



강우유출수와 비점오염물질을 저감하기 위한 최적관리기법의 적용

Application of BMP for Reduction of Runoff and NPS Pollutions

원철희* · 신민환* · 신현준** · 임경재* · 최중대*†

Won, Chul-Hee · Shin, Min-Hwan · Shin, Hyun-Jun · Lim, Kyoung-Jay · Choi, Joong-Dae

ABSTRACT

The objective of this research was to experimentally test the effect of tillage methods on the reduction of runoff, non-point source (NPS) pollution load, sediment and discharge under a rainfall simulation. We used the runoff plots of 5 m×30 m (L×W) in size. Experimental treatments were conventional tillage (CT), CT-rice straw bundle (CT-RSB) and two no-till (NT) plots; slope of 3 % or 8 %; and rainfall intensity of 30 mm/hr. The rainfall simulation was conducted to three times. The time to initial runoff from NT plots was less than that from CT plots regardless of the slope and it was delayed about 65~90 % compared to that of CT plot. And sediment discharge of 8 % slope reduced to 55 % compared to CT plot. But the sediment discharge was not occurred at 3 % slope. The NT and CT-RSB methods have a great possibility of reducing runoff and NPS pollution loads. Runoff rate of NT plots was significantly lower than those of CT plot. The average NPS pollution loads of the NT plots and CT-RSB plot reduced about 55~80 % and 2.1~40 % compared to those of the CT plots, respectively. It was also shown that runoff and NPS pollution loads reduction by NT method could be very significant and contribute to improve the water quality of streams in agricultural regions. It was concluded that the use of NT method on agricultural fields could reduce soil erosion and muddy runoff significantly and help improve the water quality and aquatic ecosystem.

Keywords: Conventional tillage; CT-rice straw bundle; Nonpoint source pollution load; No-till

1. 서 론

전 세계적으로 무경운 (no-till, NT) 농법의 개발은 농업 분야에 혁명을 가져왔으며 (Triplett and Dick, 2008), 2007년 현재 NT를 포함한 보전경운 (conservation tillage)의 방법은 약 95 백만명이 이용하고 있다 (Lal et al., 2007). 특히 미국에서는 no-till을 이용한 경작지가 2004년을 기준할 때, 약 22.6 %에 달하고 있다 (Conservation Technology Information Center, 2005). 그러나 아직까지 우리나라에서 NT를 이용한 연구나 적용 사례는 보고된 바 없다. NT 방법은 노동비용의 절감과 토질 및 토양 구조의 안정 개선 그리고 수질을 보호할 수 있다고 알려져 있다 (DeLaune and Sij, 2012). 특히 재래식 경운 (conventional tillage, CT)을 NT로 전환할 경우 토양유실을 저감할 수 있으며

(Clausen et al., 1996; Jordan et al, 2000; Owens et al, 2002), 이를 통하여 토양의 물리적 구조를 안정화 시킬 수 있다. 토양의 구조가 안정화 될 경우 빗물의 침투능이 증대되어 (Reeves, 1997), 강우유출수량이 저감되는 효과를 얻을 수 있다 (DeLaune and Sij, 2012). 또한 NT 방법을 사용할 경우 토양내 수분이 보전되는 효과로 인하여 강우량이 적은 지역에서도 영농 활동이 가능하고, 강우유출수와 유사가 거의 발생하지 않을 뿐만 아니라 토양내 유기물 함량 및 다양한 미생물이 증가하기 때문에 작물의 생산성이 증가하는 효과도 있다 (Pollock and Reeder, 2010). 그러나 보전경운이 강우유출에 미치는 영향은 아직 명확하게 나타나 있지 않다. Smith et al. (2007)에 따르면 NT 시 강우유출량은 CT와 유사하거나 더 많다고 하였다. 반면에 Truman et al. (2009)은 NT를 포함한 보전경운 시 유출수량이 저감된다고 하였다. 또한 강우유출수내 오염물질 농도도 연구자에 따라 차이를 보였는데, Garcia et al. (2007)에 따르면 유출수내의 인 농도는 CT 보다 NT에서 낮게 나타났다. 그러나 NT와 1회의 쟁기질을 병행할 경우 유출수내의 인 농도는 CT와 유의적 차이가 없다고 하였다. 반면에 Quincke et al. (2007)은 NT + 1회의 쟁기질 시 유출수내 인의 농도는 CT보다 낮았다고 보고한 바 있다. 한편 유출수내의 용존성 물질인 $PO_4 - P$ 와 $NH_4^+ - N$ 의 농

* 강원대학교 지역건설공학과

** 한국건설기술연구원

† Corresponding author Tel.: +82-33-250-6464

Fax: +82-33-251-1518

E-mail: jdchoi@kangwon.ac.kr

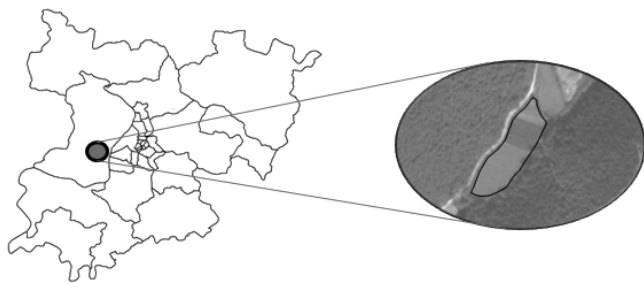
2013년 5월 27일 투고

2013년 7월 20일 심사완료

2013년 7월 21일 게재확정

도는 NT보다 CT에서 낮은 경향을 보이는데 반하여 총 인과 총 질소는 NT에서 낮은 경향을 보였다 (DeLaune and Sij, 2012; Franklin et al, 2012).

이상의 선행연구 결과에 기초할 때, NT 시 추가적인 방법 (쟁기질 등)을 조합하지 않을 경우, 배출되는 비점오염물질의 농도는 CT보다 낮을 것으로 예상된다. 그러나 강우유출수량은 연구자에 따라 차이를 보이고 있기 때문에 NT를 국내에 적용하려면 많은 실험적인 연구가 필요할 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 사질토양의 조건하에서 경운방법이 초기유출시간, 유출량, 유사량 그리고 비점오염부하에 미치는 영향을 인공강우 조건에서 비교·평가하고자 하였다.



Longitude/latitude	Area	Slope	Soil texture
N 37°53'17"/E 127°40'25"	3,142 m ²	3 and 8 %	Sandy loam

Fig. 1 Descriptions of monitoring site in Chuncheon

II. 연구방법

1. 시험포 조성

최적관리기법의 효과를 측정하기 위하여 경사도 3 %와 8 %의 시험포를 조성하였다. 시험포는 춘천시 서면 (북위 37°53'17", 동경 127°40'25")에 위치하고 있으며 (Fig. 1), 토성은 사질토양이다. 유출시험포의 면적은 150 m² (폭 5 m, 경사장 30 m)이며, 8개 (경사도 3 % 4개, 경사도 8 % 4개)를 조성하였으며 (Fig. 2 (left)), 각 시험포의 하단에는 유실되는 토양을 포집할 수 있는 작은 침사구와 수위 측정에 필요한 H-플룸을 설치하였다. 경사도 3 %와 경사도 8 % 시험포 사이의 간격은 인공강우 실험 시 영향을 받지 않도록 30 m를 이격시켰다. 또한 인공강우 실험에 필요한 물을 저장하기 위한 수조 (D=7.5 m) 2지를 설치하였으며, 폭 1 m, 깊이 1 m의 배수로를 설치하여 강우유출수를 배재하였다. 조성된 시험포에는 인공강우 실험을 위한 관개시스템과 스프링클러를 설치하였다 (Fig. 2 (right)).

2. 실험처리 및 작물파종

최적관리기법의 하나인 NT 농법을 적용하기 위하여 2010년 가을에 동계피복작물인 보리를 시험포에 재배하였다. 시비는 시험포 인근 농가에서 구입한 우분퇴비를 사용하였다. 우분퇴비의

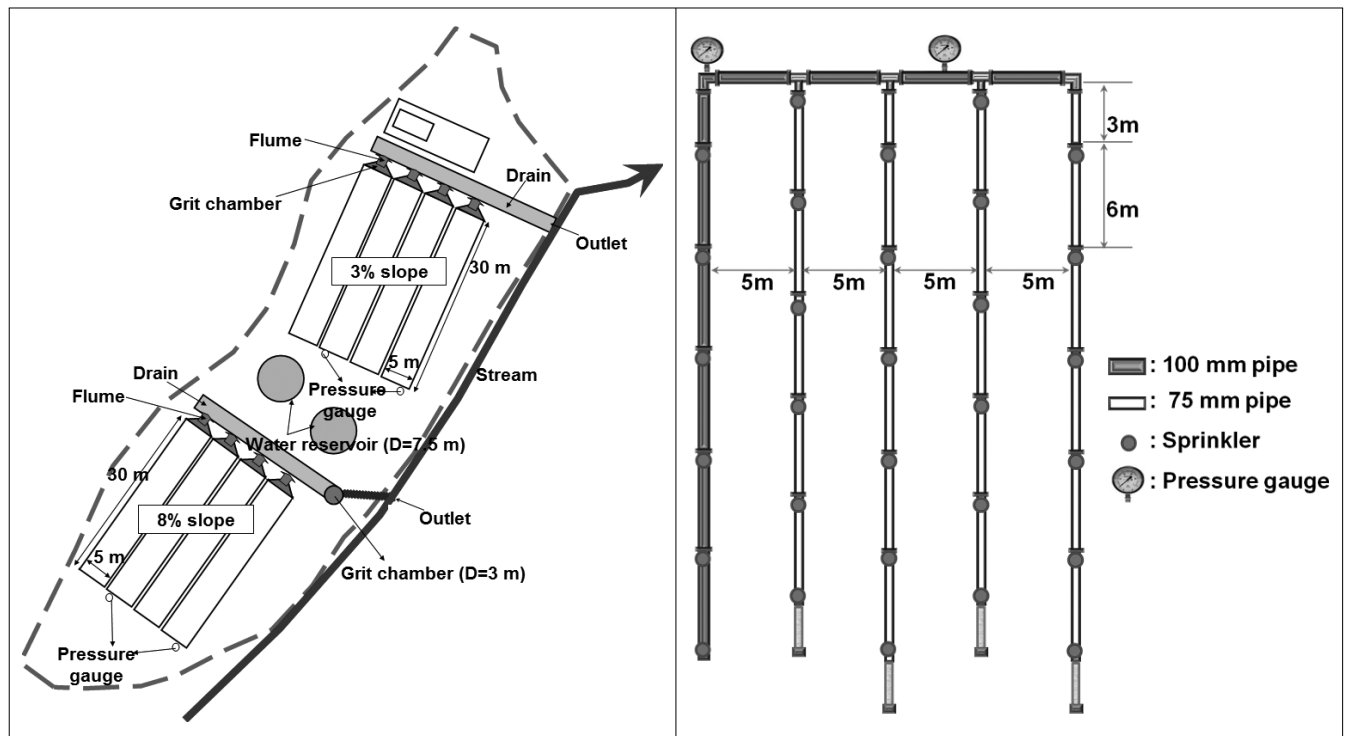


Fig. 2 Arrangement of experimental plots (left) and irrigation system (right)

표준시비량은 10 a 당 1,210 kg (시험포 150 m²당 180 kg)이나, 새로 조성되는 시험포임을 감안하여 180 kg의 3배 정도인 550 kg을 주입하였다. 퇴비 주입 후 시험포를 경운하고 보리를 파종하였다. 보리는 월동 후 이듬해 2011년 6월에 수확을 하였다. 경운방법에 따른 비구조적 삭감량을 산정하기 위하여 시험포는 경운을 하고 작물을 심는 CT 1개, 경운을 하고 3 m 간격으로 직경 15 cm, 높이 15 cm의 침투짚단 (rice straw bundle)을 매설한 시험포 (CT-RSB) 1개, 그리고 경운하지 않은 무경운 시험포 (NT) 2개로 시험처리를 하였다. 시험처리별 시험포의 위치는 무작위로 배치시켰으며, 경사도 3 %와 8 %를 동일하게 처리하였다. 한편 보리 수확 후 화확비료를 이용하여 시비를 하였는데, 시비량은 질소 0.598 kg (39.9 kg/ha), 인 1.207 kg (80.4 kg/ha) 그리고 칼륨 0.9 kg (60 kg/ha)을 8개 시험포에 동일하게 실시하였다. 시비 후 CT와 CT-RSB 시험포는 경운 후 이랑과 두둑을 조성한 후에, NT는 보리를 베어낸 후 보리와 보리 열 사이에 이랑나비 60 cm, 포기사이 60 cm로 정식하였다.

3. 인공강우 실험 및 분석방법

설치된 시험포에 강우를 균일하게 분사하는 것은 매우 어렵다. 따라서 본 연구에서는 자동차 엔진을 개량한 Rainbow 펌프를 이용하였다. Rainbow 펌프는 시간 당 30~75 mm의 강우를 모의할 수 있다. 인공강우 실험은 Rainbow 펌프를 이용하여 수조에 저장된 물을 시험포에 설치된 관개시스템 (Fig. 2 right)으로 압송하여 스프링클러를 통해 분사하는 방식으로 실시하였다. 강우강도는 약 30 mm/hr로 고정하였다. 이는 강우강도가 커질수록 소요되는 물의 양은 증가하나, 현장 여건상 물의 지속적인 공급이 어렵고, 설치한 저수조의 용량을 고려하여 30 mm/hr로 설정하였다. 강우강도를 조절하기 위하여 본 실험에 앞서 관개시스템에 설치된 압력계의 압력을 0.6 kgf/cm²로 조절하여 강우강도 30 mm/hr로 보정을 하였다. 강우유출 모의실험은 1주 간격으로 한 시간 동안 총 3회를 실시하였다. 인공강우 실험은 바람으로 인해 강우량의 오차가 발생하지 않도록 바람이 없는 맑은 날에 실시하였으며, 선행건기 일수 1주일을 유지하였다. 한편 경운과 들깨를 정식하고 바로 실험을 수행할 경우, 경운한 시험포의 토양은 압밀된 상태가 아니고 흩어진 상태로서 비가 내릴 경우 유출이 제대로 발생하지 않을 수 있다. 따라서 인공강우 실험은 들깨 정식 후 1달이 지난 시점부터 실시하였다. 강우량은 간이 강우량계 (3.3 cm×6.5 cm)를 시험포별로 6개씩 설치하여 측정하였다. 유량은 수위계 (Thalimedes, Germany)로 측정된 수위와 플룸의 단면적을 이용하여 산출한 수위-유량 곡선으로 산정하였다. 또한 수위-유량곡선으로 산정된 유량의 정확도를 높이기 위하여 양동이 (15 L)를 이용하여 10분마다 실측을 병행하였다.

인공강우 실험이 진행되는 동안 시험포별로 초기유출시간과 유출량을 측정하고 비점오염물질 분석을 위한 시료를 채취하였다. 시료는 유출이 발생한 시점에 1점을 채취하고, 실험이 종료될 때까지 총 10개를 채취하였다. 채취된 시료는 BOD, COD_{Cr}, COD_{Mn}, SS, TN, TP, DOC 등의 7개 항목에 대하여 분석하였다. 시험처리별 오염물질의 배출특성은 EMC (event mean concentration)와 유출량으로 산정된 비점오염부하를 이용하여 비교하였다. 또한 인공강우 실험이 종료된 후, 3일 후에 침사구에 퇴적된 유사를 저울을 이용하여 측정하였으며, 건조중량으로 산정하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 초기유출시간

Table 1에는 각 인공강우 실험의 초기유출시간과 평균초기유출시간 그리고 대조구인 CT 대비 지연율을 제시하였다. 인공강우 실험은 1 주일의 선행무강우 후 실시되었기 때문에 초기 토양의 함수율은 분석에서 고려하지 않았다. 경사도 3 %의 CT 시험포에서는 13분에 유출이 시작되었다. 그러나 CT-RSB와 NT의 초기 유출시간은 각각 14.3분과 32.7분으로써, CT 농법 대비 각각 10 %와 192 %의 유출지연효과를 보였다. 경사도 8 %의 CT, CT-RSB 그리고 NT의 초기 유출시간은 각각 9.7분, 12.0분, 25.5분으로써 경사도 3 %와 유사한 경향을 보였으나, 동일한 시험처리에서는 경사도 3 %에 비하여 유출이 빠르게 발생하였다. 경사도 8 %의 CT-RSB와 NT의 초기유출시간은 CT 시험포 대비 24 %와 165 %의 유출 지연효과가 있는 것으로 조사되었다. 종합적으로 CT-RSB의 초기유출은 CT 시험포에 비하여 늦게 발생하였으나, 큰 차이를 보이지 않았다 (CT 대비 지연율 10~24.1 %). 그러나 NT를 할 경우 초기유출은 크게 지연되는 것으로 조사되었는데 (CT 대비 약 165~190 %), 이는 NT로 영농 시토양의 침투율이 증가되기 때문으로 판단된다 (Soane et al, 2012).

Table 1 The time to initial runoff with respect to experimental treatment (Unit : min)

Treatment	Rainfall simulation			Average	Delay rate (%)	
	First	Second	Third			
3 %	CT	15	15	9	13.0	-
	CT-RSB	18	14	11	14.3	10.3
	NT	34	44	31	32.7	192.3
8 %	CT	12	8	9	9.7	-
	CT-RSB	15	10	11	12.0	24.1
	NT	29.5	21	24	25.5	165.5

CT, conventional tillage; CT-RSB, rice straw bundle after CT; NT, no tillage

2. 유출량 및 유출 삭감량

인공강우 실험 시 각 시험포에서 측정된 유출량은 경운을 한 CT 시험포에서 가장 많았으며, 경운하지 않고 들깨를 심은 NT에서 적게 발생하였다 (Fig. 3). 경사도에 따라 일부 차이는 있으나, 3회의 실험 시 모두 Fig. 3과 유사한 경향을 보였다. Table 2에는 3회의 인공강우 실험 시 시험처리별 유출율을 제시하였으며, Fig. 4에는 실험처리별 평균 유출율과 CT 대비 저감율을 나타내었다. 경사도 3% 시험포에서 CT 시험포의 유출율은 58.7~61.8%의 범위로 조사되었으며, CT-RSB의 유출율은 32.4~49.4%의 범위로서 침투짚단을 매설함으로써 평균 29.3%의 유출량 저감효과를 얻을 수 있었다. NT의 유출율은 21.7~23.0%의 범위로서 CT 시험포 대비 62.3%의 유출량을 삭감할 수 있었다. 경사도 8%의 경우, CT의 유출율은 46.0~66.2%의 범위로 조사되었다. CT-RSB의 유출율은 41.1~62.9%의 범위로서, CT 대비 평균 9.6%의 저감효과가 있었다. NT의 유출율은 10.7~24.6%의 범위로서, CT 시험포 유출량 대비 약 72%가 저감되는 것으로 조사되었다. 경사도 9%의 유출시험포에서 수행된 Tiscareno-Lopez et al. (2004)의 연구에 의하면

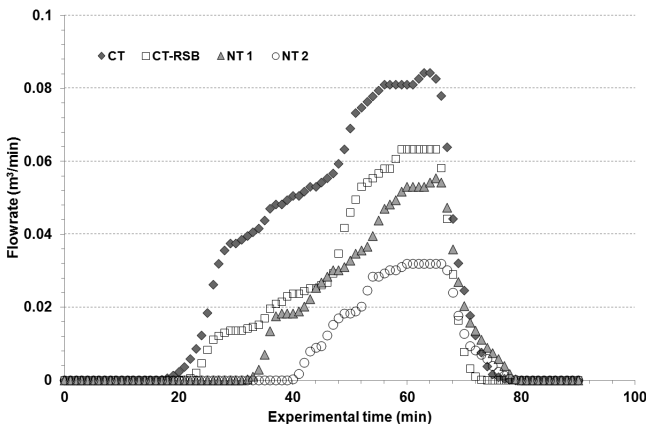


Fig. 3 Comparison of runoff flowrates according to different tillage treatments: slope 3%, first rainfall simulation

Table 2 Runoff rates of different tillage treatments and slopes (Unit : %)

Treatment	Rainfall simulation			
	First	Second	Third	
3%	CT	58.7	58.9	61.8
	CT-RSB	32.4	45.3	49.4
	NT	21.7	23.0	23.0
8%	CT	55.3	66.2	46.0
	CT-RSB	48.1	62.9	41.1
	NT	10.7	24.6	12.7

CT, conventional tillage; CT-RSB, rice straw bundle after CT; NT, no tillage

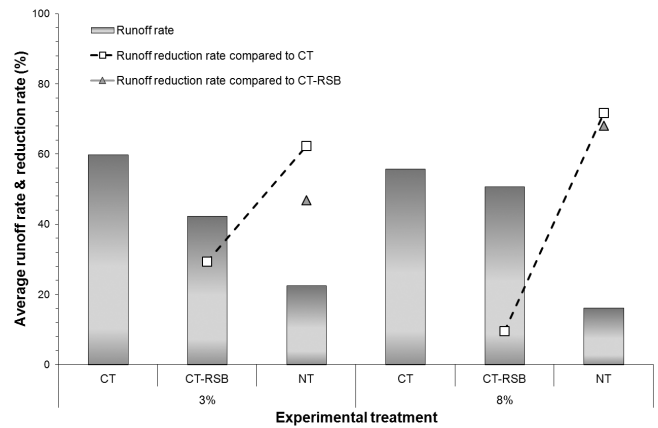


Fig. 4 Runoff and reduction rates according to different tillage treatments

무경운을 하고 옥수수 잔재물로 피복을 할 경우, 유출량은 CT 시험포에 비하여 46~77%가 감소하는 것으로 나타났다. 그러나 무경운을 하고 작물을 심지 않을 경우 오히려 유출량이 증가하였는데, 이는 경운으로 인하여 토양의 표면이 거칠어진 것에 기인하는 것으로 판단된다. 본 연구에서도 보리를 베고 남은 잔존물이 유출량 저감에 영향을 준 것으로 판단된다. 또한 NT로 영농을 할 경우, 식물의 피복으로 인하여 물의 이동이 느려지고 침투능이 증가하여 나타난 결과로 판단된다 (Locke, 2008). DeLaune and Sij (2012)도 유사한 결과를 얻을 수 있었는데, NT의 경우 침투량이 CT보다 3배 이상 증가하였으며 강우유출수는 38%가 저감된다고 하였다. 한편 NT의 유출율은 CT-RSB의 유출량 대비 약 45~70%가 저감되는 것으로 조사되었다.

3. 비점오염 부하 및 삭감량

Table 3에는 실험처리별로 산정된 오염부하량을 제시하였으며, Fig. 5에는 CT의 오염부하량 대비 CT-RSB와 NT 그리고 CT-RSB의 오염부하량 대비 NT의 오염부하량 삭감량 (NT-A)을 각 오염항목별로 도식화하였다. 오염항목 중 COD_{Cr} 은 중크롬산을 이용하여 측정된 화학적 산소요구량이며, COD_{Mn} 은 과망간산칼륨을 이용하여 측정된 화학적 산소 요구량이다. 경사도 3%와 8% 모두 CT의 오염부하량이 가장 높았으며, NT에서 오염부하량이 가장 낮은 것으로 조사되었다. 경사도 3%의 경우 후 CT-RSB에서 BOD는 25.4%가 CT 대비 저감되었으며, COD_{Cr} 은 20.5%, DOC는 40.8%, 영양염류인 TN과 TP는 각각 23.0%와 8.7%가 삭감된 것으로 나타났다. 경사도 3%의 NT의 오염부하량은 대조구인 경운시험포 대비 BOD는 57.5%, DOC는 63.8%, TN과 TP는 각각 65.4%와 73.1%가 저감되었다. 경사도 8%에서 NT의 오염부하량은 CT 대비 BOD 71.2%, COD_{Cr} 75.0%, 영양염류인 TN과 TP는 각각 70.2%와 70.0%가 삭

Table 3 NPS pollution loads of different tillage treatments (Unit : kg/ha)

Treatment	SS	COD _{Cr}	COD _{Mn}	BOD	TN	TP	DOC	
3 %	CT	70.9	13.1	4.4	1.5	7.0	0.24	1.57
	CT-RSB	90.3	10.4	4.3	1.1	5.4	0.22	0.93
	NT	15.4	5.3	1.5	0.6	2.4	0.06	0.57
8 %	CT	203.3	15.1	7.9	1.3	7.1	0.57	2.12
	CT-RSB	221.7	14.0	7.1	1.1	6.0	0.51	2.01
	NT	32.6	3.8	1.5	0.4	2.1	0.17	0.64

Table 4 Comparison of sediment discharge and reduction rate of different tillage treatments at 8 % plots

Treatment	Sediment discharge (kg/ha)	Reduction rate (%)
CT	2,667	-
CT-RSB	2,000	25
NT	1,200	55

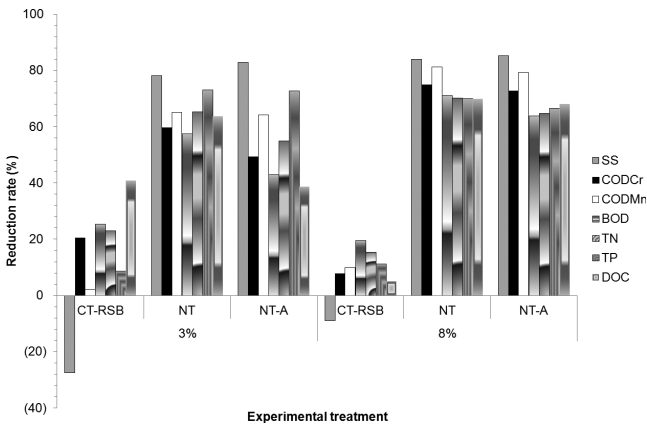


Fig. 5 Reduction rates of NPS pollutant loads compared to CT: NT-A, reduction rate of NT compared to CT-RSB

감된 것으로 나타났다. 또한 CT-RSB에서도 오염부하량이 저감되었는데, BOD는 19.6 %, COD_{Cr}은 7.8 %, DOC는 5.1 % 그리고 TN과 TP는 각각 15.5 %와 11.2 %가 삭감된 것으로 조사되었다. 또한 NT를 할 경우 오염부하량은 CT-RSB 보다도 낮게 나타났는데, 경사도 3 %에서는 약 40~70 %가 저감된 것으로 조사되었으며, 경사도 8 %에서는 약 60~80 %의 오염부하가 삭감되었는데, 이는 본 연구의 경우 유출량의 감소에 그 원인이 있는 것으로 판단된다. 그러나 유출량은 시험포의 크기, 기후, 토양 그리고 작물의 종류에 영향을 받기 때문에 (Armand et al., 2009) 유출량이 달라질 경우 비점오염부하도 달라질 수 있다. 따라서 경운방법에 따른 비점오염부하의 삭감량을 정량화하기 위해서는 보다 다양한 조건하에서 추가 연구가 필요할 것으로 판단된다.

4. 침사구 퇴적유사량

인공강우 실험 후 침사구에 퇴적된 유사의 양을 측정하여 평균 값으로 Table 4에 제시하였다. 경사도 3 %의 경우 침사구에 퇴적된 유사는 소량 (0.2 kg 이하)이었고, 실험처리에 따라 발생량의 차이가 없었다. 따라서 경사도 3 %의 경우 유사 발생되지

않은 것으로 간주하였다. 따라서 분석은 경사도 8 %의 시험포를 대상으로만 실시하였다. CT 시험포에서는 평균 2,667 kg/ha이 발생하였으며, CT-RSB에서의 유사량은 평균 2,000 kg/ha으로서 CT 시험포 대비 25 %의 유사 저감효과가 있었다. NT의 유사발생량은 1,200 kg/ha으로서 CT의 45 % 수준 (55 % 저감)이었으며, CT-RSB에서 발생한 유사의 60 % 수준 (40 % 저감)으로 조사되었다. Puustine et al. (2005)에 따르면 NT를 할 경우 CT 대비 29 %의 유사가 저감되었으며, Ulén et al. (2010)은 79 %까지 유사를 저감할 수 있다고 하였다. 이는 NT를 할 경우 오염부하뿐만 아니라 (Fig. 5) 유사도 저감할 수 있음을 의미하며, 토양유실로 인해 유발되는 탁수의 저감도 가능할 것으로 판단된다.

한편 본 연구와 유사한 사질토양에서 토양유실은 강우 유출수뿐만 아니라 바람에 의해서도 일어날 수 있는데, NT 또는 보전 경운을 할 경우 바람과 물에 의한 토양유실의 제거가 가능하며, 암모늄과 유기물이 부착된 토양유실의 저감을 통하여 질소의 유실도 저감이 가능할 것으로 판단된다 (Soane et al, 2012). 또한 토양유실과 밀접한 연관이 있는 인의 유실 (Yoon et al, 2003)도 저감이 가능할 것으로 사료된다 (Fig. 5).

IV. 요약 및 결론

본 연구는 인공강우 시험을 통하여 경운방법 (CT, CT-RSB, NT)에 따른 초기유출시간, 유출수량, 비점오염부하 그리고 유사량을 비교·평가하기 위하여 수행하였다. 또한 이 결과에 기초하여 경운방법에 따른 비구조적 삭감효과를 정량화하고자 하였다. 시험포 8개 (3 % 내외 4개, 8 % 내외 4개)를 조성하여 경운 (CT), 침투깊단 (CT-RSB), 무경운 (NT)으로 실험처리를 하였으며, 한 시간 동안 인공강우 실험을 실시하였다. 실험결과 경사도에 따라 차이는 있으나, NT로 영농할 경우 초기유출시간은 CT 대비 약 165~190 %까지 지연되었으며, NT의 비점오염부하는 CT 대비 57~75 %까지 저감이 가능하였다. 또한 경사도 3 %에서 유사 발생하지 않았으며, 경사도 8 %에서 NT의 유사발생량은 CT 대비 55 %까지 삭감이 되었다. CT-RSB 시험구에서도 CT 대비 유출량과 비점오염부하의 삭감효과가 관측되었다. NT와 CT-RSB에서의 비구조적 비점오염부하의 삭감효과는 유

출량의 저감에 기인하는 것으로 판단된다. 그러나 유출량은 시험 포의 크기, 기후, 토양 그리고 작물의 종류에 영향을 받기 때문에 실험처리에 따른 유출량이 달라질 경우 비점오염부하도 달라질 수 있다. 또한 본 연구는 토양 침투량이 큰 사질토 밭에서 수행된 결과로 토양 침투량이 작거나 경사가 다른 밭에서는 비점오염부하의 삭감효과가 낮아질 수 있다. 따라서 경운방법에 따른 비점오염부하의 삭감량을 정량화하기 위해서는 보다 다양한 조건하에서 추가 연구가 필요할 것으로 판단된다.

본 연구는 환경기초조사사업 (과제명: 농촌지역 비점오염원 삭감효과 정량화 연구)과 Eco-star (과제번호 II -7-6) 과제의 연구비 지원을 받아 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

REFERENCES

1. Armand, C. Bockstaller, A. V. Auzet, and P. Van Dijk, 2009. Runoff generation related to intra-field soil surface characteristics variability application to conservation tillage context. *Soil & Tillage Research* 102: 27-37.
2. Clausen, J. C., W. E. Jokela, F. I. Potter III, and J. W. Williams, 1996. Paired watershed comparison of tillage effects on runoff, sediment, and pesticide losses. *Journal of Environment Quality* 25: 1000-1007.
3. Conservation Technology Information Center, 2005. Crop Residue Management Survey. CTIC, West Lafayette, IN.
4. 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.
5. Franklin, D. H., C. C. Truman, T. L. Potter, D. D. Bosch, T. C. Strickland, M. B. Jenkins, and R. C. Nuri, 2012. Nutrient losses in runoff from conventional and no-till pearl millet on pre-wetted Ultisols fertilized with broiler litter. *Agricultural Water Management* 113: 38-44.
6. Garcia, J. P., C. S. Wortmann, M. Mamo, R. Driber, and D. Tarkalson, 2007. One-time tillage of no-till: effects on nutrients, mycorrhizae, and phosphorus uptake. *Agronomy Journal* 99: 1093-1103.
7. Jordan, V. W., A. R. Leake, and S. E. Ogilvy, 2000. Agronomic and environmental implications of soil management practices in integrated farming systems. *Aspects of Applied Biology* 62: 61-66.
8. Lal, R., D. C. Reicosky, and J. D. Hanson, 2007. Evolution of the plot over 10,000 years and the rationale for no-till farming. *Soil & Tillage Research* 93: 1-12.
9. 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.
10. Owens, L. B., R. W. Malone, D. L. Hothem, G. C. Starr, and R. Lal, 2002. Sediment carbon concentration and transport from small watersheds under various conservation tillage. *Soil & Tillage Research* 67: 65-73.
11. Pollock, C., and R. Reeder, 2010. No-till plenty of positives. *ASABE Resource* (1/2): 4-7.
12. Puustinen, M., J. Koskiahi, and K. peltonen, 2005. Influence of cultivation methods on suspended solids and phosphorus concentrations in surface runoff on clayey sloped fields in boreal climate. *Agri., Ecosys. Environ.* 105: 565-579.
13. Quincke, J. A., C. S. Wortmann, M. Mamo, T. Franti, R. A. Drujber, and J. P. Garcia, 2007. One-time tillage of no-till systems: soil physical properties, phosphorus runoff, and crop yield. *Agronomy Journal* 99: 1104-1110.
14. Reeves, D. W., 1997. The role of organic matter in maintaining soil quality in continuous cropping systems. *Soil & Tillage Research* 43: 131-167.
15. Smith, D. R., E. A. Warnemuende, C. Huang, and G. C. Heatman, 2007. How does the first year tilling a long-term no-tillage field impact soluble nutrient losses in runoff? *Soil & Tillage Research* 95: 11-18.
16. Soane, B. D., B. C. Ball, J. Arvidsson, G. Basch, F. Moreno, and J. Roger-Estrade, 2012. No-till in northern, western and south-western Europe: A review of problems and opportunities for crop production and the environment. *Soil & Tillage Research* 118: 66-87.
17. 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.
18. Triplett Jr., G. B., and W. A. Dick, 2008. No-tillage crop production: a revolution in agriculture! *Journal of Agronomy* 100: S153-S165.
 19. Truman, C. C., J. N. Shaw, D. C. Flanagan, D. W. Reeves, J. C. Ascough II, 2009. Conservation tillage to effectively reduce interrill erodibility of highly-weathered Ultisols. *Journal of Soil and Water Conservation* 64 (4): 265-275.
 20. Ulén, B., J. Aronsson, M. Bechmann, T. Krogstad, L. Øygarden, and M. Stenberg, 2010. Soil tillage methods to control phosphorus loss and potential side-effects: a Scandinavian review. *Soil Use Management* 26: 94-107.
 21. Yoon, J. H., D. K. Kang, S. S. Cho, and H. S. Kim, 2003. Soil Erosion of tillage and the Plan for Reducing of Turbid-water occurrence. *Proceeding Journal of Korean Society on Water quality*: E-15, E 55-58 (in Korean).