

탄소배출 저감을 위한 생분해 필름이용 벼 멀칭건답직파재배기술 개발 가능성 연구

A Possible Development of Mulching Dry Drill Seeded Rice Cultivation by Biodegradable Film

박광호 *

K. H. Park
국립한국농수산대학
식량작물학과¹
kh5008@korea.kr

Abstract

As the world marks the adoption of the landmark Paris Agreement on climate change, a promising movement for carbon neutrality is taking shape. This agreement would be needed to build a truly global coalition for carbon neutrality by 2050. Greenhouse gas(GHGs) emissions from agriculture come from livestock such as cows, agricultural soils and rice production has been reported by 10% in 2019. Rice cultivation would be reduced a GHGs and thus this research has conducted to minimize the emission of greenhouse gas with the mulching methodology using a biodegradable film in dry hill seeded rice and to conserve the environment through a cultural and ecological weed control instead of chemicals. We have developed the 5th mulching dry hill seeder with the biodegradable film to determine the possibility of stable rice cultivation. There were so many difficulties and constraints in the field operations such as film mulching, hill seeding and effective weed control. The mulching dry hill seeder was so good performance in the 5th trial but the biodegradable film tested was so faster in terms of biodegradation before the heading stage of the rice plant and thus there was not highly effective weed control which is ongoing research with a good performance since 2020.

Key words : Biodegradable film, Rice, Dry drill seeding, Mulching, Weed Control, Greenhouse gases(GHGs), Cultural weed control, Ecological weed control

*교신저자

¹ Korea National College of Agriculture and Fisheries, 1515, Kongwipatjwi-ro, Deokjin-gu, Jeollabuk-do, 54874, Korea

I. 서론

국내 경종 농가의 초고령화, 팬데믹으로 인한 농촌 노동력 부족 심화에 대처하기 위해 쌀 생산비를 획기적으로 줄일 수 있는 벼 직파재배 기술에 대한 필요성이 90년대 이후 다시 요구되고 있다(농림축산식품부, 2017). 또한 국내 쌀의 소비 촉진과 소비자의 안전 안심 쌀로 평가 받고 있는 친환경 유기농쌀을 생산하여 대외 수출을 할 수 있는 전략도 필요할 것으로 보인다. 최근 탄소중립 선언으로 국토환경 보전을 통한 지속 가능한 농업 신기술을 개발하여야 한다는 필요성이 크게 제기되고 있다(Chen 등, 2021). 아울러 최근 4차 산업혁명 기술의 발달로 관련 첨단과학을 융·복합한 저비용 친환경 유기농 벼 재배기술의 필요성이 크게 요구됨에 따라(한국농수산대학, 2017) 과거 친환경 벼 재배기술(손제초, 기계제초, 오리농법, 우렁이농법, 멀칭농법 등)과 다른 신소재(생분해성 필름)와 IT 기술을 융·복합한 기술이 요구되고 있다(한상익 등, 2011).

본 연구는 생분해 필름과 멀칭건담직파기를 활용한 벼 멀칭 건담직파를 통해 작물재배기간(3~6개월) 동안 자연환경조건에서 완전 생분해가 일어나 잡초방제와 벼 생육 및 안정적인 수량성을 획득할 수 있는 기술을 개발하는 것이다. 생분해 필름의 농업적 이용은 지난 10년간 토양온도 상승, 잡초방제, 토양수분 보존, 해충이동 저해, 토양양분 효율 증진, 수량향상 등의 효과로 점차 증가하고 있다(Kasirajan and Ngouajio, 2012). 따라서 본 기술을 적용할 경우 생산비를 획기적으로 절감하면서 안전하고 품질이 우수한 친환경 유기농쌀을 생산할 수 있는 기술 개발과 보급이 가능할 것으로 보인다.

본 논문에서는 그동안 생분해 필름이용 벼 직파재배에서 나타 난 문제점을 보완, 창안하여 한

국농수산대학 주관으로 산학공동연구개발을 통하여 얻어진 약간의 결과를 보고하고자 한다.

II. 재료 및 방법

1. 시험재료

본 연구에 사용한 멀칭 및 점파 파종기는 한국농수산대학과 (주)불스가 산학협동을 통해 공동개발한 시작기를 사용하였으며, 생분해 필름은 한국바스프(주)의 원료를 일신화학공업(주)에서 필름 성형하여 이용하였다. 공시 품종은 새누리(일반계)이었으며, 직파 테스트 및 포장시험은 2015 ~ 2017년에 걸쳐 한국농수산대학 실습포장에서 수행하였다. 파종량은 10a당 5kg이었으며 주당 7 ~ 10립을 점파하였다. 파종거리는 조간 25cm × 주간 18cm로 하였다. 시비량은 완효성비료(오래가™)를 10a당 50kg로 살포하였다. 멀칭 및 파종 후 벼 주요 시기별 생육조사는 작물재배생리의 이론과 실험(농촌진흥청, 1997)에 준하여 조사 분석하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 멀칭 건담점파기 개발

볍씨를 생분해성 필름에 부착하여 물을 만들어 피복과 동시에 흙을 덮어주는 건담멀칭 방법은 결주가 많고, 필름 위에 흙이 많이 올라가는 부분은 잡초 발생이 많은 등의 문제점이 있어 이를 개선하기 위하여 필름을 깔면서 파종 부위를 타공하여 7~10립 점파하는 멀칭건담점파기 개발을 추진하였다. 필름멀칭 동시 건담파종기(건담멀칭



Fig. 1. A view of dry hill seeded rice by mulching dry hill seeder I

파종기) 1차 테스트(2015.11.27) 결과 기존 멀칭 건답파종기에 점파식 파종장치를 부착하여 테스트하였다. 1차 시작기 성능시험에서 필름멀칭 동시 건답파종기 개발 가능성을 확인하였으며 비닐 천공 크기가 좁고, 노출되는 종자가 많아 파종장치로 교환하는 것으로 결정하였다(Fig. 1).

멀칭직파기 시작기2를 제작하여 2차 시험(2016. 2. 23)을 한 결과 1차 테스트에서 문제점을 보완하여 파종장치를 점파 시스템으로 교체하였으나 비닐 천공 문제는 개선이 필요하였다. 파종과정에서 노출종자가 일부 있었으나 이는 파종

기 조작 미숙으로 판단되었다. 왕복 주행 시 간격 조절이 어려워 작업속도가 느리고 피복필름 사이 간격이 넓으면 잡초발생 우려가 높았다. 파종작업 시작 및 종료 시 비닐 절단이 잘 안되었으며 시간이 많이 소요되었다(Fig. 2). 이는 파종작업 시 비닐을 펼치면서 떨어지는 종자가 많아 입모가 불균일하고 결주가 10% 내외로 높았다(대산농촌 문화상수상자회 및 사단법인 한국농업경영포럼, 2015)는 기존 멀칭직파의 문제점이 크게 보완되었다.



Fig. 2. A view of dry hill seeded rice by mulching dry hill seeder II

멀칭건답파종기 시작기2를 일부 보완하여 3차 테스트(2016.3.26)를 한 결과 파종장치의 파종부에 부착된 칼날이 있는 상태로 파종 시에는 피복

한 비닐에 구멍이 너무 크게 생겨 이 부분에 잡초 발생 우려가 높았다. 따라서 파종부에 부착된 칼날을 제거하여 파종함으로 비닐의 구멍이 적어

저 잡초 발생의 우려가 크게 해소되었다. 피복필름 사이 간격이 넓은 문제는 파종 작업 시 적절하게 간격을 유지할 수 있도록 기계 이양기나 직파기와 같이 표시대(선긋기 대)를 설치하는 등 보

완이 필요하였다. 종자가 일부 노출되는 것은 파종기 조작 미숙 외에 토양수분도 영향을 미치는 것으로 보여 토성, 토양수분 등 토양조건에 따른 차이에 대한 후속 연구가 필요하였다(Fig. 3).



파종부 부착 칼날 및 칼날부착 파종



파종부 부착 칼날 제거 파종

Fig. 3. A view of dry hill seeded rice by mulching dry hill seederⅡ(3rd test)

멀칭건답파종기 4차 시험(2016.4.20, 불스) 결과, 3차 테스트에서 발생된 문제점과 주행속도, 파종 상태 등이 크게 개선되었다. 피복 흠량이 다소 불균일하므로 보다 고르게 조절할 수 있게 개선이 필요하였다. 비닐 절단 문제는 가장 시급히 해결해야 할 과제이므로 우선 고정 철판을 만들어 실증시험에 사용해보도록 하였다. 시험한 토양 중에는 알갱이 경운한 사양토에서 파종하는 것이 가장 좋은 것으로 나타나 무경운 논 파종 가능성이 높으므로 이에 대한 검토가 필요하였다. 토양수분이 40% 정도 되는 곳에서는 종자가 떨어지는 입

구 부분이 흠이 부착되어 막히므로 종자가 토양 내부에 떨어지지 않고 밖으로 떨어지는 현상이 있으므로 토성, 토양수분 등에 따른 정밀한 검토를 하였다(Fig. 4). 멀칭 건답직파재배 4차 테스트에서 나타난 문제점을 보완하여 테스트한 결과 파종 작업과 파종 상태는 큰 문제가 없는 것으로 나타났다. 비닐을 철판으로 고정하여 파종을 할 때는 편리함은 물론 비닐이 밀리는 문제점이 거의 없어 어린모가 출아하는데 문제가 발견되지 않았다. 하지만 2016년 실증시험은 멀칭 필름의 강도가 약하여 잡초 유묘가 필름을 뚫고 출현되었다.



Fig. 4. A view of dry hill seeded rice by mulching dry hill seederII(4th test)

멸칭건답파종기 5차 테스트(2017.2.21)는 2016년 실증시험 결과 나타난 문제점을 거의 보완한 건답멸칭점파기이었다. 필름 고정 절단 자동장치, 피복한 필름 위에 흙을 파종된 종자 줄에 고르게 올릴 수 있는 오거식(Auger) 장치 개발, 멸칭 필름간 간격 조절 표시대(선 긋기) 부착 등으로 지

금까지 나타난 주요 문제점을 해결하였다(Fig. 5). 5차 테스트 후 기존의 멸칭지파에 대한 문제점이 크게 개선되어(대산농촌문화상수상자회 및 사단법인 한국농업경영포럼, 2015 및 백재훈·박태선, 2016) 멸칭파종기와 다르게 공시한 생분해 필름을 사용하여 본답 포장시험을 추진하였다.



정지작업-토양배출(줄)-복토장치

필름 고정 및 절단 장치

간격 조절 표시대 부착

카메라 이용 정밀파종

Fig. 5. A view of dry hill seeded rice by mulching dry hill seederII(5th test)

2. 생분해성 필름 이용 멀칭 건답점파 실증시험

벼 멀칭건답점파기와 생분해성 필름을 이용하여 한국농수산대학 포장에서 벼 재배 실증시험한 결과 식양질 포장에 파종작업 속도가 다소 느린 것 외에는 별다른 문제가 없었다. 결주는 기계이앙 허용범위 5%보다 적은 2.2%로 무논점파와 차이가 없었다. 이는 멀칭직파에서 10%의 비교적 높은 결주율을 보고한 결과보다 크게 시스템이 진전되었다(대산농촌문화상수상자회 및 사단법인

한국농업경영포럼, 2015). m²당 입모수는 156개(7.7개/주)로 건답직파의 m²당 적정 입모수인 90~150개 확보에 문제가 없었고, 무논점파 철분보다는 적었으나 복토보다는 30개 정도 많았다(Table 2). 초장은 무논점파에 비하여 10~15.2cm가 짧았고, m²당 경수는 44~148개 적었으며, 초기생육 차이는 3일 늦게 파종한 것이 후기에 생육이 떨어진 것은 필름을 뚫고 나온 잡초와의 경합에 의한 생육저해가 주요 원인으로 사료되었다.

Table 2. Missing hill, seedling establishment and rice growth and development of mulching dry hill seeded rice

직파 방법	결주 (%)	입모수 (개/m ²)	경시적 초장 (월일, cm)				경시적 경수 (개/m ²)			
			6.25	7.7	7.22	8.8	6.25	7.7	7.22	8.8
건답멀칭	2.2	156 ^b (7.8)	21.3	41.4	66.0	81.1 ^c	159	234	231	228 ^c
무논점파 (철분)	2.0	181 ^a (8.6)	31.3	54.4	79.6	96.3 ^a	268	382	336	329 ^a
무논점파 (복토)	2.7	129 ^c (7.0)	31.3	52.7	76.7	93.0 ^b	203	296	294	280 ^b

^aIn a column, means followed by the same letter are not significantly different by DMRT at the 5% level.

파종 후 45일 벼 생육은 Fig. 6에서 보는 바와 같이 비교적 양호한 편이었다. 파종 후 64일 생분해 필름의 분해 정도는 Fig. 6에서 보는 바와 같이 분해가 많이 일어나지 않아 비교적 잡초발생을 제어하는 것으로 나타났다. 벼 생육은 앞 부위 멀칭작업 공간으로 인한 부위를 고려할 경우 재배 가능성은 인정되었다. 벼 재배기간 경시적 초장 및 경수는 처리 간 통계적 유의성이 인정되었다. 멀칭 건답점파재배에서 문제점은 멀칭작업 시 트랙터 작업과정에서 시작지점과 간혹 발생하는 작업 중간 멈춤에서 재출발하는 과정 중 필름이 당겨져 필름 타공 위치와 파종된 종자의 불일치로 입모가 불량하거나 벼 생육이 다소 부진한 부위가 발생되어 개선점으로 나타났다. 하지만 벼 생육 중

기 이후 공시한 필름의 급속한 분해로 잡초 발생이 크게 증가하였다. 이는 필름의 수지성분, 성형방법에 따라 분해속도가 다르다는 보고와 유사하였다(Sun 등, 2019). 따라서 이에 대한 생분해 필름 후속 연구가 요구되었다. 벼 출수기 생육 및 수량조사는 필요성이 인정되지 않아 조사하지 않았다.

3. 경제성 분석

생분해성 필름을 이용한 멀칭직파 방법별 초기 본답재배기간 직접생산비는 Table 3과 같다. 범씨 부착 멀칭점파방법의 10a당 농자재비 등 비용은 155,947~174,300원이었으나, 개발한 멀칭동시 건답점파기를 이용한 멀칭동시 건답점파방법은



멸칭건담점파(7월 7일, 파종후 45일)



멸칭건담점파(7월 26일, 파종후 64일)



멸칭건담점파(8월 8일, 파종후 77일)



Fig. 6. A view of weed control and rice growth by biodegradable film in dry hill seeded rice

148,300원으로 7,647 ~ 26,000원이 적었으며 기 계이양 대비 30% 정도 많았다. 이는 본 시스템이 실용화될 경우 대량 생산 및 친환경, 탄소배출 저 감 기술에 의한 재배농가의 보조금 정책으로 보 급의 가능성이 있음을 확인하였다.

생분해 필름 및 멸칭건담점파기의 개발을 통한 실증시험 결과 건담멸칭점파기 안전장치, 필름절 단 장치, 작업선긋기 장치 등의 보완·개발이 필요 하였으며 생분해 필름의 빠른 분해로 벼 생육 중 후기 잡초 발생의 과다 문제는 생분해 필름의 강 도 강화 등으로 해결해야 할 문제점으로 나타났 다(대산농촌문화상수상자회 및 사단법인 한국농업 경영포럼, 2015). 생분해 필름이 벼 생육기간 중 건담상태로 관리기간이 길 때에는 벼 수확기까지 분해되지 않고 잔존해 있는 부분이 많아 다른 피 해를 우려하는 농가도 있으므로 이에 대한 보완 연구도 필요하였다. 생분해성 필름멸칭은 지온 상

승으로 밑거름으로 준 완효성 비료가 빨리 분해 되므로 초기에 벼 생육이 과번무하여 잎도열병이 발생하였고, 생육후기에는 비절현상이 나타나 이 에 대한 전용 비료 개발이 필요할 것으로 사료되 었다.

IV. 적요

생분해성 필름에 종자를 부착하여 논 표면에 퍼는 멸칭 건담 및 습담 점파기술은 2015년 주요 곡물·조사료지급률제고사업단, 농촌진흥청 등에서 현장 실증시험을 실시하였다. 그러나 파종 후 관 개하였을 때 필름이 뜨는 문제점으로 입모 불안 정, 종자 부착에 따른 비용 및 불편 등 문제가 많 았지만, 필름이 뜨지 않게 초기 물관리 등을 잘한

Table 3. A comparison of input cost under different rice growing methods(Unit: Won/10a, The monetary unit of Korea)

항목	세부내용	기계이양 ²⁾	볍씨부착 멀칭점파		멀칭동시 건답점파
			건답	습답	
본답 준비 ¹⁾	논갈이 1회, 무논씨레 2회, 기비 (유류비)	3,500	-	-	-
	마른로터리 2회, 기비(유류비)	-	2,000	2,000	2,000
	1차 제초제(론스타)	11,000	0	0	0
종자준비·파종작 업·육묘	종자비, 육묘용 상토 육묘상자, 부직포, 기타	45,000 (1,500립/상자 × 30상자/10a)	6,300 (4kg/10a)	6,300 (4.2kg/10a)	6,300 (4.2kg/10a)
기계 이양 / 직파 작업	육묘상자 운반(2회)		-	-	-
	원료(10~12㎜압출, 수지량 12~14kg/10a, 5,000원/kg) ³⁾	-	62,000~ 72,800	62,000~ 72,800	62,000~ 72,800
	성형 필름(롤, 10a) ⁴⁾	-	150,000	147,647	100,000
	볍씨부착	-	(20,000)	(30,000)	0
	이양/파종 작업	40,000	40,000	40,000	40,000
초기본답관리	2차 제초제	15,000	0	0	0
계	-	114,500 (100)	174,300 (152)	155,947 (136)	148,300 (130)

¹⁾본답준비~초기 본답관리까지

²⁾전공심화과정 대상 조사(한국농수산대학 졸업생 15명 평균, 전국)

³⁾삼성정밀화학(염○○ 주임)

⁴⁾일신화학(정○○ 부장)

() : 볍씨 부착비는 성형 필름 비용에 포함

포장에서는 기존 건답직파, 무논점파 등과 수량이 거의 같거나 높은 것으로 나타나 이러한 문제점을 보완하면 가능성이 있는 기술로 판단되었다.

2016년 멀칭필름에 종자를 부착하는 방법과 다른 필름을 피복하면서 종자를 점파하는 방법으로 한국농수산대학에서 창안하여 국내 비닐멀칭 농업기계 생산 전문업체와 산학공동연구하여 제작한 멀칭건답점파 시작기에 생분해 필름 원료 공급 및 성형 전문업체와 협업으로 실증시험을 실시한 결과 멀칭 건답점파기는 필름절단장치, 작업 선긋기 장치, 안전장치 등을 보완하여 실용화의 가능성이 인정되어 개발을 완료하였다. 하지만 시험에 사용한 생분해 필름은 두께, 성분조성, 물리성 등이 약한 것으로 사료되었으며 특히 담수환

경 논 조건에서 빠른 분해로 발생된 잡초가 필름을 뚫고 올라와 7월 하순 잡초 발생이 심하여 문제점으로 나타나 이에 대한 후속 연구가 요구되었다.

V. 참고문헌

1. 농림축산식품부. 2017. 벼 최적 직파재배모델 개발 최종보고서. p. 195.
2. 대산농촌문화상수상자회.사단법인 한국농업경영인포럼. 2015. 벼 직파재배 및 이모작 영농 기술 현장 컨설팅 제2차년도 사업보고서. p. 98.
3. 박광호, 박성태. 2016. 잡초성벼(앵미)와 잡초

- 방제를 위한 모내기 같은 5가지 벼 직파신기술. 한국농수산대학·주요곡물조사료자급률사업단.
4. 박광호, 박성태, 신용광, 안수경, 박종산, 박선재. 2016. 최적 벼 직파재배 모델 개발 I. 주요 곡물조사료자급률사업단 과제 보고서.
 5. 백채훈, 박태선. 2016. 벼 직파재배 논에서 생분해성 비닐 피복의 잡초발생 억제 및 벼 생육특성 효과구명. 국립식량과학원 시험연구보고서. pp. 673-754.
 6. 한국농수산대학. 2017. 생분해성 필름이용 벼 직파재배 연구개발. p. 122.
 7. 한상익, 강향원, 장기창, 서우덕, 오성환, 나지은, 이형운, 정미남, 최경진. 2012. 벼 부산물을 함유한 생분해성 멀칭비닐의 포장 재배조건에서의 특성 및 분해력 연구. 한국작물학회지 57(2):99-105.
 8. 한상익, 강향원, 변대우, 장기창, 서우덕, 나지은, 김준영, 최경진. 2011. 벼 부산물을 함유한 생분해성 필름의 기계적 성질 및 분해 특성. 한국작물학회지 56(2). 113-118.
 9. Chen, N., X. Li, H. Shi, J. Yan, Q. Hu and Y. Zhang. 2021. Modeling maize evapotranspiration and associated processes under biodegradable film mulching in an arid dripped field. Agricultural and Forest Meteorology. 297 : 108247.
 10. Kang, C. K. and H. S. Nam. 2012. Development of naturally degradable polymer for the organic weed management. Korean J. Crop Sci. 32(2) : 56-64.
 11. Lee, I. Y., N. I. Park, S. H. Ji, O. S. Kwon, J. E. Park and K. I. Jung. 2005. Effect of recycled paper mulching on weeding efficacy and rice growth in the transplanted rice field. Korea Journal of Weed Science 25(2) : 98-102.
 12. Kasirajan S. and M. Ngouajio. 2012. Polyethylene and biodegradable mulches for agricultural applications: a review. Agron. Sustain. Dev. 32: 501-529.
 13. Shen et al. 1997a. Test and demonstration on wet-cultivation with film mulching of rice. Hubei. Agric. Sci. 5 : 18-22.
 14. Shen et al. 1997b. Preliminary report on wet-cultivation with film mulching of rice. Hubei. Agric. Sci. 5 : 6-8.
 15. Sun, Y., W. Mi, L. Su, Y. Shan, L. Wu. 2019. Controlled-release fertilizer enhances rice grain yield and N recovery efficiency in continuous non-flooding plastic film mulching cultivation system. Field Crops Research 231 : 122-129.
 16. Zhang G., Y. Yang, Q. Huang, J. Ma, H. Yu, K. Song, Y. Dong, S. Lv and H. Xu. 2020. Reducing yield-scaled global warming potential and water use by rice plastic film mulching in a water flooded paddy field. European Journal of Agronomy. 114 : 126007.
 17. Zhang, Y., M. Liu, M. Dannenmann, Y. Tao, Z. Yao, R. Jing, X. Zheng, K. Butterbach-Bahl, and S. Lin. 2017. Benefit of using biodegradable film on rice grain yield and N use efficiency in ground cover rice production system. Field Crops Research. 201 : 52-59.

논문접수일 : 2021년 5월 7일
 논문수정일 : 2021년 6월 7일
 게재확정일 : 2021년 6월 14일