

다기능성 멀칭지의 개발 및 적용성 평가(제2보)

- 강도개선, 시제품 생산 및 농작물 재배에의 적용 결과 -

이 학 래[†] · 이 진 희 · 이 변 우*

Development of Multi-functional Mulch Papers and Evaluation of Their Performance (II)

- Strength Improvement, Production and Practical
Applications of Mulch Papers -

Hak Lae Lee[†], Jin Hee Lee, and Byun-Woo Lee*

ABSTRACT

As a method to reduce the use of agricultural chemicals mulching with thin plastic films has been commonly practised for many years. Although use of plastic films for mulching is very effective in preventing herb growth it is almost impossible to remove all of the plastic films from the agricultural lands and the remaining films eventually contaminate the soils. Therefore, it is very imperative to develop a mulching material that decomposes completely to prevent soil pollution problems and to enhance the competitive edge of domestic agriculture.

In this paper the possibilities of using strength resins for improving strength properties of mulch papers made from old corrugated containers were examined.

Also mulch papers have been produced and applied for practical farming in upland as well as paddy fields. Results showed that the usage of 0.7% of wet strength additives was effective for wet and dry strength of mulch paper. Changes of various process parameters including freeness, cationic demand, one pass retention, nitrogen content, etc. that occurred during trial production of mulch paper have been examined and discussed. It was found that paper mulching was very effective for weed control both in upland field and paddy field.

• 본 연구는 농림수산물관리센터의 농림수산물특정연구과제 지원에 의해 수행된 결과임.

• 서울대학교 농업생명과학대학 임산공학과(Department of Forest Products, College of Agriculture and Life Sciences, Seoul National University, Suwon 441-744, Korea).

• * 서울대학교 농업생명과학대학 식물생산과학부

† 주저자(Corresponding author): e-mail: lhakl@plaza.snu.ac.kr

1. 서론

최근 유기 농법 등의 환경 보전형 농업을 실천하는 포장재배 기술로 멀칭 재배기술¹⁾이 널리 활용되고 있다. 그러나 현재 사용되고 있는 흑색 혹은 투명 플라스틱 필름을 이용한 멀칭은 사용한 후 일일이 제거해야 하므로 이에 상당한 노동력이 소모될 뿐만 아니라, 수작업으로 제거한다 하여도 완전히 제거하는 것이 불가능한 문제점을 지니고 있다. 또 이들 재료는 토양 중에서 분해되지 않는 단점도 지니고 있어 잔류 필름에 의한 토양, 하천 등 자연환경의 오염이 심각한 환경문제로 대두되고 있는 실정이다. 따라서 국내 농업 발전과 환경 보호를 위해서는 멀칭 효과가 우수할 뿐 아니라 완전한 생분해성을 지닌 멀칭 재료의 개발과 이를 이용한 작물재배기술의 확립이 시급히 요청되고 있다.²⁾

새로운 멀칭 재료는 작물의 재배에 적용된 후 초반에는 멀칭 효과를 나타내면서도 작물의 수확 시기에는 분해되어 다음해 새로운 작물이 심어질 시기까지 완전히 토양으로 환원되는 특성을 지녀 토양오염을 유발시키지 않는 재료이어야 할 것이다. 이러한 측면에서 멀칭지는 기질 자체가 유기물이므로 토양 내에서 완전히 분해되어 토양오염을 근원적으로 차단시키는 효과가 있을 뿐 아니라 분해 생성된 유기물에 의해 토양의 비옥도를 증진시키는 효과도 있으므로 친환경적 농업재료로서 매우 적합한 재료라 믿어진다. 더욱이 이러한 멀칭지를 재활용 원료를 이용하여 제조할 수 있다면 섬유자원의 효율적 이용과 환경보호에도 크게 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

멀칭지는 밭의 경우 토양 바로 위에 도포되고, 논에 적용될 경우에는 장기간 물 속에 침적되어야 하며, 제조효과를 발휘한 이후에는 완전하게 분해가 되어야 하므로 이에 적합한 품질 특성이 요청된다. 이러한 기능을 하기 위해서 농업용 멀칭지의 경우에는 건조강도뿐만 아니라 일정 수준의 습윤강도도 요구된다. 또 실제 생산과 적용에 필요한 기술축적이 선행되어야만 멀칭지의 경제적 생산과 효율적 활용을 위한 기반이 조성될 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구에서는 토양 중에서의 분해가 완전하고 토양 표면의 수분 및 장기간 물 속에 침적되어도 제조성능을 발휘할 수 있는 고지를 이용한 환경보전형 다기능성 멀칭지를 개발하고, 이를 제지공장

에서 시험 생산하여 실제 작물 생산에 적용함으로써 국내 농업기술의 친환경화에 기여코자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 재료

실험실적으로 지력증강제의 사용에 따른 멀칭지의 강도 변화를 평가하기 위해 동일제지(주)에서 미국산 OCC를 펄퍼, 클리너, 스크린 및 DDR로 처리한 여수도 약 400 mL CSF 지료를 원료로 사용하였다.

지력증강제로는 polyamine-epichlorohydrin(PPE) 레진을 사용하였다.

실제 제지공장에서 멀칭지를 시험생산할 때에는 미국산 OCC와 국산 OCC 그리고 정대를 원료로 사용하였으며, 이때의 원료구성은 Table 1에 나타내었다. 시제품 멀칭지의 습윤강도 개선을 위해서 에폭시 수지계 습윤지력증강제를, 건조강도 개선을 위해서도 양쪽성(amphoteric) 폴리아크릴아미드(polyacrylamide: PAM)를 건조지력증강제로 사용하였다.

2.2 방법

2.2.1 지력증강제에 의한 강도변화

동일제지(주)에서 분양받은 여수도 400 mL CSF인 지료의 농도를 0.8%로 조정하고 평량 120 g/m²에 맞는 양을 취한 후 전기전도도와 경도를 각각 4500 μ S/cm와 300 ppm으로 조정하였다. 이를 위해 먼저 2 M의 CaCl₂를 첨가하여 칼슘 경도가 300 ppm에 도달하게 한 다음, 4 M의 NaCl을 첨가하여 전기전도도를 목표치가 되도록 조절하였다. 경도와 전기전도도가 조정된 지료의 농도를 0.5%로 조정하고 교반을 하면서 소정의 지력증강제를 첨가하고 5분간의 반응시간을 준 다음 수초하였다.

수초지는 TAPPI Test Method T402의 조건에서 조습처리하고 인장강도(T231 cm-85), 습윤인장강도(T456 om-87)를 측정하였다.

2.2.2 현장시험생산

Table 1. Mill trial conditions for mulch paper

Basis weight (g/m ²)		100	Top:Bottom=35:65
		120	Top:Bottom=28:72
Furnish	Top layer	HGKOCC* 50% KOCC 50%	
	Bottom layer	AOCC 50% KOCC 50%	
Freeness (mL CSF)		370	
Chemical additives	Dry strength agent	Amphoteric PAM	
		Add to mixing chest 0.4%/pulp	
	Wet strength agent	PPE Resin	
		Stuff box 0.75%/pulp	
Defoamer	Silicon type		

* HGKOCC: High Grade KOCC

멀칭지의 현장생산은 동일제지(주)에서 실시하였으며, 생산 조건은 Table 1과 같았다.

시산 전후 및 시산 과정 동안에는 DDR 출구, stuff box, headbox, silo에서 시료를 20분 간격으로 채취하여 여수도, 농도, 일과보류도, 탁도, 양이온요구도, 질소함량, 건조인장강도, 습윤인장강도 등을 측정하였다.

2.2.3 멀칭지의 시험 적용

(1) 발 적용

발 작물 재배시 시제품 멀칭지의 분해성과 멀칭에 따른 토양 환경 및 잡초 발생의 변화를 살펴보고자 감자 재배에 멀칭지를 적용하고 평가하였다. 실험은 3개월 동안 난괴법으로 3반복 실시하였으며, plot size는 0.7×8.5 m로 하였다. 그리고 일반 나지와 투명비닐, 흑색비닐을 멀칭지의 대조구로 사용하여 토양온도(5 cm)를 data logger로 연속 관측하였으며 잡초발생, 멀칭지의 분해 등을 조사하였다.

(2) 논

종이 멀칭이 벼의 생육 및 잡초 발생에 미치는 영향을 평가하기 위해서 멀칭지를 논에 깔고 화성벼 모를 이앙하여 나지와 비교하면서 멀칭지의 분해, 벼의 생육상황, 잡초발생을 조사하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 멀칭지의 강도 개선

멀칭지를 농작물 재배에 사용할 때는 토양 내의 수분, 여름의 장마, 눈에 대있는 물 등 많은 경우에 물과 접촉하거나 잠겨 있게 되므로 이러한 상황에서 일정 수준 이상의 습윤강도를 지님으로써 잡초의 생육을 억제하는 기능을 지녀야 한다. 이러한 특성을 효과적으로 부여하기 위해서 습윤지력증강제의 사용에 따른 멀칭지의 강도변화 현상을 평가하였다.

습윤지력증강제로 PPE 레진을 첨가에 대해 1.5%까지 첨가하고 30분간 반응시킨 후 평량 120 g/m²가 되도록 수초하여, PPE 레진의 첨가량 변화에 따른 건조 및 습윤강도의 변화를 조사하였다. 그 결과 Fig. 1에서 보는 바와 같이 PPE 레진의 첨가량이 증가함에 따라서 건조인장강도 및 습윤인장강도가 증가하였으나 0.6% 정도 첨가하면 증가속도가 완만하게 변화되었다. 첨가 수준을 1.5%로 높은 경우 다시 크게 인장강도가 향상되었으나 이렇게 높은 첨가 수준은 경제성 및 공정 안정성에 부적합한 것으로 판단되었다.

다음 Fig. 2는 pH에 따른 습윤지력증강제의 지력증강 효과를 나타낸 것이다. 본 실험에서는 지료를 DDJ에 넣고 600 rpm으로 교반하면서

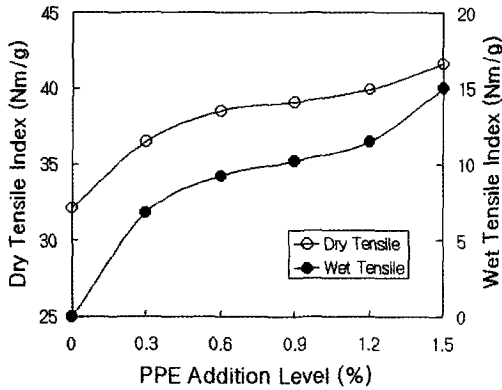


Fig. 1. Effects of wet-strength agent addition level on dry and wet tensile index.

PPE 1%를 첨가한 다음 pH를 조정하고 5분간 흡착되도록 한 후 초지하였다. 여기에서 보는 바와 같이 습윤지력증강제의 첨가수준이 동일할 경우 건조강도와 습윤강도 모두 pH 6에서 최대를 나타내었다. 따라서 실제 시산시의 pH를 6 근처에서 조절하는 것이 습강 효과를 최대화하기 위해 필요할³⁻⁵⁾ 것으로 판단되었다.

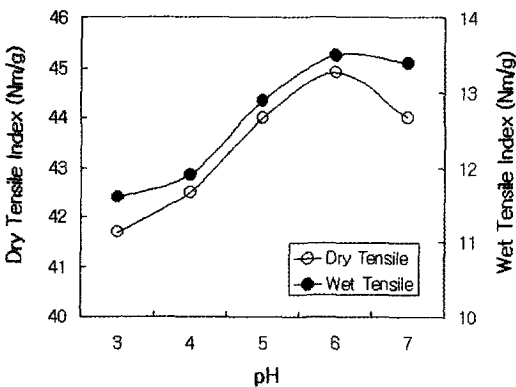


Fig. 2. Effects of pH on dry and wet tensile index.

3.2 멀칭지의 현장 시험생산

멀칭지의 생산 과정에서 나타나는 공정변화현상을 파악하기 위해 시험생산이 진행되는 동안 일정 시간 간격으로 공정의 4부분(DDR 출구, stuff

box, headbox, silo)에서 20분 간격으로 지료 또는 백수를 채취하여 분석을 실시하였다.

Fig. 3에는 시험생산 과정 동안 DDR 출구와 헤드박스 지료의 여수도 변화를 나타내었다. 여기에서 보는 것과 같이 시산 초기에는 DDR 출구의 여수도가 이전에 설정되었던 410 mL CSF 이상의 수준을 보였으나 시산이 개시되어 리파이너가 가동됨에 따라 본 시험생산을 위한 목표치 370 mL CSF로 접근한 후 약간의 변동은 보이다가 시산이 끝나는 시점에서는 다시 예전의 여수도 수준으로 환원되었다. 그림에서 X축의 시간은 시산을 위해 리파이너를 가동시키기 시작한 시점을 0분으로 하였다. 이 순간부터 펄퍼에서 해리된 시산용 원료가 리파이너에 도달하였다고 볼 수 있으며 리파이너링된 원료가 곧 초지기로 투입되지 않기 때문에 실제 생산은 이보다 늦은 140-160분 사이에서 이루어졌다.

DDR 출구의 여수도 변화와 헤드박스 여수도의 변화 현상은 Fig. 3에서 보는 것과 같이 약 60분의 시차를 가지고 같은 형태를 나타내었다. 즉 본 공정의 경우 60분간 사용될 수 있는 지료가 리파이너와 헤드박스 사이에서 저장되어 있다고 말할 수 있다. 리파이너의 가동에 따라 목표 여수도에 도달하기까지 부적절한 고해도를 지닌 지료가 생성된다. 따라서 이러한 지료의 변화를 최소화함으로써 생산성 저하를 방지하고 생산되는 멀칭지의 품질을 균일하게 유지시키기 위해서는 적정 규모의 초지기를 선정하는 것, 생산량을 집중적으로 생산할 수 있도록 생산계획을 수립하는 것 등의 대처가 필요하다고 판단된다.

Fig. 4는 시험생산 동안의 공정 내 농도와 일과보류도의 변화를 나타낸 것이다. 시산 개시 후 40-100분 사이에는 일과보류도가 10% 정도 상승되었다가 시산시 다시 원래의 수준인 70% 정도로 감소되었다. 이는 멀칭지 시산을 위해 투입된 지력증강제에 의해서 공정에 잔류하고 있는 멀칭지 시산 이전의 지료에 함유된 미세분 등이 보류되는 효과가 나타났기 때문이라 믿어진다. 시산 시점인 140분과 160분 사이에서는 약간 보류도의 저하가 발생하였는데 이는 시산 평량을 120 g/m²에서 100 g/m²로 저하시켰기 때문이다.

시산 과정 중 공정 각 부분에서 채취된 지료를 200 메쉬로 거른 후 측정된 탁도는 Fig. 5에서 보는 것과 같이 지속적으로 감소되는 경향을 나타내었다. 이는 기존에 계 내에 잔존하고 있던 원료

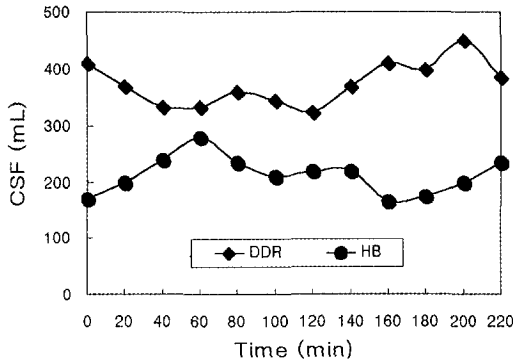


Fig. 3. Change of stock freeness during mill trial of mulch paper.

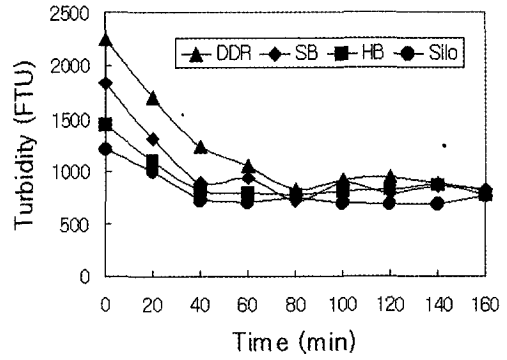


Fig. 5. Change of turbidity during mill trial of mulch paper.

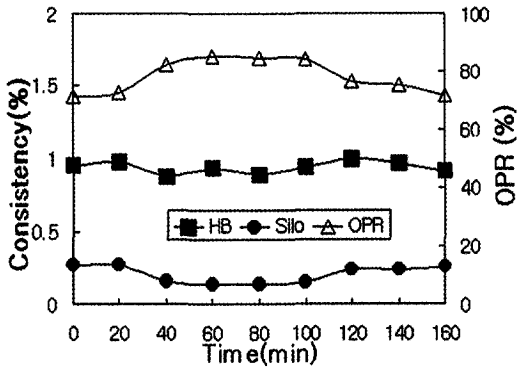


Fig. 4. Changes of consistency and OPR during mill trial of mulch paper.

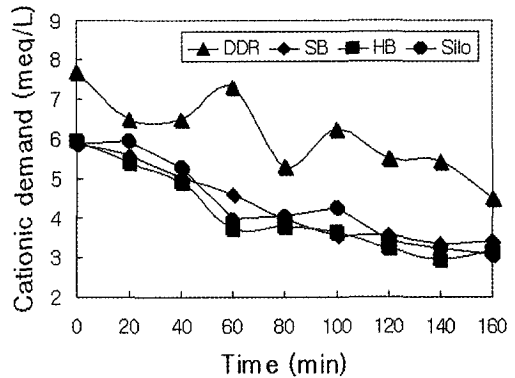


Fig. 6. Change of cationic demand during mill trial of mulch paper.

가 서서히 시험생산에 사용한 고지원료로 교체되었기 때문이다. 이를 다시 말하면 시험생산에 사용된 원료가 상대적으로 양질의 고지이기 때문에 미세분과 각종 이물질 함량이 낮아 초반에는 공정 전체에 탁도의 저하를 유발하고 시험생산이 안정화된 후에는 그 수준이 유지된 것으로 보여진다. 시료 채취 위치에 따라서 DDR 출구, stuff box, 헤드박스, 사일로 순으로 탁도가 감소되었는데 이는 탁도가 시료가 채취된 부분에서의 농도와 비례함을 의미한다. 이러한 결과는 탁도 측정용 시료는 단순한 여과에 의해서 준비되었을 뿐 농도를 균일화시키기 위한 처리가 행해지지 않았기 때문이다.

공정 각 부분에서 채취된 지료의 양이온 요구도는 Fig. 6에서 보는 것과 같이 시간의 경과에 따

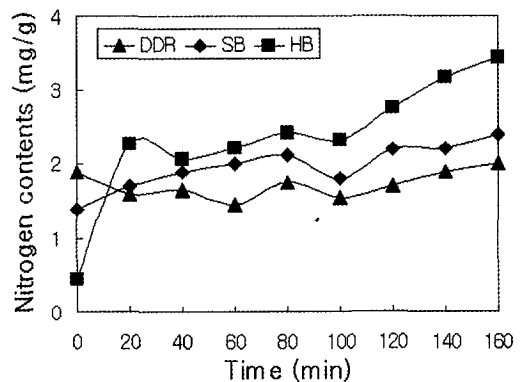


Fig. 7. Nitrogen contents change during mill trial of mulch paper.

라서 지속적으로 감소하였다. 특히 본 멀칭지 시산에 사용된 습윤지력증강제가 투입된 DDR 이후에서 양이온 요구량이 크게 감소되었는데 이는 PPE 레진이 강한 양이온성을 나타내기 때문이다.³⁾ 습윤지력증강제가 첨가된 이후의 공정인 stuff box, 헤드박스 그리고 백수의 양이온요구량은 큰 차이를 나타내지 않았다.

DDR 출구, stuff box 및 헤드박스에서 채취한 시료의 질소함량을 측정하여 본 결과 Fig. 7에서 보는 것과 같이 질소함량이 시간이 경과될수록 증가하는 경향을 나타내었다. 이는 점차적으로 건조지력증강제와 습윤지력증강제의 투입량이 증가된 때문이다.

이러한 결과는 시산 과정 중 권취롤에서 채취한 시료의 건조열단장 변화에서도 알 수 있었다 (Fig. 8). 이 가운데 120분의 경우는 공정 내 습강제 등의 투입량을 증가시키는 과정 중에 생산된 제품이며, 140분과 160분으로 나타낸 제품이 본 연구에서 시제품 멀칭지로 생산된 제품이다. 여기에서 확인할 수 있는 것과 같이 멀칭지의 강도 향상 효과가 목표한 시점인 140-160분 사이에서 크게 나타났다. 이는 멀칭지 생산을 위하여 고급 고지원료와 지력증강제를 사용한 때문이다.

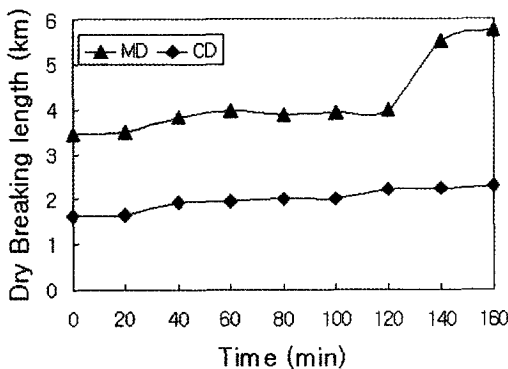


Fig. 8. Change of dry-tensile strength during mill trial of mulch paper.

시산된 멀칭지의 습윤열단장 변화는 Fig. 9에 나타내었다. 습윤열단장은 시산 초기로부터 습강제의 투입량을 서서히 증가시키기에 따라 일정한 수준으로 증가하다가 실제 시산을 위해 습윤지력증강제의 투입량을 크게 올린 140분과 160분의 시

점에서 매우 높게 향상되었으며, 특히 기계방향 습윤인장강도의 증가 경향이 두드러지게 나타났다. 시점 140분의 경우에는 건조열단장에 비해서 21% 정도의 습윤강도 효과가 얻어졌으며, 시점 160분의 경우에는 24% 정도의 습윤강도 증강 효과가 얻어졌다.

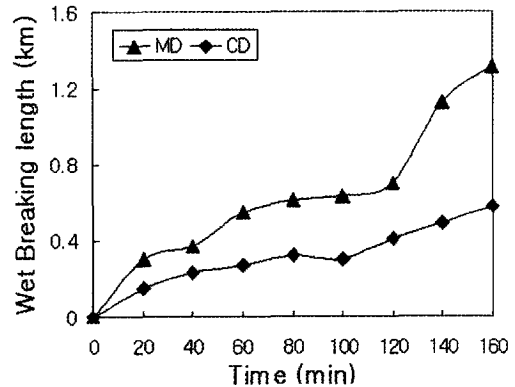


Fig. 9. Change of wet-tensile strength during mill trial of mulch paper.

3.3 시제품 멀칭지의 시험적용

시험생산된 멀칭지의 분해성, 잡초발생 억제 효과, 토양 환경에 대한 영향을 기존의 멀칭재료와 상호 비교 평가하기 위하여 벼와 밭작물 재배에 적용하였다.

3.3.1 밭에서의 적용결과

작물을 재배하지 않은 상태의 밭에서 멀칭지 분해성은 다음 Fig. 10에서 보는 바와 같이 처음에는 분해속도가 느려 멀칭하여 60일이 지난 후에도 80% 이상이 남아 있었으나 그 후 급속히 분해되기 시작했다. 이는 60일 이후는 7월 하순으로 고온 다습하여 분해가 빨라진 때문으로 생각된다. 따라서 멀칭지는 작물의 재배가 끝나는 시점에 가까워지면 거의 분해될 것으로 사료된다.

Fig. 11은 지중 5 cm의 일평균 기온을 나타낸 것으로서 비닐계 멀칭재의 경우는 나지에 비하여 지온이 상승되었으며 종이 멀칭의 경우는 나지에 비하여 지온이 저하하였다. 하지만 토양의 깊이가 깊어질수록 비닐의 경우와 지온의 차이는 점차 작

아졌다. 멀칭지는 비닐에 비해 통기성이 높기 때문에 표층의 지온이 다소 저하되지만 이는 작물의 종류에 따라서 고온 다습한 토양 환경이 맞지 않는 경우에는 오히려 호조건이 될 수도 있다.

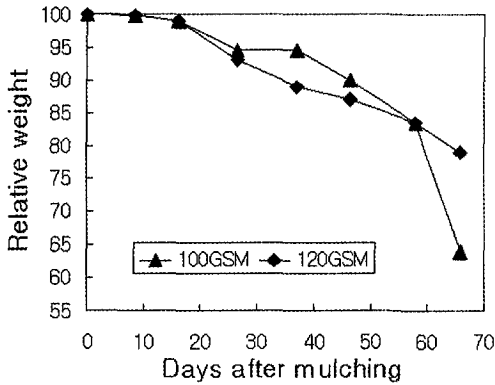


Fig. 10. Temporal degradation of mulch paper in upland field condition. Mulching was started on June 5.

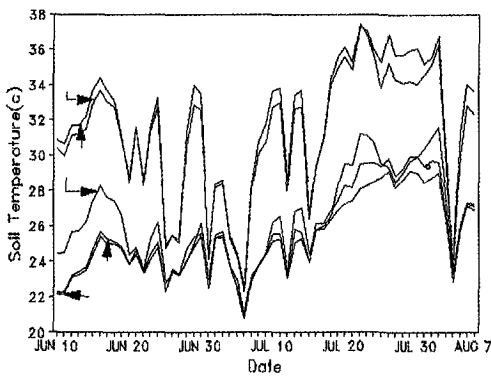


Fig. 11. Changes in average daily soil temperature at the 5 cm depth as influenced by the type of mulch.

Table 2는 멀칭 종류에 따른 잡초 발생을 나타낸 것이다. 멀칭을 한 경우 잡초 발생이 전혀 없었는데 플라스틱 필름 멀칭에서는 온도가 지나치게 높아 잡초종자의 발아가 억제되었기 때문인 것으로 판단되며, 종이 멀칭에서는 빛의 차단에 의하여 잡초발생이 억제된 것으로 판단되어 멀칭지도

제조성능⁷⁾이 우수한 것으로 나타났다. 멀칭 종류에 따른 추작감자의 출아율은 Table 3과 같았다. 종이 멀칭의 경우 출아율이 80% 이상으로 무멀칭의 32%에 비하여 월등히 높았고 플라스틱 멀칭의 경우는 15% 미만으로 매우 낮았다. 무멀칭 및 플라스틱 필름 멀칭의 경우는 출아기인 8월 상순의 지온이 지나치게 높아 씨감자가 부패하였기 때문인 것으로 판단되었으며 종이 멀칭의 경우는 토양 온도를 낮추어 출아율이 높았던 것으로 판단되었다.

Table 2. Weed occurrence influenced by the type of mulch in upland field

	P100	P120	Trans	Black	Bare
Weeds number (No/m ²)	0	0	0	0	338
Dry weight (g/m ²)	0	0	0	0	63.3

Table 3. Seeding emergence of potato influenced by kind of mulch

Mulching Material	Mulch Paper (100 gsm)	Mulch Paper (120 gsm)	Clear Plastic Film	Black Plastic Film	Bare
Percent emergence	85.0	82.0	7.2	14.5	31.8

3. 3. 2 논에서의 적용결과

논에서 멀칭 후 멀칭지의 분해양상을 Fig. 12에 나타내었다. 논에서 멀칭지의 분해속도는 밭의 경우보다 매우 빨라 멀칭 후 50일에 50% 이상 분해되었다.

그러나 이 기간 동안 비의 생육에 의해 잡초의 추가 발생은 거의 억제되었다.

Fig. 13에는 종이 멀칭에 따른 초장의 변화를 나타내었다. 멀칭지를 적용한 경우가 나지나 제초제를 사용한 논보다 초장이 길게 나타났다.

4. 결론

멀칭지는 농업 생산성 증진을 위해 사용되는 비

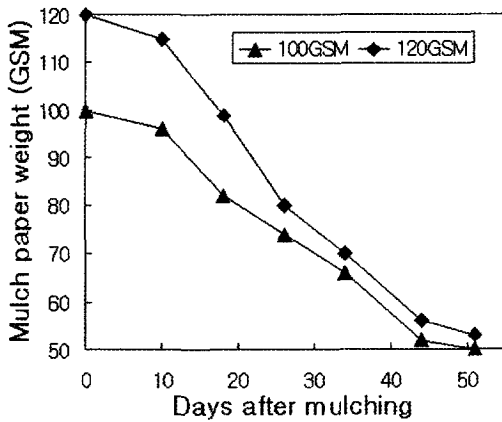


Fig. 12. Temporal degradation of mulch paper in paddy field condition. Mulching was started on May 25.

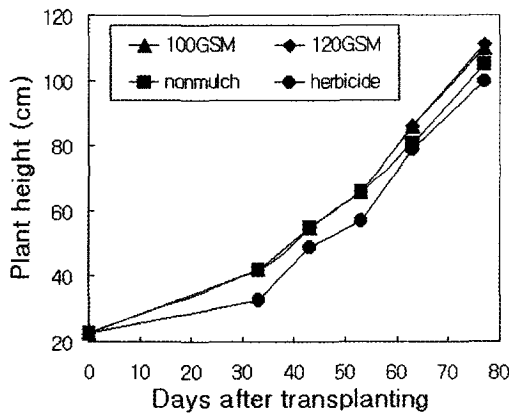


Fig. 13. Seasonal changes in plant height of rice as influenced by papermulching.

료와 농약 등에 의한 토양 및 수질오염을 방지하고 농산물의 안전성을 제고하기 위해 활용되는 멀칭재배 기술의 소재로서 현재 사용되고 있는 플라스틱 필름이 갖는 난분해성의 문제를 극복할 수 있는 재료이다. 본 연구에서는 토양 중에서의 분

해가 완전하고 제조 성능이 우수한 환경보전형 다기능성 멀칭지를 개발 및 시험생산하고 이를 실제 작물 생산에 응용하기 위한 연구를 실시하였다.

그 결과 멀칭지 생산 시 약간의 건조지력증강제와 습윤지력증강제를 투입하여 초지를 함으로써 작물의 재배기간 동안 외부의 기후에 견디면서도 제조성능을 발휘할 수 있는 멀칭지가 생산되었다. 또한 멀칭지는 OCC 고지를 이용하므로 자원 재활용 기능이 탁월할 뿐 아니라 생분해성 자재이기 때문에 작물의 재배 후에는 상당부분이 분해가 됨을 확인하였다. 또한 기존의 멀칭비닐은 밭에만 적용할 수 있지만 본 연구에서 개발된 멀칭지는 투기성과 투수성을 지녀 장기간 물 속에 침적되는 논에서도 사용될 수 있으며 제조성능이 우수하였다.

인용 문헌

1. Lee, H. L., Ryu, J. Y., Youn, H. J., Chu, S. B., and Park, Y., J. Korea TAPPI 30(3):38 (1998).
2. 水口 陽子, 農業用紙「エコマルチ」の設計思想及び使用例, 紙パルプ研究発表會プログラム; p. 48.
3. Roberts, J. C., Paper Chemistry, Blackie & Son Ltd. pp. 76-96 (1991).
4. Strazdins, E., in "Wet-strength Resins and Their Application," Ed. Chan, L. L., TAPPI Press, Atlanta, GA, pp. 63-83 (1994).
5. Scott, W. E., Principles of Wet End Chemistry, TAPPI Press, Atlanta, GA. pp. 61-68 (1996).
6. Sopenlehto, T., in "Applications of Wet-End Paper Chemistry," Ed. Au, C. O., and Thorn, I., Blackie Academic & Professional, London, pp. 172-182 (1995).
7. Tsuno Y. Farming Japan, pp. 36-41 (1993).