

발경사에 따른 강우유출수 내의 비점오염물질 특성 비교 분석

A study on Compare Characteristics of Nonpoint Source in Storm-water versus Steepness of Field Slope

김기철 · 최용훈 · 원철희 · 최중대†
강원대학교 지역건설공학과

Abstract

This study was focused on analyse Nonpoint source characteristics from Flat slope field and Steep slope field. We performed Storm-water monitoring for obtain flow data and concentration data. Totally, eleven times Event was occurred. We calculated EMC(Event Mean Concentration) and Pollutants Loads using data we obtained. As a result, steep slope field has more discharge than flat field. SS value, one of the water quality contents, has largest variation and T-N has least variation. There is runoff differences even though events has same rainfall. We assume that not only amount of Rainfall, but also Rainfall Duration Times, Intensity, Number of Previous Non-precipitation days can affect to Run-off.

Key words : Nonpoint source, Storm-water, Event Mean Concentration(EMC), Pollutants Loads

1. 서론

비점오염원은 강우 시 지표면 유출수와 함께 유출되는 오염물질로서 일간, 계절간 배출량의 변화가 크고 예측과 정량화가 어려우며, 인위적 조절이 어렵다. 또한 비점오염원은 기상조건·지질·지형 등에 영향을 받는 특성을 지니고 있다. 비점오염원은 다양한 오염물질을 포함하고 있으며, 유출오염부하는 하수처리장에 의한 것보다 매우 높은 것으로 보고되고 있다(김 등, 2006).

미국은 1990년대 이후 EPA(Environmental Protection Agency)의 주도하에 비점

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

오염문제 해결을 위하여, 각 주의 환경보호국에 권한을 위임하여 비점오염원에 관한 모니터링 및 모델링 연구에 매진하고 있다. 또한 비점오염물질의 수계유입을 관리하기 위하여 장기적인 모니터링과 모델링 결과를 이용하여 최적관리방안(Best Management Practices, BMPs)의 수립을 추진하고 있다(김 등, 2004).

국내에서는 1980년대 이후부터 비점오염원에 대한 연구가 단속적으로 실시되어왔다(김 등, 2003). 비점오염원에서의 오염물질의 배출량은 강우강도와 강우지속시간, 토지이용형태, 최종강우 경과일수, 불법적인 오염물질 투입상태 등에 따라 변동된다(라 등, 1996; Sartor et al., 1974). 또한 개발에 따른 불투수층의 면적 비율이 높아 강우 유달 시간이 짧고, 유출률이 커서 강우초기에 유량 및 오염물질이 다량 유출되는 현상이 나타난다(방 등, 1997; Field et al., 1993). 이와 같이 유역별로 다양하게 발생되고 있는 비점오염원을 효과적으로 관리하기 위해서는 오염부하량을 정량적으로 산정하고 이동경로를 파악하는 것이 필수적이다(최 등, 1997).

최근에는 다양한 토지이용별로 비점오염원에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이중 밭의 경우 우리나라 전체 밭 면적 중 약 96% 이상이 경사도 2% 이상인 경사지에 분포하고 있으며, 연평균 강수량의 2/3이상이 여름철에 집중되는 강우특성상 많은 양의 비점오염물질이 발생하고 있다(허 등, 2005). 그러나 현재 비점오염원에 관한 연구들은 대부분 도시비점에 집중되어 진행되고 있으며, 밭에서의 비점오염원에 대한 연구는 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 강우유출수 모니터링을 통해 급경사지 밭과 평지밭에서의 비점오염원의 유출특성을 비교·분석 하였다.

2. 연구 방법

2.1 모니터링 지점

본 연구의 대상지역은 강원도 춘천시 신북읍 천전리에 위치한 강원대학교 농장의 급경사지 밭과 평지밭을 대상으로 하였다. 평지밭은 한강상류의 평야부의 특성을 대표할 수 있다. 평지밭의 면적은 1,276.6m² 이고, 경사도는 3.2%이다. 토성은 사질토(마사토)이고 재배작물은 콩을 재배하였다. 급경사지 밭은 고랭지의 경사농경지의 특성을 대표할 수 있다. 급경사지 밭은 면적 860.5m² 이고, 경사도는 27.5%이다. 급경사지 밭의 토성은 사질토이고 재배작물은 평지밭과 마찬가지로 콩을 재배하였다.

2.2 모니터링 방법

본 연구에서는 강우 유출수의 수질모니터링을 실시하기 위해 모니터링 시설 및 장비를 설치하였다. 먼저 평지밭의 모니터링 시설은 길이가 긴 밭에서 유출하는 유출

수를 한 곳으로 모으는 유도수로를 설치하였다. 유도수로를 통해 모여진 유출수내의 토사를 퇴적시키기 위한 작은 저류지를 설치하였다. 저류지에 채류한 유출수는 H-Flume으로 유입되고 부자식 자동수위계(Thalimedes, Ott)로 수위를 측정하였다. 또한 자동채수기(ISCO 3700 water sampler, ISCO)를 이용해 수질샘플을 채취하였다(Fig 1).

경사밭의 경우 모니터링 시설은 평지밭과 마찬가지로 유출하는 유출수를 한 곳으로 모으기 위한 유도수로를 설치하였다. 유도수로를 통해 모아진 유출수의 과도한 유사를 침전시키기 위한 저류지를 설치하였다. 저류지의 말단에는 유사가 퇴적하지 않고 유출하여 정확한 유사량을 측정할 수 있는 Drop Box와 Drop Box의 수위를 측정하는 부자식 자동수위계를 설치하였다. 그리고 저류지 혹은 Drop Box에서 수질 시료를 채취하는 자동채수기를 설치하였다. 그리고 정확한 강우 데이터 확보를 위해 자동우량계(ARG 100/EC, Netherland)를 현장에 설치하였다(Fig 2).

평지밭과 급경사 밭에서 2008년 6월부터 9월까지 발생한 11개의 강우사상에 해당하는 강우유출수를 모니터링 하였다. 수질샘플은 강우가 시작된 이후 밭에서 직접적인 유출이 발생하기 시작한 이후부터 유출이 종료되기 직전까지의 유출지속시간동안 샘플을 채취하였다. 모니터링을 통해 채취한 수질 시료들은 수질오염 공정시험법(환경부, 2004)에 의해 수질분석을 실시하였으며, 분석항목은 SS, COD_{Cr}, COD_{Mn}, BOD, T-N, T-P, TOC 이다.



Fig. 1. View of instituted Storm-water monitoring equipment - flat field.



Fig. 2. View of instituted Storm-water monitoring equipment - Steep slope field.



Fig. 3. Storm- water Monitoring Equipment. (a) Rain gauge (b) ISCO 3700 automatic water sampler (c) Thalimedes.

2.3 유량가중 평균 농도 (EMC, Event Mean Concentration) 산정

본 연구에서는 경사도가 다른 두 개의 밭 지역에서 발생하는 강우유출수 내의 오염물질을 비교하기 위해 EMC 농도를 산정하였다. EMC농도는 강우 유출수와 함께 유출되는 오염물질을 평가하는데 가장 적절한 인자로 인식되며, 가장 널리 이용되고 있다(US EPA, 1983; Novotny et al., 1993).

강우사상에 따라서 관측된 유량자료와 이에 해당하는 수질 자료를 이용한 EMC 농도는 다음의 식에 의해 계산 할 수 있다(김 등, 2003).

$$EMC = \frac{\text{총 유출량 중 총 오염물질 중량}}{\text{총 유출량}} = \frac{\sum Q_i C_i}{\sum Q_i}$$

3. 결과 및 고찰

3.1 강우특성 및 선행건기일수에 따른 유출량 비교

Table 1에는 평지밭과 급경사 밭에서 발생한 총 11회의 강우사상동안의 유출특성을 나타내었다. 연구기간동안의 강우량은 19.0 ~ 239.4 mm, 강우지속시간은 0.5 ~ 49.5 hr, 선행건기일수는 1.9 ~ 8.7 일의 범위로 나타났다. 강우량과 강우지속시간 그리고 선행건기일수 간의 상관관계는 없는 것으로 판단된다. 평지밭과 급경사 밭에서의 유출량은 많은 양의 강우가 발생한 E-6에서 가장 많은 유출이 발생하였으며, 각각 103.5m³, 126.22m³의 유출이 발생하였다. 이는 강우량이 증가할수록 유출량 또한 증가하는 것으로 판단된다. 그러나 E-3과 E-4에서 발생한 강우량은 각각 45.6, 64.2mm 이다. E-4에서 더 많은 양의 강우가 발생하였으나 유출량은 오히려 E-3에서 더 많이 발생하였다. 또한 E-3과 E-4의 강우지속시간은 각각 29시간, 23시간으로 비슷한 결과로 나타났다.

하지만 선행건기일수에서는 분명한 차이가 나타났다. E-3의 선행건기일수는 2.9일이고, E-4의 선행건기일수는 6.5일이다. 선행건기일수 이외의 뚜렷한 차이가 없는 것으로 보아, 선행건기일수의 차이가 유출량에 영향을 미친 것으로 판단된다. 이는 선행건기일수가 길어질수록 토양내의 함수량이 줄어들고, 강우 시에 토양 공극 내로 저류되는 저류량이 줄어들어 직접 유출량이 증가하는 결과가 나타난 것으로 판단된다. 그러나 선행건기일수에 따른 유출량의 증가와 관련된 선행연구는 아직 미흡한 실정이다. 장기간의 강우모니터링을 통해 선행건기일수 혹은 다른 인자들이 밭에서의 비점오염원 유출에 영향을 미치는지 연구해야 할 것으로 판단된다. 강우유출수의 분석결과에 따르면 급경사 밭에서 발생한 유출량이 평지밭에서 발생한 유출량에 비해 많은 것으로 나타났다. 이러한 결과가 나타나는 이유는 경사장, 경사도, 밭고랑의 방향, 토성, 토양의 침투능, 재배작물 등이 비점오염원의 유출에 영향을 미친 것으로 판단된다. 본 연구에서는 경사도가 증가할수록 유출량 또한 증가한다는 결과를 얻었다. 이는 선행연구들의 결과와 일치하고 있다(김 등, 2007).

Table 1. Comparison of Run-off characteristics at Study Watershed.

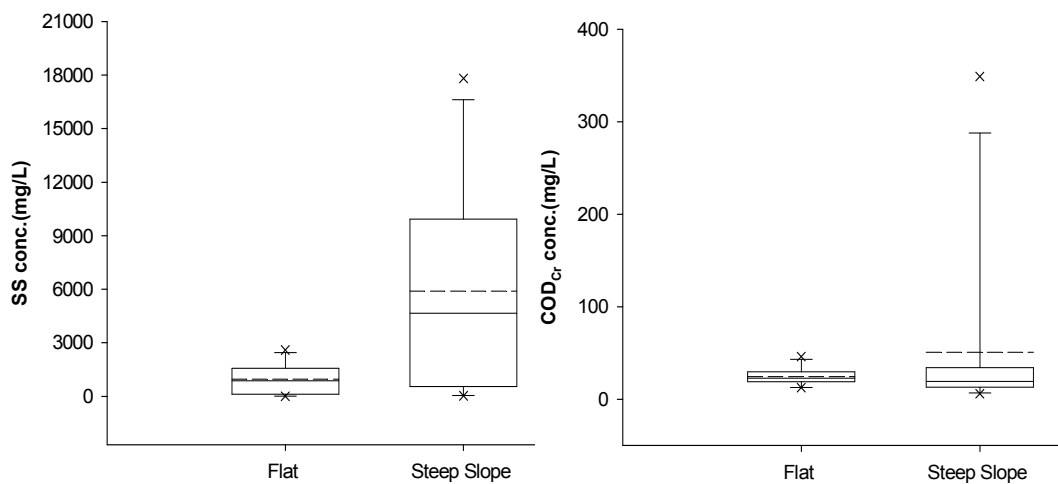
| Event | Rainfall (mm) | Duration times (hr) | Number of previous Non-precipitation days (day) | Flat field | | Steep slope field | |
|-------|---------------|---------------------|---|---------------------------|-------------|---------------------------|-------------|
| | | | | run-off (m ³) | codfficient | run-off (m ³) | codfficient |
| E-1 | 19.0 | 0.5 | 7.2 | 4.57 | 0.19 | 4.99 | 0.32 |
| E-2 | 84.4 | 16.2 | 5.3 | 5.44 | 0.05 | 7.54 | 0.11 |
| E-3 | 45.6 | 29.0 | 2.9 | 4.10 | 0.07 | 5.37 | 0.14 |
| E-4 | 64.2 | 23.0 | 6.5 | 1.57 | 0.02 | 2.25 | 0.04 |
| E-5 | 131.4 | 49.5 | 2.6 | 11.12 | 0.07 | 18.35 | 0.17 |
| E-6 | 239.4 | 42.0 | 2.7 | 103.5 | 0.33 | 126.22 | 0.65 |
| E-7 | 40.4 | 3.5 | 2.9 | 6.78 | 0.13 | 8.36 | 0.25 |
| E-8 | 69.2 | 21.0 | 2.5 | 15.19 | 0.17 | 15.07 | 0.27 |
| E-9 | 59.2 | 13.0 | 1.9 | 6.88 | 0.09 | 9.49 | 0.20 |
| E-10 | 86.0 | 29.0 | 3.3 | 6.25 | 0.06 | 7.39 | 0.11 |
| E-11 | 59.8 | 28.3 | 8.7 | 0.28 | 0.003 | 8.90 | 0.18 |

3.2 EMC 산정 결과

Fig 4는 평지밭과 급경사 밭에서의 강우유출수 내의 오염물질의 EMC(유량가중 평균농도)를 비교 분석한 결과를 나타낸 것이다. 평지밭에서의 EMC농도는 SS는 6.6 ~ 2,600.0 mg/L의 범위로 분포하였다. 경사밭에서의 SS는 32.9 ~ 17,182.1 mg/L의 범위로 나타났다. T-N의 EMC농도는 평지밭에서는 0.30 ~ 3.81 mg/L, 그리고 경사밭에서는 0.36 ~ 9.44 mg/L의 범위로 나타났다. 총 11회의 강우사상 동안 발생한 강우유출수의 분석결과 연구지역인 평지밭과 급경사 밭의 특성상 수질 항목들 중에서 SS농도의 변동 폭이 다른 항목에 비해 높게 나타났다. 이는 선행연구를 통해 EMC 분석 항목들 중에서 SS의 변화의 폭이 크며, T-N의 변화폭이 가

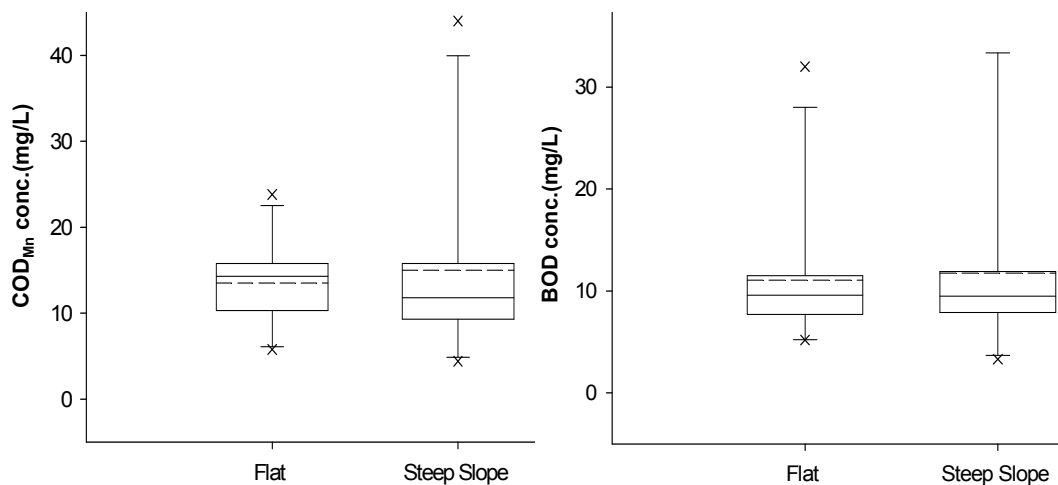
장 작다는 연구결과와 일치한다(김 등, 2002). 또한 선행연구를 통해 콩과 같은 재배작물의 지표피복으로 인해 유출수내의 질소농도가 감소하는 결과가 나타났다. Randall 등(1997)은 연구를 통해 콩 과목 식물인 알팔파를 재배하는 경우 옥수수를 재배하는 경우보다 연간질소 농도를 97%가량 감소시킨다는 결과를 얻었다. 이는 다른 작물들과는 다르게 콩은 질소를 고정하기보다는 섭취하기 때문에 질소농도가 감소하는 것으로 판단된다(Meisinger et al., 1991; Randall et al., 1997; kaspar et al., 2001).

평지밭에서의 SS농도는 E-1에서 2,600.0 mg/L로 가장 크게 나타났으며, T-N을 제외한 다른 수질항목 모두 다른 강우사상보다 크게 나타났다. 상대적으로 많은 양의 강우가 발생한 E-5 와 E-6의 SS농도는 각각 400.6, 1,864.6 mg/L로 나타났다. 또한 경사밭에서도 많은 양의 강우가 발생한 E-5, E-6에서의 SS농도는 각각 1,182.6, 6,541.7 mg/L이고 E-2에서SS 농도는 17,812.1 mg/L로 더욱 크게 나타났다. EMC 농도는 강우사상의 영향으로 증가하거나 감소하는 경향을 보이지는 않았으며, 상관관계 또한 없는 것으로 판단된다.



(a) SS

(b) COD_{Cr}



(c) COD_{Mn}

(d) BOD

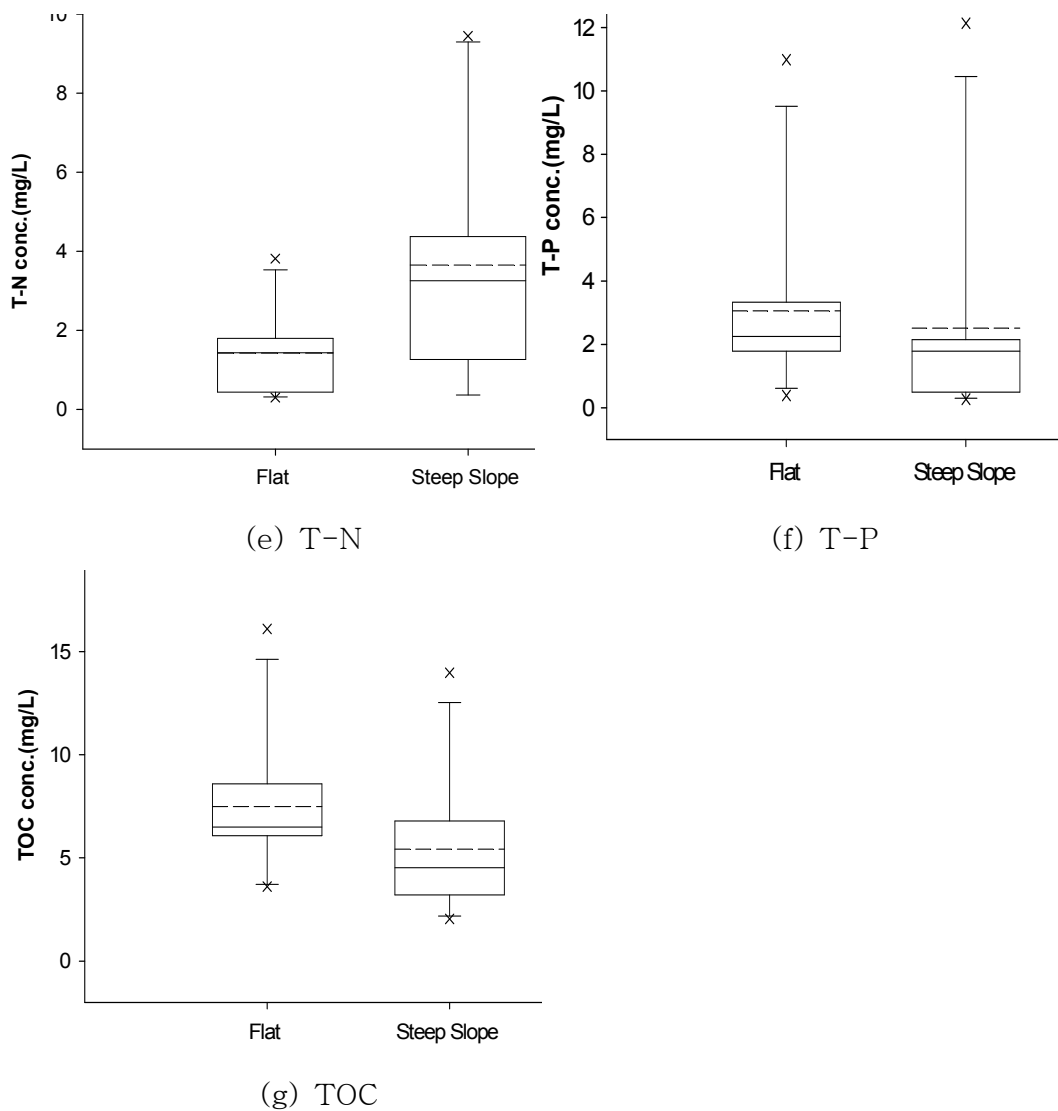


Fig. 4. Slope versus EMC range of (a) SS, (b) COD_{Cr} , (c) COD_{Mn} , (d) BOD, (e) T-N, (f) T-P, (g) TOC.

3.4 오염 부하량 산정 결과

Table 2에는 평지밭과 급경사지 밭에서 산정된 오염부하량을 나타내었다. SS의 경우 평지밭에서는 0.0019 ~ 193.0 kg의 범위로 나타났다(Avg. 23.35 kg). COD_{Cr} 은 0.0035 ~ 2.93kg의 범위로 나타났으며(Avg. 0.41 kg), BOD는 0.001 ~ 1.24kg의 범위로 나타났다(Avg. 0.17 kg). 그리고 T-P는 0.0001 ~ 0.159 kg의 범위로 나타났다(Avg. 0.03 kg). 급경사 밭에서의 SS는 0.29 ~ 825.52 kg의 범위로 분포하였고(Avg. 105.35 kg), COD_{Cr} 은 0.04 ~ 2.30 kg의 범위로 나타났다(Avg. 0.55 kg). BOD는 0.02 ~ 0.99 kg의 범위로 나타났고(Avg. 0.18 kg), T-P는 0.001 ~ 0.159 kg의 범위로 나타났다(Avg. 0.03 kg).

평지밭과 급경사 밭의 오염부하량을 비교해보면 T-N을 제외한 나머지 항목들에서

는 큰 차이 없이 비슷한 결과가 나타났다. T-N의 경우에는 급경사 밭에서의 평균 오염부하량이 평지밭에서의 평균보다 약 3배가량 높게 나타났다. 평지밭에서의 T-N은 0.001 ~ 0.097 kg의 범위로 나타났다(Avg. 0.02kg). 급경사 밭에서 T-N 오염부하량은 0.002 ~ 0.289 kg의 범위로 나타났다(Avg. 0.06kg). 이는 T-N 오염부하량의 경우 질소비료의 시비와 재배작물의 특성상 차이가 발생한 것으로 판단된다. 그러나 본 연구는 강우유출수 모니터링을 통해 얻은 자료의 양이 너무 적어 T-N 오염부하량의 대표적인 특성이라고 단정 짓기는 어렵다. 향후 평지밭과 급경사지 밭에서의 장기 모니터링을 통해 경사도와 오염부하량에 대한 연구가 필요할 것이다.

또한 오염부하량은 강우량과 밀접한 관계가 있는 것으로 판단된다. 대부분의 강우 사상에서 강우량이 증가함에 따라 오염부하량이 증가하는 경향이 나타났다. 이는 신 등(2005)의 연구에서 오염물질의 변화가 강우량과 밀접한 관계가 있다는 결과와 일치한다. 추후의 연구를 통해 강우지속 시간, 강우강도, 선행건기일수 등이 오염부하량의 증감에 미치는 영향에 대해 알아보아야 할 것이다.

Table 2. Pollutants Loads values calculated at monitoring site.

| | Event | Pollutants Loads (Unit: kg) | | | | | | |
|-------------------|---------|-----------------------------|-------------------|-------------------|-------|--------|--------|-------|
| | | SS | COD _{Cr} | COD _{Mn} | BOD | T-N | T-P | TOC |
| Flat field | E-1 | 11.88 | 0.21 | 0.11 | 0.15 | 0.002 | 0.050 | 0.07 |
| | E-2 | 4.74 | 0.10 | 0.06 | 0.06 | 0.002 | 0.010 | 0.04 |
| | E-3 | 3.08 | 0.09 | 0.07 | 0.05 | 0.006 | 0.009 | 0.04 |
| | E-4 | 0.19 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.006 | 0.004 | 0.01 |
| | E-5 | 4.45 | 0.25 | 0.12 | 0.10 | 0.027 | 0.028 | 0.07 |
| | E-6 | 193.00 | 2.93 | 1.55 | 1.24 | 0.097 | 0.159 | 0.84 |
| | E-7 | 10.70 | 0.16 | 0.09 | 0.07 | 0.011 | 0.023 | 0.04 |
| | E-8 | 21.70 | 0.48 | 0.26 | 0.12 | 0.027 | 0.049 | 0.10 |
| | E-9 | 6.70 | 0.20 | 0.10 | 0.05 | 0.012 | 0.025 | 0.04 |
| | E-10 | 0.40 | 0.08 | 0.04 | 0.03 | 0.005 | 0.011 | 0.02 |
| | E-11 | 0.0019 | 0.0035 | 0.0021 | 0.001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.001 |
| | Average | 23.35 | 0.41 | 0.22 | 0.17 | 0.02 | 0.03 | 0.12 |
| Steep slope field | E-1 | 49.56 | 1.74 | 0.22 | 0.19 | 0.002 | 0.061 | 0.07 |
| | E-2 | 134.27 | 0.19 | 0.12 | 0.07 | 0.003 | 0.012 | 0.05 |
| | E-3 | 10.75 | 0.04 | 0.03 | 0.04 | 0.013 | 0.007 | 0.02 |
| | E-4 | 15.98 | 0.06 | 0.04 | 0.02 | 0.021 | 0.008 | 0.006 |
| | E-5 | 21.69 | 0.63 | 0.20 | 0.20 | 0.159 | 0.033 | 0.09 |
| | E-6 | 825.52 | 2.30 | 1.28 | 0.99 | 0.289 | 0.135 | 0.45 |
| | E-7 | 24.37 | 0.12 | 0.09 | 0.08 | 0.037 | 0.016 | 0.04 |
| | E-8 | 70.17 | 0.64 | 0.36 | 0.22 | 0.057 | 0.032 | 0.10 |
| | E-9 | 5.23 | 0.18 | 0.12 | 0.10 | 0.025 | 0.004 | 0.04 |
| | E-10 | 0.99 | 0.07 | 0.05 | 0.04 | 0.009 | 0.002 | 0.02 |
| | E-11 | 0.29 | 0.05 | 0.04 | 0.03 | 0.029 | 0.004 | 0.02 |
| | Average | 23.35 | 0.41 | 0.22 | 0.17 | 0.02 | 0.03 | 0.12 |

4. 결 론

1) 본 연구에서 평지밭의 유출특성과 경사밭의 유출특성을 강우유출수 모니터링을 통해 분석한 결과 동일한 강우사상에서도 경사도가 증가함에 따라 유출량이 증가하는 결과가 나타났다.

2) 또한 EMC의 산정에서 SS의 변동 폭이 다른 수질항목에 비해 가장 큰 것으로 나타났으며, T-N 항목의 변동 폭이 가장 작은 것으로 나타났다. 이는 연구지역의 특성상 SS농도가 강우사상의 영향을 크게 받으며 T-N의 경우 재배작물인 콩의 질소와 수분의 섭취로 인해 변동 폭이 가장 작은 것으로 판단된다.

3) 비슷한 강우량이 발생한 강우사상일 지라도 유출량에 차이를 보였으며, 심지어 적은 양의 강우가 발생한 경우에 발생한 유출량이 더 큰 결과가 나타났다. 이는 유출량에 영향을 미치는 인자가 강우량 뿐 아니라 강우강도, 강우지속시간, 선행건기일수 등의 영향을 받는 것으로 판단된다. 앞으로 지속적인 장기모니터링을 통해 평지밭과 급경사지 밭의 유출에 강우강도와 강우지속시간, 그리고 선행건기일수가 미치는 영향에 대해 알아 보아야 할 것이다.

사 사

본 연구는 주요 비점오염원 유출 장기 모니터링 및 저감기법 연구과제로 한강수계관리 위원회의 지속적인 연구비 지원을 받아 수행되었습니다.

참고 문헌

- 김건하, 김영철, 이동률, 정하영, 여중현 (2003). 우리나라 농지·임야 유역으로 부터의 강우 유출수 EMC 부하 분석 및 추정. 대한 측량공학회지, **25**(6), pp. 760-770.
- 김길홍, 정하영, 김건하, 김영철, 이동률 (2002). 강우 유출수 EMC농도의 통계학적분석 및 평가. 한국물환경학회/ 대한상하수도 학회 공동춘계학술 발표회 논문집.
- 김석구, 김영임, 강성원, 윤상린, 김소정 (2006). 강우에 의한 도로 비점오염원 유출특성. 대한환경공학회 논문집 pp. 104~110.
- 김이형, 강주현 (2004). 고속도로 강우 유출수 내 오염물질의 EMC 및 부하량 원단위 산정. Journal of Korean Society on Water Quality, **20**(6), pp. 631-640.
- 김찬섭, 이희동, 임양빈, 임건재(2007). 인공강우와 콩재배 포장 라이시메타를 이용한 endosulfan의 유출량 평가. 한국 환경농학회지 **26**(4), pp. 343-350.
- 라석관, 김기성 (1996). 수질에 미치는 비점오염원의 영향. 공업기술연구소 논문 **10**(10), pp. 139~149.

- 방기용, 이준호, 유명진(1997). 도시 소유역에서의 비점오염원 유출특성에 관한 연구. 한국 수질 보전학회지, **13**(1), pp. 79-99.
- 수질오염공정 시험방법(2004). 환경부
- 신용철, 최중대, 임경재, 심혁호, 류창원, 신민환(2005). 농업 소하천에서의 오염부하 특성분석. 한국물환경학회/대한상하수도학회 공동 춘계학술발표회 논문집.
- 최지용, 신은성(1997). 도시지역 비점오염원 관리방안 연구. 한국환경정책 평가 연구원.
- 허승오, 정강호, 하상건, 곽한강, 김정규(2005). 옥수수 재배 경사지 밭에서 물 유출에 따른 토양유실 예측공식. 한국 토양 비료 학회지, **38**(2), pp. 66-71.
- Field, R. and O'Shea, M. L.(1993). Integrated Storm water Management. Lewis pub Ann Arbor.
- Kaspar, T. C., J. K. Radke, and J. M. Laflen(2001). Small grain cover crops and wheel traffic effects on infiltration, runoff and erosion. Journal of Soil and Water Conservation, **56**, pp. 160-164.
- Meisinger, J. J., W. L. Hargrove, F. L. Mikkelsen, J. R. Williams, and V. W. Benson (1991). Effects of cover crops on groundwater quality, Cover crops for Clean Water: Proc. Intl, conference. Soil and Water Conservation Society of America pp. 57-68.
- Novotny, V. and Olem, H. (1993). Water Quality; Prevention, Identification, and Management of Diffuse Pollution. TD420.N69.
- Randall, G. W., D. R. Huggins, M. P. Russelle, D. J. Fuchs, W. W. Nelson, and J. L Anderson(1997). Nitrate lossess through subsurface tile drainage in Conservation Reserve Program, alfalfa and row crop systems. Journal of Environ. Qual, **26**, pp. 1240-1247.
- Sartor, J. D., Boyd, G. D. and Agardy, F. J. (1974). Water Pollution aspects of street surface contaminants. Journal of WPCF, **46**(3), pp. 458~467.
- U. S. EPA(1983). Result of the Nationwide Urban Runoff Program, Water Planning Division. vol 1 Final Report.