최 종
연구보고서

108111-2

기능성 생분해 피복재를 활용한 친환경 벼 직파 재배기술 개발

Development of environment-friendly direct seeding cultivation of rice by the functional biodegradable mulching material

윤농바이오

농림수산식품부

제 출 문

농림수산식품부 장관 귀하

이 보고서를 “기능성 생분해 피복재를 활용한 친환경 벼 직파 재배기술 개발” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2010년 1월 12일

주관연구기관명 : 윤농바이오
주관연구책임자 : 김 윤 수
협동연구기관명 : 충북대학교
협동연구책임자 : 홍 순 달
협동연구책임자 : 조 성 찬
연 구 원 : 강 태 환
연 구 조 원 : 녕 효 봉
연 구 조 원 : 심 재 식
연 구 조 원 : 이 정 환
연 구 조 원 : 채 희 재
연 구 조 원 : 신 수 정
연 구 조 원 : 박 종 원
연 구 조 원 : 남 원 순
연 구 조 원 : 이 상 태

요 약 문

Ⅰ. 제 목

기능성 생분해 피복재를 활용한 친환경 벼 직파 재배기술 개발

Ⅱ. 연구개발의 목적 및 필요성

현재 벼 직파재배는 친환경 및 노동력 절감 등의 사회여건 변화와 쌀 산업의 국제 경쟁력 제고 등에 대한 필요성이 대두되어 벼농사의 저비용 기술로서 정책적인 시험연구로 수행되어 왔다. 특히 쌀은 우리의 주식으로서 매년 영농비용 중 인건비 및 자재비용은 증가하는 추세이고, 친환경 벼 재배에서 가장 어려운 점의 하나는 잡초방제이며 이는 또한 전체 생산비에서 차지하는 비중이 높다. 그러므로 쌀 생산의 경쟁력을 확보하기 위하여 생산비 절감 및 안전성을 도모할 수 있는 친환경적 벼 직파재배기술이 확립되어야 한다. 따라서 본 연구에서는 기능성 생분해 피복재 생산기술 및 농기계 부착형 생분해 피복재 전용 벼 직파기 개발하여 친환경 벼 직파재배 기술 확립을 목적으로 하였다.

Ⅲ. 연구개발 내용 및 범위

가. 생분해 피복재와 직파기 개발 및 친환경 벼 직파재배 기술 확립(1차년도)

○ 다양한 생분해성 재료들의 피복재 대체효과
○ 선정된 생분해 재료들의 배합비율에 따른 피복재 특성
○ 피복재에 따른 벼 발아율 및 벼 잡초 방제효과
○ 피복재의 유기물 분해특성 및 피복재 유기물과 질소 첨가에 따른 토양의 물리 화학성 변화
○ 피복재료 후막특성에 따른 생분해 속도, 인장강도, 신장율 평가
○ 피복재 후막특성에 따른 직파기의 장력 조절기능 개발
○ 6조 직파기(작업 폭: 2m)에서 피복재료 후막특성에 따른 파종능률 65a/hr, 파종속도 0.3 ㎳ 이상, 파종정밀도 95% 이상의 사양으로 개발

나. 생분해 피복재와 직파기 보완 개발 및 친환경 벼 직파재배 기술 확대 보급(2차년도)

○ 생분해 피복재의 효율적 생산기술 개발
○ 노동력 절감효과 및 생산성 증대효과
○ 토양조건별 피복재 직파기의 파종효률 및 발아율 평가
○ 6조 직파기(작업 폭: 2m)에서 적정 피복재료 후막특성 및 토양조건에 따른 파종능률

90a/hr, 파종속도 0.4㎞/s 이상, 파종정밀도 95% 이상의 사양으로 개발

○ 적정 피복재 후막특성 및 토양조건에 따른 직파기의 장력 조절기능 보완

○ 농기계 종류별 부착에 따른 호환성 평가

Ⅳ. 연구개발 결과

가. 기능성 생분해 피복재 개발

기능성 생분해 피복재 개발은 환경오염 방지 및 벼 생산비 절감을 위하여 미생물에 의해 분해가 가능한 폐기 목화솜, 동물성 아교(우피), 식물성 아교(다시마), 광물질(제올라이트)을 사용하여 피복재를 개발하는 것을 목적으로 하였고, 생분해 피복재 조제성분 차이에 따른 인장강도, 공기투과도, 생분해 속도 및 화학성분 변화를 분석하였다. 그 결과, 폐기 목화솜의 함량이 5% 높은 생분해 피복재 샘플 8706이 샘플 8013보다 인장강도가 높은 것으로 나타났지만, 생분해 피복재 분해도에 영향을 미치는 공기투과도에서는 생분해 피복재 샘플 8706이 샘플 8013보다 더 낮은 것으로 나타났다. 따라서 생분해 피복재의 폐기 목화솜 함량이 높을수록 벼 직파 작업시 피복재의 파열 등의 물리적 특성으로 인한 작업성 향상이 높을 것으로 사료되지만 생분해 피복재의 분해성을 고려할 경우 폐기 목화솜 함량의 적정한 조절이 필요할 것으로 사료된다. 한편, 생분해 피복재의 분해속도는 포장에 따라 차이가 있지만 약 85~90일 정도에서 완전히 분해되는 것으로 나타났다.

이상의 결과로부터 생분해 피복재 조성성분은 벼 직파시 작업성과 분해성 및 화학성분을 고려할 때 폐기 목화솜의 함량이 87% , 동물성 아교(우피) 함량이 6%, 식물성 아교(다시마) 함량이 5%, 광물질(제올라이트) 함량이 2% 정도가 적정한 것으로 판단된다.

나. 생분해 피복재의 직파재배 효율성 평가

제초제를 사용하지 않는 벼의 친환경재배방법으로 생분해 피복제의 활용성을 평가하기 위하여 토양피복제 흑색, 청색, 적색, 흰색 등 4종의 생분해 피복제를 공시하여 잡초 방제율과 벼 생산성 및 토양화학성 변화를 조사하였다.

생분해 피복제는 목화, 다시마, 우피, 점토광물을 이용하여 제조한 특허 시제품을 파종전에 피복하여 추청벼 직파재배로 2009년부터 2년간 수행하였다.

2년간 공시된 4가지 생분해 피복제의 양분함량은 제품 조성의 차이로 전질소 함량 0.83%에서 1.95%, 칼륨은 0.28%에서 0.54%의 분포를 보였으며 인산은 0.1%% 이하로 낮은 함량을 보였다. 단위면적당 중량감소 비율로 나타낸 생분해 피복재의 분해율은 2009년 및 2010년 모두 검정색 제품이 가장 느렸으며, 파종 후 90일째는 모든 피복제가 형체를 확인할 수 없을 만큼 완전하게 분해되었다. 분해율이 가장 느렸던 검정색 생분해 피복제는 연차 간에 동일하게

잡초방제 효과가 가장 양호하였다. 또한 2009년도 제조된 검정색 피복제는 재료 중 질소함량이 유의성 있는 차이로 가장 양호하였다. 이는 검정색 피복제가 잡초방제뿐 아니라 양분첨가에 의해 벼의 생체량이나 수량이 증가된 것으로 생각되었다. 따라서 검정색 생분해 피복제는 잡초방제효과 뿐 아니라 양분 첨가효과가 인정되어 친환경 벼 직파재배에 활용 가능한 것으로 평가되었다.

다. 피복재 및 농기계 특성별 파종기의 효율성 평가

기능성 생분해 피복재를 활용한 친환경 벼 직파 재배기술 개발의 일환으로서 기존의 멀칭재료의 단점을 보완하기 위하여 친환경적인 생분해 피복재 전용 직파기[길이(1600 ㎜)×폭(2200 ㎜)×높이(1400 ㎜)]를 개발하였다.

2009년도 연구에서 개발된 생분해 피복재 전용 벼 직파기는 파종속도가 평균 0.36㎧로 나타났다. 시간당 파종 면적은 1회 직파 작업과 유턴 시간을 고려하면 시간당 파종면적은 16.9a가 되는 것으로 나타났다. 파종 정밀도는 전체 포장에서 결주가 약 3% 내외로 개발된 생분해 피복재 전용 벼 직파기의 파종 정밀도는 매우 높은 것으로 나타났다.

2010년도 연구에서는 직파율과 입모율 뿐만 아니라 직파시간을 단축하기 위하여 볍씨를 직접 생분해 피복재에 접착제인 젤라틴으로 부착하여 파종하는 방식으로 개발하였다. 주요 구성부로는 생분해 피복재 지지대, 볍씨 공급 장치, 제올라이트 공급 장치, 젤라틴 공급장치, 생분해 피복재 일정속도 공급 장치 및 생분해 피복재 절개 장치로 구성되어 있다. 또한 직파실험 결과, 생분해 피복재 전용 벼 직파기의 파종속도는 1회 80m 직파시 소요된 시간은 약 190초로서 파종속도가 평균 0.42㎧로 나타났다. 파종 정밀도도 전체 포장에서 결주가 약 3% 내외로 나타나 개발된 생분해 피복재 전용 벼 직파기의 파종 정밀도는 매우 높은 것으로 판단된다.

Ⅴ. 연구성과 및 성과활용 계획

○ 제초효과가 확실한 생분해 피복재가 개발된다면 제초제를 사용하지 않는 무농약농산물이나 유기농산물 등의 친환경농산물 생산기술뿐 아니라 모든 농산물 재배에 확대 적용하여 작물의 생산성 증대와 함께 농촌 노동력 절감에 크게 기여할 수 있다.

○ 현재 모든 작물의 멀칭재배에 활용되는 비닐을 대체한 멀칭재배법으로 잡초방제 및 유기질비료 시용효과뿐 아니라 작물재배 후에 버려지는 폐비닐의 환경문제도 해결할 수 있는 명실상부한 친환경농업의 실천적 기술로 확립될 수 있다.

○ 고 품질 쌀 생산을 위한 새로운 친환경 벼 직파재배기술을 확대 보급하여 난립하고 있는 친환경 쌀 생산기술의 문제점을 해결할 수 있을 것으로 사료된다.

○ 기능성 생분해 피복재를 활용한 친환경 작물재배 기술로서 벼와 밭작물을 포함한 모든 작

물의 친환경 농산물 생산기술로 확대할 수 있다.

○ 모든 농기계에 부착할 수 있는 생분해 피복재 전용 벼 직파기를 개발하여 기능성 생분해 피복재를 활용한 친환경 재배의 작목별 활용성을 증대시킨다.

SUMMARY

Ⅰ. Title

Development of environment-friendly direct seeding cultivation of rice by the functional biodegradable mulching material

Ⅱ. Objective and necessity of R/D

With the emergence of social environmental changes, such as the demand for environment-friendly agriculture, labor reduction and the establishment of an internationally competitive rice cultivation industry, direct rice seeding has been conducted as a pilot study according to the national policy. Labor and material costs involved in the cultivation of rice, which is the principal Korean food, continue to increase every year. One of the most serious difficulties in environment-friendly rice cultivation is weed control, which accounts for a high portion of the total production cost. Therefore, an environment-friendly direct rice seeding technique must be established to achieve low production cost and high safety and to ensure competitive rice production. In this study, functional biodegradable mulching material production technology and a machine-attached direct rice seeder for biodegradable mulching material were developed to establish the environment-friendly direct seeding cultivation technology.

Ⅲ. Contents and scope of R/D

A. Development of the biodegradable mulching material and direct seeder and the establishment of environment-friendly direct rice seeding technology (first year)

- ○ Effects of the replacement of mulch by diverse biodegradable materials
- ○ Mulch characteristics according to the mixing ratio of selected biodegradable materials
- ○ Rice germination rate and weed control according to mulch
- ○ Degradation characteristic of organic mulch and the physiochemical changes in soil according to the addition of organic matter and nitrogen

○ Evaluation of biodegradation speed, tensile strength, and elongation according to mulch film characteristics

○ Development of the tension control function of the direct seeder according to the characteristics of the mulch film

○ Development of a six-row direct seeder (working width: 2 m) with a seeding efficiency of 65 a/hr, a seeding speed of 0.3 ㎧, and a seeding accuracy of 95%, according to mulch film characteristics

B. Supplemental development of biodegradable mulching material and direct seeder and distribution of the environment-friendly direct rice seeding technology (second year)

○ Development of efficient biodegradable mulching material production technology

○ Labor reduction and production increase

○ Evaluation of seeding efficiency and germination rate of the direct seeder with mulch according to soil conditions

○ Development of a six-row direct seeder (working width: 2 m) with a seeding efficiency of 90 a/hr, seeding speed of 0.4 ㎧, and seeding accuracy of 95 %, according to the characteristics of the proper mulch film and soil conditions

○ Supplement of the tension control function of the direct seeder according to characteristics of the proper mulch film and soil conditions

○ Compatibility test by applying the technology to different agricultural machines

Ⅳ. Result of R/D

A. Development of functional biodegradable mulching material

The functional biodegradable mulching material was developed to prevent environmental pollution and reduce rice production cost using waste cotton, animal glue (oxhide), vegetable glue (sea tangle) and mineral (zeolite), which are degraded by microorganisms. The effects of biodegradable mulching material ingredients on the tensile strength, air permeability, biodegradation speed and chemical changes

were analyzed. The tensile strength of the biodegradable mulching material sample 8706 , whose waste cotton content is 7% higher than that of the biodegradable mulching material sample 8013, had a higher tensile strength. However, the air permeability, which influences the degradability of the biodegradable mulching material, was higher in 8706 than in 8013. Therefore, it is expected that higher waste cotton content in biodegradable mulching material increases workability in terms of physical characteristics, including mulch tear during direct rice seeding. However, the waste cotton content should be controlled considering the decomposition rate of biodegradable mulching material. The decomposition speed of biodegradable mulching material differs according to the field, but generally mulch was completely degraded in 85–90 days.

The results show that the proper ingredient contents for biodegradable mulching material are 87% waste cotton, 6% animal glue (oxhide), 5% vegetable glue (sea tangle), and 2% mineral (zeolite), considering the workability in direct seeding, decomposition and chemical ingredients.

B. Evaluation of the direct seeding efficiency of biodegradable mulching material

Application of biodegradable mulching materials as a method of environmental friendly rice cultivation by direct seeding were evaluated for the capacity of weed control and rice(chucheong) production. Four types of biodegradable materials classified by color; black, red, blue, and white, respectively were treated with non mulching condition to investigate biomass production, weed development, decomposition rate of biodegradable mulching materials, and soil chemical properties. The biodegradable mulching materials experimented for two years were contained nutrients showing the range of 0.83%~1.95% for total nitrogen, 0.28%~0.54% for potassium, and less than 0.1% for phosphorus. Decomposition rate calculated from percent loss weight of mulching material expressed by weight per unit area(g/cm^2) showed the slowest progression in black color biodegradable mulching material for two years. From the result, amount of development of weed during the growing

season in the plot of black mulching material was the least. Consequently fresh weight, dry weight, panicle weight, and crude grain yield of rice were the best in the plot of black mulching material, especially showing the significant difference among the treatments in 2009. As a combination result, it was thought to be possible to apply the biodegradable mulching material for environmental friendly rice cultivation by direct seeding.

C. Evaluation of seeder efficiency according to the mulch and agricultural machine

In the research in 2009, as part of the direct seeding technique of paddy that uses environment-friendly biodegradable mulching material, an environment-friendly exclusive direct seeder for biodegradable mulching material [L×W×H:1600㎜×2200㎜ ×1400㎜] was developed to address the disadvantages with the use of existing mulching materials. The average seeding speed of the developed exclusive direct seeder for biodegradable mulching material was 0.36 ㎧. Seeding area per hour was 16.9 a, considering one direct seeding and U-turn time. The seeding accuracy of the developed exclusive direct rice seeder for biodegradable mulching material was very high, with a missing plant rate of about 3% over the entire field.

In the research in 2010, direct seeder developed for improvement of the direct seeding speed by the method of put the paddy on biodegradable mulching material using adhesive(gelatin). The developed direct seeder installed ring support of biodegradable mulching material, paddy input equipment, zeolite input equipment, adhesive(gelatin) input equipment, biodegradable mulching material input speed control equipment and biodegradable mulching material cutting equipment. The average seeding speed of the developed exclusive direct seeder for biodegradable mulching material was 0.42 ㎧. The seeding accuracy of the developed exclusive direct rice seeder for biodegradable mulching material was very high, with a missing plant rate of about 3% over the entire field.

Ⅴ. Research Results and Application Plan

○ A developed biodegradable mulching material with a strong weeding effect can be applied to all agricultural products, as well as to environment-friendly agricultural products, including pesticide-free or organic agricultural products, to improve productivity and reduce rural labor.

○ This method can be a practical environment-friendly agricultural technology that can address the matters of weed control, organic fertilizer effect, and vinyl product waste, by replacing vinyl products for mulching cultivation.

○ Problems with many environment-friendly rice production technologies can be solved with the use of the new environment-friendly direct rice seeding technology for high-quality rice production.

○ As an environment-friendly crop cultivation technology that uses functional biodegradable mulching material, this method can be applied to all crops, including rice and field crops.

○ By developing an exclusive direct rice seeder for biodegradable mulching material that can be attached to all agricultural machines, the environment-friendly crop cultivation with functional biodegradable mulching material can be applied to more crops.

CONTENTS

Chapter I Introduction ····1

Chapter II Research development status ····3

Chapter III Results and discussions ····5

Section 1 Development of biodegradable mulching material and evaluation of physical characteristics ····5

1. Development of biodegradable mulching material ····5

2. Evaluation of physical characteristics ····8

1) Tensile strength ····8

2) Bursting strength ····8

3) Air permeability ····8

3. Results and discussion ····9

1) Tensile strength ····9

2) Bursting strength ····11

3) Air permeability ····13

3) Decomposition rate in the field ····15

4. Conclusion ····18

Section 2 Development of direct seeder only for biodegradable mulching material ··19

1. Development of direct seeder in 2009 ····19

1) Ring support of biodegradable mulching materials ····20

2) Soil cover ····21

3) Height controller of paddy sowing equipment ····21

4) Guide of biodegradable mulching material ····22

5) Seed tank and seed sowing equipment ····23

2. Development of direct seeder in 2010 ····24

1) Paddy attachment equipment ····25

2) Biodegradable mulching material input speed control equipment ····27

3) Biodegradable mulching material cutting equipment ····28

3. Evaluation of direct seeder only for biodegradable mulching material ····· 29
4. Conclusions ····· 33

Section 3 Direct sowing cultivation efficiency evaluation of biodegradable mulching material ····· 34
1. Purpose of research ····· 34
2. Materials and Methods ····· 34
1) Variety of paddy ····· 34
2) Materials ····· 34
3) Experimental soil ····· 35
4) Method of direct sowing cultivation ····· 36
5) Investigation item ····· 36
6) Notice ····· 36
3. Results and discussion ····· 37
1) Initial growth and germination of paddy ····· 37
2) Middle growth of paddy ····· 43
3) Decomposition rate ····· 49
4) Development of weed ····· 50
5) Yield and Nutrients contents ····· 52
6) Chemical properties of soil ····· 60
4. Conclusions ····· 61

Chapter Ⅳ Research goal attainment and contribution to related area ····· 62

Chapter Ⅴ Plan for application of research results ····· 65

Chapter Ⅵ References ····· 67

목 차

제 1 장 연구 개발과제의 개요 ····· 1

제 2 장 국내외 기술개발 현황 ····· 3

제 3 장 연구개발 수행내용 및 결과 ····· 5
제 1 절 생분해 피복재 개발 및 물리적 특성평가 ····· 5
1. 생분해 피복재 개발 ····· 5
2. 생분해 피복재 물리적 특성 평가 ····· 8
가. 인장강도 ····· 8
나. 파열강도 ····· 8
다. 공기투과도 ····· 8
3. 결과 및 고찰 ····· 9
가. 인장강도 ····· 9
나. 파열강도 ····· 11
다. 공기투과도 ····· 13
라. 포장에서의 생분해 피복재의 분해속도 ····· 15
4. 요 약 ····· 18
제 2 절 생분해 피복재 전용 벼 직파기 개발 ····· 19
1. 2009년도 벼 직파기 개발 ····· 19
가. 피복재 고정대 및 받침대 ····· 20
나. 흙 덮개 ····· 21
다. 벼 파종장치 높이 조절장치 ····· 21
라. 피복재 가이드 ····· 22
마. 종자통과 벼 파종장치 ····· 23
2. 2010년도 벼 직파기 개발 ····· 24
가. 생분해 피복재 볍씨 부착장치 ····· 25
나. 생분해 피복재 공급 속도 조절 장치 ····· 27
다. 생분해 피복재 절개 장치 ····· 28
3. 생분해 피복재 전용 벼 직파기 성능 평가 ····· 29
4. 요 약 ····· 33

제 3 절 생분해 피복재의 직파재배 효율성 평가 ····· 34
1. 연구 목적 ····· 34
2. 재료 및 방법 ····· 34
가. 공시품종 ····· 34
나. 공시재료 ····· 34
다. 공시토양 ····· 35

라. 직파재배방법 ····· 36
마. 조사항목 ····· 36
바. 경종사항 ····· 36
3. 결과 및 고찰 ····· 37
가. 발아 및 초기생육 ····· 37
나. 중간 생육 ····· 43
다. 피복제 분해율 ····· 49
라. 잡초 발생량 ····· 50
마. 수확기 수량 및 양분흡수량 ····· 52
바. 시험후 토양 화학성 ····· 60
4. 요약 및 결론 ····· 61

제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도 ····· 62
1. 연구개발 목표의 달성도 ····· 62
2. 관련분야의 기여도 ····· 63
가. 벼 직파재배시 노동력 및 생산비 절감과 경쟁력 확보 ····· 63
나. 안전 안심의 고품질 벼 생산으로 고부가가치 창출 ····· 63
다. 친환경적인 벼 재배기술 개발로 인한 환경문제 해결 ····· 64

제 5 장 연구개발 성과 및 성과활용 계획 ····· 65
1. 연구개발결과의 활용방안 ····· 65
2. 기대성과 ····· 66
가. 기술적 측면 ····· 66
나. 경제적·산업적 측면 ····· 66

제 6 장 참고문헌 ····· 67

제 1 장 연구 개발과제의 개요

우리나라의 농업은 노동력 부족, 생활수준 향상으로 인한 농산물의 안전성 및 환경오염 등에 대한 인식이 높아지고 있다. 특히 쌀은 우리의 오랜 주식으로서 매년 영농비용 중 인건비 및 자재비용은 증가하는 추세이다. 따라서 쌀 생산의 경쟁력을 확보하기 위하여 생산비 절감 및 안전성을 도모할 수 있는 벼 직파재배기술이 확립되어야 하고, 국내에서도 많은 연구가 이루어져 왔다(김 등 1996). 벼의 직파재배는 벼 재배방법 중에서 노동력 절감이 가장 크게 기대되는 방법으로서 못자리 재배를 생략할 수 있는 재배방법이다(문 등 2003). 직파재배 방법으로는 무논직파와 건답직파가 있고, 최근에는 직파재배 기술과 함께 멀칭기술을 접목시켜 벼뿐만 아니라 일반 밭작물의 파종에도 널리 이용되고 있다. 멀칭이란 작물을 재배하는 지표면을 왕겨, 짚, 종이, 비닐 등으로 피복하는 작물 재배방법으로서 지온조절, 토양수분 보존, 양분의 유실방지, 잡초제거 효과 등 작물의 환경요인을 조절하는 기능을 수행한다(최 등 2000). 현재 가장 많이 이용되고 있는 멀칭재료로는 폴리에틸렌 필름이 저렴한 가격, 내구성 및 사용의 편리성 등의 이유로 가장 많이 사용되고 있다. 그러나 토양에서의 난분해성, 수확 후 제거해야하는 번거로움과 환경오염 등의 문제로 멀칭 재료에 대한 연구가 많이 변화하고 있다. 이러한 연구 결과로서 생분해성 및 광분해성 멀칭재료의 개발과 함께 일반 적으로 상용화 된 것이 종이이다. 종이는 단순히 폴리에틸렌 필름에 비하여 분해성이 좋다는 장점이 있지만 보온성이 떨어지는 단점이 있다. 또한 자체 분해에 의한 퇴비효과가 미약하여 다른 비료를 종이에 도포하여 사용하거나 따로 추비를 해야 하는 번거로움이 있다(Anderson 등 1995; Schonbeck 등 1995). 현재 벼 직파재배는 사회여건 변화와 쌀 산업의 국제 경쟁력 제고 등에 대한 필요성이 대두되어 벼농사의 저비용 기술로서 정책적인 시험연구로 수행되어 왔다. 그 결과 농작업기의 대형화에 따라 벼 직파 작업시간은 10 a당 21시간이 소요되고, 중묘기계 이앙대비 37%가 절감되었다(황 등 2003).

한편, 기존 벼 직파 작업의 문제점으로는 볍씨의 상태 및 포장의 상태에 따라 배종관이나 파종 롤러에 막힘으로서 미파종에 의한 작업능률 저하를 들 수 있다(김 등 1995). 또한, 직파 재배 논에서 발생하는 잡초는 일반 이앙재배 논에서 발생하는 C_3형 잡초보다 생존력이 C_4형 잡초(피, 드렁새, 강아지풀, 왕바랭이, 잡초성벼, 자귀풀)가 발생하는 것으로 보고되고 있다(황 등 2003). 따라서 이와 같은 입모율, 잡초 방제 및 종자 손실 등의 문제점을 개선하기 위한 방안으로서 벼 종자의 코팅, 정제화 및 펠렛화, 벼 종이멀칭 재배에 대한 연구가 수행되어 왔다(박 등 2002). 특히 벼 종이멀칭 재배는 잡초방제를 위하여 제초제를 사용하지 않고 친환경적으로 안전한 농산물을 생산한다는 점과 대체 자재로서 벼 생산비 중 농약과 같은 농자재비의 경감

을 위한 기술로서 연구 개발되었다(이 등 2005). 그러나 개발된 멀칭용 종이는 자체 분해에 의한 퇴비효과가 미약하여 비료를 종이에 도포하여 사용하거나 따로 비료를 살포해야 하는 번거로움이 있고, 피복재료의 물리적 특성과 함께 무논직파와 건답직파를 동시에 수행할 수 있는 직파기 개발은 미흡한 실정이다.

한편, 친환경 벼 재배에서 가장 어려운 점의 하나는 잡초방제이며 이는 또한 전체생산비에서 차지하는 비중이 높다. 제초제를 사용하지 않고 벼를 재배하는 친환경재배에서 잡초방제방법으로 활용되는 방법이 우렁이농버, 쌀겨농법, 오리농법 등이 있다. 우렁이농업의 재배면적은 2000년 179 ha에서 2007년 48,437 ha로 크게 증가되고 있으나 사용되는 왕우렁이가 생태계 위해성 2등급으로 분류되어 생태환경에 부정적 인식이 높아가고 있다. 오리농법은 2008년 유행성 조류독감 발생에 따른 오리의 방사가 엄격하게 통제되고 있을 뿐 아니라 오리 분뇨물질에 의한 양분추가 문제 및 수자원환경 문제와도 관련되어 있는 실정이다. 그리고 쌀겨농법은 쌀겨에 의한 수막형성으로 광을 차단하여 잡초발아를 억제시키는 효과로 사용되고 있다. 그러나 쌀겨 추출물에 의한 벼 초기생육 억제 문제와 광 차단효과의 부진 등으로 잡초방제 효율성 저하뿐 아니라 쌀겨에 의한 양분추가 등이 문제가 되고 있다. 이와 같이 벼 친환경재배를 위한 잡초방제기술로 활용 가능한 기술들이 여러 가지 이유로 제한되고 있는 실정에서 본 연구에서 적용하려는 생분해 피복제 처리는 광 차단에 의한 잡초발생을 억제하는 측면에서 활용가능성이 큰 것으로 생각된다.

따라서 본 연구는 환경오염 방지 및 벼 생산비 절감을 위하여 미생물에 의해 분해가 가능한 천연물질을 사용하여 친환경적인 생분해 피복재를 개발과 기존의 멀칭재료의 단점을 보완하기 위하여 친환경적인 생분해 피복재 전용 직파기 개발 및 생분해 피복재를 활용한 친환경 벼 직파재배 기술을 확립하는 것을 목적으로 수행하였다.

제 2 장　국내외 기술개발 현황

현재 지구 온난화 현상 등 기후 변화 문제에 대처하기 위하여 세계적으로 환경문제에 큰 관심을 가지고 있다. 특히 기존의 화석 에너지 소비량을 줄이기 위한 친환경적인 에너지의 개발과 더불어 각 분야에서 친환경과 청정에너지 개발에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 국내의 경우에서는 정부에서 추진하고 있는 녹색 정책을 바탕으로 모든 산업분야에서 친환경적인 청정에너지 개발 및 환경보존에 박차를 가하고 있다.

농업분야에 있어서도 기존의 에너지 절감 대책과 함께 청정에너지 사용 등 기존에 요구되어져 왔던 에너지를 절감시키면서 환경에 부담을 주지 않는 방안 등이 모색되고 있다. 특히 쌀을 주식으로 하는 우리나라의 경우 벼농사 재배시 소요되는 농약, 비료 등의 투입 농자재의 절감과 자재를 위해 친환경 농법 등이 각광을 받고 있고, 많은 연구가 활발히 이루어지고 있다.

우선 국내 기술개발 현황으로서 최(2000) 등은 고지로 개발한 멀칭지, 이 멀칭지에 폐식용유를 처리한 멀칭지 및 요소를 피복한 멀칭지의 분해, 멀칭에 따른 잡초발생 억제 효과, 토양 온도에 대한 영향, 감자의 생육 및 수량에 대한 영향을 봄감자 재배에서 비교 검토 연구를 수행하였다. 그 결과, 토양 온도의 경우는 멀칭이 무멀칭보다 약 1.2~6.6℃ 높게 나타났고, 멀칭지 분해성은 일반 멀칭지가 멀칭 후 80일 경과에서 20%, 요소를 피복한 멀칭지가 50% 정도 분해되었고, 잡초발생을 억제시키는 것으로 보고하였다.

전(2006) 등은 벼 종이 멀칭 이앙재배시 벼 생육, 잡초 방제 및 시비효율 등을 고려한 적정 완효성 시리량 구명 연구를 수행하였다. 그 결과, 벼 종이멀칭 이앙시 모의 결주율은 무피복의 관행이앙과 차이가 없는 것으로 나타났고, 벼 수량 및 수량 구성요소, 잡초발생 및 방제가, 시비효율 등을 종합적으로 고려해 보면, 관행 질소 시비량의 80%를 완효성 비료로 이앙전에 밑거름으로 전층시비하는 것이 바람직한 것으로 보고하였다.

이(2009) 등은 고구마 멀칭재배에서 문제가 되고 있는 수확 전 멀칭비닐의 수거 노동력을 절감하고, 농촌 환경오염의 원인이 되고 있는 폐비닐 처리 등의 문제를 해결하기 위하여 고구마 멀칭재배에서 생분해성 플라스틱 피복재 이용 가능성을 검토하고자 수행하였다. 그 결과, 필름의 물성은, 생분해성인 PBSA와 PLC + Starch는 일반 멀칭재료인 LDPE에 비하여 인장강도는 2~27% 상승하였으나, 신율은 2~22% 낮았고, 인열강도도 2~6%가 낮았다. 생분해성 필름에 대한 용출시험에서는 중금속들이 아주 작거나 검출되지 않았고, 국내 환경마크협회가 정하는 생분해성 수지 제품에 대한 유해물질 함량기준을 충족하였다. 피복재별 괴근 수량은 멀칭재 료간에 뚜렷한 차이를 나타내지 않은 것으로 보고하였다.

이(2005) 등은 논에서 재생종이 멀칭을 제초제 처리와 비교하였을 때 잡초 억제효과와 벼의 생육 및 수량에 대한 연구를 수행하였다. 그 결과, 재생 종이 멀칭 처리에서는 햇빛 차단과 토

양내 산소 공급의 저하로 인하여 벼의 초기 생육이 억제되는 현상을 나타내었으나, 처리 30일 이후부터는 정상적인 생육을 나타내었다. 또한 전체 잡초 방제 효과는 78.2%로써 제초제 처리에서의 99.1%에 비해 낮은 것으로 나타났으나 경제적 피해한계 이내이었고, 후기 생육 및 수량은 재생종이 멀칭 처리에서 제초제 처리구와 비슷한 경향을 보였다고 보고하였다.

최(2004) 등은 승용이앙기(6조)에 종이를 멀칭할 수 있는 멀칭장치를 부착하여 종이를 멀칭하면서 이앙하는 종이멀칭이앙기를 개발하고자 하였다. 개발된 종이멀칭이앙기는 식부 속도 1단과 2단에서는 혈공된 종이가 67, 63mm로 비슷하였으나, 3단에서 찢어짐이 심한 것으로 보고하였고, 잡초발생 억제율은 무처리구와 비교하였을 때 93.3~98.2%로서 잡초 발생 억제 효과가 높은 것으로 나타났고 보고 하였다.

한편, 국외 기술개발 현황으로서 종이 멀칭은 1993년 일본의 鳥取대학의 津野교수에 의해 개발되었으며(Tsuno 1993), 여러 단체의 협조로 鳥取현 등 농업시험연구소에서 벼의 재생지 멀칭재배법을 확립시켰다(Umezaki and Ysuno, 1998). 이후 한국은 벼 직파재배에 주로 종이 멀칭지를 이용하는 추세이고, 일본의 경우 재생지를 이용하고 있으며, 중국의 경우에는 비닐 필름을 이용하여 벼 재배를 수행하고 있는 것으로 나타났다(Shen et. al, 1997a; Shen et. al, 1997b).

따라서 본 연구에서 개발하고자하는 생분해 피복재를 활용한 친환경 벼 직파 재배기술은 기존에 벼농사에 사용되었던 농약 및 비료 등의 절감과 더불어 벼 직파에 의한 노동력 절감 등의 효과를 기대할 수 있기 때문에 현재로서도 많은 관심이 모아지고 있는 실정이고, 친환경 농업을 위한 미래 지향적 관점에서 볼 때 많은 연구가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

제 3 장 연구개발 수행내용 및 결과

제 1 절 생분해 피복재 개발 및 물리적 특성 평가

1. 생분해 피복재 개발

생분해 피복재의 성분으로는 폐기 목화솜, 동물성 아교(우피), 식물성 아교(다시마), 광물질(제올라이트)를 이용하여 제조하였다.

생분해 피복재는 환경오염 방지 및 노동력 절감을 위하여 자연적으로 미생물에 의해 분해가 가능한 천연물질을 사용하여 제조한 것으로서, 자연부패를 통하여 퇴비화를 유도할 수 있도록 제조하였다. 또한 초기 이앙시 잡초 씨의 침투를 방지하고, 그늘 막을 형성함으로서 기존의 잡초 생장을 억제함으로서 제초효과를 극대화시켰으며, 통풍의 문제점을 보완하여 제작하였다.

사진 1은 생분해 피복재의 원료 중 폐기 목화솜과 식물성 아교인 다시마의 양건과정을 나타낸 것이다.

(a) Disuse cotton (b) Vegetable glue

Photo 1. Waste cotton and vegetable glue of biodegradable mulching materials.

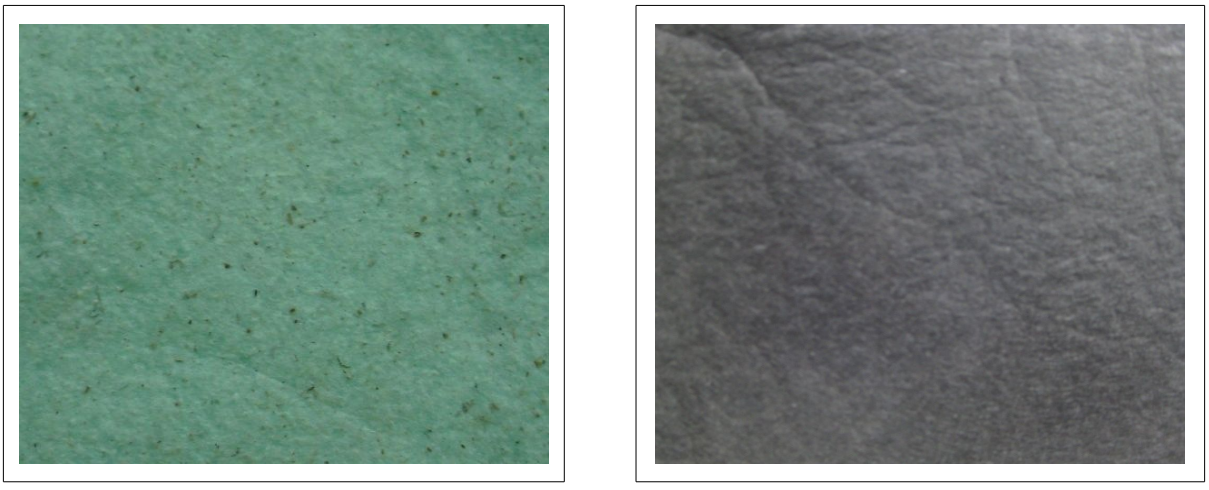
2009년도 연구에서는 기초 실험을 통하여 각각의 천연물질의 함량비를 조절하여 생분해 피복재를 제작하였고, 적정함량비로서 폐기 목화솜의 함량이 80~85%, 동물성 아교(우피)의 함량이 8~13%, 식물성 아교(다시마)의 함량이 5% , 광물질(제올라이트)의 함량이 2%가 적정한 것으로 나타났다. 따라서 생분해 피복재 시제품으로서 목화솜의 함량이 80%, 동물성 아교(우피)의 함량이 13%, 식물성 아교(다시마)의 함량이 5%, 광물질(제올라이트)의 함량이 2%의 시제품(이후 샘플 8013로 칭함)과, 폐기 목화솜의 함량이 85%, 동물성 아교(우피)의 함량이 8%, 식물성 아교(다시마)의 함량이 5% , 광물질(제올라이트)의 함량이 2%(이후 샘플 8508로 칭

함)를 제조하여 각각의 피복재 특성을 조사였다.

2010년도 연구에서는 2009년도 시제품과 비교하여 생분해 피복재의 성분 중 목화솜과 동물성 아교(우피)의 함량을 다르게 하여 제작하여 특성을 비교분석하였다. 2009년도 목화솜 함량의 경우 80%와 85%를 사용한 피복재를 제작하였으나 2010년도에는 목화솜의 함량이 전년도의 사이 값인 폐기 목화솜 82%, 동물성 아교(우피)의 함량이 11%, 식물성 아교(다시마)의 함량이 5%, 광물질(제올라이트)의 함량이 2%의 시제품(이후 샘플 8211로 칭함)과, 폐기 목화솜의 함량이 83%, 동물성 아교(우피)의 함량이 10%, 식물성 아교(다시마)의 함량이 5%, 광물질(제올라이트)의 함량이 2%(이후 샘플 8310으로 칭함)의 시제품 및 폐기 목화솜의 함량이 87%, 동물성 아교(우피)의 함량이 10%, 식물성 아교(다시마)의 함량이 5%, 광물질(제올라이트)의 함량이 2%(이후 샘플 8706으로 칭함)의 시제품을 제작하여 각각의 피복재 특성을 조사였다.

생분해 피복재 특성은 인장강도(KS K 0520:2004, C.R.E, 그래브법), 파열강도(KS K 0350:2004, C.R.E, 볼버스팅법), 공기투과도(KS K 0570:2006)을 조사항목으로 선정하여 특성을 조사하였다. 각각의 측정항목 및 시험법은 다음과 같다. 표 1은 시험용 생분해 피복재의 조성을 나타낸 것이다.

사진 2와 3은 2009년도와 2010년도에 개발한 기능성 생분해 피복재를 나타낸 것이다.



(a) Sample 8013 (b) Sample 8508

Photo 2. Biodegradable mulching materials in 2009.

(a) Sample 8013

(b) Sample 8508

(c) Sample 8706

Photo. 3. Biodegradable mulching materials in 2010.

Table 1 Component of biodegradable mulching materials (Unit; %)

Year	Sample No.	Component			
		Waste cotton	Animal glue	Vegetable glue	Zeolite
2009	8013 (BM-Blue)	80	13	5	2
	8508 (BM-Black)	85	8	5	2
2010	8211 (BM-White)	82	11	5	2
	8310 (BM-Red)	83	10	5	2
	8706 (BM-Black)	87	6	5	2

2. 생분해 피복재 물리적 특성 측정방법

가. 인장강도

인장강도는 한국표준규격 KS K 0520:2004, C.R.E의 그래브법을 이용하여 측정하였다. 그래브법은 시험편의 중앙 부위를 규정된 크기로 파지하고, 시험편이 파단될 때까지 일정 속도로 신장하는 동안의 인장 강도 및 신도를 기록하는 방법이다. 본 연구에서는 시험용 생분해 피복재를 24시간 동안 방치하여 시험용 시료로부터 2세트의 시험편을 채취하였고, 시험편 채취는 각각 1세트는 경사 방향(또는 길이방향), 1세트는 위사 방향(또는 폭 방향)에서 채취하였다. 시험편 폭은 (100±2)mm, 인장 시험기의 파지 거리를 (100±1)mm로 설정하였고, 신장 속도는 500mm/min로 설정하여 생분해 피복재의 인장강도를 측정하였다.

나. 파열강도

파열강도는 한국표준규격 KS K 0350:2004, C.R.E의 볼버스팅법을 이용하여 측정하였다. 볼버스팅법은 파괴 신도가 큰 직물 및 편성물의 파열 강도를 측정하는 방법으로서, 시험편의 크기는 파열 강도 시험기의 링 클램프 기구의 바깥지름을 덮을 정도의 충분한 크기로 하였고, 양 변으로부터 그 너비의 1/10 이상 떨어진 부분에서 시험편을 채취하여 파열강도를 측정하였다.

다. 공기투과도

공기투과도는 한국표준규격 KS K 0570:2006을 이용하여 측정하였다. 공기투과도은 일정 면적, 압력, 시간의 조건하에서 시험편에 수직으로 통과하여 흐르는 공기의 부피[㎤/㎠/s]를 측정하는 것으로서, 천의 일정한 면적을 수직으로 통과하여 흐르는 공기의 양을 일정한 시간 동안 천의 시험 면적에 대하여 주어진 압력 차이에서 계산하였다. 본 연구에서는 측정 조건으로서 시험편의 면적을 20㎠, 시험압력 200Pa에서 생분해 피복재의 공기투과도를 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 인장강도

그림 1은 2009년도에 개발된 목화솜 함량이 80%, 동물성 아교(우피)의 함량이 13%의 생분해 피복재 시제품 샘플 8013과 목화솜의 함량이 85%, 동물성 아교(우피)의 함량이 8%의 시제품 샘플 8506의 인장강도를 시편 방향에 따라 나타낸 것이다. 식물성 아교(다시마)의 함량은 5%, 광물질(제올라이트)의 함량은 2%로 동일하였다.

그림 1에 나타낸 바와 같이 인장강도는 생분해 피복재 생산시의 길이 방향이 폭 방향 보다 더 높은 경향을 보였고, 제조성분에 따라 폐기 목화솜 함량이 더 높은 8508 샘플이 8013 샘플보다 더 높은 것으로 나타났다.

인장강도는 길이 방향에 따라 8013과 8508에서 각각 39[N], 94[N]으로 8508 샘플이 8013 샘플보다 약 55[N] 높게 나타났고, 폭방향에서는 8013과 8508에서에서 각각 37, 61[N]으로 나타나 폐기 목화솜 함량이 높은 8508 샘플이 8013 샘플보다 약 24[N] 높은 것으로 나타났다.

동일 조제성분에 따른 길이방향과 폭방향에 대한 인강강도 차이는 8013 샘플이 약 2[N] 정도 차이가 있는 것으로 나타났지만 거의 동일한 것으로 나타났다. 8508 샘플에서는 길이 방향의 인장강도가 폭방향의 인장강도 보다 33[N] 정도 차이가 있는 것으로 나타났다.

그림 2는 2010년도에 개발된 생분해 피복재 목화솜의 함량이 82%, 동물성 아교(우피)의 함량이 11%의 시제품 샘플 8211과 목화솜의 함량이 83%, 동물성 아교(우피)의 함량이 10%의 시제품 샘플 8310 및 목화솜의 함량이 87%, 동물성 아교(우피)의 함량이 6%의 시제품 샘플 8706의 인장강도를 시편 방향에 따라 나타낸 것이다. 한편, 전년도와 동일하게 식물성 아교(다시마)의 함량은 5%, 광물질(제올라이트)의 함량은 2% 이었다.

그림 2에서 보는 바와 같이 인장강도는 길이 방향이 폭 방향 보다 더 높은 경향을 보였고, 폐기 목화솜 함량이 더 높을수록 인장강도가 높은 것으로 나타났다.

샘플 8706의 인장강도는 2009년도에 개발한 샘플 8013과 비교하여 길이 방향과 폭방향에서 각각 73[N], 50[N] 정도 더 큰 것으로 나타났다.

이와 같이 길이 방향과 폭 방향에 대한 인장강도 차이는 생분해 피복재 제조시 길이 방향으로 장력을 받으며 제조되었기 때문으로 판단된다. 그러나 벼 직파용 생분해 피복재로서 사용하기 위해서는 폭 방향보다 길이방향에 대한 인장강도가 요구되기 때문에 개발된 생분해 피복재는 벼 직파시 큰 문제가 없을 것으로 판단된다.

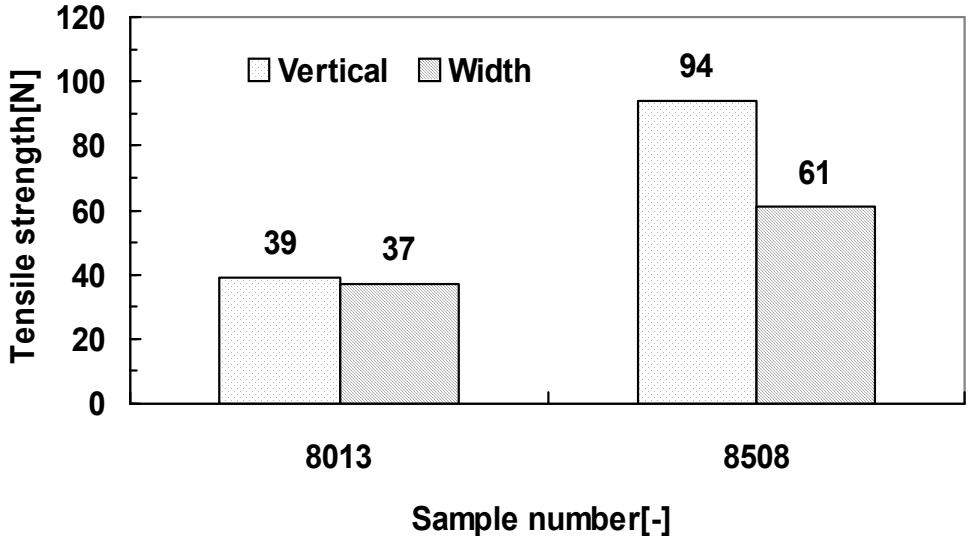


Fig. 1. Comparison of tensile strength according to biodegradable mulching materials component in 2009.

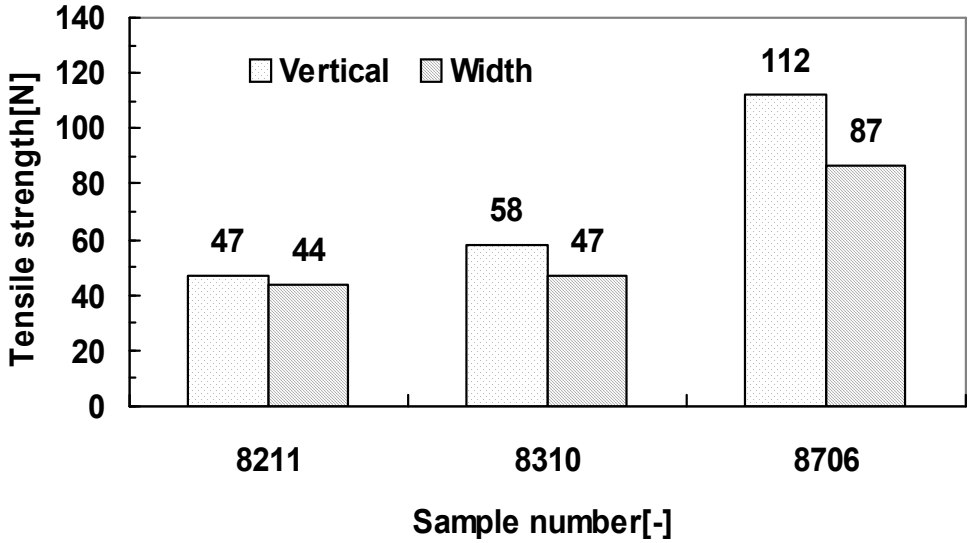


Fig. 2. Comparison of tensile strength according to biodegradable mulching materials component in 2010.

나. 파열강도

그림 3에 2009년도에 개발한 목화솜 함량이 80%, 동물성 아교(우피)의 함량이 13%의 생분해 피복재 시제품 샘플 8013과 목화솜의 함량이 85%, 동물성 아교(우피)의 함량이 8%의 시제품 샘플 8506의 파열강도를 시편 방향에 따라 비교하여 나타내었다.

그림 3에서 나타낸 바와 같이 파열강도는 폐기 목화솜의 함량이 높을수록 더 큰 것으로 나타났다.

제조성분에 따른 파열강도는 생분해 피복재 시제품 샘플 8013과 8506에서 각각 26[N], 40[N]으로 약 14[N] 정도 차이가 있는 것으로 나타났다. 이와 같이 샘플 8506이 샘플 8013보다 파열강도 높은 이유는 전술한 바와 같이 조제성분 중 폐기 목화솜의 함량이 더 높았기 때문으로 판단된다.

2010년도에 개발한 생분해 피복재 시제품 샘플의 파열강도를 그림 4에 나타내었다.

그림 4에서 알 수 있듯이 파열강도는 2009년도와 동일하게 폐기 목화솜의 함량이 높을수록 높은 경향을 나타내었다.

제조성분에 따른 파열강도는 생분해 피복재 시제품 샘플 8211, 8310 및 8706에서 각각 32[N], 35[N], 54[N]으로 생분해 피복재 시제품 샘플 8706이 다른 시제품 샘플보다 약 19~22[N] 정도 큰 것으로 나타났다. 한편, 2009년도에 개발한 생분해 피복재 시제품 샘플과 파열강도를 비교해도 8706이 다른 시제품 샘플보다 약 14~28[N] 정도 큰 것으로 나타났다.

이와 같이 샘플 8706이 샘플 다른 생분해 피복재 시제품 샘플보다 파열강도 높은 이유는 전술한 바와 같이 조제성분 중 폐기 목화솜의 함량이 더 높았기 때문으로 판단된다.

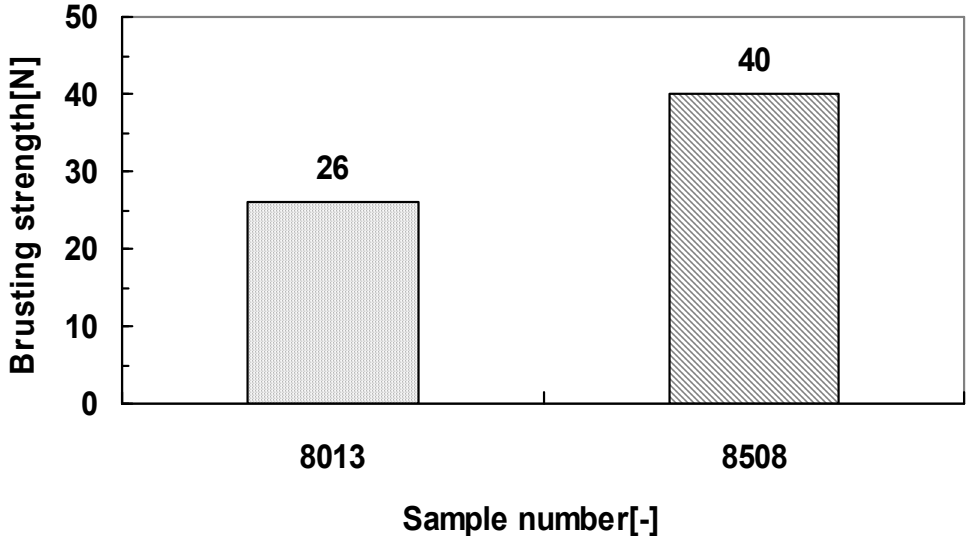


Fig. 3. Comparison of bursting strength according to biodegradable mulching materials component in 2009.

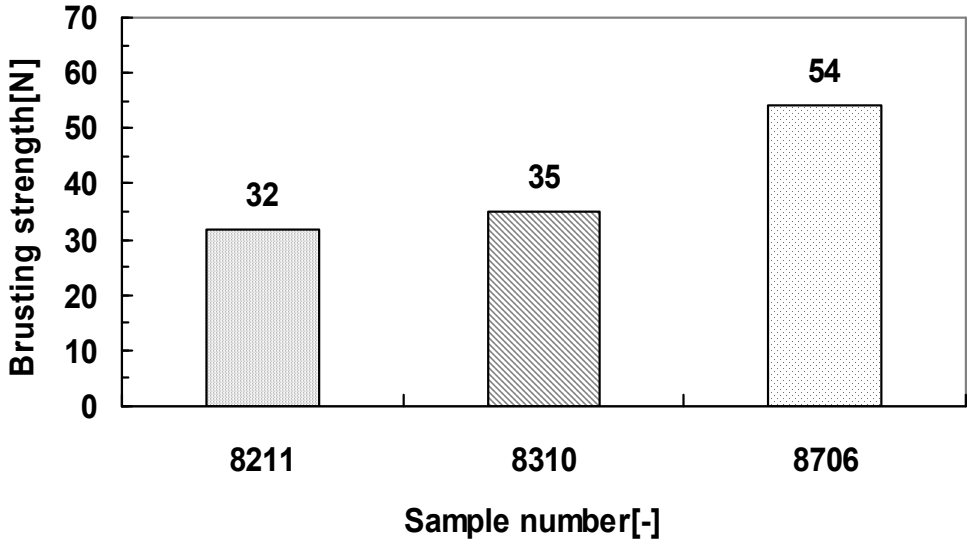


Fig. 4. Comparison of bursting strength according to biodegradable mulching materials component in 2010.

다. 공기투과도

생분해 피복재의 공기투과도는 실제 포장에 피복재를 이용하여 벼 직파를 수행했을 경우 피복재로 인하여 흙과 공기가 차단되어 보온 효과는 기대할 수 있으나 피복재의 분해도와 작물의 생육에 영향을 미치게 된다. 따라서 개발된 생분해 피복재의 조제성분에 따른 공기투과도를 비교분석하였다.

그림 5는 2009년도에 개발한 목화솜 함량이 80%, 동물성 아교(우피)의 함량이 13%의 생분해 피복재 시제품 샘플 8013과 목화솜의 함량이 85%, 동물성 아교(우피)의 함량이 8%의 시제품 샘플 8506의 파열강도를 시편 방향에 따라 비교하여 나타내었다.

그림 5에서 알 수 있듯이 공기투과도는 폐기 목화솜 함량이 낮을수록 높은 경향을 나타내었다.

개발한 생분해 피복재의 조제성분에 따른 공기투과도는 시제품 샘플 8013과 샘플 8506에서 각각 223.6, 198.6[㎤/㎠/s]으로서 샘플 8013이 샘플 8506보다 약 25[㎤/㎠/s] 정도 공기 투과도가 높은 것으로 나타났다.

그림 6은 2010년도에 개발한 폐기 목화솜과 동물성 아교(우피)의 조성성분에 따른 생분해 피복재의 공기투과도를 나타낸 것이다.

그림 6에서 알 수 있듯이 공기투과도는 2009년도의 결과와 동일한 경향으로서 폐기 목화솜의 함량이 낮을수록 높은 것으로 나타났다.

2010년도에 개발한 생분해 피복재의 공기투과도는 시제품 샘플 8211, 8310 및 8706에서 각각 216.6, 204.5, 185.3[㎤/㎠/s]으로 나타나 시제품 샘플 8706이 다른 샘플에 비해 19.2~31.3[㎤/㎠/s] 공기투과도가 낮은 것으로 나타났다. 한편, 2009년도에 개발한 시제품 샘플 8013과 샘플 8506과 비교해도 폐기 목화솜의 함량이 87%인 시제품 샘플 8706이 13.3~38.3[㎤/㎠/s] 공기투과도가 낮은 것으로 나타났다.

이것은 전술한 바와 같이 샘플 8706의 공기투과도가 낮은 이유는 다른 샘플보다 단위면적당 폐기 목화솜의 함량이 적었기 때문으로 판단되고, 실제 포장에 직파시 생분해 피복재 분해율에 영향을 미칠 것으로 사료된다.

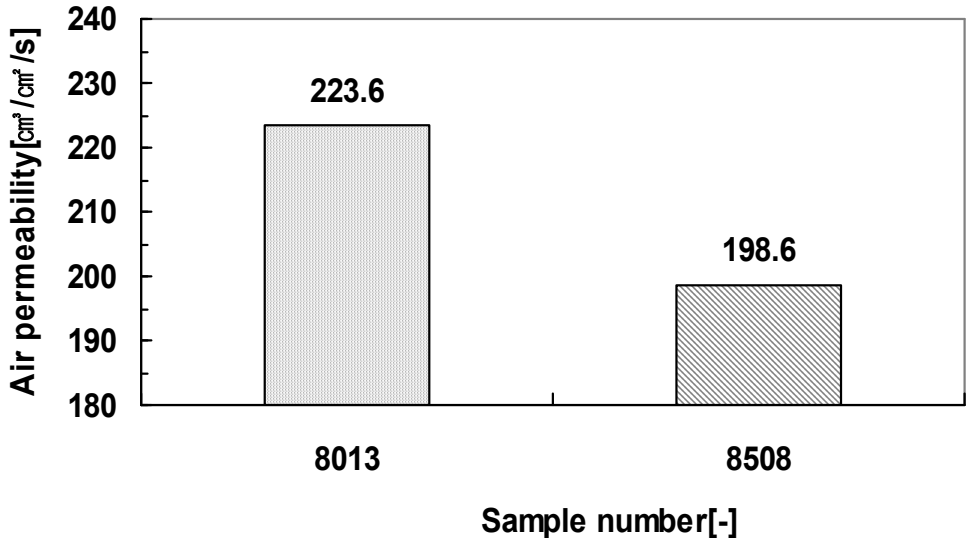


Fig. 5. Comparison of air permeability according to biodegradable mulching materials component in 2009.

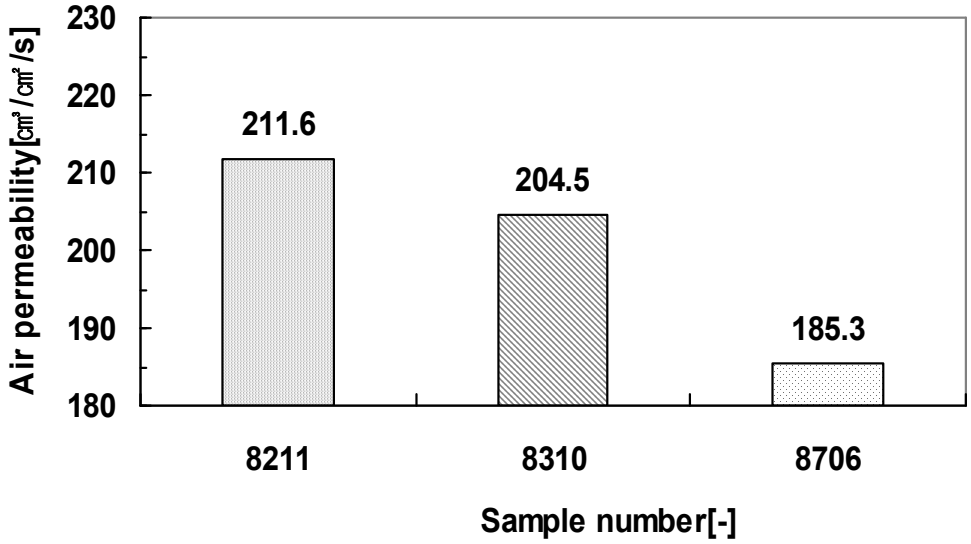


Fig. 6. Comparison of air permeability according to biodegradable mulching materials component in 2010.

라. 포장에서의 생분해 피복재의 분해속도

사진 4는 2009년 폐기 목화솜 함량이 85%, 동물성 아교(우피)의 함량이 8%의 시제품인 8508 생분해 피복재를 이용하여 벼를 직파한 후 경과시간에 따른 분해 정도를 나타낸 것이다.

생분해 피복재의 분해 속도를 측정하기 위하여 생분해 피복재 전용 벼 직파기를 이용하여 벼 직파 실험을 수행한 직후부터 30일 주기로 포장에 피복된 생분해 피복재(기준넓이: 1㎡)의 분해 정도를 측정하였다. 초기 벼 직파실험은 경북 왜관에서 2009년 4월 27일에 수행하였고(사진 4. (a) 참조), 2009년 6월 3일 벼가 발아를 시작하여 초기 생육상태에 접어들면서 약 50% 정도가 분해되는 것으로 나타났다(사진 4. (b) 참조). 특히 생분해 피복재의 분해속도는 수중에서 더 빨리 분해되는 것으로 나타났고, 공기와 접촉되는 수면 위와 포장과 직접 접촉되지 않은 곳에서는 분해속도가 느린 경향을 보였다. 이후 2009년 7월 20일에 초기에 벼 직파로 피복된 생분해 피복재는 사진 4(c)에서 보는 바와 같이 완전히 분해되었다.

한편, 사진 5는 2010년 폐기 목화솜 함량이 87%, 동물성 아교(우피)의 함량이 6%의 시제품인 8706 생분해 피복재를 이용하여 벼를 직파한 후 경과시간에 따른 분해 정도를 나타낸 것이다.

사진 5에서 보는 바와 같이 2010년도 벼 직파실험은 충북 청원에서 2010년 5월 12일에 수행하였고(사진 5. (a) 참조), 2010년 6월 18일 벼가 발아를 시작하여 초기 생육상태에 접어들면서 약 50% 정도가 분해되는 것으로 나타났다(사진 5. (b) 참조). 특히 생분해 피복재의 분해속도는 수중에서 더 빨리 분해되는 것으로 나타났고, 공기와 접촉되는 수면 위와 포장과 직접 접촉되지 않은 곳에서는 분해속도가 느린 경향을 보였다. 이후 2010년 8월 10일 경에 초기에 벼 직파로 피복된 생분해 피복재는 사진 5(c)에서 보는 바와 같이 완전히 분해되었다.

따라서 본 연구에서 개발한 생분해 피복재의 분해속도는 2009년도의 경북 왜관의 포장 실험에서는 약 85일 정도에서 분해되는 것으로 나타났고, 후술하는 충북 청주의 다른 포장에서도 생분해 피복재가 파종 후 약 90일 정도에서 완전히 분해되는 것으로 나타나 약 5일 정도의 차이가 있지만 생분해 피복재의 분해속도는 거의 동일한 것으로 판단된다.

한편, 2010년도 충북 청원에서 실시한 실험에서도 2009년보다 약 5일 정도 분해속도가 늦은 것으로 나타났으며, 2010년도 충북대에서 수행한 실험과 동일한 분해속도를 나타내었다.

(a) April 27, 2009

(b) June 3, 2009

(c) July 25, 2009

Photo. 4. Decomposition rate of biodegradable mulching materials in 2009.

(a) May 12, 2010

(b) June 18, 2010

(c) August 10, 2010

Photo. 5. Decomposition rate of biodegradable mulching materials in 2010.

4. 요 약

생분해 피복재 조제성분 차이에 따른 인장강도, 파열강도, 공기투과도에 특성을 분석하였다.

그 결과 2009년도의 경우 폐기 목화솜의 함량이 5% 높은 생분해 피복재 시제품 샘플 8508이 샘플 8013보다 인장강도와 파열강도가 높은 것으로 나타났지만, 생분해 피복재 분해도에 영향을 미치는 공기투과도에서는 생분해 피복재 시제품 샘플 8508이 샘플 8013보다 더 낮은 것으로 나타났다. 따라서 생분해 피복재의 폐기 목화솜 함량이 높을수록 벼 직파 작업시 피복재의 파열 등의 물리적 특성으로 인한 작업성 향상이 높을 것으로 사료되지만 생분해 피복재의 분해성을 고려할 경우 폐기 목화솜 함량의 적정한 조절이 필요할 것으로 사료된다. 한편, 생분해 피복재의 분해속도는 포장에 따라 차이가 있지만 약 85~90일 정도에서 완전히 분해되는 것으로 나타났다.

2010년도의 경우에는 생분해 피복재 시제품 샘플 8706이 다른 시제품 샘플보다 인장강도와 파열강도가 높은 것으로 나타났지만, 폐기 목화솜 함량이 높은 관계로 공기투과도는 가장 낮은 것으로 나타났다. 한편, 생분해 피복재의 분해속도는 약 90일 정도에서 완전히 분해되는 것으로 나타났다.

본 연구에서는 실제 생분해 피복재를 개발하여 포장에서 벼 직파 실험을 실시하였고, 그 결과 생분해 피복재 조성성분은 벼 직파시 작업성과 분해성을 고려할 때 폐기 목화솜의 함량이 85% , 동물성 아교(우피) 함량이 10%, 식물성 아교(다시마) 함량이 5%, 광물질(제올라이트) 함량이 2% 정도가 적정한 것으로 판단된다. 사진 6은 시험 생산된 벼 직파기 전용 생분해 피복재를 나타낸 것이다.

(a) 2 row type (b) 6 row type

Photo 6. Production of biodegradable mulching materials.

제 2 절 생분해 피복재 전용 벼 직파기 개발

1. 2009년도 벼 직파기 개발

그림 7은 본 연구에서 2009년도에 개발한 생분해 피복재 전용 벼 직파기의 개략도를 나타낸 것이다.

그림 7에서 보는 바와 같이 생분해 피복재 전용 벼 직파기는 길이(1600㎜)×폭(2200㎜)×높이(1400㎜)의 6조식으로 제작하였다.

생분해 피복재 전용 벼 직파기의 구성부로는 피복재 받침대, 피복재 고정대, 흙 덮개, 벼 파종장치, 피복재 전단날, 피복재 절단손잡이, 종자통 높이 조절장치, 종자통 걸이, 종자통, 파종장치 높이 조절장치로 구성되어 있다.

벼 직파 작업은 초기에 롤식 생분해 피복재를 피복재 고정대에 고정시키고, 피복재 가이드를 거쳐서 전단날 부분 이상의 여유를 갖게 인위적으로 당겨서 세팅한 후 벼 직파 작업을 수행한다. 벼 직파시 생분해 피복재는 습식 직파의 경우 피복재의 흡습과 벼 파종장치의 누름 작용으로 인하여 장력을 받아 롤에서 자연적으로 풀려서 포장에 피복되는 원리로 설계 제작하였다.

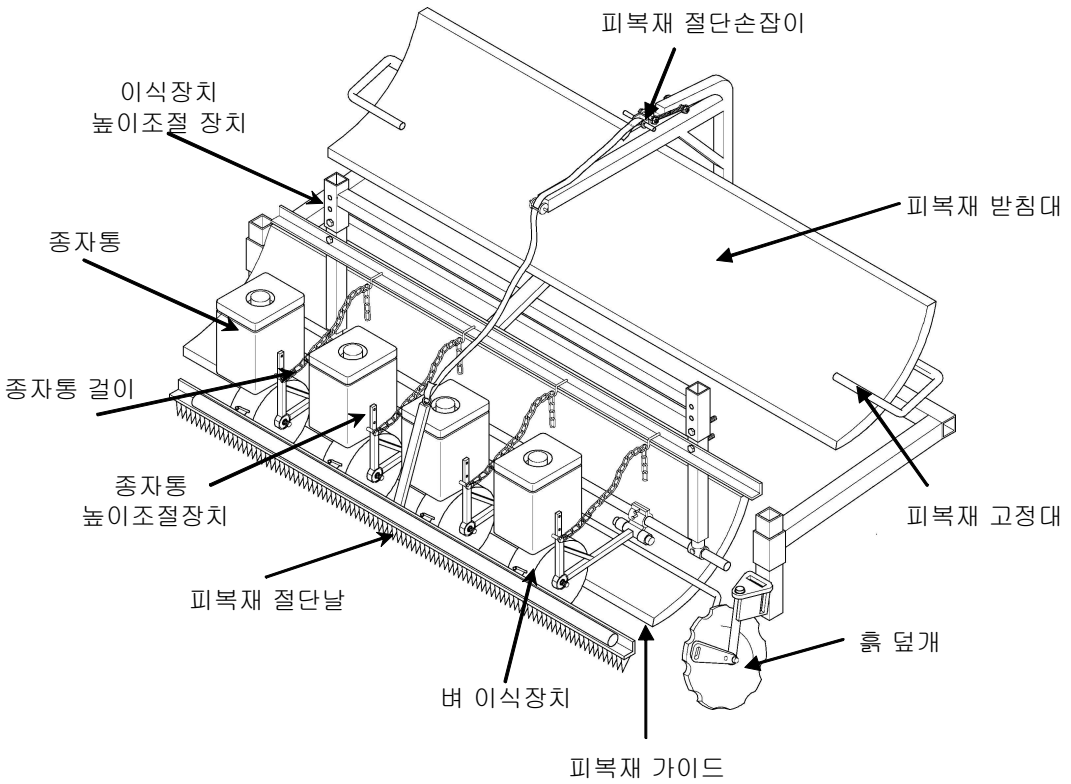


Fig. 7. Schematic diagram of direct seeder for biodegradable mulching materials.

가. 피복재 고정대 및 받침대

사진 7은 생분해 피복재의 고정대를 나타낸 것이다.

사진 7에서 나타낸 바와 같이 피복재 고정대는 초기 롤식 생분해 피복재의 풀림을 원활하게 하기 위하여 2개의 롤러를 롤식 생분해 피복재의 하부에 부착하였으나 피복재가 풀리는 동안 롤 자체가 편향되어 쏠리는 현상이 발생하였다(사진 8참조). 따라서 이와 같은 문제점을 해결하기 위하여 생분해 피복재 롤을 피복재 고정대에 걸쳐서 풀리게 하는 방식으로 개선하였다. 피복재 받침대는 롤식 피복재의 풀림이 원주 방향으로 이루어지기 때문에 생분해 피복재 롤의 직경을 고려하여 원주 형태로 제작하였고, 피복재의 원활한 풀림과 1차 가이드 역할을 수행하도록 제작하였다.

Photo. 7. Ring support of biodegradable mulching materials.

Photo. 8. Roll type ring support of biodegradable mulching materials.

나. 흙 덮개

사진 9는 건식 벼 직파시 생분해 피복재의 날림 현상을 방지하기 위해 설계 제작한 흙 덮개를 나타낸 것이다.

사진 9에 나타낸 바와 같이 흙 덮개는 건식 벼 직파에서 생분해 피복재 양단을 흙으로 덮어 고정하기 위하여 사용된다. 실제 건답 직파시 흙 덮개가 지하로 매몰되는 깊이는 지상에서 70~100㎜ 정도로 제작하였다. 그러나 실제 포장실험에서 흙 속에 원활하게 침투하지 못하여 흙 덮기 작업이 원활하게 이루어지지 못하는 문제점이 발생하였다. 따라서 이와 같은 문제점을 해결하기 위하여 흙 덮개 작업이전에 포장에 고랑을 내는 흙 덮개 보조 장치를 흙 덮개 이전에 설치하여 포장에 피복된 생분해 피복재를 고정하였다(사진 10 참조).

Photo. 9. Soil cover.

Photo. 10. Soil cover auxiliary unit

다. 벼 파종장치 높이 조절장치

벼 파종장치 높이조절 장치를 사진 11에 나타내었다.

기존의 트랙터 의 경우 트랙터 후방에 작업기를 장착할 수 있는 3점 링크 및 PTO가 장착되어 임의의 높이 및 좌우 기울기 조절과 함께 탈부착이 쉬운 장점을 가지고 있다. 그러나 본 연구에서의 1차년도 생분해 피복재 전용 직파기의 구동부로서 이앙기를 채용하였기 때문에 트랙터와 비교하여 지형에 맞는 세밀한 높이 조절(파종 깊이 조절)이 난해한 문제점이 발생하였다. 따라서 이와 같은 문제점을 해결하기 위하여 벼 파종장치 높이조절 장치를 제작하였고. 벼 파종장치의 높이를 포장 지형에 맞게 임의로 조절할 수 있도록 설계 제작하였다.

Photo. 11. Height controller of paddy sowing equipment.

라. 피복재 가이드

사진 12에 생분해 피복재 전용 벼 직파기의 피복재 가이드를 나타내었다.

사진 12에서 보는 바와 같이 생분해 피복재 가이드는 피복재 후막특성에 따른 직파기의 장력 조절기능을 수행하는 장치로서, 포장의 노면이 고르지 못한 지형에서 발생하는 불균일한 장력이 생분해 피복재에 손상을 주는 것을 방지하기 위하여 제작하였다.

피복재 가이드에 의한 장력 조절은 사진 12에서 보는 바와 같이 피복재 가이드 끝부분의 쇄사슬로 고정해 놓은 연결부에 전술한 8508 피복재의 인장강도(94[N]/100㎜)를 6조 직파기에 사용되는 피복재의 폭 2000㎜로 환산한 1880[N]을 기준으로 안전성을 고려하여 1500[N]의 고장력 스프링을 채용하여 부착하였다. 그 결과 실세 포장실험에서 생분해 피복재의 파열은 발생하지 않았고, 원활한 직파작업을 수행할 수 있었다.

Photo. 12. Guide of biodegradable mulching materials.

마. 종자통과 벼 파종장치

사진 13은 생분해 피복재 전용 벼 직파기의 종자통과 벼 파종장치를 나타낸 것이다.

종자통과 벼 파종장치는 개발시간과 제작단가 상의 문제점으로 기존에 시판되고 있는 것을 사용하였다. 벼 파종장치의 종자 가이드 길이는 40㎜의 원추형으로서, 실제 벼 직파시 벼가 종자 가이드가 생분해 피복재를 뚫고 형성해 놓은 구멍 안으로 종자가 투입되고, 투입된 종자의 파종되는 깊이는 5~10㎜ 정도인 것으로 나타났다. 사진 14는 실제 건답 직파시의 종자 파종 시험 모습을 나타낸 것이다.

Photo. 13. Seed tank and seed sowing equipment.

Photo. 14. Experiment of direct sowing on dry field.

2. 2010년도 벼 직파기 개발

2009년도 개발한 생분해 피복재 전용 벼 직파기의 경우 전술한 바와 같이 상용 종자 직파 장치를 이용하여 생분해 피복재를 뚫고, 적정 깊이의 포장에 직파하는 구조로 개발하였다. 따라서 직파율과 입모율이 좋은 장점을 가지고 있었으나 직파시간이 긴 단점이 있다. 따라서 2010년도에 개발한 직파기는 직파율과 입모율 뿐만 아니라 직파시간을 단축하기 위하여 볍씨를 직접 생분해 피복재에 접착제인 젤라틴으로 부착하여 파종하는 방식으로 개발하였다.

사진 15는 2010년도에 개발한 생분해 피복재 전용 직파기를 나타낸 것이다.

사진 15에서 보는 바와 같이 2010년도에 개발한 생분해 피복재 전용 직파기의 주요 구성부로는 생분해 피복재 지지대, 볍씨 공급 장치, 제올라이트 공급 장치, 젤라틴 공급장치, 생분해 피복재 일정속도 공급 장치 및 생분해 피복재 절개 장치로 구성되어 있다. 각각의 장치는 생분해 피복재 직파속도에 따라 일정하게 파종속도를 조절할 수 있다.

생분해 피복재 지지대는 2009년도에 개발한 장치를 사용하였다. 볍씨 공급 장치, 제올라이트 공급 장치, 젤라틴 공급장치의 공급통은 상용으로 시판되는 제품을 사용하였고, 각각의 장치에는 직파속도에 맞게 볍씨, 제올라이트, 젤라틴(접착제)를 공급하도록 설계 제작하였다.

Photo. 15. Developed direct seeder only for biodegradable mulching material in 2010.

가. 생분해 피복재 볍씨 부착장치

사진 16은 생분해 피복재에 볍씨를 부착하기 위한 볍씨 공급장치, 제올라이트 공급장치, 젤라틴 공급장치를 나타낸 것이다.

사진 16에서 보는 바와 같이 생분해 피복재에 볍씨를 부착하기 위한 장치는 전방에 설치한 제올라이트 공급장치 6개와 중간에 설치한 볍씨 공급장치 6개 및 후방에 설치한 젤라틴 공급장치 3개로 구성되어있다. 젤라틴은 전술한 바와 같이 볍씨를 생분해 피복재에 접착시키기 위한 접착제 역할로서 본 연구의 실험 결과 볍씨가 생분해 피복재에 원활하게 접착되어 결주를 방지할 수 있는 것으로 나타났다. 제올라이트의 경우에는 젤라틴 접착제의 수용성을 억제하기 위한 역할과 함께 비료 효과의 역할을 수행하기 위하여 직파시 동시에 생분해 피복제에 뿌려주어 직파하였다. 한편 전술한 바와 같이 볍씨 공급 장치, 제올라이트 공급 장치 및 젤라틴 공급 장치에 의해 공급되는 양은 직파기의 속도에 따라 조절할 수 있다.

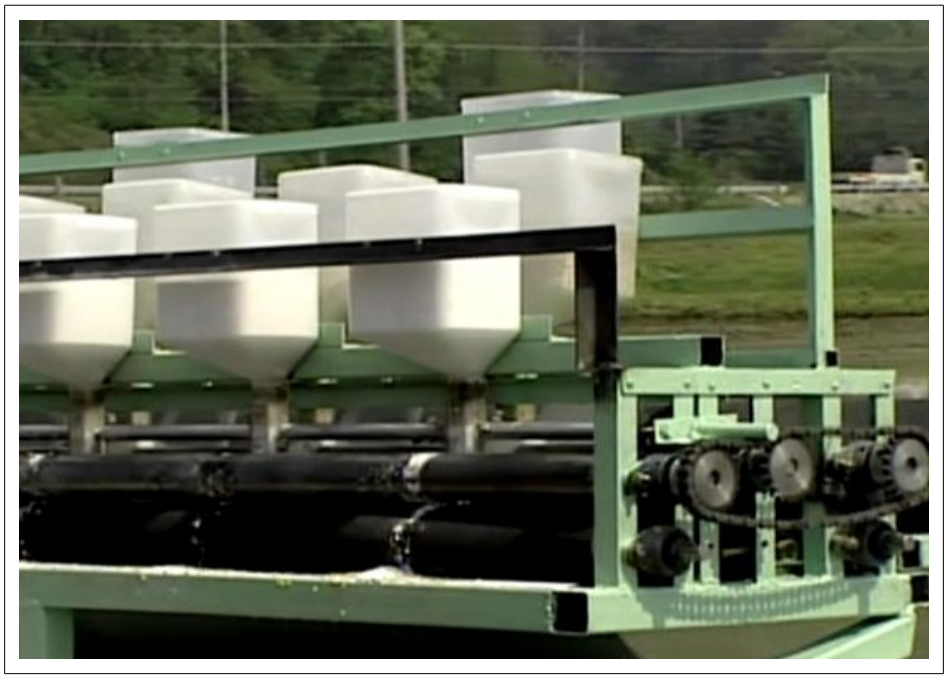


Photo. 16. Developed paddy attachment equipment in 2010.

나. 생분해 피복재 공급 속도 조절 장치

사진 17은 직파기 주행속도에 따라 생분해 피복재와 볍씨, 제올라이트 및 젤라틴(접착제)을 공급할 수 있는 생분해 피복재 공급 속도 조절 장치를 나타낸 것이다.

사진 17에서 보는 바와 같이 생분해 피복재 공급 속도 조절 장치는 60번 체인과 잇수가 20개 및 24개의 스프로켓에 의해 직파기 주행속도에 따라 생분해 피복재, 볍씨, 제올라이트 및 젤라틴(접착제)를 공급할 수 있다.

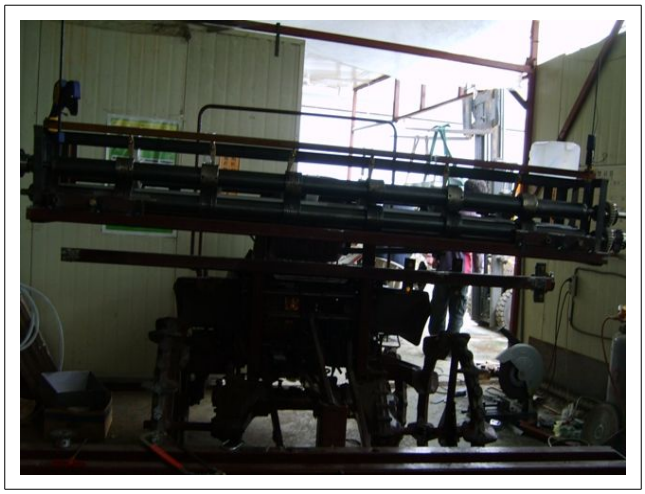
초기 제작시에는 볍씨 공급과 분해 피복재 공급 속도를 잇수가 24개인 스프로켓으로 일정하게 하였고, 제올라이트와 젤라틴(접착제)의 공급 속도를 잇수가 20인 스프로켓을 장착하여 일정하게 하였다. 따라서 볍씨 공급과 피복재 공급 속도에 따른 제올라이트와 젤라틴(접착제)의 공급 속도의 비는 1:1.2로 설정하여 제작하였다. 그러나 차후 보완 개선을 통하여 볍씨 공급과 분해 피복재 공급 속도 및 제올라이트와 젤라틴(접착제)의 공급 속도를 1:1의 비율로 직파할 수 있도록 생분해 피복재 공급 속도 조절 장치를 개발하였다.

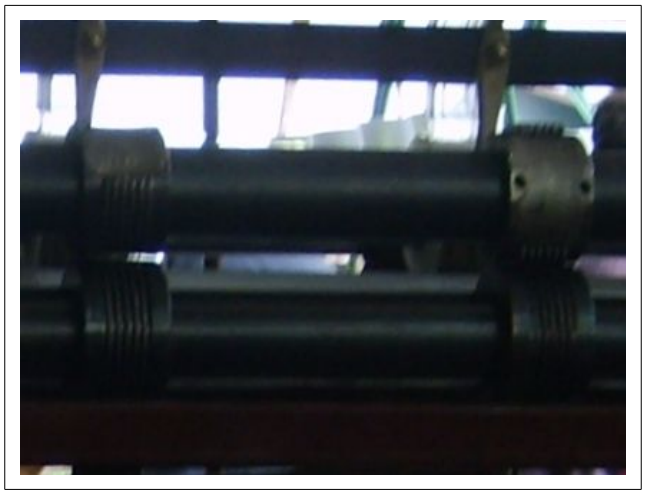
Photo. 17. Biodegradable mulching material input speed control equipment.

다. 생분해 피복재 절개 장치

사진 18은 생분해 피복재에 볍씨가 부착되어 포장에 파종된 후 발아율을 높이기 위한 생분해 피복재 절개 장치를 나타낸 것이다.

사진 18에서 보는 바와 같이 생분해 피복재 절개 장치는 볍씨 공급 라인과 일직선상에 위치하고 6조로 이루어져 있다. 또한 원활한 절개를 위하여 상부 롤러에는 도출형 칼날 6개가 가공된 드럼으로 제작하여 설치하였고, 하부 롤러에는 잠입형으로 가공한 드럼을 설치하여 생분해 피복재가 상부와 하부 롤러 사이로 이송되면서 절개되도록 설계 제작하였다.





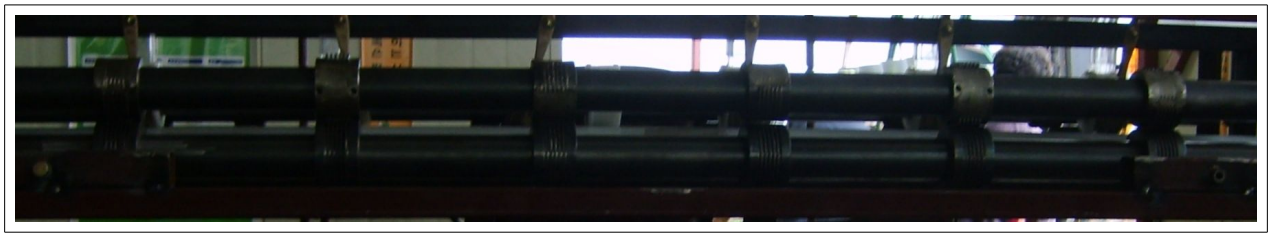


Photo. 18. Biodegradable mulching material cutting equipment.

3. 생분해 피복재 전용 벼 직파기 성능 평가

사진 19는 2009년 4월 27일 경상북도 왜관에 소재한 넓이 2644㎡(약 800평)의 포장에서 실시한 생분해 피복재 전용 벼 직파기를 이용한 습식 벼 직파작업 모습을 나타낸 것이다. 이 포장은 길이가 약 80m, 폭이 33m로서 벼 직파 전 포장에 담수를 한 상태에서 직파실험을 실시하였다.

직파실험 결과, 생분해 피복재 전용 벼 직파기의 파종속도는 1회 80m 직파시 소요된 시간은 약 220초로서 파종속도가 평균 0.36㎧로 나타났고, 이것은 당초 목표로 한 파종속도 0.3㎧보다 빠른 것으로 나타났다. 시간당 파종 면적은 단순히 직진 주행시의 파종속도만을 가지고 계산하면 시간당 26.5a가 되지만, 실제 1회 직파 작업이 종료된 이 후의 유턴 시간(약 2분)을 고려하면 작업시간이 약 30분 정도가 더 길어지기 때문에 시간당 파종면적은 17.7a가 되는 것으로 나타났다.

사진 20은 생분해 피복재 전용 벼 직파기를 이용한 직파 후 모습을 나타낸 것이다. 파종 정밀도의 경우에는 사진 21에 나타낸 바와 같이 전체 포장에서 결주가 약 3% 내외로 거의 결주가 발생하지 않는 것으로 나타나 개발된 생분해 피복재 전용 벼 직파기의 파종 정밀도는 매우 높은 것으로 판단된다.

Photo. 19. Direct seeding using biodegradable mulching material in 2009.

Photo. 20. After direct seeding using biodegradable mulching material in 2009.

Photo. 21. Paddy growth image in 2009.

사진 22는 2010년 5월 12일 충청북도 청원군에 소재한 넓이 2644㎡(약 800평)의 포장에서 실시한 생분해 피복재 전용 벼 직파기를 이용한 습식 벼 직파작업 모습을 나타낸 것이다.
이 포장은 2009년도 동일한 규격으로 길이가 약 80m, 폭이 33m로서 벼 직파 전 포장에 담수를 한 상태에서 직파실험을 실시하였다.

직파실험 결과, 생분해 피복재 전용 벼 직파기의 파종속도는 1회 80m 직파시 소요된 시간은 약 190초로서 파종속도가 평균 0.42㎧로 나타났고, 이것은 2010년도에 목표로 한 파종속도 0.4㎧보다 빠른 것으로 나타났다.

사진 23은 생분해 피복재 전용 벼 직파기를 이용한 직파 후 볍씨가 포장에 파종된 모습을 나타낸 것이다. 파종 정밀도의 경우에는 사진 24에 나타낸 바와 같이 전체 포장에서 결주가 약 3% 내외로 2009년도와 거의 동일한 경향으로 나타나 개발된 생분해 피복재 전용 벼 직파기의 파종 정밀도는 매우 높은 것으로 판단된다.

Photo. 22. Direct seeding using biodegradable mulching material in 2010.

Photo. 23. The image of after direct seeding in 2010.

Photo. 24. Paddy growth image in 2010.

4. 요 약

2009년도 연구에서는 6조의 생분해 피복재 전용 벼 직파기[길이(1600㎜)×폭(2200㎜)×높이(1400㎜)]를 개발하였다. 생분해 피복재 전용 벼 직파기의 구성부로는 피복재 받침대, 피복재 고정대, 흙 덮개, 벼 파종장치, 피복재 전단날, 피복재 절단손잡이, 종자통 높이 조절장치, 종자통 걸이, 종자통, 파종장치 높이 조절장치로 구성되어 있다.

한편, 개발된 생분해 피복재 전용 벼 직파기는 파종속도가 평균 0.36㎧로서 당초 목표로 한 파종속도 0.3㎧보다 빠른 것으로 나타났다. 시간당 파종 면적은 실제 1회 직파 작업이 종료된 이 후의 유턴 시간을 고려하면 시간당 파종면적은 17.7a가 되는 것으로 나타났다. 파종 정밀도는 전체 포장에서 결주가 약 3% 내외로 개발된 생분해 피복재 전용 벼 직파기의 파종 정밀도는 매우 높은 것으로 판단된다.

2010년도 연구에서는 직파율과 입모율 뿐만 아니라 직파시간을 단축하기 위하여 볍씨를 직접 생분해 피복재에 접착제인 젤라틴으로 부착하여 파종하는 방식으로 개발하였다. 주요 구성부로는 생분해 피복재 지지대, 볍씨 공급 장치, 제올라이트 공급 장치, 젤라틴 공급장치, 생분해 피복재 일정속도 공급 장치 및 생분해 피복재 절개 장치로 구성되어 있다. 또한 직파실험 결과, 생분해 피복재 전용 벼 직파기의 파종속도는 1회 80m 직파시 소요된 시간은 약 190초로서 파종속도가 평균 0.42㎧로 나타났다. 파종 정밀도도 전체 포장에서 결주가 약 3% 내외로 나타나 개발된 생분해 피복재 전용 벼 직파기의 파종 정밀도는 매우 높은 것으로 판단된다.

제 3 절 생분해 피복재의 직파재배 효율성 평가

1. 연구 목적

본 연구는 생분해 피복재를 활용한 친환경 벼 직파재배 기술을 확립하기 위하여 피복재에 따른 벼 발아율, 벼 잡초 방제효과, 피복재의 유기물 분해특성, 피복재의 유기물과 질소 첨가에 따른 토양의 물리화학성 변화, 노동력 절감효과, 생산성 증대효과 등을 비교분석하기 위하여 수행하였다.

2. 재료 및 방법

가. 공시품종

벼의 공시품종은 2009년과 2010년 동일하게 추청을 공시하였다.

나. 공시재료

생분해성 피복재는 (주) 윤농에서 개발한 제품으로 원료는 주로 폐 목화와 다시마 해산물, 우피, 점토광물 등을 이용하여 제조된 것으로 제품의 외형적인 색깔로 구분하였다. 2009년도 생산된 피복재는 흑색, 청색, 백색 등의 3가지 종류였으며 2010년도 피복재는 흑생, 적색, 백색 등 3가지 종류였으며, 재료의 화학적 조성은 표 2와 3에 나타낸바와 같다. 피복재의 전질소 함량은 0.83%에서 1.95%, 칼륨은 0.28%에서 0.54%의 분포를 보였고 인산은 0.1% 이하로 함유되어 피복물질 자체의 양분첨가 효과를 기대할 수 있었다.

Table 2 Chemical properties of biodegradable mulching materials in 2009

Material	T-N	P_2O_5	K_2O	CaO	MgO	Na_2O
	g kg^{-1}	g kg^{-1}	g kg^{-1}	g kg^{-1}	g kg^{-1}	g kg^{-1}
BM-Black*	8.25	0.22	4.27	0.87	0.32	1.78
BM-Blue	13.29	0.16	5.37	1.18	0.42	1.30
BM-White	19.54	0.10	5.26	1.59	0.51	1.31

*BM-Black; Biodegradable mulching materials of black color

BM-Blue; Biodegradable mulching materials of blue color

BM-White; Biodegradable mulching materials of white color

Table 3 Chemical properties of biodegradable mulching materials in 2010

Mulching material	T-N	P_2O_5	K_2O	CaO	MgO
	---------- g kg^{-1}----------				
BM-Black*	8.01	0.70	2.76	0.96	1.08
BM-Red	11.62	0.41	3.47	1.02	0.98
BM-White	9.06	0.14	4.21	2.02	1.37

*BM-Black ; Biodegradable mulching materials of black color

BM-Red ; Biodegradable mulching materials of red color

BM-White ; Biodegradable mulching materials of white color

다. 공시토양

2009년도와 2010년도 공시토양의 화학성은 표 4와 5에 나타낸바와 같다.

벼 재배를 위한 적정범위와 비교할 경우 pH는 적정범위 5.5~6.5 보다 2009년도 5.39로 약간 낮았으나 2010년도는 적정범위에, 유기물은 2009년도 6.2 g kg^{-1}, 2010년도 7.8 g kg^{-1}으로 적정범위 25~30보다 크게 적었다. 유효인산은 2009년도 28.4 mg kg^{-1}, 2010년도 16.1 mg kg^{-1}으로 적정범위 80~120 mg/kg보다 크게 적었고 치환성 칼륨은 2009년도 0.19 $cmol_c$ kg^{-1}, 2010년도 0.29 $cmol_c$ kg^{-1}으로 적정범위 0.25~0.30 $cmol_c$ kg^{-1} 보다 2009년도에 낮은 함량을 보였다. 그리고 치환성 칼슘과 마그네슘도 적정범위 5.0~6.0 $cmol_c$ kg^{-1} 및 1.5~2.0 $cmol_c$ kg^{-1} 에 비하여 크게 낮은 특성을 갖는 토양조건에서 시험을 수행하였다.

Table 4 Chemical properties of experimental soil in 2009

pH	EC	OM	NO_3-N	Ava. P_2O_5	Ava. SiO_2	Exchangeable Cations($cmol_c kg^{-1}$)			CEC
(1:5 H_2O)	dSm^{-1}	g kg^{-1}	mg kg^{-1}	mg kg^{-1}	mg kg^{-1}	K	Ca	Mg	cmolc kg^{-1}
5.39	0.23	6.2	6.15	28.4	0.2	0.19	1.59	0.38	5.8

Table 5 Chemical properties of experimental soil in 2010

pH	EC	T-N	OM	NO_3-N	NH_4-N	Av, SiO_2	Av. P_2O_5	Exchangeable Cations			CEC
								K	Ca	Mg	
(1:5)	dS m^{-1}	%	g kg^{-1}	----------mg kg^{-1}----------				---------- $cmol_c$ kg^{-1}----------			
5.73	0.23	0.053	7.8	3.85	3.717	15.48	6.1	0.29	2.84	0.67	5.5

라. 직파재배방법

피복재 3가지 종류와 비교하기 위하여 무비구 및 토양검정 무피복재 처리 등 5개 처리구로 각각 수행하였으며 볍씨는 상온의 소독약 침출액에서 체아를 시킨 후에 피복재는 이앙 간격에 맞추어 구멍을 내고 토양 표층에, 무비구 및 토양검정구 무피복구는 이앙간격으로 토양표층에 동일하게 체아된 볍씨를 파종하였다. 토양검정에 의한 시비량은 표 6과 같이 2009년도는 질소-인산-칼륨이 93-70-54 kg ha^{-1}으로 2010년도는 질소-인산-칼륨이 86-94-9 kg ha^{-1}으로 검정 추천되었다.

Table 6. Recommendation of fertilizer application by soil test

Year	N	P_2O_5	K_2O
	---------- kg ha^{-1}----------		
2009	93	70	54
2010	86	94	9

마. 조사항목

1) 피복제 분해율 ; 피복제 단위면적당 무게 감소비율로 이앙후 30일, 50일, 70일 및 90일에 피복제 시료를 채취하여 조사하였다.

2) 잡초발생량 ; 무피복 처리의 잡초발생량은 7월 초순과 9월 중순에 피복재는 9월 중순에 전체 처리구(28 m^2)에서 채취하여 합산 잡초발생량으로 하였다.

바. 경종사항

시험포장은 충북 청주시 흥덕구 성봉로 410번지 충북대학교 시험포장에서 수행하였으며 파종은 2009년에 5월 18일 2010년에 5월 20일에 각각 추청 볍씨를 파종하였다. 처리구 면적은

4mx7m(28 m^2)으로 3반복 임의배치 하였다. 질소비료는 밑거름: 이삭거름 7:3 비율로 시용하였고 인산과 칼륨은 토양 검정에 의한 전량을 밑거름으로 시용하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 발아 및 초기생육

시험구의 벼 직파방법은 이앙 간격의 위치에 구멍을 내고 체아된 볍씨 종자 10개 내외를 파종하고 파종된 볍씨개수에 대한 발아 및 입모된 수를 백분율로 표 7에 나타냈다. 피복제 종류나 피복 조건에 따른 발아 및 입모율은 유의성 있는 차이를 보이지 않았으며, 모든 처리에서 발아 및 입모상태는 정상적이었다. 사진 25와 26은 2009년도와 2010년도의 실험 조건별 발아 및 초기 생육상태를 나타낸 것이다

Table 7. Percent of establishment for direct seeding of rice

Year	Treatment	Establishment(%)
2009	NM-NF*	82.5a
	NM-CF	80.4a
	BM-Black(8508)	77.8a
	BM-Blue(8013)	78.2a
	BM-White	81.3a
2010	NM-NF	86.2a
	NM-CF	84.4a
	BM-Black(8706)	82.6a
	BM-Red(8310)	83.5a
	BM-White(8211)	84.1a

*NM-NF ; Non-mulching materials with no fertilization

NM-CF ; Non-mulching materials with conventional fertilization

BM-Black ; Biodegradable mulching materials of black color

BM-Red ; Biodegradable mulching materials of red color

BM-White ; Biodegradable mulching materials of white color

BM-Blue; Biodegradable mulching materials of blue color

**Duncan's multiple range test

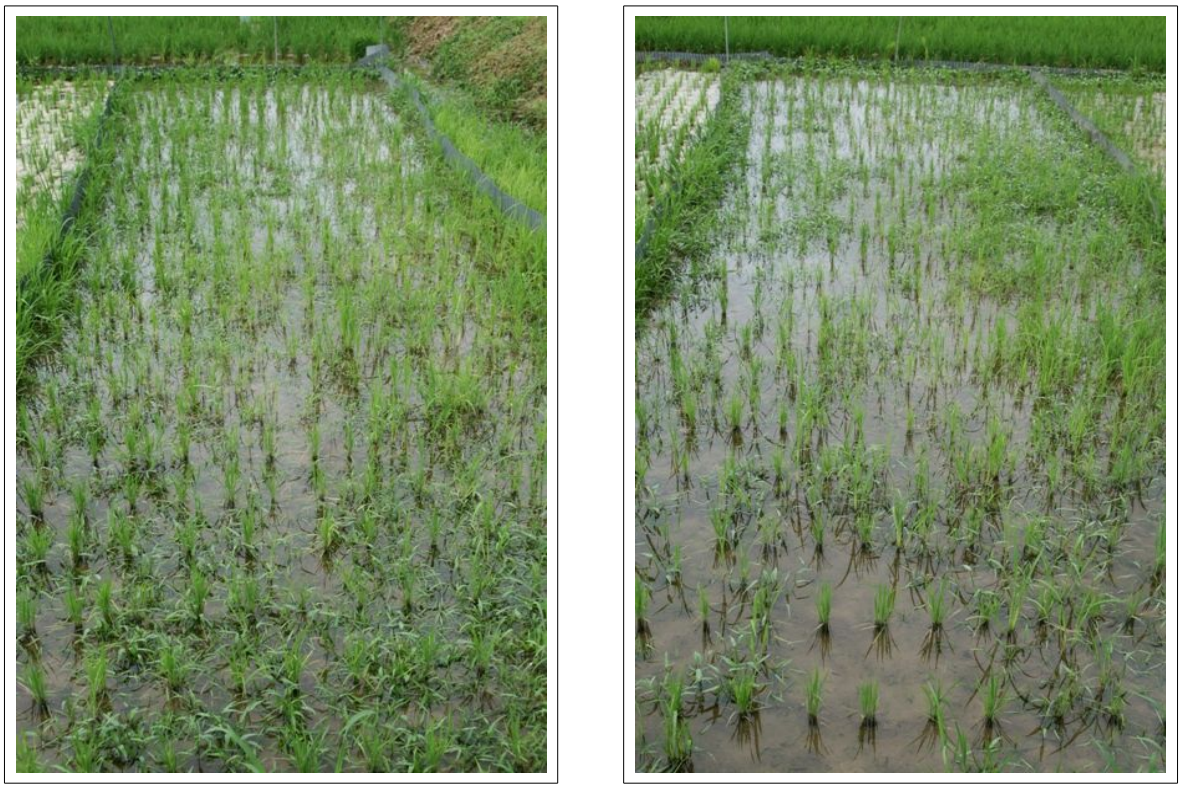
(a) Non-mulching materials with no fertilization(NM-NF)

(b) Non-mulching materials with conventional fertilization(NM-CF)

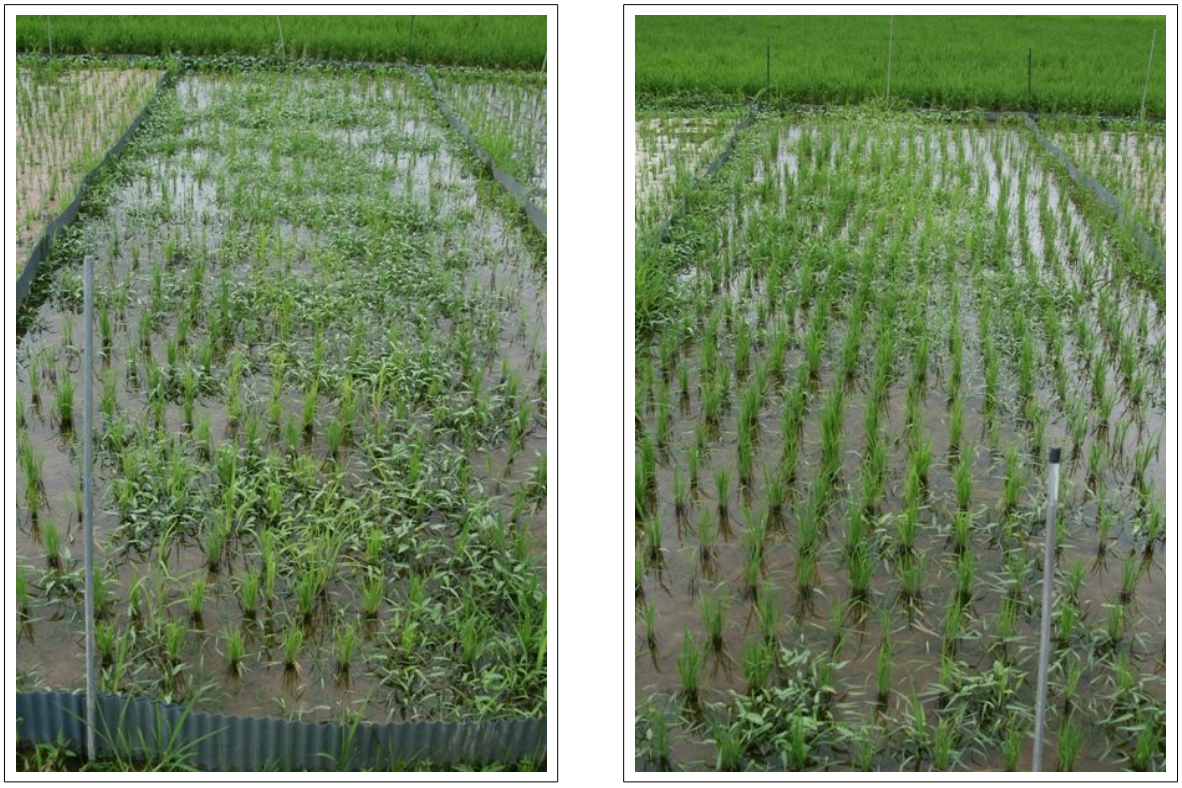
(c) Biodegradable mulching materials of black color(BM-Black; Sample 8508)

(d) Biodegradable mulching materials of blue color(BM-Blue; Sample 8013)

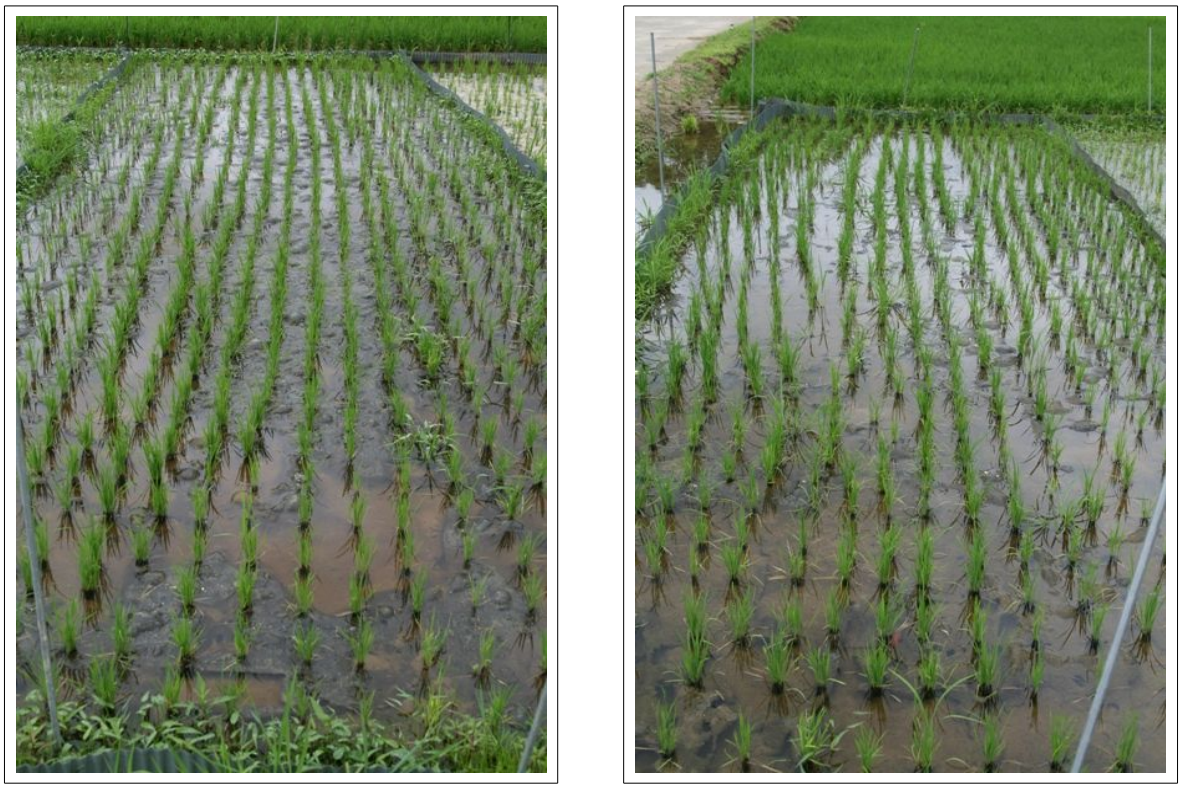
Photo. 25. The initial growth and germination of paddy by experimental condition in 2009



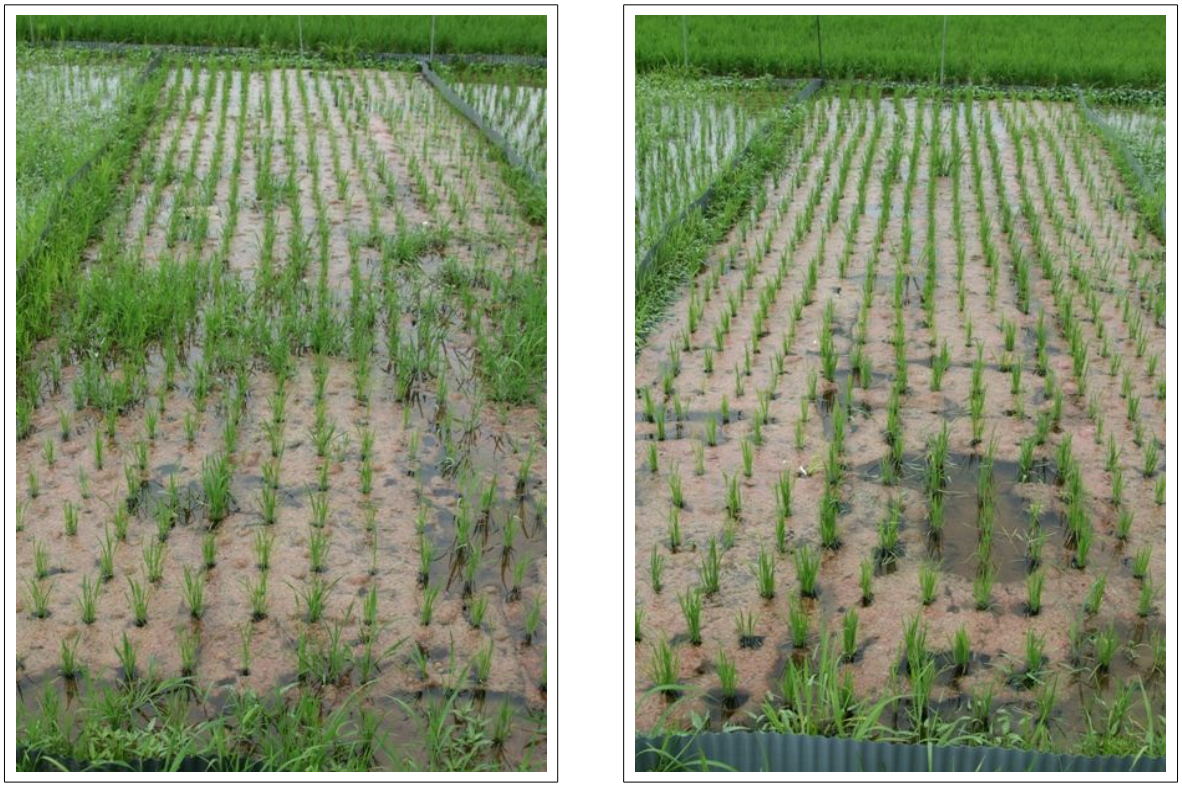
(a) Non-mulching materials with no fertilization(NM-NF)



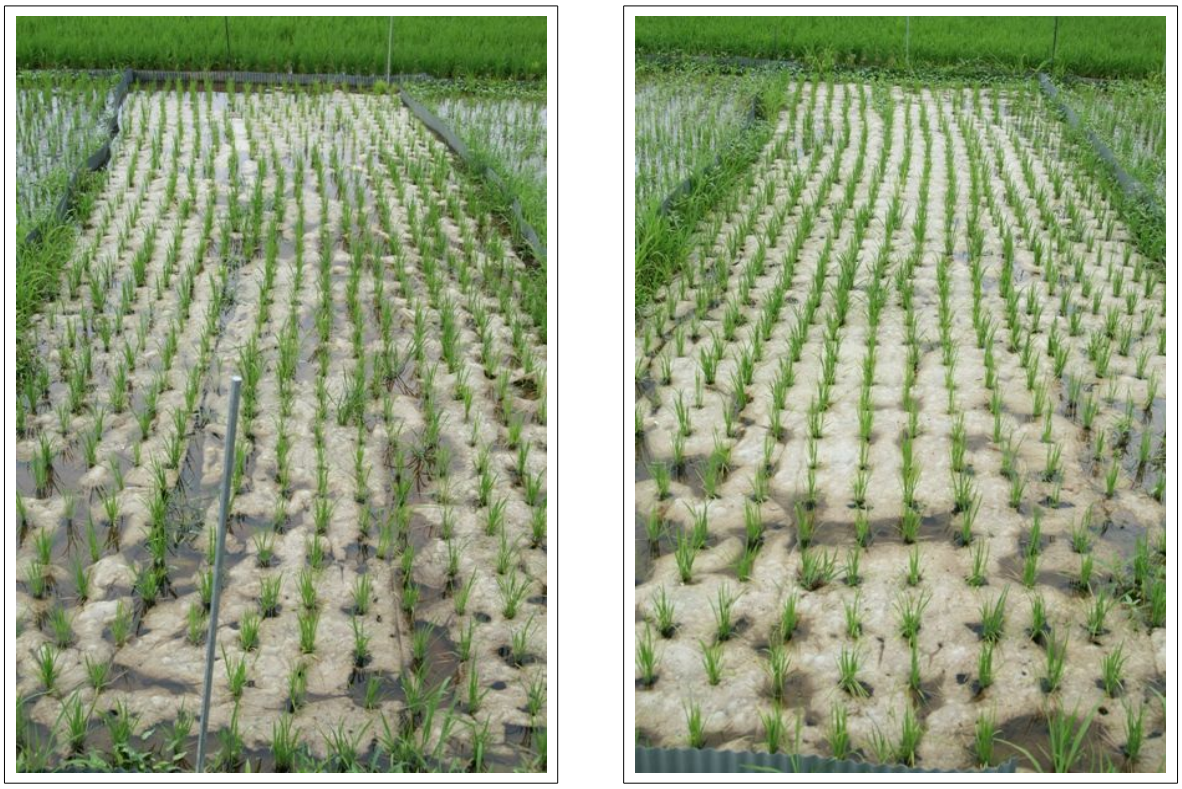
(b) Non-mulching materials with conventional fertilization(NM-CF)



(c) Biodegradable mulching materials of black color(BM-Black; Sample 8706)



(d) Biodegradable mulching materials of red color(BM-Red; Sample 8310)



(e)Biodegradable mulching materials of white color(BM-White; Sample 8211)

Photo. 26. The initial growth and germination of paddy by experimental condition in 2010.

나. 중간 생육

2009년도 파종 후 50일째의 벼 생체량과 건물중 엽수 초장을 표 8에서 비교해 볼 때 통계적인 유의성은 인정되지 않았지만 검은색 피복재의 생체량과 건물중이 가장 높았고 다음으로 흰색피복재, 관행구, 청색피복재, 무비구 순이었다. 엽수는 무비구가 가장 많았고 초장은 검정 피복재 처리구가 58.69cm 로 가장 길었다.

2010년도 파종 후 72일째의 벼 생체량과 건물중을 표 9에서 비교해 볼 때 피복제 처리는 무피복 처리에 비하여 유의성있는 차이를 보이며 생체량과 건물중이 높았다. 피복재 처리에 의한 이러한 중간 생체량 증가는 표 10의 양분흡수량도 피복제 처리가 무피복제 처리보다 유의성 있는 차이로 더 증가되는 결과를 보였다. 이러한 결과는 피복재 물질 자체에 함유된 양분의 첨가효과에 기인된 것으로 생각되었다. 사진 27과 28에서 볼 수 있는 바와 같이 2009년도와 2010년도의 중반기 이후 피복재 처리의 벼 중간 생장은 정상적이었다.

Table 8. Growth characteristics of rice at the 50th day after seeding in 2009

Treatment	Fresh weight	Dry weight	No of leaves	Height
	kg ha^{-1}	kg ha^{-1}	ea $plant^{-1}$	cm
NM-NF*	603a**	144ab	6.37a	58.41a
NM-STF	725a	180a	5.00bc	50.88b
BM-Black	758a	172a	4.73c	58.69a
BM-Blue	641a	128b	5.50b	54.78ab
BM-White	730a	179a	5.07bc	56.23a

*NM-NF; Non-mulching materials with no fertilization

NM-STF; Non-mulching materials with soil test fertilization

BM-Black; Biodegradable mulching materials of black color

BM-Blue; Biodegradable mulching materials of blue color

BM-White; Biodegradable mulching materials of white color

**Duncan's multiple test

Table 9. Biomass of rice crop at the 72nd day after seeding in 2010

Treatment	Fresh weight	Dry weight
	---------- kg ha^{-1}----------	
NM-NF*	3014a**	772a
NM-STF	3180a	833a
BM-Black	6071b	1469b
BM-Red	7159b	1603b
BM-White	7083b	1503b

*NM-NF ; Non-mulching materials with no fertilization

NM-STF ; Non-mulching materials with soil test fertilization

BM-Black ; Biodegradable mulching materials of black color

BM-Red ; Biodegradable mulching materials of red color

BM-White ; Biodegradable mulching materials of white color

**Duncan's multiple range test

Table 10. Nutrients contents and amount of uptake of rice crop after 72nd day in 2010

	Nutrient contents					Nutrient amount of uptake				
	T-N	P_2O_5	K_2O	CaO	MgO	T-N	P_2O_5	K_2O	CaO	MgO
	%					kg ha^{-1}				
NM-NF*	1.97ab*	0.40a	2.18a	0.46a	0.21a	1520a	309a	1686a	358a	163a
NM-STF	1.67a	0.41a	2.39ab	0.53a	0.22ab	1422a	331a	1963a	459ab	182a
BM-Black	2.21b	0.38a	2.41ab	0.51a	0.25ab	3244b	562b	3537bc	750bc	372b
BM-Red	1.71a	0.46b	2.67b	0.45a	0.26b	2713b	741c	4309b	714bc	424b
BM-White	2.08b	0.37a	2.16a	0.53a	0.24ab	3106b	549b	3226b	806c	368b

*NM-NF ; Non-mulching materials with no fertilization

NM-STF ; Non-mulching materials with soil test fertilization

BM-Black ; Biodegradable mulching materials of black color

BM-Red ; Biodegradable mulching materials of red color

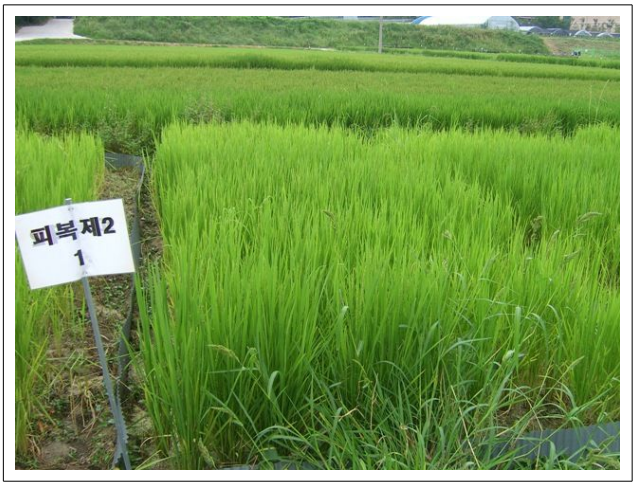
BM-White ; Biodegradable mulching materials of white color

**Duncan's multiple range test

(a) Non-mulching materials with no fertilization(NM-NF)

(b) Non-mulching materials with conventional fertilization(NM-CF)

(c) Biodegradable mulching materials of black color(BM-Black; Sample 8508)

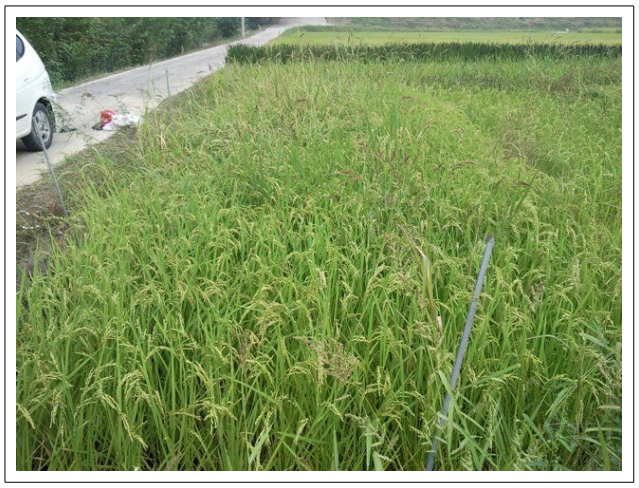


(d) Biodegradable mulching materials of blue color(BM-Blue; Sample 8013)

Photo. 27. The middle growth of paddy by experimental condition in 2009.

(a) Non-mulching materials with no fertilization(NM-NF)

(b) Non-mulching materials with conventional fertilization(NM-CF)



(c) Biodegradable mulching materials of black color(BM-Black; Sample 8706)

(d) Biodegradable mulching materials of red color(BM-Red; Sample 8310)

(e) Biodegradable mulching materials of white color(BM-White; Sample 8211)

Photo. 28. The middle growth of paddy by experimental condition in 2010.

다. 피복재 분해율

피복제 처리 후 경시적인 분해율은 피복제 단위 면적당 중량의 감수량을 분해율로 환산하여 표 11과 12에 나타냈다.

2009년도의 경우 피복제 종류별로는 검정색 < 백색 =< 청색의 순으로 검정색의 분해율이 가장 낮았으며, 파종 후 70일째 검정색 59.2%, 청색 68.2%, 백색 70.2%로 각각 분해되었으며 90일째는 모든 피복제 처리가 피복제 잔류물질을 확인할 수 없을 정도로 완전히 분해되었다(표 11).

피복제의 재료구성이 변화된 2010년의 경우 색깔별로는 검정색 < 백색 =< 적색의 순으로 2009 경우와 동일하게 검정색 피복제의 분해비율이 가장 낮았다. 파종 후 70일째 피복제 분해율은 검정색 52.3%, 적색 64.8%, 백색 61.5%로 각각 분해되었으며 90일째는 2009년도의 경우와 마찬가지로 모든 피복제 처리가 피복제 잔류물질을 확인할 수 없을 정도로 완전히 분해되었다(표 12). 파종후 90일경 생분해 피복제의 완전한 분해율은 벼의 생장이 진전되어 차광에 의해 잡초가 발생되지 않을 시기이므로 잡초방제에는 큰 문제가 없는 것으로 생각되었다.

Table 11. Decomposition rate of biodegradable mulching materials during the growing stage in 2009

Treatment	Before	50th day		70th day		90th day	
	g m^{-2}	g m^{-2}	Rate(%)	g m^{-2}	Rate(%)	g m^{-2}	Rate(%)
BM-Black*	61.1	49.9	18.2	24.9	59.2	0.0	100.0
BM-Blue	46.5	31.0	33.4	14.8	68.2	0.0	100.0
BM-White	65.7	43.1	34.4	17.5	73.4	0.0	100.0

*BM-Black; Biodegradable mulching materials of black color

BM-Blue; Biodegradable mulching materials of blue color

BM-White; Biodegradable mulching materials of white color

Table 12. Decomposition rate of biodegradable mulching materials during the growing stage in 2010

Treatment	Before	30th DAT		50th DAT		70th DAT		90th DAT	
	g m^{-2}	g m^{-2}	Rate (%)	g m^{-2}	Rate (%)	g m^{-2}	Rate (%)	g m^{-2}	Rate (%)
BM-Black*	53.3	51.9	2.6	43.5	18.4	25.4	52.3	0	100
BM-Red	70.0	60.8	13.1	52.2	25.4	24.7	64.8	0	100
BM-White	63.7	55.7	12.6	50.7	20.4	24.5	61.5	0	100

*BM-Black ; Biodegradable mulching materials of black color

BM-Red ; Biodegradable mulching materials of red color

BM-White ; Biodegradable mulching materials of white color

라. 잡초 발생량

벼 생육기간 동안 발생된 잡초량은 표 13과 14에 나타냈다.

2009년도의 경우 잡초발생 억제효과는 검정색 피복제에서 가장 양호하여 관행 토양검정 시비구를 기준으로 약 53.8%의 잡초 발생량을 보였다(표 13).

그러나 2010년도의 피복제는 2009년도의 피복제보다 잡초발생 억제효과가 우수하여 관행 토양검정 시비구를 기준으로 검정색 피복제가 15.6%, 흰색 피복제가 23.5%, 적색 피복제가 49.8%의 잡초발생량을 보이며 검정색이 가장 양호한 잡초방제 효과를 나타냈다(표 14).

이러한 결과는 검정색 피복재가 피복제 분해비율에서 가장 낮았던 결과와 관련되었으며 제초제를 대체할 수 있는 친환경 벼 재배에 검정색 피복재가 가장 효율적임을 보여 주었다. 따라서 검정색 생분해 피복제는 제초제 사용하지 않는 친환경 벼 재배에 활용 가능한 것으로 평가되었다.

Table 13. Development of weed during the growth stage of rice in 2009

Treatment	Fresh weight	Dry weight	Ratio
	kg ha^{-1}	kg ha^{-1}	%
NM-NF*	25,666a**	6,586a	287.2
NM-STF	14,333ab	2,293ab	100
BM-Black	4,633b	1,233b	53.8
BM-Blue	16,000ab	5,016ab	218.8
BM-White	15,333ab	2,933ab	127.9

*NM-NF; Non-mulching materials with no fertilization

NM-STF; Non-mulching materials with soil test fertilization

BM-Black; Biodegradable mulching materials of black color

BM-Blue; Biodegradable mulching materials of blue color

BM-White; Biodegradable mulching materials of white color

**Duncan's multiple test

Table 14. Development of weed during the growth stage of rice crop in 2010

Treatment	Fresh weight	Dry weight	Ratio
	kg ha^{-1}	kg ha^{-1}	%
NM-NF*	432,800bc**	86,218bc	85.8
NM-STF	686,433c	100,450c	100
BM-Black	90,667a	15,700a	15.6
BM-Red	269,633ab	50,039ab	49.8
BM-White	129,733a	23,651a	23.5

*NM-NF ; Non-mulching materials with no fertilization

NM-STF ; Non-mulching materials with soil test fertilization

BM-Black ; Biodegradable mulching materials of black color

BM-Red ; Biodegradable mulching materials of red color

BM-White ; Biodegradable mulching materials of white color

**Duncan's multiple range test

마. 수확기 수량 및 양분흡수량

수확 후 벼 생체중 및 이삭중량과 조곡수량은 표 15 및 16과 같다. 2009년도의 경우 벼 생체중, 건물중, 이삭중량 및 조곡수량 모두 검정색 피복제 처리는 유의성 있는 차이를 보이며 가장 높았다(표 14). 2010년도의 경우에도 수확기 벼 생체중, 건물중, 이삭중량 및 조곡수량은 통계적인 유의성은 인정되지 않았지만 검정색 피복제가 가장 양호하였다(표 16). 이러한 결과는 검정색 피복제가 분해비율이 가장 낮았기 때문에 잡초방제 효과가 가장 양호하였던 결과와 밀접하게 관련되었다.

수확후 벼 식물체의 양분함량 및 흡수량은 표 17 및 18과 같다. 2009년도의 경우 벼 식물체의 질소 함량은 유의성 있는 차이를 보이며 검정색 피복제가 가장 높은 함량을 보였으나 2010년의 경우는 피복제 처리에 의한 양분 함량 및 흡수량이 유의성 있는 차이를 보이지 않았다. 2009년도 양분함량 특히 질소함량에서 유의성 있게 가장 높았던 결과는 수확 후 수량 및 생체량이 검정색 피복제 처리에서 가장 양호하였던 결과와 밀접하게 관련되었다.

사진 29와 30은 2009년도와 2010년도의 실험 조건에 따른 수확전 모습을 나타낸 것이다.

Table 15. Biomass and yield of rice at the harvest in 2009

Treatment	Fresh weight	Dry weight	Panicle weight	Yield (crude grain)
	kg ha^{-1}	kg ha^{-1}	kg ha^{-1}	kg ha^{-1}
NM-NF*	4094a*	1627c	1256c	821c
NM-STF	6013a	2419bc	2177bc	1377abc
BM-Black	7539a	3347a	3176a	2020a
BM-Blue	7444a	2876ab	2645ab	1685ab
BM-White	5883a	2356bc	2048bc	1216bc

*NM-NF; Non-mulching materials with no fertilization
NM-STF; Non-mulching materials with soil test fertilization
BM-Black; Biodegradable mulching materials of black color
BM-Blue; Biodegradable mulching materials of blue color
BM-White; Biodegradable mulching materials of white color
**Duncan's multiple test

Table 16. Biomass and yield of rice at the harvest in 2010

Treatment	Fresh weight	Dry weight	Panicle weight
	---------- kg ha^{-1}----------		
NM-NF*	2405a	779a	811a
NM-STF	3436ab	1114ab	1171a
BM-Black	3854b	1243b	1195a
BM-Red	3464ab	1037ab	1046a
BM-White	3849b	1172b	1152a

*NM-NF ; Non-mulching materials with no fertilization

NM-STF ; Non-mulching materials with soil test fertilization

BM-Black ; Biodegradable mulching materials of black color

BM-Red ; Biodegradable mulching materials of red color

BM-White ; Biodegradable mulching materials of white color

**Duncan's multiple range test

Table 17. Nutrients contents of rice at the harvesting stage in 2009

Treatment	N	P_2O_5	K_2O	CaO	MgO
	%	%	%	%	%
NM-NF*	0.72b	0.18a	0.89b	1.36a	0.12a
NM-STF	0.76b	0.16a	0.96ab	1.54a	0.09a
BM-Black	1.03a	0.19a	1.23a	1.86a	0.12a
BM-Blue	0.85b	0.19a	0.98ab	1.28a	0.10a
BM-White	0.76b	0.17a	0.96ab	1.40a	0.90a

*NM-NF; Non-mulching materials with no fertilization

NM-STF; Non-mulching materials with soil test fertilization

BM-Black; Biodegradable mulching materials of black color

BM-Blue; Biodegradable mulching materials of blue color

BM-White; Biodegradable mulching materials of white color

**Duncan's multiple test

Table 18. Nutrients contents and amount of uptake of rice crop at the harvest in 2010

	Nutrient contents					Nutrient amount of uptake				
	T-N	P_2O_5	K_2O	CaO	MgO	T-N	P_2O_5	K_2O	CaO	MgO
	---------- % ----------					---------- kg ha^{-1} ----------				
NM-NF*	0.55a**	0.20ab	2.42a	0.42a	0.11a	430a	153a	1855a	321a	85a
NM-STF	0.67a	0.18a	2.67a	0.60a	0.12a	730b	199ab	2946b	657b	128ab
BM-Black	0.63a	0.28c	2.20a	0.40a	0.16a	782b	352c	2706b	493ab	197c
BM-Red	0.65a	0.27c	2.65a	0.42a	0.154a	675ab	274bc	2750b	438ab	158bc
BM-White	0.56a	0.25bc	2.60a	0.46a	0.17a	651ab	289bc	3017b	535ab	194c

*NM-NF ; Non-mulching materials with no fertilization

NM-STF ; Non-mulching materials with soil test fertilization

BM-Black ; Biodegradable mulching materials of black color

BM-Red ; Biodegradable mulching materials of red color

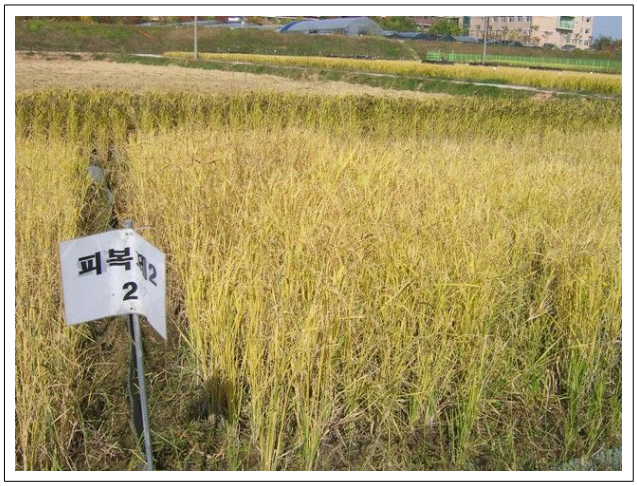
BM-White ; Biodegradable mulching materials of white color

**Duncan's multiple range test

(a) Non-mulching materials with no fertilization(NM-NF)

(b) Non-mulching materials with conventional fertilization(NM-CF)

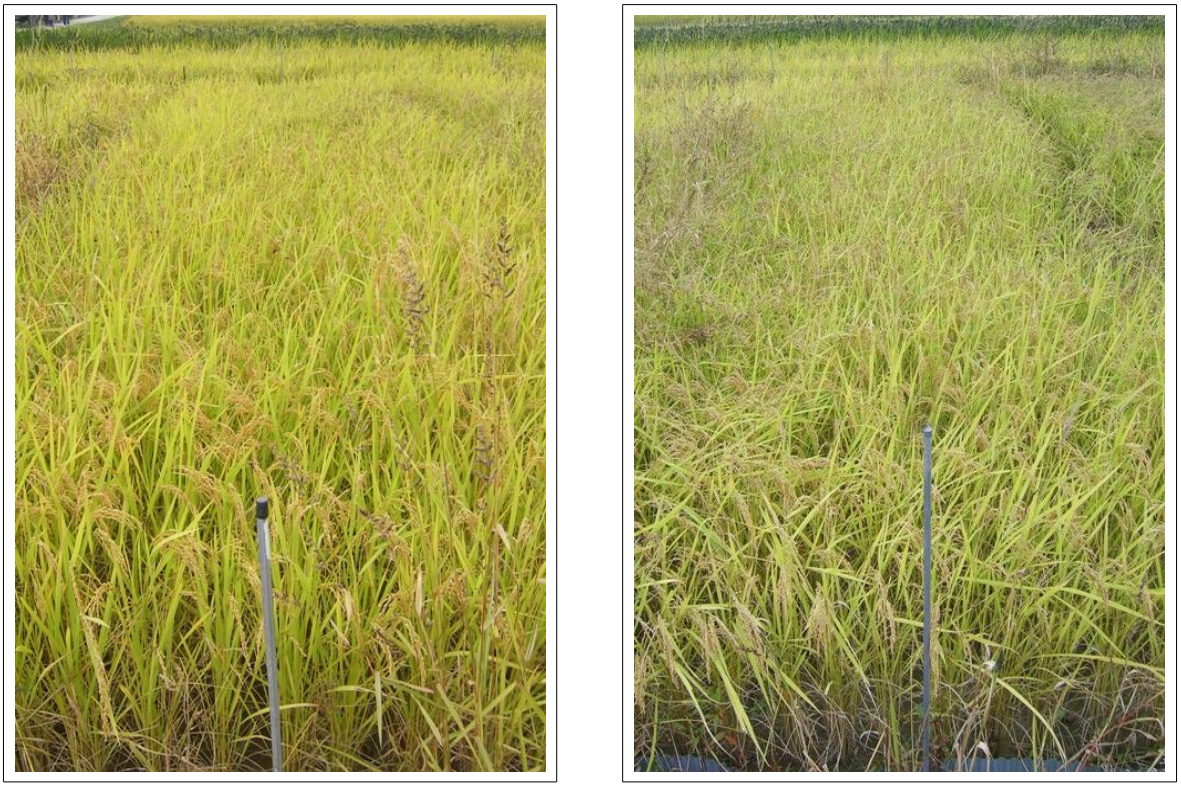
(c) Biodegradable mulching materials of black color(BM-Black; Sample 8508)



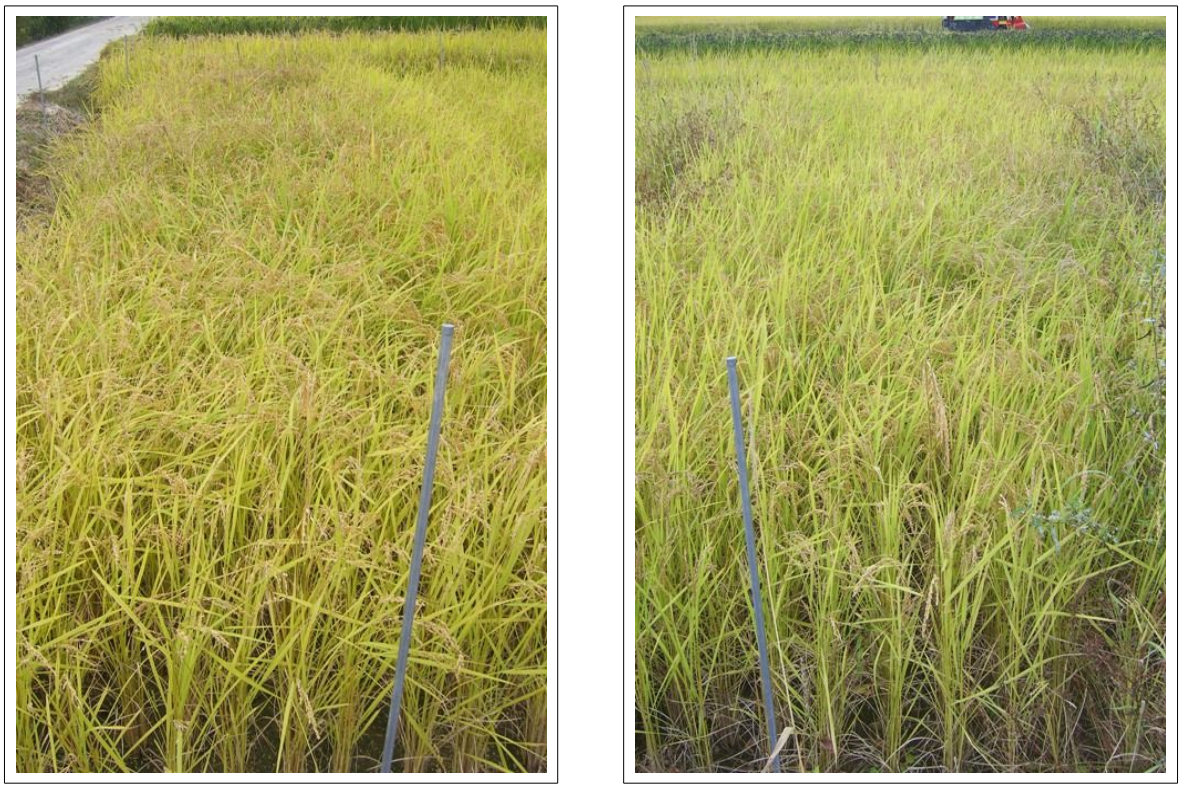
(d) Biodegradable mulching materials of blue color(BM-Blue; Sample 8013)

Photo. 29. The image of before harvesting by experimental condition in 2009

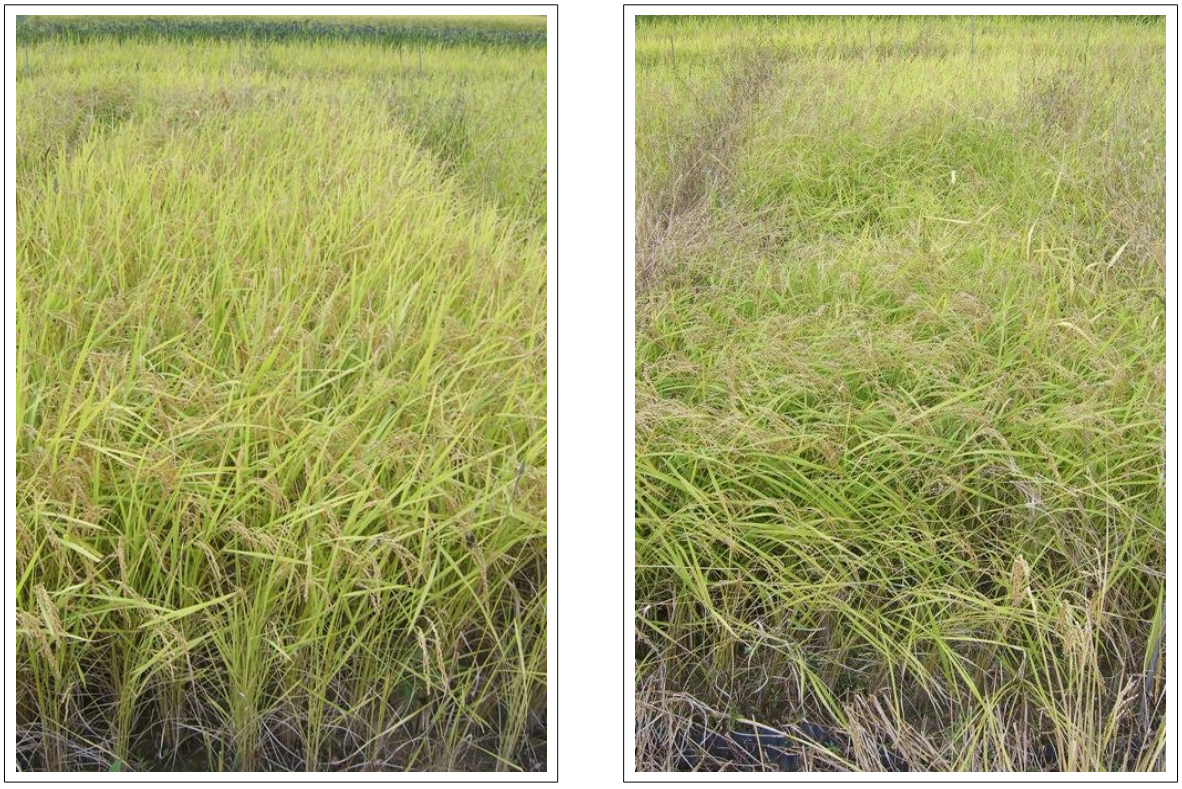
(a) Non-mulching materials with no fertilization(NM-NF)



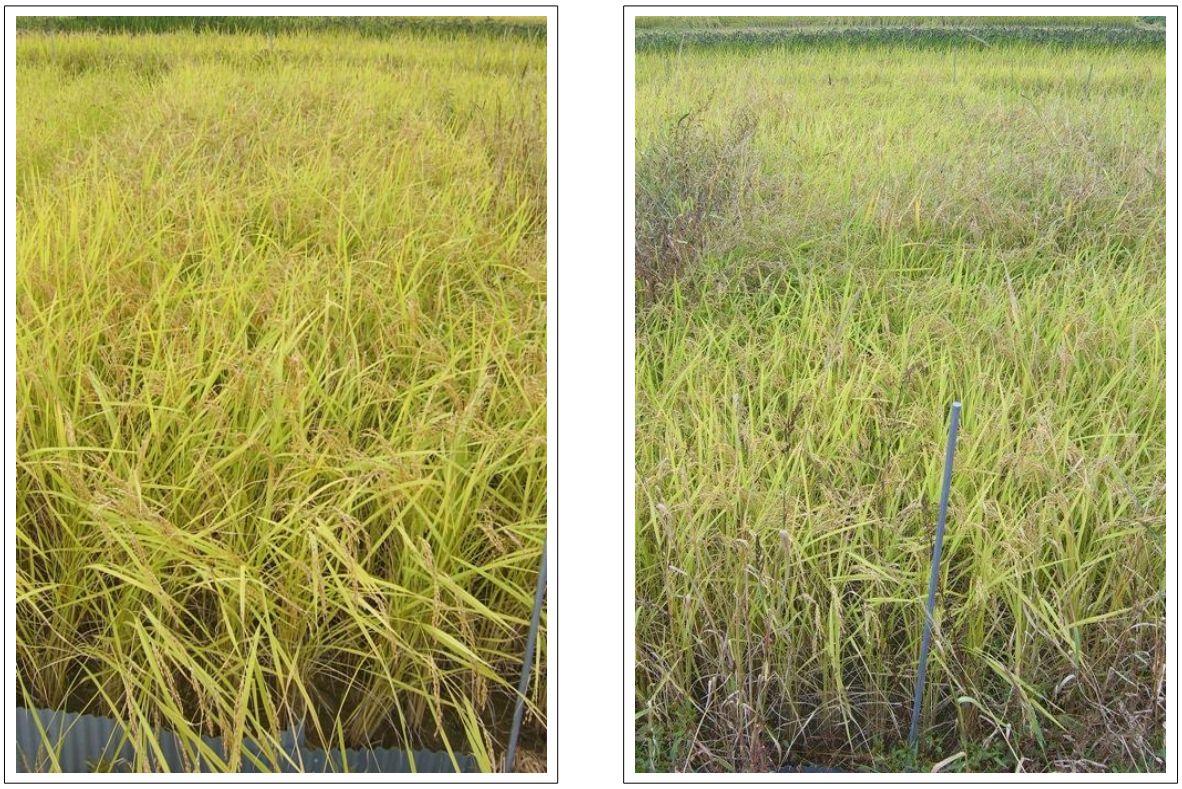
(b) Non-mulching materials with conventional fertilization(NM-CF)



(c) Biodegradable mulching materials of black color(BM-Black; Sample 8706)



(d) Biodegradable mulching materials of red color(BM-Red; Sample 8310)



(e) Biodegradable mulching materials of white color(BM-White; Sample 8211)

Photo. 30. The image of before harvesting by experimental condition in 2010.

바. 시험후 토양 화학성

시험 후 토양화학성 변화는 표 19와 20에 나타냈다. 피복제 첨가에 의한 시험 후 토양의 화학성은 특이한 변화를 보이지 않았다. 이는 단기간의 피복제 투입에 의해 토양화학성 변화가 인식되지 않은것으로 생각되었다.

이상의 결과를 종합하여 볼 때 검정색 생분해 피복제를 활용한 벼 직파재배는 분해율이 느려 차광에 의한 잡초방제 효과가 우수할 뿐 아니라 피복제 물질 자체의 양분공급 효과에 기인되어 벼의 생산성을 확보할 수 있는 친환경 재배방법에 활용 가능한 것으로 평가되었다.

Table 19. Chemical properties of soils after experiment in 2009

Treatment	pH (1:5 H_2O)	EC dS m^{-1}	OM g kg^{-1}	NO_3-N mg kg^{-1}	Ava. P_2O_5 mg kg^{-1}	Exchangeable Cations($cmol^+kg^{-1}$)			CEC $cmol_c$ kg^{-1}
						K	Ca	Mg	
NM-NF*	5.94	0.20	11.73	0.49	5.82	0.26	2.71	0.24	5.42
NM-STF	5.92	0.17	12.16	0.49	18.23	0.31	2.48	0.29	5.04
BM-Black	6.05	0.18	11.37	0.51	12.99	0.27	2.68	0.23	5.44
BM-Blue	5.72	0.17	11.85	0.45	13.27	0.28	2.20	0.23	4.94
BM-White	5.57	0.23	10.92	0.49	15.20	0.28	2.50	0.26	5.20

*NM-NF; Non-mulching materials with no fertilization

NM-STF; Non-mulching materials with soil test fertilization

BM-Black; Biodegradable mulching materials of black color

BM-Blue; Biodegradable mulching materials of blue color

BM-White; Biodegradable mulching materials of white color

Table 20. Chemical properties of soil at the harvest in 2010

Treatment	pH	EC	OM	NO_3-N	NH_4-N	Av. P_2O_5	Exchangeable Cations			CEC
							K	Ca	Mg	
	(1:5)	dS m^{-1}	g kg^{-1}	---------mg kg^{-1}--------			----------$cmol_c$ kg^{-1}----------			
NM-NF*	5.73	0.14	12.7	5.4	8.0	45.4	0.18	2.31	0.55	4.9
NM-STF	5.69	0.11	12.4	3.9	6.3	58.8	0.16	2.25	0.56	4.9
BM-Black	6.00	0.16	12.8	6.6	3.2	62.2	0.19	2.87	0.62	5.0
BM-Red	5.63	0.14	12.3	5.4	4.7	47.6	0.20	2.23	0.56	4.9
BM-White	5.61	0.14	9.3	6.2	2.5	40.4	0.19	2.22	0.55	4.9

*NM-NF ; Non-mulching materials with no fertilization

NM-STF ; Non-mulching materials with soil test fertilization

BM-Black ; Biodegradable mulching materials of black color

BM-Red ; Biodegradable mulching materials of red color

BM-White ; Biodegradable mulching materials of white color

4. 요약 및 결론

제초제를 사용하지 않는 벼의 친환경재배방법으로 생분해 피복제의 활용성을 평가하기 위하여 토양피복제 흑색, 청색, 적색, 흰색 등 4종의 생분해 피복제를 공시하여 잡초 방제율과 벼 생산성 및 토양화학성 변화를 조사하였다. 생분해 피복제는 목화, 다시마, 우피, 점토광물을 이용하여 제조한 특허 시제품을 파종전에 피복하여 추청벼 직파재배로 2009년부터 2년간 수행하였다.

2년간 공시된 4가지 생분해 피복제의 양분함량은 제품 조성의 차이로 전질소 함량 0.83%에서 1.95%, 칼륨은 0.28%에서 0.54%의 분포를 보였으며 인산은 0.1%% 이하로 낮은 함량을 보였다. 단위면적당 중량감소 비율로 나타낸 생분해 피복재의 분해율은 2009년 및 2010년 모두 검정색 제품이 가장 느렸으며 파종후 90일째는 모든 피복제가 형체를 확인할 수 없을 만큼 완전하게 분해되었다. 분해율이 가장 느렸던 검정색 생분해 피복제는 연차간에 동일하게 잡초방제 효과가 가장 양호하였다. 또한 2009년도 제조된 검정색 피복제는 재료 중 질소함량이 유의성 있는 차이로 가장 양호하였다. 이는 검정색 피복제가 잡초방제뿐 아니라 양분첨가에 의해 벼의 생체량이나 수량이 증가된 것으로 생각되었다. 따라서 검정색 생분해 피복제는 잡초방제 효과 뿐 아니라 양분 첨가효과가 인정되어 친환경 벼 직파재배에 활용 가능한 것으로 평가되었다.

제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

1. 연구개발 목표의 달성도

구분	연구개발의 목표	연구개발 수행 내용	달성도(%)
1차년도 (2009년)	○ 기능성 생분해 피복재 개발(제1세부)	○ 다양한 생분해성 재료들의 피복재 대체효과 ○ 선정된 생분해 재료들의 배합비율에 따른 피복재 특성	100
	○ 생분해 피복재의 직파재배 효율성 평가(제1협동)	○ 피복재에 따른 벼 발아율 및 벼 잡초 방제효과 ○ 피복재의 유기물 분해특성 및 피복재 유기물과 질소 첨가에 따른 토양의 물리화학성 변화	100%
	○ 피복재 및 농기계 특성별 파종기의 효율성 평가(제2협동)	○ 피복재료 후막특성에 따른 생분해 속도, 인장강도, 신장율 평가 ○ 피복재 후막특성에 따른 직파기의 장력 조절기능 개발 ○ 6조 직파기(작업 폭: 2m)에서 피복재료 후막특성에 따른 파종능률 65a/hr, 파종속도 0.3㎧ 이상, 파종정밀도 95% 이상의 사양으로 개발	100%
2차년도 (2010년)	○ 기능성 생분해 피복재 생산기술 개발(제1세부)	○ 생분해 피복재의 효율적 생산기술 개발	90%
	○ 기능성 생분해 피복재를 활용한 친환경 벼 직파재배기술 확대 보급(제1협동)	○ 노동력 절감효과 및 생산성 증대효과 ○ 토양조건별 피복재 직파기의 파종효률 및 발아율 평가	100%
	○ 농기계 부착형 생분해 피복재 전용 벼 직파기 술 개발 및 평가(제2협동)	○ 6조 직파기(작업 폭: 2m)에서 적정 피복재료 후막특성 및 토양조건에 따른 파종능률 90a/hr, 파종속도 0.4㎧ 이상, 파종정밀도 95% 이상의 사양으로 개발 ○ 적정 피복재 후막특성 및 토양조건에 따른 직파기의 장력 조절기능 보완 ○ 농기계 종류별 부착에 따른 호환성 평가	90%

2. 관련분야의 기여도

가. 벼 직파재배시 노동력 및 생산비 절감과 경쟁력 확보

우리나라의 농업은 노동력 부족 및 매년 쌀 소비량의 감소로 인하여 어려움에 직면해 있다. 쌀은 우리의 오랜 주식으로서 매년 영농비용 중 인건비 및 자재비용은 증가하는 추세이고, 그 중 이앙이 차지하는 비중이 높다. 따라서 벼 재배방법 중에서 노동력 절감이 가장 크게 기대되는 방법으로서 못자리 재배를 생략할 수 있는 벼 직파재배 방법에 관한 연구가 수행되어 왔다. 이와 같은 벼 직파재배 방법으로는 무논직파와 건답직파가 있고, 최근에는 직파재배 기술과 함께 멀칭기술을 접목시켜 벼뿐만 아니라 일반 밭작물의 파종에도 널리 이용되고 있다.

멀칭이란 작물을 재배하는 지표면을 왕겨, 짚, 종이, 비닐 등으로 피복하는 작물 재배방법으로서 지온조절, 토양수분 보존, 양분의 유실방지, 잡초제거 효과 등 작물의 환경요인을 조절하는 기능을 수행하는 장점을 가지고 있지만 수확시기까지 자연분해가 이루어지지 않는 난분해성 및 수확 후 제거해야하는 번거로움과 환경오염 등의 문제로 멀칭 재료에 대한 연구가 많이 변화하고 있다.

따라서 본 연구에서 벼 직파재배시 이앙에 소요되는 노동력 및 생산비 절감을 위하여 폐기 목화솜, 동물성 아교(우피), 식물성 아교(다시마) 및 제올라이트를 이용하여 미생물에 의해 분해가 가능한 친환경적인 생분해 피복재를 개발하여 기존의 멀칭에 의한 벼 직파재배의 단점을 보완하여 효율적 벼 생산비 절감기술 개발하였다. 또한 벼 직파재배시 노동력 절감과 기존의 제초제 및 비료 값 등 생산비 절감을 통하여 우리 쌀의 경쟁력을 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

나. 안전 안심의 고품질 벼 생산으로 고부가가치 창출

우리나라의 농업은 소비자의 생활수준 향상으로 인한 농산물의 안전성 및 환경오염 등에 대한 인식이 높아지고 있다. 이와 같이 소비성향 및 기대에 부응하기 위하여 친환경 고품질 쌀 생산기술을 개발하여 소비자에게 외국산 쌀보다 우리 쌀의 밥맛이나 안전성에서 우수하다는 인식을 갖도록 노력을 기울여야 할 것으로 판단된다.

따라서 본 연구에서 폐기 목화솜, 동물성 아교(우피), 식물성 아교(다시마) 및 제올라이트를 이용하여 개발한 친환경적 생분해 피복재 및 벼 직파재배 기술은 기존의 관행 벼 재배법과 비교하여 제초제 및 비료 사용을 절감할 수 있기 때문에 생산자에게 있어서 고품질 쌀을 생산하여 고부가가치의 소득으로 경제성을 높일 수 있고, 소비자에게 안전 안심의 고품질의 농산물을 공급할 수 있을 것으로 판단된다.

다. 친환경적인 벼 재배기술 개발로 인한 환경문제 해결

현재 국제사회에서 부각되고 있는 지구온난화 방지협약과 환경보호조약에 따른 공해물질 배출 제한에 의해 농업분야에서도 친환경적인 재배기술 개발이 요구되고 있다.

본 기능성 생분해 피복재를 활용한 친환경 벼 직파 재배기술 개발을 통하여 제초효과가 확실한 생분해 피복재가 개발된다면 제초제를 사용하지 않는 무농약 농산물이나 유기농산물 등의 친환경농산물 생산기술 뿐 아니라, 토양의 산성화 등 농업환경 문제를 해결할 수 있을 것으로 판단된다.

제 5 장 연구개발 성과 및 성과활용 계획

1. 연구개발결과의 활용방안

☞ **산업체**

(1) 기능성 생분해 피복재를 활용한 친환경 벼 직파 재배기술 개발을 협동연구기관으로부터 인수

- 연구 종료 후 본 연구에 참여한 연구 인력을 윤농바이오의 연구원으로 채용
- 기능성 생분해 피복재를 이용한 벼 직파기의 설계도 보완 수정
- 기능성 생분해 피복재를 이용한 벼 직파기의 확대 보급

(2) 기술 이전을 통해 기능성 생분해 피복재를 이용한 벼 직파기 및 기능성 생분해 피복재 상품화

- 기능성 생분해 피복재를 이용한 벼 직파기 문제점 및 디자인 보완 제작 및 기능성 생분해 피복재 상품화
- 환경 및 농수산 제품 관련 정부 보조사업 추진
- 상품화 완료(수정 및 보완기간 약 1년 정도 예상)

(3) 시험 판매

- 농협 또는 영농법인을 선정하고 후불제 계약을 한 후 시운전하면서 기능성 생분해 피복재를 이용한 벼 직파기 및 기능성 생분해 피복재 상품 판매에 의한 대금 회수
  (현재 제주도 초원 영농조합과 계약을 체결한 상태임)

(4) 해외 시장 수출

- 일본 (주)쥬코샤(현재 일본 북해도 오비히로시에 있는 농업경영 컨설팅 회사로서 정밀 농업 및 친환경 농업을 농민들에게 컨설팅 수행 중)를 통해 일본시장 진출
- 캐나다 엘버타주에서 기능성 생분해 피복재에 대한 기술 교육을 완료한 상태이고, 생분해 피복재를 이용한 밀 재배을 위하여 샘플을 전송하였으며, 수출을 계획하고 있음

☞ **학계**

(1) 기능성 생분해 피복재 연구결과를 국내외 학회지에 발표

(2) 기능성 생분해 피복재를 활용한 벼 직파기 연구결과를 국내외 학회지에 발표

(3) 기능성 생분해 피복재 및 벼 직파기를 강의교재 및 강의용으로 활용

(4) 농업분야 이외의 산업분야로 응용연구 추진

2. 기대성과

가. 기술적 측면

(가) 고품질 쌀 생산을 위한 새로운 친환경 기능성 생분해 피복재 개발 확립.

(나) 기능성 생분해 피복재를 활용한 친환경 작물재배 기술로서 벼와 밭작물을 포함한 모든 작물의 친환경 농산물 생산기술로 확대.

(다) 모든 농기계에 부착할 수 있는 생분해 피복재 전용 벼 직파기를 개발하여 기능성 생분해 피복재를 활용한 친환경 재배의 작목별 활용성을 증대.

나. 경제적·산업적 측면

(가) 소비자에게 안전한 국내산 쌀 공급 가능

폐기 목화솜, 동물성 아교(우피), 식물성 아교(다시마) 및 제올라이트를 이용하여 개발한 친환경적 생분해 피복재 및 벼 직파재배 기술은 제초제 및 비료 사용을 절감할 수 있기 때문에 소비자에게 안전 안심의 고품질의 농산물을 공급할 수 있음.

(나) 벼 직파재배시 제초제 및 비료 사용을 절감은 생산자에게 있어서 생산비 절감과 함께 고품질 쌀을 생산하여 고부가가치의 소득으로 경제성을 높일 수 있음.

(다) 생분해 피복재를 활용한 친환경 벼 직파 재배기술 개발을 통하여 제초효과가 확실한 생분해 피복재가 개발되어 제초제를 사용하지 않는 무농약 농산물이나 유기농산물 등의 친환경농산물 생산기술 뿐 아니라, 토양의 산성화 등 농업환경 문제를 해결할 수 있을 것으로 판단됨.

(라) 국내 시장의 활성화

친환경 벼 직파재배기술을 확대 보급하여 난립하고 있는 친환경 쌀 생산기술의 문제점 해결.

(마) 수출 가능

현재 일본 북해도와 캐나다 엘버타주 등에 기능성 생분해 피복재를 활용한 농법에 대한 기술 교육 및 홍보가 완료되어 2012년부터 수출이 가능할 것으로 사료됨.

(바) 식품 및 농산물 가공 산업 발전에 이바지함.

제 6 장 참고문헌

1. 국용인, 신지산, 권오도, 구자옥. 2001. 쌀겨 추출물에 의한 잡초발아 및 초기생장 억제효과, 한국환경농학회지 20권 2호; 108-111
2. 권오도, 박흥규. 2004. 벼 담수직파재배 파종시기별 일년생 잡초의 엽령변화에 따른 제초제 처리시기. 잡초학회
3. 권오도, 박흥규, 안규남, 이인, 신서호, 신길호, 신해룡, 국용인. 2010. 벼 친환경재배에서 왕우렁이의 잡초방제효과 및 피해, 한국잡초학회지 제30권 제3호; .282-290
4. 권오도, 박흥규, 안규남, 이인, 신서호, 신길호, 신해룡, 국용인. 2010. 벼 친환경재배에서 다양한 유기자원별 잡초방제효과, 한국잡초학회지 제30권 제3호; 272-281
5. 권오도, 박흥규, 안규남, 이인, 신서호, 신길호, 신해룡. 2010. 벼 친환경재배에서 왕우렁이 치패의 잡초방제효과 및 피해, 한국잡초학회 별책 30권 1호
6. 권오도, 박흥규, 안규남, 이인, 신서호, 신해룡. 2009. 벼 친환경재배에서 제초방법별 잡초방제 효과, 한국잡초학회 별책 29권 1호 ; 86-89
7. 김종구, 이상복, 이경보, 이덕배, 김재덕. 2001. 쌀겨 시용량 및 시용시기가 벼 생육환경에 미치는 영향, 한국환경농학회지 20권 1호; 15-19
8. 박태선. 1998. 벼 직파재배답에서 난방제 잡초인 사마귀풀의 새태적특성 및 방제법. 농약과학학회지 2권 1호
9. 박태선. 1997. 벼 직파재배답에서 난방제 잡초인 가막사리의 생태적 특성 및 제초제 반응. 작물보호논문집 39(1)
10. 서영호 , 문윤기, 최준근, 강안석. 2009. 쌀겨 펠렛을 이용한 친환경 논 잡초 방제, 환경농학회지 제28권 제2호; 139-145
11. 원종건, 안덕종, 김세종, 최충돈, 이상철. 2008. 쌀겨 시용시기에 따른 잡초방제, 벼 수량 및 미질에 미치는 영향, 한국작물학회지 제53권 제4호; 382-387.
12. 전원태, 양원하, 한희석, 윤영환, 이병석, 양창인, 최돈향, 박종욱. 2005. 친환경 벼 종이멀칭 기계이앙 재배시 잡초 방제 효과 및 생육특성 변화, 한국작물학회 2005년도 국제학술회의 발표자료
13. Anderson, D. F., M. A. Garisto, J. C. Bourrut, M. W. Schnbeck, R. Jaye, A. Wurzberger and R. Degregorio. 1995. Evaluation of a paper mulch made from recycled material as an alternative to plastic film mulch for vegetables. J. Sustain. Agric. 7:39-61.
14. B.R. Golden, N.A. Slaton, R.J. Norman, C.E. Wilson and R.E. DeLong. Evaluation of

polymer-coated urea for direct seeded, delayed-flood rice production, Soil Science Society of America Journal 2009 73: 2: 375-383

14. Cui, R. X., B. W. Lee and H. L. Lee. 2000. Growth and yield of potato as affected by paper, oil-treated paper and urea-coated paper mulching in spring season culture. Journal of Crop Science 45(3):216-219.(In Korean)

16. Hwang, J. B., S. B. Song, Y. K. Hong, D. C. Lee, S. T. Park, and S. C. Kim. 2003. Emergence of weed under direct seeded rice in paddy. Korea Journal of Weed Science 23(4):325-333.(In Korean)

15. Kim, D. H. and K. U. Kim. 1996. Development of a seeder monitering system. Journal of KSAM 21(3):306-314.(In Korean)

16. 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.(In Korean)

17. Moon, B. C., K. Y. Seong, T. S. Park, S. M. Oh and S. T. Park, 2003. Emergence, control efficacy for troublesome weeds and mixing effect of foliar herbicide and insecticide in dry direct-seeded rice. Korea Journal of Weed Science 23(3):230-236.(In Korean)

18. Park, J. S., S. N. Yoo, Y. S. Choi and D. S. Yu. 2002. Development of a rice seed pelleting machine for direct seeding in rice cultivation. Journal of KSAM 27(5):381-390.(In Korean)

19. Purev Saruul, Friedrich Srienc, David A. Somers and Deborah A. Samac. 2002. Production of a biodegradable plastic polymer, poly-B-hydroxybutyrate, in transgenic alfalfa, Crop Science 2002 42: 3: 919-927

20. Schnbeck, M. W. 1995. Evaluation of recycled paper film mulch and organic mulches as alternative to black plastic mulch in vegetable horticulture. Agriculture in Concert with the Environment ACE research projects Southern Region. 1995.

주 의

1. 이 보고서는 농림수산식품부에서 시행한 농림기술개발사업의 연구보고서입니다.

2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 농림수산식품부에서 시행한 농림기술개발사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.

3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.