

Evaluation of Soil Loss with Surface Covering Methods Using Strip Tillage Seeding Device

Jeong-Tae Lee*, Jong-Soo Ryu, Gye-Jun Lee, Hee-Ju Jung, Jeom-Soon Kim¹, and Seok-ho Park²

Highland Agriculture Research Center, National Institute of Crop Science, RDA, Pyeongchang, 232-955

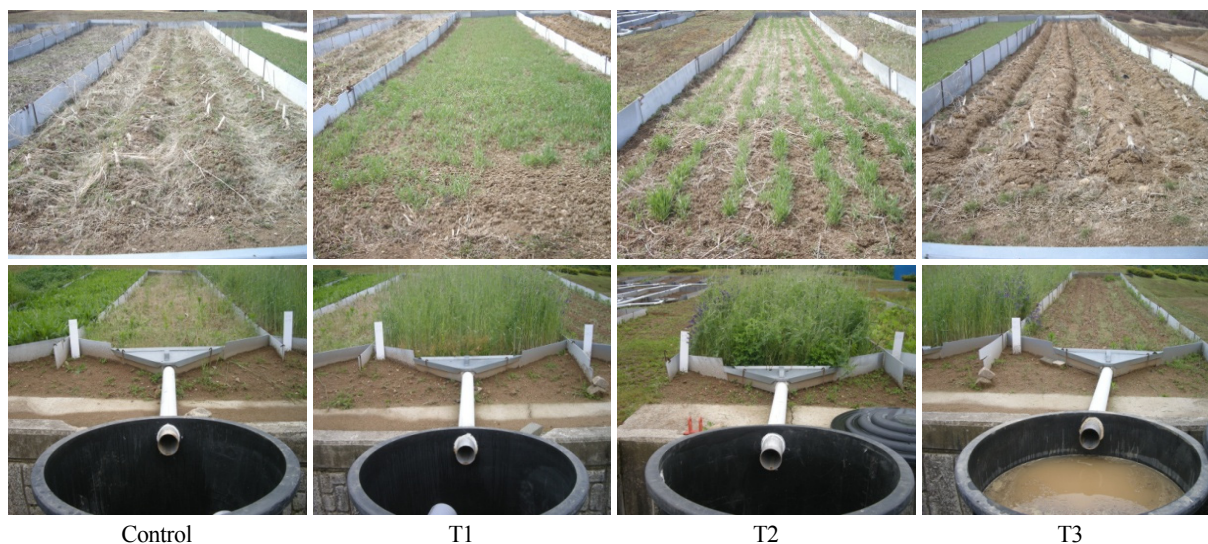
¹Rural Resources Division, Extension Service Bureau, RDA, Jeonju 560-500, Korea

²National Academy of Agriculture Science, RDA, Wanju-gun, Jeollabuk-do 565-851, Korea

(Received: November 21 2014, Revised: December 11 2014, Accepted: December 12 2014)

Most fields in highland areas are covered with rye or hairy vetch for conservation during a fallow. However, using cover crops needs an effort to sow, and this makes top soil more vulnerable to loss due to surface disturbances. The aims of this study were to develop an automatic seeding-regulator device using a low-price, extensive-use GPS sensors and a DC motors and to evaluate a working efficiency of it after adaptation to partial tillage machine for reducing seeding effort. The amount of runoff water and soil loss was evaluated with partial tillage and simultaneous-seeding after harvesting soybean, in 17% slope lysimeters. In results, the seeding amount with the machine speed was stable between 0.5~0.8 m s⁻¹ of working sections. The automatic control device of seeding-rate could be enough to solve the slip problems of power selecting supply system or five four-wheel drive device. In partial tillage and simultaneous seeding, runoff water was 11.6% (1.8 m³ ha⁻¹) of the scatter-seeding control (15.5 m³ ha⁻¹) and soil loss was 13.2% (7 kg ha⁻¹) of the scatter-seeding control (53 kg ha⁻¹). These results suggest that partial tillage and simultaneous-seeding methods are very effective in decreasing work effort and soil loss of sloped land.

Key words: Covering methods, Runoff, Soil loss, Seeding device, Strip tillage



Lysimeter catchment to collect runoff and soil loss with different covering methods.

*Corresponding author : Phone: +82333301940, Fax: +82333301519, E-mail: leejt@korea.kr

§Acknowledgement: This study was carried out with the support of Research Program for Agriculture Science & Technology Development (PJ00869002), Rural Development Administration, Republic of Korea.

Introduction

토양의 피복상태는 토양유실에 지대한 영향을 미치는 것으로 보고되고 있다. 라이시메타 내에서 작부 형태에 따른 작부인자 값 산정결과, 피복이 잘 이루어진 초지는 나지 상태의 경작지 대비 강우로 인한 토양 유실량 저감 효과가 매우 높은 것으로 평가되었다 (Jung et al., 1985). 이와 같은 결과는 토양피복이 강우에 의한 토양침식 인자의 타격력을 감소시키는 것에 기인한 것으로 평가 된다 (Jung et al., 2004; Laflen et al., 1979). 또한 작물체의 지하부는 직접적으로 유실되는 토양을 잡아주고 토양구조를 발달시켜 용설이나 강우로 인해 발생하는 유거수의 양을 결과적으로 줄일 수 있는 것으로 해석된다 (Seo et al., 2005; Lee et al., 2005; Duran et al., 2008).

고랭지에서는 작물이 재배되지 않는 시기에 피복작물로 호밀과 헤어리베치가 주로 재배되고 있다. 그러나 파종작업에 노력이 많이 소모 되는 단점이 있어, 종자를 정책적으로 무상 지원 받을 수 있음에도 불구하고 재배면적은 답보 상태에 있다. 관행 파종방법은 농기계 작업이 많게는 3회 소요되는데, 주 작물인 감자, 무, 배추 등의 수확이 끝난 밭은 피복작물을 파종하기 위하여 트랙터 부착형 로터베이터를 이용하여 1차 포장 정지 작업을 하고, 2차 종자를 파종하며, 3차 종자를 복토하는 작업으로 이루어진다. 또한 일부 농가에서는 작업노력을 줄이고자 1차 포장 정지 작업을 생략하고, 종자 파종 후 곧 이어 복토 작업을 하게 된다. 그러나 이랑 골 사이에 파종된 종자는 너무 깊은 복토 때문에 발아율이 매우 떨어지는 단점이 있다. 호밀, 헤어리베치는 복토 깊이가 6 cm 이상만 되면 발아율이 50% 이하로 떨어지는 특성을 보이는데, Fig. 1과 같이 토양 피복률을 매우 떨어지게 하는 요인으로 작용한다. 피복률이 낮은 상태에서 강우에 직면하게 되면 경사지 밭토양은 토양유실 위험이 매우 높아진다. 특히 현재의 관행 파종방법인 전면 경운작업으로 인한 15 cm 이내 표토의 교란은 급게 부스러진 토양 입자가

강우에 직접 노출되므로 토양유실 위험이 가중된다 (Peterson, 2004).

경사지가 많은 고랭지의 밭 토양특성을 감안하면, 최소 경운에 의한 작물재배 방법은 최우선적으로 도입되어야 할 핵심기술이다. 외국의 경우 이러한 전면경운에 의한 토양유실 위험성을 줄이기 위해 토양표면의 교란을 최소화시키는 최소경운 방법 및 장치들이 개발되어 많이 활용되고 있으며 (FAO, 2000; Peterson, 2004), 나아가 다양한 경운체계에서 에너지 효율성에 대해서도 연구가 진행되고 있다 (Tabatabaeefar et al., 2009). 그러나 국내의 연구 수준은 초기 단계로 콩, 옥수수 재배에 적용 가능한 부분경운작업기 개발 및 토양보전 효과에 대한 평가 등이 일부 검증되고 있는 실정이다 (Lee et al., 2011; Lee et al., 2012).

고랭지는 작부특성과 경작지의 입지조건을 고려해 볼 때 작물이 재배되지 않는 시기의 피복작물 재배는 필수요건으로 판단된다. 농가의 피복작물 재배를 자율적으로 유도하고, 토양보전 효과를 배가 시킬 방안으로 파종을 위한 과도한 작업노력과 전면 경운에 의한 파종방법은 시급히 개선해야 할 요인이다. 본 연구에서는 경사지에서 토양침식을 저감하면서 작물을 효과적으로 재배할 수 있는 기술을 개발하기 위하여 부분경운파종기를 제작하여 파종시험을 실시하고, 파종상태, 입모율 및 피복상태 등을 조사하여 경사지 토양보전 기술로의 적용가능성을 평가하였다.

Materials and Methods

공시기종 부분경운파종기 (strip-tillage equipment)는 Fig. 2와 같이 트랙터 부착형 4조식으로 부분경운장치와 파종시비장치로 구성하였다. 부분경운장치는 Fig. 3과 같이 60 cm 간격으로 한 조에 12개의 경운날을 부착하여, 부분경운 폭이 8 cm, 깊이가 10~12 cm로 작업될 수 있도록 제작하였다. 경운날은 쇠토된 토양이 부분경운 골 밖으로 비산되는 현상을 줄이기 위해 직사각형의 평면날로 제작하였으



Fig. 1. Soil surface covered in initial stage of rye growth with the conventional seeding.



Fig. 2. Strip-tillage equipment.



Fig. 3. Rotary blades and soil cover of strip-tillage equipment.

며, 일부 비산되는 토양을 부분경운 골로 모이도록 토양비산 방지판을 로터리 후방덮개에 부착하였다.

파종시비장치는 호퍼에 담겨진 종자와 비료를 Fig. 4와 같이 모터에 의해 구동되는 배종장치를 통과시켜 지면으로 자유 낙하된 후, 작조기로 골을 만들어 복토장치에 의해 복토되는 구조로 제작하였다. 본 연구에서 개발한 배종장치는 GPS 센서를 이용하여 속도를 측정하고, 이 속도에 맞추어 모터로 배종장치를 구동시키게 되어 있기 때문에 토양상태에 따른 슬립의 영향을 전혀 받지 않는다. 관행의 파종기에 주로 사용하는 5륜 방식의 구동장치는 토양의 상태에 따라 바퀴의 슬립률이 다르게 발생하기 때문에 배종장치의 회전 속도가 작업기의 주행속도에 비례하여 일정하지 않아 파종량이 일정하지 않은 문제점을 가지고 있다 (kim et al., 2006a). 특히 최소 경운과 같이 토양이 짙 등으로 피복되어있는 경우는 5륜에서 슬립이 크게 발생되어 파종량의 편차가 크게 발생하여 입모상태도 불균일한 문제가 발생하여 왔다. 배종량 자동 조절장치 성능은 Fig. 4와 같이 트랙터 주행 속도별로 배종되는 호밀의 무게를 측정하여, 단위 면적당 배종량으로 환산하여 비교 검증하였다. 배종량 조절장치의 성능은 주행속도와 배종되는 종자의 무게가 일직선으로 비례해야 하는지의 여부로 배종장치의 효과를 검증하였다. 트랙터의 속도는 트랙터의 기어단수를 저속단수에서 고속단수로 변



Fig. 4. Test of metering device driven by GPS sensor.

경시켜 주행속도를 달리하여 시험하였고, 트랙터 주행속도는 주행한 거리와 이동시간을 측정하여 계산하였다.

파종방법에 따른 입모 및 토양피복 특성 분석 시험장소는 강원도 평창군 소재 국립식량과학원 고령지농업연구센터 시험포장 (경도 128°44'08", 위도 37°40'31")으로 가로 70 m, 세로 21 m 규모로 조성된 시험지에서 수행하였다. 피복작물은 2011년 10월 5일에 호밀 (Maton, 미국)과 헤어리베치 (H1, 중국)를 파종하였으며, 파종량은 호밀 150 kg ha⁻¹, 헤어리베치 10 kg ha⁻¹ 기준으로 혼파 하였다. 파종방법은 관행 1 (포장정지→종자산파→복토)구, 관행 2 (종자산파→복토)구 및 파종량 자동조절장치가 부착된 부분경운작업기를 이용한 부분경운 직파구의 3처리구에서 파종방법에 따른 종자의 입모와 피복특성을 조사하였다. 입모율은 피복작물 파종 30일 후 가로 50 cm, 세로 50 cm 정사각형틀을 이용하여 입모수를 측정하여 환산하였으며, 1 m 높이에서 사진을 촬영하여 피복작물에 의해 피복된 면적을 구한 후 전체 면적에 대한 비를 구하여 이를 각각의 피복률로 결정하였다.

토양 피복상태에 따른 토양유실 특성 평가 시험장소는 강원도 평창군 소재 국립식량과학원 고령지농업연구센터에 설치된 무저라이시미터 시험포장 (경도 128°44'05", 위도 37°40'38")에서 2년 동안 (2011~2012년) 수행하였다. 무저라이시미터의 규격은 가로 2.5 m에 세로 13.4 m로 조성하였는데, 경사는 17%로 고령지 주요작물 재배지의 평균 경사 수준의 포장에서 수행하였다. 전 작물인 콩을 비닐멀칭 및 관행으로 재배하였는데, 2011년 10월 12일에 콩 수확 후 관행구 (나지), 피복작물 부분경운직파구, 피복작물 관행파종구 및 멀칭비닐제거구의 4처리에서 토양유실 특성을 분석하였다. 강우직후 유거수량과 토양유실량 측정은 각각의 라이시미터 하단부에 설치된 집수통에 수집하여 유거수는 T-N, T-P, SS 등을 분석하기 위한 시료를 채취하고, 전

체 유거수량을 측정 후 방류하였다. 그리고 토양은 전량 수집하여 자연건조 후 수분량을 보정하고 ha 기준으로 환산하였다. 시간 별 강우량은 대관령 기상관측소 자료를 이용하였으며, 강우강도분석은 Foster et al. (1981)의 방법에 따라 강우에너지 $E=0.119+0.0873\log I$ (I: 강우강도)에 30분 최대 강도 (I_{30})의 곱인 강우침식성인자 EI_{30} 으로 나타내었다.

Results and Discussion

트랙터 주행속도별 배종량 이상적인 트랙터 주행속도별 파종량은 작업속도에 상관없이 일정해야 한다. 그러나 실제 측정한 트랙터 주행속도별 파종량은 Fig. 5와 같이 트랙터 주행속도 0.5 m s^{-1} 까지 증가하다가 서서히 감소하는 경향을 보였다. 이러한 경향은 파종량이 많을수록 더 크게 나타났다. 이 현상은 DC 모터가 저속 (0.4 m s^{-1} 이하)에서 느리게 회전하여 나타난 결과로 DC모터가 가지고 있는 고유특성이라고 판단된다. 그러나 실제 파종기 작업속도 구간인 $0.5\sim 0.8 \text{ m s}^{-1}$ 구간에서는 작업속도 $0.3\sim 0.5 \text{ m s}^{-1}$ 구간에 비해 배종량의 변화가 직선에 가깝기 때문에 파종량이 비교적 일정한 것으로 나타났다. 그리고 파종량의 변화가 큰 40 kg의 경우도 최대 파종량의 변이가 4 kg 이하로 변이가

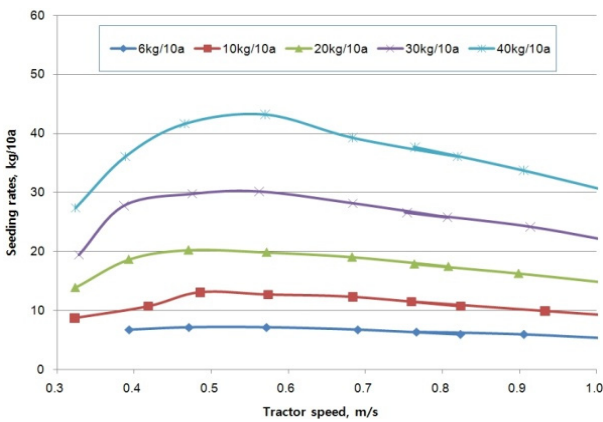
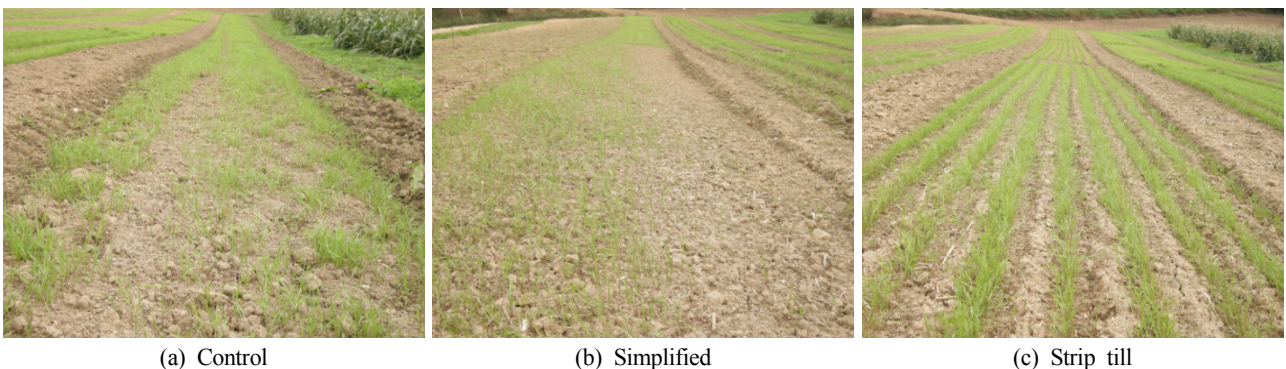


Fig. 5. Seeding rates by tractor speed.

적었는데, 피복작물인 호밀의 적정 파종 기준량이 20 kg 내외인 것을 감안하면 기존 방식의 파종장치를 충분히 대체 가능한 것으로 평가되었다. 5륜이나 동력취출 방식의 대안으로 DC모터를 이용하여 배종장치를 구동시키는 기술들은 과거에도 개발되었다 (Kim et al., 2006a, Kim et al., 2006b and Kim et al., 2007). 특히 Ryu 등 (2006)은 DC모터 (12 V, 40W)의 속도를 제어하기 위해 DGPS 위치신호를 이용하여 속도를 추정해내는 방식을 채택하였다. 그러나 이러한 기술들은 정밀도가 높은 장점은 있지만 비용이 다소 많이 소요되기 때문에 산업체에서 산업화하기가 어려웠던 것으로 판단된다. 그러나 본 시험에 이용된 범용 저가용 GPS 센서는 0.1 m s^{-1} 이내의 속도 정밀성을 보이고 있기 때문에 저가형 GPS센서와 DC모터를 이용한다면 5륜이나 본체 동력취출 방식의 문제점을 해결할 수 있고, 기존에 개발되었던 고비용 문제도 해결가능 할 것으로 판단되었다.

파종방법에 따른 입모 및 토양피복 특성 Fig. 6은 파종방법에 따른 피복작물의 입모 및 피복특성을 보여주고 있다. 그리고 Table 1은 파종방법에 따른 종자 입모 및 토양 피복률에 대한 조사 결과이다. 파종량은 호밀 150 kg ha^{-1} , 헤어리베치 10 kg ha^{-1} 수준으로 혼파 하였는데, 관행 2의 입모수는 m^2 당 헤어리베치 9개, 호밀 155개로 입모율이 매우 낮았다. 입모수가 낮은 것은 일반적으로 호밀, 헤어리베치 종자는 복토 깊이가 8 cm 이상 되면 발아가 거의 되지 않는 특성이 있는데, 포장 정지 작업을 하지 않을 경우 복토가 균일하지 못한 것에 원인이 있는 것으로 해석된다. 이에 반해, 종자의 복토 깊이를 4 cm 내외로 균일하게 유지할 수 있는 부분경운 직파는 입모수가 헤어리베치 24개, 호밀 486개로 매우 높았다. 이와 같은 입모율 향상은 토양 피복 효과에도 연계 되어 관행 2 파종 방법에 파종 후 50일 까지 피복율이 54%인데 반해, 부분경운 직파는 100%로 토양보전 효과도 높을 것으로 판단된다. 이상의 시험 결과를 보면 부분경운 직파는 관행 파종 방법에 비하여 작업노력을 줄이면서 연료비도 절감할 수 있고, 종자 입모율 향상과 더불어 토양



(a) Control

(b) Simplified

(c) Strip till

Fig. 6. Surface cover of rye at 25 days after sowing. (a) Control is scattering seeds after field grading. (b) Simplified is scattering seeds without field grading. (c) Strip till is sowing seeds in strip tills.

Table 1. Soil surface coverage rate and germination of cover crops with the different sowing methods.

Treatments	Germination number		Covering rate	
	Hairy vech	Rye	25 days after sowing	50 days after sowing
	No. m ⁻²	No. m ⁻²	%	%
1Control	15	230	35	100
2Simplified	9	155	17	54
3Strip till	24	486	46	100

^(a)Control is scattering seeds after field grading.

^(b)Simplified is scattering seeds without field grading.

^(c)Strip till is sowing seeds in strip tills.

Table 2. Rainfall erosion index EI₃₀ and rainfall during the growing period.

Year. month. day	2011. 10. 11~11. 22	2012. 4. 21	2012. 5. 14	2012. 5. 30	2012. 6. 11
Rainfall (mm)	72.4	43.5	18.6	14	34.5
EI ₃₀ (MJ mm ha ⁻¹ hr ⁻¹)	62.3	35.0	11.1	14.8	263.1

Table 3. Soil surface covering percentage with the different covering methods.

Treatments [†]	Investigation time (year. month. day)			
	2011. 11. 22	2012. 4. 17	2012. 5. 10	2012. 6. 10
Control	17	0	25	87
T1	100	43	85	100
T2	80	55	100	100
T3	0	0	2	15

[†]Treatments were as follows: Control, without sowing of cover crops; T1, strip till only in seeding part; T2, sowing after field grading; T3, plastic mulching remove after corn harvest.

피복 효과도 증진 시킬 수 있을 것으로 평가 되었다.

피복방법에 따른 토양유실 특성 평가 시험기간 강우량 및 강우강도는 Table 2와 같다. 콩 수확이 끝난 직후인 2011년 10월 11일에서 11월 22까지의 강우량은 72.4 mm, 강우 강도는 62.3을 보였으며, 이듬해인 2012년 6월 11일 상대적으로 적은 강우량에 비해 강우 강도가 263.1로 매우 커 토양유실 위험이 높을 것으로 판단되었다. 피복 방법에 따른 피복률 변화는 Table 3과 같다. 전 작물인 콩 수확 후 40 일경인 2011년 11월 22일 피복률은 관행구가 17% 피복률을 보였고, 비닐멀칭 제거구는 식생 피복이 전혀 이루어지지 않았다. 이에 반해 호밀과 헤어리베치를 혼파한 부분경운 파종구의 피복률은 100%로 강우에 취약할 수밖에 없는 나지 상태의 토양을 조기에 피복 시키는 효과가 매우 높은 것으로 평가되었다. 월동 직후인 2012년 5월 10일 피복률은 관행구 25%, 비닐멀칭 제거구가 2%의 피복률을 보인 반면, 피복작물 부분경운 파종 등 피복작물 재배구의 피복률은 85~100%이었다. 이와 같은 토양 피복률의 차이는 토양 유실량과 매우 높은 상관관계가 있을 것으로 판단되며, 식생 피복이 전혀 이루어지지 않은 비닐멀칭 제거는 토양유실 위험이 매우 높은 것으로 판단된다. Fig. 7은 토양피복 상태와 집중강우

에 따른 유거수 유출 특성을 보여 주고 있다. 그리고 Table 4, 5는 피복방법에 따른 유거수 유출량 및 토양 유실량을 조사한 결과이다. 유거수 유출량은 관행구가 ha당 41.1 m³이 유거된 반면, 피복작물 부분경운 파종구는 1.8 m³으로 95.4% 유거수 유출 경감 효과가 있는 것으로 평가 되었다. 그러나 작물 수확 후 비닐멀칭 제거구는 ha당 271.6 m³으로 관행 대비 4.6배 이상 증가시키는 것으로 조사되었는데, 이는 Table 3에 나타난 것과 같이 토양 피복률의 차이에 기인한 것으로 판단된다. 토양 유실량도 비슷한 경향을 보였는데, 관행구가 ha당 172 kg이 유실된 반면, 피복작물 부분경운 파종구는 ha당 7 kg으로 96%의 토양유실 경감 효과가 있는 것으로 평가 되었다. 반면 비닐멀칭 제거구는 ha 당 4,717 kg으로 관행 대비 토양 유실량을 27배 이상 증가시키는 것으로 평가 되었다. 이와 같은 연구결과는 토양 피복률을 증대 시켜주는 것이 토양유실의 원인이 되는 강우의 직접적인 타격을 줄여 줄 수 있다는 연구 결과와 동일한 결과이다 (Baver et al., 1972; Laflen et al., 1979; Wainwright et al., 2000). 또한 작물 피복상태에 따른 C값 추정식 (Wischmeier and Smith, 1978)에 기초한 토양유실량 산정 결과 및 배추 재배기와 휴한기에 피복작물로 호밀, 헤어리베치를 재배하여 토양 피복률을 높이는 것이 토양 유실량을 저감 시킨다

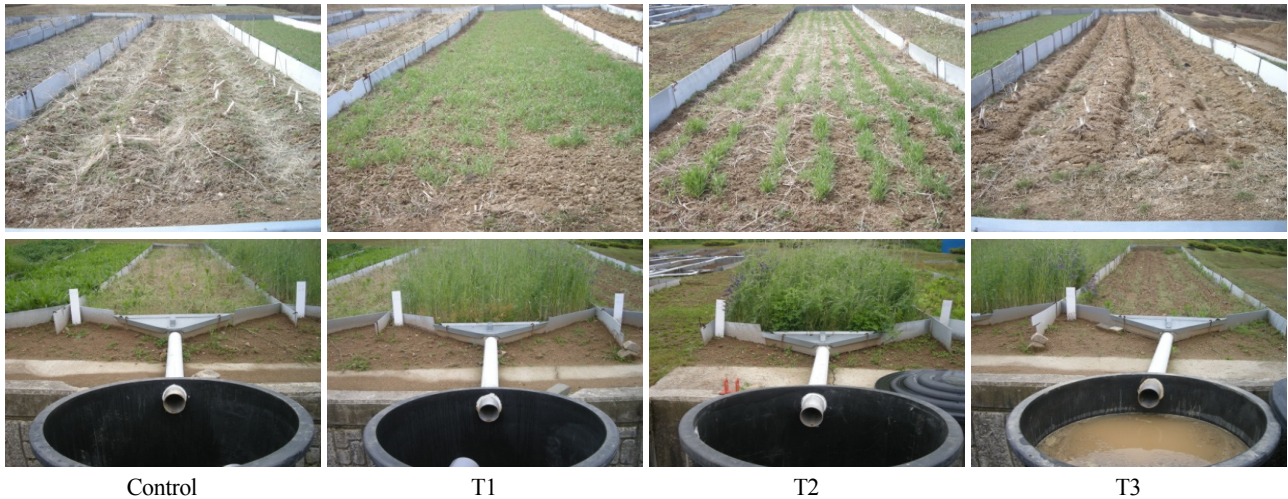


Fig. 7. Lysimeter catchment to collect runoff and soil loss with the different covering methods. †Treatments were as follows: Control, without sowing of cover crops; T 1, strip till only in seeding part; T 2, sowing after field grading; T 3, plastic mulching remove after corn harvest.

Table 4. The amount of runoff water with the different covering methods.

Treatments [†]	Runoff water (m ³ ha ⁻¹)					Total(Index)
	2011. 11/22	2012. 4/21	2012. 5/14	2012. 5/30	2012. 6/11	
Control	11.1	0.2	2.1	3.9	23.8	41.1 (100)
T1	0.6	0.2	0.6	0.2	0.2	1.8 (4.4)
T2	3.6	0.3	2.1	3.1	6.4	15.5 (37.8)
T3	15.3	4.9	12.3	39.9	199.2	271.6 (465)

†Treatments were as follows: Control, without sowing of cover crops; T1, strip till only in seeding part; T2, sowing after field grading; T3, plastic mulching remove after corn harvest.

Table 5. The amount of soil loss with the different covering methods.

Treatments [†]	Soil loss (kg ha ⁻¹)						Total (Index)
	2011. 11/22	2012. 4/17	2012. 4/21	2012. 5/14	2012. 5/30	2012. 6/11	
Control	19	45	0	12	8	88	172 (100)
T1	0	7	0	0	0	0	7 (4.1)
T2	1	26	0	20	6	0	53 (30.1)
T3	15	520	3	122	268	3,789	4,717 (2,742)

†Treatments were as follows: Control, without sowing of cover crops; T1, strip till only in seeding part; T2, sowing after field grading; T3, plastic mulching remove after corn harvest.

는 연구 결과와 유사한 경향을 보였다 (Lee et al., 2005). 이러한 결과로 볼 때 토양 피복은 토양 유실과 매우 높은 상관관계를 가지며, 작물 휴한기의 토양 보전을 위한 최우선 과제로 토양 피복의 중요성을 암시해 주고 있는 것으로 판단된다. 경사지 밭에서 빗물에 의해 발생할 수 있는 토양유실이 농기계 작업에 의한 표토의 교란이 제일 큰 요인인 점을 감안 하면, 관행의 포장정지, 복토작업에 의한 지나친 표토 교란은 토양유실 위험을 가장 시킬 위험이 높다. 부분경운 직파는 종자가 파종되는 10 cm 폭만 경운하여 종자를 파종하고, 나머지 부분은 경운 되지 않으므로 표토 교란을 최소화 할 수 있어 경사 밭 토양유실 저감기술로 유용하게 적

용할 수 있을 것으로 판단된다.

Conclusion

고령지역에서는 토양보전을 위하여 작물이 재배되지 않는 휴한기에 호밀, 헤어리베치 등 피복작물을 재배한다. 그러나 파종작업에 노력이 많이 소요되고, 전면경운에 의한 파종으로 표토의 교란이 심해 경우에 의한 토양유실 위험이 매우 높다. 본 연구에서는 피복작물을 최소화은 동시파종함으로써 작업노력을 줄이고, 토양보전 효과도 증진할 수 있는 기술을 개발하고자 하였다. 종자의 배종량을 자동으로

조절할 수 있는 장치를 부분경운 작업기에 부착하여 파종 정밀도를 평가하고, 경사 17%내외 무저라이시메타에서 피복방법에 따른 토양유실 특성을 평가하였다.

시험결과 트랙터 주행속도별 배종량은 실제 부분경운작업기 작업속도 구간인 0.5~0.8 m s⁻¹ 구간에서는 파종량이 일정하게 나타났다. 다만, 단위면적당 파종량이 많을수록 변화가 증가했는데, 그 양이 최대 10a 당 4 kg 이하로 나타났다 때문에 본 연구에서 개발한 배종량 자동조절장치는 기존의 장치인 본체 동력취출 방식이나 5륜 방식의 배종롤러 구동장치의 문제점을 충분히 해결할 수 있을 것으로 생각된다. 피복작물 파종방법에 따른 유거수 및 토양유실량은 부분경운 동시 피복작물 파종구의 유거수 유출량이 ha당 1.8 m³으로 관행 산파에 의한 토양피복 15.5 m³ 대비 11.6% 수준으로 감소되었다. 특히 피복작물을 파종하지 않은 관행구가 41.1 m³, 비닐멀칭 제거구가 271.6 m³ 임을 감안하면 유거수 유출량 저감 효과가 매우 높은 것으로 평가되었다. 토양 유실량도 비슷한 경향으로, 부분경운 동시 피복작물 파종구가 ha 당 7 kg으로 피복작물 관행 파종구의 53 kg 대비 13.2% 수준으로 감소되었다. 피복작물을 파종하지 않은 관행이 172 kg, 비닐멀칭 제거구가 4,717 kg 임을 감안하면, 토양보전 효과는 매우 높은 것으로 평가되었다. 결과적으로 부분경운 동시파종에 의한 피복작물 파종방법은 관행 산파 대비 농기계작업을 3회에서 1회로 줄일 수 있어 작업노력과 연료비 절감 효과가 매우 높은 것으로 기대된다. 또한 토양 유실 저감 효과도 높아, 경사 밭 토양보전기술로 유용하게 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

References

- Baver, L.D., W.H. Gardner, and W.R. Gardner. 1972. Soil physics. Hohn Wiley and Sons Inc.
- Cruse, R.M. 2002. Strip tillage effects on crop production and soil erosion. Iowa State University.
- Duran, Z.V.H. and P.C.R. Rodriguez. 2008. Soil-erosion and runoff prevention by plant covers, Review. Agron. Sustainable Dev. 28:143-149.
- FAO. 2000. Manual on integrated soil management and conservation practices. FAO Land and Water Bulletin 8 ISSN 1024-6073.
- Foster, G.R., D.K. McCool, K.G. Renard, and W.C. Moldenhaus. 1981. Conversion of the universal soil loss equation to SI units. J. Soil Water Conserv. 36(6):355-359.
- Jung, K.H., W.T. Kim, S.O. HUR, S.K. Ha, P.K. Jung, and Y.S. Jung. 2004. USLE/RUSLE factors for national scale soil loss estimation based on the digital detailed soil map. Korean J. Soil Sci. Fert. 37(4):199-206.
- Jung, P.K, M.H. Koh and K.T. Um. 1985. Discussion of Cropping Management Factor for Estimating Soil Loss. Korean J. Soil Sci. Fert. 18(1):7-13.
- Kim, Y.J., H.J. Kim, M. Seo and J.Y. Rhee. 2006a. Development of variable rate granule applicator for environment-friendly precision agriculture (II) - Development of pneumatic fertilizer blow head and its application uniformity -. Journal of Biosystems Engineering 31(6):474-481 (In Korean).
- Kim, Y.J., H.J. Kim, T. S. Jung and J.Y. Rhee. 2006b. Development of variable rate granule applicator for environment-friendly precision agriculture (III) - Analysis of pneumatic conveying system and improvement of fertilizer application uniformity -. Journal of Biosystems Engineering 31(6):482-488 (In Korean).
- Kim, Y.J and J.Y. Rhee. 2007. Development of variable rate granule applicator for environment-friendly precision agriculture (IV) - Evaluation of variable performance and adjustment method of blow head according to discharging rate -. Journal of Biosystems Engineering 32(6):383-388 (In Korean).
- Laflen, J.M. and W.C. Moldenhauer. 1979. Soil and water loss from corn-Corn rotations. Soil Sci. Am. J. 43:1213-1215.
- Lee, J.T., G.J. Lee, C.S. Park, S.W. Hwang, and Y.R. Yeoung. 2005. Effect of hairy vetch (*Vicia villosa* Roth) sod culture on decreasing soil loss and providing nitrogen for Chinese cabbage in highland. Korean J. Soil Sci. Fert. 38(5):294-300.
- Lee, J.T., G.J. Lee, J.S. Ryu, S.W. Hwang, S.Y. Park, Y.S. Zhang, and Y.S. Jeong. 2011. Application of reduce tillage with a strip tiller and its effect on soil erosion reduction in Chinese cabbage cultivation. Korean J. Soil Sci. Fert. 44(6): 970-976.
- Lee, J.T., G.J. Lee, J.S. Ryu, J.S. Kim, S.W. Hwang, and Y.S. Zhang. 2012. Evaluation of surface covering methods for reducing soil loss of highland slope in soybean cultivation. Korean J. Soil Sci. Fert. 45(5):725-732.
- Peterson, d. 2004. Strip-Till: The best of both worlds. University of Illinois extension, College of agricultural, Consumer and Environmental Sciences.
- Ryu, K.H., Y.J. Kim, S.I. Cho and J.Y. Rhee. 2006. Development of variable rate granule applicator for environment-friendly precision agriculture (I) - Concept design of variable rate pneumatic granule applicator and manufacture of prototype -. Journal of Biosystems Engineering 31(4):305-314 (In Korean).
- Seo, J.H., J.Y. Park and D.Y. Song. 2005. Effect of hairy vetch on prevention of soil erosion and reduction of nitrogen fertilization in sloped upland. Korean J. Soil Sci. Fert. 38(3):134-141.
- Tabatabaeefar, A.H. Emamzadeh, M. Ghasemi Varnamkhasti, R. Rahimizadeh, and M. Karimi. 2009. Comparison of energy of tillage systems in wheat production. Energy 34:41-45.
- Wainwright, J., A.J. Parsons, and A.D. Abronbams. 2000. Plot scale studies of vegetation, overland flow and erosion interactions: Case studies from Arizona and New Mexico. Hydrol. Process 14:2921-2943.
- Wischmeier, W.H. and D.D. Smith. 1978. Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning. p. 58. Agricultural Handbook No. 537, USDA, Washington D.C., USA.