



## 무경운 밭에서의 비점오염물질 저감효과 분석 Analysis of NPS Pollution reduction from No-till Field

이수인\* · 원철희\* · 신민환\* · 신재영\* · 전제홍\* · 최종대\*<sup>†</sup>

Lee, Su In · Won, Chul Hee · Shin, Min Hwan · Shin, Jae Young · Jeon, Je Hong · Choi, Joong Dae

### Abstract

Various Best Management Practices (BMPs) have been suggested to reduce soil erosion and non point source (NPS) pollutant loads from agricultural fields. However, very little research regarding water quality improvement with No-till (NT) has been performed in Korea. Thus, effects of NT were investigated in this study. The objective of the study was to investigate the effect of NT on the surface runoff and sediment discharge in a field. Eight experimental plots of 5×30 m in size and 3 % or 8 % in slope prepared on gravelly sandy loam soil were treated with Conventional-till (CT) and NT. Runoff and NPS pollution discharge were monitored and compared the treatments. The amounts of rainfall from 13 monitored events ranged from 28.7 mm to 503.5 mm. The runoff amount was reduced by 17.6~59.2 % in 3 % NT and 29.6~53.2 % in 8 % NT. The average NPS pollution loads of the 3 % NT plots and 8 % NT plot were reduced about 45.1~89.2 % and 47.7~98.0 % compared to those of the CT plots, respectively. This research revealed that NT can reduce the NPS pollution loads substantially as well as increase the crop yield. Runoff and NPS pollution loads reduction by NT method could be contribute to improve the water quality of streams in agricultural regions.

**Keywords:** No-till; NPS Pollution; Pollution Load

### 1. 서론

우리나라는 전 국토의 76 %가 경사도 2 % 이상의 경사지로 구성되어 있어 비교적 강하지 않은 경우에도 토양침식(유실)이 발생하며, 유실된 미세 토양입자는 인근 하천의 수생태계를 파괴하는 주된 요인으로 작용하고 있다 (Seo et al., 2011). 특히, 농업지역에서는 산림이나 초지에 비하여 토양 유실량이 많은 것으로 알려져 있으며 (Won et al, 2012, Won et al., 2013a), 소양호 상류에 위치한 고랭지 농업지역에서는 강우시 뿐만 아니라 봄철 용설시에도 토양유실이 발생하여 다량의 탁수가 하천으로 유입되고 있는데, 이는 강우 시 발생하는 탁수 부하량에 근접하는 양이다 (Choi et al., 2012). 이에 정부는 도암댐 유역을 비점오염원관리지역으로 지정하여 배수로, 우회수로, 초생대, 소형침전지, 침사지, 개비온 옹벽 설치와 같은 구조물 위주의 흙탕물저감사업과 비점오염저감 사업을 추진하고 있으나, 이러한 구조적 저감방안은 잦은 객토와 경사도가 큰 고랭지 농업지역에서는 효용성이 낮고, 물

리적 저감시설 건축에 한계성을 지니고 있다 (Choi et al., 2010). 이에 최근에는 지표피복, 경운방법 (무경운, 최소경운, 부분경운) 변경, 재배작물전환과 같은 비구조적 방법에 대한 연구가 진행 중에 있다.

이 중 무경운 (No-till, NT)은 경작지의 토양을 교란시키지 않고 작물을 재배하는 방법으로, 토양의 내수성 입단과 공극 윗 증가 등의 물리성이 개선되고 탄소의 저장력 증진과 온실 가스 발생 억제 그리고 토양 침식 예방과 생산비가 절감되는 저탄소 녹색기술로 인정받고 있다 (Yang et al., 2011, 2012). 또한 NT는 토양 내 유기탄소의 증대와 입단의 안정화를 극대화하기 때문에 비옥한 토양이 되는데 도움을 준다고 보고되고 있다 (Tivet et al., 2013).

한편 미국은 2009년을 기준으로 전체 경지면적의 약 35.5 %에서 여덟 개의 주요작물이 NT로 재배 되고 있으며 (Horowitz et al., 2010), 우리나라는 2011년 “한국무경운농업연구회”가 결성되어 NT의 확대 보급을 시도하고 있다 (Yang et al., 2012). 그러나 외국에서는 NT 밭작물의 높은 생산성 및 토양 질 개선을 위한 연구가 많이 진행되어 농민 교육을 통해 실용화단계에 있지만, 국내의 NT에 관한 연구는 주로 논 중심으로 수행되어 왔으며 탁수를 포함한 많은 비점오염물질이 배출되는 밭에 관한 연구는 아직 초기단계에 머물고 있다 (Rural Development Administration, 2013). Won et al (2013b)에 따르면 NT를 적용한 밭에서 발생하는 비점오염물질은 재래식 방법(conventional tillage, CT)에 비하여 57 ~ 75 %가 저감

\* Department of Regional Infrastructures Engineering, Kangwon National University

† Corresponding author

Tel.: +82-33-250-6464 Fax: +82-33-251-1518

E-mail: [jdchoi@kangwon.ac.kr](mailto:jdchoi@kangwon.ac.kr)

Received: April 27, 2015

Revised: June 17, 2015

Accepted: June 17, 2015

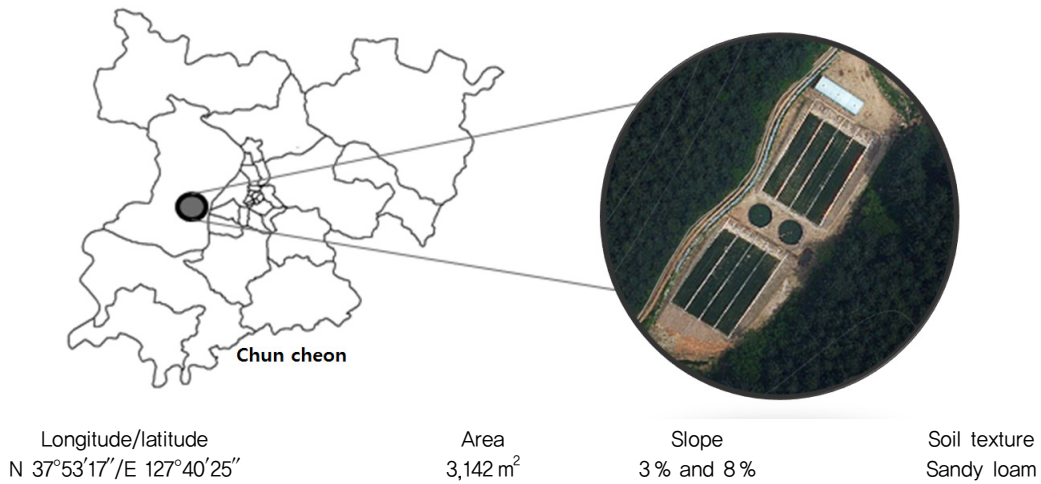


Fig. 1 Descriptions of monitoring site in Chuncheon (Won et al., 2013)

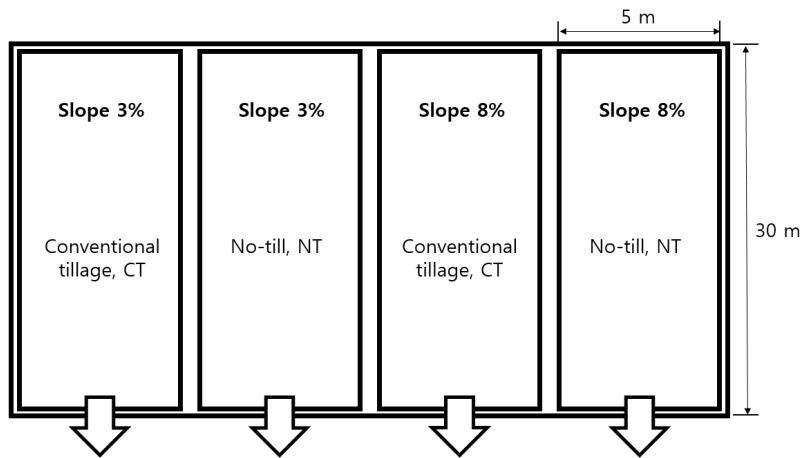


Fig. 2 Sketch of the runoff plot

된다고 하였다. 그러나 짧은 연구기간(1년)과 인공강우조건에서만 수행된 실험결과이기 때문에 NT의 효과를 정량화하는데 한계를 지니고 있다. 이에 본 연구에서는 2011년부터 2014년까지 총 4년간의 비교실험(NT와 CT)을 자연강우 조건에서 수행하여 NT의 비점오염부하 저감효과를 정량화하고자 하였다.

## II. 연구방법

### 1. 시험포 조성

최적관리기법의 하나인 NT의 효과를 측정하기 위하여 경사도 3%와 8%의 시험포를 각각 4개씩 조성하고, NT와 CT를 적용하여 강우시 오염물질의 유출특성 및 유사발생량

을 비교하였다. 시험포는 춘천시 서면(북위 37°53'17", 동경 127°40'25")에 위치하고 있으며(Fig. 1), 폭 5 m, 경사장 30 m로 면적은 약 150 m<sup>2</sup>로 조성하여 실제 경지의 유출량을 모의할 수 있도록 하였다(Fig. 2). 시험포 면적을 제외한 주변에서 발생하는 외부 유출수의 유입을 차단하기 위하여 아연철판을 매설하여 시험포를 구분하였으며, 시험포의 하단에는 강우시 유실되는 토양을 포집할 수 있는 작은 침사구와 수위측정이 가능한 H-플룸을 설치하였다.

### 2. 실험처리 및 분석방법

NT를 적용하기 위하여 매년 전해 가을에 동계피복작물(밀, 보리)을 시험포에 재배하였다. 피복작물은 6월 말 경에 수확하였으며, 7월에서 8월 사이 작물(들깨, 무)을 정식하였다. 실험 처리는 NT와 CT로 구분하여 경사도별로 2 반복 하였다. NT

와CT의 위치는 무작위로 배정하였으며, 경사도 3%와 8%의 실험처리 및 영농 방법은 동일하게 적용하였다 (Fig. 2).

시비는 2011년에는 축산퇴비, 2012년에는 축산액비 그리고 2013년과 2014년에는 화학비료를 시비하였으며, 연도별 CT와 NT 시험포의 시비량은 동일하게 처리하였다. CT는 피복작물 수확 후 경지를 경운하고 이랑과 두둑을 조성한 후 작물(들깨, 무)을 재배하였으며, NT는 겨울피복작물을 수확한 후 그루터기 사이에 무를 파종하거나 들깨를 정식하였다. 실험처리 후 2011년과 2012년에는 들깨를 정식하였으며, 2013년과 2014년에는 무를 파종하여 재배하였다. 들깨는 7월초에 정식하여 10월 초에 수확을 하였으며, 무는 7월부터 9월말까지 재배하였다. NT의 효과를 정량화하기 위한 모니터링은 작물의 재배기간인 7월에서 9월 사이의 자연강우시 실시하였다.

강우시 유출수량은 부자식 자동 수위계 (OTT Thalimedes, Germany)로 측정된 수위를 미리 산정한 플룸의 수위-유량 곡선에 대입하여 산출하였으며, 시료는 경지에서 직접 유출이 발생한 시점부터 1시간 간격으로 채취하였다. 채취한 시료는 즉시 실험실로 이송하여 BOD, COD<sub>Cr</sub>, SS, TN, TP 등의 5개 항목을 수질오염공정시험법 (Ministry of Environment, 2007)에 준하여 분석하였다.

### 3. 비점오염물질 저감효과 분석

NT 농법의 비점오염물질 저감 효과를 분석하기 위해 강우시 유량가중평균농도 (Event mean concentration, 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). EMC는 식 (1)에 따라서 강우사상시 관측된 유량과 이에 해당하는 수질 자료를 이용한 계산하였다. 그리고 유출률과 오염부하를 산정하여 경운시험포 대비 무경운 시험포의 유출률과 오염부하의 저감효과를 분석하였다. 오염부하는 식 (2)와 같이 산정하였다.

$$EMC(mg/L) = \frac{\int_0^n Q(i) \times C(i) di}{\int_0^n Q(i) di} \quad \text{식 (1)}$$

여기서 Q(i)는 I번째 구간별 유량 (m<sup>3</sup>)이고, C(i)는 i번째 분석된 수질항목 농도 (mg/L), n은 각 강우사상마다 분석된 시료의 개수이다.

$$Pollutant\ load(kg/ha) = \sum_{i=1}^n c_i q_i t_i \quad \text{식 (2)}$$

여기서, c<sub>i</sub> 는 i번째의 농도이고, q<sub>i</sub> 는 구간유량, t<sub>i</sub> 는  $\frac{1}{2}(t_{i+1} - t_{i-1})$ 에 해당하는 i번째 샘플로써 표현되는 시간 구간이다.

## III. 결과 및 고찰

### 1. 유출특성 및 유출률

CT와 NT 시험포의 각 강우사상별 유출률을 조사하여 CT 대비 NT의 유출률 저감효과를 분석하였다 (Table 1). 모니터링은 작물의 정식 후부터 실시하였는데, 유출이 발생하지 않거나 그 양이 적을 경우에는 분석에서 제외하였다. 총 4년간의 연구기간동안 13회의 강우사상을 모니터링하였다. 13회의 강우사상시 강우량은 28.7 mm ~ 503.5 mm의 범위로 발생하였다. 경운 방법에 따른 유출률 비교 결과 CT의 유출률은 경사도 3%의 시험포에서 21.7% ~ 93.2%, 경사도 8%의 시험포에서 14.9% ~ 77% 범위로 나타났으며, NT의 유출률은 경사도 3% 시험포에서 9.8% ~ 76.8%, 경사도 8% 시험포에서 9.0% ~ 54.2%의 범위로서 CT 대비 NT 시험포의 유출률은 경사도 3% 시험포에서는 17.6% ~ 59.2%, 경사도 8% 시험포에서는 29.6% ~ 53.2%가 저감되는 것으로 조사되었다.

Fig. 3에는 실험처리별 강우량에 따른 유출률을 나타내었다. 경사도 3%와 8%의 유출률을 비교할 때 경사도 8%의 유출률이 작은 것으로 나타났는데, 이는 3% 시험포보다 8% 시험포의 경우 배수가 잘되어 강우 전 토양의 수분함량이 낮고 침투 능력은 높아져 지표유출수가 3% 시험포보다 적게 나타난 것으로 판단된다. DeLaune and Sij (2012)는 밀밭에서 CT와 NT의 유출특성에 대하여 연구한 결과 NT를 적용한 밭에서 유출률이 38% 저감되었다고 보고하였으며, Tebrugge and During (1999)에 따르면 NT는 CT에 비해 입단의 구조를 안정적으로 형성하여 작물재배 시 토양입단을 파괴하지 않으며, 토양 수분 보유능을 높여 토사유실 및 강우유출수를 감소시키는 데도 큰 역할을 한다고 보고하였다. 국외 많은 연구자들은 CT와 NT를 비교하는 연구를 통해 유출물의 저감에 효과가 큰 것으로 보고하였으며 (Sturgul et al., 1990; Dabney et al., 2000; Matisoff et al., 2002), 본 연구에서도 3%의 시험포와 8% 시험포에서 모두 유출률이 저감되는 동일한 결과를 얻을 수 있었다. 따라서 경사도가 낮은 밭 뿐만 아니라 경사도가

Table 1 Runoff Comparison of runoff characteristics between CT and NT

No.	Date	Rainfall (mm/event)	Rainfall intensity (mm/hr)	Slope Item	3 %		8 %	
					CT	NT	CT	NT
1	2011.07.26-29	503.5	21.9	Runoff (m <sup>3</sup> )	70.4	58.0	58.2	35.2
				Runoff rate (%)	93.2	76.8	77.0	46.6
				Reduction rate (%)		17.6		39.5
2	2011.08.01-03	48.2	2	Runoff (m <sup>3</sup> )	3.9	2.5	2.9	1.6
				Runoff rate (%)	54.1	34.7	39.4	21.7
				Reduction rate (%)		36.0		44.9
3	2011.08.06	28.7	2.5	Runoff (m <sup>3</sup> )	1.0	0.4	0.6	0.4
				Runoff rate (%)	22.5	9.8	14.9	9.0
				Reduction rate (%)		56.7		39.9
4	2012.07.05-06	56.5	5.7	Runoff (m <sup>3</sup> )	3.3	2.2	4.0	2.4
				Runoff rate (%)	38.9	25.4	46.9	28.3
				Reduction rate (%)		34.8		39.6
5	2012.07.15	43.5	2.9	Runoff (m <sup>3</sup> )	1.4	0.7	1.5	0.8
				Runoff rate (%)	21.7	10.4	22.5	11.6
				Reduction rate (%)		51.9		48.5
6	2012.07.18-19	49	4.1	Runoff (m <sup>3</sup> )	3.2	1.8	3.2	1.8
				Runoff rate (%)	43.1	24.2	43.3	27.9
				Reduction rate (%)		43.8		35.6
7	2012.08.15	93	5.8	Runoff (m <sup>3</sup> )	9.6	5.4	9.1	4.3
				Runoff rate (%)	68.5	38.7	65.4	30.6
				Reduction rate (%)		43.5		53.2
8	2012.08.20-21	155.5	5.8	Runoff (m <sup>3</sup> )	17.9	12.3	18.0	12.6
				Runoff rate (%)	76.8	52.7	76.9	54.2
				Reduction rate (%)		31.4		29.6
9	2012.08.30	45.5	2.7	Runoff (m <sup>3</sup> )	3.5	1.4	3.9	2.3
				Runoff rate (%)	50.8	20.7	56.8	33.7
				Reduction rate (%)		59.2		40.7
10	2012.09.17	56	3.3	Runoff (m <sup>3</sup> )	5.0	3.2	5.7	2.7
				Runoff rate (%)	59.9	37.6	68.2	32.3
				Reduction rate (%)		37.3		52.6
11	2013.08.02	62	-	Runoff (m <sup>3</sup> )	8.9	6.8	6.9	4.0
				Runoff rate (%)	62.9	48.1	48.4	28.1
				Reduction rate (%)		23.5		42.0
12	2013.09.13	54.5	-	Runoff (m <sup>3</sup> )	8.1	6.1	4.1	2.8
				Runoff rate (%)	75.2	56.3	37.7	26.3
				Reduction rate (%)		22.1		30.2
13	2014.09.03	73.6	-	Runoff (m <sup>3</sup> )	4.0	2.6	4.6	3.1
				Runoff rate (%)	36.2	23.6	41.2	28.1
				Reduction rate (%)		35.0		31.9
Total	1,269.5	-	Runoff (m <sup>3</sup> )	140.1	103.3	122.5	74.0	
			Runoff rate (%)	73.6	54.2	64.3	38.8	
			Reduction rate (%)		26.3		39.6	

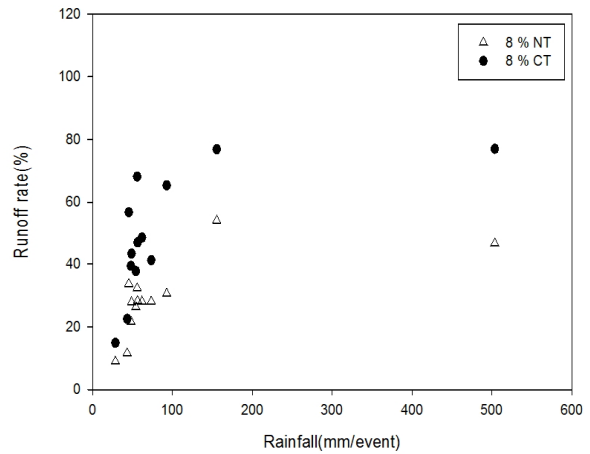
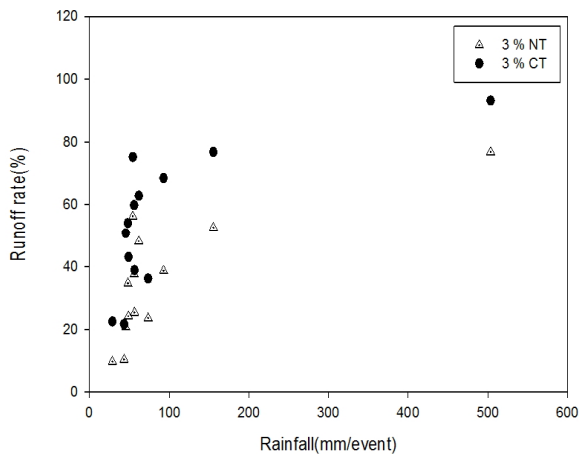


Fig. 3 Runoff rate Comparison of runoff characteristics between CT and NT

비교적 큰 고랭지 농업지역에서 NT를 이용할 경우 강우유출수를 효과적으로 제어하여 토양유실 방지에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

한편 총 4년간의 누적강우량에 기초하였을 때, 경사도 3%의 CT와 NT의 누적 유출량은 각각 140.1 m<sup>3</sup>와 103.3 m<sup>3</sup>로서 NT시 유출률은 26.3%가 저감되는 것으로 조사되었다. 경사도 8%에서는 CT 대비 NT의 유출률이 39.6%가 저감된 것으로 나타났다.

## 2. EMC

CT와 NT 시험포에서 발생하는 강우유출수내 오염물질의 EMC를 Fig. 4에 비교하여 제시하였다. 평균 EMC 산정결과 경사도 3% 시험포의 경우 CT의 BOD는 20.1 m/L, COD<sub>Cr</sub>은 25.2 mg/L, SS는 429.6 mg/L로 조사되었으며, TN과 TP는 각각 15.1 mg/L, 4.0 mg/L로 나타났다. NT 시험포의 경우 BOD는 12.0 m/L, COD<sub>Cr</sub>은 25.1 mg/L, SS는 75.0 mg/L로 조사되었으며, TN과 TP는 각각 14.8 mg/L, 3.8 mg/L로 나타났다. 경사도 8% 시험포의 경우 CT의 BOD는 33.1 m/L, COD<sub>Cr</sub>은 26.4 mg/L, SS는 1,570.9 mg/L로 조사되었으며, TN과 TP는 각각 15.3 mg/L, 4.4 mg/L로 나타났다. 경사도 8%의 NT에서는 BOD는 12.6 m/L, COD<sub>Cr</sub>은 23.9 mg/L, SS는 333.8 mg/L로 조사되었으며, TN과 TP는 각각 16.2 mg/L, 4.5 mg/L로 나타났다. 3% 경사도 시험포의 EMC 비교 결과 NT에서 CT에서보다 BOD 40.7%, COD<sub>Cr</sub> 0.6%, SS 82.6%, TN과 TP의 경우 각각 1.7%, 5.6%가 낮게 나타났다. 그러나 경사도 8%에서는 NT의 BOD, COD<sub>Cr</sub>, SS가 CT보다 각각 62.0%, 9.6%, 78.8% 낮게 나타났지만, 영양염류인 TN과 TP는 평균 EMC 비교 결과 CT에서 다소 낮은 EMC를 보였

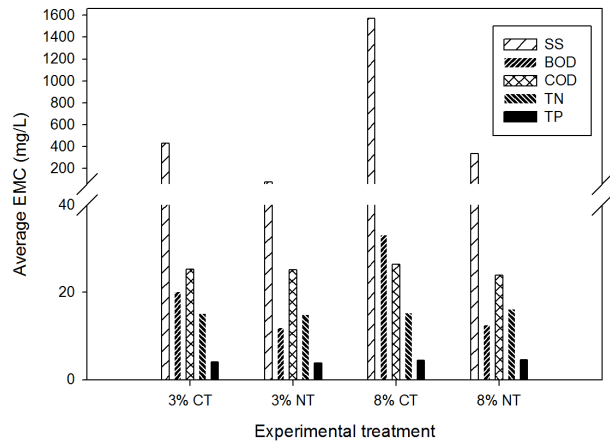


Fig. 4 EMC according to different tillage treatment

다. 선행 연구 자료에 따르면 NT 농법을 적용시 CT에서보다 TN과 TP의 유출손실이 비교적 적은 것으로 보고되었으나 (Garcia et al., 2007; Franklin et al., 2012), 본 연구에서는 CT와 NT에서의 TN과 TP 배출농도가 일정한 경향을 보이지 않고, 평균 EMC 산정결과 NT에서 더 높은 값이 산정되어 선행 연구들과는 다른 결과를 보였다. 이는 비료살포와 같은 영농 활동에 의해 차이가 발생한 것으로 판단된다. 그러나 SS의 경우 인위적인 토양의 교란이 없는 NT 농법이 토양의 지력을 강화시키고, 표토가 빗방울에 견디는 힘을 강화시켜 저감효과가 뚜렷이 나타난 것으로 판단된다 (Kennedy and Schillinger, 2006, Park et al., 2014).

## 3. 비점오염 부하 및 저감효과

Table 2에는 모니터링을 통하여 분석된 각 실험처리별 평

균 오염부하량 (kg/ha)과 이에 따른 경운 (관행)농법 대비 저감율 (%)을 제시하였다. 경사도 3 % CT의 경우 비점오염부하가 SS 77.0 kg/ha, BOD 3.9 kg/ha, COD<sub>Cr</sub> 16.5 kg/ha, TN 5.2 kg/ha 그리고 TP 1.4 kg/ha로 조사되었으며, NT의 경우 CT 대비 SS 89.2 %, BOD 54.8 %, COD<sub>Cr</sub> 53.8 % TN 54.1 % 그리고 TP 45.1 %가 저감된 것으로 조사되었다. 경사도 8 % CT의 경우 SS 773.0 kg/ha, BOD 3.8 kg/ha, COD<sub>Cr</sub> 33.7 kg/ha, TN 2.4 kg/ha 그리고 TP 0.7 kg/ha로 조사되었으며, NT 시험포는 CT 시험포 대비 SS 98.0 %, BOD 48.5 %, COD<sub>Cr</sub> 81.2 %, TN 47.7 % 그리고 TP 48.8 %가 저감된 것으로 조사되었다. Shin et al. (2012)은 3 % 경사 밭에서 벚꽃 거적을 이용한 지표피복 연구를 수행한 결과 SS 79.8, TN 68.3 %, TP 53.3 %의 저감율을 보인다고 보고한 바 있다. 최적관리기법 중 발생원에서의 관리기법인 지표피복과 비교시 NT 시험포의 SS는 지표피복보다 높은 저감율을 보였으나, TN과 TP는 상대적으로 낮은 저감율을 보였다. 지표피복의 경우 인건비와 재료비 등의 경제적 손실이 발생함을 고려하였을 때, NT 농법은 경제적 손실을 최소화하며, 비점오염부하를 저감할 수 있는 최적관리기법인 것으로 판단된다.

한편, 본 연구에서 EMC는 경사도 8 % 시험포에서 TN과

TP의 농도 저감효과가 나타나지 않았으나, 유출량 감소에 따라 오염부하 저감효과가 나타난 것으로 보인다. 그러나 유출량은 시험포의 크기와 기후, 작물의 종류 등에 따라 영향이 다르기 때문에 (Armand et al., 2009) 다양한 조건 (경사도, 토성 등)에서 장기적인 연구를 통해 비점오염부하를 정량화하고 저감량을 산정해야 할 것으로 판단된다.

#### 4. 유사량

본 연구에서는 각 시험포에서 강우유출수와 함께 유실되는 토양의 양을 비교하여 토양유실 저감효과를 분석하고자 하였다. 강우에 의한 유출이 끝난 후 시험포 하단에 위치한 침사구에 퇴적된 유사의 양을 측정하여 비교 하였다. Fig. 5는 무 파종 이후 발생한 첫 강우에 의해 발생한 유사의 사진을 비교한 것이다. 유사량 측정을 통해 CT대비 NT의 유사 저감량을 정확히 산정하려 하였으나, CT의 경우 유사량을 산정할 수 없을 정도로 다량의 유사가 발생하여 정확한 분석이 어려웠다. 반면, NT 시험포의 경우 유사량이 소량 발생한 것을 확인할 수 있었다. 경사도 3 %와 8 % 시험포 모두 유사한 경향으로 나타났다. CT대비 NT의 유사 저감효과를 정확히 산정할 수 없었지만 NT를 적용함으로써 밭에서의 토양유실을 효과적으로 제어할 수 있음을 알 수 있었다. 이는 토양표면의 물리적 특성이 변하지 않아 토양의 유실이 경운 (관행) 시험포보다 적게 발생한 것에 기인하는 것으로 판단된다. Puusinet et al. (2005)와 Ulén et al. (2010)은 CT 대비 NT의 유사 저감 효과가 있음을 연구하여 보고한 바 있으며, Won et al., (2013)은 인공강우 실험을 통해 CT와 NT의 유사량을 비교한 결과 55 %를 저감할 수 있는 것으로 보고하였다. 본 연구에서도 그 차이를 확연히 확인할 수 있었다. NT의 적용이 토양유실 저감과 함께 탁수의 저감에도 효과가 있을 것으로 판단된다.

Table 2 NPS pollution loads (kg/ha) and reduction rate (%) of the NT

Classification		SS	BOD	COD <sub>Cr</sub>	TN	TP
3 %	CT	77.0	3.9	16.5	5.2	1.4
	NT	8.3	1.7	7.6	2.4	0.7
	Reduction rate (%)	89.2	54.8	53.8	54.1	45.1
8 %	CT	773.0	3.8	33.7	4.6	1.4
	NT	15.4	2.0	6.3	2.4	0.7
	Reduction rate (%)	98.0	48.5	81.2	47.7	48.8



Fig. 5 Comparison CT and NT of sediment

**Table 3** Compared crop yields due to tillage methods

Slope	Crop	Year	Experimental treatment	Product quantity (kg/ha)
3 %	Green perilla	2011	CT	450 kg/ha
			NT	128 kg/ha
			Growth rate (%)	-
		2012	CT	637 kg/ha
			NT	753 kg/ha
			Growth rate (%)	17.8 %
	Radish	2013	CT	15,115 kg/ha
			NT	2,330 kg/ha
			Growth rate (%)	-
2014		CT	56,688 kg/ha	
		NT	69,788 kg/ha	
		Growth rate (%)	23.1 %	
8 %	Green perilla	2011	CT	570 kg/ha
			NT	807 kg/ha
			Growth rate (%)	41.5
		2012	CT	560 kg/ha
			NT	787 kg/ha
			Growth rate (%)	40.4 %
	Radish	2013	CT	34,619 kg/ha
			NT	32,869 kg/ha
			Growth rate (%)	-
		2014	CT	50,359 kg/ha
			NT	67,499 kg/ha
			Growth rate (%)	34.0 %

### 5. 생산성

Table 3은 2011년부터 2014년까지 재배작물의 생산성을 조사한 결과이다. 2011년과 2012년에는 들깨를 재배하였으며, 2013년과 2014년에는 무를 파종하고 영농방법(CT, NT)에 따른 생산량을 조사하였다. 들깨를 재배한 2011년에는 경사도 3%에서 NT 시험포보다 CT 시험포에서 들깨가 많이 수확되었으나, 경사도 8%에 NT의 수확량은 CT 시험포의 들깨 생산량 대비 41.5%가 증산되었다. 그러나 2012년에는 경사도 3%와 8% 모두 NT 시험포에서 들깨의 수확량이 많았다. 경사도 3%의 경우 NT 시험포에서는 CT 시험포보다 들깨가 17.7% 증산되었으며, 경사도 8%에서는 CT 시험포 대비 40.4%가 증산된 것으로 나타났다. 또한 들깨는 경사도 3%보다 8%에서 생산량이 많은 것으로 조사되었다. 들깨는 내건성이 강하여 가뭄이 심해도 생육에 큰 장애를 받지 않는 작물로 수분요구도가 적고, 지나치게 습한 경우에는 도장하기

가 쉽고 품질이 떨어지기 때문에 배수에 유의가 필요하다 (RDA, 2015). 경사도 3%에 비하여 경사도 8%에서 강우 시 물 빠짐이 원활이 이루어져 들깨의 생육이 더 좋게 나타난 것으로 판단된다.

무를 재배한 2013년의 무 생산량은 경사도 3%, CT 시험포의 무 수확량은 15,115 kg/ha으로 조사되었으며, NT 시험포의 무 수확량은 2,330 kg/ha로서, NT 시험포에서 수확량이 적었다. 또한 경사도 8%, CT 시험포의 무 수확량은 34,619 kg/ha로 조사되었으며, NT 시험포의 무 수확량은 32,869 kg/ha로서 CT 시험포에서 수확량이 높게 나타났으나, 큰 차이를 보이진 않았다. 한편 경사도 3%와 8%의 무 수확량 비교 시 경사도 8%에서 수확량이 월등히 많았다. 무의 경우 강우 이후 침수가 장기간 계속될 경우 뿌리가 호흡을 하지 못하고 양분을 흡수할 수 없어 생육이 억제되거나 죽는 경우가 생기기 때문에 배수관리가 철저히 이루어져야한다 (RDA, 2015). 경사도가 높은 8% 시험포에서 물빠짐이 잘 이루어져 생산량에서도 차이를 보인 것으로 판단된다. 2014년의 경우 경사도 3%의 CT와 NT 시험포의 생산량은 각각 56,688 kg/ha와 69,788 kg/ha로서 NT 시험포에서 약 23%의 증산효과가 나타났다. 또한 경사도 8%는 각각 50,359 kg/ha와 67,499 kg/ha로서 NT 시험포에서 생산량이 약 34% 증대된 것으로 조사되었다. Gomez-Paccard et al. (2015)는 콩 재배 시 NT 적용 밭이 CT보다 생산량이 3배정도 높게 산정되었음을 보고하였으며, 본 연구에서도 NT 농법이 작물의 생산성이 증가하는 것으로 나타났다. 그러나 연구결과 작물의 종류에 따라서 생산성에 차이를 보였으며, 3% 경사보다는 8% 경사에서 NT 재배시 생산성이 더 좋아지는 것으로 나타났다. NT 농법으로 영농을 할 경우 농경지에서 배출되는 비점오염물질의 저감효과 외에도 생산성의 증대 효과가 있을 것으로 보여진다. 그러나 작물에 따라 성장 조건이 다르기 때문에 NT의 국내 확대 보급을 위해서는 다양한 작물 종류에 대한 연구가 우선적으로 진행되어야 할 것으로 사료된다. 또한, NT 농법은 동일한 농경지에서 지속적으로 최소 5~6년간 수행하여야 그 효과를 명확히 나타낼 수 있기 때문에 보다 장기적인 연구를 통한 분석이 필요할 것으로 판단된다.

### IV. 요약 및 결론

본 연구는 경운방법(CT, NT)에 따른 유출량, 비점오염부하, 유사량 그리고 작물의 생산량을 비교·평가하기 위하여 경사도 3%와 8%의 시험포를 조성하여 2011년부터 2014년까지 4년 동안 모니터링을 실시하였다. 분석결과 NT 농법 적용 시 강우유출수와 비점오염부하 저감에 효과가 있는 것으로

조사되었다. 경사도 3 % NT 시험포의 경우 17.6 % ~ 59.2 % 저감효과가 있는 것으로 나타났으며, 경사도 8 % 시험포에서는 29.6 % ~ 53.2 %의 저감 효과가 있는 것으로 나타났다. 또한 EMC는 경사도 3 %의 경우 NT 시험포에서 BOD, COD<sub>Cr</sub>, SS, TN, TP 농도가 모두 낮게 산정되었으며, 경사도 8 %의 시험포에서 TN과 TP를 제외한 수질항목의 비점오염부하가 낮게 산정되었다. 그러나 비점오염부하 비교 결과 유출량 감소에 따라 8 % NT 시험포에서 SS 98.0 %, BOD 48.5 %, COD<sub>Cr</sub> 81.2 %, TN 47.7 % 그리고 TP 48.8 %의 높은 저감효과를 보였으며, 경사도 3 % 시험포에서도 이와 유사한 경향을 보였다.

한편, 작물 생산량 분석결과 NT 농법으로 재배시 작물의 종류와 경사에 따라 차이를 보였으나 작물 생산이 17.8 % ~ 41.5 % 증가되는 것으로 나타났다. 따라서 NT 농법은 강우유출수를 효과적으로 제어함에 따라 하천으로 유입되는 비점오염부하를 저감시키고, 작물의 생산성을 증대시킬 수 있는 효과적인 최적관리 방법으로 판단된다. 전 지구적인 기후변화로 인한 극한사상(홍수)의 발생이 잦을 것으로 예상됨에 따라 무경운 농법은 이에 대한 대처방안의 하나로도 이용이 가능할 것으로 기대된다. 그러나 작물은 각각 생장 조건이 다르기 때문에 NT의 국내 확대 보급을 위해서는 다양한 작물 종류에 대한 연구가 우선적으로 진행되어야 하며, 다양한 조건에서의 반복적인 연구를 통해 정량화가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

## 사 사

본 연구는 2014년도 강원대학교 학술연구 조성비의 연구비 지원을 받아 수행되었습니다. (과제번호 120140224).

## REFERENCES

- 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.
- Choi, Y. B., B. S. Choi, S. W. Kim., S. S. Lee, and Y. S. Ok, 2010. Effects of polyacrylamide and Biopolymer on Soil Erosion and Crop Productivity in sloping Uplands: A Field Experiment. *Journal of Korean Society of Environmental Engineers* 32(11): 1024-1029 (in Korea)
- 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 Environment* 28(4): 523-530 (in Korea)
- Dabney, S. M., G. V. Wilson, K. C. McGregor, and G. R. Foster, 2004. History, residue, and tillage effects on erosion of loessial soil. *American Society of Agricultural Engineers* 47(3): 767-775.
- Dabney, S. M., R. L. Raper, L. D. Meyer, and C. E. Murphree, 2000. Management and subsurface effects on runoff and sediment yield from small watersheds. *Int. J. Sediment Res.* 15: 217-232.
- DeLaune, P. B., and J. W. Sij, 2012. Impact of tillage on runoff in long term no-till wheat systems. *Journal of Soil & Tillage Research*, 124(2012): 32-35
- Franklin, D. H., C. C. Truman, T. L. Potter, D. D. Bosch, T. C. Strickland, M. B. Jenkins, and R. C. Nuti, 2012. Nutrient losses in runoff from conventional and no-till pearl millet on pre-wetted Ultisols fertilized with broiler litter. *Journal of Agricultural Water Management* 113(2012): 38-44
- 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.
- Gómez-Paccard, C., C. Hontoria, I. Mariscal-Sancho, J. Pérez, L. Paloma, P. González, and R. Espejo, 2015. Soil-water relationships in the upper soil layer in a Mediterranean Paleixerult as affected by no-tillage under excess water conditions—Influence on crop yield. *Soil and Tillage Research* 146: 303-312.
- J. Horowitz, R. Ebel, and K. Ueda, 2010. “No-till” Farming is a Growing Practice/ EIB-70 Economic Research Service/USDA
- Kennedy, A. C., and W. F. Schillinger, 2006. Soil quality and water intake in traditional-till vs. no-till paired farms in Washington's Palouse region. *Soil Science Society of America Journal* 70: 940-949.
- Matisoff, G., E. C. Bonniwell, and P. J. Whiting, 2002. Soil erosion and sediment sources in an Ohio watershed using beryllium-7, cesium-137, and lead-210. *J. Environ. Qual* 31: 54-61
- Ministry of Environment, 2007. Official test methods for water pollution (in Korean)
- 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.
- Park, J. N., S. S. Lee, H. J. Kim, G. Y. Yoo, and Y. S. Ok, 2014. Effect of Tillage Methods on Aggregate Stability and Organic carbon in Soils. *Journal of Agricultural, Life and Environmental Science* 26(3): 48-51 (in Korea)



16. Puustinen, M., J. Koskiah, 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.
17. Rural Development Administration (RDA), <http://www.nongsaro.go.kr/>. Accessed 2015
18. Rural Development Administration, 2013. Soil Chemical Properties in an Organic Corn Field as Affected by Green Manure and Tillage (in Korea)
19. Seo, S. D., J. Y. Lee, and S. R. Ha, 2011. Effect of Hydroelectric Power Plant Discharge on the Turbidity Distribution in Dae-Cheong Dam Reservoir. *Journal of Environmental Impact Assessment* 20(2), pp. 225-232. (in Korea)
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 Environment* 28(3): 436-443 (in Korea)
21. Sturgul, S. J., T. C. Daniel, and D. H. Mueller, 1990. Tillage and canopy cover effects on interrill erosion from first-year alfalfa. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54: 1733-1739.
22. Tebrugge, F., and R. A. During, 1999. Reducing tillage intensity-a review of results from a long-term study in Germany. *Soil and Tillage Research* 53(1): 15-28.
23. Tivet, F., J. C. de Moraes Sá, Lal, R., P. R. Borszowski, C. Briedis, J. B. dos Santos, and L. Séguy, 2013. Soil organic carbon fraction losses upon continuous plow-based tillage and its restoration by diverse biomass-C inputs under no-till in sub-tropical and tropical regions of Brazil. *Geoderma*, 209: 214-225.
24. U. S. EPA, 1983. Result of the National wide Urban runoff Program, *Water Planning Division* 1. Final report.
25. 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.
26. Won, C. H., Y. H. Choi, M. H. Shin, K. J. Lim, and J. D. Choi, 2012. Effects of rice straw mats on runoff and sediment discharge in a laboratory rainfall simulation. *Journal of Geoderma* 189-190(2012): 1646-169 (in Korea)
27. Won. C. H., M. H. Shin, H. J. Shin, K. J. Lim, and J. D. Choi, 2013. Application of BMP for Reduction of Runoff and NPS Pollutions. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 55(5): 1-7 (in Korea)
28. Won. C. H., M. H. Shin, Y. H. Choi, K. J. Lim, Y. H. Han, J. H. Kwon, and J. D. Choi, 2013. Evaluation of NPS pollutant Reduction of Rice straw Mats in Field. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 55(4): 1-7 (in Korea)
29. Yang S. K., Y. W. Seo, G. H. Shin, H. K. Kim, J. D. Park, K. J. Choi, M. S. Park, and W. J. Jung, 2011. *International symposium and annual meeting of the KSABC*. 111-113 (in Korea)
30. Yang, S. K., Y. W. Seo, G. H. Shin, H. K. Kim, J. D. Park, and K. J. Choi, 2012. Effect of Pepper Yields, Physical Properties and Microorganism under No Tillage Soil with Vinyl Greenhouse condition. *Korean Society of Soil Science and Fertilizer* 2012 Conference, 45(1): 54-56 (in Korea)
31. Yang, S. K., Y. W. Seo, J. H. Son, J. D. Park, K. J. Choi, and W. J. Jung, 2012. Properties of Pepper growth and Yield, cost Down with No-tillage Organic Cultivation in Vinyl Greenhouse. *Korean Journal of Organic Agriculture* 20(3): 411-422 (in Korea)