립되므로(Gulden et al., 2003) seedbank 또는 경작지 규모가 매우 큰 데 비해 국내 LM유채 환경방출 지의 경우 일단 재배 면적이 소규모이며, 환경방출 사고 발생 직후부터 지속적으로 정책적인 제거 관리와 모니터링이 시행되어 대부분의 사고지역에서 토양 중 LM유채 종자 유입이 없거나 있더라도 본 장에서 조사한 연구사례들에 비해 토양 중 종자 유입이 현저히 적다. 다만, 해외 연구사례 조사를 통해 유채 종자의 토양 중 지속성을 감소시킬 수 있는 경작지 관리 방법-종자 탈립 직후 무경운, 후작물 재배-을 참고하고, 토양 교란이 잘 일어나지 않는 경작지 밭둑이나 도로변 등의 Seedbank 지속기간을 고려하여 민관협력을 통해 모니터링 및 제거 작업을 추진할 필요성이 있음을 알 수 있다.

○ 국내연구 사례

유채 종자의 휴면성은 다양한 환경 조건에 의해 유도된다. 국내 농업환경 조건에서 유채는 봄에 개화 및 종자 등숙이 이루어지므로 토양 중 탈립된 종자가 지속하기 위해서는 월하 조건에서 휴면상태를 유지해야 하며, 이후 월동 조건을 맞게 된다. 임 등(2015)은 국내 월하 조건에서는 토중 매립된 유채 종자의 휴면생존성이 높고, 월동 조건에서는 표토 종자의 휴면생존성이 높은 것으로 보고하였다(그림 3-6). 이를 통해 하계 경운은 토중 LM유채 종자의 휴면생존성을 증가시킬 것으로 예상되므로 꼬투리 형성기 이후에는 LM유채의 경운 폐기를 금지해야 한다.

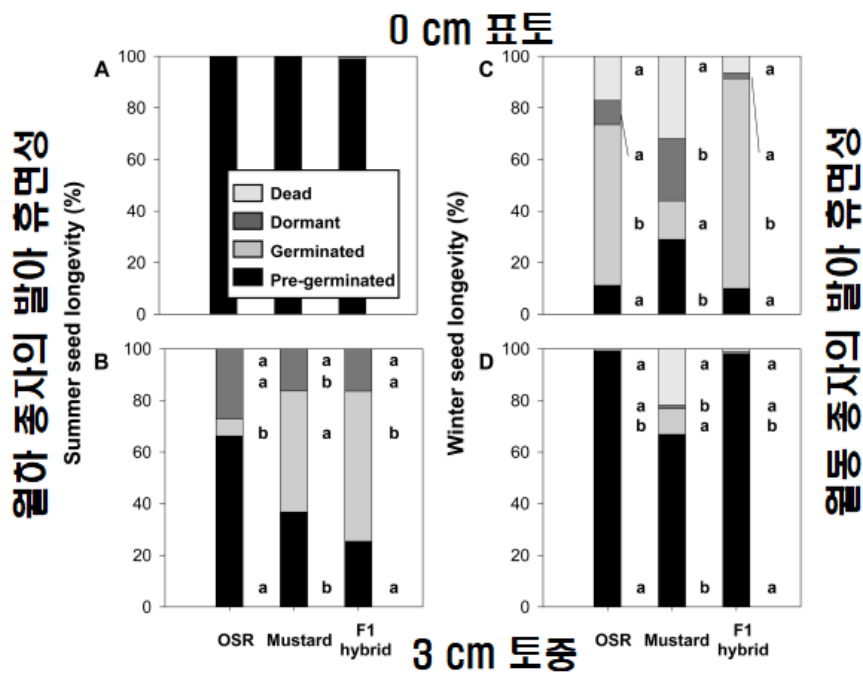


그림 3-6. 월하 및 월동 조건에 따른 유채, 갯, 교잡후대의 종자수명

#### (4) LM유채 및 교잡 후대의 잡초화 가능성

##### ○ LM유채 및 일반 유채 간 교잡후대의 잡초화 가능성

식물의 적응도(plant fitness)란 경쟁 환경에 적응하여 생존·번식할 수 있는 능력을 말하며, 도입유전자의 영향으로 인해 감소된 식물체의 fitness를 적응비용(fitness cost)으로 나타낸다. LM유채와 일반 유채 간 교잡후대의 fitness는 부모종과 유의한 차이를 보이지 않으므로 도입유전자의 fitness cost가 매우 낮거나 없음을 시사한다. LM유채, 일반 유채 및 그 교잡후대는 도입유전자 이외의 유전적 배경이 동일하므로 선택 압력이 없는 조건에서의 생존력은 모두 동일하다고 할 수 있다.

##### ○ 이종 간 교잡후대의 영양생장능력(vegetative fitness)

LM유채와 갓(*B. juncea*) 간 이종교배를 통해 생산된 교잡후대종의 영양생장능력은 부모종의 중간이거나 부모에 비해 다소 우세한 것으로 보고되었다(Di et al., 2009; Liu et al., 2010). LM유채 및 배추(*B. rapa*)의 교잡후대의 영양생장능력 역시 부모종의 중간이거나 다소 우세하였는데(Ammitzboll et al., 2005; Londo et al., 2010; Rose et al., 2009), 이러한 결과는 non-LM유채 및 배추 간의 교잡 후대에서도 유사하게 나타나는 것으로 보아 도입유전자의 유무와 관계없이 부모종의 유전적 차이에 기인한 것으로 보인다(Halfhill et al., 2005; Hauser et al., 1998a & 1998b).

Hoary mustard (*H. incana*)와의 속간 교잡후대의 영양생장능력도 부모종 사이에 위치하였으며(Lefol et al., 1995), 반면 야생무(*R. raphanistrum*)와의 속간 교잡 후대의 경우에는 발아율, 생존율, 건물중 등이 부모종에 비해 유의하게 감소하는 양상을 보였다(Guéritaine et al., 2002 & 2003).

연구 결과를 종합해 보면, 야생무와의 교잡후대 연구사례를 제외한 대부분의 교잡후대에서 부모종의 중간 또는 우세한 영양생장능력을



나타냈는데, 이는 부모종이 지니는 서로 다른 유전적 배경에 의한 차이일 것으로 보이며 교잡 1세대의 경우 잡종강세(heterosis) 효과로 추정된다.

○ 이종 간 교잡후대의 생식능력(reproductive fitness)

LM유채의 도입 유전자 확산에는 영양생장능력보다 생식생장능력이 보다 직접적으로 관여하므로, 다양한 연구가 수행되었다.

다수의 연구에서 갓(Di et al., 2009; Liu et al., 2010; Song et al., 2010), 배추(Allainguillaume et al., 2006; Ammitzboll et al., 2005; Pertl et al., 2002), 야생무(Chevre et al., 1998), hoary mustard (Darmency & Fleury, 2000) 모두 LM유채(또는 일반 유채)와의 이종 교잡 후 초기세대(F1, BC1)의 경우 생식능력이 부모종에 비하여 현저히 낮아지며 특히 화분 활력(pollen viability) 등 응성 임성의 감소가 매우 심한 것으로 보고되었다. 그러나 LM유채와의 이종 교잡 후 초기세대(F1, BC1)의 생식능력 감소는 도입유전자 효과가 아니고 배수성, 염색체 수 차이 또는 염색체 상 gene introgression이 이루어지는 위치 등에 의해 발생한 것으로 사료된다. 유채는 AACCC 유전체를 가지므로 중간 교잡에 의해 triploid structure인 ACX ( 'X' 는 A, B, C, Rr, Ad)가 만들어질 수 있으며, 배수성 문제로 배아발달이 저해되어 종실 크기가 감소된 연구 결과도 보고된 바 있다(Wei & Darmency, 2008).

한편 현저히 감소된 초기세대의 생식능력은 여교배(backcrossing) 등을 통해 세대가 진전됨에 따라 회복된다. Song 등(2010)은 유채 및 갓의 교잡후대에 갓을 여교배친으로 하여 BC3세대까지 진전시켰을 때 임성이 대부분 회복되었다고 보고했다. 같은 방식으로 유채와 배추의 교잡후대를 여교배하여 얻은 BC3세대 역시 부모종과 유사한 수준까지 임성이 회복되었으며(Snow et al., 1999), 야생무 연구사례에서는 BC2세대에서 빠르게 생식능력을 회복한 결과가 보고되었다(Chevre et al., 1998). 일반 유채와 꽃양배추(*B. oleracea*)의 교잡후대의 경우 초기세대에서 화분 활력이 현저히 저하되었으나 약배양을 통해 세대 진전을 거듭할수록 임성이

회복되어 F5세대에 이르러는 100%의 회복세를 보였다(Quazi, 1988). 다만 예외적으로 hoary mustard의 경우 여교배를 통해 세대가 진전됨에 따라 종자 생산량이 감소하여 BC3세대부터는 개체당 1개의 종자를 생산하는 데 그쳤으며 BC5세대까지 생존하지 못하였다(Darmency & Fleury, 2000).

#### ○ 도입유전자 효과(transgene benefit)

선택압력(selection pressure)이 없는 조건에서 LM유채와의 이중 교잡후대는 부모종에 비하여 낮은 생존력(특히 생식능력)을 지니기 때문에 LM유채 또는 LM유채×유채 간 교잡후대의 환경위해성 문제가 더 심각하다.

그러나 LM유채의 도입유전자는 기본적으로 우성 형질이므로, 선택압력이 존재할 경우 transgene benefit에 의해 도입유전자를 지닌 개체들의 경쟁능력이 매우 높아진다. 캐나다의 Mason 등 (2003)은 Bt 저항성 LM유채를 재료로 실험을 수행하여 해충 선택 압력이 높을 경우 도입유전자를 지닌 개체의 생식능력이 유지되었음을 보고하였으며, Londo 등(2010)은 저약량의 제초제 살포 시 non-transgenic은 종자생산이 현저히 감소한 반면, 제초제저항성 transgenic genotype은 높은 fitness를 유지하는 결과를 얻었다.

따라서 LM유채 및 교잡후대가 타종과의 경합 시 경쟁력을 획득하는 것을 막으려면 도입형질과 다른 제초제 살포해야 한다. 예를 들어 금번 비의도적 환경방출된 LM유채 GT73은 제초제 glyphosate 저항성 유전자가 도입되어 있으므로 glyphosate와 다른 작용점을 지닌 제초제를 통해 방제해야 한다.

## 다. LMO 환경방출 해외사례 조사

1996년 LM작물이 최초로 상업화된 이후 세계 각지에서 LM작물의 환경방출 사고가 꾸준히 발생하고 있다. Price & Cotter (2014)의 보고에 따르면 2013년 기준 LM작물의 환경방출 사고는 63개국에서 396건 발생하였으며, 이 중 LM유채의 환경방출사고 건수는 40건으로 전체 사고의 약 10%에 해당된다. 본 장에서는 LM작물의 연구·개발, 재배 및 유통 단계별 대표적인 환경방출 사례를 언론 보도 및 보고서 등의 문헌을 조사하여 정리하였다.

### (1) 태국 미승인 GM파파야 발견

#### ○ 발견 경위

- 2004년 7월 환경단체 Greenpeace에 의해 태국 농무부 산하 Khon Kaen 연구소에서 일반 농가에 GM파파야가 혼입된 파파야 종자 및 묘목을 판매·배포한 것이 밝혀졌다.
- 해당 연구소는 태국 내 가장 큰 규모의 파파야 종자 채종포장을 가지고 있었으며, 약 1.84 ha 규모의 포장에서 GM파파야 연구 실험을 수행하였다. 그러나 일반 종자 채종포장과 GM파파야 연구포장 간 거리가 도로 하나 정도에 불과하여 두 포장 간의 격리가 불충분하여 교차 수분이 발생한 것으로 파악되었다.

#### ○ 대응 및 조치

- 해당 연구소의 GM파파야 연구포장을 폐쇄하였다.
- 재배 농가의 파파야 나무를 폐기 조치하고, 파파야 나무 한 그루 당 40바트씩 보상. 이 환경방출 사고사례의 경우 GM작물의 연구 단계에서 발생하였으며, 연구의 주체가 정부이므로 정부 차원의 보상이 이루어졌다.
- 그러나 이후 지속적인 모니터링 및 제거 조치는 이루어지지 않았다.

## (2) 미승인 GM페튜니아 발견

### ○ 발견 경위

- 1987년 독일 연구팀이 옥수수의 DFR (dihydroflavonol-4-reductase) 유전자를 페튜니아에 삽입해 오렌지색 페튜니아를 개발하고 그 결과를 Nature지에 발표한 바 있다.
- 2015년 핀란드 기차역에서 GM페튜니아 연구 경험이 있는 식물학자에 의해 발견된 오렌지색 페튜니아에서 외래 DNA 발견되었는데, 이는 1987년 도입된 옥수수 DNA와 동일하였으며 관련 정보를 핀란드 규제기관에 제공하였다.
- 핀란드 정부는 GM페튜니아 발견이 확인된 즉시 해당 사실을 유럽 및 미국에 통보하였다.
- 핀란드, 영국, 네덜란드, 미국, 일본, 뉴질랜드 등에서 GM페튜니아가 유통 및 판매된 것으로 확인되었다.

### ○ 대응 및 조치

- 각 국은 GM페튜니아로 확인된 품종을 발표하고 해당 품종의 리스트를 지속적으로 업데이트(20 품종 이상)하고 있다.
- 각 국 정부(핀란드, 영국, 네덜란드, 미국, 호주 및 일본)는 재배자, 유통업자, 소매업자에게 해당 품종을 폐기하도록 명령하였으며, 인체 및 환경에 위해성이 없거나 무시할 정도로 낮은 수준임을 발표하였다.
- 각 국의 규제 기관에서 미승인 GM페튜니아의 폐기 처리는 소각, 고온 및 고압 멸균, 퇴비화, 제조제 처리 등의 방식을 제시하였다.
- GM페튜니아 환경방출 사고는 GM작물의 연구 단계에서 발생한 사고이며, 상업적 재배가 승인된 이벤트가 존재하지 않는다. 따라서 GM페튜니아의 유통은 불법이기 때문에 정부 차원의 보상은 이루어지지 않고 있다.

### (3) 영국 GM유채 혼입 사례

#### ○ 발견 경위

- 2000년, Advanta Seeds 사에서 수입하여 판매한 유채 Hyola 품종에 1%의 GM OSR 종자(glyphosate & glufosinate 저항성)가 혼입된 것으로 보고되었으며, 오염된 유채 종자는 영국 내 농지 4,700 ha에 파종되었다.
- 해당 유채 종자는 캐나다에서 생산되었으며, 종자 채종포장과 가장 근접한 GM유채가 4km나 떨어져 있었으나 해당 유채 품종이 hybrid 품종이기 때문에 종자 생산 시 음성불임 계통이 다수 사용되어 GM유채의 화분을 통한 유전자이동이 발생한 것으로 파악되었다.

#### ○ 대응 및 조치

- 정부는 농민들에게 해당 작물의 폐기를 권고하였다.
- 본 환경방출 사고는 종자의 재배·유통 단계에서 발생하였으며, 해당 유통 회사의 과실이 명백하므로 정부의 지시로 종자회사에서 농민에게 보상금을 강제 집행하도록 하였으며, 이에 따라 Advanta Seeds 사에서는 지역별 잠재적 생산 가능성을 고려하여 보상금 산정하여 합의안을 제시하였다(북부 잉글랜드 /스코틀랜드: 370 £ /ha, 남부: 337 £ /ha).

### (4) 미국 GM밀 혼입 사례

#### ○ 발견 경위

- 2013년 5월 미국 오레곤 주 밀 경작지에서 농부가 밀 파종 전 RoundUp Ready 제초제를 살포한 뒤 살아남은 밀 샘플을 오레곤 주립대학에 송부하였고, 제초제 저항성 유전자가 발견되어 이를 동식물검역원(APHIS)에 보고하였다.
- 현재까지 전 세계 GM밀에 대한 재배 승인은 전무하다.
- APHIS는 해당 지역의 경작지에서 다량의 샘플을 확보·조사하여 제초제 내성 GM밀로 확인되었음을 공지하였다.

- 해당 미승인 GM밀은 몬산토사에서 과거 시험 재배했던 제초제 glyphosate 내성 밀(MON71800)로 밝혀졌다.

○ 대응 및 조치

- 미국 농무부(USDA) 및 동식물검역원(APHIS)는 조사 결과 최초 발견지 외의 어느 지역에서도 해당 GM밀이 발견되지 않았으며 본 사건을 “독립된 사건”으로 결론내리고 종결하였다.
- 몬산토는 소송을 제기한 해당 농가와 240만 달러에 합의하였으며, 지역 밀 재배자 연합 등에 기금 지원하였다. 단, 몬산토 사는 합의금 지불에 동의하였으나 책임은 인정하지 않았다.
- 2017년 오레곤 주 입법부에 제출된 법안(House Bill 2739)은 토지 소유주가 원치 않는 GMO 오염에 대해 생명공학특허 보유자를 고소할 수 있게 하는 내용이 포함되었다.

**(5) 캐나다 GM유채 혼입**

○ 사건 경위

- 1997년 캐나다의 농민 슈마이저가 자신의 유채 밭에 Roundup 제초제 살포 후 저항성 유채를 발견하였다. 이는 주변 GM유채 재배지에서 화분 이동에 의해 혼입된 것으로 추정되며 재배 단계에서의 환경방출 사고로 분류된다.
- 슈마이저는 관행대로 유채 종자를 채종·보관했다 1998년 자신의 밭에 파종하였다.
- 몬산토의 검사원이 슈마이저의 농지에서 GM유채를 발견, 몬산토 사는 이를 근거로 캐나다 연방법원에 특허권침해에 대한 금지명령, 손해배상, 종자 반환 소송을 제기하였다.

○ 소송 결과

- 1심, 2심 및 항소심 판결은 모두 슈마이저가 몬산토의 특허권을 침해한

것으로 판시하였다.

- 연방대법원은 슈마이저가 몬산토의 특허권 중 ‘이용할(using) 권리’를 침해한 것으로 판결하였다. 다만 권리 침해자인 슈마이저가 얻은 이익이 없기 때문에 배상할 금액이 없다고 판결하였다.

## (6) 일본 GM유채 방출 사례

### ○ 발견 경위

- 2004년 6월 일본 농림수산성이 가공용으로 수입된 GM유채가 유통 중 낙곡 되어 항구 주변도로에 자생하고 있음을 발표하였으며, 이 사례는 GM유채의 유통 단계에서 발생한 환경방출 사고로 분류할 수 있다.
- 이후 2005년부터 꾸준히 시민단체의 자체 모니터링 조사가 수행되었으며, 2010년 7월에는 도로변에 자생하는 유채 샘플 검정 결과 GM양성 반응이 확인되었다고 발표하였다. 또한 GM유채와 십자화과 야생식물인 개갓겨자(イヌガラシ) 간 교잡종이 발견되었다고 보고하였다.
- 2006~2011년까지 장기간의 모니터링 연구 수행 결과, 조사지역의 항구 12개 중 10개 주변에 GM유채가 자생하는 것으로 보고되었으나, *B. rapa* 또는 *B. juncea*로의 GM유전자 도입은 발생하지 않았다.

### ○ 후속 조치

- 교잡 의심 개체에 대한 일본 국립환경연구소의 정밀분석 결과, GM유채 X 개갓겨자 교잡종으로 추정된 식물체는 이중교잡종이 아닌 유채 간 교잡에 의해 생성된 개체로 확인되었다.
- 농업용 GMO 규제 기관인 일본 농림수산성에서는 GM유채 수입항구 주변을 모니터링한 결과, GM유채가 자생하고 있으나 대상 지역에 국소적으로 자라고 있고, 근연종 및 재래종과 교잡되어 생물다양성에 미치는 영향이 없다는 입장을 표명하였다.

○ 언론 보도

- 2010년 7월 일본 시민단체에서 미에 현 국도에 자생하는 개갯겨자 유사 식물체를 수집하여 검정한 결과, GM 유전자가 존재하였음을 발표하였다.
- 2017년 7월 19일 경향신문의 LM유채 방출 관련 후속보도 “이웃 나라에선 채소와 교배 번식…우릴 만만하게 보지 마” 에서 일본의 GM유채와 개갯겨자 교잡사례 인용 보도했다.
- 시민단체에서 수집한 개갯겨자 유사 식물체를 일본 국립환경연구소에 정밀 분석 의뢰하여 유채끼리의 교잡후대임을 밝힌 내용이 2010년 10월에 보고되었으나 이에 대한 후속 보도는 확인되지 않았다.

<2010. 10. 13 최종 분석 결과 발표>

イヌガラシとの交雑が疑われている植物体の分析結果について  
平成22年10月13日  
国立環境研究所 生物圏環境研究領域 生態遺伝研究室 中嶋信美  
개갯겨자와의 교잡이 의심되는 식물체 분석 결과

(1) 試料①～⑤は除草剤耐性遺伝子を持つ組換え体である。

(2) 試料④、⑤の核内DNA量はセイヨウアブラナと比較しても差は認められなかった。  
([途中報告参照](#))

(3) すべての個体においてrbcL遺伝子はセイヨウアブラナ型であった。従ってすべての試料の母親はセイヨウアブラナであると考えられる。

(4) CHS遺伝子はセイヨウアブラナ型が圧倒的に多く出現する。すべての試料の父親(花粉)はセイヨウアブラナであると考えられる。

시료의 핵 DNA량, rbcL 및 CHS 유전자형 분석 결과 모든 시료의 부모본은 모두 유채인 것으로 보이며, 이는 시료가 유채와 개갯겨자 간의 교잡개체임을 강하게 부정하는 결과임



## 2. LM유채 환경방출 사고지역의 농업환경 및 정부대응 분석

2017년 5월 15일 강원 태백에서 종자용 미승인 LM유채의 환경방출이 확인된 직후 농림축산식품부 주관으로 국립종자원·농촌진흥청 등을 중심으로 안전관리 대책팀이 구성·운영되었다. 본 장의 연구는 금번 미승인 LM유채 환경방출 사고에 대한 정부 안전관리 대책팀의 대응 자료를 바탕으로 사고지역의 농업환경 및 정부의 초기 대응을 분석하고, 주요 환경방출 사고지역 방문 조사 및 국내·외 유통 경로 분석을 수행하여 개선된 대책 마련에 기여하고자 수행되었다.

### 가. LM유채 환경방출 사고 지역의 농업환경 분석

정부 안전관리 대책팀에 따르면 금번 미승인 LM유채 환경방출 사고지역은 전국 총 98개소로 파악되었으며, 전국 환경방출 사고 지역의 총 LM유채 재식 면적은 642 ha, LM유채 종자 파종량은 약 16.5 톤에 달하였다(표 3-6). 도 단위의 행정구역별 LM유채 사고지역 분포 현황은 표 3-8과 같으며, 사고지역 개소 수로는 서울경기 지역이 22개소로 가장 많았으나 면적 기준으로는 전라도(전북·광주전남) 지역이 총 사고지역 면적의 90% 이상을 차지한다.

LM유채 환경방출 사고 지역의 농업환경은 지역 환경, 방출지 환경, 방출 규모, 격리 정도, 후작물 재배 여부 및 재배 관리 주체와 같은 6가지 지표를 통해 분석되었으며 그 결과는 그림 3-7 및 표 3-7과 같다. 각 지표의 단계 및 값은 다음과 같이 산정하였다: 지역 환경(도시 1, 준농촌 2, 농촌 3), 방출지 환경(밭 1, 논 2, 하천 3, 도로변 4, 공원녹지 5, 온실 6, 가정집정원 7, 군부대 8, 법사면 9), 방출규모( $10\text{ m}^2$  이하 1,  $100\text{ m}^2$  이하 2,  $1000\text{ m}^2$  이하 3,  $10000\text{ m}^2$  이하 4,  $100000\text{ m}^2$  이하 5,  $1000000\text{ m}^2$  이하 6,  $1000000\text{ m}^2$  이상 7), 주변과 격리 정도(완전격리 0, 높음 1, 중간 2, 낮음 3), 후작물재배여부(비경작 1, 경작 2), 재배관리자(농민/주민 1, 민간 2, 공공 3).

사고 지역 총 98개소 중 농촌에 위치한 사고지역이 74개소, 도시인근 12개소, 도시 내 택지나 공원 등이 12개소이다. 재배지 환경에 따라 구분하였을 경우 밭이 56개소로 가장 많았고 공원녹지(24개소), 논(16개소)의 순서인 반면,

면적 기준으로 분류하였을 경우에는 논이 현저히 높은 비중을 차지하였다. 논에 LM유채를 재배한 경우 토양이 습하기 때문에 LM유채 종자가 휴면 상태로 생존하기 어려워 위해성이 매우 낮으므로 사후관리가 용이할 것으로 예상된다.

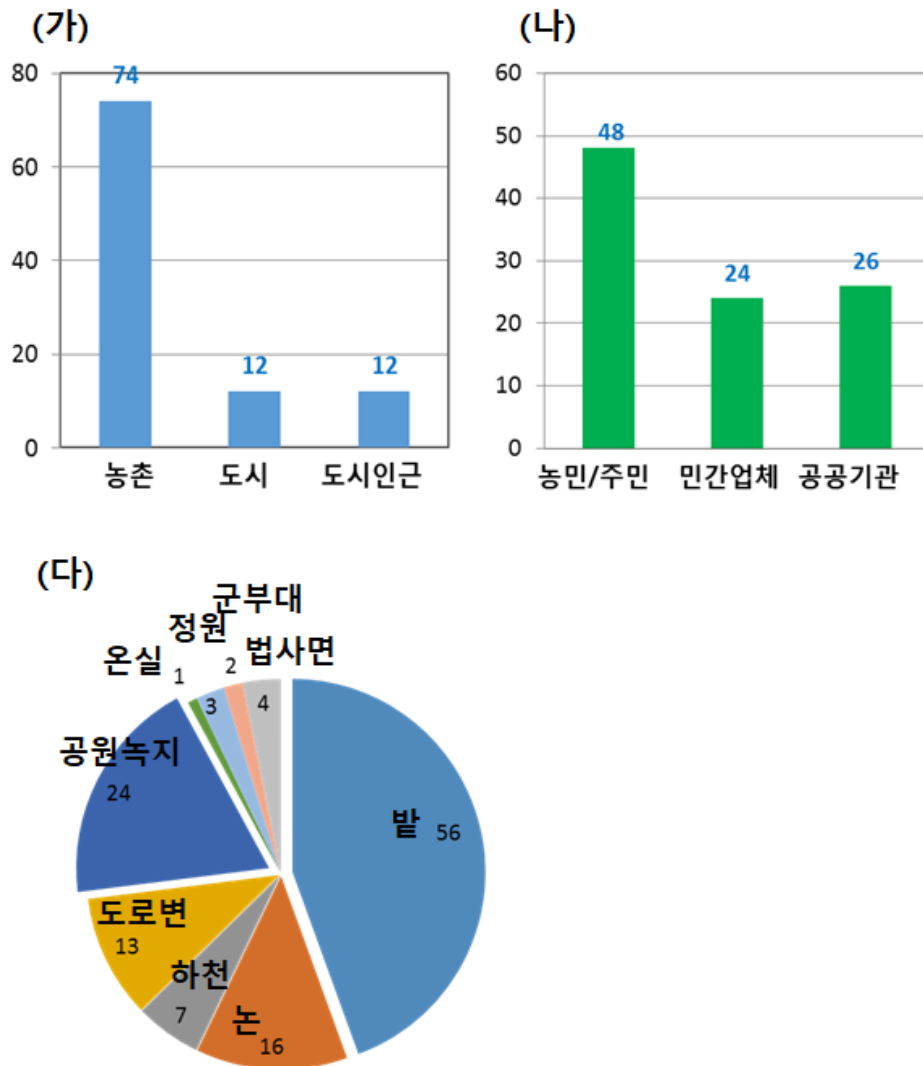


그림 3-7. LM유채 환경방출 사고지역 특성에 따른 구분. (가) 지역 속성, (나) 재배관리 주체, (다) 재배지 환경(개소 기준)

표 3-6. LM유채 환경방출 사고지역 및 파종·재식 종합 현황(국립종자원 제공)

번호	시도	시군구	상세주소	수입업체	구매량 (kg)	식재량 (kg)	재식면적 (m <sup>2</sup> )
1	강원	춘천시	후석로	A	10	10	2,000
2	강원	태백시	천제단길	A	50	50	9,000
3	강원	평창군	평창읍 유동리	C	20	10	5,000
4	강원	인제군	기린면 대내로	D	10	5	650
5	강원	인제군	남면 신월로	A	10	10	1,320
6	강원	원주시	소초면 황길로	A	2	2	500
7	서울	동작구	상당로 9가길	A	1	1	10
8	인천	옹진군	영흥면 영흥로	A	10	10	1,000
9	인천	서구	고산로	A	10	7.5	1,000
10	인천	연수구	선헌경기장 근처	B	100	100	10,000
11	경기	수원시	권선구 입북동	A	20	20	1,500
12	경기	수원시	권선구 당수동	B	5	5	100
13	경기	부천시	길주로	A	10	10	1,000
14	경기	과천시	막계동	A	15	15	1,600
15	경기	광주시	오포읍 추자리	D	0.5	0.5	90
16	경기	이천시	모가면 송곡리	A	1	1	0
17	경기	화성시	봉담읍 삼천병마로	A	40	20	8,000
18	경기	용인시	처인구 옥산로	A	120	120	23,140
19	경기	용인시	처인구 남사면 원암리	B	5	5	1,000
20	경기	안성시	양성면 구장리	A	20	20	4,000
21	경기	안성시	대덕면 만세로길	B	35	35	7,000
22	경기	안성시	공도읍 장수길	B	12	12	1,000
23	경기	안성시	보개면 조일리	A	110	110	5,000
24	경기	안성시	공도읍 송두3길	B	15	15	1,200
25	경기	안성시	죽산면 두교리	A	1	1	20
26	경기	연천군	전곡읍 전곡로	A	20	20	4,000
27	경기	파주시	적성면 어유지리	A	20	20	4,000
28	경기	파주시	문산읍 운천리	A	2	2	330
29	충북	괴산군	연풍면 유상9길	B	5	5	200
30	충북	영동군	상촌면 궁촌리	A	20	20	5,000
31	충북	음성군	대소면 내산리	C	1	1	1,000
32	충북	진천군	덕산면 교연로	A	2	2	66
33	충북	진천군	덕산면 교학로	A	80	80	15,000
34	충북	청주시	청원구 주성동(1)	A	30	30	6,000
35	충북	청주시	청원구 주성동(2)	A	30	30	6,000
36	충북	청주시	청원구 오창읍 두릉유리로	C	160	160	33,000
37	충북	충주시	수안보면 종산리	C	50	50	12,000
38	충남	예산군	덕산면 사동리	A	800	800	20,000
39	충남	서천군	기산면 막동리, 두북리	A	20	20	4,000
40	대전	서구	월드컵대로	A	116	116	15,000
41	충남	당진시	송악읍 한진1길	A	20	20	16,500
42	세종	세종시	연서면 고북리	A	20	20	4,000
43	충남	홍성군	내포신도시 내	A	400	400	132,000
44	충남	홍성군	홍성읍 충서로	B	2	2	231
45	충남	공주시	송곡리	A	5	5	1,320
46	충남	보령시	신후동	A	20	20	6,600
47	충남	서천군	장항읍 장산로	A	100	68	27,000
48	전북	고창군	두어리(1)	B	20	20	800,000

번호	시도	시군구	상세주소	수입업체	구매량 (kg)	식재량 (kg)	재식면적 (m <sup>2</sup> )
49	전북	고창군	두어리(2)	B	614	614	800,000
50	전북	임실군	운암면 입석리	A	20	10	500
51	전북	무주군	적상면 치목길	A	8	8	1,650
52	전북	군산시	옥도면 신시도리	A	570	570	40,000
53	전북	군산시	옥도면 야미도리	A	230	230	40,000
54	전북	부안군	보안면 청자로	A	20	20	5,000
55	전북	완주군	삼례읍 비비정마을	A	150	150	56,291
56	전북	익산시	오산면 오산로	A	2,000	2,000	750,000
57	전북	익산시	성당면 두동리	A	1,200	1,200	1,100,000
58	전남	순천시	승주읍 도정리	A	10	10	2,000
59	전남	화순군	이서면 월산리	B	1	1	75
60	광주	동구	용산동	A	3	3	1,300
61	광주	남구	중앙로 107번길	A	20	5	1,320
62	전남	나주시	빛가람로	A	27	27	24,750
63	전남	무안군	현경면 해운리	B	5	5	66
64	전남	영암군	군서면 월곡리	A	2,420	2,420	740,238
65	전남	강진군	작천면 군자리	A	80	80	112,433
66	전남	영암군	군서면 마산리	A	3,020	3,020	700,000
67	전남	신안군	지도읍 광정리	A	20	20	3,300
68	전남	신안군	압해읍 대천리	A	600	600	294,000
69	전남	신안군	임자면 대기리	A	1,100	1,100	773,000
70	전남	진도군	진도항길	D	2	2	66
71	전남	진도군	지산면 삼당리	A	160	160	4,000
72	전남	진도군	지산면 상봉암길	A	40	20	32,000
73	전남	진도군	지산면	A	1,240	1,240	183,480
74	경북	군위군	효령면 성리	A	1	1	33
75	경북	영천시	임고면	A	9	9	3,000
76	경북	의성군	비안면 서부로	A	30	30	6,000
77	경북	칠곡군	석적읍 중지리	A	20	20	1,320
78	대구	수성구	매호동	C	60	60	3,300
79	대구	동구	둔산동	C	40	40	14,000
80	경북	구미시	선산읍 독동리	A	20	20	4,000
81	경남	거제시	거제면 소량리	A	20	20	3,300
82	경남	거제시	일운면 망양1길	A	5	5	330
83	경남	김해시	대청로 104번길	A	40	20	4,000
84	경남	남해군	삼동면 동부대로	A	20	20	165
85	경남	남해군	남면 남서대로 1179번길	B	5	5	1,000
86	부산	기장군	정관읍 모전1길	A	2	2	88
87	부산	기장군	정관읍 모전교	B	2	2	220
88	부산	금정구	청룡로	A	2	2	100
89	경남	사천시	곤명면 숫골길	B	12	12	3,300
90	경남	통영시	발개로(1)	B	10	10	50,000
91	경남	통영시	발개로(2)	B	35	35	50,000
92	경남	통영시	발개로(3)	B	10	10	50,000
93	경남	통영시	발개로(4)	A	75	75	50,000
94	울산	중구	태화강대공원 근처	A	50	40	8,000
95	울산	울주군	삼남면 교동리	A	1	1	10
96	경남	함양군	지곡면 병곡지곡로	A	10	10	990
97	경남	합천군	합천읍 서산리	D	2	2	330
98	제주	제주시	애월읍 어음13길	A	2	2	17

표 3-7. LM유채 환경방출 사고지역 농업환경분석(국립종자원 제공)

관리번호	지역환경	방출지환경	방출규모	격리정도	후작물재배	재배관리자
1	3	1	4	3	2	1
2	3	1,5	4	1	1	3
3	3	4	4	3	1	3
4	3	1	3	3	1	1
5	3	3	4	3	1	3
6	3	1	3	2	2	1
7	1	1,5	1	1	2	1
8	3	4	3	3	1	3
9	1	1,5	3	1	1	3
10	1	3	4	3	2	3
11	2	1	4	3	2	1
12	2	1	2	3	2	1
13	2	1,5	3	2	2	2
14	1	5	4	1	2	3
15	2	1	2	1	1	1
16	3	6	1	0	1	1
17	2	5	4	1	1	3
18	3	1	5	2	2	2
19	3	1	3	2	2	1
20	3	4	4	3	1	1
21	3	3, 4	4	3	1	1
22	3	2	3	3	2	1
23	3	1	4	2	2	2
24	3	2	4	3	2	1
25	3	7	2	2	2	1
26	3	5	4	1	2	3
27	3	1	4	2	2	1
28	3	8	3	2	2	3
29	3	7	3	2	2	1
30	3	1	4	3	2	1
31	3	4	3	3	2	2
32	3	1,5	2	1	2	3
33	3	1,5	5	1	2	3
34	2	1	4	2	1	2
35	2	1	4	2	1	2
36	3	1	5	1	2	2
37	3	1,5,9	5	2	2	2
38	3	1	5	2	2	2
39	3	4	4	3	2	3
40	1	3	5	3	2	3
41	2	1	5	2	1	2
42	3	1	4	3	1	2
43	1	1,5	6	2	2	2
44	2	8	3	2	1	3
45	3	1	4	3	1	1
46	1	1,5	4	2	1	3
47	3	1,5	5	2	1	3
48	3	2	6	3	2	1

관리번호	지역환경	방출지환경	방출규모	격리정도	후작물재배	재배관리자
49	3	2	6	3	2	1
50	3	1,5	3	3	1	1
51	3	1	4	3	1	1
52	3	1	5	2	2	2
53	3	1,4,5	5	2	1	2
54	3	1,5	4	2	2	3
55	3	1,2	5	3	2	1
56	3	2	6	3	2	1
57	3	2	7	3	2	1
58	3	1	4	3	1	3
59	3	1	2	3	1	1
60	3	4	4	3	1	3
61	1	4	4	1	1	3
62	1	1,5	5	1	1	3
63	3	1	2	3	2	1
64	3	2	6	3	2	1
65	3	2	6	3	2	1
66	3	2	6	3	2	1
67	3	2	4	3	2	1
68	3	2	6	3	2	1
69	3	2	6	3	2	1
70	3	1	2	3	2	1
71	3	2	4	3	2	1
72	3	2	5	3	2	1
73	3	2	6	3	2	1
74	3	1	2	1	1	3
75	3	4	4	3	2	2
76	3	1	4	2	1	3
77	3	3	4	3	1	3
78	1	3,5	4	3	2	2
79	2	4,9	5	3	2	2
80	3	5,9	4	2	1	3
81	3	1	4	1	1	1
82	3	1	3	2	1	1
83	3	1,4	4	1	1	1
84	3	1	3	1	1	2
85	3	1	3	3	1	2
86	1	1,7	2	2	2	1
87	2	3	3	3	2	3
88	2	9,4	2	3	2	2
89	3	1	4	3	2	1
90	3	1,5	5	2	1	2
91	3	1,5	5	2	1	2
92	3	1,5	5	2	1	2
93	3	1,5	5	2	1	2
94	1	5	4	1	1	3
95	3	1	1	2	2	1
96	3	1	3	3	1	1
97	3	1	3	3	2	1
98	3	1	2	1	2	1

표 3-8. LM유채 환경방출 사고지역 지역별 분포 현황

지역	개소	면적(ha)	비중(%)
강원	6	1.85	0.3
서울경기	22	7.50	1.0
충북	9	7.83	1.1
충남대전	10	22.67	3.1
전북	10	359.34	49.8
광주전남	16	297.20	41.2
대구경북	7	3.17	0.4
부산경남제주	18	22.19	3.1
합계	98	721.73	100.0

#### 나. LM유채 환경방출 후 정부대응 분석

금번 LM유채 방출사고의 초기 정부 대응을 점검하기 위해 국립종자원에서 2017년 9월 발행한 ‘종자용 미승인 LMO 유채 재배지 관리카드’를 비롯한 대응 자료를 바탕으로 초기 대응 분석을 수행하였다(그림 3-8 & 표 3-9).

2017년 5월 강원 태백의 유채꽃 축제 현장에서 종자용 미승인 LM유채가 최초 발견된 직후 안전 관리자(종자원) 및 환경영향평가담당관(농진청)을 재배 현장에 투입하여 해당 포장을 우선 격리하였고, LMO 유채 검출장소를 관할하는 태백시에 해당 LMO 유채가 생태계에 영향을 미치지 않도록 소각 폐기하도록 조치하였다. 이후 농림축산식품부 주관으로 국립종자원, 농림축산검역본부, 국립농산물품질관리원, 농촌진흥청 및 지자체 등이 참여하는 LMO 안전관리대책반을 구성·운영하여 전국적 환경방출이 발생하였음을 인지하고 LM유채 폐기 및 사후관리를 지속적으로 실시하였다.

LM유채 환경방출 사고지역 98개소 대응 상황을 종합하면, 최초 현장 방문 시기는 5월12일 ~ 6월 28일이었고, 유채 시료를 채취하여 간이 검정한 결과 양성 68개소, 음성 12개소였고, 사전폐기 완료하여 검정할 시료가 없는 지역이 18개소였다. LM유채 폐기조치는 5월 16일 ~ 7월 19일에 이루어졌으며 지속적으로 모니터링 하며 수차례 진행되었다. 종자 상태로 확보한 LM유채는 고온멸균기(오토클레이브)를 사용하여 활성을 제거하였으며, 재배지 내의 유채 폐기

는 방법으로는 경운>손 제초>제초제>소각>예초 순서로 많이 사용되었다. LM유채 폐기 시 유채의 생육단계는 영양생장 단계였던 곳이 14개소, 개화기 44개소, 꼬투리 형성 10개소, 미확인 30개소였다. 하계 사후관리 방문 시기는 6월 27일 ~ 9월5일이었으며, 최초방문 후 확인-격리-폐기-사후관리를 위해 환경방출 사고지역에 방문한 횟수는 개소 당 평균 5.51회에 달하였다.

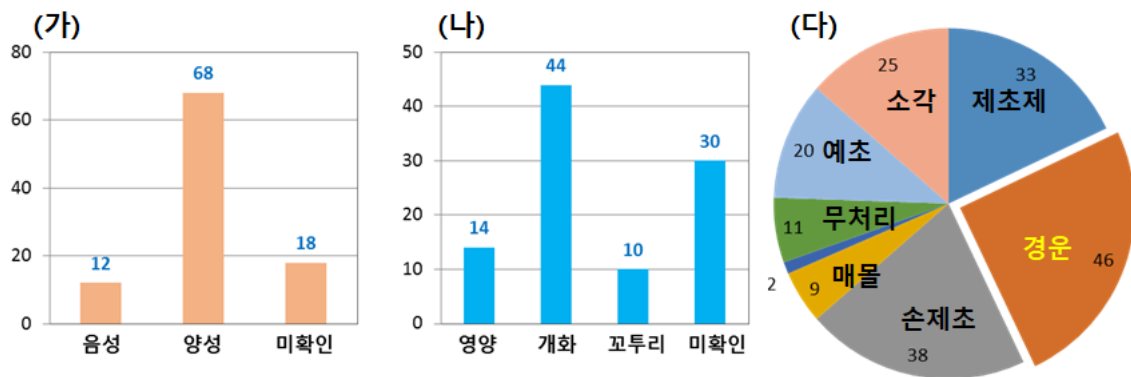


그림 3-8. LM유채 환경방출 사고지역 관리 현황. (가) LM유채 간이검정 결과, (나) 폐기 시 유채 생육단계, (다) 폐기 방법(중복 처리 포함)



표 3-9. LM유채 환경방출 사고지역 정부대응현황 종합(국립종자원 제공)

지역 번호	1차 조사일	폐기 조치일	방문 횟수	LM 양성여부	폐기시 생육단계	폐기 방법	하계 발생	관리 상태
1	05월 23일	05월 23일	4	양성	개화성기	2,1	발생	양호
2	01월 05일	05월 16일	3	양성	개화초기	2,1	미발생	양호
3	05월 25일	06월 13일	5	양성	영양생장	3,4	발생	양호
4	06월 05일	07월 11일	4	양성	영양생장	3,4	발생	양호
5	05월 29일	05월 31일	5	양성	개화직전	3,5	발생	양호
6	06월 01일	06월 01일	4	양성	개화중기	2	미발생	양호
7	06월 07일	사전폐기	2	미확인	-	6	미발생	양호
8	05월 24일	05월 30일	5	양성	영양생장	1,3	발생	양호
9	05월 24일	06월 01일	6	양성	개화중기	2,1	발생	양호
10	05월 31일	사전폐기	3	음성	개화중기	6	미발생	양호
11	05월 21일	사전폐기	4	미확인	-	6	미발생	양호
12	05월 31일	사전폐기	3	미확인	-	6	미발생	양호
13	05월 25일	06월 06일	6	양성	개화성기	2,1	발생	양호
14	05월 24일	05월 25일	6	양성	개화중기	2,1	발생	양호
15	06월 01일	사전폐기	2	미확인	-	6	미발생	양호
16	06월 07일	사전폐기	2	미확인	-	5	미발생	양호
17	05월 24일	05월 26일	6	양성	영양생장	1,3	미발생	양호
18	05월 20일	06월 01일	6	양성	개화초기	2,1	발생	양호
19	06월 15일	사전폐기	2	미확인	-	6	미발생	양호
20	05월 20일	06월 03일	5	양성	꼬투리형성기	7,8,1	발생	주의
21	05월 31일	06월 05일	7	양성	꼬투리형성기	7,8,1	미발생	양호
22	05월 31일	사전폐기	4	미확인	-	6	미발생	양호
23	05월 24일	05월 26일	5	미확인	개화초기	2,1	미발생	양호
24	05월 31일	사전폐기	3	음성	-	2	발생	양호
25	06월 07일	사전폐기	3	미확인	-	3	발생	양호
26	05월 25일	05월 29일	6	양성	개화초기	1,8	미발생	양호
27	05월 26일	06월 04일	6	양성	개화성기	2,1	미발생	양호
28	06월 07일	사전폐기	4	미확인	-	6	미발생	양호
29	06월 01일	사전폐기	4	미확인	-	6	미발생	양호
30	05월 16일	06월 01일	10	양성	개화성기	5,1	발생	주의
31	05월 24일	06월 02일	9	양성	-	3,8	발생	주의
32	05월 30일	05월 31일	7	양성	영양생장	2,3	발생	양호
33	05월 21일	05월 30일	7	양성	개화초기	2,3,8	발생	주의
34	05월 16일	05월 30일	11	양성	개화중기	7,2,3	발생	양호
35	05월 16일	05월 30일	11	양성	개화중기	7,2,3	발생	양호
36	05월 24일	사전폐기	5	양성	-	3	발생	주의
37	05월 24일	06월 13일	14	양성	영양생장	1,3	발생	주의
38	05월 24일	06월 04일	9	양성	개화성기	7,8,2,1	발생	주의
39	05월 25일	06월 02일	9	양성	개화성기	3,8	미발생	양호
40	05월 18일	05월 23일	8	양성	개화성기	1,2	발생	주의
41	05월 24일	06월 01일	7	양성	개화성기	2,1,2	발생	주의
42	05월 17일	05월 24일	7	양성	개화성기	3,8	발생	양호
43	05월 16일	05월 30일	10	양성	꼬투리형성기	7,8,1	발생	주의
44	06월 01일	사전폐기	2	음성	-	6	발생	양호
45	05월 22일	06월 02일	7	양성	꼬투리형성기	7,2,1	발생	양호
46	05월 24일	06월 02일	8	양성	개화중기	7,5,2	발생	양호
47	05월 25일	06월 08일	9	음성	꼬투리형성기	7,5,2	발생	주의
48	06월 13일	사전폐기	3	음성	-	3	발생	양호
49	06월 13일	사전폐기	3	음성	-	3	발생	양호

지역 번호	1차 조사일	폐기 조치일	방문 횟수	LM 양성여부	폐기시 생육단계	폐기 방법	하계 발생	관리 상태
50	05월 22일	06월 14일	5	양성	영양생장	3	발생	양호
51	05월 25일	06월 02일	7	양성	꼬투리형성기	2,1	발생	양호
52	05월 15일	05월 30일	7	양성	개화기	2,1	발생	양호
53	05월 15일	05월 30일	7	양성	개화기	2,1	발생	양호
54	05월 15일	05월 15일	4	양성	개화기	2,1	미발생	양호
55	05월 23일	06월 01일	5	양성	개화성기	7,5,2,1	발생	양호
56	05월 18일	사전폐기	4	음성	-	2	발생	양호
57	05월 18일	사전폐기	4	미확인	-	2	미발생	양호
58	05월 22일	05월 23일	4	양성	개화기	2,3	발생	양호
59	06월 16일	사전폐기	2	미확인	-	-	미발생	양호
60	06월 01일	06월 02일	4	양성	-	3,5	발생	양호
61	05월 17일	05월 24일	4	양성	영양생장	3,8	미발생	양호
62	05월 24일	05월 31일	6	양성	꼬투리형성기	2	발생	양호
63	06월 01일	사전폐기	3	음성	-	2	미발생	양호
64	05월 15일	사전폐기	3	양성	-	2	발생	양호
65	05월 22일	사전폐기	5	음성	-	2	미발생	양호
66	05월 18일	사전폐기	3	양성	-	2	발생	양호
67	05월 18일	사전폐기	3	미확인	-	2	미발생	양호
68	05월 18일	사전폐기	4	음성	-	2	발생	양호
69	05월 18일	사전폐기	4	양성	-	2,3	발생	양호
70	06월 01일	06월 02일	4	양성	영양생장	1	발생	양호
71	05월 18일	05월 24일	5	양성	영양생장	3,8,2	미발생	양호
72	05월 18일	05월 24일	4	양성	영양생장	3,2	미발생	양호
73	05월 24일	사전폐기	3	양성	-	2,3	미발생	양호
74	05월 24일	05월 24일	5	양성	영양생장	3,2	미발생	양호
75	06월 14일	사전폐기	3	음성	-	3	미발생	양호
76	05월 24일	06월 02일	6	양성	영양생장	3,8	발생	양호
77	05월 24일	06월 01일	7	양성	꼬투리형성기	3,2,8	발생	양호
78	05월 24일	06월 16일	6	미확인	영양생장	3,8,2	미발생	양호
79	05월 25일	사전폐기	7	양성	-	6	발생	주의
80	06월 26일	06월 27일	4	양성	영양생장	1,3	미발생	양호
81	05월 16일	06월 02일	6	양성	개화중기	7,5,1,2	발생	주의
82	06월 28일	07월 19일	4	양성	개화초기	1,3,8	발생	양호
83	05월 24일	06월 01일	6	양성	개화중기	7,5,1,3	발생	주의
84	06월 16일	사전폐기	3	미확인	-	9	미발생	양호
85	06월 08일	06월 12일	6	양성	영양생장	3,8,2,1	미발생	양호
86	05월 24일	06월 01일	6	양성	개화기	7,8,1	미발생	양호
87	06월 15일	사전폐기	3	미확인	-	9	미발생	양호
88	05월 24일	06월 02일	6	양성	영양생장	3,8	미발생	양호
89	06월 08일	사전폐기	4	미확인	-	9	미발생	양호
90	05월 26일	06월 02일	11	양성	개화중기	3,7,8	미발생	양호
91	05월 26일	06월 02일	11	양성	개화중기	3,7,8	미발생	양호
92	05월 26일	06월 02일	11	양성	개화중기	3,7,8	미발생	양호
93	05월 26일	06월 02일	11	양성	개화중기	3,7,8	미발생	양호
94	05월 12일	05월 24일	5	양성	개화기	7,8,2	발생	양호
95	05월 23일	06월 01일	6	양성	개화초기	7,8	미발생	양호
96	05월 25일	06월 01일	6	양성	꼬투리형성기	7,8	미발생	양호
97	06월 05일	사전폐기	4	미확인	-	9	미발생	양호
98	06월 23일	07월 03일	8	양성	꼬투리형성기	1,2,7,8	발생	양호

\*폐기방법: 제초제1, 경운2, 손제초3, 고온처리(종자)4, 매몰5, 무처리6, 예초7, 소각8, 사전폐기9

#### 다. LM유채 환경방출 사고 지역 방문조사

Ⅲ-1의 LM유채 환경방출 관련 문헌 조사에서 전술한 바와 같이 LM유채의 환경위해성은 도입유전자의 이동성 및 잡초화 가능성에 따라 크게 좌우되므로 이를 최소화시켜야 한다. 화분 비산을 통한 유전자이동은 LM유채로부터의 거리뿐 아니라 집단 크기, 지형 및 기후 등 다양한 조건에 영향을 받기 때문에 사후 관리에 앞서 LM유채 유출 사고 지역의 규모, 지형 및 기후 등 농업환경을 고려하여 위해성 관리 대책을 수립해야 한다.

본 연구팀은 2017년 9월 ~ 11월에 LM유채 방출 규모 및 농업 환경 등을 고려하여 각 권역별로 강원 4, 서울경기 6, 충북 6, 충남 7, 전북 4, 광주전남 5, 대구경북 3, 부산경남제주 9개소 등 총 44개소의 사고지역을 현장 방문 조사하였다(표 3-10 & 그림 3-9). 특히 제주는 유채 재배 및 자생 면적이 넓기 때문에 LM유채가 확인된 애월읍 유채 재배지 외에도 우도, 성산읍 및 함덕 지역을 추가로 방문하여 조사하였다. 그 결과 방문지역의 63.6% 인 28개소에서 유채의 발생이 확인되었다. 추계 기간 중 유채 발생이 확인 된 28개소를 다시 유채 발생 정도에 따라 비발생, 소량( $m^2$  당 1개체 미만), 중간( $m^2$  당 1개체 이상 10개체 미만), 대량( $m^2$  당 10개체 이상 100개체 미만), 초대량( $m^2$ 당 100개체 이상) 발생 지역으로 분류하였는데, 그 중 10개소는 유채 발생 정도가 중간 이상이므로 집중적인 후속 관리가 필요하다(그림 3-10). 그러나 현장방문을 실시하지 않은 지역을 고려하면 집중적인 후속 관리가 필요한 지역은 증가할 것으로 판단된다. 경기강원지역의 경우 주로 밭이나 노변에 LM유채가 재식 되었으며 발생개체의 월동성은 낮으나 종자로의 월동 및 후발생 가능성이 있고, 충청지역의 경우도 주로 밭이나 노변에 재식 되었으며 발생개체와 종자의 월동 및 후발생 가능성이 있어 주의가 필요하다. 특히 전남 나주(62)의 환경방출 사고지역과 같이 LM유채 방출지역 및 주변 지역에 근연종인 갯이 자생하는 경우 LM유채와 갯 간의 유전자 이동 가능성이 있으므로 즉시 제거 조치해야 한다. 또한 LM유채 재배지에 향후 동속 식물을 심지 않도록 제한할 필요가 있다.

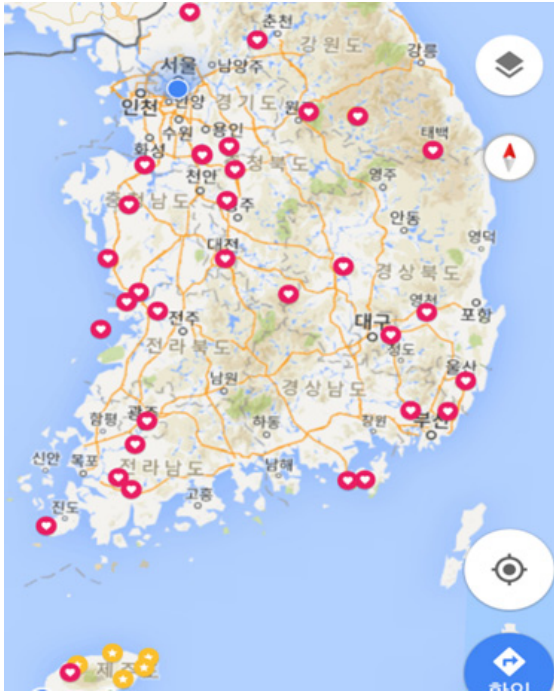


그림 3-9. 현장방문조사 지역

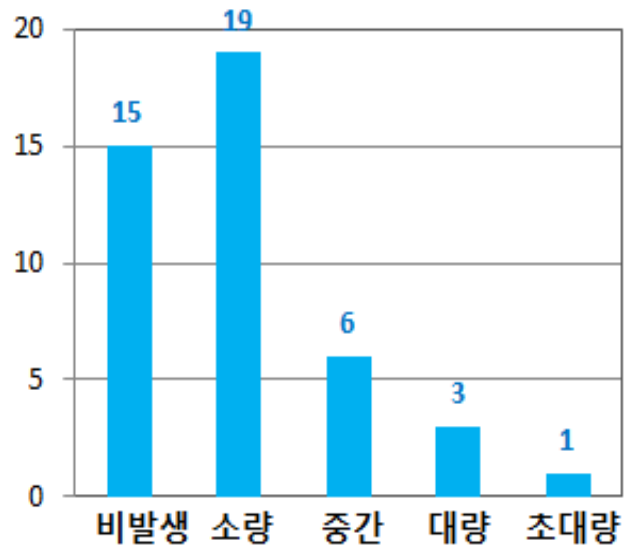


그림 3-10. 유채발생 확인지역의 유채발생 정도

표 3-10. LM유채 환경방출 사고지역(44개소) 현장방문 조사 결과

번호	관리 번호	지역 환경 <sup>a</sup>	방출지 환경 <sup>b</sup>	방출지 규모 <sup>c</sup>	격리 정도 <sup>d</sup>	후작물 재배 <sup>e</sup>	추계발생 정도 <sup>f</sup>	1차양성 여부 <sup>g</sup>	추계발생 양성 <sup>h</sup>
1	1	3	1	4	3	2	0	3	-
2	2	3	1,5	4	1	1	2	3	3
3	3	3	4	4	3	1	1	3	3
4	6	3	1	3	2	2	0	3	-
5	12	2	1	2	3	2	0	2	-
6	18	3	1	5	2	2	2	3	1
7	20	3	4	4	3	1	1	3	1
8	21	3	3, 4	4	3	1	1	3	3
9	26	3	5	4	1	2	1	3	3
10	27	3	1	4	2	2	1	3	3
11	30	3	1	4	3	2	1	3	3
12	31	3	4	3	3	2	0	3	-
13	34	2	1	4	2	1	3	3	1
14	35	2	1	4	2	1	3	3	1
15	36	3	1	5	1	2	1	3	3
16	37	3	1,5,9	5	2	2	3	3	1
17	38	3	1	5	2	2	2	3	3
18	39	3	4	4	3	2	0	3	-
19	40	1	3	5	3	2	2	3	1
20	41	2	1	5	2	1	1	3	1

번호	관리번호	지역환경 <sup>a</sup>	방출지환경 <sup>b</sup>	방출지규모 <sup>c</sup>	격리정도 <sup>d</sup>	후작물재배 <sup>e</sup>	추계발생정도 <sup>f</sup>	1차양성여부 <sup>g</sup>	추계발생양성 <sup>h</sup>
21	43	1	1,5	6	2	2	0	3	-
22	46	1	1,5	4	2	1	0	3	-
23	47	3	1,5	5	2	1	2	1	1
24	52	3	1	5	2	2	0	3	-
25	53	3	1,4,5	5	2	1	1	3	-
26	56	3	2	6	3	2	0	1	-
27	57	3	2	7	3	2	0	2	-
28	61	1	4	4	1	1	0	3	-
29	62	1	1,5	5	1	1	4	3	3
30	64	3	2	6	3	2	1	3	1
31	65	3	2	6	3	2	1	1	1
32	72	3	2	5	3	2	0	3	-
33	75	3	4	4	3	2	1	1	1
34	78	1	3,5	4	3	2	2	2	3
35	79	2	4,9	5	3	2	1	3	1
36	81	3	1	4	1	1	0	3	-
37	83	3	1,4	4	1	1	1	3	3
38	87	2	3	3	3	1	0	2	-
39	90	3	1,5	5	2	1	1	3	3
40	91	3	1,5	5	2	1	1	3	3
41	92	3	1,5	5	2	1	1	3	3
42	93	3	1,5	5	2	1	1	3	3
43	94	1	5	4	1	1	0	3	-
44	98	3	1	2	1	2	1	3	3

a. 지역 환경: 도시 1, 준농촌 2, 농촌 3

b. 방출지환경: 밭 1, 논 2, 하천 3, 도로변 4, 공원녹지 5, 온실 6, 가정집 정원 7, 군부대 8, 법사면 9

c. 방출규모: 10 m<sup>2</sup> 이하 1, 100 m<sup>2</sup> 이하 2, 1000 m<sup>2</sup> 이하 3, 10000 m<sup>2</sup> 이하 4, 100000 m<sup>2</sup> 이하 5, 1000000 m 이하 6, 1000000 m<sup>2</sup> 이상 7

d. 주변과 격리정도: 완전격리 0, 높음 1, 중간 2, 낮음 3

e. 후작물재배여부: 비경작 1, 경작 2

f. 추계발생정도: 비발생 0, 소량 1, 중간 2, 대량 3, 초대량 4

g. 1차 양성여부: 음성 1, 미확인 2, 양성 3

h. 추계발생 양성: 음성 1, 양성 3

방문지에 발생한 유채 및 근연종(갯, 무 등)의 잎을 샘플링하여 LM여부를 간이 검정하였다. 각 사고지역에서 초종별로 3개체 미만이 발생한 경우 전수를 샘플링하고, 3개체 이상인 경우 3-5개체의 잎을 풀링하여 채집하여 마쇄한 뒤 간이 검정을 수행하였다. 그 결과 54개 시료 중 16개에서 양성 반응이 나타났으며(그림 3-11), 양성 LM유채 검출 지역은 14개소로 현장 방문한 44개소의 31.8%를 차지하였다(표 3-11). 전남 나주(지역 관리 번호 62)의 경우 갯과 형태적으로 유사한 식물 개체에서 LM양성 반응이 나타났으나 유채의 형태적 변이가 다양하므로 초종을 단정 지을 수 없어 향후 유채/ 갯 특이적 분자마커를 활용하는 등의 추가적인 검정이 요구된다.



그림 3-11. 방문지 채집한 유채의 LM여부 간이 진단 결과 (국내)

표 3-11. LM유채 양성 검출 지역: 14개소

지역 번호*	시도	시군구	상세주소	시료종류
2	강원	태백시	천제단길	유채
3	강원	평창군	평창읍 유동리	유채
18	경기	용인시	처인구 옥산로	유채
21	경기	안성시	대덕면 만세로길	유채
26	경기	연천군	전곡읍 전곡로	유채
27	경기	과주시	적성면 어유지리	유채
30	충북	영동군	상촌면 궁촌리	유채
36	충북	청주시	청원군 오창읍	유채
38	충남	예산군	덕산면 시동리	유채
62	전남	나주시	빛가람로	유채, 갯 유사
78	경북	대구시	수성구 매호동	유채
83	경남	김해시	대청로 104번길	유채
90	경남	통영시	발개로	유채
98	제주	제주시	애월읍 어음13길	유채

\* ‘중자용 미승인 LMO 유채 재배지 관리카드’의 지역관리번호

## 라. LM유채 환경방출 사고지역의 위해도 분석

LM유채 방출지 98개소를 대상으로 환경 위해도 평가를 수행하였다. 그림 3-12는 LM유채 방출지를 권역별(북부, 중부, 남부) 및 경지 속성(농경지, 도시, 도로변)으로 세분한 뒤 LM유채의 위해도에 가장 큰 영향 요인인 유전자 이동성 및 잡초화 가능성 관련 특성 각각의 위해도 및 종합적인 위해도로 분류하였다.

방출지	특징	유전자 이동성			잡초화 가능성		위해도 (Risk)
		LM유채 발생개화	근연종 자생	생태계 격리	유채 월동성	종자 휴면생존	
경기강원 농경지	밭에 LM유채 재배	High	High	High	High	High	Low
충청지역 농경지	북부 밭, 남부 논	High	High	High	High	High	High
전라경상 농경지	논에 LM유채 재배	Low	High	High	High	High	Low
경기강원 도시 (인천, 부천)	하천변	High	High	High	High	High	Low
	도심 택지/공원	High	High	High	High	High	High
충청지역 도시 (청주, 대전)	하천변	High	High	High	High	High	High
	도심 택지/공원	High	High	High	High	High	High
전라경상 도시 (대구, 광주, 부산, 울산)	하천변	High	High	High	High	High	High
	도심 택지/공원	High	High	High	High	High	High
경기강원 도로변	평창, 인천, 안성	High	High	High	High	High	Low
충청지역 도로변	음성, 서천	High	High	High	High	High	High
전라경상 도로변	군산~광주, 영천~부산	High	High	High	High	High	High

그림 3-12. LM유채 방출지의 권역별 특성과 위해도

### (1) 유전자이동 위해도 분석

환경방출지별 LM유채의 유전자이동 위해성은 방출규모, 재배환경, 주변과의 격리 정도, 근연종 유무, 추계발생정도, 월동 가능성, LMO 양성 유무 및 추계발생개체의 LMO 양성 유무와 같은 8가지 요소의 영향을 곱하여 계산하였으며, 현장 방문 수행 지역은 붉은 글씨로 나타내었다(표 3-12). 각 요소 별 점수 산정 기준은 다음과 같다. 방출 규모의 경우 LM유채 환경방출 사고 지역 98개소의 재식 면적 분포(최소 10m<sup>2</sup> ~ 최대 1100000 m<sup>2</sup>) 및 기존 문헌 조사 결과를 참고하여 재식 면적이 10배 증가함에 따라 위해도 단계 값을 log scale을 따라 1씩 증가하도록 하였다. 또한 추계 기간 중 유채의 발생 정도는 단위 면적 당 유채의 개체 수를 기준으로 점수를

산정하였으며, 본 연구팀이 현장 방문 조사를 수행하지 못한 지역의 경우 일정 수준의 위해도가 있는 것으로 가정하여 소량 발생 수준인 1.5점을 일괄 적용하였다.

- 방출규모: 10 m<sup>2</sup> 이하 1, 100 m<sup>2</sup> 이하 2, 1000 m<sup>2</sup> 이하 3, 10000 m<sup>2</sup> 이하 4, 100000 m<sup>2</sup> 이하 5, 1000000 m<sup>2</sup> 이하 6, 1000000 m<sup>2</sup> 이상 7
- 재배환경: 온실 0.1, 군부대/가정집 1, 논/도심 2, 밭/산야 3, 도로변/하천변/범사면 4
- 격리정도: 매우 높음 0.1, 높음 1, 중간 2, 낮음 3
- 근연종유무: 낮음 1, 중간 2, 높음 3
- 추계발생정도: 비발생 1, 소량/미확인 1.5 (<1개체/m<sup>2</sup>), 중간 2 (<10개체/m<sup>2</sup>), 대량 3 (<100개체/m<sup>2</sup>), 초대량 4 (>100개체/m<sup>2</sup>)
- 월동가능성: 낮음 1, 중간 2, 높음 3
- LMO양성 유무: 음성 1, 미확인 2, 양성 3
- 추계발생개체 LMO양성 유무: 음성 1, 미확인 2, 양성 3

## (2) 잡초화 위해도 분석

환경방출지별 LM유체의 잡초화 가능성은 방출규모, 종자휴면생존환경, 폐기 시 생육단계, 폐기 방법, 하계발생정도, 추계발생정도, 월동 가능성, LMO 양성 유무 및 추계발생개체의 LMO 양성 유무와 같은 9가지 요소의 영향을 곱하여 계산하였으며, 현장 방문 수행 지역은 굵은 글씨로 나타내었다(표 3-13). 각 요소 별 점수 산정 기준은 다음과 같다.

- 방출규모: 10 m<sup>2</sup> 이하 1, 100 m<sup>2</sup> 이하 2, 1000 m<sup>2</sup> 이하 3, 10000 m<sup>2</sup> 이하 4, 100000 m<sup>2</sup> 이하 5, 1000000 m<sup>2</sup> 이하 6, 1000000 m<sup>2</sup> 이상 7
- 종자휴면생존환경: 논 0.1, 기타환경 1
- 폐기시 생육단계: 영양생장 1, 미확인/사전폐기 2, 개화기 3, 꼬투리형성기 4
- 폐기방법: 제거소각 1, 제초제/영양생장기 경운매립/무처리 2, 개화기 이후 경운매립 3
- 하계발생정도: 미발생 1, 발생 2
- 추계발생정도: 비발생/미확인 1, 소량 1.5, 중간 2, 대량 3, 초대량 4
- 월동가능성: 낮음 1, 중간 2, 높음 3
- LMO양성 유무: 음성 1, 미확인 2, 양성 3
- 추계발생개체 LMO양성 유무: 음성 1, 미확인 2, 양성 3



표 3-12. LM유채 환경방출 사고지역 유전자 이동 위해성 분석

관리 번호	방출 규모	재배지 환경	격리 정도	근연종 유무	추계발생 정도	일동 가능성	LMO 양성	추계발생 양성	종합값
1	4	3	3	1	1	1	3	2	216
2	4	4	3	1	3	1	3	3	1296
3	4	4	3	1	1.5	1	3	3	648
4	3	3	3	1	1.5	1	3	2	243
5	4	4	3	1	1.5	1	3	2	432
6	3	3	2	1	1	1	3	2	108
7	1	2	1	1	1.5	1	2	2	12
8	3	4	3	1	1.5	1	3	2	324
9	3	4	1	1	1.5	1	3	2	108
10	4	4	3	1	1.5	1	1	2	144
11	4	3	2	1	1	1	2	2	96
12	2	3	2	1	1	1	2	2	48
13	3	4	2	1	1.5	1	3	2	216
14	4	4	1	1	1.5	1	3	2	144
15	2	3	1	1	1.5	1	2	2	36
16	1	0.1	0.1	1	1.5	2	2	2	0.12
17	4	4	1	2	1.5	1	3	2	288
18	5	3	3	2	2	1	3	1	540
19	3	3	2	2	1.5	1	2	2	216
20	4	4	3	2	1.5	2	3	1	864
21	4	4	3	2	1.5	2	3	3	2592
22	3	2	3	2	1.5	2	1	2	216
23	4	3	2	2	1.5	2	2	2	576
24	4	2	3	2	1.5	2	1	2	288
25	2	1	2	2	1.5	2	2	2	96
26	4	4	1	1	1.5	1	3	3	216
27	4	3	2	1	1.5	1	3	3	324
28	3	1	2	1	1.5	1	2	2	36
29	3	1	2	1	1.5	2	2	2	72
30	4	3	3	2	1.5	2	3	3	1944
31	3	4	3	2	1	2	3	2	864
32	2	4	1	2	1.5	2	3	2	288
33	5	4	1	2	1	2	3	2	480
34	4	3	2	2	4	2	3	1	1152
35	4	3	2	2	4	2	3	1	1152
36	5	3	1	2	1.5	2	3	3	810
37	5	4	2	2	4	2	3	1	1920
38	5	3	2	2	2	2	3	3	2160
39	4	4	3	2	1	2	3	2	1152
40	5	4	3	2	3	2	3	1	2160
41	5	3	2	2	1.5	2	3	1	540
42	4	3	3	2	1.5	2	3	2	1296
43	6	4	2	2	1	2	3	2	1152
44	3	1	2	2	1.5	2	1	2	72
45	4	3	3	2	1.5	2	3	2	1296
46	4	4	2	2	1	2	3	2	768
47	5	4	2	2	2	2	1	1	320
48	6	2	3	2	1.5	3	1	2	648

관리 번호	방출 규모	재배지 환경	격리 정도	근연종 유무	추계발생 정도	일동 가능성	LMO 양성	추계발생 양성	종합값
49	6	2	3	2	1.5	3	1	2	648
50	3	4	3	2	1.5	3	3	2	1944
51	4	3	3	2	1.5	3	3	2	1944
<b>52</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>360</b>
<b>53</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>1.5</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>720</b>
54	4	4	2	2	1.5	3	3	2	1728
55	5	2	3	2	1.5	3	3	2	1620
<b>56</b>	<b>6</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>432</b>
<b>57</b>	<b>7</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>1008</b>
58	4	3	3	3	1.5	3	3	2	2916
59	2	3	3	3	1.5	3	2	2	972
60	4	4	3	2	1.5	3	3	2	2592
<b>61</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>648</b>
<b>62</b>	<b>5</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3240</b>
63	2	3	3	3	1.5	3	1	2	486
<b>64</b>	<b>6</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>1.5</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>1458</b>
<b>65</b>	<b>6</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>1.5</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>486</b>
66	6	2	3	3	1.5	3	3	2	2916
67	4	2	3	3	3	3	2	2	2592
68	6	2	3	3	3	3	1	2	1944
69	6	2	3	3	3	3	3	2	5832
70	2	3	3	3	1.5	3	3	2	1458
71	4	2	3	3	1.5	3	3	2	1944
<b>72</b>	<b>5</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>1620</b>
73	6	2	3	3	1.5	3	3	2	2916
74	2	3	1	2	1.5	3	3	2	324
<b>75</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>1.5</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>432</b>
76	4	3	2	2	1.5	3	3	2	1296
77	4	4	3	2	1.5	3	3	2	2592
<b>78</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>5184</b>
<b>79</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>1.5</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>1620</b>
80	4	4	2	3	1.5	3	3	2	2592
<b>81</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>648</b>
82	3	3	2	3	1.5	3	3	2	1458
<b>83</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>1.5</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>972</b>
84	3	3	1	3	1.5	3	2	2	486
85	3	3	3	3	1.5	3	3	2	2187
86	2	3	2	3	1.5	3	3	2	972
<b>87</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>1296</b>
88	2	2	3	3	1.5	3	3	2	972
89	4	3	3	3	1.5	3	2	2	1944
<b>90</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>1.5</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>1215</b>
<b>91</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>1.5</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>1215</b>
<b>92</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>1.5</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>1215</b>
<b>93</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>1.5</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>1215</b>
<b>94</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>864</b>
95	1	3	2	3	1.5	3	3	2	486
96	3	3	3	3	1.5	3	3	2	2187
97	3	3	3	3	1.5	3	2	2	1458
<b>98</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>1.5</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>729</b>

표 3-13. LM유채 환경방출 사고지역 잡초화 위해성 분석







관리 번호	방출 규모	중자휴면 생존환경	폐기시 생육단계	폐기방법	하계발생	추계발생 정도	월동 가능성	LMO 양성	종합값
1	4	1	3	3	2	1	1	3	216
2	4	1	3	3	1	3	1	3	324
3	4	1	1	1	2	1.5	1	3	36
4	3	1	1	1	2	1.5	1	3	27
5	4	1	3	1	2	1.5	1	3	108
6	3	1	3	3	1	1	1	3	81
7	1	1	2	1	1	1.5	1	2	6
8	3	1	1	1	2	1.5	1	3	27
9	3	1	3	3	2	1.5	1	3	243
10	4	1	3	2	1	1.5	1	1	36
11	4	1	2	1	1	1	1	2	16
12	2	1	2	1	1	1	1	2	8
13	3	1	3	3	2	1.5	1	3	243
14	4	1	3	3	2	1.5	1	3	324
15	2	1	2	2	1	1.5	1	2	24
16	1	1	2	1	1	1.5	2	2	12
17	4	1	1	2	1	1.5	1	3	36
18	5	1	3	3	2	2	1	3	540
19	3	1	2	2	1	1.5	1	2	36
20	4	1	4	1	2	1.5	2	3	288
21	4	1	4	1	1	1.5	2	3	144
22	3	0.1	2	2	1	1.5	2	1	3.6
23	4	1	3	3	1	1.5	2	2	216
24	4	0.1	2	2	2	1.5	2	1	9.6
25	2	1	2	1	2	1.5	2	2	48
26	4	1	3	1	1	1.5	1	3	54
27	4	1	3	3	1	1.5	1	3	162
28	3	1	2	2	1	1.5	1	2	36
29	3	1	2	2	1	1.5	2	2	72
30	4	1	3	1	2	1.5	2	3	216
31	3	1	2	1	2	1	2	3	72
32	2	1	1	2	2	1.5	2	3	72
33	5	1	3	3	2	1	2	3	540
34	4	1	3	3	2	4	2	3	1728
35	4	1	3	3	2	4	2	3	1728
36	5	1	2	1	2	1.5	2	3	180
37	5	1	1	1	2	4	2	3	240
38	5	1	3	3	2	2	2	3	1080
39	4	1	3	2	1	1	2	3	144
40	5	1	3	3	2	3	2	3	1620
41	5	1	3	3	2	1.5	2	3	810
42	4	1	3	1	2	1.5	2	3	216
43	6	1	4	1	2	1	2	3	288
44	3	1	2	2	2	1.5	2	1	72
45	4	1	4	2	2	1.5	2	3	576
46	4	1	2	2	2	1	2	3	192
47	5	1	4	2	2	2	2	1	320
48	6	0.1	2	1	2	1.5	3	1	10.8

관리 번호	방출 규모	중자휴면 생존환경	폐기시 생육단계	폐기방법	하계발생	추계발생 정도	월동 가능성	LMO 양성	종합값
49	6	0.1	2	1	2	1.5	3	1	10.8
50	3	1	2	1	2	1.5	3	3	162
51	4	1	4	3	2	1.5	3	3	1296
<b>52</b>	<b>5</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>540</b>
<b>53</b>	<b>5</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>1.5</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>810</b>
54	4	1	3	3	1	1.5	3	3	486
55	5	0.1	3	2	2	1.5	3	3	81
<b>56</b>	<b>6</b>	<b>0.1</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>14.4</b>
<b>57</b>	<b>7</b>	<b>0.1</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>16.8</b>
58	4	1	2	2	2	1.5	3	3	432
59	2	1	2	2	1	1.5	3	2	72
60	4	1	1	1	2	1.5	3	3	108
<b>61</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>72</b>
<b>62</b>	<b>5</b>	<b>1</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>4320</b>
63	2	1	2	2	1	1.5	3	1	36
<b>64</b>	<b>6</b>	<b>0.1</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>1.5</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>64.8</b>
<b>65</b>	<b>6</b>	<b>0.1</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>1.5</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>10.8</b>
66	6	0.1	2	2	2	1.5	3	3	64.8
67	4	0.1	2	2	1	3	3	2	28.8
68	6	0.1	2	2	2	3	3	1	43.2
69	6	0.1	2	2	2	3	3	3	129.6
70	2	1	1	2	2	1.5	3	3	108
71	4	0.1	2	1	1	1.5	3	3	10.8
<b>72</b>	<b>5</b>	<b>0.1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>9</b>
73	6	0.1	2	2	1	1.5	3	3	32.4
74	2	1	1	1	1	1.5	3	3	27
<b>75</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1.5</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>36</b>
76	4	1	1	1	2	1.5	3	3	108
77	4	1	4	2	2	1.5	3	3	864
<b>78</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>48</b>
<b>79</b>	<b>5</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>1.5</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>540</b>
80	4	1	1	2	1	1.5	3	3	108
<b>81</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>216</b>
82	3	1	3	1	2	1.5	3	3	243
<b>83</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1.5</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>324</b>
84	3	1	2	2	1	1.5	3	2	108
85	3	1	1	1	1	1.5	3	3	40.5
86	2	1	3	1	1	1.5	3	3	81
<b>87</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>72</b>
88	2	1	1	1	1	1.5	3	3	27
89	4	1	2	2	1	1.5	3	2	144
<b>90</b>	<b>5</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1.5</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>202.5</b>
<b>91</b>	<b>5</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1.5</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>202.5</b>
<b>92</b>	<b>5</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1.5</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>202.5</b>
<b>93</b>	<b>5</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1.5</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>202.5</b>
<b>94</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>144</b>
95	1	1	3	1	1	1.5	3	3	40.5
96	3	1	4	1	1	1.5	3	3	162
97	3	1	2	2	1	1.5	3	2	108
<b>98</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1.5</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>216</b>

환경방출지별 LM유체의 종합 환경위해도는 유전자 이동 위해성 지수와 잡초화 위해성 지수의 합으로 도출하였으며, 환경방출지별 위해도를 표 3-14와 같이 각 위해도 지수에 따라 여섯 개의 구간을 정하여 색깔로 표시하였다. 그 결과 위해성이 중간 이상인 지역이 53개소로 나타났다(그림 3-13 & 표 3-15). 그 중 경기 안성(21), 충북 청주(34-35), 충남 예산(38), 대전 서구(40), 전북 무주(51), 전남 순천(58), 광주 동구(60), 전남 나주(62), 전남 영안(66), 전남 신안(67, 69), 전남 진도(73), 경북 칠곡(77), 대구 수성(78), 경북 구미(80) 지역 등 16개소는 위해성이 높아 향후 중점적인 관리가 필요하다.

다만, 본 연구팀이 현장 방문 조사를 수행한 44개소 외의 LM유체 환경방출 사고 지역 54개소에 대한 위해도 분석은 국립종자원의 현장 방문 조사 보고 내용을 참조하였고, 추계 기간 중 유체의 발생 정도 일정 수준의 위해도가 있는 것으로 가정하여 소량 발생 수준인 1.5점을 일괄 적용하였으므로 각 환경 방출지의 실제 위해도와 다소 차이가 있을 수 있다. 따라서 향후 본 연구에서 제시한 위해도 계산 방식에 각 연구기관의 현장 조사 결과를 적용하여 보다 정확한 위해도를 재평가 하는 것이 필요할 것이다. 또한 본 종합 위해도 산출 방식에 의하여 모니터링 및 사후 관리 진행에 따른 환경방출 사고 지역의 위해도 변화를 추적하여 중점 관리 지역 선정의 기준으로 활용할 수 있을 것으로 사료된다. 아울러 후속관리를 진행하면서 각 위해도 평가 요소값들이 변화할 것이므로 이를 통해 전체적인 환경방출지별 위해도를 재평가하여 이후의 관리방안을 새롭게 적용하는데 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

표 3-14. LM유체 환경방출지별 위해도 구분 및 기준

위해도		유전자 이동성	잡초화 가능성	종합위해도
매우 낮음		0-99	0-49	0-99
낮음		100-499	50-199	100-499
다소 낮음		500-999	200-499	500-999
중간		1000-2499	500-999	1000-2499
높음		2500-4999	1000-1999	2500-4999
매우 높음		> 5000	> 2000	> 5000

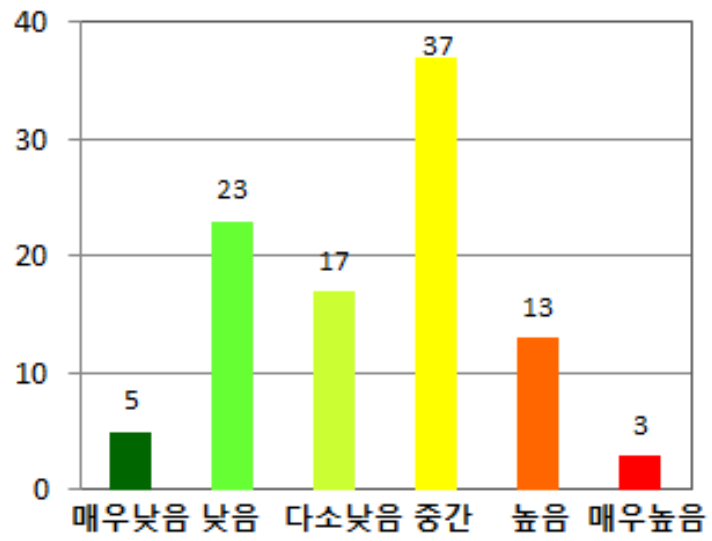


그림 3-13. LM유채 환경방출 사고지역 위해성 정도

표 3-15. LM유채 환경방출 사고지별 환경위해도



관리번호	환경방출지	유전자이동위험성	잡초화위험성	종합환경위해성	관리번호	환경방출지	유전자이동위험성	잡초화위험성	종합환경위해성
1	강원 춘천시	216	216	432	26	경기 연천군	216	54	270
2	강원 태백시	1296	324	1620	27	경기 파주시	324	162	486
3	강원 평창군	648	36	684	28	경기 파주시	36	36	72
4	강원 인제군	243	27	270	29	충북 괴산군	72	72	144
5	강원 인제군	432	108	540	30	충북 영동군	1944	216	2160
6	강원 원주시	108	81	189	31	충북 음성군	864	72	936
7	서울 동작구	12	6	18	32	충북 진천군	288	72	360
8	인천 용진군	324	27	351	33	충북 진천군	480	540	1020
9	인천 서구	108	243	351	34	충북 청주시	1152	1728	2880
10	인천 연수구	144	36	180	35	충북 청주시	1152	1728	2880
11	경기 수원시	96	16	112	36	충북 청주시	810	180	990
12	경기 수원시	48	8	56	37	충북 충주시	1920	240	2160
13	경기 부천시	216	243	459	38	충남 예산군	2160	1080	3240
14	경기 과천시	144	324	468	39	충남 서천군	1152	144	1296
15	경기 광주시	36	24	60	40	대전 서구	2160	1620	3780
16	경기 이천시	0	12	12	41	충남 당진시	540	810	1350
17	경기 화성시	288	36	324	42	세종시	1296	216	1512
18	경기 용인시	540	540	1080	43	충남 홍성군	1152	288	1440
19	경기 용인시	216	36	252	44	충남 홍성군	72	72	144
20	경기 안성시	864	288	1152	45	충남 공주시	1296	576	1872
21	경기 안성시	2592	144	2736	46	충남 보령시	768	192	960
22	경기 안성시	216	3.6	220	47	충남 서천군	320	320	640
23	경기 안성시	576	216	792	48	전북 고창군	648	10.8	659
24	경기 안성시	288	9.6	298	49	전북 고창군	648	10.8	659
25	경기 안성시	96	48	144	50	전북 임실군	1944	162	2106

표 3-15. LM유채 환경방출 사고지별 환경위해도(계속)



관리번호	환경방출지	유전자이동위험성	잡초화위험성	종합환경위해성	관리번호	환경방출지	유전자이동위험성	잡초화위험성	종합환경위해성
51	전북 무주군	1944	1296	3240	75	경북 영천시	432	36	468
52	전북 군산시	360	540	900	76	경북 의성군	1296	108	1404
53	전북 군산시	720	810	1530	77	경북 칠곡군	2592	864	3456
54	전북 부안군	1728	486	2214	78	대구 수성구	5184	48	5232
55	전북 완주군	1620	81	1701	79	대구 동구	1620	540	2160
56	전북 익산시	432	14.4	446	80	경북 구미시	2592	108	2700
57	전북 익산시	1008	16.8	1025	81	경남 거제시	648	216	864
58	전남 순천시	2916	432	3348	82	경남 거제시	1458	243	1701
59	전남 화순군	972	72	1044	83	경남 김해시	972	324	1296
60	광주 동구	2592	108	2700	84	경남 남해군	486	108	594
61	광주 남구	648	72	720	85	경남 남해군	2187	40.5	2228
62	전남 나주시	3240	4320	7560	86	부산 기장군	972	81	1053
63	전남 무안군	486	36	522	87	부산 기장군	1296	72	1368
64	전남 영암군	1458	64.8	1523	88	부산 금정구	972	27	999
65	전남 강진구	486	10.8	497	89	경남 사천시	1944	144	2088
66	전남 영암군	2916	64.8	2981	90	경남 통영시	1215	202.5	1418
67	전남 신안군	2592	28.8	2621	91	경남 통영시	1215	202.5	1418
68	전남 신안군	1944	43.2	1987	92	경남 통영시	1215	202.5	1418
69	전남 신안군	5832	129.6	5962	93	경남 통영시	1215	202.5	1418
70	전남 진도군	1458	108	1566	94	울산 중구	864	144	1008
71	전남 진도군	1944	10.8	1955	95	울산 울주군	486	40.5	527
72	전남 진도군	1620	9	1629	96	경남 함양군	2187	162	2349
73	전남 진도군	2916	32.4	2948	97	경남 합천군	1458	108	1566
74	경북 군위군	324	27	351	98	제주 애월읍	729	216	945



### 3. LM유채 국내의 유통·보급경로 파악 및 문제점 분석

#### 가. 국내 유통경로 파악 및 문제점 분석

금번 미승인 LM유채는 일반 종자용 유채로 수입되었으며, 4개 수입업체가 중국에서 유채종자를 확보하여 국내반입 후 다양한 업체를 통해 농가/재배업체로 유통되었다. 그림 3-14과 같이 LM유채 방출지 98개소 중 71개소에 공급된 종자가 A업체를 통해 유통되었으며, B업체 18개소, 나머지 두 업체에서 9개소에 종자를 공급하였다.

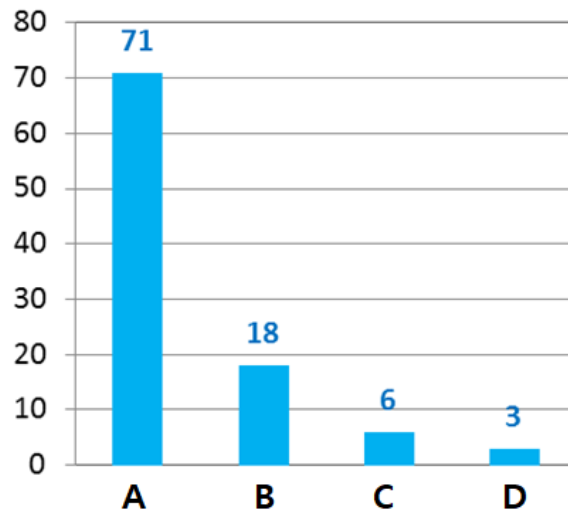


그림 3-14. 종자용 미승인 LM유채 수입업체별 공급 개소

수입업체 A는 행정적으로 부도 처리 되어 방문이 불가하였으며, B와 C 업체는 중국과 이메일로 거래하였기에 제공할 정보 없다고 하였다. D 업체의 경우 산둥성의 업체에 유채 종자 구입 의뢰하였으며, 산둥성 업체는 랴오닝성 업체에서 종자 확보 후 베이징 소재 업체를 통해 유채 종자를 공급하여 중국 내 종자 매집 경로 역시 파악하기 어려울 것으로 사료된다.

종자용 미승인 LM유채의 국내반입 경로는 A, B 업체가 주 반입경로였으며 국경 검사를 정상적으로 거친 종자로 확인된다. 따라서 미승인 LMO 종자 검출 시 시료채취 기준을 강화하고 수입되는 종자량에 따라 충분히 대표성을 띠는 표본을 추출할 수 있는 표본 추출방식 및 정확한 검정법을 확립하는 것이 시급하다. 또한 이번에

문제 된 미승인 LM유채 종자는 조경 및 녹화용으로 수입된 것으로서 종묘관리 전문성이 없는 단순 무역업체에 의해 수입되어 종자의 품질이 보장되지 않았으며, 사고 발생 시 원인 파악에도 비협조적이었다. 따라서 미승인 LMO의 불법유입을 차단하기 위해서는 국내·외에서 LMO로 상용화된 식물종의 종자를 재배용으로 수입할 경우, 자체 보증 능력을 지닌 전문 종자사업자에 한하여 종자유통을 하도록 유도하고, 수입종자에 대한 국경 검사를 강화하는 등 제도적 장치 마련이 요구된다.

#### 나. 수출국 현지 방문 조사

2017년 12월 2일 ~ 4일에 서울대학교 연구팀과 환경단체 합동으로 미승인 LM유채 수출국인 중국 내 유채 재배지 방문 조사를 실시하였다. 방문 조사지인 중국 강소성은 연간 유채 재배면적이 약 37 ha이며, 이번 조사에서는 강소성 내 난징, 양주, 태주 및 난통 지역의 11개소를 방문하여 시료를 채취하였다(그림 3-15). 현지에서 방문한 재배포장 대부분이 유채를 육묘하여 이식하는 방식으로 재배되고 있었으며, 일부 직파 재배 포장의 경우 갓, 유채, 무 등이 재발생하여 혼재되어 있었다. 현지에서 채취한 시료 40점을 대상으로 간이 검정을 실시한 결과 모든 시료에서 LM유채가 미검출되었다(그림 3-16). 강소성에서 재배되는 유채는 대부분 카놀라유 생산용으로 품질 관리가 잘 되고 있었다.



그림 3-15. 강소성 유채 재배지 방문 지역

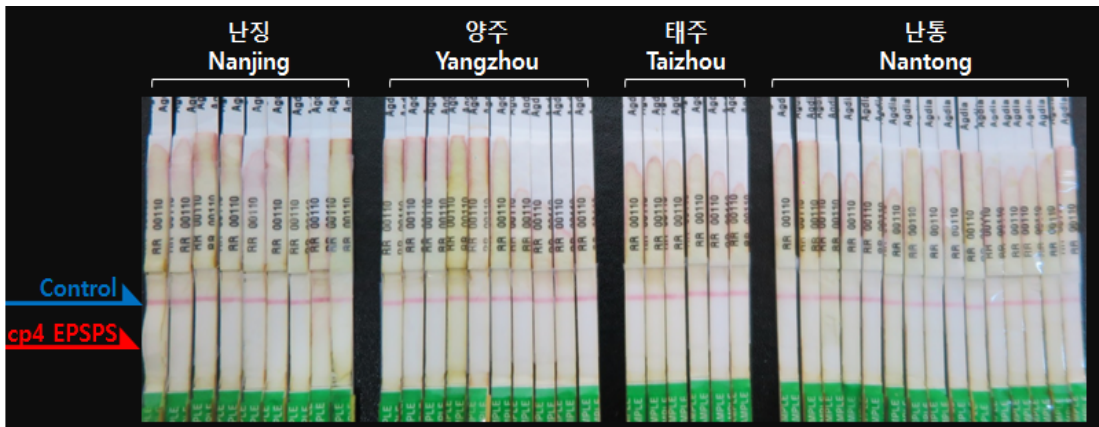


그림 3-16. 방문지 채집한 유체의 LM여부 간이 진단 결과 (중국)

이번에 중국에서 수입된 LM유채 종자의 경우, 발아율이 매우 불량하고 순도도 좋지 않았기 때문에 중국 내 관상용 유채 포장에 혼입된 LM유채 종자를 채종하여 유통하였거나 제 3국에서 수입한 LM유채 종자를 재수출한 두 가지 가능성을 고려해볼 수 있다. 이를 파악하기 위해서는 국내 수입업체의 거래처를 역추적하는 방식으로 접근하는 것이 가장 적합할 것으로 사료된다.

## 4. 국내 LMO 관련 법령 검토 및 제도적 문제점 분석

### 가. 국내 LMO 관련 법령 및 제도

국내의 유전자변형생물체의 국가 간 이동 등에 관한 법률(이하 LMO법)은 UN 생물다양성협약 산하 의정서로 채택된 「바이오안전성에 관한 카르타헤나 의정서」의 시행에 필요한 사항과 유전자변형생물체의 개발·생산·수입·수출·유통 등에 관한 안전성의 확보를 위하여 필요한 사항을 정함으로써 유전자변형생물체로 인한 국민의 건강과 생물다양성의 보전 및 지속적인 이용에 미치는 위해를 사전에 방지하고 국민생활의 향상 및 국제 협력을 증진함을 목적으로 하며, 2001년 3월 제정되어 2008년 1월부터 시행되었다.

LMO 관련법령은 LMO법과 기존 관련법(식품위생법, 사료관리법, 농수산물 품질관리법, 식물방역법)을 동시 운용하고 있으며, LMO의 용도에 따라 LMO 안전관리 주체를 달리 한다(그림 3-17).

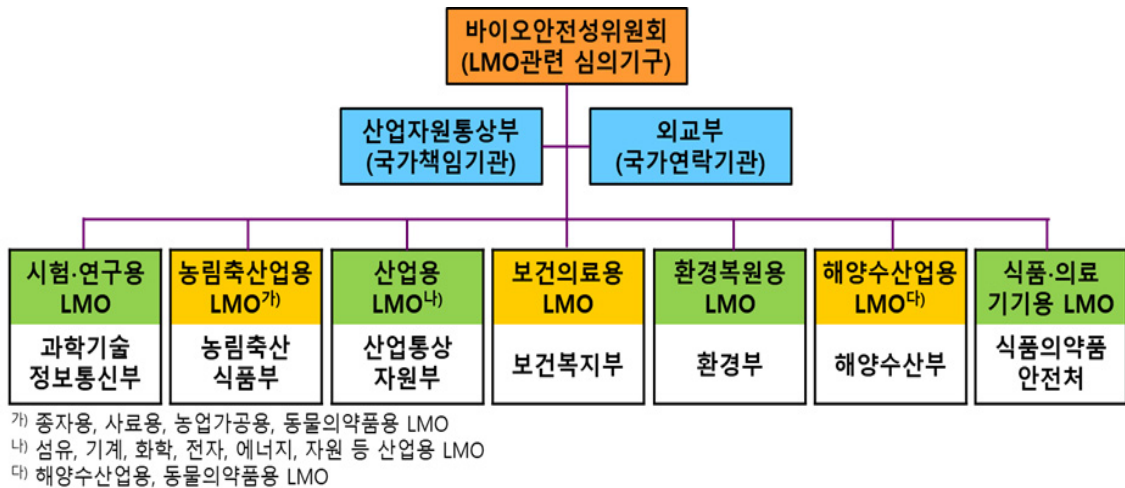


그림 3-17. LMO 용도별 소관 부처

LMO법 및 기존 관련법의 하위 법으로서 8개 부처의 고시·훈령·예규 등 24개 행정규칙이 시행 중이다(표 3-15). LMO의 안전관리 전반 내용은

LMO법을 따르며 소관부처는 산업통상자원부이다. 기존 관련법 내에서 LMO 취급 및 안전관리에 적용되는 내용 범위 및 소관부처는 다음과 같다.

- 식품위생법: 식품용 LMO의 안전성 심사, LMO 원료로 가공된 식품에 대한 표시 등(식품의약품안전처)
- 사료관리법: LMO 원료로 가공된 사료에 대한 표시 등 포함(농림축산식품부)
- 농수산물 품질관리법: LMO 농수산물에 대한 표시 등 포함(농림축산식품부, 식품의약품안전처, 해양수산부)
- 식물방역법: 수입식물 검역법 등 포함(농림축산식품부)

표 3-16. 국내 LMO 관련 행정규칙

연번	행정규칙명	행정규칙 종류	기관명
1-7	유전자변형생물체의 국가 간 이동 등에 관한 통합고시	통합고시	과학기술정보통신부, 농림축산식품부, 보건복지부, 산업통상자원부, 식품의약품안전 처, 해양수산부, 보건복지부
8	유전자변형생물체 전문가심사위원회 운영규정	과학기술정보통신부훈령	과학기술정보통신부
9	농림축산업용 유전자변형생물체의 국경검사세부실시요령	농림축산검역본부고시	농림축산식품부
10	사료용 및 농업가공용 유전자변형생물체 수입승인·사후관리 요령	국립농산물품질관리원예규	농림축산식품부
11	종자용 유전자변형생물체 수입·생산승인 및 사후관리 요령	국립종자원예규	농림축산식품부
12	국립식량과학원 유전자변형생물체 실험 및 취급업무에 관한 지침	국립식량과학원훈령	농촌진흥청
13	국립원예특작과학원 유전자변형생물체 실험 및 취급업무에 관한 지침	국립원예특작과학원훈령	농촌진흥청
14	농림축산업용 유전자변형생물체 실험 및 취급 규정	농촌진흥청훈령	농촌진흥청
15	농림축산업용 유전자변형생물체 위해성 전문가심사위원회 설치·운영에 관한 규칙	농촌진흥청훈령	농촌진흥청
16	농림축산업용 유전자변형생물체 위해성 평가기관 지정기준 등에 관한 규정	농촌진흥청고시	농촌진흥청
17	유전자변형생물체 실험 및 취급 생물안전위원회 운영지침	국립농업과학원훈령	농촌진흥청
18	유전자변형생물체 보건안전 전문가 위원회 운영규정	질병관리본부예규	보건복지부
19	유전자변형식품시험기관 인정을 위한 추가기술요건	기술표준원고시	산업통상자원부
20	유전자변형농수산물 표시 위반 신고포상금 지급요령	식품의약품안전처고시	식품의약품안전처
21	유전자변형식품등의 안전성 심사 등에 관한 규정	식품의약품안전처고시	식품의약품안전처
22	유전자변형식품등의 표시기준	식품의약품안전처고시	식품의약품안전처
23	유전자변형 표시대상 농산물의 시료수거 및 검정방법	식품의약품안전처고시	식품의약품안전처
24	해양수산용 유전자변형생물체 심사위원회 운영규정	국립수산과학원훈령	해양수산부

### 나. 농업용 LMO 유통단계별 법령 검토 및 제도적 문제점 분석

농림축산업용 LMO의 안전관리에 관한 업무는 농림축산식품부 국제협력국 검역정책과에서 총괄하며, 농림축산식품부 유전자변형생물체의 국가 간 이동 등에 관한 통합고시 제1-3조(권한의 위임)에 근거하여 농림축산식품부 장관은 농촌진흥청장, 국립농산물품질관리원장, 국립종자원장 및 농림축산검역본부장에게 관련 업무를 위임한다(그림 3-18).

농업용 LMO의 국내 수입·유통 단계는 크게 수입·생산 승인, 국경 검사, 국내 유통의 세 단계로 구분되며, 각 단계별로 해당기관이 LMO 안전관리 업무를 수행한다(그림 3-19). 그러나 금번 미승인 LM유체의 비의도적 환경방출 사고의 발생은 국내 농업용 LMO 안전관리체계에 문제점이 존재함을 시사한다. 따라서 본 장에서는 국내 농업용 LMO의 유통단계별 안전관리 관련 법령을 검토하여 제도적 문제점을 파악하고자 수행되었다.

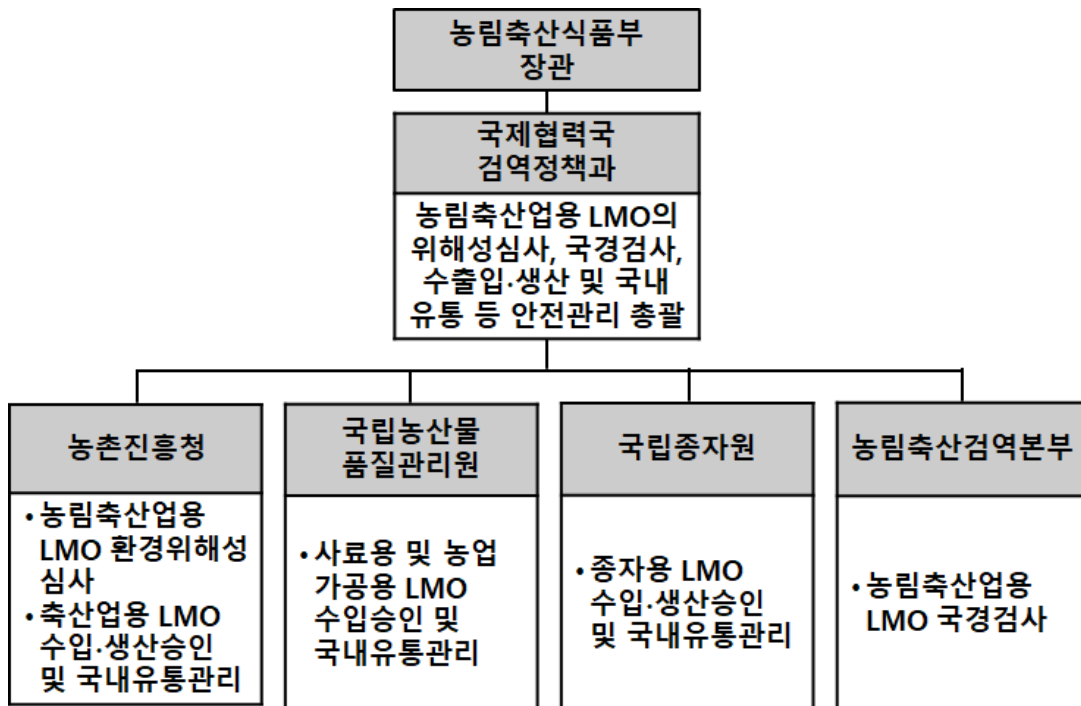


그림 3-18. 농림축산업용 LMO 안전관리 관련 조직도 및 소관업무



그림 3-19. 농업용 LMO 유통단계별 국내 안전관리체계

### (1) 수입·생산 승인 단계

- 현행: LMO법 제7조의2항(신규 유전자변형생물체에 대한 위해성심사)에 따라 신규 유전자변형생물체를 수입·생산·이용하려는 자는 관계중앙행정기관의 위해성심사를 받아야 하며, 농업용 LMO의 경우 환경 방출되거나 환경 방출될 우려가 있으므로 작물재배 환경(농림축산식품부), 자연생태계(환경부)에 미치는 영향에 대한 평가를 포함해야 한다.
- 문제점 1: LMO법 제 2조(정의) 4호 “환경 방출“이란 유전자변형생물체를 시설, 장치, 그 밖의 구조물을 이용하여 밀폐하지 아니하고 의도적으로 자연환경에 노출되게 하는 것을 말한다고 정의하고 있다. 본 정의에는 비의도적 환경방출에 대한 개념이 누락되어 있기 때문에 관련자가 환경방출 사고 발생 시 책임을 회피하기 위해 악용할 여지가 존재하므로 이를 방지하고자 기술을 수정할 필요가 있다. 또한 비의도적 환경방출에 의한 사고 발생 시 보상·처벌의 근거 마련을 위해서도 “환경 방출” 정의에 “의도적으로” 라는 기술을 삭제하여 의도적·비의도적 환경방출의 개념을 모두 포함시켜야 한다.
- 문제점 2: 신규 LMO에 대한 환경위해성 심사 규정은 있으나 실제로 적용 가능한 위해성 평가 방법이 확립되지 않은 상태이다. LMO 환경위해성 심사의 기준·방법의 정립을 위해 국내 LMO 환경위해성평가기관(농과원, 식량원, 대학 등)을



적극 활용하는 것이 필요하다.

## (2) 국경검사 단계

### ○ 국경검사 대상

- 현행: 농림축산업용 LMO 국경검사세부실시요령 제3조(검사대상)에 따르면 유전자변형생물체의 국경검사대상은 원형상태로 환경에 방출될 우려가 있는 종자용·사료용·농업가공용 유전자변형생물체로써 농림축산검역본부장이 정한 품목(28품목)으로 기술되어 있다.
- 문제점: 실제로는 LMO 여부에 관계없이 종자용·사료용·농업가공용으로 수입되어 원형상태로 환경에 방출될 우려가 있는 품목 모두를 국경검사의 대상으로 하고 있지만, LMO법 상 명문화되어 있지 않으므로 혼동의 우려가 있다. 따라서 LMO법에 국경검사 대상에 대한 기술을 보다 명확히 수정해야 한다.

### ○ 시료 채취 방법

- 현행: 시료 채취는 농림축산업용 유전자변형생물체의 국경검사세부실시요령 별표1 “검사단위 구성 및 시료채취·관리방법”, 수입식물의 검역요령 별표6 “컨테이너에 적재된 식물검역대상물품의 검사방법”에 따른다.

전용선박으로 수입한 경우: 선창별로 5개소(네 모서리, 중앙부위)를 선정한 후 부위별로 균일하게 채취, 혼합

컨테이너: 출입문에서 전체 길이의 1/5 이상 검역. 추출 수량은 컨테이너 수에 따라 달라짐.

- 문제점: 현행 시료채취 방법은 모집단이 균일하다는 가정 하에서 수립된 것으로서 금번 LM유채 환경방출 사고와 같이 종자의 순도가 낮고 균일성이 떨어지는 경우 수입 물량을 대표하지 못하므로 시료 채취기준을 강화해야 한다.

## (3) 국경 검사 후속 조치

- 현행: LMO법 시행령 제23조15(폐기·반송 명령), 통합고시 제3-33조(폐기처분

등) 폐기는 소각 또는 매몰을 원칙으로 하되 농림축산업용 유전자변형생물체의 발아 또는 번식능력을 완전히 제거하는 파쇄·가열 등으로 대신할 수 있다.

- 문제점: 종자 형성기 이후 토중으로 매몰 폐기할 경우 토양 내 Seedbank를 형성하여 휴면상태로 장기간 지속된다. 따라서 작물별 특성에 따라 매몰을 통한 폐기가 부적합할 수 있어, 반송 또는 파쇄·가열을 원칙으로 하는 것이 보다 적합하다.

#### (4) 국내 유통 단계

- 종자업 자격 요건

- 현행: 종자산업법 제37조(종자업의 등록) 제2항 종자업을 하려는 자는 종자관리사를 1명 이상 두어야 한다. 다만, 대통령령으로 정하는 작물의 종자를 생산·판매하려는 자의 경우에는 그러하지 아니하다. 제3항 농림축산식품부장관, 농촌진흥청장, 산림청장, 시·도지사, 시장·군수·구청장 또는 농업단체 등이 종자의 증식 생산·판매·보급·수출 또는 수입을 하는 경우에는 제1항과 제2항을 적용하지 아니한다.

종자산업법 시행령 제15조(종자관리사 보유의 예외) 종자산업법 제37조제2항 단서에서 “대통령령으로 정하는 작물“의 경우

1. 화훼
  2. 사료작물(사료용 벼·보리·콩·옥수수 및 감자를 포함)
  3. 목초작물
  4. 특용작물
  5. 빵
  6. 임목
  8. 식량작물(벼·보리·콩·옥수수 및 감자는 제외)
  9. 과수(사과·배·복숭아·포도·단감·자두·매실·참다래 및 감귤 제외)
  10. 채소류(무·배추·양배추·고추·토마토·오이·참외·수박·호박·파·양파·당근·상추 및 시금치 제외)
  11. 버섯류
- 문제점: 종자업자의 자격 요건인 종자관리사 보유의 예외조항이 너무 광범위하다. 특히, 현재 국내·외에서 LMO로 상용화 또는 개발 중인 식물종의 종자를 대상으로 한 종자 사업의 경우는 반드시 종자관리사를 보유한 종자업자가 수입·유통할 수 있도록 하여 자체 종자품질검정(Quality control)이 가능하도록 해야 한다. 따라서 현재 LMO 국경검사 대상인 28품목 및 향후 개발되는 LM작물은 종자산업법 제37조제2항 단서의 “대통령령으로 정하는 작물“에서 제외시켜

야 한다.

○ 운반 시 취급관리

- 현행: 유전자변형생물체의 수출입 등을 하는 자는 유전자변형생물체를 취급하거나 관리할 때에 밀폐운송 등 대통령령으로 정하는 취급관리기준을 지켜야 한다. 위반 시 1년 이하의 징역 또는 2천만원 이하의 벌금에 처한다.
- 문제점: 국립생태원의 모니터링 연구(신 등, 2016)나 시민단체 모니터링 보고 등에 의하면 항만 주변, 사료 가공 공장, 축산 농가 등 운반 경로에 따라 LM작물이 비의도적으로 환경방출된 사례가 존재한다. 따라서 법 규정대로 철저히 밀폐운송이 될 수 있도록 계도/처벌 강화 등이 필요하다.

○ 종자결함에 대한 보상

- 현행: 종자산업법 제47조(분쟁대상 종자의 시험분석 등) 7항 분쟁대상 종자와 관련한 피해가 종자의 결함으로 인하여 발생한 경우에는 피해자는 종자업자에게 농림축산식품부령으로 정하는 바에 따라 그 보상을 청구할 수 있다.
- 현재 국내 LMO법에는 LMO의 혼입에 의한 농민의 피해 구제 및 보상 규정이 없다. 본문에서 제시한 종자산업법 제47조 7항은 LMO 종자에 직접 해당되는 조항은 아니나 이를 참고하여 향후 LMO법 개정 시 보상 규정을 신설하는데 활용할 수 있도록 검토할 필요가 있다.

## IV. LM유채 환경방출 사고에 대한 정부대응체계 개선점 및 사고지역 관리방안

### 1. LM유채 환경방출 사고에 대한 정부대응체계 개선점

#### 가. LM유채의 수입, 검역, 유통 및 환경방출 단계별 제도적 개선점

##### (1) 재배용 종자의 수입·생산 승인 강화

###### ○ 중점 관리 품목 수입·유통 요건 강화

- 국내의 LMO 청정국으로서의 지위를 유지하여 국내 농업 및 종자산업의 가치를 높이기 위해서는 금번과 같은 비의도적 LM종자의 방출을 철저히 방지해야 한다. 현행 법 제도에서는 LMO로 수입 신고하지 않은 종자에 LMO가 혼입되어 있을 경우, 검역 시 수행되는 국경 검사가 유일한 검정 단계이므로 추가적인 안전장치가 필요하다.
- 국내·외에서 LMO로 상용화 또는 개발 중인 식물(작물)인 경우에 한하여 재배용 종자의 유통권한을 종자업자로 국한하고, 종자업자의 자격요건을 강화해야 한다. 이를 통해 종자 유통 시 책임소재를 분명히 하고, 검역 단계에서 미승인 LMO를 검출하지 못하였을 경우에도 종자업자의 자체 검정을 통해 이중으로 검정하는 효과를 기대할 수 있다.
- 현행 녹화용·경관용 종자의 수입유통 경로는 수입업자 → 일반 유통업자 → 소비자로 구성되어 있다. 그러나 국내뿐만 아니라 전 세계적으로도 미승인 LM작물의 혼입 사고가 꾸준히 발생하고 있으므로 전 세계적으로 상용화된 LMO가 존재하는 식물 종자를 재배용으로 수입·유통할 경우에는 종자업자(종자업자가 수입업자인 경우는 유통경로가 보다 단순화 됨)를 통하는 경로로 일원화하여 수입업자 → 종자업자 → 지역소매업자(종자상, 농약상) → 소비자로 유통경로를 개선하는 것이 바람직하다.

○ 중점 관리 품목 확대

- 중점 관리 품목: 현재 국경검사 대상 품목으로 농림축산검역본부장이 지정한 28 품목 외에 전 세계적으로 LMO로 연구·개발된 작물(식물)을 지속적으로 모니터링하여 향후 검역 및 유통 시 “중점 관리 품목”으로 추가 지정하도록 해야 한다.

○ 수입 종묘의 LMO유무 평가 강화

- 문제 품목: 미승인 LMO 검출 빈도가 높은 품목 또는 국내 환경방출 사고 이력이 존재하는 품목을 “문제 품목”으로 지정하여 종묘 수입 시 강화된 LMO유무 평가를 적용해야 한다.
- LMO 여부와 관계없이 재배 목적으로 수입되는 종묘가 문제 품목에 해당할 경우, 검역 신청 시 수출국에서 발행한 non-LMO 인증서를 필수 제출하도록 하고, 불가한 경우에는 검역본부에서 지정한 국내 공인 기관에서 발행한 LMO 유무 인증서를 반드시 제출토록 해야 한다.

(2) 국경검사 강화

○ 수입종자 LMO 검사기반 강화

- 현행 LMO 국경검사대상은 종자용·사료용·농업가공용으로 수입되어 원형상태로 환경방출 될 우려가 있는 품목을 대상으로 농림축산검역본부장이 정한 품목(28품목)으로 되어 있다.
- 그러나 이번에 비의도적 환경방출된 미승인 LM유체는 국경검사를 정상적으로 거쳤으나 LMO가 검출되지 않았다. 따라서 수입되는 종자량에 따라 충분히 대표성을 띠는 표본을 추출할 수 있는 표본 추출방식 및 정확한 검정법을 확립하고 관련법규를 보완해야 한다.
- 또한 LMO 검사 전문성 향상 및 시간 단축을 위해 LMO 유무 심사 인증 전문기관을 육성하여 운용할 수도 있다.



그림 4-1. 미승인 LMO불법유입 차단을 위한 단계별 제도적 개선점

나. LM유채 환경방출사고 이후 대응체계상 개선점

(1) 미승인 LM유채의 환경방출 사고에 대한 농식품부 대응체계 개선점

- LM유채 방출 후 초기 대응: 국립종자원을 중심으로 유출지 당 평균 5.5 회 방문하는 등 적극적 대응을 실시하였다.
- 초기대응 방법상 문제점
  - 다만, 전국적 규모의 환경방출 사고가 발생한 긴급 상황에서 LM유채를 신속히 폐기 조치하느라 LM유채의 생육특성을 고려한 LM유채의 생육단계별 차별화된 대응 속도 및 폐기 방법 적용이 다소 미흡하였다.
  - 꼬투리 형성이 진행된 이후 경운 등의 방법으로 매몰 처리한 경우, 유채종자가 토양 중에서 휴면하여 장기간 지속할 가능성이 높으므로 논일 경우 관개를 통해 종자 활성을 제거하고, 밭 조건인 경우 장기간 모니터링이 불가피하다.

## (2) LM유채의 환경방출 사고에 따른 피해 농가에 대한 보상 방안

- 현 제도상 LM유채 방출에 대한 정부의 보상 방안마련이 어려움
  - 유사한 사례 발생 대비 피해농가 보상 및 폐기 비용 지원의 제도적 장치 마련이 필요하며, 2017년의 피해에 대한 소급 보상이 어렵더라도 2018년부터는 모니터링 및 사후관리를 위한 지원금을 마련하여 농민의 협조를 유도해야 한다.
  - LMO법 개정 시 환경방출의 정의 및 환경방출 사고 원인 제공자의 처벌 규정, 피해자에 대한 보상 규정이 포함되어야 한다.
- 책임 소재에 따른 보상 규정
  - 민간(기업) 수입유통 LMO: 해외사례와 같이 민간 기업이 관련 모든 비용 보상토록 조치해야 하며, 이를 위해서는 종자유통망을 종자사업자를 통하도록 일원화하여 책임 소재를 명확히 해야 한다. 또한 신속한 피해 구제를 위해 정부가 피해농가에 대한 선 보상 후 민간 기업에 비용 청구하도록 제도를 개선하는 것을 제안한다.
  - 정부개발 LMO 방출사고: 태국의 사례와 같이 정부가 개발 중인 LMO 환경방출 사고는 정부가 피해농가에 대해 일체의 보상을 실시해야 한다.
  - 책임자 불명인 경우: 현재 논의 중인 추가 의정서에 LMO 개발사의 기금 마련을 통한 보상 등 관련 내용을 논의 중이므로 추가 의정서의 관련 규정을 반영하여 국내 LMO법 개정해야 한다.

## 2. LM유채 환경방출 사고지역 후속 관리방안

### 가. LM유채 환경방출 지역의 사후관리 방안: 단기적 관리방안(2018년까지)

- 현장 모니터링: 위해도와 상관없이 모든 98개 LM유채 환경방출 사고지역을 대상으로 봄 3월~6월 동안 유채의 재발생에 대한 현장 모니터링을 실시해야하며, 재발생 유채는 유채 개화 전에 반드시 제거를 해야 한다.

○ 2018년 개화 전 유채 제거: 봄 3월~4월에 LM유채가 재발생 할 경우 유묘 상태에서 발생한 유채를 손 제초, 반복 경운 또는 제초제 살포 등의 방법으로 신속히 제거해야 하며, 개화 전에 반드시 제거를 해야 한다.

○ 재발생 유채 폐기 방법

- 전체폐기가 가능한 지역의 경우 비선택성 제초제 Glufosinate-ammonium 등을 처리하여 지상부를 완전고사 시켜야 하며, 고사된 지상부는 수거하여 소각한 후 경운로터리를 한다.

- 전체폐기 불가지역은 유채를 손 제초를 하거나 화본과 작물에는 비교적 안전한 광엽잡초용 제초제(Dicamba 등)를 처리하여 유채를 완전고사 시킨 후 고사된 지상부를 수거하여 소각한 후 경운로터리를 한다.

- 재발생 유채의 제거는 유묘기에 실시되어야 효율성도 높고 제초제나 경운 정지로도 방제가 가능하다. 그러나 유채가 개화기에 도달한 경우는 제초제 처리나 경운은 시기적으로 부적합하여 가급적 손으로 뿌리까지 제거한 후 제거한 식물체는 소각한다.

- 경운로터리: 유채 비발생/유묘기 때는 경운로터리로 물리적 폐기하는 것이 적합하며, 유채 발생 시에는 제초제 처리를 선행한 후 경운하여 폐기하여 유채가 재생하지 않도록 하는 것이 바람직하다. 단, 개화기 이후 꼬투리 형성이 시작되면 토양 중 seedbank가 형성될 우려가 크므로 경운폐기를 절대 금하고, 예취 후 소각 폐기하도록 한다.

○ LM유채 재배지에 근연종 작물 재배 금지

- LM유채 재배지: 지역의 위해도와 무관하게 모든 사고 지역에서 1년 간 후 작물로 배추과 근연종 작물 재배를 금지하고 지역에 따라 향후 금지기간을 차등 적용해야 한다.



- LM유채 환경방출 사고 지역 인근 재배지의 경우, 반경 1 km 이내에서 유채 재배를 금지하고, 반경 100 m 이내에는 갓 역시 재배를 금하며 자연서식 갓을 제거하여 중간 교잡 가능성을 제거해야 한다.

#### 나. LM유채 환경방출 지역의 사후관리 방안: 장기적 관리방안

##### ○ 농촌진흥청 국립농과원 생물안전성과 중심 체계적 관리

- 신속한 대응 및 관리를 위해 권역별 관리 전담팀 구성하여 상시 운용하며 차별화/체계적 관리해야 한다.
- 금번 LM유채 환경방출 사고를 계기로 LM작물의 환경방출사고 발생 시 긴급 대응을 위한 매뉴얼 작성이 필요하다. 특히 국내에 야생종 또는 근연종이 서식 중인 작물의 경우 LM작물 환경방출사고에 대비한 초동대처 및 사후관리를 위한 매뉴얼 마련이 필요하다.
- 향후 환경부, 종자원, 농진청 등에서 모니터링을 수행할 경우 지역별 환경단체와 적극 공조를 통해 국민의 우려를 불식시키는 노력이 필요하며, 해당지역 유채 발생밀도나 관리현황에 대한 조사결과를 적극적으로 공유하여 정확한 환경영향조사가 가능하도록 해야 한다.

##### ○ 위해도별 LM유채 발견 지역에 대한 사후관리 제안

- LM유채 환경방출지역을 위해도에 따라 6단계로 구분하였으며, 이러한 위해도에 따라 차별화된 사후관리 방안을 제안하였다(표 4-1).
- 사후관리 기간은 위해도가 매우 낮은 경우 1년, 낮은 지역은 단기, 다소 낮은 지역은 중단기, 중간지역은 중기, 높은 지역은 중장기, 매우 높은 지역은 장기로 구분하였다. 단기~장기에 대한 구분은 상대적인 기간으로서 본 보고서에서는 정확한 기간을 명시하지는 않았으며, 정확한 기간은 추후 협의를 통해 결정되어야 할 것으로 판단된다.
- 환경방출사고 지역의 모니터링 및 후발생 개체 제거 활동은 위해도가 낮

은 지역까지는 주로 3월~6월에 집중하고, 위해도가 다소 낮은 지역 이상의 경우는 3~6월 봄 발생 및 개화기, 9~10월 가을 발생 및 하계생존개체 개화기에 집중하여 실시하는 것이 필요하다.

- 유전자 이동성을 억제하기 위한 활동으로는 위해도가 낮은 지역까지는 5월 전후 개화기 이전에 집중적인 현장 방문 및 제거로 개화된 LM유채로부터의 유전자 이동을 근본적으로 차단토록하고, 위해도가 다소 낮은 지역 이상의 경우는 5월 전후 개화기는 물론 9월 전후 하계생존개체의 개화기 이전에 집중적인 현장 방문 및 제거로 개화된 LM유채로부터의 유전자 이동을 근본적으로 차단토록 한다.
- 잡초화 억제활동: 잡초화의 억제를 위해서는 토양 중에 이미 혼입된 LM유채 종자의 활력을 제거하거나 새롭게 발생된 개체를 제거하여 잠재성 LM유채 발생을 저감시키는 활동으로, 위해도가 낮은 지역까지는 춘계 모니터링을 통한 발생개체의 지속적 제거(제초제 사용, 손 제초 및 소각)와 초기 경운을 통한 토양 중 활력 있는 종자의 개체수를 감소시키는 것이 필요하며, 위해도가 다소 낮은 지역 이상의 경우는 춘계는 물론 추계에도 지속적인 발생개체의 제거(제초제 사용, 손 제초 및 소각)와 초기 경운을 통한 토양 중 활력 있는 종자의 개체수를 감소시키는 것이 필요하다. 또한 논 지역 등 담수 가능 지역은 담수 처리 실시를 통해 유채 종자의 활력을 제거할 수 있다.
- 유채재배 금지: LM유채가 재배된 지역은 토양 중 잠재적인 LM유채 발생 가능성이 소거될 때까지는 충분한 기간 동안 유채재배를 금지하는 것이 필요하다. 그 기간을 위해도에 따라 차별적으로 적용하면 위해도가 매우 낮은 지역은 단기간, 위해도가 낮은 지역은 중단기, 다소 낮은 지역은 중기, 중간 지역은 중장기, 다소 높은 지역은 장기간 유채재배를 금지토록 하고, 특히, 위해도가 매우 높은 지역은 유채재배를 완전 금지시키는 조치가 필요하다.
- 근연종 재배 금지: LM유채로부터 근연종으로의 유전자 이동을 차단하기 위해서 근연종의 재배도 일정기간 금지하는 조치가 필요하다. 특히 개화

가 가능한 근연작물(대표적으로 갯)의 재배를 금지시켜야 되는데 이 기간도 위해도에 따라 차별적으로 적용하면 위해도가 매우 낮은 지역은 1년간, 위해도가 낮은 지역은 단기, 다소 낮은 지역은 중단기, 중간 지역은 중기, 다소 높은 지역은 중장기, 그리고 매우 높은 지역은 장기적으로 근연종의 재배를 금지시키는 조치가 필요하다.

- 도심 택지 등의 환경방출지의 경우에는 화분이동에 의한 위해성이나 잡초화 위해성은 낮으나 택지 개발 시 LM유채 종자가 포함된 토양이 이동하여 LM유채를 공간적으로 확산시킬 우려가 있으므로 향후 장기적으로 모니터링해야 한다.

표 4-1. 위해도에 따른 LM유채 환경방출사고지역 사후관리 방안(제안)

위해도 수준	매우 낮음	낮음	다소 낮음	중간	높음	매우 높음
대상지역 수	5	23	17	37	13	3
사후관리 기간	1년	단기	중단기	중기	중장기	장기
모니터링/후발생개체 제거	3월~6월 집중		3월~6월, 9월~10월 집중			
유전자이동성 억제 활동	5월 전후 개화이전 집중 제거		5월 전후, 9월 전후 개화이전 집중 제거			
잡초화 억제 활동	봄에 후발생 개체 확인시 제거(제초제)/경운		봄/가을에 후발생 개체 확인시 제거(제초제)/초기경운			
유채재배금지	단기	중단기	중기	중장기	장기	완전 금지
근연종 재배 금지	1년	단기	중단기	중기	중장기	장기

## 참 고 문 헌

1. 국제생명공학응용정보서비스(ISAAA), <http://www.isaaa.org/>
2. 김도순 등 (2012) 「유전자변형생물체(LMO) 생태계 영향 정밀조사 기법 개발 연구 I」, 국립환경과학원
3. 김도순 등 (2013) 「LM작물과 국내 근연종간의 유전자이동성 평가기법 개발 II」, 국립 환경과학원
4. 김도순 등 (2014a) 「LM작물과 국내 근연종간의 유전자이동성 평가기법 개발 III」, 국립환경과학원
5. 김도순 등 (2014b) 「유전자변형 유채의 농업환경위해성 평가: 잡초화 가능성 평가」, 농촌진흥청 (unpublished)
6. 김은진 (2006) 식물유전자특허와 그 보호범위의 한계-캐나다 몬산토 대 (對) 슈마이저 판례를 중심으로. *상사판례연구*, 19(3), 259-28
7. 법제처 국가법령정보센터, <http://www.law.go.kr/>
8. 신수영, 조범호, 문정찬, 이증로, 최원균, 설민아, 김미정, 송해룡 (2016) 자연생태계 모니터링을 통한 glyphosate 와 glufosinate-ammonium 에 저항성을 가지는 유전자 변형 캐놀라의 발견.
9. 임연화, 육민정, 장전걸, 나경주, 박수형, 김도순 (2015) 유채로부터 갖으로 유전자 이동에 의한 교잡종의 휴면에 따른 잡초화 가능성. *Weed & Turfgrass Science*, 4(1), 35-43
10. 한국바이오안전성정보센터(KBCH), <http://www.biosafety.or.kr/>
11. 한국바이오안전성정보센터 (2013) 미국 오레곤주, 미승인 GM밀 발견, KBCH 동향 보고서 No. 2013-05
12. 한국바이오안전성정보센터 (2014) 작물별 동향보고서: 유채(Rapeseed)/캐놀라 (Canola), KBCH 동향보고서 No. 2014-06
13. 한국바이오안전성정보센터 (2015) 바이오안전성백서
14. 한국바이오안전성정보센터 (2017) 유전자변형생물체 LMO Q&A · 용어집
15. 한국바이오안전성정보센터 (2017) 주요 GM작물 동향보고서: 2017, KBCH 동향보고서 No. 2017-12
16. 한국바이오안전성정보센터 (2017) 2016년 유전자변형생물체 관련 주요 통계

17. Allainguillaume J, Alexander M, Bullock JM, Saunders M, Allender CJ, King G, Ford CS, and Wilkinson JM. (2006) Fitness of hybrids between rapeseed and wild *Brassica rapa* in natural habitats. *Mol. Ecol.* 15: 1175-1184
18. Ammitzboll H, Mikkelsen TN, and Jorgensen, RB. (2005) Transgene expression and fitness of hybrids between GM oilseed rape and *Brassica rapa*. *Environmental Biosafety Research*, 4(1), 3-12
19. Ammitzboll H. and Jorgensen BR. (2006) Hybridization between oilseed rape (*Brassica napus*) and different populations and species of *Raphanus*. *Environ. Biosafety Res.* 5: 3-13
20. Baranger A, Chevre AM, Eber F, and Renard M. 1995. Effect of oilseed rape genotype on the spontaneous hybridization rate with a weedy species: An assessment of transgene dispersal. *Theor. Appl. Genet.* 91: 956-963
21. BBC News. GM seeds compensation agreed, 2000년 7월 5일자 기사. [http://news.bbc.co.uk/2/hi/uk\\_news/scotland/820304.stm](http://news.bbc.co.uk/2/hi/uk_news/scotland/820304.stm)
22. Beckie HJ, Hugh J, Warwick SI, Nair H and Seeguín-Swartz G. (2003) Gene flow in commercial fields of herbicide-resistant canola (*Brassica napus*). *Ecol. Appl.* 13(5): 1276-1294
23. Bielikova L and Rakousky S. (2001) Survey on oilseed rape cultivation and weed relatives in the Czech Republic. In: Proceeding of European Science Foundation Meeting of a working group on interspecific gene flow from oilseed rape to weedy species, Rennes, France, June 2001. 9p
24. Bing DJ, Downey RK and Rakow GFW. (1991) Potential of gene transfer among oilseed *Brassica* and their weedy relatives. In: Proceedings of GCIRC 8<sup>th</sup> International Rapeseed Congress, Saskatoon, Canada. 1022-1027
25. Bing DJ, Downey RK and Rakow GFW. (1996) Hybridizations among *Brassica napus*, *B. rapa* and *B. juncea* and their two weedy relatives *B. nigra* and *Sinapis arvensis* under open pollination conditions in the field. *Plant Breeding* 115: 470-473
26. Brown AP, Brown J, Thill DC, and Brammer TA (1996) Gene transfer between canola (*Brassica napus*) and related weed species. *Cruciferae Newsl. Eucarpia.* 18: 36-37
27. Cai L, Zhou BW, Guo XL, Dong CH, Hu XJ, Hou MS, and Liu SY. (2008) Pollen-mediated gene flow in Chinese commercial fields of glufosinate-resistant canola (*Brassica napus*). *Chinese Sci. Bull.* 53: 2333-2341

28. Champolivier J, Gasquez J, Messean A, and Richard-Molard M. (1999) Management of transgenic crops within the cropping system. In: Lutman PJW (ed.) *Gene Flow and Agriculture: Relevance for Transgenic Crops: Proceedings of a Symposium Held at the University of Keele, Staffordshire, April 12-14, 1999*. BCPC Symposium Proceedings 72: 233-240
29. Chevre AM, Eber F, Baranger A, Hureau G, Barret P, Picault H and Renard M (1998) Characterization of backcross generations obtained under field conditions from oilseed rape-wild radish F1 interspecific hybrids: an assessment of transgene dispersal. *TAG Theoretical and Applied Genetics*, 97(1), 90-98
30. Chevre AM, Eber F, Darmency H, Fleury A, Picault H, Letanneur JC, and Renard M. (2000) Assessment of interspecific hybridization between transgenic oilseed rape and wild radish under normal agronomic conditions. *Theor. Appl. Genet.* 100: 1233-1239
31. Chevre AM, Eber F, Jenczewski E, Darmency H, Renard M. 2003. Gene flow from oilseed rape to weedy species. *Acta Agr. Scand. B. -S. P. Sci. Suppl.* 53: 22-25
32. COGEM (2013) Genetically modified oilseed rape (*Brassica napus*). Aspects in relation to the environmental risk assessment and post-market environmental monitoring of import applications. COGEM advisory report CGM/130402-01
33. Cuthbert JL and McVetty PBE. (2001) Plot-to-plot, row-to-row, and plant-to-plant outcrossing studies in oilseed rape. *Can. J. Plant Sci.* 81: 657-664
34. Darmency H and Renard M. (1992) Efficiency of safety procedures in experiments with transgenic oilseed rape. In: Casper R and Landsmann J (eds.) *The Biosafety Results of Field Tests of Genetically Modified Plants and Microorganisms: Proceedings of the 2<sup>nd</sup> International Symposium on the Biosafety Results of Field Tests of Genetically Modified Plants and Microorganisms*, Goslar, Germany, May11-14, 1992. 54p
35. Darmency H, Fleury A, and Lefol E. (1995) Effect of transgenic release on weed biodiversity: Oilseed rape and wild radish. Brighton Crop Protection Conference: Weeds 1995; Proceedings of an International Conference Held at Brighton Center and the Brighton Metropole Hotel, Brighton, England, November 20-23, 1995, vol. 2 (British Crop Protection Council [BCPC]: Farnham, UK), pp.433-438

36. Darmency H and Fleury A. (2000) Mating system in *Hirschfeldia incana* and hybridization to oilseed rape. *WEED RESEARCH-OXFORD*, 40(2), 231-238
37. D'Hertefeldt T, Jørgensen RB and Pettersson LB. (2008) Long-term persistence of GM oilseed rape in the seedbank. *Biology Letters*, 4(3), 314-317
38. Di K, Stewart Jr CN, Wei W, Shen BC, Tang ZX, and Ma KP. (2009) Fitness and maternal effects in hybrids formed between transgenic oilseed rape (*Brassica napus* L.) and wild brown mustard [*B. juncea* (L.) Czern et Coss.] in the field, *Pest Manage. Sci.* 65: 753-760
39. Downey RK. (1999) Risk assessment of outcrossing of transgenic *Brassica*, with focus on *B. rapa* and *B. napus*. In: Wratten N and Salisbury PA (eds) *New Horizons for an Old Crop: Proceedings of the 10<sup>th</sup> International Rapeseed Congress*, Canberra, Australia
40. Eastham K and Sweet J. (2002) Genetically modified organisms (GMOs): The significance of gene flow through pollen transfer (pp. 1-74). Copenhagen: European Environment Agency.
41. Frello S, Hansen KR, and Jørgensen RB. (1995) Inheritance of rapeseed (*Brassica napus*) - specific RAPD markers and a transgene in the cross *B. juncea* x (*B. juncea* x *B. napus*). *Theor. Appl. Genet.* 91: 236-241
42. GeneWatch UK and Greenpeace International (2005) GM contamination report 2005, <http://www.gmcontaminationregister.org/>
43. Gotz R and Ammer F. (2000) Ergebnisse der Anwendung von Liberty in transgenem Winterraps in Thüringen. *Z. PflKrank. PflSchutz, Sonderh.* XVII, PP397-401
44. Greenpeace Southeast Asia (2006) Contamination by Genetically Engineered Papaya in Thailand
45. Gulden RH, Warwick SI and Thomas AG. (2008) The biology of Canadian weeds. 137. *Brassica napus* L. and *B. rapa* L. *Canadian journal of plant science*, 88(5), 951-996
46. Gueritaine G, Sester M, Eber F, Chevre A M and Darmency H. (2002) Fitness of backcross six of hybrids between transgenic oilseed rape (*Brassica napus*) and wild radish (*Raphanus raphanistrum*). *Molecular Ecology*, 11(8), 1419-1426
47. Gueritaine G, Bazot S and Darmency H. (2003) Emergence and growth of hybrids between *Brassica napus* and *Raphanus raphanistrum*. *New Phytologist*, 158(3), 561-567



48. Halfhill MD, Zhu B, Warwick SI, Raymer PL, Millwood RJ, Weissinger AK and Stewart Jr CN. (2004) Hybridization and backcrossing between transgenic oilseed rape and two related weed species under field conditions. *Environmental Biosafety Research*, 3(2), 73–81
49. Halfhill MD, Sutherland JP, Moon HS, Poppy GM, Warwick SI, Weissinger AK and Stewart C. (2005) Growth, productivity, and competitiveness of introgressed weedy *Brassica rapa* hybrids selected for the presence of Bt cry1Ac and gfp transgenes. *Molecular Ecology*, 14(10), 3177–3189
50. Hansen LB, Siegismund HR, and Jorgensen RB. (2001) Introgression between oilseed rape (*Brassica napus* L.) and its weedy relative *B. rapa* L. in a natural population. *Genet. Resour. Crop Evol.* 48: 621–627
51. Hansen LB, Siegismund HR, and Jorgensen RB. (2003) Progressive introgression between *Brassica napus* (oilseed rape) and *B. rapa*. *Heredity*. 91: 276–283
52. Hauser TP and Shaw RG. (1998a) Fitness of F1 hybrids between weedy *Brassica rapa* and oilseed rape (*B. napus*). *Heredity*, 81(4), 429–435
53. Hauser TP and Jorgensen RB. (1998b) Fitness of backcross and F2 hybrids between weedy *Brassica rapa* and oilseed rape (*B. napus*). *Heredity*, 81(4), 436–443
54. HorticultureWeek. Counting the cost of GM petunia 'storm in a teacup', 2017년6월 9일자 기사. <https://www.hortweek.com/counting-cost-gm-petunia-storm-teacup/ornamentals/article/1435855>
55. Hoyle M and Cresswell JE. (2009) Maximum feasible distance of windborne cross-pollination in *Brassica napus*: a 'mass budget' model. *Ecol. Modell.* 220: 1090–1097
56. Ingram J. (2000) Report on the separation distances required to ensure cross-pollination is below specified limits in non-seed crops of sugar beet, maize, and oilseed rape. [www.defra.gov.uk/science/project\\_data/DocumentLibrary/RG0123\\_2916\\_FRP.doc](http://www.defra.gov.uk/science/project_data/DocumentLibrary/RG0123_2916_FRP.doc)
57. ISAAA. (2016) Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops: 2016. ISAAA Brief No. 52. ISAAA: Ithaca, NY.
58. Jorgensen RB and Andersen B. (1994) Spontaneous hybridization between oilseed rape (*Brassica napus*) and weedy *B. campestris* (Brassicaceae). *Am. J. Bot.* 81: 1620–1626

59. Jorgensen T, Hauser TP and Jorgensen RB. (2007) Adventitious presence of other varieties in oilseed rape (*Brassica napus*) from seed banks and certified seed. *Seed Science Research*, 17(2), 115-125
60. Katsuta K, Matsuo K, Yoshimura Y and Ohsawa R. (2015) Long-term monitoring of feral genetically modified herbicide-tolerant *Brassica napus* populations around unloading Japanese ports. *Breeding science*, 65(3), 265-275
61. Knispel AL, McLachlan SM, Van Acker RC and Friesen LF. (2008) Gene flow and multiple herbicide resistance in escaped canola populations. *Weed Science*, 56(1), 72-80
62. Krato C and Petersen J. (2012) Gene flow between imidazolinone- tolerant and -susceptible winter oilseed rape varieties. *Weed Res.* 52: 187-196
63. Kwon YW and Kim DS. (2001a) Herbicide-resistant genetically-modified crop: its risks with an emphasis on gene flow. *Weed Biol. Manag.* 1: 42-52
64. Kwon YW, Kim DS, and Yim KO. (2001b) Herbicide-resistant genetically modified crop: Assessment and management of gene flow. *Weed biology and management*, 1(2), 96-107
65. Lefol E, Danielou V, Darmency H, Boucher F, Maillet J and Renard M. (1995) Gene dispersal from transgenic crops. I. Growth of interspecific hybrids between oilseed rape and the wild hoary mustard. *Journal of Applied Ecology*, 803-808
66. Liu YB, Wei W, Ma KP and Darmency H. (2010) Backcrosses to *Brassica napus* of hybrids between *B. juncea* and *B. napus* as a source of herbicide-resistant volunteer-like feral populations. *Plant Science*, 179(5), 459-465
67. Liu Y, Wei W, Ma K, Li J, Liang Y and Darmency H. (2013). Consequences of gene flow between oilseed rape (*Brassica napus*) and its relatives. *Plant Science*, 211, 42-51
68. Londo JP, Bautista NS, Sagers CL, Lee EH and Watrud LS. (2010) Glyphosate drift promotes changes in fitness and transgene gene flow in canola (*Brassica napus*) and hybrids. *Annals of botany*, 106(6), 957-965
69. Lutman PJW, Freeman SE and Pekrun C. (2003) The long-term persistence of seeds of oilseed rape (*Brassica napus*) in arable fields. *The Journal of Agricultural Science*, 141(2), 231-240
70. Manasse R and Kareiva P. (1991) Quantifying the spread of recombinant genes and organism. In: Ginzburgh L (ed.) *Assessing Ecological Risks of Biotechnology*

(Butterworth-Heinemann: Boston, MA, USA), pp. 215-231

71. Mason P, Braun L, Warwick SI, and Zhu B. (2003) Transgenic Bt-producing Brassica napus: *Plutella xylostella* selection pressure and fitness of weedy relatives. *Environmental Biosafety Research*, 2(4), 263-276
72. Messéan A, Sausse C, Gasquez J, and Darmency H. (2007) Occurrence of genetically modified oilseed rape seeds in the harvest of subsequent conventional oilseed rape over time. *European Journal of Agronomy*, 27(1), 115-122
73. Morris WK, Kareiva PM, and Raymer PL. (1994) Do barren zones and pollen traps reduce gene escape from transgenic crops? *Ecol. Appl.* 4: 157-165
74. Nishizawa T, Nakajima N, Aono M, Tamaoki M, Kubo A and Saji H. (2009) Monitoring the occurrence of genetically modified oilseed rape growing along a Japanese roadside: 3-year observations. *Environmental Biosafety Research*, 8(1), 33-44
75. Norris CE and Sweet J. (2002) Monitoring Large Scale Releases of Genetically Modified Crops (EPG). In: Final Report of Monitoring Studies of Field Scale Release of GM Oilseed Rape Crops in England From 1994-2000 (Department for Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA): London, UK)
76. Paul EM, Thompson C, and Dunwell JM. (1995) Gene dispersal from genetically modified oilseed rape in the field. *Euphytica*. 81: 283-289
77. Pertl M, Hauser TP, Damgaard C and Jorgensen RB. (2002) Male fitness of oilseed rape (*Brassica napus*), weedy *B. rapa* and their F1 hybrids when pollinating *B. rapa* seeds. *Heredity*, 89(3), 212-218
78. Price B and Cotter J. (2014) The GM Contamination Register: a review of recorded contamination incidents associated with genetically modified organisms (GMOs), 1997-2013. *International Journal of Food Contamination*, 1(1): 5
79. Quazi MH. (1988) Interspecific hybrids between *Brassica napus* L. and *B. oleracea* L. developed by embryo culture. *TAG Theoretical and Applied Genetics*, 75(2), 309-318
80. Rakow G & Woods DL. (1987) Outcrossing in rape and mustard under Saskatchewan prairie conditions. *Canadian Journal of Plant Science*, 67(1), 147-151
81. Ramsay G, Thompson CE, and Squire G. (2003) Quantifying landscape-scale gene flow in oilseed rape (Department for Environment, Food, and Rural Affairs [DEFRA]: London, UK). p. 50

82. Rieger MA, Potter TD, Preston C, and Powles SB. (2001) Hybridization between *Brassica napus* L. and *Raphanus raphanistrum* L. under agronomic field conditions. *Theor. Appl. Genet.* 103: 555-560
83. Rieger MA, Lamond M, Preston C, Powles SB, and Roush RT. (2002) Pollen-mediated movement of herbicide resistance between commercial canola fields. *Science*, 296(5577), 2386-2388
84. Rose CW, Millwood RJ, Moon HS, Rao MR, Halfhill MD, Raymer PL and Stewart CN. (2009). Genetic load and transgenic mitigating genes in transgenic *Brassica rapa* (field mustard) × *Brassica napus* (oilseed rape) hybrid populations. *BMC biotechnology*, 9(1), 93
85. Scheffler JA, Parkinson R, and Dale PJ. (1993) Frequency and distance of pollen dispersal from transgenic oilseed rape (*Brassica napus*). *Transgene. Res.* 2: 356-364
86. Scheffler JA, Parkinson R, and Dale PJ. (1995) Evaluating the effectiveness of isolation distances for field plots of oilseed rape (*Brassica napus*) using a herbicide-resistance transgene as a selectable marker. *Plant Breed.* 114: 317-321
87. Simard MJ, Légère A, and Warwick SI. (2006) Transgenic *Brassica napus* fields and *Brassica rapa* weeds in Quebec: sympatry and weed-crop in situ hybridization. *Botany*, 84(12), 1842-1851
88. Simpson EC, Norris CE, Law JR, Thomas JE, and Sweet JB. (1999) Gene flow in genetically modified herbicide tolerant oilseed rape (*Brassica napus*) in the UK. In: Lutman PJW (ed.) *Gene Flow and Agriculture: Relevance for Transgenic Crops*, Proceedings of a Symposium Held at the University of Keele, Staffordshire, April 12-14, 1999. BCPC Symposium Proceedings 72 (British Crop Protection Council: Farnham, UK): 75-81
89. Snow AA, Andersen B and Jorgensen RB. (1999) Costs of transgenic herbicide resistance introgressed from *Brassica napus* into weedy *B. rapa*. *Molecular Ecology*, 8(4), 605-615
90. Song X, Wang Z, Zuo J, Huangfu C, and Qiang S. (2010) Potential gene flow of two herbicide-tolerant transgenes from oilseed rape to wild *B. juncea* var. *gracilis*. *Theoretical and applied genetics*, 120(8), 1501-1510
91. Staniland BK, McVetty PBE, Friesen LF, Yarrow S, Freyssinet G, and Freyssinet M. (2000) Effectiveness of border areas in confining the spread of transgenic

*Brassica napus* pollen. Can. J. Plant Sci. 80: 521-526

92. Stringam GR and Downey RK. (1982) Effectiveness of isolation distance in seed production of rapeseed (*Brassica napus*). Agron. Abst.: 136-137
93. Sweet JB, Norris CE, Simpson EC, and Thomas JE. (1999) Assessing the impact and consequences of the release and commercialization of genetically modified crops. In: Lutman PJW (ed.) Gene Flow and Agriculture: Relevance for Transgenic Crops, Proceedings of a Symposium Held at the University of Keele, Staffordshire, April 12-14, 1999. BCPC Symposium Proceedings 72 (British Crop Protection Council [BCPC]: Farnham, UK): 241-246
94. Sweet JB. (2001) Genetically modified organisms (GMO' s): the significance of gene flow through pollen transfer. European Science Foundation-European Environment Agency Report, Cambridge, UK.
95. Warwick SI, Simard MJ, Legere A, Beckie HJ, Braun L, Zhu B, Mason P, Séguin-Swartz G and Stewart CN. (2003) Hybridization between transgenic *Brassica napus* L. and its wild relatives: *Brassica rapa* L., *Raphanus raphanistrum* L., *Sinapis arvensis* L., and *Erucastrum gallicum* (Willd.) O.E. Schulz. Theor Appl Genet. 107(3): 528-539
96. Weekes R, Deppe C, Allnutt T, Boffey C, Morgan D, Morgan S, Bilton M, Daniels R, and Henry C. (2005) Crop-to-crop gene flow using farm scale sites of oilseed rape (*Brassica napus*) in the UK. Transgene. Res. 14: 749-759
97. Wei W and Darmency H. (2008) Gene flow hampered by low seed size of hybrids between oilseed rape and five wild relatives. Seed Science Research, 18(2), 115-123
98. Zhao X, Tang T, Chen G, Liu F, Wang X, Bu C and Lu C. (2013) Rationalizing the isolation distance needed for field trials involving genetically modified rapeseed (*Brassica napus* L.) in China. Chin Sci Bull, 58, 1558-1567



# 요 약 서





# 종자용 미승인 LMO 유채 환경방출 영향분석 및 관리방안 연구

2018. 1.



농림축산식품부  
서울대학교

# 목차 CONTENTS

- 01 서론
- 02 LM유채 환경방출 관련 문헌 분석
- 03 LM유채 환경방출 사고지역의 농업환경 및 정부대응 분석
- 04 LM유채의 국내 유통/보급경로 파악 및 문제점 분석
- 05 LM유채의 환경방출 사고에 대한 정부 대응체계 개선방안(제안)
- 06 LM유채의 환경방출 지역에 대한 후속 관리방안(제안)

## 01 서론

1. 연구배경 및 필요성
2. 연구목적, 주요내용 및 방법

### 1. 연구배경 및 필요성

- 2017년 5월 15일 강원 태백에서 종자용 미승인 LM유채의 환경방출이 보고된 이후 전국적인 비의도적 환경방출 사고가 발생하였음
  - 그린피스의 조사에 따르면 전세계적으로 LM작물의 환경방출 사고가 꾸준히 발생하여 2013년 기준 63개국에서 396건 발생하였음
  - 지금까지 국내에서는 인천 항만 주변 및 사료가공 공장 주변 등 6개 지역에서 비의도적 유출된 사료용 LM유채의 발견이 보고된 바 있으나, 종자용 종자용으로 수입된 유채 종자에 LM유채가 혼입되어 전국적으로 유통·재배된 사례는 전무함
  - 농식품부 내에 안전관리 대책팀을 구성하여 전국 재배지 조사를 수행하여 LMO 유채가 확인된 재배지(98개소, 642ha) 및 보관 중이던 종자(16.5톤)에 대해 폐기조치 완료하였음
- 국내에서 처음으로 발생한 종자용 미승인 LM유채의 환경방출사고로 인해 유전자이동 및 잡초화 등의 환경영향이 우려됨
  - 유채는 자연적 타가수분 비율이 높으며(>10%), 국내에는 유채와 같은 배추과에 속하는 근연종 18속 58종이 국내에 분포하고 있어 종간 및 속간 유전자 이동이 발생할 우려가 있음
  - LM유채(*Brassica napus*)가 재래종 유채뿐만 아니라 근연종인 갯(*B. juncea*), 배추(*B. rapa*), 무(*Raphanus raphanistrum*) 등과 종속간 교배가 가능하다는 보고가 있음(Warwick 등, 2003)
  - LM유채 환경방출사고가 여러 지역에서 발생하였기에 각 지역의 특성을 고려한 대책마련이 필요함. 특히 남부지역의 경우 온화한 기후로 인해 유채의 월동이 가능하여 LM유채 유전자의 이동/ 잡초화 위해성이 큼
- 국내에서 처음으로 일어난 미승인 LMO 유채의 발견·처리 건을 계기로 전국적인 환경방출 사고 발생 시 긴급 대응 및 환경위해성을 최소화 할 수 있는 사후관리방안 등 정책방향 마련 필요
  - 적극적인 초동대처만이 이번 LM유채의 불법적 환경방출에 따른 환경위해성을 최소화할 수 있음
  - 정부의 LMO 환경방출 시 초기 대응이 적합했는지 검토하고 개선점을 발굴하여 LMO 유채의 재발생 시기 이전에 개선된 대책을 수립하여 현장에 적용하는 것이 매우 시급함

## 2. 연구목적, 주요내용 및 방법

- 본 연구는 종자용 미승인 LM유채의 전국적인 비의도적 환경방출 사고가 발생한 시점에서 LM유채의 환경방출영향을 분석하고, 본 사고사례에 대한 정부의 대응체계를 검토하여 개선점 발굴 및 LMO 작물 환경방출에 대한 국가차원의 대응전략 마련에 기여하고자 수행되었음
- 주요 연구내용
  - LM유채 등의 환경방출 및 환경 영향평가 국내외 사례 조사
  - LM유채 환경방출 사고지역의 농업환경 분석
  - LM유채의 국내 유통/보급 경로 파악 및 문제점 분석
  - LM유채의 환경방출 사고에 대한 농림축산식품부 대응체계 점검 및 개선점 발굴을 통해 LMO 안전관리 정부 대응체계에 대한 개선방안 제안
  - LM유채 환경방출 지역에 대한 사후관리 방안 제안
- 주요 연구방법
  - 기존 문헌 및 자료 조사: LM유채 등의 환경방출 관련 국내외 문헌·자료 수집하여 분석
  - LM유채 사고지역 농업환경 및 정부 초기대응 분석
    - 주요 사고지역 현장방문조사
    - 유관 기관 조사: 담당자 면담 등을 통해 LM유채 환경방출 사고 발생지역 정보 및 정부대응 자료 수집
  - LM유채 국내외 유통·보급 경로 파악 및 문제점 분석
  - LMO 안전관리 정부 대응체계에 대한 개선점 및 LM유채 환경방출지역 사후관리방안 제안
    - LM유채 수입에서 보급에 이르는 전 과정의 각 단계별로 정부의 대응을 점검 및 개선점 발굴
    - 문헌조사 및 현장방문 조사 결과를 취합하고 관련 전문가 자문 및 토론회 내용을 반영하여 LMO 안전 관리 정부 대응체계에 대한 개선방안을 제시하고 LMO 유채 환경방출 지역 사후관리 방안을 제안

## 02 LM유채 환경방출 관련 문헌 분석

1. LM유채 수입·재배 승인 현황
2. LM유채 환경방출 연구사례 조사
3. LMO 환경방출 해외사례 조사

### 1. LM유채 수입·재배 승인 현황

- 전세계 13개국에서 식용·사료용·재배용으로 총 40개의 LM유채 이벤트가 승인되었으며, 재배용 LM유채는 미국, 캐나다, 호주 및 칠레에서 승인됨(2016년 10월 기준, ISAAA)
- LM유채는 도입형질에 따라 제초제 저항성(Glyphosate, Glufosinate, Bromoxynil 등), Pollination Control System, 지방산 조절의 세 종류로 분류되며 상용화된 LM이벤트는 대부분 제초제 저항성 형질을 지님
- 국내에서는 LM유채의 상업적 재배가 승인된 사례는 없으나, 식품 및 사료용 LM유채의 수입은 2003년 식용 LM유채로서 GT73 이벤트의 수입을 승인한 이래 현재까지 14개 LM유채 이벤트의 수입이 승인됨

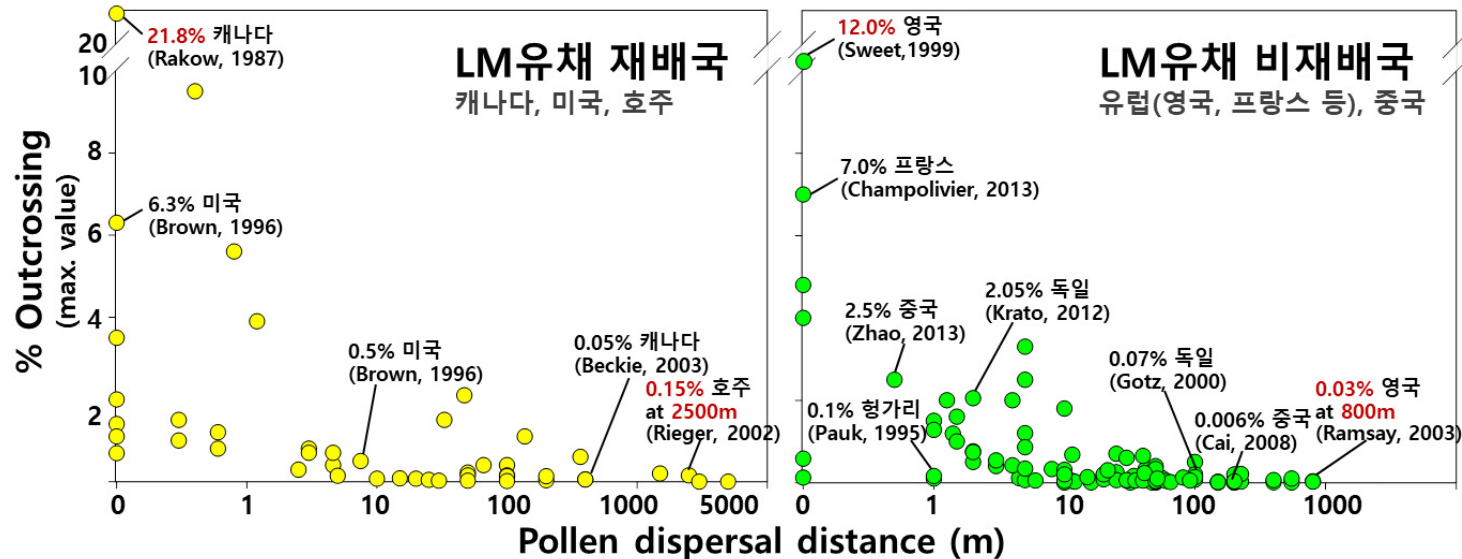
이벤트명	상표명	도입형질	도입유전자	제조사
73496	Optimum® Gly canola	HR (Gly)	gat4621	DuPont
73496 x RF3	not available	HR (Glu & Gly), Fertility restoration	gat4621, bar, bastar	DuPont
GT73 (RT73)	Roundup Ready™ Canola	HR (Gly)	cp4 epsps, goxv247	Monsanto
HCN28 (T45)	InVigor™ Canola	HR (Glu)	Pat	Bayer
HCN92 (Topas 19/2)	Liberty Link™ Innovator™	HR (Glu)	bar, nptII	Bayer
MON88302	TruFlex™ Roundup Ready™ Canola	HR (Gly)	cp4 epsps	Monsanto
MON88302 x MS8 x RF3	InVigor™ x TruFlex™ Roundup Ready™	HR (Glu & Gly), Male sterility , Fertility restoration	cp4 epsps, bar, barnase, barstar	Monsanto
MON88302 x RF3	not available	HR (Glu & Gly), Fertility restoration	cp4 epsps, bar, barstar	Bayer
MS1 x RF1 (PGS1)	InVigor™ Canola	HR (Glu), Male sterility , Fertility restoration	bar, barnase, bastar, nptII	Bayer
MS1 x RF2 (PGS2)	InVigor™ Canola	HR (Glu), Male sterility , Fertility restoration	bar, barnase, bastar, nptII	Bayer
MS8	InVigor™ Canola	HR (Glu), Male sterility	bar, barnase	Bayer
MS8 x RF3	InVigor™ Canola	HR (Glu), Male sterility , Fertility restoration	barnase, bar, barstar	Bayer
MS8 x RF3 x GT73	not available	HR (Glu & Gly), Male sterility , Fertility restoration	cp4 epsps, bar, barnase, barstar, goxv247	Bayer
RF3	InVigor™ Canola	HR (Glu), Fertility restoration	bar, barstar	Bayer

*Gly* glyphosate, *Glu* glufosinate

## 2. LM유채 환경방출 연구사례 조사

### 1) LM유채의 화분비산에 의한 유전자 이동

- ▶ 화분공여자인 LM유채로부터의 거리가 멀어질수록 교잡율이 급격히 감소하는 양상을 보임
  - LM유채 재배국의 경우 최대 21.8%의 교잡(0 m)이 발생했으며, 100m 이상의 거리에서는 1% 미만
  - LM유채 비재배국은 최대 12%의 교잡(0 m)이 발생했으며, 10m 이상에서는 1% 미만
  - LM유채 재배국/비재배국 간 유전자이동의 차이는 화분공여자(Pollen source)의 집단 크기에 기인



- ▶ LM유채에서 근연종으로의 유전자이동은 유채 간 교잡에 비해 낮은 비율로 발생
  - 유채가 속한 배추과(Brassicaceae)는 370속 3000여 종 이상의 식물종이 속해 있으며, 국내에는 18속 58종의 배추과 식물이 분포
  - LM유채 및 근연종 혼합 재식 조건에서(0 m)의 최대 교잡율은 갓 0.01-3.0%, 배추 7.1-17.5%, 꽃양배추 3.5%, 서양무아재비 0.0003-0.2%였음
  - LM유채 및 근연종 간 교잡율은 10 m 미만의 이격거리에서도 거리에 비례하여 급격히 낮아짐
  - 본 연구사례는 실험적으로 이종교잡을 유도한 것으로서 실제 자연조건 하의 교잡율은 현저히 낮음

&lt;유채와 자연교잡 사례가 보고된 배추과 식물종&gt;

종명	학명	Genome	국내 분포*	비고*
유채	<i>Brassica napus</i>	AACC, n=19	전국	재배종, 남부지역 다수 재배
갓	<i>Brassica juncea</i>	AABB, n=18	전국	재배종, 일부 야생화됨
배추	<i>Brassica rapa</i>	AA, n=10	전국	재배
꽃양배추	<i>Brassica oleracea</i>	CC, n=9	전국	재배, 브로콜리 등
서양무아재비	<i>Raphanus raphanistrum</i>	RrRr, n=9	안산, 인천	귀화식물
Hoary mustard	<i>Hirschfeldia incana</i>	AdAd, n=7	-	-

- 국내에서 발생한 미승인 LM유채 환경방출사고의 경우, 유출된 LM유채의 즉각적인 제거작업 수행을 통해 pollen source의 규모가 극히 제한되었으므로 본 연구 사례의 교잡율을 토대로 유전자 이동을 예측하는 것은 부적합함
- 본 연구 결과는 향후 정기적 모니터링을 통해 재발생 LM유채를 개화 이전에 제거하는 것이 LM유채의 화분 비산을 통한 환경위해성을 낮추는 데 매우 중요함을 시사하며, LM유채 환경방출 사고지역에 유채 및 동속 작물의 재배를 제한할 필요성 제시함

## 2) LM유채 종자의 토양 중 지속성 연구

- 유채 종자가 탈립되어 표토(soil surface) 조건 하에 놓일 경우에는 휴면성이 거의 발현되지 않는 반면 유채 종자가 경운 등에 의하여 토중으로 들어가게 되면 휴면 상태로 수 년간 지속됨
  - 유채 종자의 seedbank 최장 지속 기간 추정: 4-11년(영국; Lutman 등, 2003), 4-17년(덴마크; Jorgensen 등, 2007), 10년(스웨덴; D'Hertefeldt 등, 2008), 3-8년(프랑스; Messean 등, 2007)
  - 유채 종자의 토중 지속기간 연구사례는 일반적·대규모 재배 조건에서의 연구사례임. 금번 LM유채의 경우 환경 방출 사고 발생 직후부터 지속적으로 정책적인 제거 관리와 모니터링이 시행되어 토양 중 종자 유입이 현저히 적음
- 국내 월하 조건에서는 토중 매립된 유채 종자의 휴면생존성이 높고, 월동 조건에서는 표토 종자의 휴면 생존성이 높은 것으로 보고(임 등, 2015)
- 향후 유채 종자의 토양 중 지속성을 감소시킬 수 있는 경작지 관리 및 seedbank 지속기간을 고려하여 민관협력을 통해 모니터링/제거작업 추진 필요성 제시

### 3) LM유채 및 교잡후대의 잡초화 가능성

- LM유채와 일반 유채 간 교잡후대의 도입유전자 이외의 유전적 배경이 동일하므로 선택 압력이 없는 조건에서의 생존력은 모두 동일함
  - LM유채와 일반 유채 간 교잡후대의 fitness는 부모종과 유의한 차이를 보이지 않으므로 도입유전자의 fitness cost가 매우 낮거나 없음을 시사
- LM유채와 근연종 간 이종교배를 통해 생산된 교잡후대종의 영양생장능력은 부모종의 중간이거나 부모에 비해 다소 우수
  - 교잡후대의 우수한 영양생장능력은 부모종이 지니는 서로 다른 유전적 배경에 의한 차이일 것으로 보이며 교잡 1세대의 경우 잡종강세(heterosis) 효과로 추정
  - 단, 야생무와의 속간 교잡 후대의 경우에는 영양생장능력이 부모종에 비해 유의하게 감소(Guéritaine 등, 2002)
- LM유채(일반 유채)와의 이종 교잡 후 초기세대(F1, BC1)의 생식능력은 부모종에 비해 현저히 낮음
  - 특히 화분 활력(pollen viability) 등 웅성 임성의 감소가 매우 심함
  - 이는 도입유전자 효과가 아니고 배수성, 염색체 수 차이 또는 염색체 상 gene introgression이 이루어지는 위치 등에 의한 것으로 추정
  - 유채는 AACC 유전체를 가지므로 중간 교잡에 의해 3배체 구조인 ACX ('X'는 A, B, C, Rr, Ad)가 만들어질 수 있음
  - 교잡후대의 생식능력은 여교배(backcrossing) 등을 통해 세대가 진전됨에 따라 회복됨(hoary mustard 제외)
- LM유채의 도입유전자는 기본적으로 우성 형질이므로, 선택압력이 존재할 경우 도입유전자 효과(transgene benefit)에 의해 도입유전자를 지닌 개체들의 경쟁능력이 매우 높아짐
  - LM유채 및 교잡후대가 타종과의 경합 시 경쟁력을 획득하는 것을 막으려면 도입형질과 다른 처리가 필요
  - 예를 들어 GT73은 제초제 glyphosate 저항성 유전자가 도입되어 있으므로 glyphosate와 다른 작용점을 지닌 제초제를 통해 방제해야 함



### 3. LMO 환경방출 해외사례 조사

#### 태국 GM파파야 사례

- (발견 경위) 2004. 7. 태국 농무부 산하 Khon Kaen 연구소에서 일반 농가에 GM파파야 혼입된 파파야 종자 및 묘목을 판매·배포한 것이 밝혀짐
  - 해당 연구소에서는 일반 종자 채종포장과 GM파파야 연구포장 간 격리가 불충분하여 교차 수분이 발생한 것으로 파악됨
  - GM작물 연구단계에서 발생
- (조치) GM파파야 폐기 및 보상
  - 해당 연구소의 GM파파야 연구포장 폐쇄
  - 재배 농가의 파파야 나무를 폐기 조치하고, 파파야 나무 한 그루 당 40바트씩 보상. 연구의 주체가 정부이므로 정부 차원의 보상이 이루어짐

#### 영국 GM유채 사례

- (발견 경위) 2000년, Advanta Seeds 사에서 수입하여 판매한 유채 Hyola 품종에 1%의 GM OSR 종자 혼입
  - 오염된 유채 종자는 영국 내 농지 4,700 ha에 파종
  - GM종자의 재배·유통 단계에서 발생
- (조치) GM유채 폐기 및 보상
  - 정부는 농민들에게 해당 작물의 폐기를 권고
  - 해당 유통 회사의 과실이 명백하므로 정부의 지시로 종자회사에서 농민에게 보상금을 강제 집행

#### 미승인 GM페튜니아 사례

- (발견 경위) 2015년 핀란드 기차역에서 GM페튜니아 연구 경험이 있는 식물학자에 의해 발견된 오렌지색 페튜니아에서 외래 DNA 발견
  - 1987년 독일 연구팀이 옥수수의 DFR 유전자를 페튜니아에 삽입해 오렌지색 페튜니아를 개발
  - 발견자는 관련 정보를 핀란드 규제기관에 제공
  - 핀란드, 영국, 네덜란드, 미국, 일본, 뉴질랜드 등에서 GM페튜니아가 유통 및 판매된 것으로 확인
  - GM작물 연구단계에서 발생
- (조치) 핀란드 정부는 GM페튜니아 발견이 확인된 즉시 해당 사실을 유럽 및 미국에 통보함
  - 각 국은 GM페튜니아로 확인된 품종을 발표하고 해당 품종의 리스트를 지속적으로 업데이트(20 품종 이상)
  - 각 국 정부(핀란드, 영국, 네덜란드, 미국, 호주 및 일본)는 재배자, 유통업자, 소매업자에게 해당 품종을 폐기하도록 명령: 소각, 고온 및 고압 멸균, 퇴비화, 제조제 처리 등의 방식 제시
  - 인체 및 환경에 위해성이 없거나 무시할 정도로 낮은 수준임을 발표함
  - GM페튜니아의 유통이 불법이므로 정부 차원의 보상은 이루어지지 않음
- (시사점) 최초 발견국인 핀란드의 신속하고 정확한 정보 공개로 주변국의 피해를 방지하고 LMO 규제 기관의 조치에 대한 신뢰감이 형성됨

### 03 LM유채 환경방출 사고지역의 농업환경 분석 및 정부대응 분석

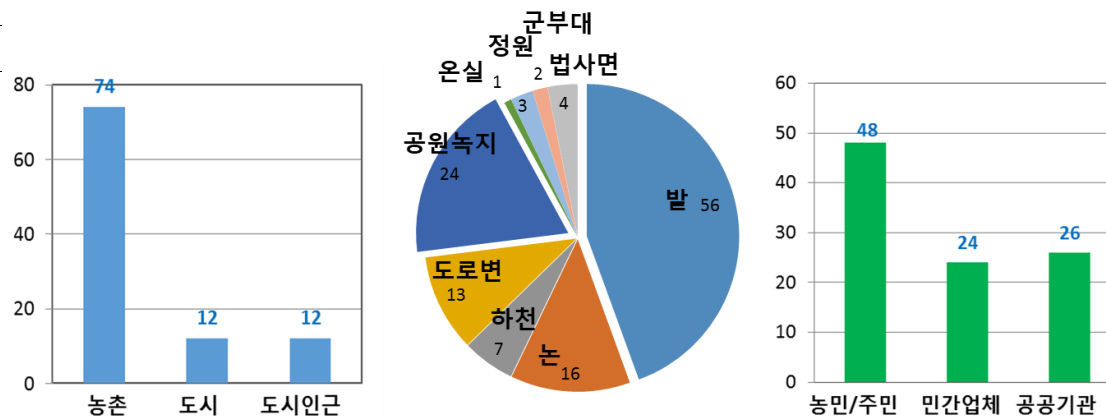
1. LM유채 환경방출 사고지역 농업환경 분석
2. LM유채 환경방출 후 정부초기대응 분석
3. LM유채 환경방출 사고지역의 위해도 분석

#### 1. LM유채 환경방출 사고지역 농업환경 분석

- 금번 미승인 LM유채 환경방출 사고지역은 전국 총 98개소, 총 LM유채 재식 면적은 721.73 ha, LM유채 종자 파종량은 약 16.5 톤임
  - 사고지역 개소 수로는 서울경기 지역이 22개소로 가장 많았으나 면적 기준으로는 전북 359.34 ha, 광주전남 297.20 ha로 전라도의 사고지역이 총 면적의 91%를 차지
  - 지역환경별로 농촌 74개소, 도시 및 도시 인근 24개소
  - 재배지 환경에 따르면 밭 56개소, 공원녹지 24개소, 논 16개소 순으로 분포하였으나, 논 면적이 약 645.09ha로 총 LM유채 재식 면적의 약 89.4%를 차지함
  - 논 16개소 중 14개소가 전라도에 위치하는데, 논에 LM유채를 재배한 경우 토양이 습하기 때문에 LM유채 종자가 휴면 상태로 생존하기 어려워 위해성이 매우 낮으므로 사후관리가 용이할 것으로 예상됨

<LM유채 환경방출 사고지역 지역별 분포>

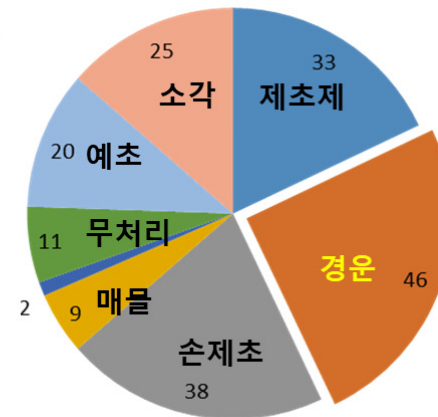
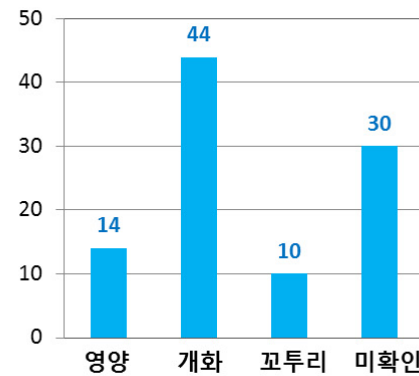
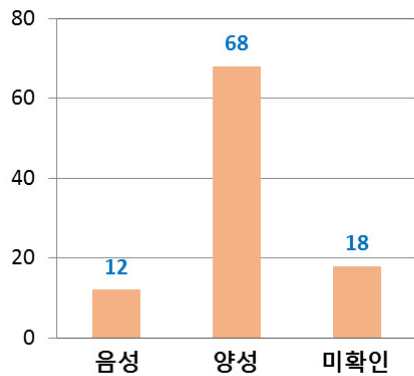
지역	개소	면적(ha)	비중(%)
강원	6	1.85	0.3
서울경기	22	7.50	1.0
충북	9	7.83	1.1
충남대전	10	22.67	3.1
전북	10	359.34	49.8
광주전남	16	297.20	41.2
대구경북	7	3.17	0.4
부산경남제주	18	22.19	3.1
합계	98	721.73	100.0



<LM유채 환경방출 사고지역 특성에 따른 구분>

## 2. LM유채 환경방출 후 정부초기대응 분석

- 2017년 5월 종자용 미승인 LM유채가 최초 발견된 직후 농림축산식품부 주관으로 국립종자원, 농림축산검역본부, 국립농산물품질관리원, 농촌진흥청 및 지자체 등이 참여하는 LMO 안전관리대책반을 구성·운영하여 전국적 환경방출이 발생하였음을 인지하고 LM유채 폐기 및 사후관리를 지속적으로 실시
- LM유채 환경방출 사고지역 98개소 초기대응 상황
  - 최초 현장 방문 시기: 5월12일 ~ 6월 28일
  - LM유채 여부 확인: 양성 68, 음성 12, 미확인(사전폐기 등) 18
  - LM유채 폐기시 유채의 생육단계: 영양 14, 개화 44, **꼬투리 10**, 미확인(사전폐기 등) 30
  - LM유채 폐기 방법: 경운>손제초>제초제>소각>예초
  - 확인-격리-폐기-사후관리 방문회수: 평균 5.51회/개소 (5월 12일~9월 5일)
  - 관리상태분류: 양호 84개소, 주의 14개소(경기 안성 20, 충북 영동 30, 충북 음성 31, 충북 진천 33, 충북 청주 36, 충북 충주 37, 충남 예산 38, 대전 서구 40, 충남 당진 41, 충남 홍성 43, 충남 서천 47, 대구 동구 79, 경남 거제 81, 경남 김해 83)
- 사고지역 당 평균 5.5회 방문 등 적극적, 신속한 대응이 이루어짐
- 문제점
  - 꼬투리 형성기에 경운 매물 처리하는 등 유채의 생육단계별 차별화된 대응 속도 및 폐기 방법 적용 미흡
  - 관리상태분류 시 구체적·객관적 분류 기준 제시 미흡



<LM유채 환경방출 사고지역 초기대응 현황>

### 3. LM유채 환경방출 사고지역의 위해도 분석

- LM유채 환경방출 사고지역 현장방문조사: LM유채 방출 규모 및 농업 환경 등을 고려하여 각 권역별로 강원 4, 서울경기 6, 충북 6, 충남 7, 전북 4, 광주전남 5, 대구경북 3, 부산경남제주 9개소 등 총 44개소의 사고지역을 현장 방문 조사함
  - 현장 방문 시기: 9월~11월
  - 유채 추계발생여부 확인: 발생 28 (63.6%), 미발생 14
  - LM유채 양성 여부: 양성 14, 음성 14, 미발생 14
- LM유채 환경방출 사고지역의 위해도 분석
  - LM유채의 위해도는 유전자 이동성 및 잡초화 가능성 각각의 위해성 및 종합적인 위해도를 구하여 평가함
  - LM유채의 **유전자 이동 위해성**은 방출규모, 재배환경, 주변과의 거리정도, 근연종 유무, 추계발생정도, 월동 가능성, LMO 양성 유무 및 추계발생개체의 LMO 양성 유무와 같은 8가지 요소의 영향을 곱하여 계산
  - LM유채의 **잡초화 위해성**은 방출규모, 종자휴면생존환경, 폐기 시 생육단계, 폐기 방법, 하계발생정도, 추계발생정도, 월동 가능성, LMO 양성 유무 및 추계발생개체의 LMO 양성 유무와 같은 9가지 요소의 영향을 곱하여 계산
  - LM유채의 **종합 환경 위해도**는 유전자 이동 위해성 지수와 잡초화 위해성 지수의 합으로 도출
  - 단, 현장방문하지 않은 56개소의 추계발생정도 및 추계 LMO 양성 여부는 미확인으로 일괄처리함

<환경방출 사고지역 위해 요소 및 점수 산정기준>

요소	점수 산정 기준	요소	점수 산정 기준
방출 규모	1 ( $\leq 10 \text{ m}^2$ ), 2 ( $\leq 100 \text{ m}^2$ ), 3 ( $\leq 1000 \text{ m}^2$ ), 4 ( $\leq 10000 \text{ m}^2$ ), 5 ( $\leq 100000 \text{ m}^2$ ), 6 ( $\leq 1000000 \text{ m}^2$ ), 7 ( $> 1000000 \text{ m}^2$ )	하계발생정도	미발생 1, 발생 2
		LMO양성 유무	음성 1, 미확인 2, 양성 3
재배환경	운실 0.1, 군부대/가정집 1, 논/도심 2, 밭/산야 3, 도로변/하천변/법사면 4	추계발생정도	비발생 1, 비확인/소량( $< 1 \text{ 개체/m}^2$ ) 1.5, 중간 2( $< 10 \text{ 개체/m}^2$ ), 대량 3( $< 100 \text{ 개체/m}^2$ ), 초대량 4( $> 100 \text{ 개체/m}^2$ )
거리정도	매우 높음 0, 높음 1, 중간 2, 낮음 3	추계 LMO양성 유무	음성 1, 미확인 2, 양성 3
종자휴면생존환경	논 0.1, 기타환경 1	폐기시 생육단계	영양생장 1, 미확인/사전폐기 2, 개화기 3, 꼬투리형성기 4
근연종 유무	낮음 1, 중간 2, 높음 3	폐기 방법	제거소각 1, 제초제/영양생장기 경운매립/ 무처리 2, 개화기 이후 경운매립 3
월동가능성	낮음 1, 중간 2, 높음 3		

&lt;LM유채 환경방출 사고지별 환경위해도&gt;

관리번호	환경방출지	유전자이동위험성	잡초화위험성	종합환경위해도성	관리번호	환경방출지	유전자이동위험성	잡초화위험성	종합환경위해도성
1	강원 춘천시	216	216	432	26	경기 연천군	216	54	270
2	강원 태백시	1296	324	1620	27	경기 파주시	324	162	486
3	강원 평창군	648	36	684	28	경기 파주시	36	36	72
4	강원 인제군	243	27	270	29	충북 괴산군	72	72	144
5	강원 인제군	432	108	540	30	충북 영동군	1944	216	2160
6	강원 원주시	108	81	189	31	충북 음성군	864	72	936
7	서울 동작구	12	6	18	32	충북 진천군	288	72	360
8	인천 용진군	324	27	351	33	충북 진천군	480	540	1020
9	인천 서구	108	243	351	34	충북 청주시	1152	1728	2880
10	인천 연수구	144	36	180	35	충북 청주시	1152	1728	2880
11	경기 수원시	96	16	112	36	충북 청주시	810	180	990
12	경기 수원시	48	8	56	37	충북 충주시	1920	240	2160
13	경기 부천시	216	243	459	38	충남 예산군	2160	1080	3240
14	경기 과천시	144	324	468	39	충남 서천군	1152	144	1296
15	경기 광주시	36	24	60	40	대전 서구	2160	1620	3780
16	경기 이천시	0	12	12	41	충남 당진시	540	810	1350
17	경기 화성시	288	36	324	42	세종시	1296	216	1512
18	경기 용인시	540	540	1080	43	충남 홍성군	1152	288	1440
19	경기 용인시	216	36	252	44	충남 홍성군	72	72	144
20	경기 안성시	864	288	1152	45	충남 공주시	1296	576	1872
21	경기 안성시	2592	144	2736	46	충남 보령시	768	192	960
22	경기 안성시	216	3.6	220	47	충남 서천군	320	320	640
23	경기 안성시	576	216	792	48	전북 고창군	648	10.8	659
24	경기 안성시	288	9.6	298	49	전북 고창군	648	10.8	659
25	경기 안성시	96	48	144	50	전북 임실군	1944	162	2106

&lt;LM유채 환경방출 사고지별 환경위해도(계속)&gt;

관리번호	환경방출지	유전자이동위험성	잡초화위험성	종합환경위해성	관리번호	환경방출지	유전자이동위험성	잡초화위험성	종합환경위해성
51	전북 무주군	1944	1296	3240	75	경북 영천시	432	36	468
52	전북 군산시	360	540	900	76	경북 의성군	1296	108	1404
53	전북 군산시	720	810	1530	77	경북 칠곡군	2592	864	3456
54	전북 부안군	1728	486	2214	78	대구 수성구	5184	48	5232
55	전북 완주군	1620	81	1701	79	대구 동구	1620	540	2160
56	전북 익산시	432	14.4	446	80	경북 구미시	2592	108	2700
57	전북 익산시	1008	16.8	1025	81	경남 거제시	648	216	864
58	전남 순천시	2916	432	3348	82	경남 거제시	1458	243	1701
59	전남 화순군	972	72	1044	83	경남 김해시	972	324	1296
60	광주 동구	2592	108	2700	84	경남 남해군	486	108	594
61	광주 남구	648	72	720	85	경남 남해군	2187	40.5	2228
62	전남 나주시	3240	4320	7560	86	부산 기장군	972	81	1053
63	전남 무안군	486	36	522	87	부산 기장군	1296	72	1368
64	전남 영암군	1458	64.8	1523	88	부산 금정구	972	27	999
65	전남 강진구	486	10.8	497	89	경남 사천시	1944	144	2088
66	전남 영암군	2916	64.8	2981	90	경남 통영시	1215	202.5	1418
67	전남 신안군	2592	28.8	2621	91	경남 통영시	1215	202.5	1418
68	전남 신안군	1944	43.2	1987	92	경남 통영시	1215	202.5	1418
69	전남 신안군	5832	129.6	5962	93	경남 통영시	1215	202.5	1418
70	전남 진도군	1458	108	1566	94	울산 중구	864	144	1008
71	전남 진도군	1944	10.8	1955	95	울산 울주군	486	40.5	527
72	전남 진도군	1620	9	1629	96	경남 함양군	2187	162	2349
73	전남 진도군	2916	32.4	2948	97	경남 합천군	1458	108	1566
74	경북 군위군	324	27	351	98	제주 애월읍	729	216	945

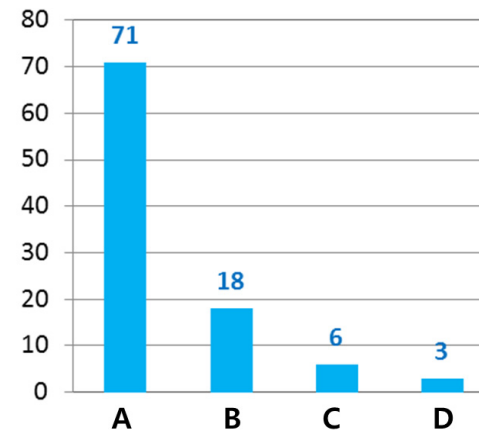


## 04 LM유채의 국내 유통/보급경로 파악 및 문제점 분석

1. 국내 유통경로 파악 및 문제점 분석
2. 수출국 현지 방문 조사

### 1. 국내 유통경로 파악 및 문제점 분석

- 금번 미승인 LM유채는 일반 종자용 유채로 수입되었음
  - 4개 수입업체가 중국에서 유채종자를 확보하여 국내반입 후 다양한 업체를 통해 농가/재배업체로 유통하였으며, 주 반입경로는 A, B 업체임
- 미승인 LM유채가 국경검사를 정상적으로 거친 종자로 확인됨
  - (문제점) 검역 단계의 허점 발생함
  - (개선) 미승인 LMO 종자 국경검사 시 시료채취 기준을 강화하고 수입되는 종자량에 따라 충분히 대표성을 띠는 표본을 추출할 수 있는 표본 추출방식 및 정확한 검정법을 확립하는 것이 시급
- 금번 LM유채는 조경 및 녹화용으로 수입된 일반 유채 종자에 혼입
  - (문제점) 종묘관리 전문성이 없는 단순 무역업체에 의해 수입되어 종자의 품질이 보장되지 않았으며, 사고 발생 시 원인 파악에도 비협조적이었음
  - (개선) 미승인 LMO의 불법유입을 차단하기 위해 국내·외에서 LMO로 상용화된 식물종의 종자를 재배용으로 수입할 경우, 종자의 유통 경로를 자체 보증 능력을 지닌 전문 종자사업자로 일원화하도록 유도하고, 수입종자에 대한 국경 검사를 강화하는 등 제도적 장치 마련이 요구됨



<종자용 미승인 LM유채 수입업체별 공급 개소>

## 2. 수출국 현지 방문 조사

- 2017년 12월 2일~4일에 서울대학교 연구팀과 환경단체 합동으로 미승인 LM유채 수출국인 중국 내 유채 재배지 방문 조사 실시
- 방문 조사지: 중국 강소성(장쑤성)
  - 연간 유채 재배면적이 약 37 ha
  - 강소성 내 난징, 양주, 태주 및 난통 지역의 11개소를 방문 조사
  - 현지 유채 재배 방식은 대체로 유채를 육묘하여 이식하는 방식이었으며, 일부 직파 재배 포장의 경우 갓, 유채, 무 등이 재발생하여 혼재되어 있었음
  - 현지에서 채취한 시료 40점을 대상으로 간이 검정을 실시한 결과 모든 시료에서 LM유채가 미검출됨



<강소성 유채 재배지 방문 지역>

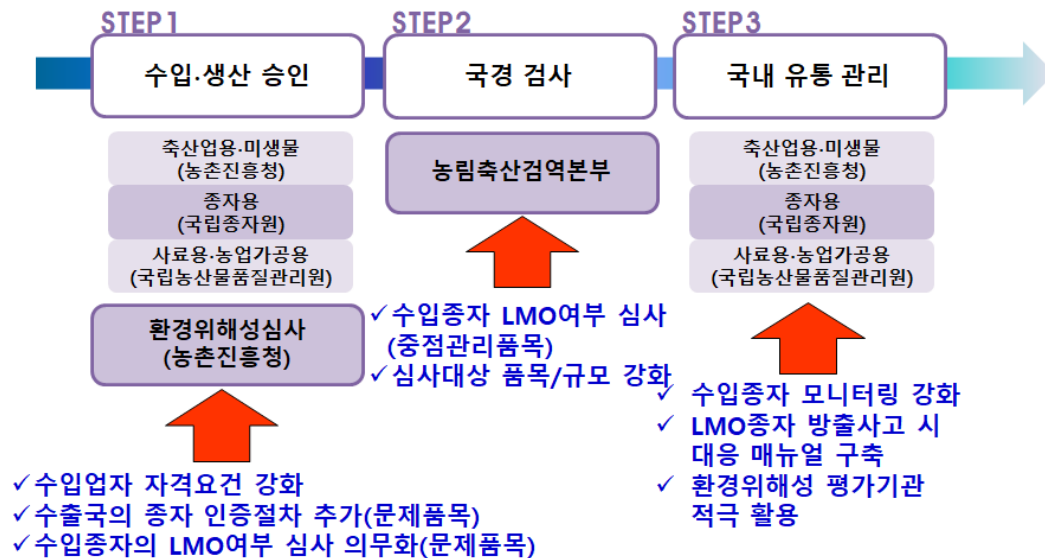
- 추후 국내 수입업체의 거래처 역추적 조사 필요
  - 이번에 중국에서 수입된 LM유채 종자는 발아율이 매우 불량하고 순도도 좋지 않았음
  - 따라서 중국 내 관상용 유채 포장에 혼입된 LM유채 종자를 채종하여 유통하였거나 제 3국에서 수입한 LM유채 종자를 재수출한 두 가지 가능성을 고려하여 조사해야 함



## 05 LM유채의 환경방출 사고에 대한 정부 대응체계 개선방안(제안)

1. LM유채의 수입, 검역, 유통 및 환경방출 단계별 제도적 개선점
2. LM유채 환경방출사고 이후 대응체계상 개선점

### 1. LM유채의 수입, 검역, 유통 및 환경방출 단계별 제도적 개선점



<농업용 LMO 유통단계별 국내 안전관리체계 및 단계별 제도적 개선점>

#### ➤ LMO법 상 비의도적 환경방출 개념 추가

- (현행) LMO법 상 "환경 방출"이란 유전자변형생물체를 시설, 장치, 그 밖의 구조물을 이용하여 밀폐하지 아니하고 의도적으로 자연환경에 노출되게 하는 것을 말한다고 정의
- 본 정의에는 비의도적 환경방출에 대한 개념이 누락되어 있기 때문에 관련자가 환경방출 사고 발생 시 책임을 회피하기 위해 악용할 여지가 존재
- 비의도적 환경방출에 대한 개념이 누락되어 있어 종자 혼입 등에 의한 실제 농가 재배 수준의 환경방출 사고에 대응하는 데 한계가 있음
- (개정) LMO법 상 "환경 방출"의 정의 및 범위에 비의도적 환경방출을 추가할 필요성 있음

## 1) 수입·생산 승인 단계

- LMO 환경위해성 심사 방법 정립
  - (현행) 신규 LMO에 대한 환경위해성 심사 규정은 있으나 실제로 적용 가능한 위해성 평가 방법이 확립되지 않은 상태
  - (개정) LMO 환경위해성 심사의 기준·방법의 정립을 위해 국내 LMO 환경위해성평가기관(농과원, 식량원, 대학 등)을 적극 활용하는 것이 필요
- 수입 종묘의 LMO유무 평가 강화
  - LMO 여부와 관계없이 재배 목적으로 수입되는 종묘가 미승인 LMO 검출 빈도가 높은 품목일 경우, 검역 신청 시 수출국에서 발행한 non-LMO 인증서를 필수 제출하도록 하고, 불가한 경우에는 검역본부에서 지정한 국내 공인 기관에서 발행한 LMO 유무 인증서를 필수로 제출토록 하는 것이 필요

## 2) 국경검사 단계

- 국경검사대상 조항 개정
  - (현행) LMO 국경검사대상은 종자용·사료용·농업가공용으로 수입되어 원형상태로 환경방출될 우려가 있는 품목을 대상으로 농림축산검역본부장이 정한 품목(28품목)으로 되어 있음
  - 실제로는 LMO 여부에 관계없이 종자용·사료용·농업가공용으로 수입되어 원형상태로 환경에 방출될 우려가 있는 품목 모두를 국경검사의 대상으로 하고 있지만, LMO법 상 명문화되어 있지 않으므로 혼동이 우려됨
  - (개정) LMO법에 국경검사 대상에 대한 명확한 기술 필요
- 수입 종자 LMO 검사기반 강화
  - 시료채취 기준 강화: 현행 시료채취 방법은 시료 채취는 농림축산업용 유전자변형생물체의 국경검사세부실시요령에 따라 모집단이 균일하다는 가정 하에서 수립된 것으로서, 금번 LM유채 환경방출 사고와 같이 종자의 순도가 낮고 균일성이 떨어지는 경우 수입 물량을 대표하지 못하므로 시료 채취기준을 강화해야 함
  - LMO 검사 전문성 향상 및 시간 단축을 위해 LMO 유무 심사 인증 전문기관의 육성 및 운용 고려
- 폐기처분 조항 개정
  - (현행) 국경검사를 통과하지 못한 종자의 폐기는 소각 또는 매몰을 원칙으로 하되 LMO의 발아 또는 번식능력을 완전히 제거하는 파쇄·가열 등으로 대신할 수 있음
  - (개정) 종자를 토중으로 매몰 폐기할 경우 토양 내 Seedbank를 형성하여 휴면상태로 장기간 지속됨. 작물별 특성에 따라 매몰을 통한 폐기가 부적합할 수 있으므로 반송 또는 파쇄·가열을 원칙으로 하는 것으로 개정하는 것이 적합함

### 3) 국내 유통 단계

- 중점관리품목 수입·유통 요건 강화 종자 수입업자 자격요건 강화 및 종자 유통 경로 일원화
  - 현행 법 제도에서는 LMO로 수입 신고하지 않은 종자에 LMO가 혼입되어 있을 경우, 검역 시 수행되는 국경 검사가 유일한 검정 단계이므로 추가적인 안전장치가 필요
  - 종자 유통 시 책임소재를 분명히 하고, 검역 단계에서 미승인 LMO를 검출하지 못하였을 경우에도 종자업자의 자체 검정을 통해 이중으로 검정하도록 하기 위해 중점관리품목에 한하여 재배용 종자의 유통권한을 종자사업자로 국한하고, 종자관리사 보유를 의무화하여 종자사업자의 자격요건을 강화해야 함
  - 중점관리품목: 국내·외에서 LMO로 상용화 또는 개발된 작물
  - (현행) 녹화용·경관용 종자의 수입유통 경로: 수입업자 → 일반 유통업자 → 소비자
  - (개선) LMO여부와 재배용으로 유통되는 중점관리품목 종자의 유통을 종자업자를 통하는 경로로 일원화: 수입업자 → 종자업자 → 지역소매업자(종자상, 농약상) → 소비자

## 2. LM유채 환경방출사고 이후 대응체계상 개선점

- LM유채의 생육특성을 고려한 생육단계별 폐기 방법 적용
  - (문제점) 전국적 규모의 환경방출 사고가 발생한 긴급상황에서 LM유채를 신속히 폐기 조치하느라 LM유채의 생육특성을 고려한 LM유채의 생육단계별 차별화된 대응 속도 및 폐기 방법 적용이 다소 미흡하였음
  - (후속관리) 꼬투리 형성이 진행된 이후 경운/매물 처리한 경우, 유채 종자가 토양 중에서 휴면하여 장기간 지속할 가능성이 높음. 논일 경우 관개를 통해 종자 활성을 제거하고, 밭 조건인 경우 장기간 모니터링 필요
  - (개선) 유채가 개화하여 먼저 핀 꽃이 떨어진 후(꼬투리 형성 전) 경운/매물 폐기 금지
- 사고지역 농업환경 분석을 통한 차별화/체계적 관리방안 수립 필요
- LM유채의 환경방출 사고에 따른 피해 농가에 대한 보상 방안 마련
  - 현 제도상 LM유채 방출에 대한 정부의 보상 방안마련이 어려움. 유사한 사례 발생 대비 피해농가 보상 및 폐기 비용 지원의 제도적 장치 마련이 시급함
  - 2017년의 피해에 대한 소급 보상은 어렵지만, 2018년부터는 모니터링 및 사후관리를 위한 지원금을 마련하여 농민의 협조를 유도해야 함
  - 책임 소재에 따른 보상 규정 마련 필요: LMO개발(정부/ 연구책임자 등), LMO 수입유통(민간 종자사업자), 책임자 불명인 경우를 산정하여 추가 의정서의 관련 규정을 반영한 국내 LMO법 개정 필요

## 06 LM유채의 환경방출 지역에 대한 후속 관리방안(제안)

1. 단기적 관리방안(2018년까지)
2. 장기적 관리방안

### 1. 단기적 관리방안 제안(2018년까지)

- 현장 모니터링
  - 위해도와 상관없이 모든 98개 LM유채 환경방출 사고지역을 대상으로 봄(3월~6월) 동안 유채의 재발생에 대한 현장 모니터링을 실시해야 하며, 재발생 유채는 유채 개화 전에 반드시 제거해야 함
- 재발생 유채 폐기 방법
  - 전체폐기 가능 지역: 비선택성 제초제 Glufosinate-ammonium 등을 처리하여 지상부를 완전고사 시킨 후, 고사된 지상부를 수거·소각한 후 경운로터리
  - 전체폐기 불가지역: 손제초 하거나 화본과 작물에는 비교적 안전한 광엽잡초용 제초제(Dicamba 등)를 처리하여 유채를 완전고사 시킨 후, 고사된 지상부를 수거·소각한 후 경운로터리
  - 유채 비발생/유묘기: 경운로터리로 물리적 폐기하는 것이 적합, 유채 발생 시에는 제초제 처리를 선행한 후 경운/폐기하여 유채가 재생하지 않도록 하는 것이 바람직함
  - 유채 개화기 이후: 꼬투리 형성이 시작되면 토양 중 seedbank가 형성될 우려가 크므로 경운폐기를 절대 금하고, 예취 후 소각 폐기
- LM유채 재배지에 동과 작물 재배 금지
  - LM유채 재배지: 지역의 위해도와 무관하게 모든 사고 지역에서 1년 간 후작물로 배추과 작물 재배 금지
  - LM유채 환경방출 사고 지역 인근 재배지: 반경 1 km 이내 유채 재배 금지, 반경 100 m 이내 갓 재배 금지 및 자연서식 갓을 제거하여 종간 교잡 가능성을 제거

## 2. 장기적 관리방안 제안

- 농촌진흥청 국립농과원 생물안전성과 중심 체계적 관리
  - 신속한 대응 및 관리를 위한 권역별 관리 전담팀 구성 및 상시 운용
  - LM작물의 환경방출사고 발생 시 긴급 대응을 위한 매뉴얼 작성 필요. 특히 국내에 야생종 또는 근연종이 서식 중인 작물의 경우 LM작물 환경방출사고에 대비한 초동대처 및 사후관리를 위한 매뉴얼 마련 필요
  - 향후 환경부, 종자원, 농진청 등에서 모니터링을 수행할 경우 지자체 및 지역별 환경단체와 적극 공조를 통해 국민의 우려를 불식시키는 노력이 필요
  - 해당지역 유채 발생밀도나 관리현황에 대한 조사결과를 적극적으로 공유하여 정확한 환경영향조사가 가능하도록 해야 함
  
- 위해도별 LM유채 발견 지역에 대한 사후관리 제안
  - LM유채 환경방출 사고지역을 종합 환경위해도에 따라 6단계로 구분하였으며, 이러한 위해도에 따라 차별화된 사후관리 방안을 제안함

위해도 수준	매우 낮음 0-99	낮음 100-499	다소 낮음 500-999	중간 1000-2499	높음 2500-4999	매우 높음 >5000
대상지역 수	5	23	17	37	13	3
사후관리 기간	1년	단기	중단기	중기	중장기	장기
모니터링/후발생개체 제거	3월~6월 집중		3월~6월, 9월~10월 집중			
유전자이동성 억제 활동	5월 전후 개화이전 집중 제거		5월 전후, 9월전후 개화이전 집중 제거			
잡초화 억제 활동	봄에 후발생 개체 확인시 제거(제초제)/경운		봄/가을에 후발생 개체 확인시 제거(제초제)/초기경운			
유채재배금지	단기	중단기	중기	중장기	장기	완전 금지
근연종 재배 금지	1년	단기	중단기	중기	중장기	장기