

인공강우기에 의한 시험포장 토양유실량 모의 - 강우강도, 지표면 및 경사조건 변화 -

신민환^{*} · 원철희^{*} · 최용훈^{**} · 서지연^{**} · 이재운 · 임경재^{**} · 최중대^{***†}

국립환경과학원 금강물환경연구소

^{*}강원대학교 환경연구소

^{**}강원대학교 농업생명과학대학 지역건설공학과

Simulation of Field Soil Loss by Artificial Rainfall Simulator - By Varing Rainfall Intensity, Surface Condition and Slope -

Minhwan Shin · Chul-hee Won^{*} · Yong-hun Choi^{**} · Jiyeon Seo^{**} ·

Jaewoon Lee · KyoungJae Lim^{**} · Joong-dae Choi^{***†}

Geum-River Environment Research Laboratory

^{*}*Institute of Environmental Research, Kangwon National University*

^{**}*Division of Agricultural Engineering, Kangwon National University*

(Received 31 July 2009, Revised 1 September 2009, Accepted 1 September 2009)

Abstract

Using artificial rainfall simulator, the soil loss, which is deemed as the most cause of muddy water problem among Non-point source (NPS) pollutant, was studied by the analysis of direct runoff, groundwater discharge, and soil water storage properties concerned with rainfall intensity, slope of area, and land cover. The direct runoff showed increasing tendency in both straw covered and bared soil as slope increases from 5% to 20%. The direct runoff volume from straw covered surface were much lower than bared surface. The infiltration capacity of straw covered surface increased, because the surface sealing by fine material of soil surface didn't occur due to the straw covering. Under the same rainfall intensity and slope condition, 2.4~8.2 times of sediment yield were occurred from bared surface more than straw covered surface. The volume of infiltration increased due to straw cover and the direct runoff flow decreased with decrease of tractive force in surface. To understand the relationship of the rate of direct runoff, groundwater discharge, and soil water storage by the rainfall intensity, slope, and land cover, the statistical test was performed. It shows good relationship between most of factors, except between the rate of groundwater storage and rainfall intensity.

keywords : Direct runoff, Groundwater discharge, Muddy water, NPS pollutant, Soil loss

1. 서론

하천으로 유입되는 오염원은 크게 점오염원과 비점오염원으로 구분할 수 있다. 비점오염원은 점오염원의 법적 정외에 부합하지 않고, 강수, 지표의 유출수, 침투, 배수, 누수, 수문학적 변경 또는 대기의 침전물에 의해 발생하는 오염원을 말한다(환경부, 2008). 점오염원은 하수도와 수처리 시설 등의 오염원 저감시설을 운영함으로써 목표 수질을 달성할 수 있으나(국립환경연구원, 1992), 비점오염원은 다양한 발생원으로 인한 처리의 어려움 때문에 수계에서의 상대적인 비중이 점차 커져가고 있다.

최근까지 우리나라에서 비점오염부하를 저감시키기 위한 연구는 강우시 초기유출수(First flush)를 처리하기 위한 도

시비점오염원에 집중이 되고 있으며, 비점오염원에서 중요한 비중을 차지하는 탁수를 비롯한 농업비점오염원에 대한 연구는 상대적으로 수행되지 않고 있다. 농업비점오염원에서 큰 비중을 차지하고 있는 탁수는 집중 호우시 산지개간, 하천공사, 고령지 경작지 등의 지표피복이 되어 있지 않은 지역에서 주로 발생하며, 수도권 일대에 용수공급을 위한 상수원인 소양강댐 상류와 임하댐, 그리고 도암댐 등에 심각한 문제를 안겨주고 있다(환경부, 2007). 뿐만 아니라 수생태계와 인간의 심미적 기능에도 영향을 주기 때문에 가능한 발생을 억제시킬 필요가 있다. 그러나 탁수는 여러 인자들이 복합적으로 결합되어 발생하기 때문에, 탁수를 저감하기 위해서는 가장 기초적인 발생원인과 하천으로의 운반과정에 대한 이해가 필요시 된다.

지금까지 알려진 바로 탁수는 농경지의 토양유실로부터 유발되며, 토양유실은 강수량, 강우지속시간, 강우강도, 토양의 특성, 재배작물, 경운방법, 지표피복, 유출량, 유속 그

[†]To whom correspondence should be addressed.
jdchoi@kangwon.ac.kr

리고 경사도 등에 영향을 받는다(최중대, 1997; Choi et al., 2000; Sharpley and Halvorson, 1994). 따라서 탁수의 저감은 토양유실 인자에 대한 기초적이고 세부적인 연구와 이를 통해 얻어진 자료에 기초한 토양유실저감대책이 개발되어야 비로소 가능해질 수 있다.

토양유실 원인 인자 중 강우량, 강우지속시간 그리고 강우강도와 같은 자연현상은 인위적 조절이 불가능하지만, 지표피복, 경운방법, 경사도, 그리고 토양관리 등은 인위적인 노력을 통하여 충분히 제어할 수가 있다. 따라서 토양유실을 방지하고 나아가 탁수를 저감하기 위해서는 인위적 조절이 가능한 인자들에 대한 충분한 연구와 자료의 축적이 필요하다. 이에 본 연구에서는 강우강도, 경사도 그리고 지표피복의 인자를 대상으로 강우시 직접유출량, 기저유출량 및 토양 저류량 등을 인공강우의 조건하에서 비교·검토함으로써 경사지 밭의 토양유실에 대한 기초자료를 확보하고자 한다.

2. 연구방법

2.1. 실험장치 및 재료

연구에 이용된 실험장치는 인공강우기(Norton Ladder-type Rainfall Simulator), 토양상자, 그리고 물탱크로 구성되며, 모식도는 Fig. 1과 같다. 인공강우기는 가장 중요한 장치로서, 미국 인디애나주 퍼듀 대학교에 위치하고 있는 미국 농무성 산하 토양유실실험실에서 개발된 장치로 20~100 mm/hr 범위의 강우강도를 모의할 수 있다. 각 인공강우기는 물을 분사할 수 있는 4개의 노즐로 구성되어 있다.

토양상자는 물에 의한 부식을 방지하기 위하여 아연도금 철판을 이용하여 1.00 m × 1.00 m × 0.65 m (L×W×H) 크기로 제작하였다. 토양상자의 상부에는 직접유출수량을 포집하기 위한 상단거터, 토양으로 침투되어 하부로 배출되는 기저유출수량을 집수하기 위한 하단거터, 그리고 토양의 경사를 유발시키는 경사도 판으로 구성되어 있다. 토양상자는 20개를 제작하여 이용하였고, 상자에 채운 토양은 양질사토이고 각 토양상자마다 50 cm 깊이로 흙 채움을 하였다. 흙 채움의 하단부 40 cm는 10 cm 간격으로 일정하게 다짐을 하며 흙을 채웠고, 40 cm의 흙 채움이 끝난 후에는

표면에 부직포를 덮고 충분한 양의 물을 공급하여 자연적으로 물다짐이 이루어지도록 하였다. 물다짐 후 충분한 배수가 되도록 2주간의 시간동안 방치한 뒤 표토 10 cm는 다짐 없이 흙으로 채웠다. 실험에 사용된 물탱크는 최대 6 ton의 용량을 채울 수 있는 크기로, 실험을 하는 동안 물이 부족하지 않도록 물탱크의 물을 충분히 채운 후 실험하였다. 토양의 피복에 이용된 피복재는 벗짚을 1 m × 1 m (L×W) 크기로 묶어 이용하였으며, 피복층은 디지털 카메라로 사진을 찍고 ArcGIS 프로그램을 이용하여 산정하였다.

2.2. 실험방법

인공강우 실험은 경사도, 벗짚 피복 유·무, 강우강도의 세 조건으로 수행하였다. 실험 장치를 준비한 후, 각 4개의 노즐로 구성되어 있는 2대의 인공강우시험기를 이용하여 강우강도, 경사도, 지표피복에 따른 직접유출량과 기저유출량의 특성을 조사하였다. 토양의 경사도는 경사도 판을 5%, 10% 그리고 20% 제작한 후, 토양상자를 경사도판에 올려놓음으로써 조절하였다. 토양상자는 토양의 성분과 함수비를 동일하게 처리하기 위하여 20개의 토양상자를 실험차수마다 다르게 하여 사용하였다. 강우강도는 30 mm/hr과 60 mm/hr의 조건에 한하여 1시간 동안 수행하였다. 또한 벗짚을 피복한 경우와 피복하지 않은 경우로 나누어 실험을 하였다.

각 노즐에서 토양상자로 분사되는 인공강우가 다른 토양상자에 영향을 미치지 않도록 토양상자의 거리를 일정하게 배치하였고, 토양상자의 측면으로 유입될 수 있는 인공강우를 배제하기 위하여 토양상자 측면을 비닐로 덮고 실험하였다. 또한 인공강우가 토양상자의 토양부분에만 영향을 미치게 하기위해 토양상자 상단부 거터에 아크릴 판을 설치하여 토양상자 상단부 거터에 직접적으로 분사되는 인공강우를 배제하였다. 각 조건별 실험은 4회를 반복하였다.

강우시 토양 표면으로의 직접 유출량은 상부거터를 통하여 집수하였고, 기저유출량은 하부거터에 집수시설을 설치하여 실험이 끝난 후 2일이 경과한 후 총량을 계산하였다. 또한 토양저류량은 빗물의 양에서 직접유출량과 기저유출량을 제함으로써 산정하였다.

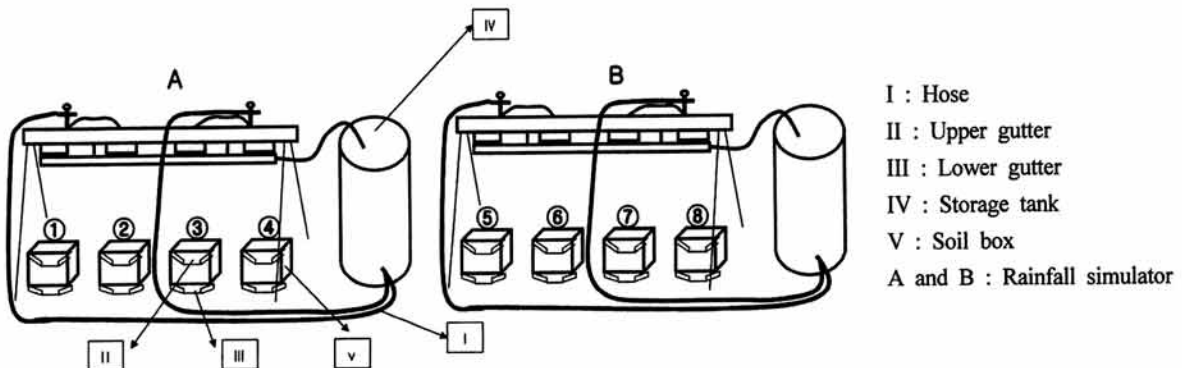


Fig. 1. Sketch of the rainfall simulator and soil-box placement.

2.3. 강우시험기 보정

인공강우시험기는 1마력의 펌프가 물탱크의 물을 인공강우시험기로 압송하여 컨트롤러에 의해 조절되는 노즐을 통해서 인공강우를 발생시킨다. 두 대의 인공강우시험기마다 4개의 노즐로 유입되는 물의 압력을 일정하게 조절하기 위하여 유량조절밸브와 압력게이지를 설치하였으며, 4개의 노즐로부터 분사되는 강우량을 균일하게 30 mm/hr 강우강도와 60 mm/hr 강우강도로 맞추기 위해 강우보정을 하였다. 강우량 보정은 인공강우가 토양상자에 분사되는 분사량을 측정하기 위하여 토양상자를 비닐로 덮고, 유출량을 비커로 측정하여 수행하였다.

각 노즐에서 토양상자에 분사된 양은 Table 1과 같다. 비닐을 이용하여 분사량을 측정한 결과 A의 인공강우시험기의 1번과 4번 노즐, 그리고 B의 인공강우시험기의 2번과 3번 노즐에서 분사량이 적게 나타났다. 인공강우시험기마다 각각의 노즐에서 미세한 차이가 발생하였지만, 수차례 반복하여도 같은 결과의 인공강우가 발생하여 결과에서는 비율을 보정하여 계산하였다.

2.4. 분석방법

토양상자에 채워진 토양의 물리적 특성은 입도시험(KS F 2309)과 비증시험(KS F 2308)을 이용하여 측정하였다. 직접유출수와 함께 배출되는 유사의 양은 No. 200체(입경 0.074 mm)를 통과시킨 후, 체에 남은 무게를 측정하여 산정하였다. 각각의 처리조건별 상관관계는 SAS Ver. 9.1을 이용하여 Pearson 상관계수를 산정하여 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 토성

입도시험을 통하여 Fig. 2와 같은 입경가적곡선을 작성하였으며, 토양의 균등계수(C_u)와 곡률계수(C_g)는 각각 75와 2.8로 조사되었다. 본 실험에 사용된 토양은 점토(Clay) 1.58%, 실트(Silt) 12.56%, 모래(Sand) 85.86%로 구성되어 있으며, 삼각분류법에 의한 토성은 양질사토(Loamy Sand)로 나타나, 고랭지 밭에서 객토를 하는 토성이 양질사토임을 고려할 때 고랭지 밭의 토양과 동일하다는 가정을 할 수 있었다.

3.2. 직접유출량

직접유출량은 경사도(5%, 10%, 20%)와 지표피복의 조건에서 1시간 동안 인공강우를 살포한 후, 상단부 거터에서 유출되는 양을 측정하여 산정하였다. 벧짚피복재의 피복율은 평균 65.5%로 나타났다. Fig. 3에는 경사도에 따른 직

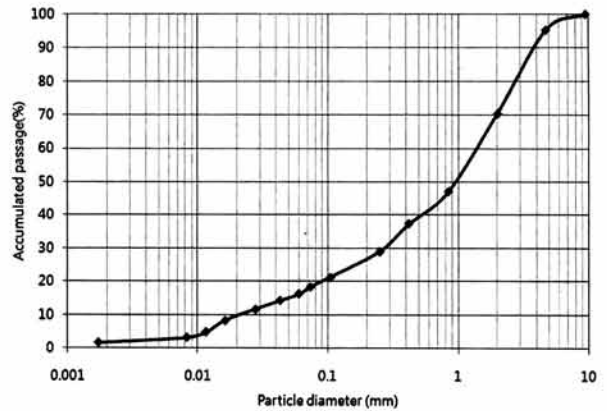


Fig. 2. Accumulated grain size distribution curve of the soil.

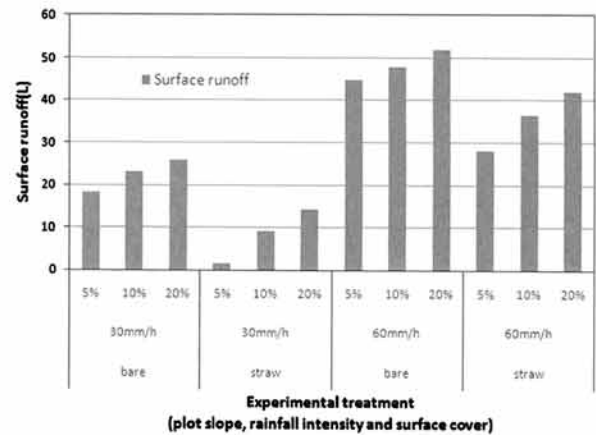


Fig. 3. Effect of experimental treatment on surface runoff with respect to slope, rainfall intensity and surface cover.

접유출량을 나지상태와 피복상태로 구분하여 제시하였다. 나지상태(피복율 0%)이고 강우강도 30 mm/hr의 조건에서 토양상자의 경사도가 5%와 10% 그리고 20%로 증가할수록 직접유출량은 18.2 L, 23.0 L, 25.7 L로 증가하였으며, 이에 따른 유출율은 식 (1)을 이용하여 산정한 결과 각각 60.81%, 77.07%, 85.65%로 증가하였다. 또한 나지상태(피복율 0%)의 60 mm/hr 강우강도 조건에서, 유출량(유출율)은 각각 44.8 L(75.21%), 47.8 L(80.07%), 52.0 L(87.40%)로서 점차 증가하였다. 한편 경사는 동일하고 강우강도가 30 mm/hr에서 60 mm/hr로 증가할 때, 유출율은 크게 증가하였으나, 20%의 경사도에서는 강우강도의 영향이 없으므로 나타났다.

$$\text{유출율(\%)} = \text{유출량/인공강우량} \times 100 \quad (1)$$

여기서, 유출량은 인공강우량에 의해 상단부 거터에서 받

Table 1. Result of the rainfall simulator calibration by runoff measurement

Rainfall simulator	Rainfall simulator A (mm/60min)				Rainfall simulator B (mm/60min)			
	Nozzle 1	Nozzle 2	Nozzle 3	Nozzle 4	Nozzle 1	Nozzle 2	Nozzle 3	Nozzle 4
Total	57.0	61.5	61.5	58.5	61.2	57.0	58.5	61.2

생한 양은 직접유출량, 하단부 거터에서 발생한 양은 기저 유출량, 그리고 인공강우량은 노즐에서 발생하여 토양상자에 살포된 양이다.

반면 벧짚으로 피복한 강우강도 30 mm/hr의 조건에서 경사도가 5%, 10%, 20%로 증가할 때, 직접유출량은 1.5 L, 9.0 L, 14.3 L이며 이에 따른 유출률은 각각 5.04%, 30.21%, 그리고 47.56%로서 경사도의 증가에 따라 증가하였다. 또한 60 mm/hr의 강우강도에서 유출량(유출률)은 각각 28.0 L(46.93%), 36.5 L(61.19%), 그리고 42.0 L(70.61%)로 점차 증가하였다. 이는 Smith 등(2007)의 연구와 동일한 결과로서 평탄한 밭보다 경사진 고랭지 밭에서 토양유실이 더 심각해지며, 강우량(강우강도)에 따라 직접유출에 포함되어 유실되는 토양도 증가할 것으로 예상된다. 한편 벧짚으로 지표층을 피복하였을 경우 직접유출량이 감소하는 것은 토양표면의 표면막힘(Surface sealing 또는 crust) 현상이 발생하지 않고 침투능이 증가한 것에 기인하는 것으로 판단된다(Ruan et al., 2001).

3.3. 기저유출량과 토양저류량

Fig. 4에는 경사도와 강우강도, 그리고 피복 유·무에 따라 측정된 기저유출량과 계산된 토양저류량을 나타내었다. 나지상태의 강우강도 30 mm/hr 조건에서 경사도가 5%에서 20%로 증가할 때, 기저유출량(유출율)은 8.8 L(29.12%)에서 2.1 L(7.09%)로 감소하였으며, 60 mm/hr의 강우강도에서는 7.8 L(13.07%)에서 3.4 L(5.70%)로 감소하였다. 반면 지표를 피복한 30 mm/hr의 강우조건에서 기저유출량(유출율)은 토양의 경사도가 5%에서 20%로 증가할 때, 24.5 L(82.16%)에서 12.9 L(43.19%)로 감소하였으며, 강우강도 60 mm/hr일 때는 24.8 L(42.55%)에서 10.8 L(18.13%)로 조사되어 경사도가 완만할수록 토양으로의 침투능은 증가하는 것으로 나타났다.

한편 강우강도 30 mm/hr의 조건에서 피복한 토양상자의 기저유출량은 나지 상태의 기저유출량보다 2.8~6배, 60 mm/hr 강우강도에서는 2.8~3.2배 정도 많이 발생하였다. 이는 벧짚이 수분을 흡수하고 분산시켜, 토양과 접촉하는

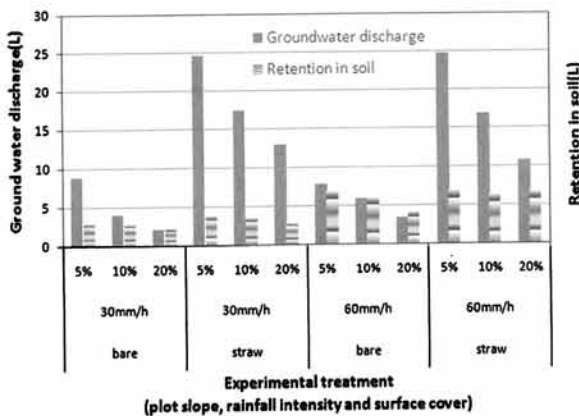


Fig. 4. Effect of experimental treatment on groundwater discharge and retention in soil with respect to slope, rainfall intensity and surface cover.

시간을 증대시킴으로서 토양 침투능이 증가한 것으로 판단된다. 기저유출율은 경사도 증가에 따라 감소하는 경향을 나타내었으며, 동일한 강우에서 지표를 피복한 경우 기저유출율이 높게 나타났다.

토양 저류량은 경사도와 지표피복 유·무에 따라 큰 차이를 보이지 않았는데, 이는 동일한 규격의 토양상자에 동일한 토양을 채웠기 때문에 토양 입자사이의 공극율과 수분의 보유능은 동일할 것으로 예상된다. 따라서 토양의 수분으로 포화된 이후, 유입되는 빗물은 토양에 흡수되지 못하고 증류수에 의해 기저로 유출이 되어 토양 저류량은 큰 차이를 보이지 않는 것으로 판단된다.

3.4. 유사량

Fig. 5에는 강우량과 경사도, 지표피복 유·무에 따라 직접유출수와 함께 유실되는 토양의 양을 나타내었다.

나지상태의 30 mm/hr의 강우강도 조건에서 경사도가 5%, 10%, 그리고 20%로 증가함에 따라 유실되는 유사량은 각각 23.41 g, 45.21 g, 그리고 62.73 g으로 변화하였으며, 경사도 10%와 20%에서 발생한 유사량은 경사도 5%에서 발생한 유사량보다 93.12%와 167.96%의 높은 값을 보였다. 또한 나지상태의 60 mm/hr 강우강도 조건의 경사도 10%와 20%에서 발생한 유사량은 각각 124.76 g과 287.14 g으로서 5% 경사도의 92.46 g의 34.93%와 210.56%를 보였다.

지표피복을 한 토양상자에서 경사도가 5%에서 20%로 증가할 때, 유실되는 유사량은 강우강도 30 mm/hr의 조건에서는 2.88 g에서 11.83 g으로 증가하였으며, 60 mm/hr 강우조건에서는 28.09 g에서 118.56 g으로 증가하는 경향을 보였다. 본 연구에서 나지상태에서 발생한 유사량은 지표를 피복한 토양상자의 유실량보다 2.4~8.2배 정도의 높은 값을 보였다. 이는 지표를 피복한 벧짚이 강우의 타격에너지에 의한 토립자의 이탈(detachment)을 감소시키고(Boix-Fayos et al., 1998), 토양으로 침투능을 증가시켰으며, 결과적으로 직접유출량에 포함되어 유실되는 유사량이 감소한 것으로 판단된다. 이러한 결과는 Tiscareno-Lopez 등(2004)이 무경운 경작지에서 옥수수를 이용하여 지표를 0~100% 비율로

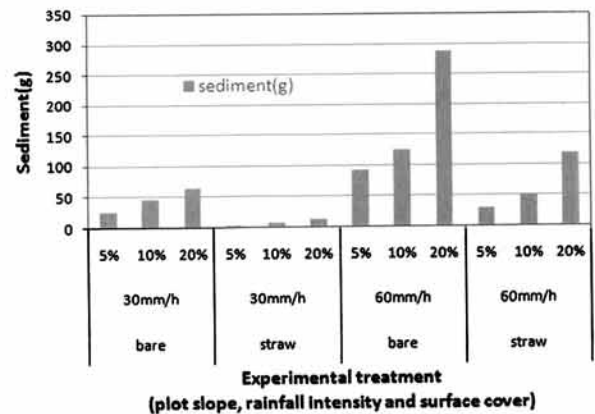


Fig. 5. Sediment affected by plot slope, rainfall intensity and landcover with respect to slope, rainfall intensity and surface cover.

피복하였을 때, 지표의 피복율이 증가할수록 토양 유실량이 감소하고, Faucette 등(2004)이 나지상태와 여러 퇴비 및 나무피복재를 비교하였을 때, 나지상태보다 퇴비와 나무피복재를 이용하여 인공강우 시험을 하였을 때 토양유실량이 감소하는 결과와 유사하였다. 또한 Kwaad 등(1998)이 경작법에 따른 유출량과 토양유실량을 측정한 시험에서 작물을 재배하지 않거나 식물이 피복되지 않은 나지상태가 작물을 재배하는 시기보다 유출량과 토양유실량이 크게 나타난 결과와 유사하였다.

3.5. 저감율

Fig. 6은 식 (2)를 이용하여 나지상태와 비교한 지표피복시의 유사량과 직접유출량의 저감율을 나타낸 것이다.

$$\text{저감율(\%)} = \frac{\text{나지상태 발생량} - \text{피복상태 발생량}}{\text{나지상태 발생량} \times 100} \quad (2)$$

여기서, 나지상태 발생량은 토양상자를 피복하지 않은 상태에서 발생한 유사량과 직접유출량, 피복상태 발생량은 토양상자를 벧짚으로 피복한 상태에서 발생한 유사량과 직접유출량이다.

지표피복시의 유사량은 나지상태에서 발생한 유사량보다 64.9~74.1% 정도 감소하였으며, 강우강도와 경사도가 변하여도 저감율은 비교적 일정한 값을 보였다. 지표를 피복한 경사도 5%의 30 mm/hr의 강우강도에서 직접유출량은 나지

상태와 비교시 91.7%가 감소하였으며, 강우강도와 경사도가 증가할수록 저감율은 점차 감소하는 경향을 보였다. 이는 토양의 침투속도를 초과한 강우량은 대부분 유출되었던 것으로 판단된다.

3.6. 물수지 분석 및 특성

Table 2는 본 연구에서 수행된 실험을 토대로 작성한 물수지표이다. 지표를 피복시 직접유출률은 강우강도에 상관없이 나지상태보다 현저히 감소하였는데, 이는 벧짚피복으로 인해 강우가 벧짚에 흡수되고, 표면으로 흐르는 직접유출수의 유속을 감소시키면서 토양에 저류하는 시간이 증가되고(Ian et al., 1995), 이로 인하여 토양으로 침투하는 빗물의 양이 많아져 직접유출률이 감소한 것으로 사료된다. 벧짚을 피복한 30 mm/hr 강우강도와 5%의 경사도에서의 기저유출량은 총 강우량의 82.16%로 가장 크게 나타났으며, 강우강도와 경사가 동일할 경우 지표를 피복시 직접유출률이 감소하고, 기저 유출률은 크게 증가하는 것으로 분석되었다. 이는 Benik 등(2003)이 벧짚거적을 이용하여 유출량을 실험한 결과와 동일하게 직접유출률이 감소하고, 기저유출률이 증가한 것으로 나타났다. 그리고 최용훈 등(2008)의 벧짚을 이용한 유출량 실험결과보다 본 연구에서 실험한 실험 결과의 직접유출률이 높게 나타났다. 이는 인공강우 시험에 사용된 벧짚의 상태와 토양의 수분상태(Wei et al., 2007) 그리고 벧짚피복의 피복율 차이 때문으로 판단된다. 또한 심혁호(2005)는 부직포를 이용하여 경사농경지에서 발생하는 유출량을 실험하였는데, 본 연구의 결과에 비해 유출량이 매우 적었다. 그러나 부직포의 경우 유출량은 크게 줄일 수 있지만, 부직포를 이용만, 부직포는 농경지에서는 적용이 불가능하며 단지 절개지 공사장 등에서 이용이 가능할 것으로 판단된다.

종합적으로 본 연구 결과에 기초할 때, 30 mm/hr 이하의 강우강도와 5% 이하의 경사에서 벧짚을 이용하여 지표를 피복한 경우, 토양유실 저감에 큰 효과가 있을 것으로 예상된다.

Table 3에는 강우강도와 경사도 그리고 지표피복에 따른 직접유출률과 기저유출률 그리고 토양저류율에 대한 상관관계를 분석하여 제시하였다.

토양저류율과 강우강도의 상관관계를 제외하고, 모든 인자들 간 상관관계가 유의수준이 0.01 이하이므로 통계적으

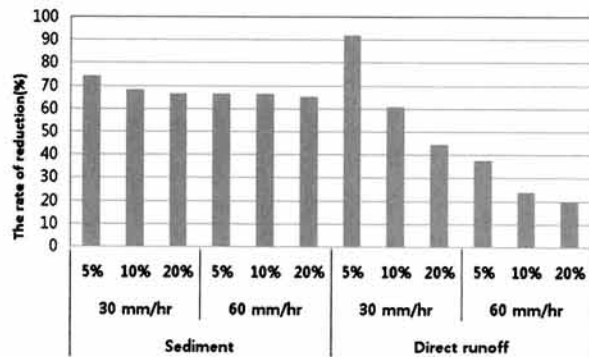


Fig. 6. The rate of reduction by plot slope, rainfall intensity and landcover with respect to slope, rainfall intensity and surface cover.

Table 2. Analysis of water-balance in small scale plot (rainfall simulator)

Landcover		Bare						Straw					
		30 mm/hr			60 mm/hr			30 mm/hr			60 mm/hr		
		5%	10%	20%	5%	10%	20%	5%	10%	20%	5%	10%	20%
Analysis of water-balance (%)	Precipitation	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	The rate of surface runoff	60.81	77.07	85.65	75.21	80.07	87.40	5.04	30.21	47.56	46.93	61.19	70.61
	The rate of groundwater discharge	29.12	13.36	7.09	13.07	9.88	5.70	82.16	57.88	43.19	41.55	28.13	18.13
	The rate of retention in soil	10.07	9.57	7.26	11.72	10.05	6.90	12.80	11.91	9.25	11.52	10.68	11.26

Table 3. Pearson correlation analysis of the experimented treatment

	The rate of surface runoff	The rate of groundwater discharge	The rate of retention in soil	Landcover	Rainfall intensity	Slope
The rate of surface runoff	1.00000	-0.99542**	-0.48698**	-0.72053**	0.40506**	0.42860**
The rate of groundwater discharge		1.00000	0.40127**	0.71182**	-0.42946**	-0.39688**
The rate of retention in soil			1.00000	0.40032**	0.04269	-0.48061**
Landcover				1.00000	-	-
Rainfall intensity					1.00000	-
Slope						1.00000

**significance level of 0.01

로 유의한 상관관계를 보였다. 그리고 직접유출률과 기저유출률은 지표피복과 상관관계가 가장 크게 나타났고, 토양저류량은 경사도와 상관관계가 가장 크게 나타났다. 직접유출률과 기저유출률은 음의상관관계 0.99542의 높은 상관관계를 보였으나, 실험처리로 인한 결과가 아니므로 제외하였다. 직접유출률과 기저유출률은 지표피복에 가장 큰 영향을 받고, 토양저류율은 경사도에 가장 큰 영향을 받는 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구는 경사지 밭의 조건과 유사한 토양상자를 만들고 인공강우의 조건하에서 강우강도, 경사도, 지표피복에 따른 직접유출량, 기저유출량, 토양저류량을 측정·분석하였다.

연구 결과 지표를 피복할 경우 빗물의 토양 침투량이 증가하였으며, 표면으로 발생하는 직접유출량의 토양입자 분리 및 유속감소로 인하여 유사량은 평균 2,582 g에서 평균 852.1 g으로 약 67.7%가 저감되었다. 또한 직접유출량의 경우 평균 35.24 L에서 21.89 L로 약 46% 이상의 저감효과가 나타났다. 따라서 빗길을 이용한 지표의 피복은 강우 시 토양의 유실을 저감할 수 있으며, 나아가 탁수의 발생량도 감소에도 큰 효과가 있을 것으로 판단된다.

한편 강우강도와 경사도 그리고 지표피복에 따른 직접유출률과 기저유출률 그리고 토양 저류율에 대한 상관관계를 분석한 결과 토양저류율과 강우강도의 상관관계를 제외하고, 모든 인자들 간 상관관계가 매우 높게 나타났다. 특히 직접유출률과 기저유출률은 지표피복과 상관관계가 가장 크게 나타났고, 토양저류율은 경사도와 상관관계가 가장 크게 나타났다.

본 연구는 현재 실험실 수준의 인공강우 실험만을 수행한 결과로 실제 영농과는 차이를 나타낼 수 있으며, 차후에는 시험포 수준으로 확대할 예정이다. 본 실험 결과에 기초할 때 고랭지 지역이 산재한 곳에서 지표를 피복하고 영농활동을 할 경우 강우 시 토양의 유실방지와 탁수를 저감시킬 수 있을 것으로 사료된다.

사 사

본 연구는 환경부 Eco-Star project(과제번호 07-II-6)의 연구비 지원으로 수행되었으며, 이에 깊이 감사드립니다.

참고문헌

- 국립환경연구원(1992). *비점오염원 유출부하량 조사지침*.
 심혁호(2005). 경사농경지에서의 토사유출 저감방안 연구. 석사학위논문, 강원대학교.
 최용훈, 신민환, 김기철, 서지연, 박병준, 임경재, 최중대(2008). 피복도와 경사도에 따른 유사 및 SS농도 분석. *공동문제 학술발표회논문집*, 한국물환경학회·대한상하수도학회, pp. 277-278.
 최중대(1997). 농촌유역의 관리가 비점원 오염물질의 하천 유입에 미치는 영향. *농촌개발연구*, 1(1), pp. 91-107.
 환경부(2007). *소양강댐 유역 고랭지 경작지 관리방안*.
 환경부(2008). *비점오염원 제어를 위한 관리방안*.
 Benik, S. R., Wilson, B. N., Biesboer, D. D., Hansen, B., and Stenlund, D. (2003). Evaluation of erosion control products using natural rainfall events. *Journal of Soil and Water Conservation*, 58(2), pp. 98-105.
 Boix-Fayos, C., Calvo-Cases, A., Imeson, A. G., Soriano-Soto, M. D., and Tiemessen, I. R. (1998). Spatial and short-term temporal variations in runoff, soil aggregation and other soil properties along a Mediterranean climatological gradient. *Catena*, 33, pp. 123-138.
 Choi, J. D., Jang, S. O., Choi, B. Y., and Lyou, S. H. (2000). Monitoring Study on Groundwater Quality of an Alluvial Plane in the North Han River Basin. *Journal of Korean Society on Water Quality*, 16(3), pp. 283-294.
 Faucette, L. B., Risse, L. M., Nearing, M. A., Gaskin, J. W., and West, L. T. (2004). Runoff, erosion, and nutrient losses from compost and mulch blankets under simulated rainfall. *Journal of Soil & Water Conservation*, 59(4), pp. 154-160.
 Ian, P. P., William, E. D., and Janelle, S. (1995). Flow resistance and sediment transport by concentrated overland flow in a grassland valley. *Geomorphology*, 13, pp. 71-86.
 Kwaad, F. J. P. M., Van der Zijp, M., and Van Dijk, P. M. (1998). Soil Conservation and Maize Cropping Systems on Sloping Loess Soils in the Netherlands. *Soil & Tillage Research*, 46, pp. 13-21.
 Ruan, H., Ahuja, L. R., Green, T. R., and Benjamin, J. G. (2001). Residue Cover and Surface-Sealing Effects on Infiltration. *Soil Science of America Journal*, 65, pp. 853-861.
 Sharpley, A. N. and Halvorson, A. D. (1994). The Management of Soil Phosphorous Availability and its Impact on Surface Water Quality In R. Lal and B. A. Steward (eds.), *Soil Processes and Water Quality (part of the series, Advance in Soil Science)*. Boca Raton, FL: Lewis Publishers.

Smith, D. R., Warnemuende, E. A., Huang, C., and Heathman, G. C. (2007). How does The First Year tilling a Long-Term No-Tillage Field Impact Soluble Nutrient Losses in Runoff. *Soil & Tillage Research*, **95**, pp. 11-18.

Tiscareno-Lopez, M., Velasquez-valle, M., Salinas-Garcia, J., and Baez-gonzalez, A. D. (2004). Nitrogen and Organic Matter

Losses in NO-Till Corn Cropping Systems. *Journal of American Water Resources Association*, **40**(2), pp. 401-408.

Wei, L., Zhang, B., and Wang, M. (2007). Effects of antecedent soil moisture on runoff and soil erosion in alley cropping systems. *Agricultural Water Management*, **94**, pp. 54-62.