

11-1543000
-001894-01

발간등록번호
11-1543000-001894-01

파종상 비료와 육묘상 처리농약 혼합제 개발 최종보고서

2017 농림축산식품부

첨단생산기술개발사업 R&D Report

파종상 비료와 육묘상
처리농약 혼합제 개발
최종보고서

2017. 11. 24.

주관연구기관 / (주)팜한농
협동연구기관 / 경기도 농업기술원

농림축산식품부

제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

본 보고서를 “과중상 비료와 육묘상 처리농약 혼합제 개발”(개발기간 : 2015. 08. - 2017. 08.)과제의 최종보고서로 제출합니다.

2017. 11. 24.

주관연구기관명 : ㈜팜한농 (박진수) (인)

(김용환) (인)

협동연구기관명 : 경기도 농업기술원 (김순재) (인)

참여기관명 : 전라남도 농업기술원 (김성일) (인)

충북대학교 (우수동) (인)

충남대학교 (김영국) (인)

주관연구책임자 : 이준석

협동연구책임자 : 박중수

참여기관책임자 : 권오도

우선회

조진웅

국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제18조에 따라 보고서 일람에
동의합니다.

보고서 요약서

과제고유번호	305008-2	해당 단계 연구 기간	2016.8~2017.8	단 계 구 분	(2년차)/ (2년)
연구사업명	단 위 사 업	농식품기술개발사업			
	사 업 명	첨단생산기술개발			
연구과제명	대 과 제 명				
	세 부 과 제 명	과종상 비료와 육묘상 처리농약 혼합제 개발			
연구책임자	이준석	해당단계 참 여 연구원 수	총: 39명 내부: 33명 외부: 6명	해당단계 연 구 개 발 비	정부:250,000천원 민간:140,000천원 계:390,000천원
		총 연구기간 참 여 연구원 수	총: 40명 내부: 34명 외부: 6명	총 연구개발비	정부:400,000천원 민간:300,000천원 계:700,000천원
연구기관명 및 소속부서명	(주)팜한농 비료연구팀 경기도 농업기술원 기후환경팀			참여기업명 (주)팜한농	
위탁연구	연구기관명: 전라남도 농업기술원 충북대학교 충남대학교			연구책임자: 권오도 우선희 조진웅	
요약				보고서 면수 : 109 페이지	
<ol style="list-style-type: none"> 1. 비료농약 혼합제의 코팅 컨셉을 확정하였음 2. 약제의 안전성 및 안정성, 비료의 및 농약의 용출도, 약제의 잔물 잔류시험 등을 통하여 최종 2개 처방(Oryastrobin+ Clothianidin, Probenazole+ Clothianidin) 선정하였음 3. 최종 처방에 대한 5개 지역의 실증시험 결과 생육은 4개 지역에서 관행 대비 동등 이상이었고, 병 및 충이 발생하지 않은 지역을 제외하고 살균 및 살충효과가 있음을 확인하였음 4. 농업환경 부하 절감(비점오염원 경감) 효과 시험결과 관행 대비 강우 시 유출수 중의 총질소(T-N)은 50%, 총인(T-P)는 15% 경감시키는 효과가 있었음 5. 농자재 처리 및 노동력 비용을 고려한 비료농약 혼합제의 경제성은 관행재배의 표준시비 대비 약 199천원/ha이 증가되며, 농가시비 대비 약 95천원/ha 감소되며, 측조시비 재배 대비 약 77천원/ha 감소되었음 6. 비료농약 혼합제 제조방법 및 조성에 대한 특허 2건 출원 					

국문 요약문

연구의 목적 및 내용	1. 연구의 목적 비료와 농약을 합제하여 1회 처리로 관행농법과 비등한 수량을 확보할 수 있는 노동력 절감형 및 환경 친화형 제품 개발 2. 연구의 내용 (1) 비료농약 혼합제 처방 개발 - 약제 및 비료의 처방 선정 - 처방별 약제 및 비료의 용출도 검증 - 약제의 안전성 및 안정성 검증, 약제의 작물 잔류시험 - 최종 처방 선정 (2) 처방별 효과 검증 - 처방별 처리량 선정 시험, 지역별 효과 확인 시험 - 비료농약 혼합제의 경제성 분석				
연구개발성과	1. 비료농약 혼합제의 코팅 컨셉 확정 2. 약제의 안전성 및 안정성, 비료 및 농약의 용출도, 약제의 잔물 잔류시험 등을 통하여 최종 2개 처방(Oryastrobin + Clothianidin, Probenazole + Clothianidin) 선정하였음 3. 최종 2개 처방에 대한 5개 지역의 실증시험 결과 생육은 4개 지역에서 관행 대비 동등 이상이었고, 병 및 충이 발생하지 않은 지역을 제외하고 살균 및 살충 효과가 있음을 확인하였음 4. 농업환경 부하 절감(비점오염원 경감) 효과 시험결과 관행 대비 강우 시 유출수 중의 총질소(T-N)는 50%, 총인(T-P)는 15% 경감시키는 효과가 있었음 5. 농자재 처리 및 노동력 비용을 고려한 비료농약 혼합제의 경제성은 관행재배의 표준시비 대비 약 199천원/ha이 증가되며, 농가시비 대비 약 95천원/ha 감소되며, 측조시비 재배 대비 약 77천원/ha 감소되었음 6. 비료농약 혼합제 제조방법 및 조성물에 대한 특허 2건 출원하였음				
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	본 연구개발을 통해 기술적 측면에서는 사용 매뉴얼 제작 보급으로 적용 농가의 안정적 생산에 기여하며, 수계로 유입되는 유출수의 부영양화 물질 저감효과로 수질환경 오염 부하량을 감축, 비료 사용량 감소로 인해 온실가스 발생을 저감시킬 수 있을 것으로 기대된다. 또한 경제, 산업적 측면에서는 비료 사용량 50% 이상 절감을 통한 비료원료 수입비용 감소 및 물류비용 절감의 효과가 기대된다.				
중심어 (5개 이내)	농약	비료	혼합	약해	용출제어

< SUMMARY >

Purpose & Contents	<p>1. Purpose Development of labor-saving and eco-friendly product that combining fertilizers and pesticides can achieve same yields comparable to those of conventional farming methods by one treatment.</p> <p>2. Contents (1) Recipe development of seedling box treatment agricultural chemicals and controlled release fertilizer mixture product for rice - Selection of recipe for agricultural chemicals and fertilizer - Verification of dissolution of agricultural chemicals and fertilizer by recipe - Safety and stability of medicines, testing of crop residue - Selection of final recipe (2) Verification of effect by recipe - Throughput selection test by recipe and effect confirmation test by region - Economical analysis of seedling box treatment agricultural chemicals and controlled release fertilizer mixture product for rice</p>				
Results	<p>1. Determination of coating concept of seedling box treatment agricultural chemicals and controlled release fertilizer mixture product for rice.</p> <p>2. Select the final two recipes(Oryastrobin + Clothianidin, Probenazole + Clothianidin) through the safety and stability of agricultural chemicals, the elution of fertilizers, and agricultural chemicals and the residue test of agricultural chemicals.</p> <p>3. The field test result of the five provinces to the final two recipes, the growth was equal to or higher than the control in the four regions, and the sterilization and insecticidal effects were confirmed except for the areas where the disease and insect was not generated.</p> <p>4. The results of the reduction tests of agricultural environmental load(non-point pollution source), seedling box treatment agricultural chemicals and controlled release fertilizer mixture product for rice were effective in reducing the total nitrogen(T-N) and total phosphorus(T-P) in the effluent by 50% and 15%, respectively compared to the control.</p> <p>5. The economic feasibility of seedling box treatment agricultural chemicals and controlled release fertilizer mixture product for rice considering the cost of farming materials and labor costs increased about 199,000 won/ha compared to the standard fertilization of conventional cultivation, decreased about 95,000 won/ha compared to the farming fertilization, and decreased about 77,000 won/ha compared to the side fertilization.</p> <p>6. Two patents have been filed for manufacturing method and composition of seedling box treatment agricultural chemicals and controlled release fertilizer mixture product for rice.</p>				
Expected Contribution	<p>Through this research and development, it contributes to the stable production of applied farms through the production and dissemination of user manuals in terms of technical aspects, it is expected to reduction of eutrophication substances of effluent flowing into the water system reduces the pollutant load of water quality environment and reduces the generation of greenhouse gas due to decrease of fertilizer usage. Also, in terms of economy and industry, it is expected to reduce fertilizer raw material import cost and logistics cost savings by reducing 50% or more of fertilizer usage.</p>				
Keywords	Agricultural chemicals	Fertilizer	Mixture	Damage from agricultural chemicals	Controlled release

< CONTENTS >

Chapter 1. Summary	7
Chapter 2. Important and state of domestic and foreign technology	15
Chapter 3. Research items and results	17
Chapter 4. Objective achievement and contribution of related area	100
Chapter 5. Application of research results	102
Chapter 6. Foreign technologies collected during research project	103
Chapter 7. Security class of research project	104
Chapter 8. The present state of research equipment	104
Chapter 9. Laboratory safety management implementation performance	104
Chapter 10. Representative record of research project	104
Chapter 11. Except of subjects	104
Chapter 12. References	105

< 목 차 >

제1장	연구개발과제의 개요	7
제2장	국내외 기술개발 현황	15
제3장	연구수행 내용 및 결과	17
제4장	목표달성도 및 관련분야에의 기여도	100
제5장	연구결과의 활용계획 등	102
제6장	연구과정에서 수집한 해외과학기술정보	103
제7장	연구개발성과의 보안등급	104
제8장	국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비현황	104
제9장	연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전조치 이행실적	104
제10장	연구개발과제의 대표적 연구실적	104
제11장	기타사항	104
제12장	참고문헌	105

제1장 연구개발과제의 개요

제1절 연구개발의 목적

농업인구의 고령화 및 수도작 재배의 광작화 등으로 생력화 비료가 필요하고, 국가 정책인 농업분야 온실가스 저감목표 달성 및 환경오염 부하 저감형 비료 개발의 요구도가 증가하고 있는 상황이다.

이에 본 연구에서는 농작업에서 필수적으로 여러 번 처리하는 비료와 농약을 합제화하여 1회 처리로 기존 관행농법과 비등한 수확량을 확보할 수 있는 노동력 절감형 및 환경친화형 제품을 개발하는데 목적이 있다.

제2절 연구개발의 필요성

1. 비료 원료 수급 문제

비료는 무기질 원료를 100% 수입하는 외국 의존도가 높은 산업이다. 원료가격은 하락한 적도 있었으나(2009년) 일시적인 증상이었으며, 지난 10년간('03~12년) 주요 비료 원료 가격은 연간 12.9% 상승률을 보이고 있다(표 1). 비료 원료 가격 상승은 천연 자원인 비료 원료를 매년 소모하고 경제성이 없는 원광을 채굴해야 함으로써 나타난 결과로 가격 상승은 계속될 것으로 전망된다.

표 1. 비료 주요 원료의 가격 변동

구분	년도별 실측값										CAGR (10년간)
	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	
평균가격 (\$/톤)	182.3	207.6	233.4	252.5	329.6	744.9	348.0	427.1	550.4	543.8	12.9
요소	158	195	241	234	325	514	270	309	445	446	12.2
황	61	61	64	52	97	463	56	99	212	189	13.4
암모니아	204	254	271	284	301	560	264	388	551	593	12.6
DAP	185	221	247	260	429	964	320	499	621	535	12.5
MAP	182	216	235	246	417	955	332	491	633	557	13.2
MOP	122	129	160	175	213	477	559	353	453	474	16.3
SOP	202	202	224	315	322	364	412	570	584	598	12.8
P ₂ O ₅	344	383	425	454	533	1662	571	708	904	958	12.1

* 출처 : 비료연감(한국비료공업협회)

2. 농업 환경변화

가. 국내 논 면적 변화

논 면적은 '06년부터 '13년까지 연평균 1.7%씩 지속적으로 감소하고 있고, 인당 쌀소비량이 연간 2%씩 감소되고 있다(표 2).

나. 벼 재배면적별 농가 수 변화

‘10~13년까지의 농가수는 3.1%가 감소하였고, 농촌의 호당 경기면적은 약 1.0%씩 증가하고 있는 실정이다. 그러나 감소율은 5ha 미만이 3.5% 감소하는 반면 5ha이상의 재배농가는 4%증가하여 벼 농사가 광작화되고 있다(표 3).

표 2. 국내 수도면적 변화

구분	년도								CAGR (‘00~‘13)
	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	
논 재배면적(천ha)	955	950	936	924	892	853	849	833	-1.7%
쌀 소비량[aXb]	3,861	3,789	3,755	3,683	3,678	3,612	3,556	3,437	-1.4%
인구수 (천명)[a]	48,992	49,269	49,540	49,773	50,516	50,734	51,141	51,141	0.5%
쌀 소비량(kg/인)[b]	78.8	76.9	75.8	74.0	72.8	71.2	69.8	67.2	-2.0%

* 출처 : 2013년 벼 생력재배 현장 실용화 촉진 워크숍(2013.4.24, 농촌진흥청 국립식량과학원)

표 3. 벼 재배 면적별 농가 수 변화

구분		년도				CAGR [‘10~‘13년]
		2010	2011	2012	2013	
호당 재배면적		1.69	1.67	1.71	1.75	1.0%
5ha 미만	농가수	499,593	483,168	468,137	449,477	-3.5%
	[비율(%)]	[95.5]	[95.0]	[94.7]	[94.4]	-0.4%
	0.5ha 미만	179,463	174,724	163,950	154,590	-4.9%
	0.5~1.0ha 미만	143,954	138,096	133,980	128,299	-3.8%
	1.0~1.5ha 미만	70,479	66,750	65,450	63,803	-3.3%
	1.5~2.0ha 미만	40,161	38,396	38,661	38,162	-1.7%
	2.0~3.0ha 미만	37,306	37,531	37,530	37,004	-0.3%
3.0~5.0ha 미만	28,230	27,671	28,566	27,619	-0.7%	
5ha 이상	농가수	23,560	25,532	26,214	26,494	4.0%
	[비율(%)]	[4.5]	[5.0]	[5.3]	[5.6]	7.3%
	5~10ha 미만	17,640	19,224	19,919	19,930	4.2%
	10ha 이상	5,920	6,308	6,295	6,564	3.5%
총계		523,153	508,700	494,351	475,971	-3.1%

* 출처 : 농림어업조사, 영농형태별 농가(2014, 통계청)

다. 벼 생산농가의 연령 변화

2010~2013년간의 농촌노동력 변화를 보면 65세 이상의 고령 농촌 인구는 연간 0.8% 증가하고, 45세 미만의 농업인구는 3.1%씩 감소하여 농촌 노동력은 고령화가 가속화되고 있는 실정이다(표 4).

표 4. 벼 생산농가 경영주의 연령분포

구분	년도				CAGR [10~13년]
	2010	2011	2012	2013	
계 (농가수)	523,153	508,698	494,353	475,970	-3.1%
65세 미만 (농가수)	250,480	236,180	215,993	197,050	-7.7%
45세 미만	32,848	25,767	21,535	16,639	-20.3%
45~54세	86,820	82,200	73,222	64,541	-9.4%
54세~65세	130,806	128,213	121,236	115,870	-4.0%
65세 이상 (농가수)	272,673	272,518	278,360	278,920	0.8%
[비중(%)]	[52.1]	[53.6]	[56.3]	[58.6]	4.0%

* 출처 : 농림어업조사, 영농형태별 농가(2014, 통계청)

라. 수도 재배에서의 농약과 비료의 개발 현황

(1) 농약 개발단계

‘90년 이전에는 주로 살균제와 살충제는 희석제나 입제가 개발되어 분담에서 농약 처리가 이루어 졌다. 살충제는 저온성 해충 방제를 위해 입제를 1회 처리한다. 살균제는 6~8월경에 잎도열병과 목도열병 방제를 위해 최소 2회 경엽처리하고, 잎집무늬마름병 방제를 위해 7~9월경에 최소 2회 경엽처리 한다. ‘90년대 이후 육묘상 처리제가 개발 되면서 저온성 해충과 도열병/잎집무늬마름병 등을 동시에 방제하는 약제 출시되었다.



그림 1. 농약 처방 개발(일반 농약 5회 처리→육묘상 농약 1회 처리)

수도용 육묘상 처리농약은 ‘2007년부터 2014년까지 연평균 14.9% 증가하였으며, ‘14년도에 약 600천ha로 수도재배 면적 813천ha 중 73% 면적에 사용되고 있다(그림 2). 저온성 해충과 도열병, 잎집무늬마름병은 매년 발생하여 벼 수량을 감소시키기 때문에 매년 육묘상 처리 농약을 처리한다. 벼 농가의 필수적인 농작업으로 자리 잡고 있다.



그림 2. 육묘상 처리 농약의 년도별 처리면적 변화

(2) 비료 개발 단계

국내 비료 개발현황은 90년까지는 일반 비료로 밑거름→가지거름→이삭거름을 주는 형태였으나 90년 후반에 완효성 비료가 개발 되어 측조시비라는 새로운 시비법이 국내에 소개되어 현재는 면적의 약 10%에서 활용되고 있다. 이후 완효성 비료의 문제점을 개선하고자 측조시비에서 뿌리권 시비법이 개발되고 시그모이드 용출기술 개발로 ‘13년부터 “과종상 비료”가 개발 출시되었다.

(가) 완효성 비료

농촌 노동력 고령화 및 광작화에 발맞추어 비료업체는 ‘90년 후반부터 생력화 비료 개발을 추진하였고, 일부 회사에서는 자체적으로 완효성 비료를 개발/보급하고 있다. 출시 초기에는 보급의 어려움을 겪었으나, ‘10년부터는 광작농 확대에 힘입어 연간 약 16%의 성장률을 보였고, ‘13년 현재 전 논 면적에 약 10%인 87천ha에 시비되고 있다. 현재 국내 대부분의 비료 회사에서 자체 생산이나 해외의 코팅요소를 수입하여 제품을 생산판매 중이다. 완효성 비료는 1회 측조시비로 농촌 노동력의 절감은 가져 왔으나 시비량이 10a당 60kg로 기존 관행 대비 비료량의 절감은 없으며, 또한, 고가의 측조시비를 구입해야 함은 물론 비료 비용도 10a당 60,000원으로 비싸고, 이양 시 비료 통에 비료 투여에 많은 노동력이 투여되는 문제점을 가지고 있다. 따라서 완효성 비료로는 국가 정책인 비료 사용량 절감 및 쌀 생산비 절감 정책에 기여하는 것엔 한계성이 있을 것으로 판단된다.

표 5. 국내 완효성 비료 시장

구분	톤기준					CAGR [09~13년]	
	2009	2010	2011	2012	2013		
논 재배면적	924	892	853	849	833	-2.6	
완효성 비료	매출량(천톤)	29.1	25.9	37.9	46.3	52.4	15.8
	시비 논면적(천ha)	48.6	43.2	63.1	77.2	87.3	-
	논 처리 점유율(%)	5.3	4.8	7.4	9.1	10.5	18.8

(나) 파종상 비료

또한, 2008년부터 기존의 완효성 비료의 문제점을 극복하고 국가정책인 비료 사용량 절감과 쌀 생산비 절감 정책에 기여하고자 용출기술 개발 및 시비법 개발을 통해 2013년에 “파종상 비료”가 개발 되었다. 파종상 비료는 기존에 수도재배에서 본답(논)에 3회 시비(밑거름 → 가지거름 → 이삭거름) 하는 것을 용출제어 기술을 개발하여 벌써 파종 시 1회 시비하여 육묘 후 이앙하면 본답에서 비료를 주지 않아도 되는 생력화 비료이다(그림 3).



그림 3. 파종상 비료 사용방법(일반 비료 3회 시비 파종상 비료 1회 시비)

파종상 비료는 다음과 같은 효과가 있으며, 생력화 친환경 비료로 입증되었다(그림 4).

- ① 비료사용량 67% 절감, ② 관행대비 수량 비등
- ③ 비료 처리 노동력 절감 96%(관행 9.4hr/ha → 파종상 0.33hr/ha)
- ④ 환경부하 저감
 - 온실가스 발생 50% 저감 : 질소 성분량 50% [90kg(관행)→45kg/ha(파종상)]
 - 비점오염 발생 60% 저감 : 질소+인산 성분량 60%[135kg(관행)→54kg/ha(파종상)]

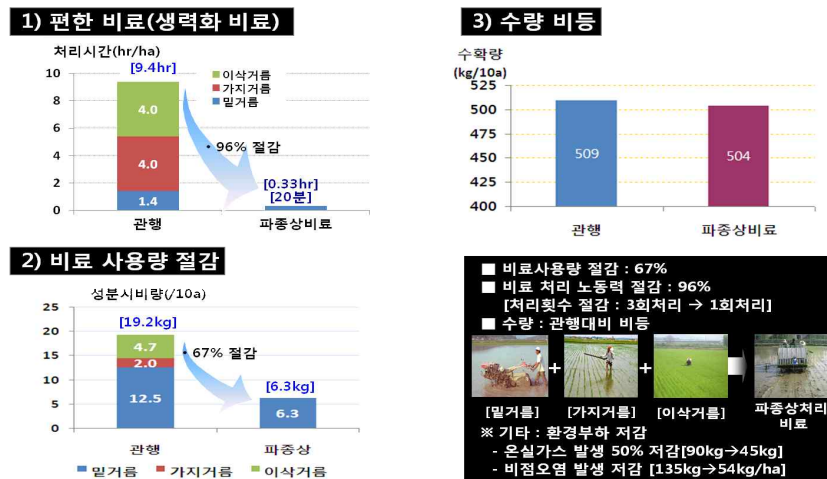


그림 4. 파종상 비료의 효과

3. 정부 정책

정부는 농가 고령화에 따른 노동력 부족을 대응하고 쌀 생산비 절감을 위해 들녘경영체 확대를 추진 중으로 이를 통해 쌀 생산비 절감을 통해 농가 소득을 증대하는 정책을 추진 중이다.

가. 들녘경영체 확대 : ('14) 158개소, 32천ha → ('24) 600개소, 120천만ha

나. 쌀 생산비 절감 방안 : 직파 재배 법 확대와 파종상 비료 확대 등을 통해 농촌 노동력 절감 정책 계속 추진

(1) 파종상 비료 시비확대 : ('13) 3천ha → ('19) 50 → ('24) 150천ha

* 관행 3회 시비(밑거름+가지거름+이삭거름) 방식에서 모판 1회 시비로 전환 할 경우 복합비료 투입량 67%(45kg→ 15kg/10a) 및 시비노동력 73% 절감

(2) 직파재배 : ('13) 전체 수도재배면적 대비 2% → ('19) 8%→ ('24) 15%

* 무논점파는 기계이앙(파종~이앙, 3.9시간/10a) 대비 노동력 30% 절감 가동

다. 정부는 무기질 비료 사용량을 줄이기 위해 화학비료 감축 정책 지속 추진 중

(1) 비료 사용량 절감 목표 : 236kg/ha(12년)→220kg/ha(14년) → 200kg/ha('18년)

(2) 온실가스 발생 감축 정책 : 비료 성분 중 질소성분은 포장에서 아산화질소(N_2O)로 휘산되는데, 아산화질소는 온실가스의 주요 인자임

(3) 비점오염원 관리 정책 : 비료 성분 중 질소, 인산과 같은 영양분은 농경지 등에 처리할 경우 빗물 등에 의해 유출되어 하천으로 유입됨. 따라서 4대강의 조류 발생 등을 촉진 시킴

(4) 그간 비료 산업이 생산성 향상에 치중하면서 연구개발 기반을 갖추지 못하였으나 최근 (주)팜한농에서 연구개발을 통해 국가정책에 부응되는 '파종상 비료'가 '13년부터 출시 되어 판매 중이다.

제3절 연구개발 범위

1. 연구개발의 최종목표 및 주요내용

- 가. 영농비 절감과 생력화를 위한 농약 및 비료의 혼합제 개발
 - (1) 비료농약 혼합제의 처방 개발
 - (가) 기존 육묘상 농약 대비 용출기간을 늘리는 처방 개발
 - (나) 약효 지속력을 늘려 방제 효과 지속기간 연장 및 농약 사용량 절감 검토
 - (2) 비료농약 혼합제의 유효성분 및 대상작물에 대한 방제효과 구명
 - (3) 비료농약 혼합제의 최적 사용량, 사용 시기, 사용방법 확립
- 나. 제품 특성 : 비료와 농약 혼합제를 개발하여 파종 시 1회 처리로 본답에서 농약과 비료를 처리하지 않는 일체형 비료 개발
- 다. 기능 특성 파악
 - (1) 저온성 해충 및 도열병 및 잎집무늬병을 방제 효과 90% 이상
 - (2) 비료는 1회 파종상 시비로 수확 때 까지 추가적인 비료 살포가 필요 없어야 함
- 라. 비료농약 혼합제의 처방 개발 및 제품화하여 등록시험 신청
- 마. 비료농약 혼합제의 경제성 분석 검토

2. 과제별(세부·협동) 연구개발의 목표 및 내용

- 가. 세부과제 : 처방 개발 및 처방 선정
 - (1) 비료농약 혼합제 처방 개발
 - (가) 약제 선정 및 파종상 비료 적용 처방 선정 : 10개 처방 확보
 - (나) 약제 안전성/안정성 확보
 - (다) 처방별 비료 용출도 및 약제 용출도 확인
 - (라) 약제의 작물 잔류 시험
 - (마) 처방 선정 : 2처방
- 나. 협동과제 : 처방별 효과 파악
 - (1) 처방 별 처리량 선정 시험
 - (가) 10개 처방에 대해 Pot 시험 또는 소포장 시험
 - (나) 적정 처리량 선정
 - (다) 물바구미, 도열병, 잎집무늬마름병에 대한 약효/약해 확인 시험
 - (라) 수량 조사 및 처방별 처리량 결정
 - (2) 지역별 효과 확인 시험
 - (가) 효과 확인 포장시험 : 5 군데
 - (나) 2개 처방에 대한 지역별(중부, 호남)에서의 실증시험 실시
 - (다) 비료 효과 파악시험 - 벼 생육, 수량
 - (라) 약효/약해 시험 - 안전성 및 효과 파악
 - (3) 비료농약 혼합제의 경제성 분석
 - (가) 혼합제의 차별성
 - (나) 혼합제의 노동절감 효과 파악 및 경제성 분석(쌀 생산비 절감 효과)

3. 연차별 연구개발의 목표 및 범위

구분	연도	연구개발의 목표	연구개발의 범위
1차년도	2015.8.14 ~ 2016.8.13	비료농약 혼합제의 적정 시비량 결정	<p>[세부]</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 처방 개발 및 시제품 제조 <ol style="list-style-type: none"> 가. 농약 선정 나. 처방 개발 : 10개 <ol style="list-style-type: none"> (1) 비료+살충제 : 5처방 (2) 비료+살충제+살균제 : 5처방 다. 혼합제에서의 약제 안전성 시험 2. 선정된 2처방에 대한 독성시험 의뢰 3. 정책자문회 <ol style="list-style-type: none"> 가. 농기자재정책과 담당자와 세미나 실시 <p>[협동]</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 처방 선정 <ol style="list-style-type: none"> 가. 처방별 효과시험 <ol style="list-style-type: none"> (1) 처리량 별 벼 생육시험 (2) 약효/약해 파악 시험 (3) 2처방 선정 나. 선정된 2처방의 처리량별 효과 시험 <ol style="list-style-type: none"> (1) 선정된 처방의 처리량별 벼 생육 조사 (2) 선정된 처방의 처리량별 약효/약해 파악 (3) 처방별/처리량별 수확물 잔류분석 시험
2차년도	2016.8.14 ~ 2017.8.13	비료농약 혼합제의 실증시험	<p>[세부, 협동, 위탁]</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 선정된 2처방에 대한 포장 확인시험 <ol style="list-style-type: none"> 가. 선정된 2처방의 벼 생육조사 <ul style="list-style-type: none"> → 초장, 경수, 벼 수량 나. 약효/약해 조사 <ol style="list-style-type: none"> (1) 살충 효과 : 물바구미 (2) 살균 효과 : 잎/목 도열병, 잎집무늬마름병 (3) 약해 조사 : 이앙 후 10, 20, 30일차 <p>[협동]</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 농업 환경 부하 절감 효과 구명 <ol style="list-style-type: none"> 가. 시험 방법 : 농가 실증농가시험 포장에서 일반 관행 시험포와 혼합제 시험포에서 논물을 채취하여 논물 중 비료성분(총질소, 총인산)과 약제 성분 함량 조사 나. 조사 시기 <ol style="list-style-type: none"> (1) 일반 관행답 밀거름 처리 후 씨레질 후 1일차, 이앙 후 5일차, 10일차 (2) 가지거름 시비 후 1일차, 20일, 40일차 (3) 이삭거름 시비 후 1일차, 15일차, 30일차 다. 비료농약 혼합제 보급을 위한 정책 건의 <p>[위탁]</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 혼합제의 경제성 분석 <ol style="list-style-type: none"> 가. 시험기관 : 전남 농업기술원 나. 주요 내용 <ol style="list-style-type: none"> (1) 혼합제의 차별성 분석 <ul style="list-style-type: none"> → 실증시험 담당자 인터뷰 (2) 혼합제의 노동절감 효과 파악 <ul style="list-style-type: none"> → 관행 대비 노동 시간 절감 효과 (3) 혼합제의 경제성 분석 <ul style="list-style-type: none"> → 관행 대비 노동비 절감 효과 (4) 쌀 생산비 절감 효과 <ul style="list-style-type: none"> → 관행 시비 대비 쌀 80kg당 투여된 쌀 생산비 절감 금액 <p>[세부]</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 혼합제의 등록시험 신청(2017년) 2. 정책자문회 <ol style="list-style-type: none"> 1) 농기자재정책과 담당자와 세미나 실시

제2장 국내외 기술개발 현황

제1절 국내외 연구동향

1. 국외 사용 현황

'04년 농촌진흥청 실태조사 결과 일본은 23종, 미국은 19종의 혼합제가 등록되어 있으며, 일본의 경우는 주로 수도용 혼합제 가장 많이 사용되고 있으며, 그 외 잔디용이 사용되고 있다. 일본의 수도 재배면적 1,683천ha 중 수도용 혼합제 사용 면적은 33,142ha로 약 2% 면적에서 사용되고 있다(표 6). 특히 수도에서는 비료형태가 2가지로 일반비료에 농약을 혼합하여 본답 전면에 살포하는 제품과 완효성 비료와 농약을 혼합하여 측조시비로 1회 시비하여 벼 전생육 기간 동안 비료 공급과 더불어 약제가 처리되는 형태가 있다.

표 6. 일본의 비료농약 혼합제 출하량

용도		약제명	품목별 사용량 (kg/ha)	출하수량 (ton)	사용면적 (ha)
수도	본답	이소프로치오란 복합비료	250	10.0	40
	측조	이미다클로프리트 복합비료	300	31.7	106
	본답	유니코나졸 P 복합비료	200	363.8	1,819
			100	1272.4	12,724
			150	1518.4	10,123
	측조	칼탑 복합비료	400	1,635.9	4,090
			250	1060.0	4,240
		소계	178	5,892	33,142
양과	전면	피리다펜치온 복합비료	600	383.9	640
일본 잔디	전면	클로르프타륨·레나실 복합비료	600	17.2	29
		클로르프타륨 복합비료	600	39.6	66
			500	3.7	7
		디치오피르 농약비료	600	50.4	84
		프로디아민 복합비료	600	483.2	805
		소계		594.1	991
계		9	198	6,870.2	34,773

* 출처 : 일본 농약요람(2001. 10 ~2001. 9)

* 측조 : 이앙 기계를 이용하여 옆에 처리, 사용량은 등록범위 내의 최대량

2. 일본의 농약비료 혼합제 제품

가. 살균제 함유 비료[코프가드 D타입]의 특성(표 7)

- (1) 코프가드 D 일반 664와 코프가드 D12제품은 비료성분인 NPK에 도열병 방제제인 프로베나졸을 0.6%함유한 제품으로 측조시비 전용농약함유 비료임
- (2) 이앙 시에 측조시비기를 사용함으로써 시비작업을 줄일 수 있음
- (3) 측조시비에 의해 비료와 농약이 효율적으로 흡수되기 때문에 도열병 방제 효과적임
- (4) 담수직과 시에도 사용가능하며, 도열병에 효과적인 농약함유 비료임
- (5) 피복요소를 배합했기 때문에 추비 생략 가능

표 7. 코프가드 D 타입의 조성 : 비료+농약(살균제)혼합제 제품 예시

구분	비료성분(%)					농약성분(%)
	TN	AN	SP	WP	WK	프로베나졸
코프가드 D일발664	16.0	8.0	16.0	13.5	14.0	0.6
코프가드 D12		12.0	16.0	13.0	14.0	0.6

나. 살균/살충제 함유 비료[코프가드 W타입]의 특성

- (1) 코프가드 W12와 코프가드 W8 제품은 비료성분인 NPK에 도열병 방제제인 살균제 성분이 프로베나졸과 베타 물바구미 등을 방제하는 살충제 성분이 이미다클로프리드를 함유한 축조시비 전용농약함유 비료임
- (2) 이양 시에 축조시비기를 사용함으로써 시비작업을 줄일 수 있음
- (3) 축조시비에 의해 비료와 농약이 효율적으로 흡수되기 때문에 도열병 방제 효과적임

표 8. 코프가드 W 타입의 조성 : 비료+농약(살균제+살충제) 혼합제 제품

구분	비료성분(%)				농약성분(%)	
	AN	SP	WP	WK	프로베나졸(균)	이미다클로프리드(충)
코프가드 W12	12.0	16.0	13.0	14.0	0.6	0.05
코프가드 W8	8.0	16.0	13.0	14.0	0.6	0.05

3. 한국 vs 일본의 비료·농약 혼합제 관리제도 비교

구분	우리나라	일본	
농약	농약 법령 관장 농약 등록 기관	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 농식품부 ▪ 농촌진흥청 *기술적 검토 : 농업과학기술원 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 농림수산성 ▪ 농림수산성 *기술적 검토 : 농약검사소
	농약 품질관리 기관	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 농촌진흥청 *분석기관 : 시험연구기관(농업기술실용화재단) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 농림수산성 *분석기관 : 농약검사소
	혼합제 관련 농약관리법령 (농약취체법)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 혼합제 관련 별도규정 없음 ▪ 농약 제조시 사용되는 부재로 혼입은 가능함. 제조처방서에 명시되어야 하며, 안전성이 입증될 경우에 한함 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 혼합제 관련 별도규정 없음 ▪ 비료성분을 농약의 부성분으로 사용가능토록 허용하고 있어, 우리나라와 큰 차이가 없음
	비료	비료 법령 관장 비료 등록 기관	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 농식품부 ▪ 시장·군수·구청장
비료 품질관리 기관		<ul style="list-style-type: none"> ▪ 시장·군수·구청장 및 농촌진흥청 *분석기관 : 시험연구기관(농업기술실용화재단) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 농림수산성 *분석기관 : 비사료검사소
공정규격 설정		<ul style="list-style-type: none"> ▪ 농촌진흥청 *기술적 검토 : 농업과학기술원 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 농림수산성 *기술적 검토 : 비사료검사소
혼합제 관련 비료관리법령 (비료취체법)		<ul style="list-style-type: none"> ▪ 혼합제 관련 별도규정 없음 ▪ 공정규격에서 정하는 원료외의 물질을 사용하여 제조한 비료를 양도·진열·판매·유통·공급할 수 없음(법 제14조제2항) ▪ 비료공정규격에는 농약이 함유되거나 오염된 원료를 사용할 수 없도록 규정(농촌진흥청 고시) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 농약성분을 비료의 이물질로 분류하고, 공정규격에 정해진 농약은 비료에 혼입이 가능토록 함(법 제25조) ▪ 요소 등 8종의 보통비료에는 농약 등 이물질 혼입이 가능토록 규정(시행령 제7조) ▪ 혼입이 허용되는 농약의 종류, 허용량이 공정규격에 정해져 있음(농림수산성 공고)

* 출처: “비료농약 혼합제” 상용화 방안(‘14.12 농림수산식품부)

제3장 연구수행 내용 및 결과

제1절 비료농약 혼합제 처방 개발 및 처방 선정

1. 비료 용출도 패턴 검토를 통한 파종상 시비 가능성 검토

가. 파종상 시비 가능 비료 용출도 패턴 검토

(1) 시험방법

벼에 파종상으로 비료농약 혼합제를 사용하기 위해서는 육묘기간 중 비료가 용출되지 않아야 한다. 이렇게 초기에 비료가 용출되지 않는 기간을 Lag time이라 하며, 비료농약 혼합제를 Lag time의 용출도가 구현되도록 코팅하였다. 코팅된 비료는 25도 항온기에서 수중 용출 시험을 진행하였고 10일 단위로 샘플을 채취하여 켈달 분석을 통해 질소 분석을 실시하여 비료 용출도를 확인하였다. 비료 용출도가 확인된 제형은 육묘시험을 통해 20 DAS(Days after seedling)까지 Lag time의 비료 용출도별 육묘 안정성을 확인하였다.

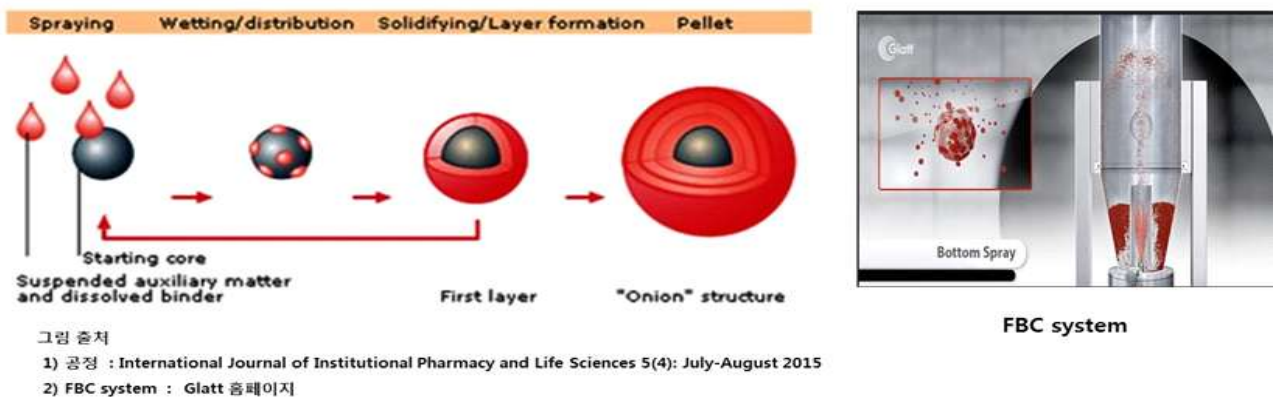


그림 5. 비료 코팅 기술

(2) 시험내용 및 결과

비료농약 혼합제의 파종상 처리 시 육묘 안정성을 확보하기 위하여 코팅 물질의 조합에 따른 코팅 특성을 연구하였다. 파종상으로 비료농약 혼합제를 처리하기 위해서는 육묘 안전성이 가장 중요한 요소이다. 파종상 처리 시 육묘안정성을 가지는 비료 용출 패턴은 그림 6과 같이 육묘 기간 중에 비료가 용출되지 않는 Lag time 패턴의 비료 용출도를 가져야하며, 이양 후 분담에서 비료가 용출되어 지속적인 비료 공급이 가능한 용출 패턴을 가져야한다.

그림 7의 비료용출도(Lag time 30일 용출도 4%, 7%)에 따른 육묘안정성 시험결과와 같이 30일의 비료 용출도가 약 7% 정도일 경우 유비/무비 상토에 상관없이 20일 이후 모가 고사되는 것을 확인할 수 있었으며, 5% 이하의 경우 20일 이후 까지도 육묘의 안전성이 확보되는 것을 육묘 안전성 시험을 통해 확인하였다. 파종상 비료의 용출 패턴은 Lag time에 5% 이하, 비료가 본격적으로 용출되는 기간(Release time)에 80% 이상의 비료 용출도 특성을 가지는 제품이 바람직하다고 할 수 있다.

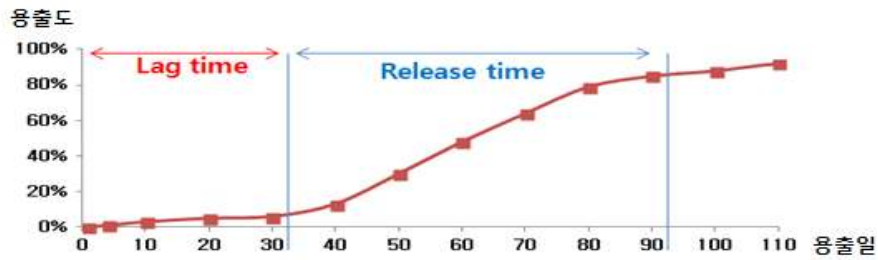
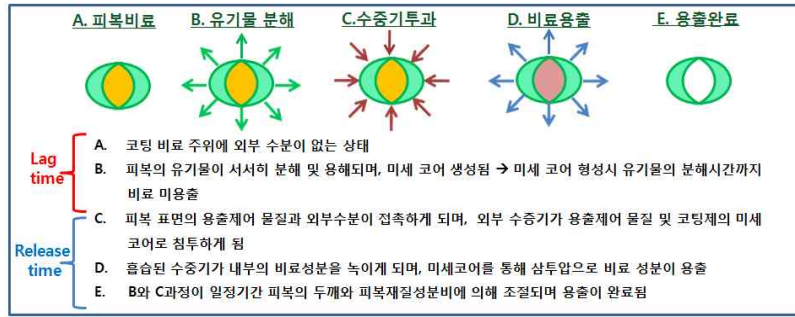
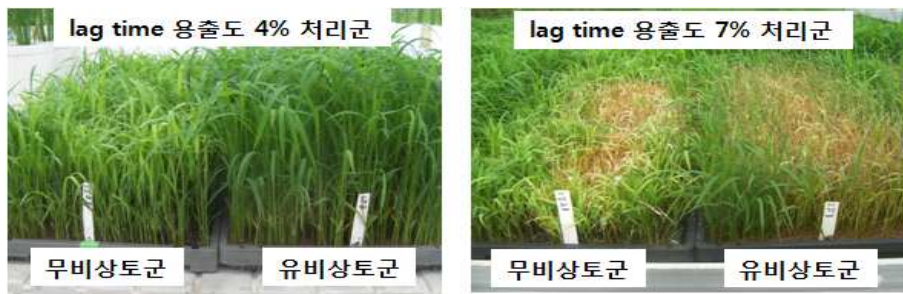


그림 6. 파종상 시비 가능 비료농약 혼합제의 용출 패턴 및 원리



주) DAS : Days after seeding

그림 7. Lag time 용출도에 따른 육묘 안정성 비교 (20 DAS)

나. 코팅 조성물의 함량에 따른 비료 용출도 특성 검토

(1) 시험방법

상기와 같이 파종상 처리 가능한 비료농약 혼합제 개발을 위해서 Lag와 Release time의 용출도 구현이 가능한 피복 코팅을 하기 위하여 고분자 비율별, 무기물 함량별 그리고 유기물 함량별에 따른 코팅 비료를 제제하였다. 각각의 시험 제제는 코팅 처방별에 따라 유동층 코팅기를 이용하여 제제하였고, 각 제제는 25도 항온기에서 수증 용출 시험을 진행하였고 10일 단위로 샘플을 채취하여 켈달분석법을 통해 질소 분석을 실시하여 비료 용출도를 확인하였다.

(2) 시험내용 및 결과

(가) 고분자 비율에 따른 비료 용출 패턴

그림 8과 같이 메인 고분자 A와 B의 함량 비율에 따른 비료용출 패턴 검토 시험을 실시하였

다. 고분자 A(올레핀계): 고분자 B(Block-co polymer)의 비율별 시험에서 고분자 A의 함량이 증가할수록 비료 용출의 빠르기가 느려지며, Lag time의 용출기간이 길어지는 것을 알 수 있었다. 또한, 고분자 A:B의 비율에 따라 Lag:Release time의 비율 조절이 가능함을 알 수 있었다. 특히, 고분자 A:B의 비율이 7:3일 경우 코팅 두께를 두껍게 할 경우 Lag 30일, Release 70일 간의 용출이 가능하리라 사료된다.

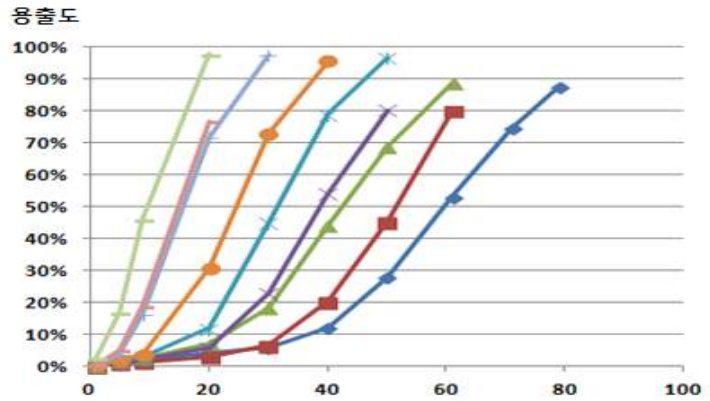


그림 8. 고분자 비율별 용출 패턴

(나) 유기물 함량에 따른 비료 용출 패턴

그림 9와 같이 코팅 원료의 유기물 투입량에 따른 비료 용출패턴 검토 시험을 실시하였다. 유기물의 함량이 0~30으로 증가할수록 비료 용출패턴의 기울기가 급격히 커지며, Lag time의 비료 용출도가 높게 나오는 것을 알 수 있었다. 유기물 투입 함량은 Lag time 및 Release time의 비료 용출도의 기울기와 기간을 조절하는 중요한 인자임을 알 수 있다.

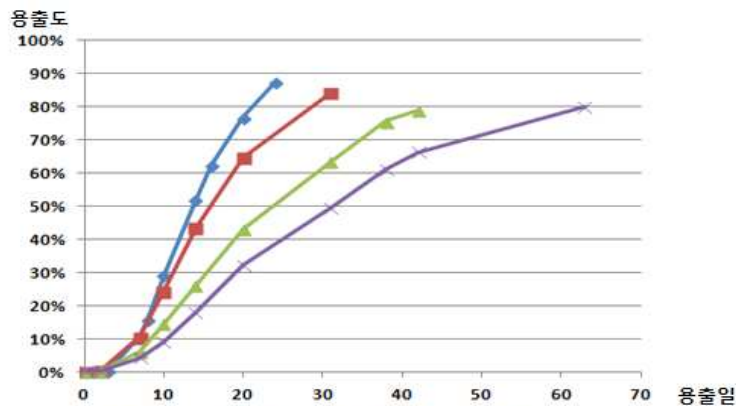


그림 9. 유기물 함량에 따른 용출 패턴(무기물 투입량 100 대비 유기물 투입량)

(다) 무기물 함량에 따른 비료 용출 패턴

그림 10과 같이 코팅 물질 중 무기물 함량에 따른 비료 용출 패턴 검토 시험을 진행하였다. 유기물 함량 30 기준으로 무기물 함량이 0에서 100으로 증가할수록 비료 용출도가 빠르며, Release 용출 패턴의 기울기가 증가하는 것을 알 수 있다. 무기물의 경우 코팅 시 코팅 조성물의 분산성을 개선하여 코팅을 용이하게 하는 역할을 하는 조성물이며, 조성물 내 함량이 증가할수록 용출

패턴이 빨라진다는 것을 알 수 있었다.

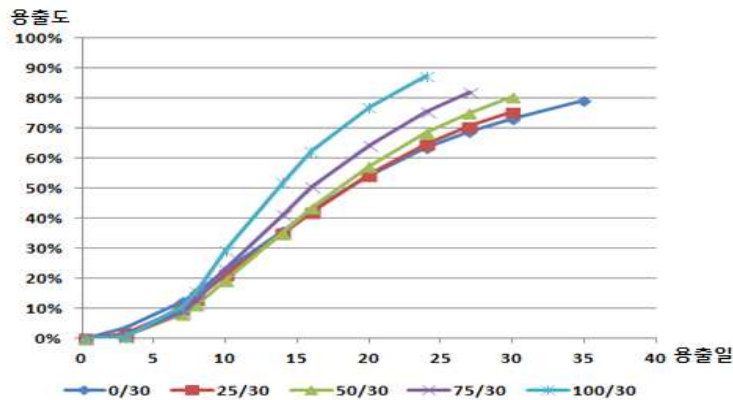


그림 10. 무기물 함량에 따른 용출 패턴

다. 비료 최적 시비량 검토

비료 최적 시비량은 과중상 비료의 추천 시용량 연구를 참조하였다. 과중상 비료의 시비량에 따른 쌀수량, 미질, 수확기 질소 흡수 이용율은 표9와 같다. 육묘상자 당 500g 처리의 쌀수량이 대조와 차이가 없었으며, 수확기 질소 흡수 이용율은 대조에 비해 2배 이상 높았다. 육묘상자 당 500g은 300평(1,000m²)당 모판 30개를 기준한 것으로 1,000m²당 총 비료량은 15kg이다. 최근에는 1,000m²당 모판 25개를 이양하는 농가가 많아 총 비료량 15kg를 25개로 나눠 모판 당 600g으로 선정하였다.

표 9. 육묘상자 당 완효성비료 시용량별 쌀수량, 미질 및 수확기 질소 흡수 이용율
(경기도 농업기술원, 2011)

처리내용	쌀수량 (kg/10a)	미질		수확기 질소 흡수 이용율(%)
		완전미 비율(%)	단백질 함량(%)	
대조구	505a	93.3	6.5	31
0g/육묘상자	344c	94.7	6.4	-
300g/육묘상자	430b	93.1	6.4	54
400g/육묘상자	444b	93.9	6.5	57
500g/육묘상자	492a	96.4	6.5	76
600g/육묘상자	507a	95.5	6.7	72

2. 비료농약 혼합제 코팅 컨셉 검토

가. 비료농약 혼합제 코팅 컨셉 검토

비료농약 혼합제 제형의 코팅 컨셉을 도출하기 위해 그림 11과 같이 4가지 코팅 컨셉을 검토하였다. 코팅 컨셉 C1과 C2의 경우 살균제가 가장 안에 코팅되고 살충제가 제일 외각에 코팅되는 컨셉으로 살균, 살충제의 용출 시기를 제어할 수 있는 장점이 있으나, 코팅 과정이 3단계 코팅으로 매우 복잡하며, 코팅 단계 증가에 의한 원재 loss 및 원가 상승이 될 수 있는 단점이 있다. 코

팅 컨셉 C3의 경우 C1, C2에 비해 코팅 단계는 간소하나 2단계 코팅으로 컨셉 C1, C2와 같이 코팅 단계 증가에 따른 원가 상승이 될 수 있다. 또한 코팅 컨셉 C3의 경우 살균, 살충제를 동시에 코팅하기 때문에 두 원제가 용출되어야 할 시기 및 함량 조절이 용이하지 않을 수 있다. 따라서, C4와 같이 살충제, 살균제를 따로 코팅하며, 파종상 피복에 함유시켜 한번에 코팅하여 공정 간소화 및 살충, 살균제의 용출 조절 및 함량 조절을 용이하게 하도록 One-pot 코팅 컨셉 C4로 확정하였다.

코팅 컨셉	소재구성(구조)	공법
C1: 계면활성제 투입 및 살충제를 제일 내부로 투입		3단계 코팅
C2: 살충제를 코팅제 내부로 투입		3단계 코팅
C3: 살균/살충제를 제일 내부로 투입		2단계 코팅
C4: 살균/살충제를 피복과 한번에 코팅		One-pot 코팅

그림 11. 비료농약 혼합제 코팅 방법에 따른 코팅 컨셉 검토

3. 비료농약 혼합제 원제 검토

비료농약 혼합제 개발을 위한 원제 선정을 살충, 살균제의 경우, 육묘상 처리 시 처리 방법 및 약해 등의 문제를 최소화 하기위하여 기존 육묘상 처리농약 시판되고 있는 원제 중 수용해도, 토양반감기, 대상 병해충 방제 spectrum 등을 토대로 최종 살충제 4종, 살균제 4종, 총 8가지 원제를 후보 원제로 선정하였다.

원제의 수용해도가 400 ppm 이상으로 높은 원제는 파종상으로 사용할 경우 수사에서 burst한 용출 trigger로 작용하여 피복의 구성성분으로 적용 시 비료 성분의 용출 제어가 용이하지 않으며, 이로 인한 육묘 안정성을 기대하지 못할 것이므로 선정하지 않았고, 토양 반감기가 30일 미만인 원제 역시 수도작 작기가 120일 수준이고, 제형의 컨셉이 용출 지연형이므로 토양 내 원제의 안정성 및 약효의 지속성을 확보하기 위해 제외 하였다. Tiadinil은 반감기가 3~5일로 매우 짧으나, 시판 육묘상 처리제의 경우 원제 투입량이 높고 비교적 저가이므로 검토대상으로 선정하였고 Azoxystrobin의 경우 도열병과 잎집무늬마름병에 동시방제 가능하므로 2주의 짧은 반감기를 가지나 검토 원제로 선정하였다.

상기와 같은 이유로 최종적으로 후보 검토 원제는 살충제는 Carbosulfan, Carbofuran, Fipronil, Clothianidin 살균제는 Azoxystrobin, Probenazole, Tiadinil, Orysastrobin 총 8가지를 검토 원제로 선정하였다.

표 10. 비료농약 혼합제 살균/살충제 검토

대상 병해충	약제명	수용해도	토양 반감기	검토 약제 선정	
살 충 제	물바구미 저온성 해충	카보설펜	3ppm	3~30일(in soil)	검토 약제로 선정
		카보퓨란	320ppm	30~60일(in soil)	검토 약제로 선정
		피프로닐	2ppm	-	검토 약제로 선정
		벤푸라카브	8.4ppm	4~28h(in soil)	수용해도/약해 위험성
		클로티아니딘	300ppm	148~1,155일 (Soil aerobic)	검토 약제로 선정
		티아메톡삼	410ppm	7~109일(in field), 37일(in soil)	수용해도가 너무 높음
		티아클로프리드	185ppm	7~21일(in soil)	약해 위험성/반감기
		디노테퓨란	3,980ppm	50~100일(in soil)	수용해도가 너무 높음
		클로란트라닐리프롤	1ppm	60일 이내(in field)	수용해도 낮음
		이미다클로프리드	61ppm	4시간(수면처리, 광조건)	수용해도 낮음
살 균 제	도열병	프로베나졸	150ppm	24h(in soil)	검토 약제로 선정
		티아디닐	13ppm	3~5일(in paddy)	검토 약제로 선정
		아이소프로티올레인	49ppm	326일(in paddy)	파종상 약해 위험이 큼
	앞집무늬 마름병	티플루자마이드	1.6ppm	992~1,298일(Lab, aerobic) 3~4일(in paddy water) 95~155일(광조건, Lab)	도열병 방제 어렵고 수용해도 낮음
				오리사스트로빈	81ppm
	앞집무늬 마름병	아조시스트로빈	6ppm	14일(Field)	검토 약제로 선정

4. 비료농약 혼합제 One-pot 코팅 후 신규 원제 분석법 개발 및 원제 함량 분석

가. 신규 원제 함량 분석 방법 개발

(1) 시험방법

신규 비료농약 혼합제 함량분석 방법 개발을 위하여 유기 용매에 대한 피복 용해성을 검토한 후 피복 용해가 가능한 용매를 선정하였다. 선정된 대상 용매를 사용하여 비료농약 혼합제형을 추출기를 통해 추출한 후 HPLC 분석법을 통해 함량 분석을 실시하였다. HPLC 함량 분석 시 제형 batch 별과 반복 분석을 실시하여 분석의 신뢰성을 확인하였다.

(2) 시험내용 및 결과

비료농약 혼합제의 경우 고분자 피복 속에 원제가 함유되어 있는 신제형으로 기존의 농약 함량 분석법으로 원제의 함량 분석이 되지 않아 신규 원제 분석 방법의 개발이 필요하였다. 시험 제제로 우선 Clothianidin을 One-pot 코팅 진행한 제형을 토대로 신규 원제 분석법을 그림 9과 같이

set-up 하였다. 비료농약 혼합제 제형은 THF를 이용하여 피복 내의 원제를 추출 후 ACN상에 다시 THF에 추출된 원제를 상변이 시키고 이를 HPLC를 사용하여 정량 분석하는 방법을 개발하였다.

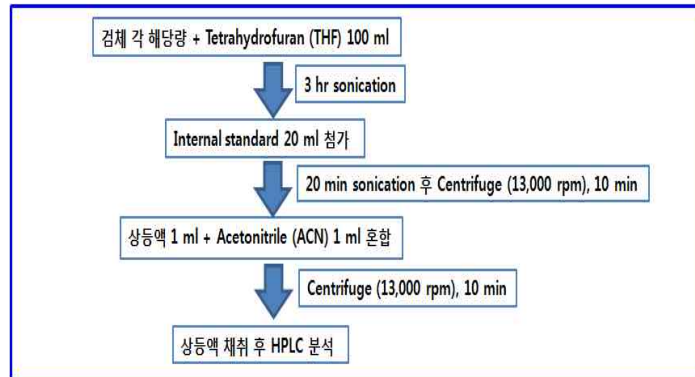


그림 12. 비료농약 혼합제 원제 분석 전처리 방법

표 11. HPLC 분석 조건

구분	분석 조건
Column	Capcellpack MG-II C18 (25 cm X 4.6 mm, 5 μ m)
Mobile phase	Acetonitrile : D.W = 50 : 50, (pH 3 by H3PO4)
Flow rate	1.0 ml/min
Wavelength	254 nm
Column Temp.	40 °C
Injection volumn	10.0 μ l
Internal standard	Dimethyl Phtalate (DMP)/Acetonitrile (ACN) = 5 g/1 L
Run time	15 min

표 12와 같이 Clothianidin이 함유된 비료농약 혼합제 제형의 반복 분석을 통한 신규 원제 분석 방법 검증 결과 약 코팅 원제 수율이 분석 반복 간 약 1% 미만으로 신규 원제 함량 분석 방법이 피복 내 원제 함량을 분석해 낼 수 있음을 확인하였다.

표 12. 신규 원제 함량 분석 방법 검증

구분	Clothianidin	
	1차 분석	2차 분석
코팅 시 투입된 원제 함량 (%)	0.426	0.426
분석된 원제 함량 (%)	0.371	0.376
코팅 후 원제 수율 (%)	87	88

나. 후보 원제에 따른 One-pot 코팅 제제

(1) 시험방법

비료농약 혼합제의 One-pot 코팅 제제를 제조하기 위해 각 처방별 원제 및 코팅 원료를 정량

한 후 heating plate을 사용하여 100도에서 용해 및 분산 시켜 각 처방별 코팅액을 제조하였다. 제조된 코팅액을 사용하여 각 처방별 제제를 유동층 코팅기를 사용하여 한 번에 피막 코팅하여 제형을 제조하였다. 각 처방별 제조된 비료농약 혼합제 내 원제 함량 분석은 신규 비료농약 혼합제 원제 함량 분석법인 THF 추출법을 이용하여 피막 내 원제를 추출하고 이를 HPLC 분석을 통하여 원제 함량 분석을 실시하였다.

(2) 시험내용 및 결과

후보 원제 8종에 따른 One-pot 컨셉 코팅 시험을 코팅 조성물의 특성(고분자 비율, 무기/유기물 함량에 따른 특성)을 반영하여 표 13과 같이 진행하였다.

(가) 후보 살충제 검토

살충제 함유 혼합제의 경우 층이 발생하는 이양 후 약 60일 경까지 약효가 발현되어야 하고 과종상 비료 육묘 기간인 20일 전/후까지는 비료 용출이 5% 미만이어야 한다. 그러므로 원제 용출을 60일 까지 제어하기 위해 유기물 함량을 12% 이상 함유하고 고분자 A와 B의 비율이 1:1 비율을 갖도록 코팅 Recipe를 선정하여 코팅 진행하였다. Fipronil과 Clothianidin의 경우 코팅 원제 수율은 각각 83.9%, 88.3%였으나, Carbosulfan의 경우는 96.7%로 높은 코팅 수율을 확인할 수 있었다. 이는 Carbosulfan 원제가 점도가 강한 액상이나 코팅액 용매에 완전 용해되고 원제 점착성에 의해 코팅 시 비료 표면에 잘 점착되는 결과로 사료된다. 반면, Carbofuran의 경우 공정 중 막힘 현상과 비료 기비 간의 응집현상 등으로 코팅 시 조업이 불가능하였다.

(나) 후보 살균제 검토

살균제 함유 혼합제의 경우 병이 발생하는 이양 후 약 50~90일 경에 원제 효과가 지속적으로 유지되어야 한다(도열병의 경우 이양 후 50~75일경, 잎집무늬마름병의 경우 이양 후 70~90일경). 그러므로 원제 용출 기간을 이양 시기부터 벼 생육 전반에 걸쳐 제어하기 위해 유기물 함량은 12% 미만으로 함유하고 고분자 A와 B의 비율은 3:1 비율을 갖도록 디자인하였다. Orysastrobin, Azoxystrobin, Tiadinil의 경우 원제 코팅 수율이 각각 98.1%, 94.9%, 93.3%의 높은 수율을 확인할 수 있었다. 이는 Orysastrobin, Azoxystrobin, Tiadinil의 경우 코팅 용매에 분산 및 용해도가 높아 원제 코팅 수율이 증가된 것으로 사료된다. Probenazole의 경우 원제 코팅 수율은 85.5%로 상기 3종의 후보 살충제 보다 낮았다. Probenazole의 경우 상기 3종 코팅 용매에 대한 분산도 및 원제의 점착성이 낮아 수율이 비교적 낮은 것으로 사료된다.

표 13. 후보 원제 8종 코팅 검토 recipe

원제 종류	투입량 기준 코팅 원료 비율 (%)					원제 코팅 수율 (%)	원제 함량 (%)	
	고분자A	고분자B	무기물	유기물	원제			
살충제	Carbosulfan	18.0	27.0	37.9	3.0	14.1	96.7	2.405
	Carbofuran	22.8	22.8	38.3	12.8	3.3	공정 중 코팅 안 됨	
	Fipronil	22.8	22.8	38.3	12.8	3.3	82.9	0.423
	Clothianidin	22.9	22.9	38.5	12.8	2.8	88.3	0.376
살균제	Probenazole	32.5	11.4	36.9	11.4	7.8	85.5	0.928
	Orysastrobin	32.5	11.4	36.9	11.4	7.8	98.1	1.013
	Azoxystrobin	32.5	11.4	36.9	11.4	7.8	94.9	1.030
	Tiadinil	29.7	10.4	33.7	10.4	15.7	93.3	2.202

5. 비료농약 혼합제의 비료 및 원제 용출도 분석

가. 후보 원제 함유 제형의 비료 용출도 분석 결과

(1) 시험방법

후보 원제 7종 (코팅이 되지 않는 Carbofuran은 제외)에 대한 One-pot 코팅 진행 후 수중 비료 용출도를 분석하였다. 각 처방별 제조된 비료농약 혼합제는 25℃ 항온기에서 수중 용출시험을 진행하였고 10일 단위로 샘플을 채취하여 켈달 분석기를 통해 질소 분석을 실시하여 비료 용출도를 확인하였다.

(2) 시험내용 및 결과

(가) 후보 살충제 함유 제형 비료 용출도

코팅이 되지 않는 Carbofuran을 제외한 3가지 살충제 후보의 수중 비료용출도 분석결과를 그림 13과 같이 진행하였다. Carbosulfan 함유 제형의 경우 Lag time 용출도가 약 9.2%로 육묘안정성을 확보할 수 있는 5% 수준의 용출제어가 되지 않았으며, Release time의 용출도 역시 100일에 65% 수준으로 벼 생육기간 동안 비료가 필요한 기간 동안에 비료 용출이 낮아 생육에 저해될 것으로 사료되었다. 이는 Carbosulfan의 경우 원제가 액상이며, 피복을 구성할 때 고분자 피막의 구성을 조밀하게 하지 못하게 하여 수중에서 비료 성분의 용출 제어가 되기 힘든 것으로 사료된다.

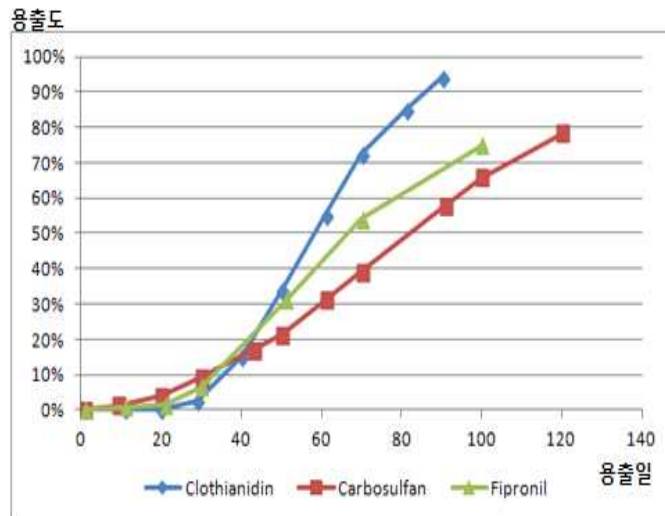


그림 13. 살충제 원제 후보 함유 제형 비료 수중 용출도

Fipronil 함유 제형의 경우 Lag time의 용출도는 약 5% 수준으로 육묘 안정성은 기대할 수 있으나 Clothianidin에 비해 Release time의 비료 용출도가 약 75% 수준으로 낮았다. 반면, Clothianidin 함유 제형의 경우 Lag time의 용출도가 2.7% 수준으로 육묘기간 동안 안정도가 매우 높음을 기대할 수 있고 Release time의 비료 용출도 역시 90일에 85% 이상으로 벼 생육기간 동안 비료 효율을 극대화 할 수 있는 장점이 있는 것으로 사료된다.

(나) 후보 살균제 함유 제형 비료 용출도

후보 살균제 4종을 함유한 제형의 비료 용출도를 그림 14와 같이 진행하였다. Tiadinil, Orysastrobin, Probenazole의 경우 Lag time의 용출도가 5% 미만으로 육묘안정성 확보가 가능하

며, Release time의 용출도 역시 90일에 85% 수준으로 비 생육기간 동안 비료 효율을 극대화 할 수 있으리라 사료된다. 반면, Azoxystrobin의 경우 상기 3가지 원제 함유 제형에 비해 Lag time의 용출도가 14.8% 수준으로 육묘 안정성 확보가 어려워 파종상용의 제형으로는 적당하지 않은 것으로 사료된다.

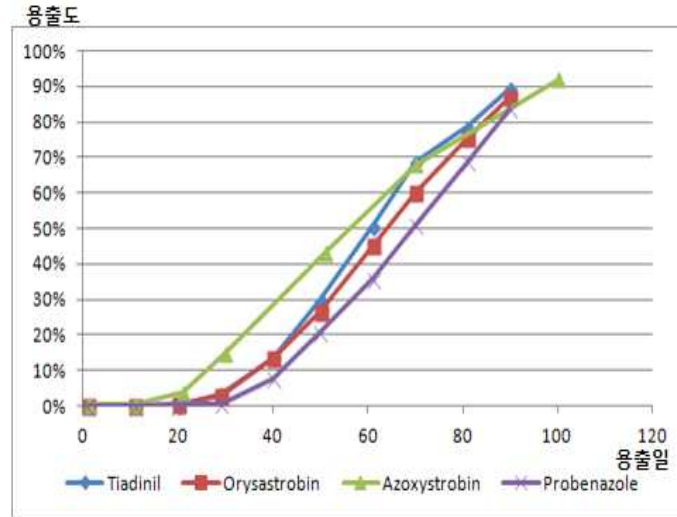


그림 14. 살균제 원제 후보 함유 제형 비료 수중 용출도

나. 후보 비료농약 혼합제 시제품 제조

One-pot 컨셉으로 코팅 진행한 살충제 3종, 살균제 4종을 대상으로 표 14와 같이 비료/농약 혼합제 처방을 선정하였고 시제품 12종을 제조하였다.

표 14. 비료농약 혼합제 살균/살충 원제 혼합 배열

구분	Clothianidin	Fipronil	Carbosulfan
Azoxystrobin	1	5	9
Orysastrobin	2	6	10
Probenazole	3	7	11
Tiadinil	4	8	12

표 15와 같이 각 후보 시제품 12종의 비료 성분은 30-6-6으로 제조하였으며, 파종상으로 모판당 600 g 시비 시 일반적으로 판매되는 육묘상 및 파종상 처리 살균/살충제 입제 제품과 동일한 농약 성분이 함유되도록 제조하였다.

표 15. 비료농약 혼합제 후보 시제품 12종

후보 처방 (12종)	비료 성분 (N-P-K)	처리량 (g/모판)	원제 함량 (%)		비고
			살충제	살균제	
Fipronil+Azoxystrobin	30-6-6	600	0.05	0.29	
Fipronil+Orysastrobin			0.05	0.29	
Fipronil+Probenazole			0.05	0.30	
Fipronil+Tiadinil			0.05	0.50	
Carbosulfan+Azoxystrobin			0.29	0.29	
Carbosulfan+Orysastrobin			0.29	0.29	
Carbosulfan+Probenazole			0.29	0.30	
Carbosulfan+Tiadinil			0.29	0.50	
Clothianidin+Azoxystrobin			0.04	0.29	
Clothianidin+Orysastrobin			0.04	0.29	
Clothianidin+Probenazole			0.04	0.30	
Clothianidin+Tiadinil			0.04	0.50	

그림 15는 제조된 비료농약 혼합제 제형 후보 처방 12종과 과중상 비료의 모습이다. 비료농약 혼합제 제형의 경우 원제 본래 색상에 따라 다양한 색상을 가지는 것을 알 수 있다.



그림 15. 후보 시제품 12종과 과중상 비료 모습

6. 비료농약 혼합제 처방의 육묘 안정성 시험

가. 후보 시제품 12종 육묘 안정성 시험

(1) 시험방법

비료농약 혼합제 후보 시제품 12종의 육묘안정성을 검증하기 위하여 육묘 시험을 진행하였다.

과종 및 육묘 시험 조건은 아래와 같다.

- 품종 :추청
- 종자량 : 200g/모판
- 상토 : 밑 상토/윗 상토 모두 (주)팜한농 슈퍼 준중량 상토 사용
- 시비량 : 비료농약 혼합제 600 g/모판, 원제 함량은 표 13 참조
- 상자 쌓기 : 30도 향온/향습기 내 3일간 상자 쌓기 진행
- 육묘 장소 및 치상 방법 : 유리 온실 내 시험 베드 치상
- 물 관리 : 3 회/일 이상 충분히 관수
- 생육조사 : 과종 후 10일, 20일 초장, SPAD 측정, 15일 매트 조사 (육안 관찰)

상기의 과종 및 육묘시험 조건에서 시험을 진행하였으며, 매일 육안으로 변화를 관찰하였다.

(1) 시험내용 및 결과

후보 시제품 12종의 육묘안정성 시험 결과 10 DAS까지는 12 군 모두 정상 생육을 확인할 수 있었으나 20 DAS부터 Lag time의 비료 용출도가 빠른 Carbosulfan과 Azoxystrobin 함유 제형에서 비해 증상이 발생하기 시작하였다. 특히, Carbosulfan 함유군의 경우 육안관찰 결과 약 18 DAS 부터 모판의 중간 부분에 비해 증상이 나타남을 확인하였다.

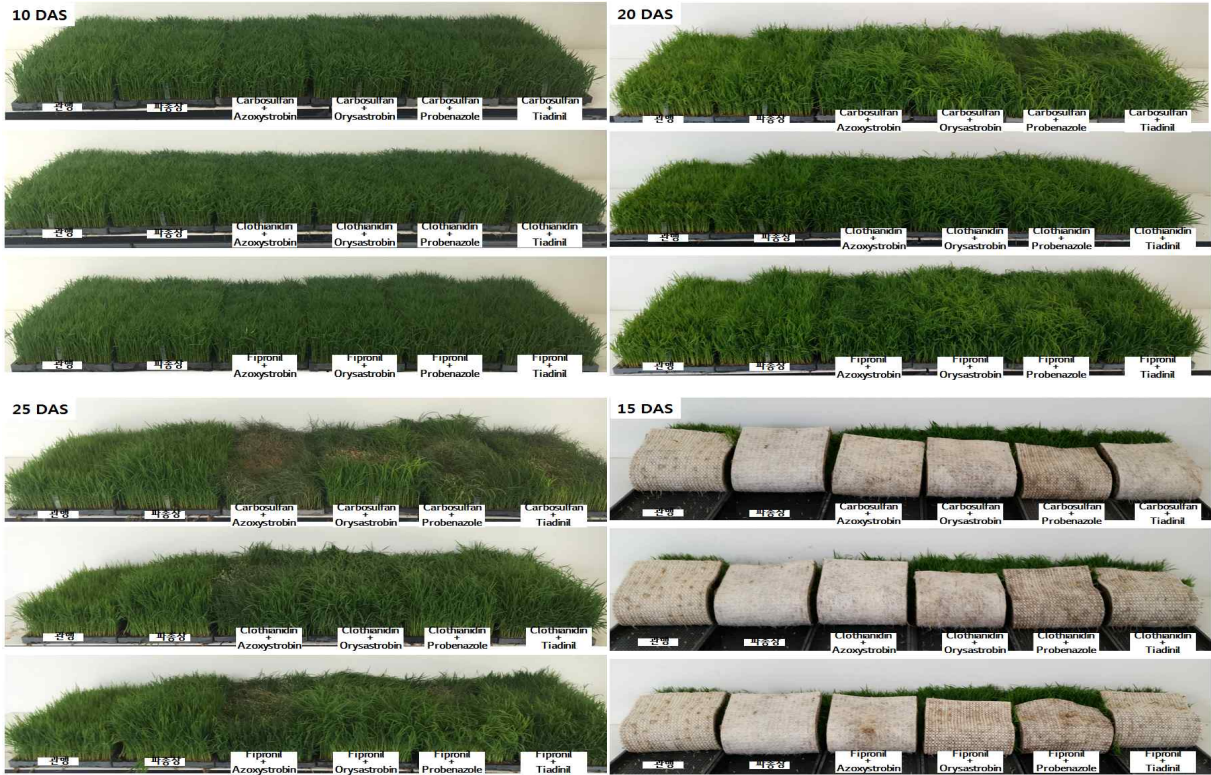
반면, Carbosulfan과 Azoxystrobin 미함유 군의 경우 대부분 육묘 안정성을 확인할 수 있었으나 살충제인 Fipronil의 경우 제제 시 원제 수율이 82% 수준으로 낮고 수용해도 역시 2 ppm으로 매우 낮은 단점을 가지며, 살균제인 Tiadinil의 경우 제제 시 투입량이 기타 검토된 살균제에 비해 약 2배 수준의 고함량으로 함유되므로 코팅 시 노즐 막힘, 작업시간 증가 등의 단점을 가진다. 과종상 및 비료농약 혼합제의 경우 뿌리 하단에 비료가 위치하기 때문에 20 DAS에서 일반 관행 육묘에 비해 초장의 경우 3~5cm 가량 크며, SPAD 값의 경우 3~4 정도 높게 측정되었다.

육묘시험 25 DAS의 경우 Carbosulfan과 Azoxystrobin 함유군의 경우 고사되었으며 특히, Carbosulfan+Azoxystrobin 군의 경우 전 모판이 고사하여 비료 용출도가 육묘 안정성의 가장 큰 요인임을 알 수 있었다.

원제에 따른 비해 증상의 원인은 비료농약 혼합제의 피복 구성물 중의 하나로 원제가 함유되어, 이로 인해 원제가 가지는 물리, 화학적 성질 예를 들어 수중 용해도, 물성(액상, 분상), 코팅 시 코팅 효율 등의 원인에 기인하는 육묘기간 중 비료 성분의 용출이 제어되지 못하여 오는 비해로 사료된다. 그 증거로써는 원제 함유 제형의 육묘기간의 용출도가 빠른 제형의 경우 비해 증상이 나타남을 들 수 있다.

매트상태의 경우 15 DAS에서 후보 시험군 모두 매트형성이 관행 대비 동등 수준을 육안으로 확인하였으며, 그림 15의 매트 단면 사진에서 볼 수 있듯이 비료농약 혼합제는 뿌리 층에 위치하여 있지만 시그모이드의 특수 비료 용출 패턴으로 안전하게 육묘가 됨을 확인하였다.

이상의 후보 시제품 12 종의 육묘 안정성 시험을 통해 비료 용출도와 육묘 안정성이 확보되며, 제제 시 코팅 수율이 높고 투입량이 적은 제형 I (Oryastrobin+Clothianidin)과 제형 II (Probenazole+Clothianidin) 2종을 최종 시험 처방으로 선별하였다.



주) DAS : Days after seeding

그림 16. 후보 처방 12종의 육묘 기간별 생육 안정성 비교



그림 17. Clothianidin+Oryzastobin 및 Carbosulfan+Azoxystrobin 처리모판 육묘 안정성 비교(20 DAS)



그림 18. 비료농약 혼합제 매트 단면 모습(15 DAS)

표 16. 후보 처방 12종 육묘시험 결과

시험군	10 DAS	20 DAS		비고
	초장(cm)	초장(cm)	SPAD	
관행	14.5 ab	17.6 b	25.9 b	
파종상	13.2 b	21.5 ab	28.5 ab	
Carbosulfan+Azoxystrobin	14.0 ab	비해	비해	육묘안정성 미확보
Carbosulfan+Oryastrobin	15.2 a	비해	비해	육묘안정성 미확보
Carbosulfan+Probenazole	15.3 a	비해	비해	육묘안정성 미확보
Carbosulfan+Tiadinil	14.5 ab	비해	비해	육묘안정성 미확보
Clothianidin+Azoxystrobin	14.3 ab	비해	비해	육묘안정성 미확보
Clothianidin+Oryastrobin	14.0 ab	22.3 ab	30.1 a	후보 처방 선정
Clothianidin+Probenazole	14.7 ab	22.7 ab	27.2 ab	후보 처방 선정
Clothianidin+Tiadinil	14.8 ab	22.7 ab	29.7 a	공정 시 Tiadinil 투입량 많음
Fipronil+Azoxystrobin	14.0 ab	비해	비해	육묘안정성 미확보
Fipronil+Oryastrobin	15.3 a	23.7 a	28.8 ab	Fipronil 원제 수율 낮음
Fipronil+Probenazole	15.5 a	약한 비해	약한 비해	육묘안정성 미확보
Fipronil+Tiadinil	15.2 a	22.3 ab	29.6 a	Fipronil 원제 수율 낮음

나. 최종 시험 2개 처방의 품종 확대 육묘 안정성 검토

(1) 시험방법

비료농약 혼합제 최종 시험 처방 2종의 품종에 따른 육묘안정성을 검증하기 위하여 새누리와 일미 품종을 대상으로 육묘시험을 추가 진행하였다. 파종 및 육묘 시험 조건은 아래와 같다.

- 품종 : 새누리, 일미
- 종자량 : 200g/모판
- 상토 : 밑 상토/윗 상토 모두 팜한농 슈퍼 준중량 상토 사용
- 시비량 : 비료농약 혼합제 600g/모판, 원제 함량은 표 13 참조
- 상자 쌓기 : 30도 향온/향습기 내 3일간 상자 쌓기 진행
- 육묘 장소 및 치상 방법 : 유리 온실 내 시험 배드 치상
- 물 관리 : 3 회/일 이상 충분히 관수
- 생육조사 : 파종 후 10일, 20일 초장 및 SPAD 측정, 15일 매트 육안 관찰

상기의 파종 및 육묘시험 조건에서 시험을 진행하였으며, 매일 육안으로 변화를 관찰하였다.

(2) 시험내용 및 결과

비료농약 혼합제 최종 시험 처방 2종의 육묘 안정성 시험을 새누리와 일미 품종을 추가하여

확대 검증하였다. 새누리와 일미 품종 모두 20 DAS 까지 정상 육묘를 확인할 수 있었으며, 비료 농약 혼합제 군들의 비해나 약해 증상은 관찰되지 않았다. 20 DAS에 매트 상태 확인 결과 매트 상태도 관행과 동등 수준이상으로 양호함을 확인하였다. 표 17에서와 같이 비료농약 혼합제 처리 군의 경우 과중상으로 뿌리 하단에 비료 층이 존재하고 육묘기간 동안 5% 미만의 비료가 일부 용출되므로 초장의 경우 20 DAS에 새누리는 약 관행대비 1 cm, 일미는 약 관행대비 3 cm 가량 컸으며, SPAD 값 역시 새누리는 약 12, 일미는 약 7 정도 관행보다 높게 측정되었다.

표 17. 최종 처방 2종 품종에 따른 육묘시험 결과

품종	시험군	10 DAS	20 DAS		비고
		초장(cm)	초장(cm)	SPAD	
새누리	관행	10.3 a	14.9 a	24.7 b	
	과중상	11.3 a	15.2 a	34.1 a	
	제형 I (Oryastrobin+ Clothianidin)	11.3 a	16.0 a	36.6 a	
	제형 II (Probenazole+Clothianidin)	11.3 a	16.0 a	35.1 a	
일미	관행	10.0 b	16.2 b	24.1 b	
	과중상	11.7 a	17.3 b	31.1 a	
	제형 I (Oryastrobin+ Clothianidin)	12.3 a	19.5 a	31.6 a	
	제형 II (Probenazole+Clothianidin)	11.8 a	19.5 a	30.6 a	

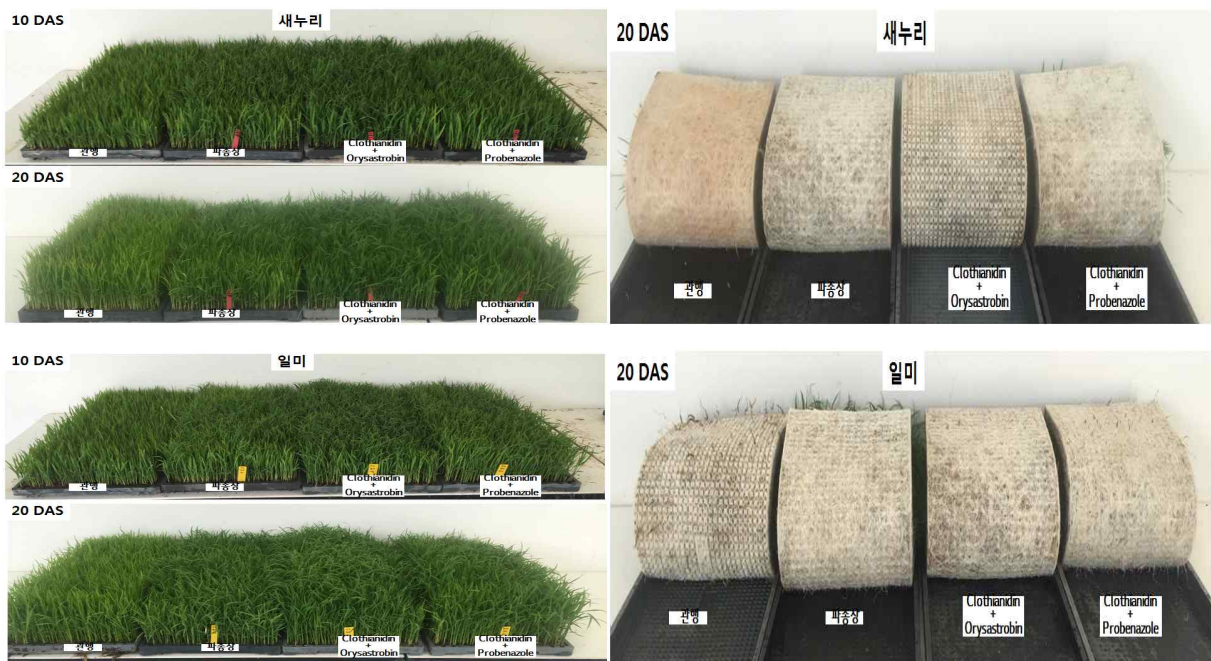


그림 19. 최종 처방 2종 품종에 따른 육묘 기간별 생육 안정성 비교

7. 비료농약 혼합제의 비료 및 원제 용출도 분석

(1) 시험방법

선정된 2개 처방에 대하여 비료용출도는 농촌진흥청 고시 제 2016-27호 “비료의 품질검사 및 시료채취 기준”의 용출도 분석방법에 따라 분석을 실시하여 비료의 용출도를 확인하였다.

원제 용출도를 검증하기 위하여 가학 조건에서 원제 용출도 분석을 실시하였다. 시험방법은 비료농약 혼합제 및 동일 원제가 함유된 시판 제품 2종 (한소네, 룡샷)을 대조로 10a에 시비되는 a.i량을 산정하여 각 원제 함유 제제와 대조구의 수중 용출도를 비교 시험하였다. 비료농약 혼합제의 피막 내 원제를 용출시키기 위하여 진탕기를 이용하여 상온에서 200rpm으로 진탕하며, 각 시기별 (4시간, 8시간, 1일, 3일 ~ 용출 완료 시 까지)로 용액을 채취한 후 HPLC로 원제 함량 분석을 통해 누적 용출도를 비교하였다. 시험 샘플 및 투입량은 표 18과 같다.

표 18. 원제 용출도 시험 항목 및 원제 함량

시험군		약제 투입량
비료/농약 혼합제	Oryastrobin	0.792g/100ml (a.i 0.041778 kg/10 a)
	Probenazole	1.056g/100ml (a.i 0.054067 kg/10 a)
	Clothianidin	0.408g/100ml (a.i 0.007670 kg/10 a)
한소네	Clothianidin	0.3g/100ml (a.i 0.0075 kg/10 a)
	Oryastrobin	0.3g/100ml (a.i 0.0525 kg/10 a)
룡샷	Clothianidin	0.3g/100ml (a.i 0.0075 kg/10 a)
	Probenazole	0.3g/100ml (a.i 0.0540 kg/10 a)

표 19. 원제 용출도 시험 HPLC 분석 조건

Instrument	: Agilent HPLC 1260 series, USA
Detector	: Diod Array Detector
Column	: Eclipse XDB C18, 5 μ m, 250 × 4.6 mm i.d
Temperature	: 40°C
Mobile phase	: ACN:DW Gradient method
Flow rate	: 1.0 ml/min
UV Wave length	: 220(Probenazole, Oryastrobin), 260(Clothianidin)nm
Injection Volume	: 20 μ l
Retention time	: 9.8(Clothianidin), 16.8(Probenazole), 22.0(Oryastrobin)min

(2) 시험내용 및 결과

(가) 비료 용출도

그림 20과 같이 비료농약 혼합제에 함유된 질소의 용출도를 확인한 결과 30일차까지는 거의 용출되지 않으며, 이후 용출이 시작되어 90일차에 약 90%가 용출되는 것을 확인하였다.

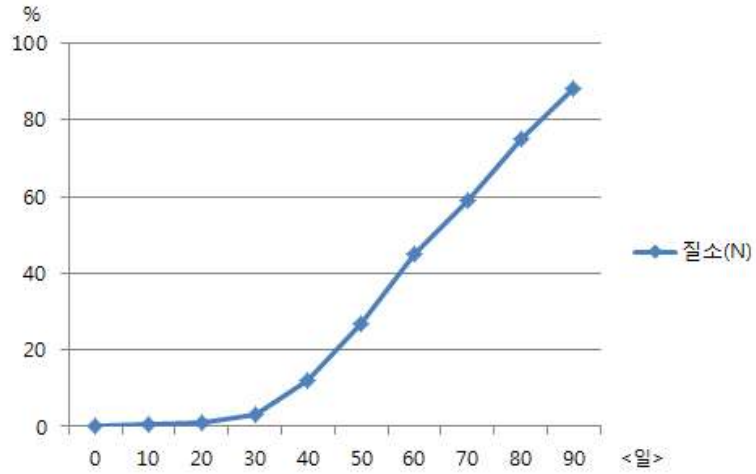


그림 20. 비료 용출도

(나) 원제 용출도

그림 21과 같이 살충제 성분인 Clothianidin의 용출도 비교 결과 일반 입제형의 시판제품 2종의 경우 4시간 만에 거의 97~99% 수준으로 용출이 되었으며, 비료농약 혼합제의 피복에 함유된 원제의 경우 3일에 약 12% 수준의 용출도를 확인 할 수 있었다. 이와 같이 피복에 원제를 함유 시 원제를 지속적으로 용출이 가능하게 됨을 알 수 있었으며, 농약 함량을 감소시키더라도 원제 효과를 극대화 할 수 있을 것으로 사료된다.

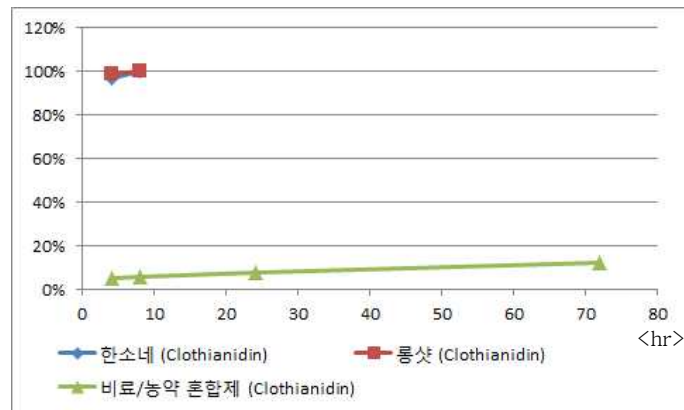


그림 21. 살충제 Clothianidin 원제의 용출도 비교

그림 22과 같이 살균제 성분인 Oryastrobin의 용출도 비교 결과 일반 입제형의 시판제품 2종의 경우 3일 만에 거의 100% 수준으로 용출이 완료 되었으며, 비료농약 혼합제의 피복에 함유된 원제의 경우 3일에 약 22% 수준의 용출도를 확인 할 수 있었다. 살균제 성분 역시 피복에 원제가 함유되어 지속적으로 용출이 가능하게 됨을 알 수 있었으며, 농약 함량을 감소시키더라도 원제 효과를 극대화 할 수 있을 것으로 사료된다.

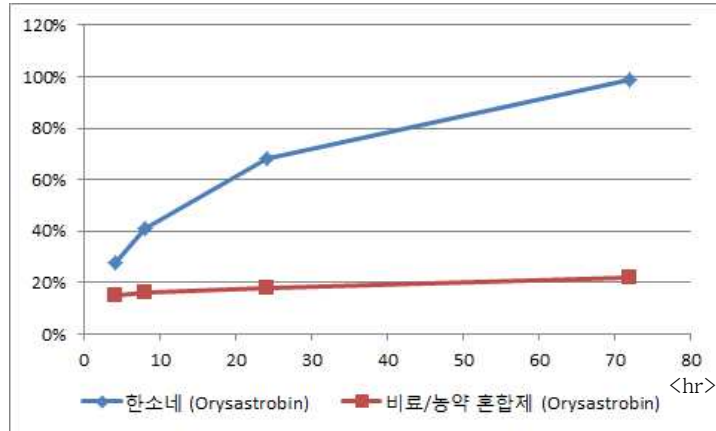


그림 22 살균제 Oryastrobin 원제의 용출도 비교

8. 비료농약 혼합제 2개 처방의 원제 함량 선정 시험

가. 비료농약 혼합제 원제 함량 선정 시험

(1) 시험방법

선정된 2개 처방의 원제 함량 결정을 위해 방제가 포트 시험을 실시하였다. 표 20과 같이 각 처방별로 원제 함량별 비료농약 혼합제를 제조하고, 추청벼를 사용하여 파종상(무방제군) 및 각 원제 함량별 비료농약 혼합제를 600g/모판 량으로 시비한 후 종자는 200g/모판 량으로 시비하여 파종을 진행하고 향온/향습기에서 3일 모판쌓기 후 육묘를 진행하였다.

육묘시험이 진행된 모판은 파종 후 20일 차에 포트에 6주 씩 이양 후 온실에서 벼 재배를 진행하였다. 이양 후 30일 차에 그림 20과 같이 각 포트에 원통형 유리 케이스를 장치하고 애멸구 50마리 이상을 접종한 후 1, 4, 6 일 차에 생충수를 비교하였다.

표 20. 최종 2개 처방의 원제 함량별 제제

처방	시험군 제제	비료 성분 (N-P-K)	처리량 (g/모판)	원제 함량 (%)	
				살균제	살충제
제형 I	Oryastrobin (0.174%)+ Clothianidin (0.024%)	30-6-6	600	0.174	0.024
	Oryastrobin (0.232%)+ Clothianidin (0.032%)			0.232	0.032
	Oryastrobin (0.29%)+ Clothianidin (0.041%)			0.29	0.041
제형 II	Probenazole (0.18%)+ Clothianidin (0.024%)			0.18	0.024
	Probenazole (0.24%)+ Clothianidin (0.032%)			0.24	0.032
	Probenazole (0.30%)+ Clothianidin (0.041%)			0.30	0.041

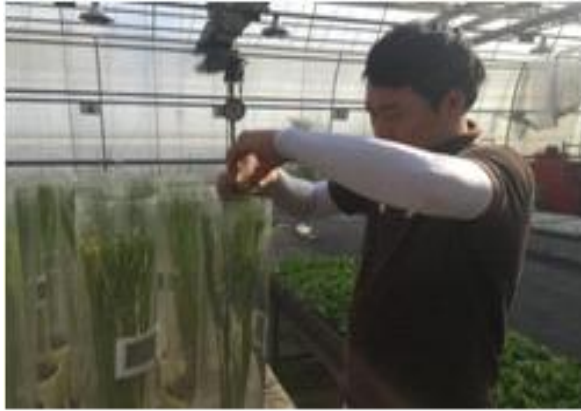


그림 23. 애멸구 접종(左), 생충수 조사모습(右) 및 애멸구(下)

(2) 시험내용 및 결과

선별된 2개 처방의 원제 함량에 따른 약효 평가를 위해 살충/균 방제가 시험을 진행할 계획이었으나 살균방제가 시험의 경우 균(병)을 강제 접종 후 병이 발병되지 않아 차후에 시험 진행을 하기로 연기하고 살충방제가 시험 중 포트 시험에서 효과 규명이 쉬운 애멸구 방제가 시험을 실시하였다.

(가) 제형 I (Oryastrobin+Clothianidin) 약효평가 결과

애멸구를 대상으로 한 약효평가 시험결과를 표 21에 나타내었다.

Oryastrobin (0.174%)+Clothianidin (0.024%) 군의 경우 60%의 비교적 낮은 방제가를 보인 반면, Oryastrobin (0.232%)+Clothianidin (0.032%) 군과 Oryastrobin (0.29%)+Clothianidin (0.041%) 군의 경우 애멸구 접종 후 6일 차에 약 90% 수준의 높은 방제가를 확인할 수 있었다. 특히, Oryastrobin (0.232%)+Clothianidin (0.032%) 군의 경우 원제 함량이 더 높고, 모판 시비량 대비 시판 제품과 동일 원제 함량을 가지는 Oryastrobin (0.29%)+Clothianidin (0.041%) 군과 거의 유사한 방제가를 보이므로 원제 함량 절감의 효과가 있을 것으로 사료된다. 그러므로 제형 I의 경우 최종적으로 Oryastrobin 함량을 0.232%, Clothianidin 함량을 0.032%로 결정하였다.

표 21. 제형 I (Oryastrobin+Clothianidin) 애멸구 방제가 결과

시험군	방제가(%)		
	1 DAT	4 DAT	6 DAT
파종상 (무방제)	[106.4]	[119.0]	[143.2]
Oryastrobin (0.174%)+ Clothianidin (0.024%)	9.1 b	35.8 b	63.0 b
Oryastrobin (0.232%)+ Clothianidin (0.032%)	15.8 ab	53.6 a	89.8 a
Oryastrobin (0.29%)+ Clothianidin (0.041%)	18.7 a	58.8 a	90.9 a

주) DAT : Days after Transplanting



그림 24. 제형 I의 포트 생육 모습 (30 DAT)

(나) 제형 II (Probenazole+Clothianidin) 약효평가 결과

애멸구를 대상으로 한 약효평가 시험결과를 표 22에 나타내었다.

Probenazole (0.18%)+Clothianidin (0.024%) 군의 경우 60% 이하의 비교적 낮은 방제가를 보인 반면, Probenazole (0.24%)+Clothianidin (0.032%) 군의 경우 83% 이상, Probenazole (0.3%)+Clothianidin (0.041%) 군의 경우 애멸구 접종 후 6일 차에 약 90% 수준의 높은 방제가를 확인할 수 있었다. 특히, Probenazole (0.3%)+Clothianidin (0.041%) 군의 경우 살충제 등록 기준인 방제가 90% 이상의 수준을 만족하므로 제형 2의 경우 최종적으로 Probenazole 함량을 0.3%, Clothianidin 함량을 0.041%로 결정하였다.

표 22. 제형 II (Probenazole+Clothianidin) 애멸구 방제가 결과

시험군	방제가(%)		
	1 DAT	4 DAT	6 DAT
파종상 (무방제)	[107.2]	[124.0]	[161.2]
Probenazole (0.18%)+ Clothianidin (0.024%)	3.1 b	26.3 c	57.4 c
Probenazole (0.24%)+ Clothianidin (0.032%)	15.2 ab	45.1 b	82.9 b
Probenazole (0.30%)+ Clothianidin (0.041%)	21.0 a	60.2 a	91.4 a

주) DAT : Days after Transplanting



그림 25. 제형 II의 포트 생육 모습 (30 DAT)

제2절 처방별 효과 파악

1. 처방별 벼 생육시험

가. 생육시험

(1) 시험방법

(가) 육묘

- 품종 : 새누리
- 종자량 : 200g/모판
- 상토 : 밑 상토/윗 상토 모두 팜한농 슈퍼 준중량 상토 사용
- 시비량 : 비료농약 혼합제 600g/모판
- 상자 쌓기 : 30도 향온/향습기 내 3일간 상자 쌓기 진행
- 육묘 장소 및 치상 방법 : 유리 온실 내 시험 배드 치상
- 물 관리 : 3 회/일 이상 충분히 관수

(나) 이앙

- 포트 : 1/5,000a
- 장소 : 충남 논산 팜한농 유리온실

(다) 조사 항목

- 생육 : 초장, 분얼수, SPAD

(라) 처리구

표 23. 생육시험의 처리구

처리구	비료 (N-P-K)	농약 원제 농도	처리량 (g/상자)	비고
파종상 미방제	30-6-6	-	비료 600	
제형 I 대조구 (파종상+한소네)	30-6-6	0.267 (0.233+0.033)%	비료 600 + 농약 50	한소네 이앙 당일처리
제형 I 시험구 (O+C)	30-6-6	0.262 (0.232+0.032)%	비료농약 혼합제 600	한소네 원제함량 80%
제형 II 대조구 (파종상+롱샷)	30-6-6	4.0 (3.5+0.5)%	비료 600 + 농약 50	롱샷 이앙 당일 처리
제형 II 시험구 (P+C)	30-6-6	0.341 (0.3+0.041)%	비료농약 혼합제 600	롱샷 원제함량 100%

(2) 시험결과

새누리 품종에 대해 자체 포트시험을 통한 생육을 검증하였다. 14 DAT 및 46 DAT의 생육을 조사한 결과 대조구 대비 동등 이상의 수준을 나타내었다. 72 DAT 및 96 DAT에 제형 I 시험구(O+C)는 대조구 대비 초장과 SPAD는 동등 수준이었으나 분얼수가 약간 낮았으며, 제형 II 시험구(P+C)는 대조구 대비 우수한 생육을 보였다.

표 24. 생육조사 결과

처리구	1차 조사 (14 DAT)			2차 조사 (46 DAT)			3차 조사 (72DAT)			4차 조사 (96 DAT)		
	초장	분얼	SPAD	초장	분얼	SPAD	초장	분얼	SPAD	초장	분얼	SPAD
과종상 미방제	30.9	11.0	36.7	68.3	20.0	34.6	70.5	14.4	34.3	72.4	13.8	32.4
제형 I 대조구 (과종상+한소네)	29.1	10.0	35.5	64.5	21.0	33.9	70.9	16.2	33.1	72.7	14.6	31.4
제형 I 시험구 (O+C)	30.1	12.4	36.1	66.0	20.8	34.2	71.1	12.8	32.5	72.8	11.0	31.4
제형 II 대조구 (과종상+롱샷)	29.6	10.0	36.6	68.1	18.8	35.2	72.4	13.4	32.9	74.2	12.0	29.7
제형 II 시험구 (P+C)	32.4	11.8	36.5	71.3	20.2	37.0	77.0	16.6	36.8	77.0	15.6	32.2

주) DAT : Days after Transplanting

2. 처방별 가열 안정성 시험 및 이화학성 분석

가. 경시 안정성 시험

(1) 시험방법

각 원제와 비료를 코팅한 다음 보관조건 및 기간에 따라 원제의 함량을 HPLC로 분석하였으며, 아래 농약관리법(제5조제1항제1호)의 ‘화학농약의 이화학 분석기준’을 적용하여 약효보증기간을 판단하였다.

<가열 안정성 시험>

약효보증기간 1년 설정약제는 54±2°C에서 2주일 이상 시험한 성적

약효보증기간 2년 설정약제는 54±2°C에서 4주일 이상 시험한 성적

약효보증기간 3년 설정약제는 54±2°C에서 6주일 이상 시험한 성적

(2) 시험결과

각 원제별 가열 안정성 시험결과 54±2°C, 6주일 조건에서 Orysastrobin은 13.87%, Probenazole은 20.98%, Clothianidin은 3.85%의 분해율을 나타냈으며, 모두 약효보증기간을 3년으로 설정할 수 있는 수준이었다.

표 25. 함량분석 결과(Orysastrobin)

시험조건	시험품목	분석결과(%)	학대경시 분해율(%)	비고
상온	Orysastrobin (1.07%)	1.0069 ± 0.02690	-	유효성분 함유량 허용기준: ±25% 범위 내에 해당 하므로 양호
54±2°C, 2주		0.9605 ± 0.00435	4.61	
54±2°C, 4주		0.9493 ± 0.02648	5.73	
54±2°C, 6주		0.8673 ± 0.00786	13.87	

표 26. 함량분석 결과(Probenazole)

시험조건	시험품목	분석결과(%)	학대경시 분해율(%)	비고
상온	Probenazole (1.07%)	0.8757 ± 0.03167	-	유효성분 함유량 허용기준: ±25% 범위 내에 해당 하므로 양호
54±2°C, 2주		0.8504 ± 0.02783	2.89	
54±2°C, 4주		0.7135 ± 0.03797	18.52	
54±2°C, 6주		0.6920 ± 0.11217	20.98	

표 27. 함량분석 결과(Clothianidin)

시험조건	시험품목	분석결과(%)	학대경시 분해율(%)	비고
상온	Clothianidin (0.42%)	0.3583 ± 0.00057	-	유효성분 함유량 허용기준: ±25% 범위 내에 해당 하므로 양호
54±2°C, 2주		0.3519 ± 0.00114	0.82	
54±2°C, 4주		0.3552 ± 0.00186	0.85	
54±2°C, 6주		0.3445 ± 0.00172	3.85	

나. 이화학성 분석

(1) 시험방법

각 항목에 대한 시험방법은 표 33에 나타내었다.

(2) 시험결과

각 항목에 대한 이화학성 분석결과 양호하였다.

표 28. 이화학성 분석결과

항목	Oryastrobin (1.07%)	Probenazole (1.07%)	Clothianidin (0.42%)	시험방법
pH(20g/80mL)	5.85	5.92	5.90	Electric pH meter
가비중	0.73	0.72	0.75	자체 측정법
수분(%)	0.2%	0.1%	0.1%	Moisture Analyzer(FD-160)
박리율(%)	99.86	99.95	99.98	자체 측정법
고결성	양호	양호	양호	자체 측정법
입도(%,상부10, 하부48mesh)	99.98	99.98	99.99	자체 측정법(규격≥98%)

제3절 처방별 독성시험

1. 시험개요

가. 시험목적

선정된 비료농약 혼합제 2개 처방(제형 I, II)에 대한 인축독성, 생태독성 및 유전독성을 확인하기 위하여 진행하였다.

나. 시험기관

독성시험은 (주)한국생물안전성연구소에 의뢰하여 진행하였다.

다. 시험항목

- (1) 인축독성 : 급성 경구 독성, 급성 경피 독성, 안점막 자극성, 피부자극성, 피부감작성
- (2) 생태독성 : 급성 어류 독성(잉어, 미꾸리), 급성 물벼룩 독성
- (3) 유전독성 : 염색체 이상

라. 시험방법

“농약 및 원제의 등록기준” 농촌진흥청고시 제 2016-29호에 준하여 실시하였다.

2. 시험결과

가. 제형 I (Orysastrobin+Clothianidin)

(1) 인축독성

(가) 급성 경구독성

급성 경구독성시험(급성독성등급법)에 의해 시험을 실시하여 GHS(Globally Harmonized Classification System) 분류기준에 의거 LD₅₀ 기준치 (mg/kg bw)로 반수치사약량을 산출하였다.

표 29. 한국과 국제기준(GHS)에 의한 급성독성시험의 독성등급 분류체계

Classification criteria						
Class ^a	LD ₅₀ (mg/kg bw)				GHS ^b	LD ₅₀ (mg/kg bw) Acute Oral
	Acute Oral		Acute Dermal			
	Solids	Liquids	Solids	Liquids		
I (Extremely)	< 5	< 20	< 10	<40	I	≤ 5
II (Highly)	≥5, <50	≥20, <200	≥10, <100	≥40, <400	II	≤ 50
III (Moderately)	≥50, <500	≥200, <2,000	≥100, <1,000	≥400, <4,000	III	≤ 300
IV (Slightly)	≥500	≥2,000	≥1,000	≥4,000	IV	≤2,000
					V	≤5,000

a : Classification systems of Acute toxicity for pesticides in Korea

b : Globally Harmonized Classification System

랫드에 대한 Oryastrobin+Clothianidin 함유 비료농약 혼합제의 급성 경구독성 시험결과, GHS 분류(기준) category V로 LD₅₀값은 >2,000 ~ ≤5,000 mg/kg bw이었고, 농약관리법 [급성독성정도에 따른 농약의 독성구분]에 의거 IV급(저독성)으로 구분되었다.

표 30. 치사동물과 중독증상

Group	Dose (mg/kg bw)	Sex	Number of animals	Clinical signs	Mortality	LD ₅₀
1	2,000	Female	3	No abnormality detected	0/3 ^a	>2,000 ~ ≤5,000 mg/kg bw
2	2,000	Female	3	No abnormality detected	0/3	

a : Number of dead animals/Number of tested animals

(나) 급성 경피독성

랫드에 대한 제형 I (Oryastrobin+Clothianidin 함유 비료농약 혼합제)의 급성 경피독성시험 시험결과, LD₅₀값은 2,000 mg/kg bw 이상으로 농약관리법에 의거 독성을 구분하면 IV급 (저독성)에 해당되었다.

표 31. 급성 독성정도에 따른 농약 등의 구분

구 분	시험동물의 반수를 죽일 수 있는 양 (mg/kg bw)	
	급성경피	
	고 체	액 체
I 급 (맹독성)	10 미만	40 미만
II 급 (고독성)	10 이상, 100 미만	40 이상, 400 미만
III 급 (보통독성)	100 이상, 1,000 미만	400 이상, 4,000 미만
IV 급 (저독성)	1,000 이상	4,000 이상

* 고체 및 액체의 분류는 농약 등의 물리적 상태에 의함

표 32. 치사동물과 중독증상

Group	Dose (mg/kg bw)	Sex	Number of animals	Clinical signs	Mortality (dead / total)	LD ₅₀
1	2,000	Male	5	No abnormality detected	0% (0 / 5 ^a)	> 2,000 mg/kg bw
2	2,000	Female	5	No abnormality detected	0% (0 / 5)	

a : Number of Death animals / Number of tested animals

(다) 안점막 자극성

안반응 평가표에 의해 개체별 안자극 지수 (I.O.I., individual ocular irritation) 및 평균 안자극 지수 (M.O.I., mean ocular irritation)를 산출하여 평균안자극 지수 중 최고치를 급성안자극 지수 (A.O.I., acute ocular irritation)로 하였다. 이 결과로 안점막 자극표를 이용하여 자극성의 정도를 구분하였다.

표 33. 안반응 평가표

1) 각막	
(A) 혼탁 : 안구의 농후한 정도(가장 농후한 지점을 관찰함)	평점
◦ 화농이나 혼탁이 없음	0
◦ 혼탁이 분산 혹은 밀집되어 있으나(정상적인 투명성이 약간 둔화 된 것과는 다름)홍채의 말단이 명확히 관찰됨	1
◦ 반투명한 부분이 쉽게 관찰됨, 홍채의 말단이 약간 불명확함	2
◦ 진주색갈을 나타냄, 홍채의 말단이 관찰안됨, 동공의 크기가 가까스로 관측됨	3
◦ 각막이 불투명, 혼탁 때문에 홍채가 관찰안됨	4
(B) 혼탁된 각막의 범위	
◦ 1/4이하(그러나 0은 아니다)	1
◦ 1/4이상 1/2미만	2
◦ 1/2이상 3/4미만	3
◦ 3/4이상 1까지	4
A×B×5	최대치 = 80
2) 홍채	
(C) 반응치	
◦ 정상.....	0
◦ 현저한 주름의 형성, 충혈, 종창, 각막주위에 중등도의 충혈, 이상과 같은 단독 혹은 혼합, 홍채는 빛에 대해 반응함(둔한 반응은 양성).....	1
◦ 빛에 대해 반응 없음, 충혈, 대부분 파괴(이상과 같은 증상의 일부 혹은 전부).....	2
C×5	최대치 = 10
3) 결막	
(D) 발적(안검결막, 안구결막에 한함, 홍채 제외)	
◦ 혈관은 정상.....	0
◦ 일부 혈관 충혈.....	1
◦ 얇은 선홍색을 띠거나 각각의 혈관이 쉽게 관찰 안 됨.....	2
◦ 짙은 선홍색.....	3
(E) 결막부종	
◦ 부풀지 않음.....	0
◦ 정상보다 약간 종창(순막 포함).....	1
◦ 안검의 부분적 외전을 동반한 현저한 종창.....	2
◦ 눈이 반쯤 잠길 정도의 안검의 종창.....	3
◦ 눈이 반 이상 잠길 정도의 안검의 종창.....	4
(F) 배출물	
◦ 배출물 없음.....	0
◦ 약간의 배출물(정상동물의 내부 눈꼬리에서 관찰되는 작은양 제외).....	1
◦ 속눈썹과 눈꺼풀을 적실 정도의 배출물.....	2
◦ 눈주위의 상당한 부위와 속눈썹 및 눈꺼풀을 적실 정도의 배출물.....	3
점수(D+E+F) × 2	최대치 = 20

표 34. 안점막 자극표

자극성 구분	기 준
없 음	급성안자극지수 (A.O.I.)가 10.0 이하
경 도	급성안자극지수 (A.O.I.)가 10.1 ~ 30.0
중 도	급성안자극지수 (A.O.I.)가 30.1 ~ 60.0
강 도	급성안자극지수 (A.O.I.)가 60.1 이상

안반응 평가표에 의해 평가된 안점막 자극정도를 처리하여 급성 안자극지수(A.O.I.)를 산출한 결과, A.O.I.는 “2.7”이었다. 이상의 시험결과 New Zealand White계 토끼에 대한 Orysastrobins+Clothianidin 함유 비료농약 혼합제의 안점막자극성시험에서 자극성은 [안점막 자극표]에 의거 “없음”으로 구분되었다.

표 35. 시험군별 안자극지수

Time	Animal. No.	Non-treatment			Treatment		
		I.O.I. ^{a)}	M.O.I. ^{b)}	A.O.I. ^{c)}	I.O.I. ^{a)}	M.O.I. ^{b)}	A.O.I. ^{c)}
1 hr	1	0	0	0.0	2	2.7	2.7
	2	0			2		
	3	0			4		
24 hr	1	0	0		2	1.3	
	2	0			0		
	3	0			2		
48 hr	1	0	0		0	0.0	
	2	0			0		
	3	0			0		
72 hr	1	0	0	0	0.0		
	2	0		0			
	3	0		0			

a: I.O.I.(Individual Ocular Irritation)

b: M.O.I.(Mean Ocular Irritation)

c: A.O.I.(Acute Ocular Irritation) = the maximum value of M.O.I.

(라) 피부 자극성

피부반응의 평가는 [피부반응 평가표]에 준하여 실시하였고, 결과에 대한 자극성은 [피부 1차 자극표]의 자극성기준에 따라 자극성을 판정하였다.

표 36. 피부반응 평가표

(1) 홍반과 가피형성	
홍반이 전혀 없음	0
아주 가벼운 홍반 (육안으로 겨우 식별할 정도)	1
분명한 홍반	2
약간 심한 홍반	3
심한 홍반 (홍당무 색의 발적)과 가벼운 정도의 가피형성	4
총 가능한 홍반 점수	4
(2) 부종형성	
부종이 전혀 없음	0
아주 가벼운 부종 (육안으로 겨우 식별할 정도)	1
가벼운 부종 (뚜렷하게 부어 올라서 변연부가 분명히 구별될 경우)	2
보통의 부종 (약 1 mm 정도 부어 올랐을 경우)	3
심한 부종 (1 mm 이상 부어오르고 노출부위 밖에까지 확장된 상태)	4
총 가능한 부종 점수	4

표 37. 피부 1차 자극표

자극성 구분	기 준
없 음	1차 피부자극지수 (P.I.I)가 1.0 이하
경 도	1차 피부자극지수 (P.I.I)가 1.1 ~ 2.0
중 도	1차 피부자극지수 (P.I.I)가 2.1 ~ 5.0
강 도	1차 피부자극지수 (P.I.I)가 5.1 이상

시험물질 노출 종료 후 1, 24, 48 및 72시간에 피부반응평가표를 기준으로 피부반응을 관찰한 결과, 시험물질 처리 후 홍반 및 부종 등의 어떠한 피부반응도 관찰되지 않았다.

피부반응평가표에 의해 1차 피부자극지수 (Primary Irritation Index, P.I.I.)를 산출한 결과, P.I.I.는 “0.0” 이었고 피부 1차 자극표에 의해 자극성을 구분하면 “없음” 이었다. 이상의 결과로부터 제형 I (Orysastrobin+Clothianidin 함유 비료농약 혼합제)은 New Zealand White계 토끼의 피부에 처리 시 자극성이 없는 물질로 구분되었다.

표 38. 피부자극의 평가 (1/2)

Phases ^a	Number of animals	Sites	Days after treatment			
			0	1	2	3
Erythema & Eschar	1	Control sites	0	0	0	0
		Test sites	0	0	0	0
	2	Control sites	0	0	0	0
		Test sites	0	0	0	0
	3	Control sites	0	0	0	0
		Test sites	0	0	0	0
Edema	1	Control sites	0	0	0	0
		Test sites	0	0	0	0
	2	Control sites	0	0	0	0
		Test sites	0	0	0	0
	3	Control sites	0	0	0	0
		Test sites	0	0	0	0

a : Time after topical treatment

표 39. 피부자극의 평가 (2/2) (1)

Sites	Control sites							
Change	Erythema & Eschar				Edema			
Phases ^a	1 hr	24 hr	48 hr	72 hr	1 hr	24 hr	48 hr	72 hr
1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	0	0	0	0	0	0	0	0
Mean	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Sum ^b	0.0				0.0			
P.I.I. ^c	0.0				0.0			

a : Time after topical treatment

b : Sum of means at 1, 24, 48 and 72hr

c : P.I.I. (Primary Irritation Index) = Total/4

표 40. 피부자극의 평가 (2/2) (2)

Sites	Test sites							
	Erythema & Eschar				Edema			
Change								
Phases ^a	1 hr	24 hr	48 hr	72 hr	1 hr	24 hr	48 hr	72 hr
1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	0	0	0	0	0	0	0	0
Mean	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Sum ^b	0.0				0.0			
P.I.I. ^c	0.0				0.0			

a : Time after topical treatment

b : Sum of means at 1, 24, 48 and 72hr

c : P.I.I. (Primary Irritation Index) = Total/4

(마) 피부 감작성

피부반응 평가기준과 피부감작성 평가기준에 따라 감작야기 후 24시간과 48시간에 홍반과 부종의 평점을 기록하였고, 감작율을 산출하였다.

표 41. 피부반응 평가기준

피부반응	
육안적으로 변화 없음	0
산재성의 부분적인 홍반	1
중등도의 전반적인 홍반	2
강도의 홍반 및 부종	3

표 42. 피부감작성 평가기준

감작율 (%)	등 급	분 류
0 ~ 8	I	매우약함
9 ~ 28	II	약함
29 ~ 64	III	보통
65 ~ 80	IV	강함
81 ~ 100	V	매우강함

감작야기 후 24, 48시간에 모든 동물의 시험물질 처리부위를 피부반응평가기준을 기준으로 관찰한 결과, 시험군 및 음성대조군에서 홍반 및 부종 등의 피부반응이 관찰되지 않아 감작지수

(평균 피부반응점수)와 빈도지수(감작율)는 각각 “0”과 “0.0%”로 산출되었다. 양성대조군에서는 중증도의 홍반 등의 피부반응이 유발되어 감작지수는 야기 종료 후 24시간 및 48시간에 각각 “1.4” 및 “1.6”, 빈도지수는 24시간 및 48시간에 각각 “80%” 및 “90%”로 산출되었다.

피부반응평가기준에 의해 피부반응점수를 산출한 결과, “0.0” 이었고 피부감작성 평가기준에 의해 자극성을 구분하면 “없음” 이었다. 이상의 결과로부터 제형 I (Orysastrobin+Clothianidin 함유 비료농약 혼합제)은 Hartely계 기니픽의 피부에 처리 시 자극성이 없는 물질로 구분되었다.

표 43. 피부감작의 평가

Animal number	Treatment		Animal number	Negative control		Animal number	Positive control	
	24 hr	48 hr		24 hr	48 hr		24 hr	48 hr
1	0	0	21	0	0	31	2	2
2	0	0	22	0	0	32	1	2
3	0	0	23	0	0	33	3	3
4	0	0	24	0	0	34	1	2
5	0	0	25	0	0	35	0	1
6	0	0	26	0	0	36	1	1
7	0	0	27	0	0	37	0	0
8	0	0	28	0	0	38	3	3
9	0	0	29	0	0	39	1	1
10	0	0	30	0	0	40	2	1
11	0	0	-	-	-	-	-	-
12	0	0	-	-	-	-	-	-
13	0	0	-	-	-	-	-	-
14	0	0	-	-	-	-	-	-
15	0	0	-	-	-	-	-	-
16	0	0	-	-	-	-	-	-
17	0	0	-	-	-	-	-	-
18	0	0	-	-	-	-	-	-
19	0	0	-	-	-	-	-	-
20	0	0	-	-	-	-	-	-
Mean score	0.0	0.0	Mean score	0.0	0.0	Mean score	1.4	1.6
Sensitization rate (%)	0.0	0.0	Sensitization rate (%)	0.0	0.0	Sensitization rate (%)	80	90

(2) 생태독성

(가) 급성 어류독성

1) 잉어

제형 I (Oryastrobin+Clothianidin 함유 비료농약 혼합제)을 농약의 유효성분 기준으로 시험한 잉어에 대한 48시간 반수치사농도 (LC₅₀)는 측정농도 기준으로 0.496 mg/L (95% 신뢰한계구간: 0.451~0.533 mg/L)이었고, 96시간 반수치사농도 (LC₅₀)는 측정농도 기준으로 0.326 mg/L이었다. 이 결과는 농약관리법에 의거 독성을 구분하면 I 급으로 분류된다.

표 44. 어류에 대한 독성정도에 따른 농약 등의 구분

구분	반수를 죽일 수 있는 농도 (mg/L, 48시간)
I 급	0.5 미만
II 급	0.5 이상 2 미만
III 급	2 이상

표 45. 농약의 유효성분 기준

Time	LC ₅₀ ^a (mg/L)	95% confidence limits (mg/L)	NOEC ^b (mg/L)
48 hr	0.496	0.451~0.533	0.436
96 hr	0.326	-	0.224

a: Median lethal concentration (Based on nominal concentration of main pesticide ingredient input ratio)

b: No observed effect concentration

농약과 비료의 유효성분기준으로 시험한 잉어에 대한 48시간 반수치사농도 (LC₅₀)는 측정농도 기준 161.597 mg/L (95% 신뢰한계구간: 146.936~173.651 mg/L)이었고, 96시간 반수치사농도 (LC₅₀)는 측정농도 기준 106.211 mg/L이었다. 48시간 및 96시간 무영향농도 (NOEC)는 측정농도 기준 각각 142.049 및 72.979 mg/L이었다. 이 결과는 농약관리법에 의거 독성을 구분하면 III급으로 분류된다.

표 46. 농약과 비료의 유효성분 기준(농약의 유효성분 기준을 환산한 데이터)

Time	LC ₅₀ ^a (mg/L)	95% confidence limits (mg/L)	NOEC ^b (mg/L)
48 hr	161.597	146.936~173.651	142.049
96 hr	106.211	-	72.979

a: Median lethal concentration (Based on nominal concentration of main pesticide ingredient & fertilizer input ratio)

b: No observed effect concentration

2) 미꾸리

제형 I (Oryastrobin+Clothianidin 함유 비료농약 혼합제)의 미꾸리에 대한 48시간 반수치사농도는 1.216 mg/L이었고, 96시간 반수치사농도는 1.073 mg/L이었다. 이 결과는 농약관리법에

의거 독성을 구분하면 II급으로 분류된다.

표 47. 농약의 유효성분 기준

Time	LC ₅₀ ^a (mg/L)	95% confidence limits (mg/L)	NOEC ^b (mg/L)
48 hr	1.216	-	0.699
96 hr	1.073	-	0.699

a: Median lethal concentration (Based on nominal concentration of main pesticide ingredient input ratio)

b: No observed effect concentration

농약과 비료의 유효성분기준으로 시험한 잉어에 대한 48시간 반수치사농도 (LC₅₀)는 측정농도 기준 396.187 mg/L 이었고, 96시간 반수치사농도 (LC₅₀)는 측정농도 기준 349.596 mg/L 이었다. 48시간 및 96시간 무영향농도 (NOEC)는 측정농도 기준 모두 227.743 mg/L이었다. 이 결과는 농약관리법에 의거 독성을 구분하면 III급으로 분류된다.

표 48. 농약과 비료의 유효성분 기준(농약의 유효성분 기준을 환산한 데이터)

Time	LC ₅₀ ^a (mg/L)	95% confidence limits (mg/L)	NOEC ^b (mg/L)
48 hr	396.187	-	227.743
96 hr	349.596	-	227.743

a: Median lethal concentration (Based on nominal concentration of main pesticide ingredient & fertilizer input ratio)

b: No observed effect concentration

(나) 물벼룩 급성독성

제형 I (Oryastrobin+Clothianidin 함유 비료농약 혼합제)의 물벼룩에 대한 반수영향농도 (EC₅₀)는 농약 유효성분 Oryastrobin+Clothianidin의 측정농도 기준으로 24, 48시간 모두 0.533 mg/L(95% 신뢰한계구간: 0.419~0.769 mg/L) 이었고, 무영향농도(NOEC)는 모두 0.325 mg/L 이었다.

표 49. 농약 유효성분 기준

Observation time (hr)	EC ₅₀ ^a (mg/L) ^b	95% confidence limits (mg/L) ^b	NOEC ^c (mg/L) ^b
24 & 48	0.533	0.419 ~ 0.769	0.325

a: Median effective concentration

b: Measured concentration of oryastrobin+clothianidin contents

c: No observed effect concentration

농약과 비료의 유효성분을 기준으로 시험의 농도를 환산하여 통계처리 하였을 때, 24, 48시간 반수영향농도는 모두 173.651 mg/L (95% 신뢰한계구간: 136.510~250.540 mg/L) 이었고, 무영향농도는 모두 105.885 mg/L 이었다.

표 50. 농약과 비료의 유효성분 기준(농약 유효성분 기준을 환산한 데이터)

Observation time (hr)	EC ₅₀ ^a (mg/L) ^b	95% confidence limits (mg/L) ^b	NOEC ^c (mg/L) ^b
24 & 48	173.651	136.510 ~ 250.540	105.885

- a: Median effective concentration
- b: Converted concentration to based on contents of orysastrobin+clothianidin and fertilizer
- c: No observed effect concentration

(3) 유전독성(염색체 이상)

시험물질인 제형 I (Oryastrobin+Clothianidin 함유 비료농약 혼합제)의 염색체 이상 유발성을 포유류 배양세포주 (Chinese Hamster Lung (CHL/IU) cell line)를 사용하여 검토하였다. 세포증식억제시험을 실시한 결과, 단시간처리법의 대사활성화 존재하 및 연속처리법의 대사활성화 비존재하에서 세포증식을 억제하는 용량이 관찰되어 RICC(Relative increase in cell counts)를 ±5% 억제하는 용량을 산출한 결과 단시간처리법의 대사활성화 존재하는, 연속처리법의 대사활성화 비존재하의 경우 2,398.5 µg/mL이었다. 단, 단시간처리법의 대사활성화 비존재 하에서는 세포증식 억제가 관찰되지 않았다.

표 51. 세포증식 억제 시험결과

Test substance	Dose (µg/mL)	S9 mix	Trt-Rec Time (hr)	No. of cell counted (10 ⁴ cells/mL)		Mean ± S.D.	RPD (%)	RICC (%)
Saline	0	-	6-18	134	176	155.0 ± 29.7	100.0	100.0
Oryastrobin/Clothianidin 함유 비료/농약 혼합제	78.125	-	6-18	146	134	140.0 ± 8.5	98.0	90.2
	312.5	-	6-18	166	142	154.0 ± 17.0	99.9	99.3
	625	-	6-18	100	112	106.0 ± 8.5	92.5	68.0
	1,250	-	6-18	96	102	99.0 ± 4.2	91.1	63.4
	2,500	-	6-18	102	100	101.0 ± 1.4	91.5	64.7
	3,500	-	6-18	122	126	124.0 ± 2.8	95.6	79.7
5,000	-	6-18	84	102	93.0 ± 12.7	89.9	59.5	
Saline	0	+	6-18	176	138	157.0 ± 26.9	100.0	100.0
Oryastrobin/Clothianidin 함유 비료/농약 혼합제	78.125	+	6-18	164	141	152.5 ± 16.3	99.4	97.1
	312.5	+	6-18	151	128	139.5 ± 16.3	97.7	88.7
	625	+	6-18	124	112	118.0 ± 8.5	94.4	74.8
	1,250	+	6-18	104	100	102.0 ± 2.8	91.5	64.5
	2,500	+	6-18	140	124	132.0 ± 11.3	96.6	83.9
	3,500	+	6-18	102	76	89.0 ± 18.4	88.8	56.1
5,000	+	6-18	62	80	71.0 ± 12.7	84.3	44.5	
Saline	0	-	24-0	158	144	151.0 ± 9.9	100.0	100.0
Oryastrobin/Clothianidin 함유 비료/농약 혼합제	78.125	-	24-0	128	117	122.5 ± 7.8	95.8	80.9
	312.5	-	24-0	104	98	101.0 ± 4.2	92.0	66.4
	625	-	24-0	120	102	111.0 ± 12.7	93.9	73.2
	1,250	-	24-0	120	74	97.0 ± 32.5	91.2	63.8
	2,500	-	24-0	80	76	78.0 ± 2.8	86.8	51.0
	3,500	-	24-0	48	82	65.0 ± 24.0	83.2	42.3
5,000	-	24-0	56	60	58.0 ± 2.8	80.9	37.6	

Trt-Rec time : Treatment-Recovery times
 S.D.:Standard Deviation
 RPD: Relative Population Doubling
 RICC: Relative Increase in Cell Counts

따라서 본 시험의 용량은 RICC 55±5% 범위내의 값을 최고용량으로 하여 설정하였으며, 각각의 처리계열에 대해 음성대조군 및 양성대조군을 설정하였다.

표 52. 단시간 및 연속 처리법의 용량

구분	S9 mix	본 시험의 용량(µg/mL)
단시간 처리법	-	5,000, 2,500, 1,250
	+	4,000, 2,000, 1,000
연속 처리법	-	2,500, 1,250, 625

염색체 이상 시험결과 단시간처리법의 대사활성화 비존재하 및 존재하, 연속처리법의 대사활성화 비존재하의 모든 처리계열에서 염색체이상을 가진 세포의 출현빈도는 5% 미만으로 염색체이상 유발작용은 확인되지 않았으며, 음성대조군과 비교하여 통계학적으로 유의한 차이도 관찰되지 않았다. 각 처리계열의 양성대조군에서는 구조이상을 가진 세포의 출현빈도가 음성대조군과 비교 시 통계학적으로 유의하게 증가되었다. 이상의 결과로부터 본 시험조건 하에서 시험물질인 제형 I (Oryastrobin+Clothianidin 함유 비료농약 혼합제)은 염색체이상을 유발하지 않는 음성으로 판단된다.

표 53. 양성대조군 및 음성대조군의 기초 데이터

Historical control values of structural aberrations								
Group	S9 mix	Time of exposure (hr)	No. of cell analyzed	Structural aberration cells without gap (%) (Mean S.D)			Range (%)	
							Min	Max
Negative	-	6+18	2800	0.1	±	0.3	0	<5
	+	6+18	2800	0.2	±	0.4	0	<5
	-	24-0	2800	0.2	±	0.3	0	<5
Positive	-	6+18 ^{a)}	2800	17.7	±	4.7	<10	25*
	+	6+18 ^{b)}	2800	19.4	±	4.7	<10	27*
	-	24-0 ^{a)}	2800	20	±	3.9	<10	26*

Negative control: Water for injection, Dimethyl sulfoxide, 0.5% carboxymethylcellulose sodium salt

^{a)}MMC: Mitomycin C (0.05 ug/mL), ^{b)}C.P: Cyclophosphamide (10 ug/mL)

The above historical control values are obtained from the data pooled from Jan. 01, 2015 to Dec. 31, 2015

Significant difference from negative control by fisher's exact test : * $p < 0.05$

나. 제형 II (Probenazole+Clothianidin)

(1) 인축독성

(가) 급성 경구독성

랫드에 대한 제형 II (Probenazole+Clothianidin 함유 비료농약 혼합제)의 급성 경구독성시험 결과, GHS 분류 (기준) category V로 LD₅₀값은 >2000 ~ ≤5000 mg/kg bw이었고, 농약관리법 [급성독성정도에 따른 농약의 독성구분]에 의거 IV급 (저독성)으로 구분되었다.

표 54. 치사와 중독증상

Group	Dose (mg/kg bw)	Sex	Number of animals	Clinical signs	Mortality	LD ₅₀
1	2000	Female	3	No abnormality detected	0/3 ^a	>2000 ~ ≤5000 mg/kg bw
2	2000	Female	3	No abnormality detected	0/3	

a : Number of dead animals/Number of tested animals

(나) 급성 경피독성

랫드에 대한 제형 II (Probenazole+Clothianidin 함유 비료농약 혼합제)의 급성경피독성시험 결과, LD₅₀값은 2000 mg/kg bw 이상으로 농약관리법에 의거 독성을 구분하면 IV급 (저독성)에 해당되었다.

표 55. 치사와 중독증상

Group	Dose (mg/kg bw)	Sex	Number of animals	Clinical signs	Mortality (dead / total)	LD ₅₀
1	2000	Male	5	No abnormality detected	0% (0 / 5 ^a)	> 2000 mg/kg bw
2	2000	Female	5	No abnormality detected	0% (0 / 5)	

a : Number of Death animals / Number of tested animals

(다) 안점막 자극성

안반응 평가표에 의해 평가된 안점막 자극정도를 처리하여 급성안자극지수 (A.O.I.)를 산출한 결과, A.O.I.는 “2.0”이었다. 이상의 시험결과, New Zealand White계 토끼에 대한 제형 II (Probenazole+Clothianidin 함유 비료농약 혼합제)의 안점막자극성시험에서 자극성은 안점막자극표(표)에 의거 “없음”으로 구분되었다.

표 56. 시험군별 안자극 지수

Time	Animal No.	Non-treatment			Treatment		
		I.O.I. ^{a)}	M.O.I. ^{b)}	A.O.I. ^{c)}	I.O.I. ^{a)}	M.O.I. ^{b)}	A.O.I. ^{c)}
1 hr	1	0	0	0.0	2	2.0	2.0
	2	0			2		
	3	0			2		
24 hr	1	0	0		0	0.0	
	2	0			0		
	3	0			0		
48 hr	1	0	0		0	0.0	
	2	0			0		
	3	0			0		
72 hr	1	0	0	0	0.0		
	2	0		0			
	3	0		0			

a: I.O.I. (Individual Ocular Irritation)

b: M.O.I. (Mean Ocular Irritation)

c: A.O.I. (Acute Ocular Irritation) = the maximum value of M.O.I.

(라) 피부 자극성

시험물질 노출 종료 후 1, 24, 48 및 72시간에 피부반응평가표를 기준으로 피부반응을 관찰한 결과, 시험물질 처리 후 홍반 및 부종 등의 어떠한 피부반응도 관찰되지 않았다.

피부반응평가표에 의해 1차 피부자극지수 (Primary Irritation Index, P.I.I.)를 산출한 결과, P.I.I.는 “0.0” 이었고 피부 1차 자극표에 의해 자극성을 구분하면 “없음” 이었다. 이상의 결과로부터 제형 II (Probenazole+Clothianidin 함유 비료농약 혼합제)는 New Zealand White계 토끼의 피부에 처리 시 자극성이 없는 물질로 구분되었다.

표 57. 피부자극의 평가 (1/2)

Phases ^a	Number of animals	Sites	Days after treatment			
			0	1	2	3
Erythema & Eschar	1	Control sites	0	0	0	0
		Test sites	0	0	0	0
	2	Control sites	0	0	0	0
		Test sites	0	0	0	0
	3	Control sites	0	0	0	0
		Test sites	0	0	0	0
Edema	1	Control sites	0	0	0	0
		Test sites	0	0	0	0
	2	Control sites	0	0	0	0
		Test sites	0	0	0	0
	3	Control sites	0	0	0	0
		Test sites	0	0	0	0

a : Time after topical treatment

표 58. 피부자극의 평가 (2/2)

Sites	Control sites							
Change	Erythema & Eschar				Edema			
Phases ^a	1 hr	24 hr	48 hr	72 hr	1 hr	24 hr	48 hr	72 hr
1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	0	0	0	0	0	0	0	0
Mean	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Sum ^b	0.0				0.0			
P.I.I. ^c	0.0				0.0			

- a : Time after topical treatment
- b : Sum of means at 1, 24, 48 and 72hr
- c : P.I.I. (Primary Irritation Index) = Total/4

표 59. 피부자극의 평가 (2/2) (2)

Sites	Test sites							
Change	Erythema & Eschar				Edema			
Phases ^a	1 hr	24 hr	48 hr	72 hr	1 hr	24 hr	48 hr	72 hr
1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	0	0	0	0	0	0	0	0
Mean	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Sum ^b	0.0				0.0			
P.I.I. ^c	0.0				0.0			

- a : Time after topical treatment
- b : Sum of means at 1, 24, 48 and 72hr
- c : P.I.I. (Primary Irritation Index) = Total/4

(마) 피부 감작성

감작야기 후 24, 48시간에 모든 동물의 시험물질 처리부위를 피부반응평가기준을 기준으로 관찰한 결과, 시험군 및 음성대조군에서 홍반 및 부종 등의 피부반응이 관찰되지 않아 감작지수(평균피부반응점수)와 빈도지수(감작율)는 각각 “0”과 “0.0%”로 산출되었다. 양성대조군에서는 중증도의 홍반 등의 피부반응이 유발되어 감작지수는 야기 종료 후 24시간 및 48시간에 각각 “1.4” 및 “1.6”, 빈도지수는 24시간 및 48시간에 각각 “80%” 및 “90%”로 산출되었다.

피부반응평가기준에 의해 피부반응점수를 산출한 결과, “0.0” 이었고 피부감작성 평가기준에 의해 자극성을 구분하면 “없음” 이었다. 이상의 결과로부터 제형 II (Probenazole+Clothianidin 함유 비료농약 혼합제)는 Hartely계 기니픽의 피부에 처리 시 자극성이 없는 물질로 구분되었다.

표 60. 피부감작성 평가

Animal number	Treatment		Animal number	Negative control		Animal number	Positive control	
	24 hr	48 hr		24 hr	48 hr		24 hr	48 hr
1	0	0	21	0	0	31	2	2
2	0	0	22	0	0	32	1	2
3	0	0	23	0	0	33	3	3
4	0	0	24	0	0	34	1	2
5	0	0	25	0	0	35	0	1
6	0	0	26	0	0	36	1	1
7	0	0	27	0	0	37	0	0
8	0	0	28	0	0	38	3	3
9	0	0	29	0	0	39	1	1
10	0	0	30	0	0	40	2	1
11			-	-	-	-	-	-
12			-	-	-	-	-	-
13			-	-	-	-	-	-
14			-	-	-	-	-	-
15			-	-	-	-	-	-
16			-	-	-	-	-	-
17			-	-	-	-	-	-
18			-	-	-	-	-	-
19			-	-	-	-	-	-
20			-	-	-	-	-	-
Mean score	0.0	0.0	Mean score	0.0	0.0	Mean score	1.4	1.6
Sensitization rate (%)	0.0	0.0	Sensitization rate (%)	0.0	0.0	Sensitization rate (%)	80	90

(2) 생태독성

(가) 급성 어류독성

1) 잉어

제형 II (Probenazole+Clothianidin 함유 비료농약 혼합제)의 잉어에 대한 48시간 반수치사농도 (LC₅₀)는 측정농도 기준 0.078 mg/L (95% 신뢰한계구간 : 0.062~0.356 mg/L)이었고, 96시간 반수치사농도 (LC₅₀)는 측정농도 기준 0.058 mg/L (95% 신뢰한계구간 : 0.043~0.132 mg/L)이었다. 이 결과는 농약관리법에 의거 독성을 구분하면 I 급으로 분류된다.

표 61. 농약의 유효성분 기준

Time	LC ₅₀ ^a (mg/L)	95% confidence limits (mg/L)	NOEC ^b (mg/L)
48 hr	0.078	0.062~0.356	0.025
96 hr	0.058	0.043~0.132	0.025

a: Measured concentration of probenazole+clothianidin contents

b: No observed effect concentration

농약과 비료의 유효성분기준으로 시험한 잉어에 대한 48시간 반수치사농도 (LC₅₀)는 측정농도 기준 19.859 mg/L (95% 신뢰한계구간: 15.785~90.638 mg/L)이었고, 96시간 반수치사농도 (LC₅₀)는 측정농도 기준 14.767 mg/L (95% 신뢰한계구간: 10.948~33.607 mg/L)이었다. 이 결과는 농약관리법에 의거 독성을 구분하면 III급으로 분류된다.

표 62. 농약과 비료의 유효성분 기준(농약의 유효성분 기준을 환산한 데이터)

Time	LC ₅₀ ^a (mg/L)	95% confidence limits (mg/L)	NOEC ^b (mg/L)
48 hr	19.859	15.785~90.638	6.365
96 hr	14.767	10.948~33.607	6.365

a: Measured concentration of probenazole+clothianidin contents and input ratio of fertilizer

b: No observed effect concentration

2) 미꾸리

제형 II (Probenazole+Clothianidin 함유 비료농약 혼합제)의 미꾸리에 대한 48시간 및 96시간 반수치사농도 (LC₅₀)는 농약유효성분 측정농도 기준으로 모두 0.089 mg/L 이상이었으며, 무영향농도 (NOEC)는 24, 48시간 모두 0.089 mg/L 이었다. 이 결과는 농약관리법에 의거 독성을 구분하면 I 급으로 분류된다.

표 63. 농약의 유효성분 기준

Time	LC ₅₀ ^a (mg/L)	NOEC ^b (mg/L)
48 & 96 hr	> 0.089	0.089

a: Measured concentration of probenazole+clothianidin contents

b: No observed effect concentration

농약과 비료의 유효성분기준으로 시험한 미꾸리에 대한 48시간 및 96시간 반수치사농도 (LC₅₀)는 측정농도 기준으로 모두 22.659 mg/L 이상이었으며, 무영향농도 (NOEC)는 24, 48시간 모두 22.659 mg/L 이었다. 이 결과는 농약관리법에 의거 독성을 구분하면 III급으로 분류된다.

표 64. 농약과 비료의 유효성분 기준(농약의 유효성분 기준을 환산한 데이터)

Time	LC ₅₀ ^a (mg/L)	NOEC ^b (mg/L)
48 & 96 hr	> 22.659	22.659

a: Measured concentration of probenazole+clothianidin contents and input ratio of fertilizer
b: No observed effect concentration

(나) 물벼룩 급성독성

제형 II (Probenazole+Clothianidin 함유 비료농약 혼합제)의 물벼룩에 대한 24시간 반수영향농도는 농약 유효성분 (Probenazole+Clothianidin)의 측정농도 기준으로 0.087 mg/L (95% 신뢰한계구간: 0.074~0.098 mg/L) 이었고, 48시간 반수영향농도는 0.058 mg/L 이었다.

표 65. 농약 유효성분 기준

Observation time (hr)	EC ₅₀ ^a (mg/L) ^b	95% confidence limits (mg/L) ^b	NOEC ^c (mg/L) ^b
24	0.087	0.074 ~ 0.098	0.006
48	0.058	NA ^d	0.006

a: Median effective concentration
b: Measured concentration of probenazole+clothianidin contents
c: No observed effect concentration
d: Not available

농약과 비료의 유효성분을 기준으로 시험의 농도를 환산하여 통계처리 하였을 때, 24시간 반수영향농도는 22.150 mg/L (95% 신뢰한계구간: 18.840~24.951 mg/L) 이었고, 48시간 반수영향농도는 14.767 mg/L 이었다.

표 66. 농약과 비료의 유효성분 기준(농약 유효성분 기준을 환산한 데이터)

Observation time (hr)	EC ₅₀ ^a (mg/L) ^b	95% confidence limits (mg/L) ^b	NOEC ^c (mg/L) ^b
24	22.150	18.840 ~ 24.951	1.528
48	14.767	NA ^d	1.528

a: Median effective concentration
b: Converted concentration to based on contents of probenazole+clothianidin and fertilizer
c: No observed effect concentration
d: Not available

(3) 유전독성(염색체 이상)

시험물질인 제형 II (Probenazole+Clothianidin 함유 비료농약 혼합제)의 염색체 이상 유발

성을 포유류 배양세포주 (Chinese Hamster Lung (CHL/IU) cell line)를 사용하여 검토하였다. 세포증식 억제시험을 실시한 결과, 연속처리법의 대사활성화 비존재하에서 세포증식을 억제하는 용량이 관찰되어, (Relative increase in cell counts: RICC)을 $\pm 5\%$ 억제하는 용량을 산출한 결과, 연속처리법의 대사활성화 비존재하는 3345.7 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 이었다. 단, 단시간처리법의 대사활성화 비존재하 및 존재하에서는 세포증식억제가 관찰되지 않았다.

표 67. 세포증식 억제 시험결과

Test substance	Dose ($\mu\text{g}/\text{mL}$)	S9 mix	Trt-Rec Time (hr)	No. of cell counted ($10^4\text{cells}/\text{mL}$)		Mean \pm S.D.	RPD (%)	RICC (%)
Saline	0	-	6-18	146	120	133.0 \pm 18.4	100.0	100.0
Probenazole/Clothianidin 함유 비료/농약 혼합제	78.125	-	6-18	160	102	131.0 \pm 41.0	99.7	98.5
	312.5	-	6-18	124	98	111.0 \pm 18.4	96.3	83.2
	625	-	6-18	144	116	130.0 \pm 19.8	99.5	97.7
	1,250	-	6-18	104	122	113.0 \pm 12.7	96.7	84.7
	2,500	-	6-18	104	78	91.0 \pm 18.4	92.2	67.9
	3,500	-	6-18	98	64	81.0 \pm 24.0	89.9	60.3
	5,000	-	6-18	86	70	78.0 \pm 11.3	89.1	58.0
Saline	0	+	6-18	62	64	63.0 \pm 1.4	100.0	100.0
Probenazole/Clothianidin 함유 비료/농약 혼합제	78.125	+	6-18	66	62	64.0 \pm 2.8	100.4	101.6
	312.5	+	6-18	78	70	74.0 \pm 5.7	103.9	118.0
	625	+	6-18	88	96	92.0 \pm 5.7	109.1	147.5
	1,250	+	6-18	90	72	81.0 \pm 12.7	106.1	129.5
	2,500	+	6-18	72	70	71.0 \pm 1.4	102.9	113.1
	3,500	+	6-18	86	76	81.0 \pm 7.1	106.1	129.5
	5,000	+	6-18	70	60	65.0 \pm 7.1	100.8	103.3
Saline	0	-	24-0	92	112	102.0 \pm 14.1	100.0	100.0
Probenazole/Clothianidin 함유 비료/농약 혼합제	78.125	-	24-0	94	98	96.0 \pm 2.8	98.7	94.0
	312.5	-	24-0	116	96	106.0 \pm 14.1	100.8	104.0
	625	-	24-0	80	98	89.0 \pm 12.7	97.1	87.0
	1,250	-	24-0	98	86	92.0 \pm 8.5	97.8	90.0
	2,500	-	24-0	96	98	97.0 \pm 1.4	98.9	95.0
	3,500	-	24-0	44	58	51.0 \pm 9.9	85.0	49.0
	5,000	-	24-0	24	18	21.0 \pm 4.2	65.8	19.0

Trt-Rec time : Treatment-Recovery times
 S.D.:Standard Deviation
 RPD: Relative Population Doubling
 RICC: Relative Increase in Cell Counts

따라서, 본시험의 용량은 RICC $55\pm 5\%$ 범위내의 값을 최고용량으로 하여 설정하였으며, 각각의 처리계열에 대해 음성대조군 및 양성대조군을 설정하였다.

표 68. 단시간 및 연속 처리법의 용량

구분	S9 mix	본시험의 용량($\mu\text{g}/\text{mL}$)
단시간 처리법	-	5,000, 2,500, 1,250
	+	5,000, 2,500, 1,250
연속 처리법	-	3,300, 1,650, 825

염색체 이상 시험결과 단시간처리법의 대사활성화 비존재하 및 존재하, 연속처리법의 대사활성화비 존재하의 모든 처리계열에서 염색체이상을 가진 세포의 출현빈도는 5% 미만으로 염색체이상 유발작용은 확인되지 않았으며, 음성대조군과 비교하여 통계학적으로 유의한 차이도 관찰되지 않았다. 각 처리계열의 양성대조군에서는 구조이상을 가진 세포의 출현빈도가 음성대조군과 비교 시 통계학적으로 유의하게 증가되었다.

이상의 결과로부터 본 시험조건 하에서 시험물질인 제형 II (Probenazole+Clothianidin 함유 비료농약 혼합제)는 염색체 이상을 유발하지 않는 음성으로 판단된다.

표 69. 양성대조군과 음성대조군의 기초 데이터

Historical control values of structural aberrations								
Group	S9 mix	Time of exposure (hr)	No. of cell analyzed	Structural aberration cells without gap (%) (Mean S.D)			Range (%)	
							Min	Max
Negative	-	6+18	2800	0.1	±	0.3	0	<5
	+	6+18	2800	0.2	±	0.4	0	<5
	-	24-0	2800	0.2	±	0.3	0	<5
Positive	-	6+18 ^{a)}	2800	17.7	±	4.7	<10	25*
	+	6+18 ^{b)}	2800	19.4	±	4.7	<10	27*
	-	24-0 ^{a)}	2800	20	±	3.9	<10	26*

Negative control: Water for injection, Dimethyl sulfoxide, 0.5% carboxymethylcellulose sodium salt

^{a)}MMC: Mitomycin C (0.05 ug/mL), ^{b)}C.P: Cyclophosphamide (10 ug/mL)

The above historical control values are obtained from the data pooled from Jan. 01, 2015 to Dec. 31, 2015

Significant difference from negative control by fisher's exact test : * $p < 0.05$

제4절 선정된 2개 처방에 대한 포장시험(5개소)

1. 경기도농업기술원

가. 연구목적

비료농약 일체형 벼 파종상 1회 처리 비료 개발로 노동력 절감 및 병해충 피해 사전 예방

나. 시험방법

(1) 시험품종 : 참드림

(2) 대상병해충 : 벼물바구미, 도열병(잎도열병, 목도열병), 잎집무늬마름병 등

(3) 처리내용

※ 1) 비료농약 제형 I, 2) 비료농약 제형 II, 3)관행 방제, 4) 무방제

※ 이앙기(재식거리) : 5월 20일(30×14cm)

※ 시비량(kg/10a) : 파종상 1회시비 비료(N-P₂O₅-K₂O = 4.5-0.9-0.9 kg/10a)

※ 관행 방제 : 파종상 비료 이용 육묘, 이앙 전 육묘상 농약(한소네 입제) 처리

※ 제형별 농약성분량

- 파종상 비료농약 제형 I : Oryastrobin + Clothianidin(비료 600g당 Oryastrobin 1.4g + Clothianidin 0.2g) → 한소네(성보화학) 추천량의 80% 수준

- 파종상 비료농약 제형 II : Probenazole + Clothianidin(비료 600g당 Probenazole 1.8g + Clothianidin 0.25g) → 룡샷(팜한농) 추천량의 100% 수준

(4) 주요 조사항목 : 시기별 병해충 발생량, 시기별 농약잔류량, 벼 생육 및 수량 등

(5) 시험구 배치 : 난괴법 3반복

다. 시험결과

(1) 시험 전 토양 화학성

표 70. 시험 전 토양 화학성

pH (1:5)	OM (g kg ⁻¹)	Av.P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	SiO ₂ (mg kg ⁻¹)	Ex.Cations (cmol kg ⁻¹)			CEC (cmol kg ⁻¹)
				K	Ca	Mg	
6.7	23	28	278	0.44	8.4	1.6	14.0

(2) 벼물바구미 방제효과(10DAT)

표 71. 벼물바구미 방제효과(10DAT)

처 리 내 용	성충수(마리 20주 ⁻¹)	성충 방제가(%)
1) 비료 농약 제형 I	0.3 ^b	96.1
2) 비료 농약 제형 II	0.3 ^b	96.1
3) 관행 방제	0.4 ^b	94.8
4) 무방제	8.6 ^a	-

* DAT(Days after transplanting) : 이앙 후 일수

(3) 토양 화학성

표 72. 토양 화학성

구 분		pH (1:5)	OM (g kg ⁻¹)	Av.P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	SiO ₂ (mg kg ⁻¹)	Ex.Cations (cmol kg ⁻¹)			CEC (cmol kg ⁻¹)
						K	Ca	Mg	
30 D A T	1) 비료 농약 제형 I	6.6	25	27	290	0.52	8.1	1.6	12.5
	2) 비료 농약 제형 II	6.8	25	28	297	0.50	8.1	1.6	12.2
	3) 관행 방제	6.9	26	28	305	0.49	8.5	1.7	12.3
	4) 무방제	6.7	25	28	292	0.50	8.3	1.7	12.2
60 D A T	1) 비료 농약 제형 I	6.7	25	30	293	0.49	8.1	1.6	13.4
	2) 비료 농약 제형 II	6.6	26	30	289	0.52	8.1	1.6	13.7
	3) 관행 방제	6.9	26	32	257	0.47	8.0	1.6	13.5
	4) 무방제	6.9	26	29	270	0.49	8.0	1.6	13.4
120 D A T	1) 비료 농약 제형 I	6.4	25	27	208	0.33	7.4	1.4	13.4
	2) 비료 농약 제형 II	6.5	24	29	191	0.35	7.2	1.5	13.3
	3) 관행 방제	6.7	25	28	195	0.34	7.3	1.5	13.2
	4) 무방제	6.3	24	30	209	0.34	7.2	1.4	13.1

(4) 시험 후 토양 화학성

표 73. 시험 후 토양 화학성

구 분		pH (1:5)	OM (g kg ⁻¹)	Av.P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	SiO ₂ (mg kg ⁻¹)	Ex.Cations (cmol kg ⁻¹)			CEC (cmol kg ⁻¹)
						K	Ca	Mg	
시 험 후	1) 비료 농약 제형 I	6.2	25	32	213	0.36	7.9	1.5	13.2
	2) 비료 농약 제형 II	6.1	25	29	211	0.36	7.8	1.5	13.1
	3) 관행 방제	6.2	25	31	203	0.37	8.0	1.5	13.9
	4) 무방제	6.2	25	31	214	0.36	7.9	1.5	13.7

(5) 시기별 벼 생육 및 엽색도

표 74. 시기별 벼 생육 및 엽색도

처 리 내 용		초 장(cm)	경 수(개 주 ⁻¹)	엽색도(SPAD)
30 D A T	1) 비료 농약 제형 I	31 ^{ns}	13.8 ^{ab}	-
	2) 비료 농약 제형 II	31	14.8 ^a	-
	3) 관행 방제	30	13.4 ^b	-
	4) 무방제	30	12.9 ^b	-
50 D A T	1) 비료 농약 제형 I	62 ^{ns}	16.2 ^{ab}	35.8 ^{ns}
	2) 비료 농약 제형 II	62	16.1 ^{ab}	36.9
	3) 관행 방제	63	16.8 ^a	35.7
	4) 무방제	61	15.5 ^b	35.9
80 D A T	1) 비료 농약 제형 I	89 ^{ns}	15.3 ^a	33.1 ^{ns}
	2) 비료 농약 제형 II	90	15.1 ^a	33.4
	3) 관행 방제	89	15.3 ^a	33.1
	4) 무방제	89	13.7 ^b	32.5

(6) 출수기 및 병해충 발생 정도

표 75. 출수기 및 병해충 발생 정도

처 리 내 용	출수기 (월. 일)	도열병(0~9)		벼물바구미 (0~9) ¹	흑명나방 (0~9)	잎집무늬마름병(0~9)	
		잎	목			95DAT	115DAT
1) 비료 농약 제형 I	8. 14	0	0	3	1	0	1
2) 비료 농약 제형 II	8. 14	0	0	3	1	3	5
3) 관행 방제	8. 14	0	0	3	1	0	1
4) 무방제	8. 15	0	0	5	1	3	5

* : 8월 16일 조사, 0 (피해무), 1 (피해엽율 0.1~5%), 3 (피해엽율 5.1~10%),
5 (피해엽율 10.1~30%), 7 (피해엽율 30.1~50%), 9 (피해엽율 50.1% 이상)

(7) 농약성분 잔류량

표 76. 식물체, 현미, 백미 중 농약성분 잔류량

(단위 : ppb)

처 리 내 용		Oryastrobin	Probenazole	Clothianidin
15 D A T	1) 비료 농약 제형 I	897	-	206
	2) 비료 농약 제형 II	-	151	420
	3) 관행 방제	405	-	1,593
	4) 무방제	-	-	-
30 D A T	1) 비료 농약 제형 I	288	-	1
	2) 비료 농약 제형 II	-	-	2
	3) 관행 방제	444	-	1
	4) 무방제	-	-	-
45 D A T	1) 비료 농약 제형 I	80	-	-
	2) 비료 농약 제형 II	-	-	-
	3) 관행 방제	374	-	-
	4) 무방제	-	-	-
60 D A T	1) 비료 농약 제형 I	90	-	-
	2) 비료 농약 제형 II	-	-	-
	3) 관행 방제	357	-	-
	4) 무방제	-	-	-
75 D A T	1) 비료 농약 제형 I	61	-	-
	2) 비료 농약 제형 II	-	-	-
	3) 관행 방제	250	-	-
	4) 무방제	-	-	-
90 D A T	1) 비료 농약 제형 I	42	-	-
	2) 비료 농약 제형 II	-	-	-
	3) 관행 방제	214	-	-
	4) 무방제	-	-	-
120 D A T	1) 비료 농약 제형 I	34	-	-
	2) 비료 농약 제형 II	-	-	-
	3) 관행 방제	38	-	-
	4) 무방제	-	-	-
현 미	1) 비료 농약 제형 I	17	-	-
	2) 비료 농약 제형 II	-	-	-
	3) 관행 방제	12	-	-
	4) 무방제	-	-	-
백 미	1) 비료 농약 제형 I	6	-	-
	2) 비료 농약 제형 II	-	-	-
	3) 관행 방제	5	-	-
	4) 무방제	-	-	-

* 식물체 농약잔류량 : 지상부와 지하부 혼합 후 분석, - : 불검출

* 쌀 농약잔류 허용기준 : Oryastrobin 300ppb 이하

1) 비료 농약 제형 I : Oryastrobin+Clothianidin(비료 600g당 Oryastrobin 1.4g+Clothianidin 0.2g)
→ 한소네 입제(성보화학) 추천량의 80% 수준

2) 비료 농약 제형 II : Probenazole+Clothianidin(비료 600g당 Probenazole 1.8g+Clothianidin 0.25g)
→ 룡샷(팜한농) 추천량의 100% 수준

3) 관행 방제 : Oryastrobin + Clothianidin(한소네 입제) 육묘상 처리

(10) 벼 성숙기 생육 및 수량

표 77. 벼 성숙기 생육 및 수량

처 리 내 용	간장 (cm)	수장 (cm)	수수 (개 주 ⁻¹)	수당 립수 (립)	등숙 비율 (%)	현미 천립중 (g)	백미 수량	
							kg 10a ⁻¹	지수
1) 비료 농약 제형 I	75 ^{ns}	19 ^{ns}	14.1 ^a	112 ^{ns}	90.7 ^a	22.6 ^{ns}	633 ^a	100
2) 비료 농약 제형 II	75	19	14.3 ^a	110	87.0 ^b	22.4	608 ^b	96
3) 관행 방제	76	19	14.2 ^a	114	89.9 ^a	22.3	630 ^a	100
4) 무방제	75	19	13.1 ^b	107	86.9 ^b	22.2	577 ^c	91

(11) 현미 품위

표 78. 현미 품위

(단위 : %)

처 리 내 용	정상립	미숙립	피해립	사미	착색립
1) 비료 농약 제형 I	77.1 ^a	14.8 ^c	7.6 ^c	0.4 ^{ns}	0
2) 비료 농약 제형 II	71.8 ^c	16.1 ^b	11.4 ^a	0.6	0
3) 관행 방제	75.0 ^b	14.2 ^c	10.5 ^{ab}	0.4	0
4) 무방제	71.3 ^c	18.5 ^a	9.7 ^b	0.5	0

다. 결과 요약

(1) 이앙 후 10일의 벼물바구미 성충수는 무방제시 20주당 8.6마리였으며, 방제가는 비료농약 제형 I 은 96.1%, 비료농약 제형 II는 96.1%, 관행 방제는 94.8%였다.

(2) 토양 화학성은 동일비료량 시용으로 처리간 대차 없었고, 시기별 벼 생육은 벼물바구미 피해가 컸던 무방제구가 기타 처리 대비 경수가 적었으나 비료농약제형 I, II 및 관행방제 처리는 대차 없었다.

(3) 벼물바구미 엽 피해(85DAT)는 비료 농약제형 I, II, 관행방제는 3정도인데 비해, 무방제는 5정도로 많았으며, 잎집무늬마름병(115DAT) 발생은 비료농약제형 I 과 관행방제는 1정도로 경미하였으나 비료농약제형 II와 무방제는 5정도로 많았다.

(4) 수확 후 백미 중 살균제인 Oryastrobin 농약성분 잔류량은 비료농약제형 I 은 6ppb, 관행방제는 5ppb였으나 농약잔류 허용기준(300ppb이하) 이내였으며, 기타 처리는 검출 농약성분이 없었다.

(5) 수수는 관행(14.2개/주) 대비 무방제 처리만 1.1개 적었고, 등숙비율은 비료농약제형 I 과 관행방제는 대차없었으나 비료농약제형 II와 무방제는 낮았다.

(6) 쌀 수량은 관행방제(630kg/10a) 대비 비료농약제형 I 은 대차없었으나, 비료농약제형 II는 4%, 무방제는 9% 감수하였다.

2. 전라남도농업기술원

가. 연구목적

비료농약 혼합제 이용 벼 재배 및 병해충 방제 효과 구명

나. 시험방법

- (1) 재배양식 및 품종 : 보통기, 해품
- (2) 재배경종

표 79. 재배경종

구 분	파종기 (월.일)	파종량 (g/상자)	이앙기 (월.일)	시비량(kg/10a) (N-P-K)	시비방법
처 리	5.07	130	6.01	4.5-0.9-0.9	과중상
관 행	5.07	130	6.01	9.0-4.5-5.7	기비-분얼비-수비

(3) 재식밀도(cm) : 30×18(3.3m²당 60주)

(4) 처리구

표 80. 처리구

처 리	약량(g ai/10a)	처리시기 및 방법
제형 I Oryzastrobin(0.23%)+Clothianidin (0.033%)+질소(30%)+인산(6%)+ 칼리(6%)	35+5+4,500+900+900 (상자당 600g)	별씨 과중동시 처리
제형 II Probenazole(0.3%)+Clothianidin (0.041%)+질소(30%)+인산(6%)+ 칼리(6%)	45+6.25+4,500+900+900 (상자당 600g)	별씨 과중동시 처리
오리사스트로빈+클로티아니딘 입제 N-P-K 표준량(대조)	43.75+6.25 fb 9.0-4.5-5.7kg (한소네 상자당 50g)	별씨 과중동시 처리 기비, 분얼비, 수비
프로베나졸+클로티아니딘 입제 N-P-K 표준량(대조)	45+6.25fb 9.0-4.5-5.7kg (룽샷 상자당 50g)	이앙직전 처리 기비, 분얼비, 수비
무처리(N-P-K 표준량)	9.0-4.5-5.7kg	기비, 분얼비, 수비

(5) 조사항목

- (가) 모소질 : 초장, 엽수 성묘율
- (나) 벼 생육(초장, 분얼수) : 이앙 후 10, 20, 30, 40일
- (다) 엽색도 : 이앙 후 10, 20, 30, 40일, 출수 후 10, 20일
- (라) 후기 생육조사 및 수량
- (마) 병해충방제 효과 : 발생시기별 1~2회
- (바) 약해 : 이앙 후 10, 20, 30일
- (사) 대상병해충 : 물바구미, 애벌구(충), 잎·목도열병, 잎집무늬마름병(병)

다. 시험결과

(1) 이앙 당시 모소질

이앙 당시 모 초장은 무처리 대비 비료농약 일체형 모두에서 초장이 크고 엽수도 0.2~0.3엽 정도 진전되었다.

표 81. 처리구별 이앙 당시 모소질

처 리	초장(cm)	엽수(매)	성묘율(%)	건물중(g/100주)
제형 I. Oryzastrobin(0.23%)	18.9	4.6	89.1	2.11
제형 II. Probenazole(0.30%)	19.0	4.5	89.6	1.94
한소네입제(과중상)	17.5	4.3	91.4	1.76
롱샷입제(육묘상), 무처리	16.9	4.3	88.9	1.73

(2) 약해 정도

약제처리에 따른 약해는 비료농약 일체형에서 이앙직전에는 잎이 꺾이는 현상을 보였으며 이앙 후에는 잎 끝이 마른 증상을 보였으나 신엽발생에는 문제가 없었다.

표 82. 처리구별 약해 정도(0~9)

처 리	못자리 (파종 후 15일)	이앙 당일	이앙 후			피해증상
			10일	20일	30일	
제형 I. Oryzastrobin(0.23%)	0	1	2	1	0	잎 꺾임, 잎끝 마름
제형 II. Probenazole(0.30%)	0	1	2	1	0	잎 꺾임, 잎끝 마름
한소네입제(관행시비)	0	0	0	0	0	-
롱샷입제(관행시비)	0	0	0	0	0	-
무처리(관행시비)	0	0	0	0	0	-

(3) 초장 및 분얼수

초장은 제형 II(Probenazole) 처리구에서 가장 높은 수치를 나타냈으며, 관행시비(무처리, 롱샷) 보다 약간 낮은 경향이였다. 분얼수는 관행시비 대비 제형 I, II가 높게 나타났다.

표 83. 초장 및 분얼수

처 리	초장(cm)				분얼수(개/주)			
	10일	20일	30일	40일	10일	20일	30일	40일
제형 I. Oryzastrobin(0.23%)	17.9	28.1	39.7	58.3	4.4	13.0	24.3	23.6
제형 II. Probenazole(0.30%)	19.5	29.1	40.6	61.5	4.9	15.4	26.7	24.1
한소네입제(관행시비)	17.8	28.3	39.2	57.8	5.1	14.2	22.7	20.9
롱샷입제(관행시비)	19.2	28.9	41.3	60.1	4.3	13.1	22.7	21.9
무처리(관행시비)	18.5	27.6	40.1	59.2	4.0	10.9	20.2	19.9

(4) 엽색도

엽색도는 이앙 후 40일까지 대등하였으나 출수 이후부터는 비료농약 일체형에서 다소 낮아지는 경향을 보였다.

표 84. 이앙 후 엽색도 변이

처 리	이앙 후				출수 후	
	10일	20일	30일	40일	10일	20일
제형 I. Oryzastrobin(0.23%)	37.1	41.3	36.9	41.1	38.2	31.6
제형 II. Probenazole(0.30%)	37.8	42.1	39.1	42.3	40.2	32.4
한소네입제(관행시비)	33.4	41.1	37.0	42.4	44.0	34.7
롱샷입제(관행시비)	33.9	41.4	37.1	42.8	44.3	34.9
무처리(관행시비)	35.1	41.3	38.3	42.2	44.4	34.3

※ 엽색도 : SPAD-502 이용(2엽 중간부위)

(5) 병 발생정도

벼 생육기간중 병 발생은 잎집무늬마름병과 목도열병이 문제되었으며, 제형 I(Oryzastrobin) 비료농약 일체형에서 방제효과가 우수하였다.

표 85. 병 발생정도

처 리	잎도열병(0~9)		목도열병 (%)	잎집무늬마름병 (0~9)
	1차	2차		
제형 I. Oryzastrobin(0.23%)	0	0	5.2	1
제형 II. Probenazole(0.30%)	0	0	6.3	4
한소네입제(관행시비)	0	0	7.3	1
롱샷입제(관행시비)	0	0	13.5	6
무처리(관행시비)	0	0	19.6	5

* 0 (피해무), 1 (피해엽율0.1~5%), 3 (피해엽율5.1~10%), 5 (피해엽율 10.1~30%), 7 (피해엽율 30.1~50%), 9 (피해엽율 50.1% 이상)

(6) 해충 피해정도

해충은 애벌구는 모든 처리구에서 발생하지 않았고, 물바구미는 무처리구에서만 약간 발생되어 평가하기가 곤란하였다.

표 86. 해충 피해 정도

처 리	물바구미(0~9)		애벌구(0~9)	
	1차	2차	1차	2차
제형 I. Oryzastrobin(0.23%)	0	0	0	0
제형 II. Probenazole(0.30%)	0	0	0	0
한소네입제(관행시비)	0	0	0	0
롱샷입제(관행시비)	0	0	0	0
무처리(관행시비)	2	1	0	0

* 0 (피해무), 1 (피해엽율0.1~5%), 3 (피해엽율5.1~10%), 5 (피해엽율 10.1~30%), 7 (피해엽율 30.1~50%), 9 (피해엽율 50.1% 이상)

(7) 출수기 및 도복

출수기는 제형 I, II 비료농약 일체형이 관행시비에 비해 1일 빨랐으며, 수전기간 및 도복지수는 모든 처리구가 동일하였다.

표 87. 출수기 및 도복

처 리	출수기(월.일)			수전기간 (일)	도복 (1~9)
	시	기	전		
제형 I. Oryzastrobin(0.23%)	8.7	8.10	8.13	6	1
제형 II. Probenazole(0.30%)	8.7	8.10	8.13	6	1
한소네입제(관행시비)	8.8	8.11	8.14	6	1
롱샷입제(관행시비)	8.8	8.11	8.14	6	1
무처리(관행시비)	8.8	8.11	8.14	6	1

(8) 수량

비료농약일체형 처리구의 수량은 570~595kg/10a로 관행대비 10~14% 정도 낮은 경향을 보였으며, 이는 주로 수당립수 감소가 주요인이었던 것으로 판단된다.

표 88. 수량구성요소 및 수량

처 리	간장 (cm)	수장 (cm)	주당 수수 (개)	수당 립수 (개)	등숙 비율 (%)	현미 친립중 (g)	정현 비율 (%)	수량 (kg/10a)	생육 지수 ^{주1)}
제형 I. Oryzastrobin(0.23%)	72	19.9	19.6	98	92.6	22.0	82.5	595	90
제형 II. Probenazole(0.30%)	72	19.8	19.7	98	90.9	21.8	82.6	570	86
한소네입제(관행시비)	73	20.7	19.0	116	91.9	22.6	83.2	685	103
롱샷입제(관행시비)	74	20.6	19.5	114	89.0	21.9	83.0	664	100
무처리(관행시비)	74	20.6	18.4	113	87.9	21.9	83.1	561	85
L.S.D(5%)			ns	4.0	0.9	ns		65.4	
C.V(%)			0.9	8.1	1.6	0.4		2.9	

주1) 롱샷입제(관행시비) 처리구 100에 대한 비율임

3. 충남대학교

가. 연구목적

벼 재배 시 비료농약 일체형 약제 처리에 따른 벼 생육과 수량에 대한 효과 및 비료 및 농약 절감 효과 구명

나. 시험방법

(1) 시험 품종 : 삼광벼

(2) 재배 및 처리 방법

(가) 처리방법: 비료농약 제형 I (Oryastrobin+Clothianidin; O+C) 600g, 비료농약 제형 II (Probenazole+Clothianidin; P+C) 600g, 관행재배 및 무비료

(나) 파종 및 이앙 일시 : 2016년 5월 2일 파종 한 다음 20일 육묘 후 5월 23일 기계 이앙 (30cm x 14cm)

(다) 주요 조사항목 : 이앙 후 10일 간격으로 초장· 분얼수 및 엽색도 조사, 수량 및 수량 구성요소 등

(라) 시험구 배치 : 난괴법 3반복

다. 시험결과

(1) 이앙 후 초장

표 89. 이앙 후 경시적인 벼 초장(cm) 변화

처리	조사월일(월. 일)						
	6.2	6.22	7.1	7.12	8.4	8.17	8.25
관행재배	13±0.2	26±0.8	31±2.4	41±2.4	87±5.9	103±2.6	98±3.7
제형 I (O+C)	15±0.2	29±1.3	39±1.3	51±3.5	93±5.4	99±4.5	108±6.7
제형 II (P+C)	13±0.3	26±0.7	31±2.5	42±2.6	92±4.9	101±3.1	104±4.3

(2) 이앙 후 엽색도

표 90. 이앙 후 벼의 경시적인 엽색도(SPAD) 변화

처리	조사월일(월. 일)						
	6.2	6.22	7.1	7.12	8.4	8.17	8.25
관행재배	24.1±3.1	36.9±2.3	35.6±2.6	36.1±2.6	30.7±1.7	30.4±1.8	32.6±1.6
제형 I (O+C)	29.3±2.1	36.8±2.1	37.1±3.1	36.7±3.4	33.4±2.1	33.8±1.1	35.1±2.0
제형 II (P+C)	26.7±2.5	36.7±2.5	36.2±2.7	35.1±2.1	34.8±1.6	34.0±1.2	36.4±2.1

(3) 이앙 후 분얼수

표 91. 이앙 후 경시적인 벼의 분얼수(개) 변화

처리	조사월일(월. 일)						
	6.2	6.22	7.1	7.12	8.4	8.17	8.25
관행재배	3.5±0.8	14.2±2.1	18.5±3.1	18.2±2.8	15.7±2.7	13.7±1.8	10.7±0.8
제형 I (O+C)	5.6±0.5	16.7±2.2	21.2±2.8	20.7±3.4	17.4±3.2	14.4±2.1	14.6±1.6
제형 II (P+C)	5.0±0.7	14.3±2.4	19.3±3.4	18.4±2.6	15.9±2.4	14.1±2.2	12.5±2.4

(4) 수량 및 수량구성요소

표 92. 수량 및 수량구성요소

처리	출수기 (월.일)	간장 (cm)	이삭수 (개/m ²)	이삭 당 립수 (개)	등숙율 (%)	1,000립 중(g)	조곡수량 (g/m ²)	도복지수 (1~9)
관행재배	8.6	70.4±8.5	398±17	137.6±25.4	73.0±0.2	25.0±0.1	976±85	7
무비료	8.6	61.4±6.9	319±18	117.0±29.5	84.8±0.1	25.4±0.1	731±31	0
제형 I (O+C)	8.6	73.4±4.2	415±13	142.7±21.9	83.1±0.2	26.9±0.2	1,197±60	1
제형 II (P+C)	8.6	71.2±8.1	438±20	150.0±31.5	86.0±0.1	26.5±0.1	1,273±42	1

라. 결과 요약

(1) 이앙 후 초장의 경우 관행재배보다 비료농약 혼합제인 제형 I (O+C)에서 보다 높은 초장을 보였으며 제형 II (P+C)와 관행재배는 비슷하였다.

(2) 엽색도는 이앙 후 7월 12일까지는 3처리 모두 비슷한 수준을 보였지만, 7월 12일 이후에는 관행재배는 엽색도가 감소하였지만 비료 농약 혼합제인 제형 I (O+C)와 제형 II (P+C)는 출수기 이후까지 엽색도 변화는 보이지 않았다.

(3) 분얼수는 제형 I (O+C) 처리가 제형 II (P+C)와 관행재배에 비하여 분얼수가 높았다.

(4) 출수기는 3처리 모두 8월 6일로 같았으며, 성숙기의 간장은 제형 I (O+C)가 73.4cm로 가장 컸으며 제형 II (P+C)와 관행재배 순이었다.

(5) 수량구성요소인 이삭수, 이삭당 립수 및 등숙율은 모두 제형 II (P+C)가 가장 높았으며, 그 다음이 제형 I (O+C), 관행재배 순이었다. 1,000립중은 제형 I (O+C)가 가장 컸으며 제형 I (O+C) 및 제형 II (P+C) 모두 관행재배보다 무거웠다. 단위면적당 수량은 제형 II (P+C)가 1,273g으로 가장 높았으며, 그 다음이 제형 I (O+C)가 1,197g이었으며, 관행재배는 976g였고 무비료는 731g였다. 도복은 관행재배는 약 7정도였지만 제형 I (O+C)와 제형 II (P+C) 처리는 1로 거의 도복은 발생하지 않았으며 무비료는 도복은 발생하지 않았다.

(6) 기타 도열병, 벼물바구미, 흑명나방 및 잎집무늬마름병은 3처리 모두 발생하지 않았다.

4. 충북대학교

가. 연구목적

비료농약 혼합제의 비료 효과 및 약효 약해 평가

나. 시험방법

(1) 시험품종 : 추청

(2) 처리내용

제형 I (Oryastrobin+Clothianidin), 제형 II (Probenazole+Clothianidin), 관행구, 무처리구

(3) 포장규모 : 처리구당 150 ~ 200평

(4) 조사항목

(가) 선정된 2처방의 벼 생육 조사 : 분얼수, 유효경수, 수량

(나) 약효/약해 조사

1) 살충 효과 : 물바구미

2) 살균 효과 : 잎/목 도열병, 잎집무늬마름병

3) 약해 조사 : 이앙 후 10, 20, 30일차

(5) 농가의 비료 및 농약사용

(가) 비료

1) 밑거름으로 유박처리 (100~120kg/10a)

2) 8월23일 이삭거름 (18-0-18) 7~8kg/10a

(나) 농약

1) 8월28일 프로탄 수화제(흑명나방살충제) 187.5g/10a

2) 헬리건(도열병, 문고병) 187.5cc/10a 1회 살포

다. 시험결과

(가) 벼물바구미 방제효과

10 DAT에 모든 처리구에서 벼물바구미는 관찰되지 않았다.

표 93. 벼물바구미 방제효과(10DAT)

처리 내용	성충수(마리/20주)	성충 방제율(%)
1) 비료 농약 제형 I	0	100
2) 비료 농약 제형 II	0	100
3) 관행 방제	0	100
4) 무 방 제	0.2	-

* DAT(Days after transplanting) : 이앙 후 일수

(나) 시기별 벼 생육 및 엽색도

초기생육의 경우 관행 및 무방제구에 비해 비료 농약 제형 처리구가 생장이 좋았으며, 경수는 시간이 지날수록 비료 농약 제형 II에서 많았다.

표 94. 시기별 벼 생육 및 엽색도

처리 내용		초 장(cm)	경 수(개/주)	엽색도(SPAD)
10 D A T	1) 비료 농약 제형 I	16.6	2.9	11.7
	2) 비료 농약 제형 II	15.9	3.0	12.0
	3) 관행 방제	16.7	3.2	12.0
	4) 무방제	15.6	3.2	11.5
20 D A T	1) 비료 농약 제형 I	24.6	3.4	26.5
	2) 비료 농약 제형 II	27.3	3.5	26.1
	3) 관행 방제	25.3	3.3	26.4
	4) 무방제	23.8	3.6	25.0
30 D A T	1) 비료 농약 제형 I	36.6	3.5	39.9
	2) 비료 농약 제형 II	39.5	5.5	40.9
	3) 관행 방제	32.3	3.2	41.1
	4) 무방제	32.9	3.4	40.4
40 D A T	1) 비료 농약 제형 I	47.3	5.1	37.7
	2) 비료 농약 제형 II	50.6	6.8	38.8
	3) 관행 방제	41.5	4.6	37.5
	4) 무방제	44.2	5.2	38.4

(다) 병충해 발생 정도

도열병은 모든 처리구에서 관찰되지 않았으며, 벼물바구미 및 잎집무늬마름병은 무방제구를 제외하고 모두 나타나지 않았으며, 무방제구 또한 그 피해가 아주 경미하였다.

표 95. 병충해 발생 정도

처리 내용	도열병(0~9)		벼물바구미 (0~9)	잎집무늬마름병 (0~9)
	잎	목		
1) 비료 농약 제형 I	0	0	0	0
2) 비료 농약 제형 II	0	0	0	0
3) 관행 방제	0	0	0	0
4) 무방제	0	0	1	1

* 0 (피해무), 1 (피해엽을 0.1~5%), 3 (피해엽을 5.1~10%), 5 (피해엽을 10.1~30%), 7 (피해엽을 30.1~50%), 9 (피해엽을 50.1% 이상)

(라) 벼 성숙기 생육 및 수량

간장의 경우 관행처리구가 가장 높았으며 무방제구가 낮았던 반면 수장은 무방제구가 가장 높았다. 수수는 관행 대비 비료농약 제형 II가 4개/주 많았다. 수당립수는 관행방제가 가장 높았으며 등숙비율 또한 비료 농약 제형 처리구보다 높았다. 쌀 수량은 비료농약 제형 II가 평당 4.9 kg으로 관행대비 126% 상승하였으며, 비료농약 제형 I은 2.6% 감소하였다.

비료농약 제형 I은 도복이 거의 발생하지 않았으며, 비료농약제형 II는 약간의 도복을 보였고, 관행 및 무처리구는 도복의 정도가 심하였다.

표 96. 벼 성숙기 생육 및 수량

처리 내용	도복주 ¹⁾	간장 (cm)	수장 (cm)	수수 (개/주)	수당 립수	등숙 비율 (%)	쌀 수량 (kg/평)
1) 비료 농약 제형 I	1	71.4	17.2	30.0	59.4	79.1	3.8
2) 비료 농약 제형 II	3	76.7	18.7	31.3	59.4	86.6	4.9
3) 관행 방제	5	79.3	18.7	27.3	64.4	88.8	3.9
4) 무방제	5	69.7	20.7	27.0	59.4	88.6	4.3

주1) 1 (이삭줄기 경사 15% 미만), 3 (이삭줄기 경사 16~30%), 5 (이삭줄기 경사 31~45%),
7 (이삭의 일부가 지면에 닿음), 9 (완전히 땅에 깔린 상태)

5. 팜한농

가. 연구목적

비료농약 혼합제 처방별 비료 효과 및 약효 약해 평가

(1) 생육시험

(가) 시험방법

1) 육묘

- 품종 : 일미, 새누리
- 종자량 : 200g/모판
- 상토 : 밑 상토/윗 상토 모두 팜한농 슈퍼 준중량 상토 사용
- 시비량 : 비료농약 혼합제 600g/모판
- 상자 쌓기 : 30도 향온/향습기 내 3일간 상자 쌓기 진행
- 육묘 장소 및 치상 방법 : 유리 온실 내 시험 배드 치상
- 물 관리 : 3 회/일 이상 충분히 관수

2) 이앙

- 지역 : 전라남도 나주시 금천면
- 재식거리 : 30cm X 15cm

3) 조사 항목

- 생육 : 초장, 분얼수, SPAD
- 수량 : 주수, 수수, 영화수, 천립중, 등숙율, 수량

4) 처리구

표 97. 생육 및 약효/약해 시험의 처리구

처리구	비료 (N-P-K)	농약 원제 농도	처리량 (g/상자)	비고
과중상 미방제	30-6-6	-	비료 600	
제형 I 대조구 (과중상+한소네)	30-6-6	0.267 (0.233+0.033)%	비료 600 + 농약 50	한소네 이앙 당일처리
제형 I 시험구 (O+C)	30-6-6	0.262 (0.232+0.032)%	비료농약 혼합제 600	한소네 원제함량 80%
제형 II 대조구 (과중상+롱샷)	30-6-6	4(3.5+0.5)%	비료 600 + 농약 50	롱샷 이앙 당일 처리
제형 II 시험구 (P+C)	30-6-6	0.341 (0.3+0.041)%	비료농약 혼합제 600	롱샷 원제함량 100%

(나) 시험결과

일미 및 새누리 품종에 대하여 다음과 같이 생육시험을 실시하였다. 생육시험 결과 품종별 대조구 대비 시험구 2개 처방 간에 생육은 유사하였다. 수량에서는 시험구 2개 처방이 대조구 대비 동등 이상의 수준이었다.

1) 생육

일미 품종에 대한 생육조사 결과 18, 41 및 69 DAT에는 시험구의 초장, 분얼 및 SPAD가 대조구 대비 동등 이상이었으며, 94 DAT 조사결과 초장, SPAD에서는 시험구 II(P+C)가 대조구 대비 약간 낮은 수준이었고 분얼은 동등 수준이었다.

표 98. 생육조사 결과(일미)

시험군(일미)	1차 조사 (18DAT)			2차 조사 (41 DAT)			3차 조사 (69DAT)			4차 조사 (94DAT)		
	초장	분얼	SPAD	초장	분얼	SPAD	초장	분얼	SPAD	초장	분얼	SPAD
과중상 미방제	28.0 a	8.0 a	36.0 bc	67.4 a	17.9 a	39.8 a	88.7 a	13.6 a	32.3 b	103.4 a	13.2 a	35.3 a
제형 I 대조구 (과중상+한소네)	25.5 bc	9.9 a	35.6 c	67.4 a	17.8 a	40.0 a	86.1 b	15.6 a	34.3 a	101.4 ab	14.9 a	35.1 a
제형 I 시험구 (O+C)	27.4 ab	9.0 a	37.7 a	68.5 a	18.2 a	40.5 a	86.1 b	15.0 a	32.9 ab	101.2 ab	14.4 a	34.5 ab
제형 II 대조구 (과중상+롱샷)	24.9 c	8.2 a	37.3 ab	66.2 a	16.5 a	39.6 a	86.5 b	14.8 a	32.8 ab	100.4 ab	14.3 a	35.5 a
제형 II 시험구 (P+C)	25.8 bc	10.0 a	37.9 a	68.1 a	18.2 a	39.3 a	85.0 b	15.1 a	33.3 ab	98.5 b	14.4 a	33.4 b

* DAT : Days after transplanting

새누리 품종에 대한 생육조사 결과 18 DAT 초기 생육에서 초장, SPAD는 대조구와 시험구 간에 동등한 수준이었으며, 분얼은 대조구보다 시험구가 많았다. 41 DAT에서는 시험구의 초장이 대조구보다 크며, SPAD는 동등한 수준이었고, 분얼에서 시험구 II(P+C)는 동등한 수준이었고, 시험구 I(O+C)는 대조구보다 많았다. 69 및 94 DAT 조사에서 시험구의 초장, 분얼, SPAD가 대조구 보다 동등 이상의 수준을 나타내었다.

표 99. 생육조사 결과(새누리)

시험군(새누리)	1차 조사 (18DAT)			2차 조사 (41 DAT)			3차 조사 (69DAT)			4차 조사 (94DAT)		
	초장	분얼	SPAD	초장	분얼	SPAD	초장	분얼	SPAD	초장	분얼	SPAD
과중상 미방제	26.1 a	8.9 b	37.0 a	66.8 a	18.0 a	40.9 b	82.2 a	16.9 a	35.7 ab	95.4 a	15.9 a	40.5 a
제형 I 대조구 (과중상+한소네)	26.5 a	9.5 b	37.4 a	64.9 a	17.8 a	42.8 a	81.9 a	16.0 a	36.3 a	95.3 a	15.1 a	38.8 a
제형 I 시험구 (O+C)	26.7 a	10.5 ab	38.2 a	67.3 a	20.0 a	42.0 ab	82.1 a	17.7 a	36.7 a	94.6 a	16.4 a	39.3 a
제형 II 대조구 (과중상+롱샷)	25.8 a	10.6 ab	37.1 a	65.4 a	18.6 a	41.9 ab	78.9 b	16.0 a	34.4 b	91.2 a	15.7 a	38.5 a
제형 II 시험구 (P+C)	25.9 a	12.5 a	37.9 a	67.5 a	18.8 a	42.5 a	79.4 b	16.5 a	36.5 a	93.8 a	16.1 a	38.7 a

2) 수량

132 DAT에 수량을 조사한 결과 일미 품종에서 약제를 처리하지 않은 과중상 미방제구는 등숙률이 79%로 낮아 대조구 및 시험구보다 수량이 적었다. 제형 I, II 시험구 2개 처방은 대조구 대비 각각 일미 품종에서는 105.8%, 104.4%, 새누리 품종에서는 102.0%, 104.0%로 약간 높은 수준이었다.

표 100. 수량 조사 결과(일미)

시험군(일미)	주수 (개/m ²)	수수 (개/주)	영화수 (개/수)	천립중 (g)	등숙률 (%)	수량 (kg/10a)	대조구 대비 비율(%)
과중상 미방제	22.2	13.2	96.3	25.5	79.0	567.9	
제형 I 대조구 (과중상+한소네)		13.4	93.1	26.0	86.2	620.6	100
제형 I 시험구 (O+C)		14.6	89.0	25.8	87.2	647.8	104.4
제형 II 대조구 (과중상+롱샷)		13.8	83.7	25.3	90.0	583.2	100
제형 II 시험구 (P+C)		14.1	91.2	25.1	86.1	617.3	105.8

표 101. 수량 조사 결과(새누리)

시험군(새누리)	주수 (개/m ²)	수수 (개/주)	영화수 (개/수)	천립중 (g)	등숙률 (%)	수량 (kg/10a)	대조구 대비 비율(%)
과중상 미방제	22.2	14.7	97.5	25.4	72.3	583.6	
제형 I 대조구 (과중상+한소네)		15.3	89.8	25.6	74.1	580.3	100
제형 I 시험구 (O+C)		15.3	85.6	25.7	80.6	603.2	104.0
제형 II 대조구 (과중상+롱샷)		15.0	93.4	25.0	74.8	580.2	100
제형 II 시험구 (P+C)		14.9	89.4	24.9	80.3	591.6	102.0

(2) 약효/약해 시험

1) 포장시험

가) 벼 잎집무늬마름병

제형 I 시험구(O+C)는 방제가가 81.4%로 대조구(한소네) 80.6% 보다 높아 벼 잎집무늬병에 대한 활성이 양호한 것으로 판단되며, 살균제 등록기준인 방제가 80%를 만족하였다. 제형 II 시험구(P+C)는 P(Probenazole) 원제 자체가 벼 잎집무늬마름병에 활성이 없기 때문에 대조구(롱샷)와의 방제가 비교는 의미가 없을 것으로 판단된다.

표 102. 벼 잎집무늬마름병 방제가 시험결과

처리구	농약 원제 농도	처리량 (g/상자)	처리시기	발병도 (%)	방제가 (%)	약해 (0-5)	비고
과중상 미방제	-	600		81.6	-	0	
제형 I 대조구 (과중상+한소네)	0.267 (0.233+0.033)%	600+50	이양 당일 처리	15.8	80.6	0	
제형 I 시험구 (O+C)	0.262 (0.232+0.032)%	600	이양 당일 처리	15.2	81.4	0	
제형 II 대조구 (과중상+롱샷)	4(3.5+0.5)%	600+50	과중 시 육묘상처리	55.3	32.2	0	
제형 II 시험구 (P+C)	0.341 (0.3+0.041)%	600	과중 시 육묘상처리	53.8	34.1	0	

나) 벼 흰잎마름병

미방제구(무처리구), 대조구 및 시험구에서 물바구미가 발생하지 않아 방제가를 산출할 수가 없었다.

다) 벼 물바구미

미방제구(무처리), 대조구 및 시험구에서 물바구미가 발생하지 않아 살충 방제가를 산출할 수 없었으며, 별도의 포트시험을 통해 인위적으로 애멸구를 접종한 다음 방제가를 산출하였다.

2) 포트시험

가) 애멸구

포트에 벼(새누리) 이양 후 2회(19, 39 DAT) 애멸구를 접종한 다음 방제가를 조사하였다. 제형 I 시험구는 접종 6일차 방제가가 78.4%로 대조구 92.6% 보다 낮게 나타났으며, 제형 II 시험구는 접종 6일차 방제가가 98.9% 이상으로 대조구 94.4% 보다 약간 높은 수준이었다.

표 103. 애멸구 방제가 시험결과

처리구	농약 원제 농도	처리량 (g/상자)	방제가(%)				비고
			19 DAT		39 DAT		
			접종 2일차	접종 6일차	접종 2일차	접종 6일차	
과중상 미방제	-	600	[97.4]	[86.1]	[94.1]	[63.0]	
제형 I 대조구 (과중상+한소네)	0.267 (0.233+0.033)%	600+50	55.1	90.5	83.0	92.6	
제형 I 시험구 (O+C)	0.262 (0.232+0.032)%	600	10.7	14.1	74.7	78.4	
제형 II 대조구 (과중상+롱샷)	4(3.5+0.5)%	600+50	47.4	89.4	72.5	94.4	
제형 II 시험구 (P+C)	0.341 (0.3+0.041)%	600	36.3	96.0	75.7	98.9	

(3) 처방별 벼 수확물의 잔류분석 시험

(가) 시험방법

1) 벼 품종

가) 일미

나) 새누리

2) 처리구

가) 무처리(과중상), 나) 제형 I (Oryastrobin+Clothianidin),

다) 제형 II (Probenazole+Clothianidin), 라) 한소네(O+C), (마) 룡샷(P+C)

3) 기기 분석방법

분석에 사용한 HPLC의 분석조건은 아래 표와 같다.

표 104. HPLC 분석조건

Instrument	: Agilent HPLC 1260 series, USA
Detector	: Diod Array Detector
Column	: Eclipse XDB C18, 5 μ m, 250 × 4.6 mm i.d
Temperature	: 40℃
Mobile phase	: ACN/DW (60/40)
Flow rate	: 1.0 ml/min
UV Wave length	: 220(Probenazole, Oryastrobin), 260(Clothianidin)nm
Injection Volume	: 20 μ l
Retention time	: 9.8(Clothianidin), 16.8(Probenazole), 22.0(Oryastrobin)min

(나) 시험결과

1) Oryastrobin

현미 중 Oryastrobin의 잔류량은 모든 처리구에서 검출한계(0.02mg/kg) 미만이었다.

표 105. 현미 중 Oryastrobin의 잔류량 분석결과

처리구		Oryastrobin의 잔류량(g/kg)			잔류 허용량 (mg/kg)
		반복 1	반복 2	최대량	
일미	무처리	<0.02	<0.02	<0.02	0.3
	Oryastrobin+Clothianidin	<0.02	<0.02	<0.02	
	한소네(O+C)	<0.02	<0.02	<0.02	
새누리	무처리	<0.02	<0.02	<0.02	
	Oryastrobin+Clothianidin	<0.02	<0.02	<0.02	
	한소네(O+C)	<0.02	<0.02	<0.02	

2) Probenazole

현미 중 Probenazole의 잔류량은 모든 처리구에서 검출한계(0.02mg/kg) 미만이었다.

표 106. 현미 중 Probenazole의 잔류량 분석결과

처리구		Probenazole의 잔류량(mg/kg)			잔류 허용량 (mg/kg)
		반복 1	반복 2	최대량	
일미	무처리	<0.02	<0.02	<0.02	0.1
	Probenazole+Clothianidin	<0.02	<0.02	<0.02	
	룽샷(P+C)	<0.02	<0.02	<0.02	
새누리	무처리	<0.02	<0.02	<0.02	
	Probenazole+Clothianidin	<0.02	<0.02	<0.02	
	룽샷(P+C)	<0.02	<0.02	<0.02	

3) Clothianidin

현미 중 Clothianidin의 잔류량은 모든 처리구에서 검출한계(0.02mg/kg) 미만이었다.

표 107. 현미 중 Clothianidin의 잔류량 분석결과

처리구		Clothianidin의 잔류량(mg/kg)			잔류 허용량 (mg/kg)
		반복 1	반복 2	최대량	
일미	무처리	<0.02	<0.02	<0.02	0.1
	Probenazole+Clothianidin	<0.02	<0.02	<0.02	
	Orysastrobin+Clothianidin	<0.02	<0.02	<0.02	
	한소네(O+C)	<0.02	<0.02	<0.02	
	룽샷(P+C)	<0.02	<0.02	<0.02	
새누리	무처리	<0.02	<0.02	<0.02	
	Probenazole+Clothianidin	<0.02	<0.02	<0.02	
	Orysastrobin+Clothianidin	<0.02	<0.02	<0.02	
	한소네(O+C)	<0.02	<0.02	<0.02	
	룽샷(P+C)	<0.02	<0.02	<0.02	

제5절 농업 환경 부하 절감 효과 구명

1. 연구목적

최근 팔당유역에서 가뭄에 의한 수질오염으로 조류발생이 증가하고 있다. 수질오염을 유발하는 오염원은 크게 점오염원과 비점오염원으로 구분되고 있다(Lee and Bae, 2002). 비점오염원은 ‘도시, 도로, 농지, 산지, 공사장 등 불특정 장소에서 불특정하게 수질오염물질을 배출하는 배출원’을 말하는 데 비점오염 인(P) 발생요인은 농경지를 포함한 토지계가 56%, 축산 31%, 생활하수 13% 등으로 보고되고 있다(환경부, 2013).

농업지역은 가축분뇨 퇴·액비, 비료 등의 사용으로 비점오염 기여율이 높은 데 우리나라 농경지에서 농업활동에 의한 비점오염 기여율은 5~10%로 추정되고 있다(김 등, 2013). 2013년 6월부터 ‘한강수계 상수원수질개선 및 주민지원 등에 관한 법률’로 할당부하량 초과시 신규허가 제한을 골자로 하는 한강수계(26개 시군) 수질오염총량관리제가 시행되고 있다. 정부에서는 지금까지 배수로, 사면안정공법 등의 구조적인 비점오염 저감을 위해 받기반 정비사업을 우선적으로 시행해 왔기 때문에 지표피복, 침사지 등과 같은 농업에 적용이 용이한 비구조적인 저감 방안들에 대한 저감효과 구명은 매우 미흡한 실정이다.

논은 평지로 강우 시 물 저장에 따른 홍수조절 효과가 있고 경사지인 밭에 비해 상대적으로 토양 유실량이 매우 적어 비점오염 발생량도 적을 것으로 추정되나 대면적으로 재배되고 있어 벼 시비방법에 따른 비점오염 경감기술 개발 시 현장적용이 용이한 장점이 있다. 또한 지속가능한 농업생산기반을 위해서는 쌀 수량성은 유지하면서 비점오염 부하를 최소화할 수 있는 벼 논 발생 비점오염 유출특성 구명과 경감기술 개발이 시급한 실정이다.

따라서, 본 연구는 벼 시비방법에 따른 강우 시 논 유출수 중의 질소, 인의 유출특성을 구명하여 논으로 부터 발생하는 비점오염의 효율적 경감기술을 개발코자 수행하였다.

2. 시험방법

본 연구는 경기도농업기술원 벼 시험포장에서 추청벼를 시험품종으로 하여 수행하였다. 시험 전 토양화학성은 표 108과 같이 pH는 6.2, 유기물과 유효인산 함량, 유효규산함량 등이 보통 논 수준이었다. 처리내용은 무시비, 파종상 1회 시비 비료, 혼합유박시비, 3요소 토양검정시비로 총 4처리 하였다. 시비방법은 파종상 1회 시비 비료는 벼 육묘를 위한 별씨 육묘상자 파종 시 10a당 파종상 비료 15kg를 27상자에 전량 균등시비 하였으며, 혼합유박시비는 토양검정 질소시비량의 70% 해당량을 전량 이앙 2주전 기비로 시용하였다. 3요소 토양검정시비는 표준시비량인 질소-인산-칼리를 9-4.5-5.7kg/10a 기준으로 시험 전 토양검정하여 시비량을 산출하였으며 질소는 기비-분얼비-수비를 50-20-30%, 인산은 전량기비, 칼리는 기비-수비를 70-30%로 분시하였다. 벼는 25일간 비닐하우스에서 육묘 후 5월 20일에 재식밀도 30×14cm로 하여 난피법 3반복으로 이앙하였다. 기타 재배관리방법은 경기도농업기술원 벼 표준재배법에 준하였다.

토양화학성 분석은 농촌진흥청 종합검정실 분석 매뉴얼(RDA, 2013)에 준하여 pH는 초자전극법, OM은 Tyurin법, 유효인산은 Lancaster법, 치환성양이온은 1N-NaOAc로 추출하여 ICP(GBC Integra XL) 분석법으로 분석하였다. 유출수량은 벼 이앙후인 5월 21일 부터 벼 수확이 완료된 10월 20일까지 시험구의 배수구에 삼각위어를 설치하여 측정하였고, 수질 분석시료는 강우 시 2시간 간격으로 논으로 부터 유출되는 논 표면수 500ml를 채취하여 각 처리구에

비치된 집수통에 보관하여 강우 종료후 채취하여 분석하였다. 수질분석은 수질오염공정시험법(Choi et al, 2004) 및 APHA의 Standard method(APHA, 1995)에 준하여 T-N, T-P는 각각 자외선흡광광도법(UV2550PC, Perkin-Elmer) 및 아스코르빈산환원법(UV2550PC, Perkin-Elme)으로 분석하였다. 벼 생육 및 수량조사는 농촌진흥청 농업과학기술 연구조사분석 기준(2003)에 준하여 조사하였으며, 토양은 시험 전 그리고 이앙 후 30일, 60일, 시험 후에 채취하여 직사광선을 피하여 건조하고 2mm체에 통과한 토양시료를 분석에 사용하였다.

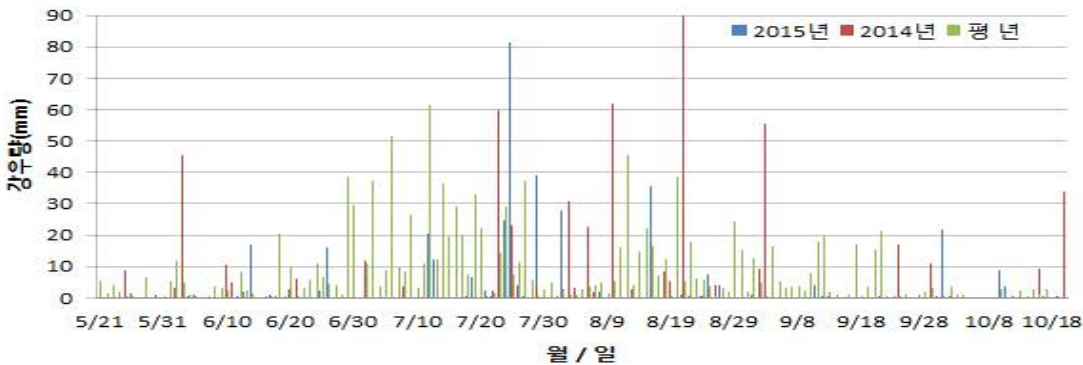
표 108. 시험 전 토양의 화학성

pH (1:5)	OM (g kg ⁻¹)	Av.P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	Av.SiO ₂ (mg kg ⁻¹)	Ex. Cations (cmol kg ⁻¹)			CEC (cmol kg ⁻¹)
				K	Ca	Mg	
6.2	23.2	30	242	0.41	7.9	1.3	12.0

3. 시험결과

가. 연도별 강우량

연도별 5월 21일부터 10월 20일까지의 강우량은 그림 26과 같다. 강우량은 2014년 642mm, 2015년 362mm로 평년(1,205mm) 대비 각각 47%, 70% 적었다. 연도별 강우형태는 2014년에는 5월 하순, 7월 하순~8월 하순에 1회 강우 시 30mm이상으로 강우량이 많았으나, 6월 상순~7월 중순까지는 1회 강우 시 20mm이하로 강우량이 적었고, 2015년에는 2014년에 비해 강우량이 더욱 적어 7월 상순~하순, 8월 중순, 9월 하순을 제외하면 1회 강우 시 20mm이하로 매우 적어 가뭄이 심했다. 2015년의 강우량은 벼 재배에 충분치 않았으나 관개를 통해 물 부족 현상은 없었다.



※ 강우량(5. 21~10. 20) : 2014년 642mm(53), 2015년 362mm(30), 평년 1,205mm(100)

그림 26. 연도별 강우량

나. 연도 및 시기별 논 표면수의 T-N, T-P함량

연도 및 시기별 논 표면수의 T-N 함량은 그림 27과 같다. 2014년 논 표면수의 T-N함량은 이앙 후 10일까지 토양검정> 혼합유박> 파종상 비료> 무시비 순으로 높았으며, 이앙 15일후에는 수비의 영향으로 이앙 후 70일에 토양검정처리에서만 일시적으로 높았다. 2015년의 논 표면수 T-N 함량은 2014년과 같은 경향이였다. 특히 화학비료 토양검정처리는 이앙 후 1일에 T-N 함량이 60~70mg L⁻¹에서 이앙 후 4일까지 10mg L⁻¹ 정도까지 급격히 감소하였고 이앙 후 70일에는 수비시용 영향으로 다시 10mg L⁻¹ 정도로 농도가 일시적으로 증가 후 감소하였다.

토양검정처리의 분얼비 시용후인 이양 후 15일에 농도가 크게 증가하지 않은 것은 2014년과 2015년 모두 봄 가뭄으로 강우가 적어 논물 보충을 위한 관개로 인해 농도가 희석되어 낮아졌기 때문으로 생각된다. 혼합유박과 파종상 비료 처리는 화학비료 토양검정처리에 비해 벼 재배기간 동안 논 표면수의 T-N 함량이 화학비료에 비해 낮게 나타나 비점오염 물질 저감측면에서 볼 때 화학비료에 비해 유리한 것으로 나타났다.

연도 및 시기별 논 표면수의 T-P함량은 그림 28과 같다. 2014년 논 표면수의 T-P함량은 이양후 60일까지 토양검정 > 혼합유박 > 파종상 비료 > 무시비 순으로 높았으나 이양 후 60일 이후에는 처리간 차이가 없었다. 2015년에는 이양 후 15일에 혼합유박 처리가 일시적으로 가장 높게 나타났으나 다른 시기에는 2014년과 같은 경향이였다. 파종상비료 처리 시 논 표면수의 T-N, T-P함량이 특히 낮았던 것은 파종상 비료가 완효성 비료이므로 용출이 시기별로 서서히 이루어지는 특성이 있고, 또한 벼 육묘 파종상에 시비하여 벼 이양 후 비료가 뿌리부분에 위치함으로써 논 표면수와 격리되는 효과가 있기 때문으로 생각되었다.

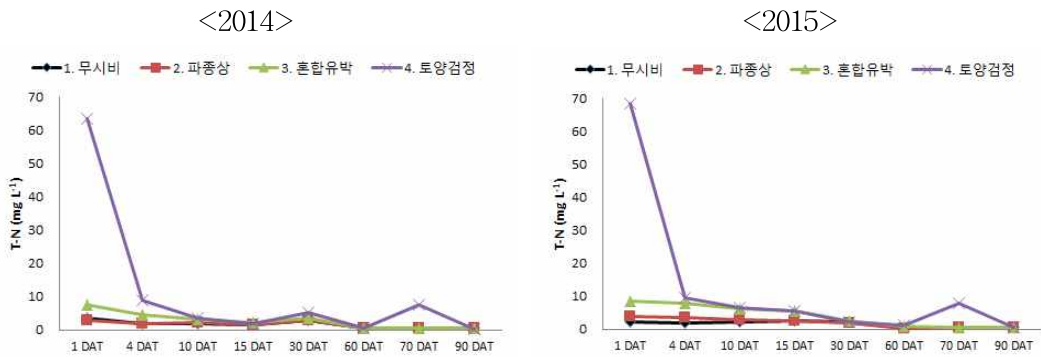


그림 27. 연도 및 시기별 논 표면수 T-N 함량

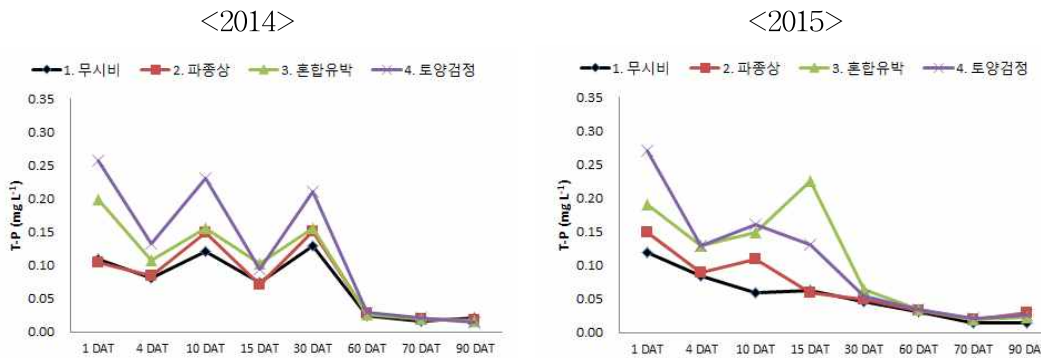


그림 28. 연도 및 시기별 논 표면수 T-P 함량

다. 유출수 수질 및 유출 총 부하량

자연강우와 관개수 수질은 표 109와 같이 자연강우의 T-N, T-P 함량은 모두 관개수에 비해 높았다. 이는 경기도농업기술원 내에 있는 저수지 물을 관개수로 이용하였기 때문이며 저수지 물은 지하수로 채워지기 때문에 관개수의 T-N, T-P 함량은 지하수 수질 정도로 낮았다.

벼 재배기간 중 논 유출 총 부하량은 표 111과 같다. 유출수의 T-N 함량은 2014년에는 혼합유박, 토양검정 > 파종상비료, 무시비 순으로 낮았으며, 2015년에는 토양검정 > 혼합유박, 파종

상비료> 무시비 순으로 낮았다. 2014년과 달리 2015년에 토양검정처리에서 T-N 함량이 가장 높았던 것은 2014년에는 수비 시용(7월 26일) 후 7일까지 논물이 유출될 정도의 강우가 없었던 반면, 2015년에는 수비 시용(7월 26일) 후 3일의 강우(38.9mm)로 논물이 유출되었기 때문으로 생각되었다. 전술한 바와 같이 이양 후 70일의 수비시용은 논물 중 T-N 함량을 일시적으로 10mg L⁻¹ 까지 증가 후 감소시킨다. 유출수의 T-P 함량은 2014년에는 토양검정> 혼합유박, 파종상비료 순으로, 2015년에는 토양검정, 혼합유박> 파종상비료> 무시비 순으로 낮았다. 비점오염 경감을 위한 시비자재는 혼합유박은 2014년에는 T-P 함량이 토양검정에 비해 낮았으나 2015년에는 차이가 없어 부적합하였으나, 파종상 비료는 2014년, 2015년 모두 토양검정처리 대비 T-P 함량이 낮게 나타나 적합한 것으로 생각되었다.

표 109. 자연강우와 관개수 수질

연도	자 연 강 우		관 개 수	
	T-N(mg L ⁻¹)	T-P(mg L ⁻¹)	T-N(mg L ⁻¹)	T-P(mg L ⁻¹)
2014	2.11	0.060	0.29	0.013
2015	1.50	0.042	0.34	0.019

※ 관개수 : 본원 저수지

표 110. 유출수 수질(5. 21~10. 20)

처 리 내 용	T-N(mg L ⁻¹)		T-P(mg L ⁻¹)	
	2014	2015	2014	2015
1) 무시비	0.624b	0.575c	0.027c	0.021c
2) 파종상비료	0.624b	0.718b	0.028bc	0.024b
3) 혼합유박	0.704a	0.763b	0.030b	0.026a
4) 토양검정	0.680a	2.766a	0.033a	0.027a

※ 2015년 토양검정처리구 수비 시용 3일후 강우량 : 38.9mm

5월 21일부터 10월 20일까지 벼 재배기간 중의 총 유출 부하량은 표 111과 같다. T-N 유출 총 부하량은 관행인 토양검정 대비 2014년에는 혼합유박은 대차 없었으나 파종상 비료는 7% 경감되었고, 2015년에는 혼합유박은 67%, 파종상비료는 70% 경감되었다. T-P 유출 총 부하량은 토양검정 대비 2014년에는 혼합유박 9%, 파종상 비료 14%, 2015년에는 혼합유박 9%, 파종상비료 13% 경감되었다. 2년간 평균으로 본 토양검정 대비 T-N 유출 총 부하량은 혼합유박 45%, 파종상 비료 50%, T-P 유출 총 부하량은 혼합유박 10%, 파종상비료 15% 경감되어 파종상비료가 혼합유박보다 유출 총 부하량이 적은 것으로 나타났다.

표 111. 유출 총 부하량(5. 21~10. 20)

처 리 내 용	T-N(kg ha ⁻¹)			T-P(kg ha ⁻¹)		
	2014	2015	평 균	2014	2015	평 균
1) 무시비	1.812 (94)	0.873 (21)	1.343 (45)	0.086 (80)	0.037 (76)	0.062 (78)
2) 파종상비료	1.785 (93)	1.233 (30)	1.509 (50)	0.092 (86)	0.043 (87)	0.067 (85)
3) 혼합유박	1.956(102)	1.347 (33)	1.652 (55)	0.098 (91)	0.045 (91)	0.071 (90)
4) 토양검정	1.921(100)	4.090(100)	3.006(100)	0.108(100)	0.050(100)	0.079(100)

※ 유출 수량 : 2014년 3,452천 L ha⁻¹, 2015년 1,619천 L ha⁻¹

※ () : 지수

다. 토양화학성 변화 및 벼 생육, 수량

재배기간 중 토양화학성 변화는 표 112와 같다. 암모늄태질소 함량은 이앙 후 30일, 60일 모두 토양검정 > 혼합유박 > 파종상비료 > 무시비 순으로 높았다. 특히 토양검정은 이앙 후 30일에 24.4mg kg⁻¹에서 이앙 후 60일에 11.7mg kg⁻¹으로 낮아진데 비해 혼합유박은 이앙 후 30일에 21.9mg kg⁻¹에서 이앙 후 60일에 7.9mg kg⁻¹으로 크게 낮아졌다. 유효인산함량은 처리간 차이가 크지 않았으나 암모늄태질소와 같은 경향이였다. 치환성 칼리는 이앙 후 30일에는 토양검정, 혼합유박 > 파종상비료 > 무시비, 이앙 후 60일에는 토양검정 > 혼합유박, 파종상비료 > 무시비 순으로 많아 시기별로 함량의 차이가 있었다.

재배시기별 벼 생육 및 엽색도 변화는 그림 29와 같다. 초장은 이앙 후 30일과 이앙 후 50일에는 토양검정, 혼합유박, 파종상 비료 모두 대차 없었으나, 이앙 후 40일에는 토양검정 > 혼합유박 > 파종상비료 > 무시비 순으로 컸으며, 이앙 후 80일에는 토양검정 > 파종상비료 > 혼합유박 > 무시비 순으로 컸다. 이와 같은 초장차이는 이앙 후 40일에는 혼합유박이 파종상비료에 비해 비료성분의 용출이 많았으나 이앙 후 80일에는 파종상비료의 비료용출이 혼합유박에 비해 많았기 때문으로 추정되었다. 경수는 이앙 후 30일과 이앙 후 40일, 이앙 후 80일에 토양검정 > 혼합유박 > 파종상 비료 > 무시비 순으로 많았다. 이앙 후 50일에는 혼합유박 처리에서 경수가 일시적으로 가장 많았는데 이는 혼합유박의 지효적인 비료성분의 용출특성에 기인한다고 생각되었다. 엽색도는 이앙 후 30일에는 토양검정 > 혼합유박 > 파종상 비료 > 무시비 순으로 높았으나, 이앙 후 40일에는 혼합유박 > 파종상 비료 > 토양검정 > 무시비, 이앙 후 50일에는 파종상 비료 > 혼합유박 > 토양검정 > 무시비 순으로 높았다. 이앙 후 80일에는 토양검정 > 파종상 비료 > 혼합유박 > 무시비 순으로 나타나 이앙 후 80일에 수비시용의 영향으로 토양검정의 엽색도가 가장 높게 나타났으나 혼합유박은 급격히 낮아짐을 알 수 있었다.

표 112. 토양화학성 변화

구 분	NH ₄ -N (mg kg ⁻¹)	Av.P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	E _x -K (cmol kg ⁻¹)	
30DAT	1) 무 시 비	8.1	44	0.55
	2) 파종상 비료	9.4	46	0.61
	3) 혼합유박	21.9	47	0.65
	4) 토양검정	24.4	53	0.65
60DAT	1) 무 시 비	6.7	42	0.49
	2) 파종상 비료	6.8	43	0.51
	3) 혼합유박	7.9	46	0.51
	4) 토양검정	11.7	48	0.53
시험 후	1) 무 시 비	3.7	41	0.41
	2) 파종상 비료	3.8	41	0.37
	3) 혼합유박	3.9	47	0.43
	4) 토양검정	4.0	50	0.43

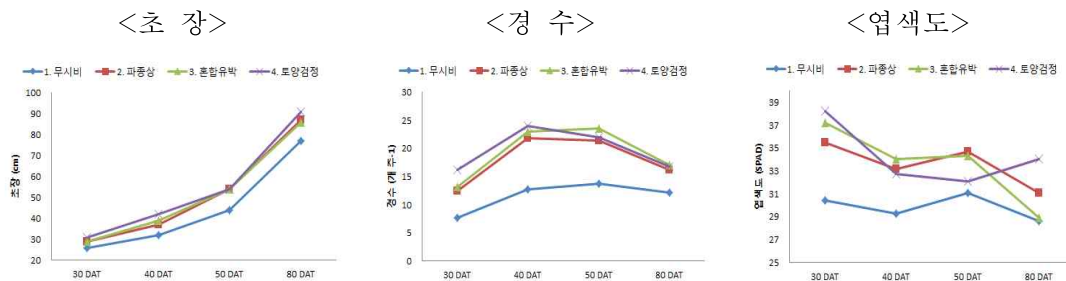


그림 29. 시기별 벼 생육 및 염색도 변화

출수기 및 벼 성숙기 생육은 표 113과 같이 출수기는 토양검정(8월 21일)에 비해 혼합유박, 파종상 비료는 1일, 무시비는 3일 지연되었다. 간장과 수수는 무시비를 제외한 처리간 대차없었고, 수장은 모든 처리에서 대차없었다. 수당립수, 등숙비율 및 현미천립중은 표 112와 같이 수당립수와 현미 천립중은 모든 처리에서 대차없었고, 등숙비율은 2014년에는 혼합유박이 토양검정에 비해 다소 높았으나 2015년에는 모든 처리에서 대차없었다.

쌀 수량은 표 113과 같이 토양검정(545kg/10a) 대비 파종상비료, 혼합유박은 대차없었으나 무시비는 28% 감수하였다. 이상의 결과에서 벼 재배 시 시비방법에 따른 논 비점오염원 경감을 위해서는 관행인 화학비료 3요소 토양검정 대비 벼 수량에 차이가 없으면서 T-N 50%, T-P 15% 감소되었던 파종상 1회 시비 비료 처리가 가장 효과적이었다. 특히 파종상 1회 시비 비료는 본 시험 결과의 비점오염원 경감효과 외에도 시비노력이 관행 3회에서 묘판 1회 시비로 절감(49.2%)되는 효과도 크므로(지 등, 2013), 농업생산성은 유지하면서 한강수계 상수원 보호구역 및 수질오염총량관리제(26개 시군) 시행권역내 벼 재배농가에 비점오염 부하를 최소화 할 수 있는 경감대책 자료로 활용될 수 있을 것으로 판단되었다.

표 113. 출수기 및 벼 성숙기 생육

처리내용	출수기 (월. 일)	간 장(cm)		수 장(cm)		수 수(개 주 ⁻¹)	
		2014	2015	2014	2015	2014	2015
1) 무시비	8. 24	70 ^b	66 ^b	17.9 ^{ns}	17.5 ^{ns}	13.6 ^b	11.5 ^b
2) 파종상비료	8. 22	76 ^{ab}	79 ^a	18.0	18.1	16.9 ^a	15.5 ^a
3) 혼합유박	8. 22	80 ^a	79 ^a	18.0	18.0	18.2 ^a	16.7 ^a
4) 토양검정	8. 21	82 ^a	79 ^a	18.3	18.4	18.5 ^a	16.2 ^a

표 114. 수당립수, 등숙비율 및 현미 천립중

처리내용	수당립수(립)		등숙비율(%)		현미 천립중(g)	
	2014	2015	2014	2015	2014	2015
1) 무시비	71 ^{ns}	70 ^{ns}	90.4 ^c	94.0 ^{ns}	20.4 ^{ns}	20.5 ^{ns}
2) 파종상비료	77	74	92.3 ^{ab}	96.3	20.7	20.8
3) 혼합유박	71	75	92.7 ^a	95.4	20.2	20.4
4) 토양검정	70	73	91.6 ^b	96.2	20.1	20.6

표 115. 쌀 수량

처리내용	백미 수량(kg 10a ⁻¹)			
	2014	2015	평균	지수
1) 무시비	402 ^b	386 ^b	394	72
2) 파종상비료	520 ^a	529 ^a	524	96
3) 혼합유박	534 ^a	536 ^a	535	98
4) 토양검정	543 ^a	548 ^a	545	100

4. 결과 요약

벼 시비방법에 따른 강우 시 논 유출수 중의 질소, 인의 유출특성을 구명하여 논으로 부터 발생하는 비점오염의 효율적 경감기술을 개발하고 수행한 결과는 다음과 같다.

가. 벼 재배기간(5. 21~10. 20) 중의 강우량은 2014년 642mm, 2015년 362mm로 평년(1,205mm)에 비해 각각 47%, 70% 적었다.

나. 논 표면수의 T-N, T-P 함량은 이양 후 10일까지 토양검정 > 혼합유박 > 파종상 비료 > 무시비 순으로 높았으며, 이양 15일 후의 T-N 함량은 수비의 영향으로 이양 후 70일의 토양검정처리에서만 일시적으로 높았다.

다. 총질소(T-N) 유출 총 부하량은 토양검정 대비 혼합유박 45%, 파종상 비료 50% 경감되었으며, 총인(T-P) 유출 총 부하량은 토양검정 대비 혼합유박 10%, 파종상 비료는 15% 경감되었다.

라. 쌀 수량은 토양검정(545kg/10a) 대비 파종상비료, 혼합유박은 대차 없었으나 무시비는 28% 감수하였다.

마. 이상의 결과로 벼 재배 시 비점오염 경감을 위한 시비방법은 관행재배(3요소 토양검정) 대비 쌀 수량 차이가 없으면서 유출 총 부하량이 총질소(T-N) 50%, 총인(T-P) 15% 경감효과가 있었던 파종상 1회 시비 비료가 가장 적합한 것으로 판단되었다.

5. 연구결과 활용제목

- 파종상 1회 시비 비료의 논 비점오염 경감효과(영농활용)

제6절 비료농약혼합제의 경제성 분석

1. 약제 및 비료 살포시간

관행과 비료농약 혼합제의 살포시간을 비교한 결과 비료농약 혼합제형 I, II는 10a당 3분으로 관행(병해충방제 및 시비처리) 보다 95% 정도 절감되는 것으로 산출되었다.

표 116. 약제 및 비료 살포시간(분/10a)

처 리	약제		시비	계
	과중상	육묘상		
제형 I. Oryzastrobin(0.23%)	3.0	-	-	3.0 (5)
제형 II. Probenazole(0.30%)	3.0	-	-	3.0 (5)
한소네입제 / 관행시비	3.0	-	52.8	55.8 (97)
룽샷입제 / 관행시비	-	5.0	52.8	57.8 (100)
무처리 / 관행시비	-	-	52.8	52.8 (91)

* 육묘상 : 인력 손살포, 과중상 : 종자과중기, 시비 : 2015년 통계청 작업단계별 노동시간

2. 비료농약 혼합제의 1회 처리비용

비료농약 혼합제의 1회 처리 비용은 과중상 비료농약 체계처리비용 보다 1.6배, 육묘상 농약 비료 체계처리 보다 2.1배 정도 많이 소요되는 것으로 나타났다.

표 117. 비료농약 혼합제의 1회 처리비용

상품명(처리)	시용량 (kg/10a)	비용 (원/10a)	지수	처리횟수 (방법)
① 제형 I. Oryzastrobin(0.23%)		34,500		
과중상비료		60,000		
계	18.0	94,500	285(163)	1회 과중동시
② 제형 II. Probenazole(0.30%)		9,750		
과중상비료		60,000		
계	18.0	69,750	210(120)	1회 과중동시
③ 한소네 입제	1.5	34,500		과중동시
기비(복합비료 21%)	21.4	13,480		본답
분얼비(요소)	3.9	2,300		본답
수비(N-K 18-18)	15.0	7,650		본답
계	41.8	57,930	174(100)	4회
④ 룽샷 입제	1.5	9,750		육묘상
기비(복합비료 21%)	21.4	13,480		본답
분얼비(요소)	3.9	2,300		본답
수비(N-K 18-18)	15.0	7,650		본답
계	41.8	33,180	100(57)	4회

* 과중상비료 15kg 55,000원, 복합비료 20kg 12,600원, 요소 20kg 11,800원, N-K 20kg 10,200원, 한소네입제 1kg 23,000원, 룽샷입제 1kg 6,500원

3. 비료농약 혼합제의 1회 처리 시 노동력(시간) 및 비용

비료농약 혼합제의 처리 노동시간은 ha당 0.7시간으로 관행대비 95% 정도 절감되었으며, 비용으로 환산하면 약 176.2천원이 절감되었다.

표 118. 비료농약 혼합제의 1회 처리 시 노동력(시간) 및 비용(원)

작업단계		노동시간(시간/ha)		노력비(원/ha)	
		비료농약 혼합제 1회 (A)	관행(B)	비료농약 혼합제 1회 (A)	관행(B)
과 종		0.2	0.2	2,535	2,535
시 비		-	8.8	-	111,540
농약	육묘(과종상)	0.5	0.8	6,338	10,140
	분담	-	4.1	-	51,968
	소계	0.5(10)	4.9(100)	6,338	62,108
합계(%)		0.7(5)	13.9(100)	8,873	176,183

* 통계청 : 2015년 노동시간 및 농업노동 임금(남자) : 101,400원/일(8시간 적용)

4. 비료농약 혼합제의 1회 처리 경제성

농자재 처리 및 노동력 비용을 고려한 비료농약 혼합제의 경제성은 관행재배의 표준시비 대비 약 199천원/ha이 증가되며, 농가시비 대비 약 95천원/ha 감소되며, 측조시비 재배 대비 약 77천원/ha 감소되었다.

표 119. 비료농약일체형의 1회 처리 경제성(원/ha)

구 분	제형 I				제형 II			
	비료농약 혼합제	관행재배		측조재배 ^{주3)}	비료농약 혼합제	관행재배		측조재배
		표준시비 ^{주1)}	농가시비 ^{주2)}			표준시비 ^{주1)}	농가시비 ^{주2)}	
농자재 처리비용	945,000	579,300	872,320	966,000	697,500	331,800	624,820	718,500
노동력 비용	8,873	176,183	176,183	64,643	8,873	176,183	176,183	64,643
계	953,873	755,483	1,048,503	1,030,643	706,373	507,983	801,003	783,143
증감	관행 대비	표준시비 대비 198,930원/ha 증가, 농가시비 대비 94,630원/ha 감소						
	측조 대비	측조재배 대비 76,770원/ha 감소						

주 1) 표준시비량 기준으로 전남도원 시비 금액 234,300원/ha 적용

주 2) 농가시비 기준으로 통계청 자료 2015년 평균 논벼 재배 시비 금액 527,320원/ha 적용

주 3) 측조 전용 비료 농가 사용량(600kg/ha)인 621,000원/ha 적용

제7절 비료농약혼합제 보급을 위한 정책 건의

1. 정책제안

경기도농업기술원에서는 비료농약 혼합제 관련 농약관리법 시행규칙 개정에 대하여 아래 그림 29와 같이 농림축산식품부(농기자재정책팀)에 정책을 제안하였다.

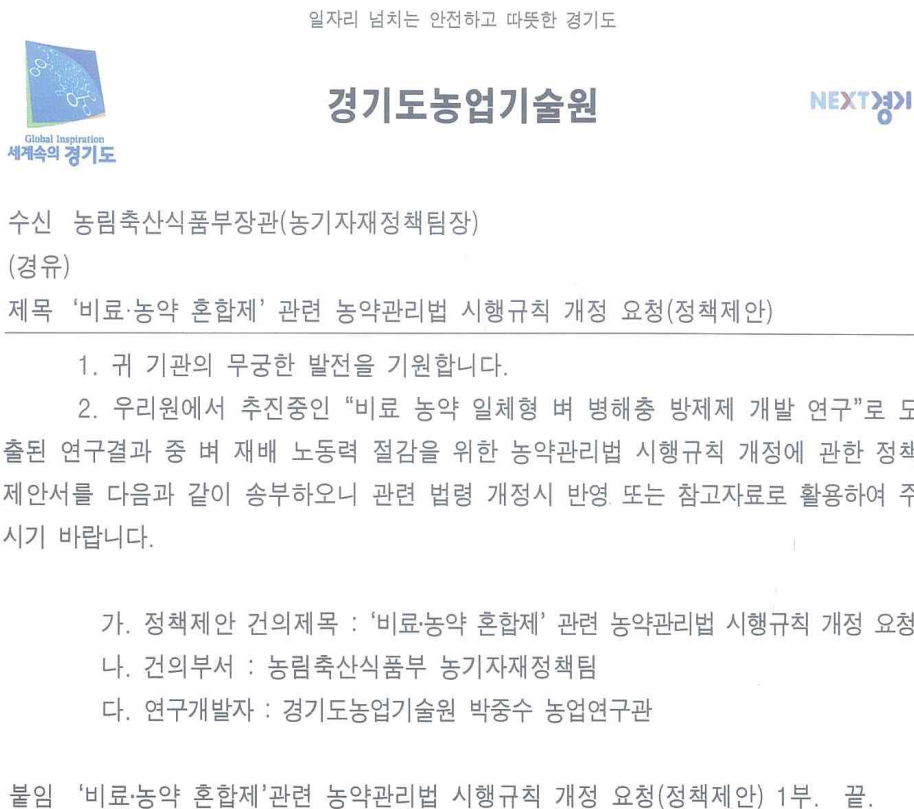


그림 30. 비료농약 혼합제 관련 농약관리법 시행규칙 개정요청 공문

2. 정책 제안 내용

비료농약 혼합제 관련 농약관리법 시행규칙 개정 요청의 주요 제안 내용은 아래 표와 같다.

표 120. 정책제안 내용 요약

제 목	‘비료농약 혼합제’관련 농약관리법 시행규칙 개정 요청
활 용 가 능 서 부	농림축산식품부 농기자재정책팀
건 의 분 야	연구분야 : 농업환경
제 안 내 용 약 요	<p>1. 현황 및 문제점</p> <p><농업 및 농촌></p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 최근 농촌고령화 및 노동력 부족 심화에 따른 생력화 가능 파종상 1회 처리 비료·농약 혼합제 개발 필요 <p><농업제도·정책></p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 비료농약 혼합제를 생산, 판매하고자 하는 자는 개정된 비료관리법에 따라 농진청 고시“비료공정규격 설정 및 지정 ”제6조1항에 의거하여 농약관리법에 등록된“비료농약 혼합제”에 해당되는 농약성분에 한하여 사용가능함(시행 2016.6.25.) ○ 그러나, 농약관리법에 “비료농약 혼합제”가 약제로 등록되어 있어야 하나, 현행 법규상 농약관리법에 “비료농약 혼합제”가 등록되어 있지 않아 개정 필요(관련 : 농약관리법 시행규칙 제2조제2항) <p>2. 정책제안 내용</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 농약관리법 시행규칙 관련 규정 개정 <ul style="list-style-type: none"> - 농약관리법 시행규칙 제2조제2항의“농림축산식품부령이 정하는 약제”에 “비료농약 혼합제”를 추가 신설 (농약관리법 시행규칙 개정사항) <p>3. 정책제안 반영 기대효과</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 비료농약 혼합형 파종상 1회 처리제 이용 시 화학비료량, 시비횟수 및 병해충 방제 횟수 모두 절감 가능 ○ 비료농약 혼합제 개발 보급 시 농작업 노력절감이 가능하므로 농촌 고령화에 따른 일손부족 문제를 해결하고, 환경오염과 영농비 절감 등을 통해 농업 경쟁력 향상
연 구 개 발 자	경기도농업기술원 환경농업연구과 박중수

3. 세부 연구결과

가. 현황 및 문제점

(1) 농업 및 농촌

(가) 벼 재배 시 비료 농약은 주요 재배수단으로 연간 농약은 입제, 액제 등 4~6회 살포, 비료는 3회 시비(밑거름, 가지거름, 웃거름)로 노력과 경비가 많이 소요되므로 생력화 가능한 파종상 1회 처리 비료농약 혼합제 개발 필요

(나) 일본은 23종, 미국은 19종의 비료농약 혼합제 개발 판매 중

(2) 농업제도·정책

(가) 비료농약 혼합제를 생산, 판매하고자 하는 자는 개정된 비료관리법에 따라 농진청 고시 “비료공정규격 설정 및 지정” 제6조제1항에 의거하여 농약관리법에 등록된 “비료농약 혼합제”에 해당되는 농약성분에 한하여 사용가능함(시행 2016.6.25.)

(3) 비료공정규격 설정 및 지정(농촌진흥청고시 제2016-26호)

(가) 제6조 (비료의 원료와 그 밖의 기준) ① 다음 각 호에 해당되는 경우에는 비료 원료로 사용할 수 없다.

(나) 1. 「농약관리법」 제2조제1호의 “농약”에 해당되는 물질 또는 이들 물질이 함유되거나 오염된 원료. 다만, 농약관리법에 따라 등록된 비료농약 혼합제는 해당 농약성분, 미생물농약은 토양미생물제제에 한하여 사용할 수 있으며, 상토1호 및 상토2호에서 원료로 정한 농약은 상토1호 및 상토2호에 한하여 사용할 수 있다.<2016. 5.25. 일부개정, 시행 2016.6.25.>

(다) 그러나, 농약관리법에 “비료농약 혼합제”가 약제로 등록되어 있어야 하나, 현행 법규상 농약관리법에 “비료농약 혼합제”가 등록되어 있지 않아 개정 필요(관련 : 농약관리법 시행규칙 제2조제2항)

나. 연구결과

(1) ‘비료농약 혼합’ 농자재 이용 벼 육묘



<파종상 ‘비료농약 혼합제’>



<‘비료농약 혼합제’ 이용 육묘>

※ 시용시기 : 벼씨 파종 시 육묘상에 1회 시용

※ 사 용 량 : 비료·농약 혼합제 15kg/포/10a(N-P₂O₅-K₂O=4.5-0.9-0.9kg/10a)

그림 31. 비료농약 혼합제 이용 벼 육묘 모습

(2) 시기별 벼 생육 상황

표 121. 시기별 벼 생육 상황

구 분	이앙 후 30일		이앙 후 50일		이앙 후 80일	
	초장 (cm)	경수 (개/주)	초장 (cm)	경수 (개/주)	초장 (cm)	경수 (개/주)
비료농약 혼합제 I	31	13.2	60	16.9	90	15.8
관행 방제	31	12.8	59	17.1	89	15.8

※ 비료농약혼합제 I : 과중상 1회 시비 비료에 농약 혼합하여 만든 제형

* Oryastrobin + Clothianidin(비료 600g당 Oryastrobin 1.4g + Clothianidin 0.2g)

→ 한소네(성보화학)입제 추천량의 80% 수준

※ 관행 방제 : 과중상 1회 시비 비료로 벼 육묘, 이앙당일 육묘상 처리제 농약(한소네 입제) 처리 후 이앙

(3) 병해충 방제효과

표 122. 병해충 방제효과

구 분	벼물바구미 방제가 ^{주1)} (성충, %)	도열병(0~9)		흑명 나방 (0~9)	잎집무늬마름병(0~9)	
		잎	목		이앙 후 95일	이앙 후 115일
비료농약 혼합제 I	96.8	0	0	1	0	1
관행 방제	93.2	0	0	1	0	1

주1): 이앙 후 10일 조사

(4) 쌀 농약성분 잔류량

표 123. 쌀 농약성분 잔류량

(단위 : ppb)

구 분	Oryastrobin ^{주1)}	Clothianidin ^{주1)}
비료농약 혼합제 I	6	불검출
관행 방제	5	불검출

주1) 쌀 농약잔류 허용기준 : Oryastrobin 300ppb 이하, Clothianidin 100ppb 이하

※ 농약 제형별 성분 및 처리시기

· 비료 농약 제형 I : Oryastrobin + Clothianidin → 한소네 입제(성보화학) 추천량의 80% 수준

· 관행 방제 : Oryastrobin + Clothianidin(한소네 입제) 이앙당일 육묘상 처리

(5) 출수기, 벼 성숙기 생육 및 쌀 수량

과중상 1회 시비 비료에 농약을 혼합한 비료농약 혼합제는 관행 방제(과중상 1회 시비 비료로 벼 육묘 + 이앙당일 육묘상 처리제 농약처리 후 이앙) 대비 벼 생육, 병해충 방제효과 및 수량 등 차이가 없었음

표 124. 출수기, 벼 성숙기 생육 및 쌀 수량

구 분	출수기 (월. 일)	간장 (cm)	수장 (cm)	수수 (개/주)	수당 립수 (립)	등숙 비율 (%)	현 미 천립중 (g)	쌀 수량	
								kg/10a	지수
비료농약 혼합제 I	8. 15	76	20	14.6	108	89.4	22.4	638	101
관행 방제	8. 15	76	20	14.7	110	88.8	22.3	633	100

(6) 농약관리법 시행규칙 관련 규정 개정

(가) 농약관리법 시행규칙 제2조제2항의“농림축산식품부령이 정하는 약제”에 “비료농약 혼합제”를 추가 신설(농약관리법 시행규칙 개정사항)

표 125. 농약관리법 시행규칙 개정(안)

현 행	개 정 안
제2조(동·식물 및 약제의 범위) ① (생략) ②법 제2조제1호다목에서 “농림축산식품부령으로 정하는 약제”란 다음 각 호의 약제를 말한다. 1. 기피제 2. 유인제 3. 전착제 4. 삭제<2003.8.30.>	제2조(동·식물 및 약제의 범위) ① (현행과 같음) ② ----- ----- ----- ----- 1. (현행과 같음) 2. (현행과 같음) 3. (현행과 같음) 4. 비료·농약 혼합제

(나) 농약 혼합에 대한 문제점을 해결하기 위해 비료와 농약의 종류를 선정하고, 그 종류별로 필요한 약제에 대한 규제도 필요함

(다) 비료농약 혼합제의 등록신청 요령, 등록시험의 기준과 방법, 및 등록신청서류 검토기준에 혼합제에 대한 검토기준 마련

다. 기대효과

(1) 비료농약 혼합형 벼 병해충 방제제 이용 시 화학비료량, 시비횟수 및 병해충 방제 횟수 모두 절감 가능

(가) 화학비료 질소 사용량 : 50% 감소

· 관행 표준시비량) 질소성분 9kg → 비료·농약 혼합제) 4.5kg/10a

(나) 시비횟수 절감 : 관행) 3회 → 비료·농약 혼합제) 벼 육묘상 1회

· 관행 : 3회 분시(밑거름, 가지거름, 이삭거름)

(다) 병해충 방제횟수 절감 : 관행) 4회 → 비료·농약 혼합제) 벼 육묘상 1회

(라) 비점오염원 경감('15, 경기도원) : 관행시비 대비 T-N 45~50%, T-P 10~15% 감소

(2) 비료농약 혼합제 개발 보급 시 농작업 노력절감이 가능하므로 농촌고령화에 따른 일손부족 문제를 해결하고, 환경오염과 영농비 절감 등을 통해 농업 경쟁력 향상

라. 요약

과종상 1회 시비 비료에 농약을 혼합한 비료·농약 혼합제는 관행 방제(과종상 1회 시비 비료로 벼 육묘 + 이앙당일 육묘상 처리제 농약처리 후 이앙) 대비 벼 생육, 병해충 방제효과 및 수량 등 차이가 없었음

제8절 정책자문회

1. 1년차

가. 일시 : '16년 1월 13일

나. 장소 : 농림축산식품부 5동 회의실

다. 참석자

- (1) 농림축산식품부 : 조장용 팀장, 박은엽 서기관, 안치홍 사무관, 박유천 주사
- (2) 농촌진흥청 : 박준태 실무관
- (3) 팜한농 : 이준석 팀장, 명광진 책임, 김지연 선임 외
- (4) 경기도농업기술원 : 박중수 연구관, 최병열 연구관
- (5) 스미토모화학 : 표한승 차장



그림 32. 1년차 정책자문회

라. 주요 내용

- (1) 비료농약 혼합제 개발 진행사항 및 '16년 계획(팜한농)
 - (가) 비료와 작물보호제 혼합제를 개발하여 파종 시 1회 처리로 본답에서 농약과 비료를 처리하지 않는 일체형 비료 개발하고자 함
 - (나) 정부과제로 2년간(2015. 8. 15~ 2017. 8. 14) 진행되며, 1년차에 파종상 비료와 작물 보호제 처방 개발 및 선정, 2년차에 지역별 실증시험 및 환경오염부하 저감 효과 분석, 경제성 분석 진행 예정임
 - (다) 수도재배 특성상 2차년도 결과가 가을 이후에 나오므로 농기평에 과제종료를 12월로 요청 예정임
- (2) 비료농약 혼합제 처방 개발(팜한농)
 - (가) '12년도 1차 원제 선정 시 방제 스펙트럼, 용해도, 용매 분산성, 파종 시 약제 안전성

등을 고려하여 살충제 원제로 Clothianidin, 살균제 원제로 Orysastrobin을 최종 선정함
(나) '12년도 기초 포장시험결과 살충 및 살균 방제가는 관행 대비 모두 우수한 방제가를 나타냄

(다) '15년 다양한 원제에 대한 추가 검토 결과 살충제는 Clothianidin, 살균제는 Orysastrobin, Probenazole을 선정함

(라) 제형I(Orysastrobin + Clothianidin)은 한소네(성보화학) 대비 추천량의 원제 함량 80%(600g/판), 제형II(Probenazole + Clothianidin)은 룡샷(팜한농) 대비 추천량의 원제 함량 100%(600g/판)으로 시제품 제조함

(3) '15년 비료농약 혼합제의 효과 및 환경부하 저감 효과(경기도농업기술원)

(가) 이양 후 10일의 벼물바구미 방제가는 제형I(Orysastrobin + Clothianidin) 97.6%, 제형II(Probenazole + Clothianidin) 98.3%, 관행 방제 91.6%

(나) 벼물바구미 엽 피해(85DAT)는 제형 I, II는 3정도인데 비해 관행방제 5, 무방제는 7정도로 많았으며, 잎집무늬마름병(115DAT) 발생은 제형 I 과 관행방제는 1정도로 경미하였으나 제형II와 무방제는 5정도로 많았음

(다) 수확량은 관행방제(636kg/10a) 대비 제형 I 은 대차없었으나, 제형II는 4%, 무방제는 8% 감수하였음

(라) 파종상 비료 처리 시 관행시비 대비 강우 시 유출수 중의 총질소(T-N) 50%, 총인(T-P) 15% 경감되었으며 파종상 비료 1회 시비로 농업생산성은 유지하면서 논 비점 오염원 경감대책 현장 활용 가능함

(4) 질의응답 및 정책반영 협의

(가) 노동력 절감, 생산비 절감 및 비점오염원 경감 등으로 볼 때 연구개발의 필요성은 알겠으며, 개발에서 산업화까지 염두에 두고 농민의 입장에서 과제를 진행하고, 필요 시 정부 정책 관련에 대한 지원해주겠음

(나) 육묘상에 농약을 처리하는 것은 필요 없는 농약을 처리함으로써 오히려 사용량을 늘리는 것 아닌지

→ 현재 농가의 70%가 육묘상 처리 농약을 사용하고 있으며, 잎집무늬마름병, 도열병, 물바구미 농약은 예방 차원에서 일반적으로 사용하는 농약임

(다) 환경조건(기상, 토양 조건 등)에 따라 시험결과가 다를 수 있으므로 안정적인 효과 검토를 위해 다년간 여러 지역에서 시험을 수행해야 할 것임

→ 여러 지역에서 실증시험 진행하기 위해 2차 년도에 전남도원, 충북대도 참여하여 권역별 시험 진행 예정

(라) 단서조항 표기를 명확하게 해주었으면 함. '1회 처리로 농약을 추가 처리하지 않는 다'는 용어는 돌발 병해충 발생 시 농약을 사용해야 하는 경우 맞지 않음

(마) 현재 평균적인 농가 입장에서 검토해볼 필요가 있음

→ 2차 년도에 전남도원에서 경제성 분석 실시 예정임

(바) 일본·미국 등 최신 해외 사례 자료를 확보하면 우리가 앞으로 가야할 방향을 알 수

있을 것임

→ 일본 사례는 스미토모에서 제공해주기로 함

(사) 회의에 농약전문가가 참석하지 않은 것 같음. 다음번에는 농약 전문가도 참석해 주기 바라며, 농촌진흥청 농약 전문가도 초청하도록 하겠음

2. 2년차

가. 일시 : '17년 2월 8일

나. 장소 : 농림축산식품부 6동 회의실

다. 참석자

- (1) 농림축산식품부 : 김규욱 서기관, 안치홍 사무관, 박유천 주무관
- (2) 팜한농 : 명을재 상무, 이준석 팀장, 장일 책임, 김지연 선임
- (3) 전라남도농업기술원 : 권오도 연구관



그림 33. 2년차 정책자문회

라. 주요 내용

(1) 과제 개발경과

(가) 1차년도 : 코팅 컨셉 확정, 신규 분석법 개발, 최종 처방 2종 선정, 농업 환경 부하 절감 효과 분석

(나) 2차년도 : 독성시험, 농가 실증시험 5개소, 경제성 분석

(다) 향후 계획 : 안전성 시험, 특허 출원, 잔류분석

(2) 과제 개발관련 주요 질의사항

(가) 연구개발 종료 후 5년까지 성과 관리를 농기평에서 진행함

(나) 제품 가격 문제

전체적인 투입량, 노동력 시간 절감을 따지면 비싸지 않으나, 농가에서 받아들이기

힘든 부분이 있으므로, 정책적인 뒷받침(영농사업, 시범사업 등) 필요

→ 향후 고령화 사회에 따른 광작에 적합하며, CO₂ 감소, 비점오염원 저감에 효과적임

(다) 비해 발생 가능성

농가에서 사용 매뉴얼을 따르면 되며, 이를 위한 교육지도를 통하여 실용화 단계에서는 문제없을 것임

(라) 병·충이 발생하지 않은 지역에서도 수량결과가 상이함

과중상 시험 시에도 지역, 품종에 따라 수량 등의 결과가 상이하며 그에 따른 원인으로 판단됨

(마) 일본 시장자료의 경우 물가상승을 등을 고려하면 크게 증가하지 않은 것 같음

→ 일본의 경우 복합비료에 살충, 도복경감제를 넣은 제품으로 용도가 제한되어서 많이 확산되지 않은 것 같으며, 우리나라의 경우 이미 육묘상처리제를 80% 이상 사용하고 있으므로 이 시장을 타겟으로 크게 확산될 수 있을 것임. 해외 사례(일본, 미국 등)를 분석하여 우리가 나아가야 할 방향을 참고할 수 있을 것 같음

(3) 정책토의

(가) 비료농약 혼합제 관련 농약관리법 및 비료관리법 개정

- 1) 농촌진흥청에서는 현재 등록상 문제가 없다고 하므로, 실제 등록진행 중 문제 발생 시 대응 필요
- 2) 현행 비료공정규격에 비료농약 혼합제 기준을 설정하면, 농약관리법을 개정할 필요 없음

(나) 농약의 원제 및 등록 기준 중 독성시험법 개정 관련

- 1) 농약관리법 고시사항에서 비료농약 혼합제를 예외로 하면 됨
- 2) 농촌진흥청 농자재산업과와 협의 필요함

(다) 비료농약 분석법 개정

- 1) 팜한농에서 분석법을 만들어 고시만 추가하면 됨

(라) 기타

- 1) 비료농약 혼합제 생산에 따른 일반 비료 오염 문제는 실제 상용화 단계에서 문제 발생 시 논의 필요
- 2) 농약 등록시험에 따른 방제가 기준 정립은 농촌진흥청 협의 필요
- 3) BB 타입으로 제조 시 발취검사 시 문제 있음

제4장 목표달성도 및 관련분야 기여도

제1절 목표달성도

구분	세부과제명	세부연구목표	달성도 (%)	연구개발 수행내용
1차년도	비료농약 혼합제의 적정 시비량 결정	처방 개발 및 시제품 제조	100	<ul style="list-style-type: none"> ○ 농약 선정 ○ 처방 개발 : 10개 <ul style="list-style-type: none"> - 비료+살충제 : 5처방 - 비료+살충제+살균제 : 5처방 ○ 혼합제에서의 약제 안전성 시험 실시
		처방별 효과시험	100	<ul style="list-style-type: none"> ○ 처리량 별 벼 생육시험 실시 ○ 약효/약해 파악 시험 실시 ○ 2처방 선정
		선정된 2처방의 처리량별 효과 시험	100	<ul style="list-style-type: none"> ○ 선정된 처방의 처리량별 벼 생육 조사 ○ 선정된 처방의 처리량별 약효/약해 파악 ○ 처방별/처리량별 수확물 잔류분석 시험 실시
		선정된 2처방에 대한 독성시험 의뢰	100	<ul style="list-style-type: none"> ○ 2개 처방의 독성시험 실시
		정책자문회	100	<ul style="list-style-type: none"> ○ 정책자문 세미나 실시
2차년도	비료농약 혼합제의 실증시험	선정된 2처방에 대한 포장 확인시험	100	<ul style="list-style-type: none"> ○ 벼 생육, 약효 및 약해시험 실시(5개소)
		농업 환경 부하 절감 효과 구명	100	<ul style="list-style-type: none"> ○ 관행 및 비료농약·혼합제 시험 포장에서 논물을 채취하여 논물 중 비료성분(총질소, 총인산)과 약제성분 함량조사
		혼합제의 경제성 분석	100	<ul style="list-style-type: none"> ○ 관행대비 농자재 처리 및 노동력 비용 분석 실시
		혼합제 보급을 위한 정책 건의	100	<ul style="list-style-type: none"> ○ 비료농약 혼합제 관련 농약 관리법 시행규칙 개정 요청을 위한 정책제안 실시
		혼합제의 등록시험 신청	0	<ul style="list-style-type: none"> ○ 상업화 검토 후 등록시험 신청 예정
		정책자문회	100	<ul style="list-style-type: none"> ○ 정책자문 세미나 실시

제2절 관련분야 기여도

1. 기술적 측면

본 연구과제에서는 파종 시 1회 처리로 분담에서 농약과 비료를 처리하지 않는 일체형의 파종상 비료농약 혼합제를 개발하였다. 따라서 본 연구결과는 팜한농에서 기 개발된 용출제어형 파종상 비료의 적용 확대 및 원예용 CRF 비료 기반 구축을 가능하며, 국내 등록신청 및 사용 매뉴얼 제작 보급을 통하여 농가의 안정적 농작물 생산에 기여할 것으로 기대된다.

또한 수계로 유입되는 유출수의 부영양화 물질 저감효과로 수질환경 개선(수질환경 오염 부하량 30% 이상 감축)이 가능하며, 비료 사용량을 질소질 비료 사용량 기준으로 50% 절감(관행 90kg → 비료농약혼합제 45kg/ha)이 가능할 것으로 판단된다. 이로 인해 비료로부터 유래되는 온실가스를 획기적으로 절감할 수 있으며, 다량, 저효율 시비체계에서 소량·고효율 시비체계로 탈바꿈할 수 있도록 해 줄 수 있을 것이다(관행 192kg/ha, 질소 이용효율 30% 이내 → 비료농약혼합제 63kg/ha, 이용율 70% 이상).

2. 경제·산업적 측면

경제적인 측면에서는 비료 사용량 50% 이상 절감을 통한 벼 생산비 절감 및 1회 시비로 벼 농사의 시비 노동력을 획기적으로 절감할 수 있으며, 비료원료 수입량을 약 50% 줄일 수 있을 것으로 판단된다(5억불 → 2.5억불). 또한 기존의 사용 비료에 비해 시비량을 감소시킴으로서 비료 물류비용을 획기적 절감할 수 있으며, 국내 등록 추진을 통한 극 생력화 재배기술을 확보할 것으로 기대된다.

산업적인 측면에서는 환경부분에서 온실가스 발생 절감 효과와 비료 시용에 따른 부영양화 물질이 감소될 것이며, 농경지의 온실가스와 수계 유입 부영양화 물질 감축량을 파악하는데 용이할 것이며, 향후 수출을 통하여 신성장 동력을 확보할 것으로 기대된다.

제5장 연구결과의 활용계획

본 과제를 통하여 영농비 절감, 친환경 및 생력화 재배를 위한 비료농약 혼합제를 개발하였으며, 이 결과에 대한 활용계획은 다음과 같다.

제1절 특허

1. 출원 완료('17년 8월 4일)
 - 가. 비료 및 농약 혼합제 제조 방법
 - 나. 비료 및 농약 혼합제 조성물 및 그 용도
2. 등록('20년 예정)

제2절 논문 및 학술발표

1. 논문 발표
2. 학술 발표('17년 10월 19일, 한국작물학회 추계 학술대회)

제3절 제품화

1. 비료농약 혼합제 관련 농약관리법 시행규칙 개정을 위한 관련기관 협의
2. 등록시험 진행
3. 비료농약 혼합제 제조설비 확보
4. 생산업등록 실시
5. 비료농약 혼합제 판매 실시

제4절 정책활용 및 홍보

1. 정책 활용
 - 가. 화학비료 사용량 감축 정책
 - 나. 농업분야 온실가스 저감 정책
 - 다. 수질오염 총량 관리제
2. 홍보전시
 - 가. 국내 농업박람회 참가
 - 나. 매스미디어 광고

제5절 기술인증

1. 파종상 비료 : 벼 파종상 용출제어형 피복비료의 제조기술('17년 녹색기술인증)
2. 비료농약 혼합제 : 비료 및 농약 혼합제 제조 방법

제6장 연구과정에서 수집한 해외과학기술정보

제1절 출처

International Fertilizer Industry Association(IFA, 2010), Slow- and Controlled-Release and Stabilized Fertilizers

제2절 주요 기술정보

1. Shoji와 Kanno(1994)은 1회 시비 시 질소 흡수는 코팅된 요소에서 기존의 비료 대비 79% 더 높았으며, 곡물의 수와 생산량이 증가하였고, 기존 재배 방식 대비 무경운 이앙 재배 1회 시비에서 65%의 비용이 감소하였으며, 이것은 POCU(Polyolefin coated urea)와 같은 CRF(Controlled-Release and Stabilized Fertilizers)가 낮은 가치의 작물에도 사용될 수 있다고 제안함

2. Sakamoto 등(2003, 2007)은 폴리머 코팅이 없는 새로운 타입의 용출제어형 비료“UBER”를 개발하였으며, 이는 CDU(Cyclo diurea)와 두 가지 첨가제를 사용하여 짧고 긴 용출패턴을 조절하는데 사용하였음

3. Fujita와 Shoji(1999), Shaviv(2005), Shoji와 Gandeza(1992)는 양분 용출은 pH, 염분, 질감, 미생물의 활동, 산화환원 전위, 토양의 이온 강도 등 토양 특성에 의해 크게 영향을 받지 않고, 수분과 습도 투과성에 의해 영향을 받는다고 하였음

4. Fujita와 Shoji(1999)는 Meister[®] S7(요소)에 대하여 35일 동안 용출이 지연(Lag time)되고 80%의 비료성분이 20℃ 물에서 용출되는데 35일이 필요하다고 하였음

5. Shaviv(2005)는 용출패턴(Lag time, lock off), 용출 지속기간, N, P, K 사이의 용출의 차이, 용출에 대한 온도의 영향, 용출에 대한 중간 매개체 및 환경조건에 따른 영향을 CRF(controlled Release fertilizers)의 중요한 특성으로 규정하였음

6. 유럽 표준화 위원회(CEN)에서는 SCRF(Slow or controlled Release fertilizers)에 대하여 25℃에서 24시간 내에 15% 이상 용출되면 안 되고, 28일 내에 75% 이상 용출되면 안 되며, 명시된 용출기간동안 최소한 75% 용출되어야 한다고 규정하였음

7. Shaviv(2005)는 polyolefic 코팅은 alkyd 수지와 polyurethane계 수지보다 낮은 분해율을 나타낸다고 하였음

8. Shoji(2005)는 기존 비료와 CRF인 Meister를 수도 무경운 직파재배에서 시험한 결과 Meister가 기존 비료보다 질소 이용율은 약 100%, 현미 생산량은 약 43% 높음을 확인하였음

9. Ma 등(2007)은 산동성의 주요 토양 형태에 대한 실험으로 CRF가 토양 형태의 영향을 덜 받고 질소 손실이 적었으며, Zhang 등(2001)은 다양한 비료로 질소 용탈실험에서 CRF가 토양 pH의 변화에 영향을 덜 주었다는 것을 확인하였음

제7장 연구개발결과의 보안등급

해당사항 없음

제8장 국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황

해당사항 없음

제9장 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전조치 이행실적

해당사항 없음

제10장 연구개발과제의 대표적 연구실적

해당사항 없음

제11장 기타사항

해당사항 없음

제12장 참고문헌

APHA, AWWA, WCF. 1995. Standard methods for the examination of water and wastewater. 19th ed. American Public Health Association, Washington, DC, 4~112.

Babar, Azeem 외. 2014. Review on materials & methods to produce controlled Release coated urea fertilizer. Journal of Controlled Release. (181)11~21.

Brian A. Birrenkott 외. 2005. A Leach Collection System to Track the Release of Nitrogen from Controlled-Release Fertilizer in Container Ornamentals. HORT SCIENCE. J. 40(6). 1887~1891.

Celia Maqueda 외. 2009. Characterization of sepiolite-gel-based formulations for controlled Release of pesticides. Applied Clay Science. 46(3) 289~295.

Choi, K.C., O.U. Kwun, Y.D. Kim, Y.H. Kim, W. S. Lee, J.Y. Lee, S.J. Jun and S.K. Jung. 2004. Annotation for standard methods of water quality. Printed in Dong Hwa Technology Publishing Co. Korea.

Lee, H.D., and C.H. Bae. 2002. Runoff characteristics and strategies for non-point source reduction. KSWQ. (18) 569~576.

M.E. Trenkel. 1997. Improving Fertilizer Use Efficiency: Controlled-Release and Stabilized Fertilizers in Agriculture. International Fertilizer Industry Association(IFA).

M.E. Trenkel. 2010. Slow and Controlled-Release and Stabilized Fertilizers: An Option for Enhancing Nutrient Use Efficiency in Agriculture. International Fertilizer Industry Association(IFA).

Nilwala Kottegoda 외. 2017. Urea-Hydroxyapatite Nanohybrids for Slow Release of Nitrogen. American Chemical Society. 1214~1221.

Ryosuke Fujinuma 외. 2009. An improved Model of Nitrogen Release for Surface-applied Controlled-Release Fertilizer. Soil Fertility & Plant Nutrition. 73(6) 2043~2050.

Sadao 외. 1999. MEISTER. Controlled Release Fertilizers.

- 김민경, 권순익, 홍성창, 채미진, 정구복. 2013. 논 저류지를 이용한 논외 비점오염 저감효과. 한토비지(춘계학술발표 초록집).
- 김완진. 2006. 실용비료해설.
- 김진우 외. 2004. 토양비료개론.
- 농촌진흥청. 2011. 작물별 시비처방 기준.
- 농촌진흥청. 2012. 농업과학기술 연구조사분석기준.
- 농촌진흥청. 2013. 종합검정실 분석 매뉴얼(토양, 식물체, 수질, 증금속).
- 농촌진흥청, 한국작물보호협회. 2017. 농약등록 및 시험담당자 교육.
- 양재의 외. 2008. 농업환경학.
- 일본식물방역협회. 2014. 농약요람.
- 임선욱. 2006. 비료학.
- 조성진 외. 2010. 토양학.
- 지정현, 최병열, 조관래, 김순재, 권오염. 2013. 이앙직전 벼 육묘상자 살포용 완효성 비료의 처리 효과. 한작지 58(1) 8~14.
- 최종명, 김이열. 2009. 상토학.
- 한국비료공업협회. 2017. 비료연감.
- 한국상토연구회. 2007. 벼 육묘 생리와 못자리 관리.
- 한국상토연구회. 2009. 상토연구 제2호.
- 한국작물보호협회. 2016. 작물보호제 지침서.

주 의

1. 이 보고서는 농림축산식품부에서 시행한 첨단생산기술개발사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 농림축산식품부에서 시행한 첨단생산기술개발사업의 연구 결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니 됩니다.