



경작지에서 볏짚거적의 비점오염물질 저감 평가

Evaluation of NPS Pollutant Reduction of Rice Straw Mats in Field

원철희* · 신민환* · 최용훈* · 임경재* · 한영한** · 권재혁*** · 최중대*†
 Won, Chul-Hee · Shin, Min-Hwan · Choi, Yong-Hun · Lim, Kyoung-Jay ·
 Han, Young-Han · Kwon, Jay-Hyok · Choi, Joong-Dae

ABSTRACT

We have examined the effect of rice straw mat (RSM) on the reduction of non-point source (NPS) pollution loads at soybean cultivations. The slope of the experimental plot was about 3 %. Monitoring was carried out for four years at conventional tillage (CT) in 2008~2009 years and RSM covered tillage in 2010~2011 years. Thirty-two rainfall events were monitored and analyzed during the study period. During the 2 years of 2008 and 2009, 20 rainfall runoff events were monitored. But in 2010 years, only 2 rainfall runoff events could be monitored. And in 2011 years, 10 rainfall runoff events was monitored. It was because the RSM cover enhanced infiltration and reduce runoff in 2010 and 2011. Average NPS pollution load (organic matters) of the RSM covered field was reduced by 72.1~94.2 % compared to that of CT field. NPS pollution load of TN and TP reduced by 67.5 % and 55.7 %, respectively. Especially, SS pollution load was reduced by 97.3 %. Based on the results, rice straw mat cover was considered as a promising best management practices (BMP) to reduce NPS pollution load. However, it was recommended that the results are limited to the field conditions and the same experiments must be performed on different soil textures, slopes, and crops if it is applied to the development of policies.

Keywords: BMP; CT; NPS pollution load; RSM

1. 서 론

농업지역에서 토양유실은 전 세계적인 관심의 대상으로, 산림이나 초지에 비하여 유실량이 많다고 알려져 있다 (Boardman et al., 1990). 특히, 토양유실은 식생피복율이 낮은 지역에서 많이 발생하는데 (García-Orenes et al., 2009), 집중호우가 많이 발생하는 지중해 연안이 대표적인 곳이다 (Nicolau, 1990; Cerdà, 1998a; Lal, 1999). 지중해 연안 지역은 잡초 제거 시 이용되는 경운과 제초제의 사용으로 인하여 경지내의 식생이 제거되고, 작물의 성장기간에 나지가 유발되기 때문에, 토양유실이 많이 발생하고 있다 (Cerdà, 1998b). 우리나라에서는 대표적 고랭지 지역인 도암담 유역이 이에 해당하며, 여름철 및 해빙기에 토양유실

과 이로 인한 탁수 문제가 빈번히 발생하고 있다 (Choi et al., 2012).

이와 같은 토양유실과 토양유실을 유발할 수 있는 강우유출수를 저감하기 위하여 많은 연구가 시도되고 있는데, 강우 시 토양 유실량은 지표피복과 경운방법에 따라 넓은 분포를 보인다 (Basic, 2001; Benik et al, 2003; Faucette et al, 2004; Locke, 2008; Pote et al, 2004; Tiscareno-Lopez et al., 2004). 또한 강우유출수량과 토양유실량은 경사도와 강우강도의 영향을 받으며 (Shin et al., 2009), 초기함수량 (Defersha and Melesse, 2012) 및 토성과 계절에 따라서도 달라질 수 있다 (Cerdà, 1998b).

한편 상업적 제품인 Cotton geotextile도 토양유실 방지에 이용될 수 있는데, geotextile은 토양유실을 저감할 수는 있으나, 물의 반발성 (repellency)으로 인하여 강우유출수량이 증가하는 단점이 있기 때문에 (Giménez-Morera et al. 2010), 강우시 비점오염물질의 저감에는 효과가 적을 것으로 판단된다. 이에 반해 공사현장의 토양유실 방지에 이용되고 있는 볏짚거적은 토양유실뿐만 아니라 강우 유출수량 저감에도 큰 효과를 보였는데 (Shin et al., 2009; Won et al., 2011; Won et al., 2012a), 볏짚거적은 geotextile과 달리 물의 반발성이 없고, 물을 흡수하는 성질

* 강원대학교 농업생명과학대학 지역건설공학과
 ** 강원발전연구원
 *** 강원대학교 삼척캠퍼스
 † Corresponding author Tel.: +82-33-250-6464
 Fax: +82-33-251-1518
 E-mail: jdchoi@kangwon.ac.kr

2013년 3월 21일 투고
 2013년 6월 10일 심사완료
 2013년 6월 11일 게재확정

이 있기 때문에 판단된다. 그러나 벧짚거적을 이용한 이들의 연구는 실내에서 인공강우기를 이용한 결과이며, 자연강우조건에서는 거의 수행되지 않고 있다. 자연강우조건에서는 Shin et al. (2011)이 연구를 수행한바 있으나, 연구기간이 1년으로 짧고 인공적으로 조성된 시험포에서 수행되었다는 단점이 있다. 따라서 실경작지를 대상으로 보다 장기적인 연구가 필요한 시점으로 판단된다.

이에 본 연구에서는 실 경작지를 대상으로 관행농법 2년, 벧짚거적 피복 후 2년, 총 4년간의 연구를 통하여 벧짚거적이 강우유출수와 비점오염물질의 저감에 미치는 영향을 평가하였다.

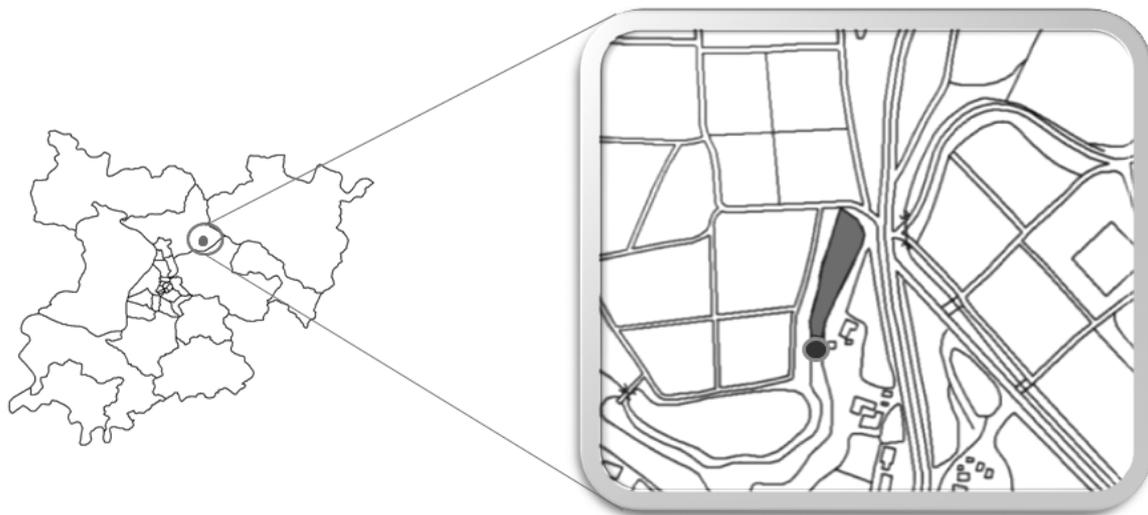
II. 연구방법

1. 모니터링 지점 및 측정장비

비점오염물질의 배출 특성은 지형, 토성, 경사도, 강우량과 강우강도, 지표 피복율 등에 영향을 받기 때문에 (Choi, 1997) 모니터링 지점의 선정은 연구의 성패를 가늠할 수 있는 중요한 부분이다. 따라서 조사 지점은 모니터링 시설과 측정 장비의 안전 관리에 유리한 곳을 선정하여야 하며, 이를 통하여 합리적이고 경제적인 모니터링이 수행될 수 있다 (Won et al., 2009). 본 연구에서는 실경작지에서 지표피복재의 효과를 평가하기 위하여 강원대학교 농장 (북위 37° 55' 59", 동경 127° 47' 08")에 위치한 밭을 이용하였다 (Fig. 1). 밭의 경사도는 3.2%의 사질토 토양이며, 면적은 1,276.6 m², 길이와 최장 폭은 각각 90 m와 17 m이다.

2. 실험처리 및 분석방법

실경작지에서 콩을 재배하면서 지표피복재의 효과를 조사하였다. 실험처리는 경운을 하는 관행농법 (Conventional tillage, CT) 과 최적관리기법 (BMP, best management practices)인 지표피복 (Rice straw mat covered tillage, RSMCT)으로 실시하였다 (Fig. 2). 2008~2009년까지는 관행농법으로 콩을 재배하였으며, 2010~2011년에는 벧짚거적으로 지표를 피복하고 콩을 재배하였다. 벧짚거적은 이랑 및 두둑을 조성하고 바로 약 3,000 kg/ha로 피복하였으며, 이후 콩을 파종하였다. 콩은 표준재배방법인 이랑나비 60 cm, 포기사이 10 cm로 매년 5월 중순에 파종하여 10월 중순에 수확하였다. 시비는 콩 전용 복합비료 (8-13-12)의 표준시비량에 근거하여 질소 6.4 kg (50.1 kg/ha), 인산 11.2 kg (87.7 kg/ha), 그리고 칼륨 9.6 kg (75.2 kg/ha)을 사용하였다. 밭은 두 실험처리 모두 상하경으로 조성하여 가능한 많은 유출수가 발생하도록 유도하였다. 강우 시 발생하는 유출유량과 시료채취를 위하여 유출수가 모이는 밭의 하류부에 H-flume을 설치하였다. 유량은 수위계 (Thalimedes, Germany)로 측정된 수위와 단면적을 이용하여 산출한 수위-유량 곡선으로 산정하였으며, 수위계는 항상 작동시켜 놓음으로서 유출이 발생하는 모든 강우사상의 모니터링이 가능케 하였다. 시료의 채취는 자동채취기 (ISCO 3700 automatic water sampler, USA)를 이용하여 시료 채취 시 발생할 수 있는 오차를 줄였다. 또한 수문분석을 위한 강우량은 자동채취기와 연동이 가능한 강우량계 (ISCO 674 rain gauges, USA)를 설치하여 사용하였다. 모니터링은 콩의 파



	Longitude / latitude	Area	Slope	Soil texture
Site	N 37° 55' 59" / E 127° 47' 08"	1,276.6 m ²	3.2 %	Sandy loam

Fig. 1 Descriptions of monitoring site in Chuncheon

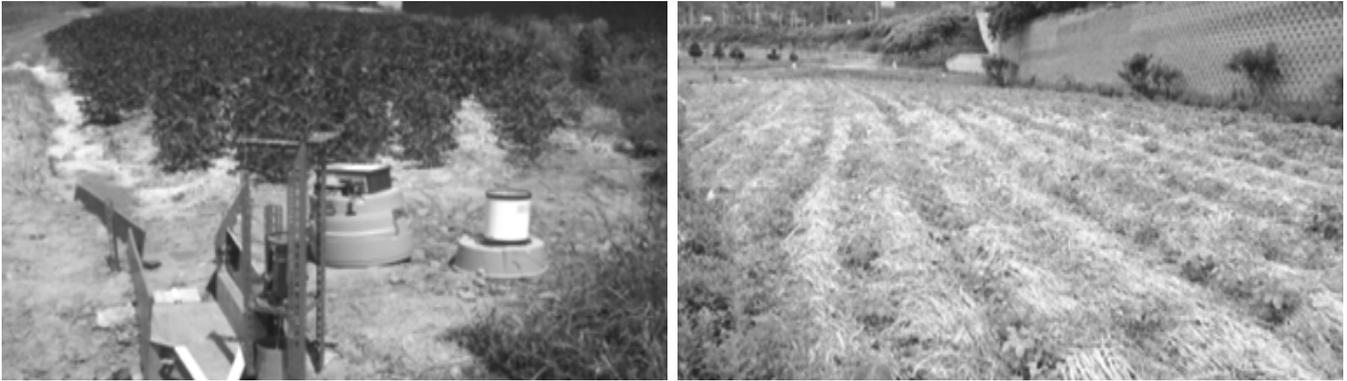


Fig. 2 CT (left) and RSMCT (right)

종과 측정 장비의 설치가 완료된 5월부터 9월까지 전수조사를 원칙으로 실시하였다. 시료는 밭에서 직접적인 유출이 발생할 때부터 유출 종료 시까지 1시간 간격으로 채취하였으며, 강우사상 종료 후 실험실로 이송하여 BOD, COD_{Cr}, COD_{Mn}, SS, TN, TP, DOC 등의 7개 항목에 대하여 분석하였다. 지표피복재의 효과는 피복 전·후의 유출율과 EMC (event mean concentration)와 유출량으로 산정된 비점오염부하를 이용하여 측정하였으며, 콩의 수확량은 비교하지 않았다.

3. EMC (Event mean concentration) 산정

지표피복 전·후의 강우시 오염물질의 농도는 강우사상 평균 농도 (EMC)를 이용하여 비교하였다. EMC는 강우 유출수와 함께 유출되는 오염물질을 평가하는데 가장 적절한 인자로서 널리 이용되고 있다 (U. S. EPA, 1983; Novotny and Olem, 1993). 강우사상별 EMC는 다음의 식에 따라서 강우사상시 관측된 유량과 이에 해당하는 수질 자료를 이용한 계산하였다.

$$EMC = \frac{\text{총 유출량 중 총 오염물질 중량}}{\text{총 유출량}} = \frac{\sum(Q_i \cdot C_i)}{\sum Q_i} \quad (1)$$

III. 결과 및 고찰

1. 유출특성 및 유출율

지표피복 전·후의 각 강우사상별 유출율을 조사하였으며, CT와 RSMCT의 유사한 강우사상에 기초하여 지표피복 시 유출량 저감효과를 분석하였다 (Table 1). CT로 시험포를 운영한 2008~2009년에는 총 113회의 비가 내렸으며, 20회의 유출이 발생하였다. RSM으로 지표를 피복한 2010~2011년에는 134회의 비가 내렸으나 유출은 총 12회가 발생하여 CT로 영농된 기간에 비하여 상대적으로 발생 빈도가 적었다.

CT로 콩을 재배한 기간에 유출은 40 mm 이상의 강우량과 1.5 mm/hr 이상의 강우강도에서 발생하였으며, 강우 사상별 유출율은 0.36~33.3 %의 범위를 보였다 (Table 1). 그러나 RSM으로 지표를 피복한 2010년도에는 100 mm 이상의 강우강도 6.8 mm/hr에서 유출이 발생하였다. 특히 2010년의 7월 16일과 17일에는 119 mm가 내렸음에도 불구하고 유출수가 발생하지 않았는데, 이는 선행된 강우의 양 (13일간 6회, 18.5 mm)이 적어 토양이 충분히 빗물을 저장할 수 있는 것에 1차적인 원인이 있는 것으로 판단된다. 또한 벧짚거적이 빗물의 토양타격력을 저감시키고 일종의 댐 역할을 함으로써 토양 침투율을 증가시킨 것으로 사료된다. 2011년에는 CT로 콩을 재배한 2008~2009년보다 낮은 강우량과 강우강도인, 강우량 30 mm와 강우강도 1.3 mm/hr에서도 유출이 발생하였다. 이는 2011년 7월에 집중된 강우의 영향으로 토양이 완전히 포화되어 유출이 쉽게 발생한 것으로 판단된다. 또한 강우량과 강우강도가 낮음에도 불구하고, 최대 강우강도가 8.8 mm/hr로서 컷기 때문에 유출이 발생한 것으로 보인다. 그러나 이 강우사상을 제외할 경우, 2011년도에는 강우량 45 mm 이상 또는 1.8 mm/hr 이상의 강우에서 유출이 발생하였다. RSM을 피복한 기간의 유출율은 0.11~77.5 %의 범위로서, 유출율 77.5 %를 보인 31차 강우 사상을 제외할 경우 CT 기간과 큰 차이가 없었다. 31차 강우사상은 강우량 (503.5 mm)과 평균 강우강도 (21.9 mm/hr) 그리고 최대 강우강도 (58.2 mm/hr)가 다른 강우사상과 비교가 불가능할 정도로 컷기 때문에 유출이 많이 발생한 것으로 판단된다.

한편 지표피복 전·후의 유사한 강우사상의 유출율 비교 시, RSM을 피복할 경우 유출율은 CT 대비 약 44~98 %가 저감되는 것으로 조사되었다. 그러나 본 연구는 시간적 차이를 두고 수행되었기 때문에 일부 강우사상 (31, 32차)은 비교가 불가능하였다. 또한 강우 시 유출율은 선행 무강우 일수에 따른 토양내 함수율의 영향을 받기 때문에 개별 강우사상에 따른 유출율의 비교보다는 누적유출량에 기초하여 지표피복 전·후의 유출율을

Table 1 Runoff Comparison of runoff characteristics between CT and RSM covered soybean cultivations

Rainfall event		Item	Rainfall (mm)	Rainfall intensity (mm/hr)	Runoff (m ³)	Runoff rate (%)	Reduction rate (%)
CT	1	2008.06.18	84.6	5.2(17.0)	5.4	4.9	-
	2	2008.07.02-03	45.6	1.6(13.8)	4.1	6.9	-
	3	2008.07.12-13	64.2	2.8(19.4)	1.5	1.8	-
	4	2008.07.19-21	131.4	2.7(16.2)	11.1	6.5	-
	5	2008.07.24-25	239.4	6.5(41.2)	103.5	33.3	-
	6	2008.07.30	40.4	11.5(24.4)	6.8	12.9	-
	7	2008.08.02-03	69.2	3.3(24.0)	15.2	16.9	-
	8	2008.08.18	56.6	4.6(20.6)	6.9	9.4	-
	9	2008.08.22-23	86	3.0(11.6)	6.3	56	-
	10	2008.09.01-02	59.8	2.1(6.2)	0.3	0.4	-
	11	2009.05.02	51.2	2.9(15.8)	0.24	0.4	-
	12	2009.06.02-03	56.6	2.8(18.6)	4.4	6.0	-
	13	2009.06.09-10	43.0	2.2(7.0)	1.1	2.0	-
	14	2009.07-09	202.0	11.3(36.2)	46.1	17.6	-
	15	2009.07.11-12	133.4	5.9(19.4)	40.0	23.1	-
	16	2009.07.14	204.4	9.4(31.0)	59.1	22.3	-
	17	2009.07.17-18	42.8	1.5(11.2)	6.7	12.1	-
	18	2009.07.25	50.2	9.1(19.4)	3.81	5.9	-
	19	2009.08.11-12	196.6	7.1(25.4)	51.9	20.3	-
	20	2009.08.26-27	59.4	2.6(6.8)	1.0	1.3	-
Accumulate			1,916.8	-	375.5	14.1	-
RSM covered tillage	21	2010.08.23-24	105.0	7.5(47.0)	6.3	4.7	79.6 ^{a)}
	22	2010.09.09-11	279.0	6.8(59.5)	54.1	14.9	54.8 ^{b)}
	23	2011.04.29-05.01	61.2	2.9(8.2)	2.4	0.3	70.1 ^{c)}
	24	2011.05.09-11	85.0	3.3(11.4)	19.4	23.0	- ^{d)}
	25	2011.06.23-27	205.0	1.8(12.4)	10.5	0.4	98.0 ^{e)}
	26	2011.06.29-30	203.4	4.6(19.6)	68.0	26.2	- ^{d)}
	27	2011.07.03	77.6	3.3(13.6)	4.0	0.4	90.0 ^{f)}
	28	2011.07.08-09	45.9	2.0(12.4)	0.7	1.1	78.6 ^{g)}
	29	2011.07.11-13	66.9	2.9(10.6)	0.1	0.2	93.9 ^{h)}
	30	2011.07.14-16	118.1	5.1(17.7)	8.8	5.7	43.8 ⁱ⁾
	31	2011.07.26-29	503.5	21.9(58.2)	506.8	77.6	Noncomparable
	32	2011.08.16-17	30.2	1.3(8.8)	0.3	0.7	Noncomparable
	Accumulate			1,277.3	-	174.6	10.5

() Maximum rainfall intensity

Note : Comparison of a) fifteenth event, b) fifth event, c) third, tenth, twelfth, twentieth event, d) first, ninth event, e) fourteenth, sixteenth, nineteenth, f) first, third, seventh, ninth event, g) second, sixth, thirteenth, seventeenth, eighteenth event, h) third, seventh, i) fourth, sixteenth event, j) the reduction rate of runoff compared conventional tillage.

비교하는 것이 바람직할 것으로 판단된다. 따라서 지표피복 전·후의 누적유출량으로 유출저감효과를 재평가하였다. 그러나 집중호우를 보인 31차 강우사상은 RSM의 피복효과를 기대할 수 없기 때문에 분석에서 제외하였다. CT 기간의 누적유출량과 이에 따른 유출율은 각각 375.5 m³과 14.1 %로 조사되었으며, RSMCT

의 누적유출량과 유출율은 각각 174.6 m³과 10.5 %로서 RSM을 피복할 경우 약 30 %의 유출수량이 저감되었다. 그러나 연구 진행 방법 (지표피복 전과 후) 시간적인 차이에서 오차가 발생할 수 있기 때문에 보다 객관화하기 위해서는 동일한 시기에 측정된 자료의 보완이 필요할 것으로 판단된다.

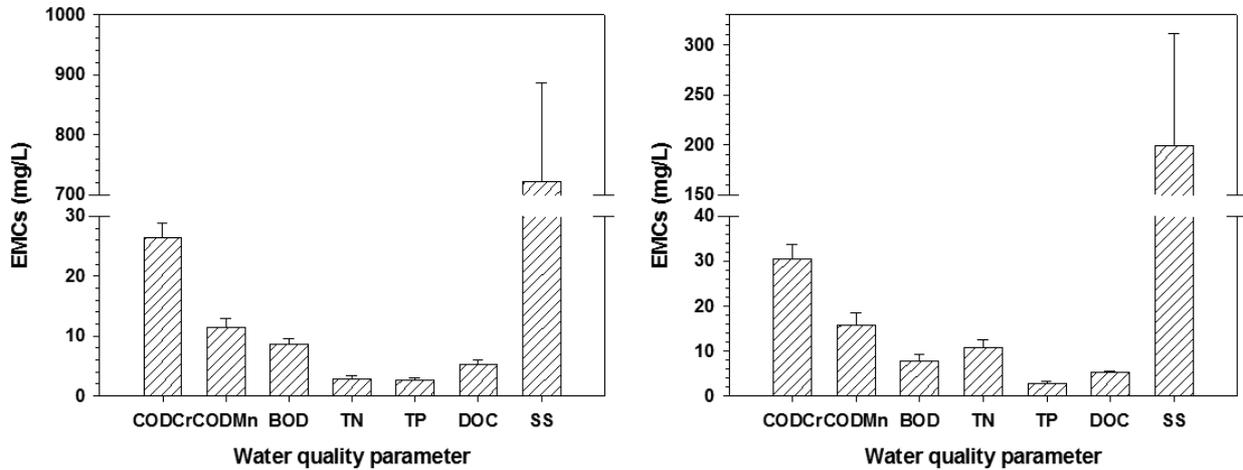


Fig. 3 Comparison of EMCs between CT (left) and RSMCT (right) soybean cultivations. Vertical error bar are 95 % confidence intervals of the mean

2. EMC

지표피복 전·후의 강우유출수내 오염물질의 EMC를 비교하였다 (Fig. 3). CT로 콩을 재배한 기간 (2008~2009년)의 평균 EMC를 살펴보면 COD_{Cr}은 26.4 mg/L, BOD는 8.6 mg/L 그리고 DOC는 5.4 mg/L로 조사되었으며, TN과 TP는 각각 2.8 mg/L와 2.6 mg/L로 나타났다. 지표 피복 후 콩을 경작한 기간의 평균 EMC의 경우 COD_{Cr}은 30.5 mg/L, BOD는 7.8 mg/L 그리고 DOC는 5.2 mg/L로 조사되었으며, 영양염류인 TP는 2.9 mg/L로서 CT 기간과 비교 시 큰 차이를 보이지 않았다. 그러나 TN은 10.7 mg/L로서 CT 기간과 비교 시 약 4배 정도 높은 값으로서 RSM 피복시 EMC가 낮아진다는 Shin et al (2012)의 연구와는 다른 결과를 보였다. 또한 본 연구와 유사하게 지표의 피복율을 높여 토양유실 및 비점오염물질을 제어하는 no-till을 이용한 DeLaune et al (2012)의 연구와도 차이를 보였다. 이러한 차이는 연구가 동일한 시기에 수행된 것이 아닌 시간적 차이를 두고 수행되었기 때문에 나타난 결과로 판단된다. 따라서 실험처리 (CT와 RSMCT)에 따른 오염물질의 배출특성을 보다 명확히 규명하려면 Shin et al (2012)와 DeLaune et al (2012)와 같이 동일한 시기에 시험포를 조성한 비교 연구가 필요할 것으로 사료된다. 그러나 지표피복 전·후의 SS의 EMC는 각각 721.6 mg/L와 198.5 mg/L로서 지표를 피복한 기간에 SS 농도가 크게 감소하는 것으로 조사되었다. 이는 벧짚겨적 피복 시 빗물의 토양 타격력이 감소되고, 이로 인하여 표토의 유실이 감소되었기 때문으로 판단된다. 문헌에 따르면 인공적인 힘을 가하지 않은 상태에서 벧짚의 토양 피복율은 65.5 %로서, 지표 피복 시 SS를 유발할 수 있는 토양유실을 저감시킬 수 있다고 보고되고 있다 (Shin et al., 2009). 또한 벧짚겨적으로 지표 피복 시 나지시험

포 대비 SS 농도가 감소되었으며, 피복량을 2~3배로 증가시킴에 따라 SS 농도도 감소하는 것으로 나타났다 (Won et al. 2012a). Shin et al. (2012)도 벧짚겨적 피복 시 관행시험포에 비해 SS 농도가 유의적으로 낮다고 보고한 바 있으며, Won et al. (2012b)에 따르면 벧짚겨적에 PAM, 톱밥 또는 왕겨를 첨가할 경우 SS 농도를 70~90 %까지 저감이 가능하다고 하였는데, 본 연구에서도 유사한 결과를 얻을 수 있었다. 즉, 지표를 피복함으로써 SS 농도를 크게 감소시킬 수 있었으며, 평균값에 기초할 때 관행농법 대비 약 73 %의 SS를 저감할 수 있었다.

3. 비점오염 부하 및 삭감량

Table 2에는 연구기간동안 연간 누적오염부하를 산정하여 제시하였으며, 실험처리에 따른 연 평균 누적오염부하를 산정하여 비교하였다. 31차 강우사상은 집중호우로서 최적관리기법의 효과를 크게 기대할 수 없기 때문에 분석에서 제외하였다. CT 기간의 연평균 누적오염부하를 살펴보면 COD_{Cr}은 39.4 kg/ha, BOD는 11.6 kg/ha, TN은 3.6 kg/ha, TP는 3.2 kg/ha 그리고 SS는 1,219.4 kg/ha로 조사되었다. RSM을 피복한 기간의 연평균 누적오염부하는 COD_{Cr} 9.7 kg/ha, BOD는 2.4 kg/ha, TN은 1.2 kg/ha, TP는 1.4 kg/ha로서 CT 기간의 오염부하 대비 유기물은 72~94 %, 영양염류는 55~68 %가 저감된 것으로 나타났다. 특히 SS의 오염부하는 33.5 kg/ha로서 타 항목보다 높은 97.3 %가 저감되었다. 이상의 결과로 판단할 때, RSM을 피복하는 방법은 농경지에서 발생하는 비점오염부하와 토양유실의 방지를 통한 SS의 유출을 저감하는데 효과적인 것으로 판단된다. 이는 벧짚겨적이 빗물의 유속을 감소시키고 토양 침투능을 증대시키기 때문에 (Won et al., 2011), 강우 유출량이 감소하여 비점

Table 2 NPS pollution loads (kg/ha) and reduction rate (%) of the RSM covered soybean cultivations

Classification		SS	COD _{Cr}	COD _{Mn}	BOD	TN	TP	DOC	
CT	2008	Loads	1,889.4	33.4	17.8	13.4	1.5	2.5	9.3
	2009	Loads	549.3	45.3	11.0	9.7	5.7	3.9	4.0
	Average	Loads	1,219.4	39.4	14.4	11.6	3.6	3.2	6.66
RSM covered	2010	Loads	55.7	17.2	6.6	4.3	1.2	2.4	-
		Reduction rate ^{a)}	95.4	56.5	54.0	63.2	65.5	23.1	-
	2011	Loads	11.2	2.2	1.4	0.5	1.1	0.4	0.4
		Reduction rate ^{a)}	99.1	94.4	90.2	96.0	69.5	88.4	94.2
	Average	Loads	33.5	9.7	4.0	2.4	1.2	1.4	0.4
		Reduction rate ^{a)}	97.3	75.5	72.1	79.6	67.5	55.7	94.2

Note : a) Compared to the average CT NPS pollution loads.

오염부하가 감소한 것으로 판단된다. 또한 농경지에서 발생하는 비점오염부하를 저감하기 위해서는 발생원 자체에서 유출량을 저감시키는 것이 효과적이며, 지표피복과 같은 최적관리방법의 도입이 필요함을 알 수 있었다. 한편 유사한 경사도의 밭에서 지표를 피복하고 자연강우 모니터링을 한 Shin et al. (2012)의 연구에 의하면 나지 (관행농법) 시험포 대비 SS는 79.8 %, TN과 TP는 각각 68.3 %와 53.3 %가 저감된다고 보고하였으며, 본 연구도 유사한 결과를 보였다.

IV. 요약 및 결론

본 연구에서는 한강 중·상류 지역에 흔히 분포하고 있는 밭을 대상으로 CT 농법 2년, RSM을 이용한 최적영농관리기법으로 2년 총 4년간 콩을 재배하면서 강우 시 비점오염물질의 유출특성을 비교·분석 하였다. 연구결과 지표를 피복하고 영농을 할 경우 재래식 농법 대비 유출량 약 30 %가 저감되었다. 또한 유출량 저감을 통하여 비점오염부하도 저감이 되었는데, RSM을 피복할 경우 연평균 누적오염부하는 COD_{Cr} 9.7 kg/ha, BOD는 2.4 kg/ha, TN은 1.2 kg/ha, TP는 1.4 kg/ha로서 CT 기간의 오염부하 대비 유기물은 72~94 %, 영양염류는 55~68 %가 저감된 것으로 나타났다. 특히 SS의 오염부하는 33.5 kg/ha로서 타 항목보다 높은 97.3 %가 저감되었다. 지표를 피복하고 영농활동을 하는 것은 쉽지 않은 일이다. 그러나 발생원에서 강우 유출수의 저감을 통하여 비점오염물질의 배출부하를 저감시킬 수 있다면 사용상의 어려움이 있다하더라도 지표피복의 방법을 농경지에 적용할 필요가 있다. 특히 본 연구에서는 측정하지 않았지만 CT 농법과 비교 시 작물의 생산성이 보전되거나 증대된다면, 행정 및 재정적 지원책을 통하여 지표피복방법을 보급할 충분한 이유가 있다고 판단된다. 그러나 본 연구는 토양 침투능이 큰 사질토양의 경사도 3 %에서 수행된 자료로서 경사가 급한 밭에서는 벗짚겨적으로 인한 삭감효과가 낮아질 수 있다. 또한 연구가

시간적 차이를 두고 수행되었기 때문에 선행건기일수와 초기토양함수량의 차이에서 유출량의 오차가 발생할 수 있다. 따라서 다양한 토성과 경사 그리고 작물을 대상으로 지표피복의 효과를 동일한 시기에 측정할 수 있는 연구를 진행하여 보다 객관적인 통계자료를 제시한 후 정책으로 채택할 필요가 있다.

본 연구는 환경기초조사사업의 주요비점오염원 장기모니터링 연구와 농촌지역 비점오염원 삭감효과 정량화 연구의 연구비 지원을 받아 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

REFERENCES

1. Basic, F., I. Kistic, A., Butorac, O. Nestroy, and M. Mesic, 2001. Runoff and Soil Loss under different Tillage Methods on Stagnic Luvisols in Central Croatia. *Soil & Tillage Research* 62: 145-151.
2. Benik, S. R., B. N., Wilson, D. D. Biesboer, B. Hansen, and D. Stenlund, 2003. Evaluation of erosion control products using natural rainfall events. *Journal of Soil and Water Conservation* 58(2): 98-105.
3. Boardman, J., I. D. L. Foster, and J. A. Dearing, 1990. Soil erosion on agricultural land. John Wiley and Sons: Chichester.
4. Cerdà, A., 1998a. The influence of geomorphological position and vegetation cover on the erosional and hydrological processes on a Mediterranean hillslope. *Hydrological Processes* 12(4): 661-671.
5. Cerdà, A., 1998b. The influence of aspect and vegetation on seasonal changes in erosion under rainfall simulation on a clay soil in Spain. *Can. J. Soil Sci.*

- 78: 321-330.
6. Choi, J. D., 1997. Effect of Rural Watershed Management on the Discharge of NPS Pollutants to Streams. *Inst. of Rural Dev., Kangwon Nat'l Univ.* 1(1): 91-107 (in Korean).
 7. Choi, Y. H., C. H. Won, W. J. Park, M. H. Shin, J. Y. Shin, S. I. Lee, and J. D. Choi, 2012. Comparison of NPS Pollution Characteristics between Snowmelt and Rainfall Runoff from a Highland Agricultural Watershed. *Journal of Korean Society on Water Quality* 28(4): 523-530 (in Korean).
 8. Defersha, M. B., A. M. Melesse, 2012. Effect of rainfall intensity, slope and antecedent moisture content on sediment concentration and sediment enrichment ratio. *CATENA* 90: 47-52.
 9. Delaune, P. B., and J. W. Sij, 2012. Impact of tillage on runoff in long term no-till wheat system. *Soil & Tillage Research* 124: 32-35.
 10. Faucette, L. B., L. M. Risse, M. A. Nearing, J. W. Gaskin, and L. T. West, 2004. Runoff, erosion, and nutrient losses from compost and mulch blankets under simulated rainfall. *Journal of Soil & Water Conservation* 59(4): 154-160.
 11. Garcia-Orenes, F., A. Cerdà, J. Mataix-Solera, C. Guerrero, and M. B. Bodi, 2009. Effects of agricultural management on surface soil properties and soil-water losses in eastern Spain. *Soil & Tillage Research* 106: 117-123.
 12. Giménez-Morera, A., J. D. Ruiz Sinoga, and A. Cerdà, 2010. The impact of cotton geotextiles on soil and water losses from Mediterranean rainfed agricultural land. *Land Degradation and Development* 21: 210-217.
 13. Lal, R., 1999. Soil quality and soil erosion. Water Conservation Society, Boca Raton, Florida, USA: 329.
 14. Locke, M. A., R. M. Zablotowicz, K. N. Reddy, and R. W. Steinriede, 2008. Tillage Management to Mitigate Herbicide Loss in Runoff under Simulated Rainfall Conditions. *Chemosphere* 70: 1422-1428.
 15. Nicolau, J. M., 1996. Effects of top soiling on erosion rates and processes in coal-mine spoil banks in Utrillas (Spain). *International Journal of Surface Mining Reclamation & Environment* 10: 73-78.
 16. Novotny, V., and H. Olem, 1993. Water Quality: Prevention, Identification and Management of Diffuse Pollution. Van Nostrand-Reinhold Publishing, New York, NY, reprinted by John Wiley & Sons, Hoboken, NJ 1997.
 17. Pote, D. H., B. C. Grigg, C. A. Blanche, and T. C. Daniel, 2004. Effects of pine straw harvesting on quantity and quality of surface runoff. *Journal of Soil and Water Conservation* 59(5): 197-203.
 18. Shin, M. H., C. H. Won, Y. H. Choi, J. Y. Seo, J. W. Lee, K. J. Lim, and J. D. Choi, 2009. Simulaion of field soil loss by artificial rainfall simulator-by varing rainfall intensity, surface condition and slope. *Journal of Korean Society on Water Quality* 25(5): 785-791 (in Korean).
 19. Shin, M. H., C. H. Won, W. J. Park, Y. H. Choi, J. Y. Shin, K. J. Lim, and J. D. Choi, 2011. Surface cover application for reduction of runoff and sediment discharge from sloping fields. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 53(6): 129-136 (in Korean).
 20. Shin, M. H., J. R. Jang, C. H. Won, Y. H. Choi, J. Y. Shin, K. J. Lim, and J. D. Choi, 2012. Effect of Surface Cover on the Reduction of NPS Pollution at a Vegetable Field. *Journal of Korean Society on Water Quality* 28(3): 436-443 (in Korean).
 21. Tiscareno-Lopez, M., M. Velasquez-valle, J. Salinas-Garcia, and A. D. Baez-gonzalez, 2004. Nitrogen and Organic Matter Losses in NO-Till Corn Cropping Systems. *Journal of American Water Resources Association* 40(2): 401-408.
 22. U. S. EPA, 1983. Result of the National wide Urban Runoff Program, Water Planning Division: Vol. 1 Final Report.
 23. Won, C. H., Y. H. Choi, J. Y. Seo, K. C. Kim, M. H. Shin, and J. D. Choi, 2009. Determination of EMC and Unit Loading of rainfall runoff from Forestry-Crops Field. *Journal of Korean Society on Water Quality* 25(4): 615-623 (in Korean).
 24. Won, C. H., M. H. Shin, Y. H. Choi, J. Y. Shin, W. J. Park and J. D. Choi, 2011. Applications of surface cover materials for reduction of soil erosion. *Journal of Korean Society on Water Quality* 27(6): 848-854

- (in Korean).
25. Won, C. H., Y. H. Choi, M. H. Shin, K. J. Lim, and J. D. Choi, 2012a. Effects of rice straw mats on runoff and sediment discharge in a laboratory rainfall simulation. *Geoderma* 189-190: 164-169.
26. Won, C. H., M. H. Shin, Y. H. Choi, J. Y. Shin, W. J. Park, and J. D. Choi, 2012b. Simulations of runoff using Rice Straw Mat and Soil Amendments. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 54(2): 95-102 (in Korean).