



## 강우 유출수를 이용한 비구조적 BMPs의 저감효율 분석 Efficiency of the Non-structural BMPs with Reduced Rainfall Runoff

전제홍\* · 원철희\* · 신민환\* · 신재영\* · 이수인\* · 유나영\* · 주소희\* · 최중대\*<sup>†</sup>

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

### Abstract

Effect of tillage on time of initial runoff, runoff coefficient, NPS pollution load, soil erosion and crop productivity were studied. Eight runoff plots of 5x30 m on loamy sand field that were 4 respective plots of 3% and 8% slope were prepared. Treatment included conventional tillage (CT) and no-till (NT). Time of initial runoff from NT retarded between 247~261% compared with that from CT. Under 3% slope, runoff coefficient in NT was 63.5% lower than that in CT. The reduction under 8% slope was 61.7%. Differences in runoff reduction between 3% and 8% plots were not significant. NT could reduce more than 60% of NPS pollution and between 50~85% of sediment if compared with CT. Productivity of NT was also shown that it was not lower than that of CT. It was expected that the results could be used as a fundamental data for estimating a reduction load in Korea TMDL from a no-till BMP on loamy sand agricultural fields.

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

### I. 서론

1990년대에 무경운(no-till, NT) 농업은 농지의 6%에만 적용이 되었으나, 2000년대에는 농지의 22.6%까지 보급되어 이용되고 있다. 또한 전세계 농업의 대표적인 방법으로 농경지 관리 측면에서 중요한 방법으로 대두되고 있다(Prajapati and Jacinthe, 2014). 이는 인건비 절약과 토질의 안정성뿐만 아니라 토양 및 물 절약에도 효과적이기 때문에 보전경운(Conservation tillage)은 전 세계적으로 널리 이용되고 있으며, 2007년에는 약 9,500만 ha에 이르고 있다(Lal et al., 2007). 재래식 경운(conventional tillage, CT)과 다르게 NT를 적용한 밭에서는 빗물의 토양 침투율이 증가하고 비점오염부하가 감소되며, 토양의 환경질 개선과 생물학적 활성이 증가된다(DeLaune and Sij, 2012; Lal et al., 2007). 반면 CT는 미생물의 활성을 감소시켜 토양의 유기물 함량과 물리적 특성을 저하시킬 수 있다(Unger et al., 1973; Dormaar et al., 1979; Biederbeck et al., 1980; Rasmussen et al., 1980). 왜냐하면 토양 미생물은 영양분 순환과 질소고정 및 토양의 활성에 밀접하게 관여하기 때문이다(McCool et al., 2008).

한편 영농방법(CT, NT)을 변경할 경우 작물의 생산성에 영향을 줄 수 있다. 유럽의 경우 토양함수율이 높은 지역에서 NT를 적용할 경우 수확량이 감소한다고 보고된 바 있다(Soane et al., 2012). 반면에 미국에서는 8~45%의 경사지 토양에서 CT와 NT의 비교 연구 수행 시 NT를 이용할 경우 경사지내의 토양유실이 방지되어 농업의 생산성이 증대되고 토양 및 주변 수질이 개선된다고 보고되고 있다(Kennedy and Schillinger, 2006). 또한 NT는 강우량이 적은 지역에서도 농업활동을 유지할 수 있으며, 미생물의 종류가 다양하고 토양 내 유기물의 함량이 증가되어 작물의 생산성 증대를 기대할 수 있다(Pollock and Reeder, 2010). 그러나 아직까지 우리나라는 NT와 관련한 연구가 거의 진행되지 않고 있으며, 지표 피복재와 토양개량제를 이용한 연구가 일부 연구자 위주로만 진행되어 오고 있다(Shin et al., 2011; Won et al., 2013).

이에 본 연구에서는 국내에서도 적용 가능한 무경운 농업이 강우 유출수량, 비점오염물질의 배출량, 토양 유실량 그리고 작물의 생산성 등에 미치는 영향을 인공강우의 조건에서 분석하여 재래식 경운 농법과 비교함으로써 추후 수질오염총량제에 이용 가능한 기초자료를 확보하고자 한다.

\* 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

Received: June 25, 2015

Revised: July 30, 2015

Accepted: September 4, 2015

### II. 연구방법

#### 1. 시험포 조성 및 실험장비 설치

경운방법에 따른 유출특성 및 비점오염부하를 정량화하기 위하여 시험포를 강원도 춘천시에 조성하였다(Fig. 1). 단일

유출 시험포의 면적은 150 m<sup>2</sup> (폭 5 m, 경사장 30 m)로서 총 8 개 (경사도 3 % 4개, 경사도 8 % 4개)를 만들었다 (Fig. 2 (left)). 각각의 시험포는 금속 재질의 격막을 이용하여 구분하였다. 경사도 3 %와 8 % 시험포 사이에는 인공강우 실험에 필요한 물을 저장하기 위한 수조 (D=7.5 m) 2기를 설치하였다. 각 시험포의 하단부에는 유실되는 토사가 포집될 수 있는 작은 침사구를 설치하였으며, 끝부분에는 강우 유출수의 유량을 측정할 수 있는 H-Flume을 설치하였다. H-Flume을 통하여 배출되는 유출수는 폭 1 m, 깊이 1 m의 배수로를 설치하여 하천으로 배재 하였다. 시험포 조성 후 인공강우 실험에 필요한 관개시스템과 스프링클러를 설치하였다 (Fig. 2 (right)).

2. 실험처리 및 작물파종

시험포에 NT를 도입하기 위하여 매 실험 전년도 늦가을에

피복작물 (밀 또는 보리)을 재배하였으며, 6월에 작물 수확 후 실험처리를 하였다. 경운방법에 따른 비구조적 비점오염 저감효과 정량화를 위한 실험처리는 CT와 NT로 구분하여 2회 처리 하였다. CT와 NT의 위치는 무작위로 배치하였으며, 경사도별로 2회 반복하였다 (Fig. 3). 피복작물 수확 후 CT는 경운하고 이랑과 두둑을 조성한 후에, NT는 피복작물 수확 후 피복작물의 열과 열 사이에 이랑나비 60 cm 포기사이 60 cm로 작물을 재배하였다. 2011년과 2012년에는 들깨를 심었으며, 2013년에는 무를 재배하였다 (Table 1).

작물의 성장에 필요한 비료는 2011년에 퇴비, 2012년에는 액비 그리고 2013년에는 화학비료를 사용하였다. 퇴비의 표준시비량은 10 a 당 1,210 kg (시험포 150 m<sup>2</sup>당 180 kg)이나, 시험포를 처음 조성한 2011년에는 새로 조성되는 시험포에서는 3배정도를 주입하는 것이 작물의 성장에 도움을 줄 수

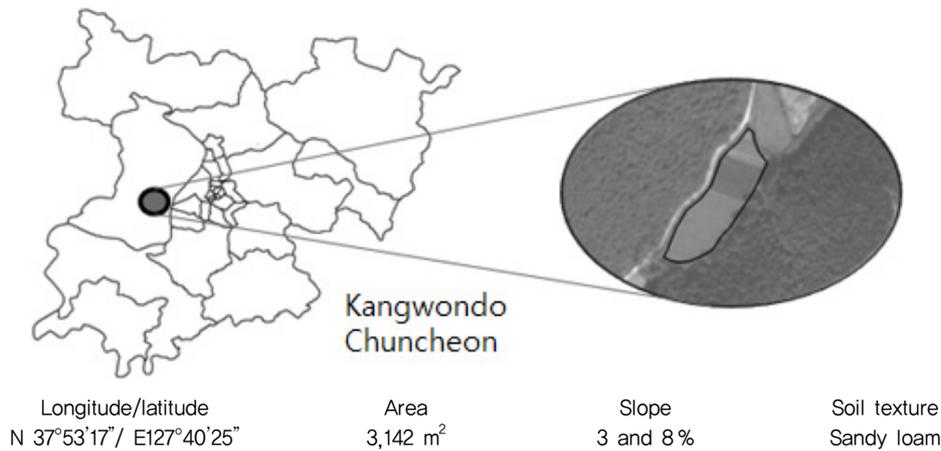


Fig. 1 Descriptions of monitoring site in Chuncheon (Won et al., 2013)

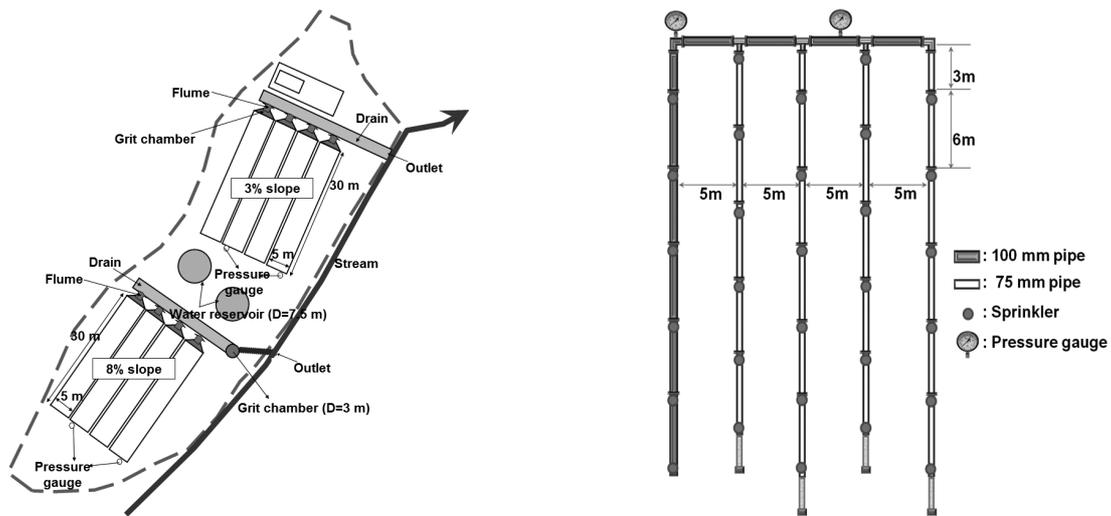


Fig. 2 Arrangement of experimental plots (left) and irrigation system (right)

있다고 판단하여 180 kg의 3배 정도인 550 kg을 주입하였다. 2012년에는 10 a 당 3.3톤 (150 m<sup>2</sup>당 0.5톤 kg)의 액비(TN 0.48 %, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0.30 %, K<sub>2</sub>O 0.43 %, CaO 0.18 %, MgO 0.12 %, Na<sub>2</sub>O 0.14 %)를 주입하였으며, 화학비료는 복합비료 (10-22-14)를 시험포 당 5 kg씩 시비하였다.

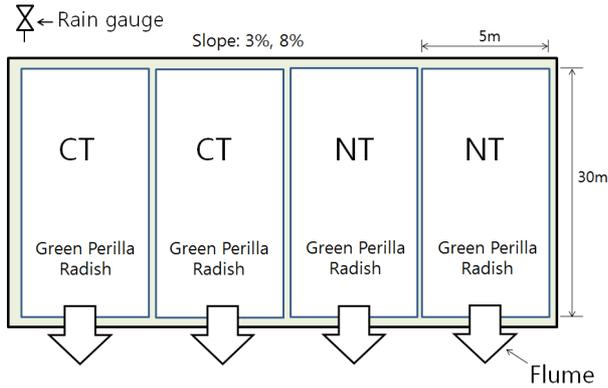


Fig. 3 Sketch of the runoff plots

Table 1 Experimental treatment

Item	Experimental treatment	Cover crops	Fertilizer	Crops
2011	CT, NT	Barley	Compost	Green perilla
2012	CT, NT	Wheat	Liquid manure	Green perilla
2013	CT, NT	Barley	Chemical fertilizer	Radish

### 3. 인공강우 실험 및 분석방법

시험포를 대상으로 한 대조구와 실험구의 비교 연구에서 자연강우에 따른 유출 모니터링은 강우량, 강우강도, 강우지속시간이 매 강우사상마다 다르기 때문에 유출율, 비점오염부하, 유사발생량 등을 정량화하는데 많은 시간이 걸린다. 이에 반하여 인공강우 실험은 강우 조건을 동일하게 유지할 수 있고 시간을 절약할 수 있는 장점이 있다. 본 연구에서는 CT 대비 NT의 효과를 정량화하기 위하여 인공강우 실험을 실시하였다.

인공강우 시설은 자동차 엔진을 개량한 Rainbow 펌프(시간당 30~75 mm의 강우 모의가 가능)와 약 50 m<sup>3</sup> 용량의 저수조 2지 그리고 관개시스템(관망, 스프링클러)으로 구성되어 있다. 실험은 Rainbow 펌프를 이용하여 저수조에 저장된 물을 관개시스템으로 압송시켜 스프링클러를 통해 살포하는 방식을 이용하였다. 강우강도는 자연강우사상에서 발생할 수 있는 강우를 고려하여 압력계의 압력을 0.6 kgf/cm<sup>2</sup>로 조절하고 30 mm/hr 로 보정하였다. 인공강우 실험은 작물의 뿌리가 토양에 활착되었다고 판단된 후에 실시하였는데, 시험포의 초기 토양함수비를 유사하게 유지시키기 위하여 실험 전에

약 10 mm의 물을 뿌려 오차를 줄이고자 했다. 연구기간 동안 인공강우 실험은 총 7회를 실시하였으며, 각 실험은 1시간 동안 수행하였다.

유량은 사전에 H-flume에서 측정한 수위-유량곡선식 (1)을 이용하여 수위를 유량으로 환산하였으며, 양동이(15 L)를 이용한 용기측정법으로 유량을 실측하여 검증하였다. 식 (1)에서 Q는 유량 (m<sup>3</sup>/s), H는 수위 (m)이며, R<sup>2</sup> 값은 0.993으로 나타났다.

$$Q = 1.693H^{2.627} (R^2 = 0.993) \quad (1)$$

오염물질의 농도 분석을 위한 시료는 5~10개를 채수하였으며, BOD<sub>5</sub>, COD<sub>Cr</sub>, COD<sub>Mn</sub>, TN, TP, DOC, SS 등을 수질오염 공정시험법(Ministry of Environment, 2001)에 준하여 분석을 실시하였다. 오염물질의 농도는 유량의 개념이 도입된 Event mean concentration (EMC)로 표현하였다. 인공강우 실험이 종료된 이후에는 시험포의 하단에 퇴적된 유사의 양을 건조중량으로 측정하였으며, CT 대비 NT의 저감 효과를 산정하였다.

## III. 결과 및 고찰

### 1. 초기유출시간

인공강우 실험에서 측정된 실험처리별 초기유출시간과 CT 대비 NT의 유출 지연율을 Table 2에 제시하였다. 경사도 3%, CT 시험포의 평균 초기유출시간은 11.3분이었으며, NT 시험포의 초기유출시간은 29.5분으로써, CT 시험포의 초기유출시간 대비 261%가 지연되는 것으로 나타났다. 경사도 8%에서도 초기유출시간은 경사도 3%와 동일한 경향을 보였는데, CT와 NT의 초기유출시간은 각각 10.3분과 24.7분으로써 무경운을 이용할 경우 강우시 초기유출이 지연되는 효과를 얻을 수 있었다. 이는 NT로 영농 시 토양의 침투율이 증가되기 때문으로 판단된다 (Soane et al, 2012). 한편 시험포의 길이가 30 m 이므로 유출시간 즉 도달시간이 너무 짧아서 측정상 시간 차이는 없는 것으로 조사 되었다.

Table 2 The time to initial runoff with respect to experimental treatment (Unit : min)

Treatment	2011	2012	2013	Average	Delay late (%)	
3%	CT	13.0	9.7	11.3	-	
	NT	32.7	29.3	26.6	261	
8%	CT	9.7	12.7	8.5	10.3	-
	NT	25.5	27.2	21.5	24.7	247

## 2. 유출율 및 유출 저감율

Table 3에서는 2011년도 3회, 2012년도 3회, 2014년도 1회 총 7회 인공강우 실험의 경사도와 경운방법 그리고 저감율 평균을 연도별로 나타냈다. 경사도 3% 시험포에서 CT 시험포의 유출률은 32.4~59.8% 범위로 조사되었으며, NT 시험포의 유출율은 12~22.6% 범위로서 CT 대비 평균 63.5%의 유출이 저감되는 것으로 나타났다. 경사도 8%에서 NT 시험포의 유출율은 16.2~27.7%의 범위로서 CT 시험포의 유출율(38.9~55.8%) 대비 평균 61.7%가 저감되는 것으로 나타났다. 이는 인공강우 실험시 육안 관찰로도 확연히 알 수 있었다. Fig. 4 (right)는 이랑과 두둑이 있는 CT 시험포의 유출 전경이며, 왼쪽은 NT 시험포의 유출전경인데, NT 시험포의 유출량이 적었다. 한편 본 연구가 진행된 강원도 춘천은 30 mm/event의 강우가 최근 5년간 42회 발생하였는데 (WAMIS), 본 연구에서 이용한 NT를 농경지에 적용할 경우 유출량 제어에 저감에 효과가 있을 것으로 사료된다. 한편 본 연구에서 경사도에 따른 차이는 미미한 것으로 판단되며, 이를 보완할 수 있는 보다 급경사지에서의 연구를 진행해야 할 것으로 판단된다.

Table 3 Runoff rates of different tillage treatments and slope

Treatment	2011	2012	2013	Average	Reduction late (%)	
3%	CT	59.8	49.9	32.4	47.4	-
	NT	22.6	17.3	12.0	17.3	<b>63.5</b>
8%	CT	55.8	38.9	50.9	48.5	-
	NT	16.2	11.9	27.7	18.6	<b>61.7</b>



Fig. 4 Comparison of runoff panorama with respect to tillage (left NT, right CT)

## 3. 비점오염 부하 및 저감량

Table 4에서는 유출량과 오염물질농도에 기초하여 산정한 실험처리별 오염부하량과 CT 대비 NT의 저감 효과를 측정하여 나타내었다. 경사도 3%에서 NT 시험포의 SS 오염부하량은 CT 시험포 대비 85.7%가 저감되었으며, BOD는 64.7%, COD<sub>Cr</sub>은 73.9%, COD<sub>Mn</sub>은 76.6% 영양염류인 TN과 TP는 각각 72.7%와 75% 그리고 DOC는 60%가 저감된 것으로 나타났다. 경사도 8%에서도 경사도 3%와 유사한 경향을 보였는데, NT의 비점오염부하는 CT보다 1/3~1/10 수준으로 낮게 나타났으며, 모든 오염물질 항목에서 CT 대비 약 70% 이상의 높은 오염물질 저감효과를 얻을 수 있었다. 특히 SS의 저감율이 높게 나타났는데, 이는 NT를 이용할 경우, 토립자의 구조가 안정되고 표토가 유실되지 않은 결과로 판단된다. NT의 효과는 SS 농도에 많은 영향을 주는 탁도의 비교를 통해서도 알 수 있었는데, NT 시험포의 탁도는 CT 시험포의 1/3분의 1 수준으로 나타났다 (Fig. 5, 2013년 인공강우 실험). 그러나 비점오염부하에 가장 큰 영향을 주는 유출율이 시험포의 크기, 재배작물, 경사도, 토성 그리고 다양한 환경인자 및 관리방법에 따라 달라질 수 있기 때문에 (Armand et al. 2009), 보다 체계화된 연구가 수행될 필요가 있다. 본 연구에서 비점오염부하의 저감율은 경사도 8%에서 다소 높게 나타났는데, 이는 NT의 효과로 판단된다. 즉 CT 시험포의 오염부하량은 경사도 3%보다 경사도 8%에서 높게 나타난 반면, NT 시험포의 경사도에 따른 오염부하량은 큰 차이를 보이지 않았기 때문에 상대적으로 CT 시험포의 부하량이 큰 경사도 8% 시험포에서 저감 효과가 높게 나타난 것으로 판단된다. 다시 말하면 NT를 이용할 경우 비교적 완경사(10% 미만)에서 유출되는 비점오염부하는 큰 차이가 없는 것으로 판단된다. 한편, Shin et al. (2010)에 의하면 강우강도 60 mm/hr에서 지표피복을 이용할 경우 평균 T-N 농도가 경사도 10%에서 20%로 증가하여도 농도는 경사도에 큰 영향을 받지 않는다고 했다.



Fig. 5 Comparison of turbidity with respect to tillage method (left NT, right CT)

**Table 4** NPS pollution loads of different tillage treatments (Unit : kg/ha)

Treatment	SS	BOD	COD <sub>Cr</sub>	COD <sub>Mn</sub>	TN	TP	DOC	
3%	CT	130.1	1.7	13.4	6.4	4.4	0.4	1.5
	NT	18.6	0.6	3.5	1.5	1.2	0.1	0.6
	<b>Reduction rate (%)</b>	<b>85.7</b>	<b>64.7</b>	<b>73.9</b>	<b>76.6</b>	<b>72.7</b>	<b>75.0</b>	<b>60.0</b>
8%	CT	299.7	2.3	20.0	11.1	4.8	0.9	2.2
	NT	22.9	0.6	3.5	1.7	1.1	0.2	0.4
	<b>Reduction rate (%)</b>	<b>92.4</b>	<b>73.9</b>	<b>82.5</b>	<b>84.7</b>	<b>77.1</b>	<b>77.8</b>	<b>81.8</b>

#### 4. 침사구의 토양 유실량

Table 5에는 인공강우 실험 시 발생한 토양유실량을 측정하여 실험처리에 따라 나타내었다. 2011년의 경우 경사도 3%에서는 토양유실량의 발생량이 극히 적어 분석에서 제외하였다. 그러나 경사도 8%에서는 CT 시험포 (2,267 kg/ha)에서 NT 시험포 (1,200 kg/ha)보다 약 2배 정도 많은 토양유실이 발생하였으며, CT 대비 NT 시험포의 토양유실 저감효과는 47.1%로 조사되었다. 경사도 8% 시험포의 실험처리별 토양유실량은 2012년과 2013년에도 유사한 경향을 보였다. 경사도 8% CT 시험포의 평균 유사발생량은 2,351.6 kg/ha로 조사되었으며, NT 시험포의 평균 유사발생량은 1,223.1 kg/ha로서 CT 시험포 대비 47.9%의 유사저감효과가 관측되었다. 경사도 3%의 경우 경운방법에 따른 유사저감효과가 보다 명확히 나타났는데, 평균값에 기초할 때 CT와 NT 시험포에서 토양유실량은 각각 26.4 kg/ha와 4.0 kg/ha로서 NT를 이용할 경우 85.0%의 토양유실 저감효과를 얻을 수 있었다. 이는 NT를 적용할 경우 CT 대비 79%의 유사저감효과를 얻을 수 있다고 보고한 Ulen et al. (2010)의 연구와 유사한 결과로서 NT를 적용할 경우 토양유실을 방지할 수 있으며, 토양유실을 인하여 나타날 수 있는 탁수의 발생도 최소화 할 수 있을 것으로 판단된다.

**Table 5** Comparison of sediment discharge and reduction rate of different tillage treatments at 3%, 8% plots

Treatment	Sediment discharge (kg/ha)			Average	Reduction rate (%)	
	2011	2012	2013			
3%	CT	-	27.8	26.4	-	
	NT	-	4.9	3.0	4.0	<b>85.0</b>
8%	CT	2,267	2,516.7	2,271	2,351.6	-
	NT	1,200	1,257.8	1,211.5	1,223.1	<b>47.9</b>

#### 5. 생산성

Table 6에는 들깨를 재배한 2011년과 2012년 그리고 무를 재배한 2013년의 작물의 생산성을 분석하여 나타내었다. 2011년에는 보리와 들깨를 수확하였으며, 2012년에는 밀과 들깨를 수확하였다. 보리는 2011년 기준 농협의 매입기준이며, 밀은 2011년 우리 밀 기준의 농협 수매가이다. 들깨는 2011년 황성 농협의 kg 당 매입 단가를 적용하였다. 2011년과 2012년의 들깨 생산량은 경사도 8%에서의 생산량이다. 2013년에는 보리와 무를 재배하였으며, 무의 단가는 가락동 도매시장의 가격에 기초하였다. 또한 무는 상품성이 있는 1.5 kg 이상의 개체만을 대상으로 하였다. 한편 CT농법과 NT 농법에 소요되는 인건비와 자재비는 동일하다고 가정하고 경제성 분석에서 제외하였다.

본 시험포 기준으로 2011년에 동계 피복작물인 보리와 CT 시험포 들깨의 총 수익 금액은 약 667 만원/ha로 조사되었으며, NT 시험포에서는 816만원/ha로서 CT 시험포 대비 22.4%의 수익성이 증대되었다. 2012년에는 CT 시험포의 밀과 들깨의 총 수익 금액은 약 524만원/ha로 조사되었으며, NT 시험포에서는 약 667만원/ha의 수익이 발생하여 CT 시험포 대비 27.3%의 증대효과를 보였다. 무를 재배한 2013년에는 CT 시험포의 생산성이 다소 좋게 나타났다. 3년간의 작물생산에 기초한 생산성을 비교한 결과, NT 시험포에서 약 7.4%의 수익이 증대된 것으로 조사되었으며, NT 농법의 적용시 배출되는 비점오염물질의 저감효과 외에도 생산성의 증대 효과도 있음을 알 수 있었다. 다만 NT 농법은 동일한 농경지에서 5~6년간 지속되어야 그 효과가 명확히 나타날 수 있기 때문에 향후 추진되는 유사한 연구에서는 이와 같은 내용이 보완되어 진행되어야 할 것으로 판단된다.

#### IV. 결 론

본 연구에서는 경운방법 (CT, NT)에 따른 실험처리가 강우시 초기유출시간, 유출수량, 비점오염부하, 토양유실량 그리고 작물의 생산성에 미치는 영향을 시험포 수준에서 비교 분석하였다. 시험포는 8개 (경사도 3% 4개, 경사도 8% 4개)를 조성하여 경사도별로 CT 2개, NT 2개로 실험처리를 하였으며, 인공강우 실험을 강우강도 30 mm/hr로 한 시간 동안 수행하였다. 연구는 작물의 종류를 바꾸어 3년간 수행되었다. 실험결과 초기유출시간은 CT보다 NT에서 247~261%가 지연되는 효과를 얻을 수 있었다. 유출율은 경사도 3%에서 CT보다 NT에서 63.5%가 저감되는 것으로 나타났으며, 경사도 8%에서는 61.7%로서 경사도에 따른 유출율 저감율의

Table 6 Compared crop yields and benefit with respect to tillage methods

Item		CT	NT
2011	Barley Yield (kg/ha)	4,000	4,000
	Benefit of Barley(Yield*Price)	3,076,000	3,076,000
	Green perilla Yield (kg/ha)	570	807
	Benefit of Green perilla (Yield * Price)	3,591,000	5,084,100
	Total Benefit (Won/ha) (Barley+Green perilla)	6,667,000	8,160,100
	Growth rate of NT compared to CT (%)	<b>22.4</b>	
2012	Wheat Yield (kg/ha)	1,900	1,900
	Benefit of Wheat (Yield*Price)	1,710,000	1,710,000
	Green perilla Yield (kg/ha)	560	787
	Benefit of Green perilla (Yield * Price)	3,528,000	4,958,100
	Total Benefit (Won/ha) (Wheat+Green perilla)	5,238,000	6,668,100
	Growth rate of NT compared to CT (%)	<b>27.3</b>	
2013	Barley Yield (kg/ha)	2,500	2,500
	Benefit of Barley (Yield*Price)	1,922,500	1,922,500
	Radish Yield (kg/ha)	34,618	32,868
	Benefit of Radish (Yield * Price)	15,099,217	14,326,330
	Total Benefit (Won/ha) (Barley+Radish)	17,021,717	16,248,830
	Growth rate of NT compared to CT (%)	<b>-0.5</b>	
Total	Total Benefit (Won/ha) (During 3 years)	28,926,717	31,077,030
	Growth rate of NT compared to CT (%)	<b>7.4</b>	

차이는 미미한 것으로 조사되었다. 무경운(NT) 방법을 이용할 경우 강우시 유출되는 오염부하량이 재래식 경운(CT) 대비 60% 이상 저감이 가능한 것으로 조사되었으며, 토양유실량도 약 50~85%까지 저감되는 것으로 나타났다. 또한 NT를 이용할 경우 생산성 측면에서도 긍정적인 효과를 얻을 수 있었다. 이상의 연구결과 NT는 강우시 비점오염부하와 같은 환경적 측면의 효과와 농민의 수익증대라는 경제적 측면에서도 접근이 가능한 최적관리방법의 하나로 사료되며, 추후 경사도, 토성, 작물에 따른 보다 다양한 연구를 진행하여 NT의 효과를 보다 객관화할 경우, 정부 정책에 반영이 가능할 것으로 판단된다. 또한 현재 추진 중에 있는 수질오염총량제의 농경지 부분의 비구조적 삭감량을 산정하는데도 이용이 가능할 것으로 사료된다.

## 사 사

본 연구는 환경기초조사사업 (과제명: 농촌지역 비점오염원 삭감효과 정량화)의 연구비 지원을 받아 수행되었습니다. 이에 감사합니다.

## REFERENCES

1. Armand, R., 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 and Tillage Research*. 102(1): 27-37.
2. Biederbeck, V. O., C. A. Campbell, K. E. Bowren, M. Schnitzer, and R. N. McIver, 1980. Effect of burning cereal straw on soil properties and grain yields in Saskatchewan. *Soil Science Society of America Journal*. 44(1): 103-111.
3. DeLaune, P. B., and J. W. Sij, 2012. Impact of tillage on runoff in long term no-till wheat system. *Soil and Tillage Research*. 124: 32-35.
4. Dormaar, J. F., U. J. Pittman, and E. D. Spratt, 1979. Burning crop residues: Effect on selected soil characteristics and long-term wheat yields. *Canadian Journal of Soil Science*. 59(2): 79-86.
5. 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(3): 940-949.
6. Lal, R., D. C. Reicosky, and J. D. Hanson, 2007. Evolution of the plow over 10,000 years and the rationale for no-till farming.

- Soil and Tillage Research*. 93(1): 1-12.
7. McCool, D. K., C. D. Pannkuk, A. C. Kennedy, and P. S. Fletcher, 2008. Effects of burn/low-till on erosion and soil quality. *Soil and Tillage Research*. 101(1): 2-9.
  8. Ministry of Environment, 2001. <http://www.me.go.kr/> (in Korea).
  9. Prajapati, P., and P. A. Jacinthe, 2014. Methane oxidation kinetics and diffusivity in soils under conventional tillage and long-term no-till. *Geoderma*. 230-231: 161-170.
  10. Pollock, C., and R. Reeder, 2010. No-till (plenty of positives). *American society of agricultural and biological engineers. Resource*: 3-7.
  11. Rasmussen, P. E., R. R. Allmaras, C. R. Rohde, and N. C. Roager, 1980. Crop residue influences on soil carbon and nitrogen in a wheat-fallow system. *Soil Science Society of America Journal*. 44(3): 596-600.
  12. Shin, M. H., C. H. Won, W. J. Park, Y. H. Choi, J. R. Jang, K. J. Lim, and J. D. Choi, 2011. Analysis of the Reduction Effect on NPS Pollution Loads by Surface Cover Application. *Journal of the Korea Society of Agricultural Engineers*. 53(4): 29-37. (in Korea).
  13. Shin, M. H., C. H. Won, Y. H. Choi, J. Y. Seo, and J. D. Choi, 2010. Simulation of Generable Nutritive Salts by Artificial Rainfall Simulator in field -By Varying Amount of Fertilization and Slope. *Journal of the Korea Society of Agricultural Engineers*. 52(3): 31-38. (in Korea).
  14. 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 and Tillage Research*. 118: 66-87.
  15. Ulén, B., H. 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 and Management*. 26(2): 94-107.
  16. Unger, P. W., R. R. Allen, and J. J. Parker, 1973. Cultural practices for irrigated winter wheat production. *Soil Science Society of America Journal*. 37(3): 437-442.
  17. Water Resources Management Information System. 2015. <http://www.wamis.go.kr/> (in Korea).
  18. 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 Korea Society of Agricultural Engineers*. 55(5): 1-7. (in Korea).