

## 강우시 흙탕물 발생 하천의 수질개선 효과분석

정원구<sup>1</sup> · 허인량<sup>1</sup> · 이건호<sup>1</sup> · 김세희<sup>1</sup> · 배철민<sup>2</sup> · 박운지<sup>3,†</sup> · 최승봉<sup>1</sup> · 김종철<sup>1</sup>

<sup>1</sup>강원도보건환경연구원 수계조사과, <sup>2</sup>강원도보건환경연구원 약품화학과, <sup>3</sup>강원대학교 환경공학과

## Analysis of Water Quality Improvement Effects in a Muddy Water Occurrence Stream during Rainfall

Won-Gu Jeong<sup>1</sup>, In-Ryang Huh<sup>1</sup>, Geon-Ho Yi<sup>1</sup>, Se-Hee Kim<sup>1</sup>, Cheol-Min Bae<sup>2</sup>,  
Un-Ji Park<sup>3,†</sup>, Seung-Bong Choi<sup>1</sup>, and Chong-Cheol Kim<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Watershed Research Division, Gangwon Institute of Health and Environment, Chuncheon 24203, Korea

<sup>2</sup>Drug and Chemical Analysis Division, Gangwon Institute of Health and Environment, Chuncheon 24203, Korea

<sup>3</sup>Department of Environment Engineering, Kangwon University, Chuncheon 24341, Korea

Received January 24, 2017/Revised March 15, 2017/Accepted March 21, 2017

We monitored the monthly change of water quality on the site of the nonpoint management area of Heanmyeon in Yang-gu County from 2009 to 2015. We found that SS, TP, and COD values were highly correlated with turbidity water concentration. Additionally, we monitored changes in turbidity using a real-time monitoring system. Using the data, the stage-discharge rating curve was calculated and we analyzed the correlations of COD, SS, and TP with the turbidity value. We found that SS concentration decreased by 48.1~83.6% under 10~30 mm rain fall and 72.1~86.6% under 30~50 mm rainfall as a result of comparing the event mean concentrations (EMCs) of SS with rainfall events that occurred in 2010 and 2014. We analyzed the rainfall and SS discharge rate per area based on the log data. Water quality was higher in 2014 than in 2010 during rainfall events. We concluded that the water quality at Mandae watershed was improved continuously by progress of non-point management policy.

**Key words:** Mandae watershed, Event mean concentration, Improvement effects

### 1. 서 론

“비점오염원”이라 함은 도시, 도로, 농경지, 산지, 공장 등으로서 불특정 장소에서 불특정하게 수질오염물질을 배출하는 배출원을 말한다.<sup>1)</sup> 한강 수계의 팔당댐 상류지역에서 발생하는 비점오염원 유출량에 대하여 조사 현황을 살펴보면, 1999년 말 기준으로 총 발생부하량(BOD기준)이 169,702 ton/year이었으며, 이 중 점오염원에서 발생하는 오염부하량은 80.4%인 136,509 ton/year였고, 비점오염원에서 발생하는 오염부하량은 19.6%인 30,3193 ton/year으로 조사되었다.<sup>2)</sup> 그러나 2010년 말 기준으로 총 발생부하량(BOD기준)은 225,847 ton/year

이었으며, 점오염원에서 발생하는 오염부하량은 33.9%인 76,530 ton/year이었고, 비점오염원에서 발생하는 오염부하량은 66.1%인 149,317 ton/year으로 총 오염원 중 비점오염원의 비중이 큰 폭으로 증가하였다.<sup>3)</sup> 또한, 2006년 7월에 발생한 태풍 ‘에위니아’의 영향으로 소양댐 상류에 위치한 내린천유역과 인북천유역에서 발생한 흙탕물(탁도농도: 100 NTU 이상) 19억 ton이 소양강댐으로 유입되어 수도권 상수원인 팔당호를 비롯하여, 한강수계 전체가 9개월 동안 탁류가 지속되었다. 흙탕물 발생이 지속됨에 따라 하천의 수생태계 파괴, 수자원 감소, 레저관광산업 위축 등 심각한 사회적 문제가 야기되고 있다.<sup>4)</sup>

<sup>†</sup>To whom correspondence should be addressed.

Tel: 82-33-248-6437, Fax: 82-33-248-6500, E-mail: jeongwg68@korea.kr

한편, 정부에서는 한강 수계의 탁수문제를 해결하기 위하여 2007년 8월에 양구군 해안면 지역 59.67 km<sup>2</sup>을 비점오염원 관리지역으로 지정하였고,<sup>5)</sup> 비점오염원관리 종합대책의 일환으로 양구군 해안면에 2008년부터 18억 원을 본격적으로 투자하기 시작하였으며, 2013년까지 흙탕물을 저감시키기 위하여 해안면 63개지구(505필지, 235,000 m<sup>2</sup>)에 약 301억 원의 예산을 집중 투입하였다.

이와 같이 강우시 흙탕물 발생을 억제시키기 위하여 많은 예산이 투입됨에 따라, 정확한 비점오염원의 유출 경로 추적, 설치된 비점오염원 저감시설에 대한 효과, 비점오염원이 유입되는 주변하천에 대한 수질개선 효과 등 다양한 저감정책을 효율적으로 추진하는 것이 필요하다.

그러나 국내에서는 비점오염원 저감시설이 도입되면서 개별처리시설에 대한 처리효율 평가 및 개선방안에 대하여 연구가 진행되고 있으며,<sup>6,7)</sup> 하천유역에 대해서는 강우시 비점오염물질 유출 특성과 강우시 농경지로부터 발생하는 오염물질 배출특성에 대하여 주로 연구하고 있으나,<sup>8-10)</sup> 강우시 비점오염원이 유입되는 하천에 대한 수질개선 효과를 분석한 연구는 미비한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 강우시 만대천유역에서 발생하는 흙탕물을 억제시키기 위한 저감시설의 도입에 따른 수질개선 효과를 분석하고자 하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 연구대상

양구군 해안면에 위치한 만대천은 총 유역면적이 61.52 km<sup>2</sup>이고, 하천의 유로연장은 5.90 km로 지방2급 하천에 해당된다. 만대천은 성황천, 작은저골천, 이현천, 내동천, 월산천, 구시장천, 문정골천, 지뢰천을 제1지류 하천으로 구성하고 있으며, 인제군 서화면에 위치하고 있는 인북천 좌안측으로 유입되어 소양강으로 유입되는 하천이다.<sup>11)</sup>

본 연구에서는 Fig. 1에 나타낸 바와 같이 만대천 하류지역인 물골교지점을 조사대상으로 선정하였고, 물골교지점은 만대천 제일 하류에 위치하고 있는 교량이며, 만대천유역에서 월산천유역을 제외한 53.80 km<sup>2</sup>을 물골교지점의 유역면적으로 사용하였다. 2006년부터 2009년

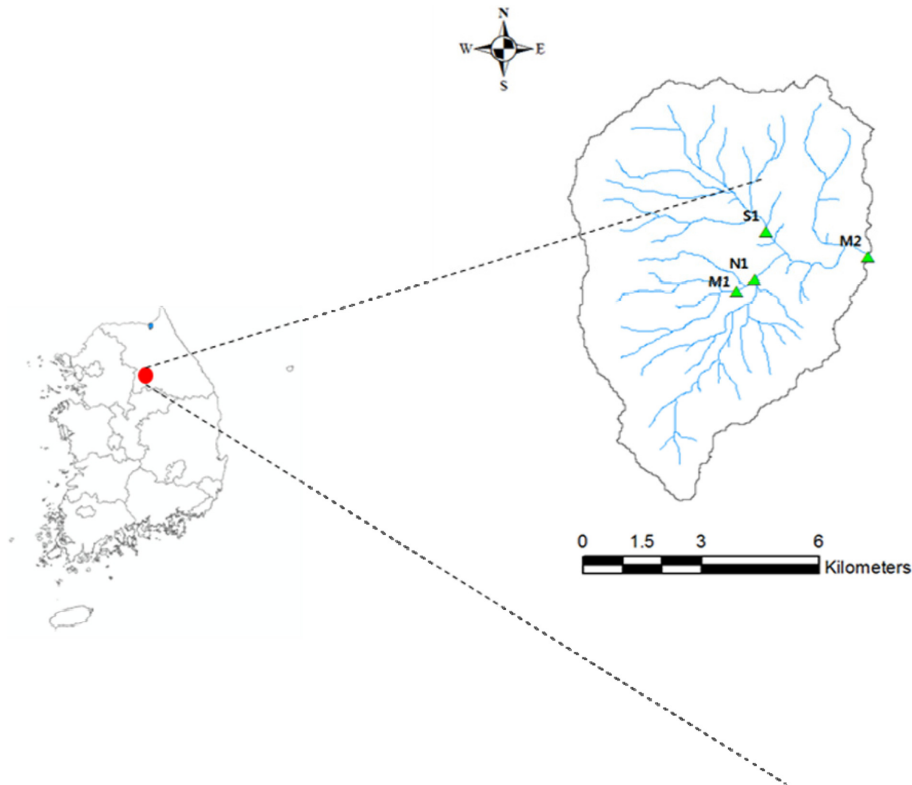


Fig. 1. Study location.

까지 조사대상 유역에 설치된 비점오염원 저감시설은 Fig. 2에 나타난 바와 같이 돌망태, 사면보호, 식생옹벽, 콘트리트 수로 등이 도입되었고, 2011년부터 2012년까지 도입된 저감시설은 주로 소규모 저류지가 설치되었다.<sup>4)</sup> 만대천유역에 설치된 교량중에서 제일 하류에 위치하고 있는 물골교지점에 원격 수위계측기와 탁도계측기를 설치하였으며, 실시간으로 측정된 수위값과 탁도값을 사용하였다. 원격 탁도계측기는 우물식으로 설치하였으나, 운영관리에 많은 어려움이 발생함으로써 수위값, 강우량을 비교하여 탁도값을 선별하였다. 선별한 결과, Table 1에 나타난 바와 같이 강우사상은 2010년에 발생한 7회, 2014년에 발생한 7회를 연구대상으로 선정하였다.

**2.2. 분석방법**

본 연구에서는 연구대상인 물골교지점에 대하여 2009년부터 2015년까지 매달 수질분석을 실시하였다. 분석항목은 화학적산소요구량(chemical oxygen demand: COD), 부유물질(suspended solid: SS), 탁도(turbidity), 총인(totalphosphorus: TP)으로 수질오염공정시험기준에 준하였다.<sup>12)</sup>

또한, 물골교지점에 설치된 원격 수위계측기는 IS Technology사 SLM-FAR15모델을 사용하였고, 원격 탁도계측기는 McVan Instruments사 ANALITE 390

SERIES모델을 사용하였다.

수위-유량곡선식을 산출하기 위하여 연간 실시간 수위값을 사용하였고, 수위값을 보정하기 위하여 매월 물골교지점에서 수위와 유량을 측정하였으며, 탁도값을 보정하기 위하여 매월 현장 시료를 채취하여 실험실에 보유 중인 HACH 2100N TURBIDIMETER 장비로 측정하여 보정 자료로 활용하였다.

**2.3. 수질개선 효과분석 평가방법**

본 연구에서는 강우시 만대천유역의 수질개선 효과를 분석하기 위하여 탁도항목과 SS, TP, COD항목간의 상관관계식을 산출하였으며, 산출한 상관관계식에 2010년과 2014년에 측정된 실시간 탁도값을 적용하여 강우사상별 유량가중평균농도(Event Mean Concentration: EMCs)와 유출부하량을 산출하였다. EMCs와 유출부하량은 아래 식 (1), (2)를 이용하였다.<sup>13)</sup>

$$EMCs = \frac{\sum_{q=1}^N (Q_q \times \Delta t_q \times C_q)}{\sum_{q=1}^N (Q_q \times \Delta t_q)} \tag{1}$$

여기서, EMCs: 강우유출사상(x)별 유량가중평균농도 (mg/L)

Q: 유출량(m<sup>3</sup>/sec)



Fig. 2. Non-point pollution reduction facility site photographs.

**Table 1.** Hydrologic description of rain events sampled in 2010 and 2014

Year	Event	Date	Rainfall (mm)	Rainfall intensity (mm/hr)	Rainfall duration (hr)	Total runoff (m <sup>3</sup> /s)	Runoff ratio	Antecedent dry day (day)
2010	1	07.08	11.0	1.9	5.7	256202.9	0.4	1.9
	2	08.05	14.5	0.5	29.0	412567.6	0.5	0.6
	3	08.04	15.5	1.9	8.0	160406.4	0.2	2.5
	4	07.22	16.5	0.9	19.0	600937.9	0.7	0.9
	5	07.02	42.0	1.8	23.0	431341.8	0.2	2.5
	6	06.12	55.0	2.2	25.0	328118.8	0.1	5.8
	7	05.18	68.5	2.7	25.0	993397.1	0.3	6.2
2014	1	05.15	2.5	1.3	2.0	31785.7	0.2	3.0
	2	06.21	3.5	1.2	3.0	31026.3	0.2	1.2
	3	07.22	6.0	0.7	9.0	165188.5	0.5	3.8
	4	07.03	12.5	2.5	5.0	94540.1	0.1	1.9
	5	04.27	12.6	3.1	4.0	30393.7	0.1	21.4
	6	07.25	37.5	4.2	9.0	228669.2	0.1	0.8
	7	08.18	43.0	1.1	39.0	904041.4	0.4	0.6

C: 특정 오염물질에 대한 농도(mg/L)

$\Delta t$ : 측정시간 간격

N: 총 측정횟수

$$Rx = \frac{\text{유출고}}{\text{총강우량}} = \frac{\sum_{q=1}^N (Q_q \times \Delta t_q) / A}{\sum_{m=1}^M P_m / 1,000} \quad (2)$$

여기서, Rx: 유출고 H와 총강우량의 비

Q: 유출량(m<sup>3</sup>/sec)

P: 강우량(mm)

A: 집수구역면적(m<sup>2</sup>)

N: 유출량의 총 측정횟수

M: 강우량의 총 측정횟수

산출된 EMCs와 유출부하량은 국립환경과학원에서 제시한 강우 유출수 조사방법에 따라 강우 계급구간을 0 mm 이상~10 mm 미만, 10 mm 이상~30 mm 미만, 30 mm 이상~50 mm 미만, 50 mm 이상 4개 구간으로 구분하여 분석하였다.<sup>13)</sup>

## 2.4. 연구내용

양구군 해안면에 위치한 만대천유역의 수질 특성을 파악하기 위하여 물골교지점에 대한 2009년부터 2015년까지의 수질모니터링 자료를 활용하여 탁도 항목과 다른 수질 항목간의 상관관계식을 산출하였다. 산출된 탁도

항목과 다른 항목간의 결정계수 중에서 R<sup>2</sup>=0.8이상인 SS, TP, COD 항목에 실시간 탁도값을 적용하여 강우시 만대천유역의 EMCs와 단위면적 당 유출부하량을 산출하였다. 따라서 본 연구에서는 비점오염 저감정책 추진으로 인한 저감시설의 설치 전 후에 대한 수질개선 효과를 파악하기 위하여 2010년과 2014년에 발생한 강우 사상별 SS EMCs를 비교하였고, 강우량과 단위면적 당 유출부하량의 상관성을 분석하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 강우사상별 강우 특성

연구대상인 2010년에 발생한 강우사상 7회와 2014년에 발생한 강우사상 7회에 대한 강우특성을 선행 무강우일수, 강우지속시간, 강우강도, 강우량, 총 유출량 및 유출률로 구분하여 조사하였다.

Table 1에 나타낸 바와 같이 2010년에 발생한 강우량을 계급구간으로 구분하면 강우량이 10 mm 이상~30 mm 미만일 때 4회, 30 mm 이상~50 mm 미만일 때 1회, 50 mm 이상일 때 2회로 조사되었고, 2014년에 발생한 강우량이 10 mm 미만의 경우 3회, 10 mm 이상~30 mm 미만의 경우 2회, 30 mm 이상~50 mm 미만의 경우 2회로 조사되었다.

강우특성을 계급구간별로 살펴보면, 강우량이 10 mm 이상~30 mm 미만의 경우 2010년에 발생한 3차 강우(강우량: 15.5 mm)가 2차 강우(강우량: 14.5 mm)보다

약간 많았으나, 3차 총 유출량은 2차 총 유출량의 0.39 배 정도로 조사되었고, 강우량이 30 mm 이상~50 mm 미만의 계급구간에서는 2010년에 발생한 5차 강우의 경우 강우량이 42 mm, 6차 강우의 경우 강우량이 55 mm 였으나, 6차 강우에 발생한 총 유출량이 5차 강우에 발생한 총 유출량의 0.67배로 적게 조사되었다. 또한, 3차 강우와 6차 강우의 선행무강우일수가 2.5일, 5.8일로 2차 강우와 5차 강우보다 길게 나타났다. 이는 선행무강우일수가 강우시 유출량에 중요한 영향을 미치는 것으로 조사되었다.<sup>14)</sup>

또한, 2010년과 2014년에 발생한 총 14차 강우에 대하여 강우량과 총 유출량의 상관성을 분석한 결과, 결정계수  $R^2=0.42$ 로 나타났으나, 선행무강우일수가 5.8일인 6차 강우를 제외하면 강우량과 총 유출량의 결정계수  $R^2=0.67$ 로 높아졌다. 이는 강 등의 연구에서도 강우량과 유출량의 상관성을 조사한 결과, 선행무강우일수가 긴 강우사상을 제외하면  $R=0.92$ 로 높게 나타났다.<sup>7)</sup> 따라서 강우시 선행무강우일수가 총 유출량에 미치는 영향이 매우 큰 것으로 조사되었다.

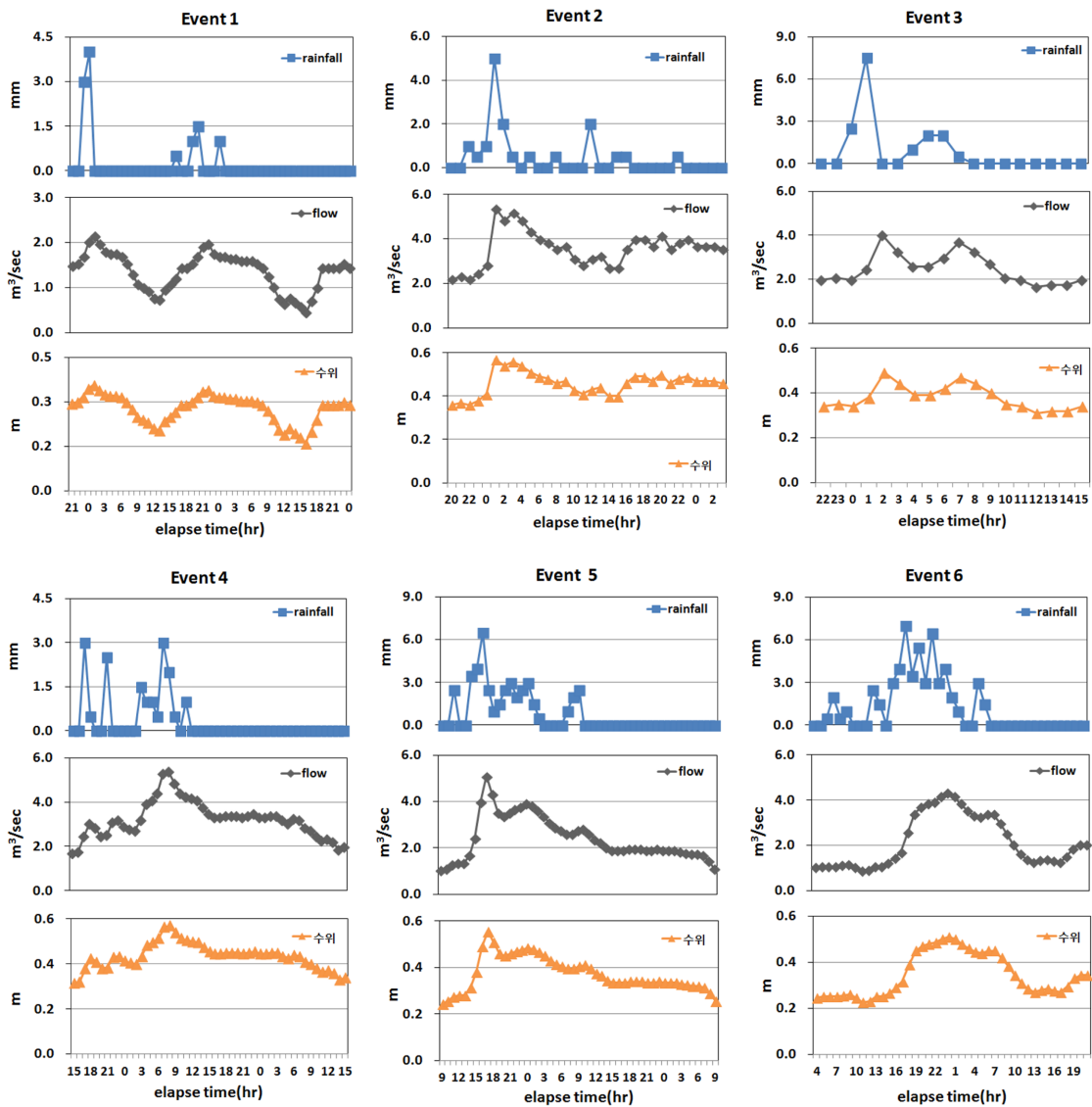


Fig. 3. Rainfall characteristics in 2010.

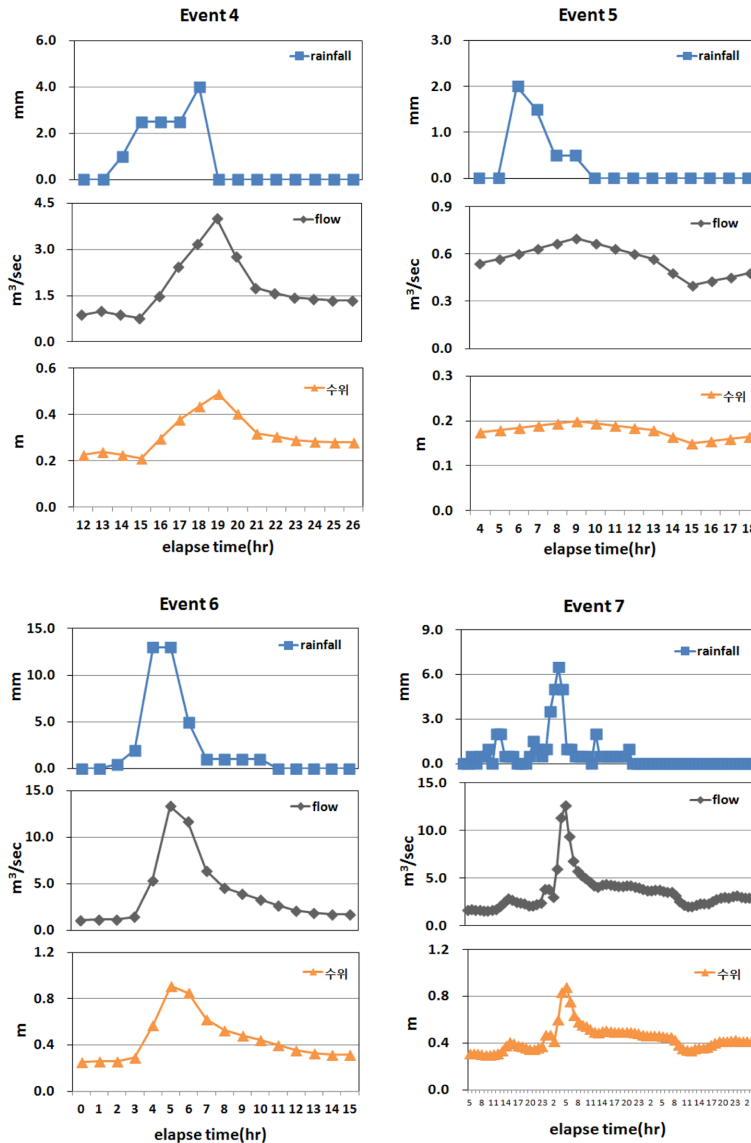


Fig. 4. Rainfall characteristics in 2014.

### 3.2. 강우사상 계급구간별 EMCs

연구대상인 만대천유역의 물골교지점에 대한 강우시 EMCs는 2010년과 2014년에 발생한 강우사상을 계급 구간별로 구분하여 산출하였다.

2010년과 2014년에 발생한 강우사상별 EMCs는 Table 2, Table 3에 나타낸 바와 같이 강우량이 10 mm 이상~30 mm 미만일 때 SS농도는 96.1~303.5 mg/L에서 39.2~49.9 mg/L, COD농도는 4.6~11.4 mg/L에서 2.7~3.1 mg/L, TP농도는 0.192~0.560 mg/L에

서 0.091~0.110 mg/L로 수질이 개선되었고, 강우량이 30 mm 이상~50 mm 미만일 때 SS농도는 399.6 mg/L에서 53.5~111.6 mg/L, COD농도는 14.6 mg/L에서 3.2~5.1 mg/L, TP농도는 0.731 mg/L에서 0.116~0.220 mg/L로 수질이 개선되는 것으로 조사되었다. 그러나 강우사상 계급구간별로 수질이 개선된 EMCs를 하천 생활환경기준에 적용하면, 강우량이 10 mm 이상~30 mm 미만일 때 SS농도는 IV등급, TP농도는 II~III등급을 나타내고 있으며, 강우량이 30 mm 이상~50 mm 미만일

**Table 2.** Characteristics of EMCs in 2010 (Unit: mg/L)

Item	Event	1	2	3	4	5	6	7
Rainfall (mm)		11.0	14.5	15.5	16.5	42.0	55.0	68.0
COD		4.6	6.9	9.4	11.4	14.6	12.7	31.4
SS		96.1	165.8	241.5	303.5	399.6	342.6	909.6
TP		0.192	0.316	0.450	0.560	0.731	0.630	1.636

**Table 3.** Characteristics of EMCs in 2014 (Unit: mg/L)

Item	Event	1	2	3	4	5	6	7
Rainfall (mm)		2.5	3.5	6.0	12.5	12.6	37.5	43.0
COD		3.8	4.1	1.8	3.1	2.7	3.2	5.1
SS		70.3	82.0	10.6	49.9	39.2	53.5	111.6
TP		0.146	0.167	0.040	0.110	0.091	0.116	0.220

**Table 4.** Pollutant loads of rainfall-runoff events of the Mandae-stream (2010) (Unit: kg/day·km<sup>2</sup>)

Item	Event	1	2	3	4	5	6	7
Rainfall (mm)		11.0	14.5	15.5	16.5	42.0	55.0	68.5
COD		526	1,269	671	3,061	2,806	1,819	13,894
SS		10,986	30,521	17,281	81,352	76,892	48,901	403,069
TP		22.0	58.1	32.2	150.2	140.6	89.9	725.0

**Table 5.** Pollutant loads of rainfall-runoff events of the Mandae-stream (2014) (Unit: kg/day·km<sup>2</sup>)

Item	Event	1	2	3	4	5	6	7
Rainfall (mm)		2.5	3.5	6.0	12.5	12.6	37.5	43.0
COD		53	57	132	130	42	326	2,061
SS		997	1135	779	2,105	676	5,458	45,016
TP		2.1	2.3	3.0	4.6	1.5	11.9	88.6

때 SS농도는 VI~VI등급, TP농도는 III~VI에 불과하다. 따라서 강우시 흙탕물 발생을 근본적으로 억제시키기 위해서는 객토금지, 완충식생대 조성사업, 작목전환사업 추진 등 발생원 관리가 필요할 것으로 사료된다.

**3.3. 강우사상 계급구간별 단위면적당 유출부하량**

만대천유역의 물골교지점에 대한 강우시 단위면적당 유출부하량은 2010년과 2014년에 발생한 강우사상을 계급구간별로 구분하여 조사하였다. 조사결과는 Table 4와 Table 5에 나타낸 바와 같이 강우량이 10 mm 이상~30 mm 미만의 계급구간에서 단위면적당 유출부하량은 COD의 경우 526~3,061 kg/day·km<sup>2</sup>에서 42~130 kg/day·km<sup>2</sup>로, SS의 경우 10,986~81,352 kg/day·km<sup>2</sup>에서 676~2,105 kg/day·km<sup>2</sup>로, TP의 경우 22.0~150.2 kg/day·km<sup>2</sup>에서 1.5~4.6 kg/day·km<sup>2</sup>로 감소되었다. 또한,

강우량이 30 mm 이상~50 mm 미만의 계급구간에서 단위면적당 총 유출부하량은 COD의 경우 2,806 kg/day·km<sup>2</sup>에서 326~2,061 kg/day·km<sup>2</sup>, SS의 경우 76,892 kg/day·km<sup>2</sup>에서 5,458~45,016 kg/day·km<sup>2</sup>로, TP의 경우 140.6 kg/day·km<sup>2</sup>에서 11.9~88.6 kg/day·km<sup>2</sup>로 감소되었다.

**3.4. 수질개선 효과분석**

비점오염 저감시설 도입으로 인한 강우시 만대천유역의 수질개선 효과분석은 2010년과 2014년에 발생한 강우량을 계급구간별로 SS EMCs와 단위면적당 유출부하량을 비교하였고, 단위면적당 SS 유출부하량과 강우량에 로그함수를 적용하여 상관성을 평가하였다.

비점오염원 저감정책이 본격적으로 추진되기 전·후에 대하여 SS EMCs를 비교한 결과, 강우량이 10 mm 이

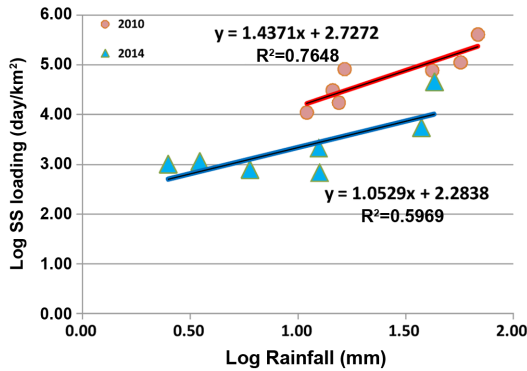


Fig. 5. Analysis of muddy water quality improvement effects during rainfall.

상~30 mm 미만의 계급구간에서 48.1~83.6%, 강우량이 30 mm 이상~50 mm 미만 계급구간에서 72.1~86.6%로 수질이 개선되는 것으로 조사되었다. 또한 Fig. 5에 나타낸 바와 같이 SS 단위면적당 유출부하량과 강우량에 로그함수를 적용하여 그래프 기울기로 분석한 결과, 강우량 증가에 따른 2014년의 탁도농도 증가량(Log 탁도 = 1.0529)은 2010년의 탁도농도 증가량(Log 탁도 = 1.4371)보다 작게 나타났다. 따라서 2010년에 비하여 2014년에 강우시 만대천유역의 수질이 개선되는 것으로 조사되었다.

한편, 김 등이 조사한 결과에서는 만대천유역에서 발생한 강우량과 SS의 면적 당 부하량은 2009년과 2014년이 유사하였고, 2010~2013년은 감소한 것으로 나타났다<sup>4)</sup>, 본 연구에서는 강우사상 계급구간이 10 mm 이상~50 mm 미만 계급구간에서 2010년보다 2014년에 강우시 SS EMCs와 단위면적당 SS 유출부하량이 감소되는 것으로 조사되었다. 그러나 제한적인 강우사상 계급구간(2.5 mm 이상~68.5 mm)에서만 강우시 수질이 개선되었고, 전반적인 강우사상 계급구간에서 수질개선 효과를 파악하기 위해서는 효율적인 실시간 원격 탁도 측정기 운영과 장기 모니터링 조사가 요구된다.

이와 같이 만대천유역의 수질이 개선된 원인은 정부에서 흙탕물 발생문제를 제도권에 포함시킴과 동시에 흙탕물 발생을 억제시키기 위한 침전지, 완충식생대 조성, 과수작목 전환사업 등 저감대책을 지속적으로 추진한 결과라고 사료된다.

그러나 만대천유역에서 발생한 강우사상 계급구간이 10 mm 이상~30 mm 미만, 30 mm 이상~50 mm 미만일 때 유출되는 SS EMCs는 39.2~111.6 mg/L로 하천수 생활환경기준 25 mg/L을 만족시키지 못하고 있는 상황이다. 따라서 하천수 생활환경기준을 만족시키기 위해서는 근본적으로 발생 후 관리보다 객토금지, 작목전환사업 등 발생원관리로의 전환이 필요할 것으로 판단된다.

### 3.5. 탁도와 수질 항목간 상관성 분석

본 연구에서는 만대천유역의 물골교지점을 대상으로 2009년부터 2015년까지 수질 자료를 활용하여 탁도 항목과 SS, TP, COD, TOC 항목에 대하여 항목별 상관성을 비교, 분석하였다.

탁도 항목과 다른 수질 항목간의 상관성은 Table 6에 나타낸 바와 같이 탁도 항목과 SS 항목간의 결정계수  $R^2=0.9658$ 로 가장 높게 나타났고, 유기물 항목 중에서는 탁도 항목과 COD 항목간의 결정계수  $R^2=0.8460$ 으로 높게 나타났다. 또한 탁도 항목과 영양염류인 TP 항목간의 결정계수  $R^2=0.8212$ 로 높게 나타났다.

## 4. 결 론

본 연구에서는 2010년과 2014년에 발생한 강우사상을 계급구간별로 SS EMCs와 단위면적당 유출부하량을 산출하였고, 비점오염원 저감시설의 도입으로 인한 만대천유역의 수질개선 효과를 분석한 결과는 다음과 같다.

1. 강우시 선행무강우일수가 유출량에 미치는 영향이 매우 큰 것으로 조사되었다.
2. 강우사상 계급구간별로 EMCs를 평가한 결과, SS

Table 6. Analysis of correlations between turbidity and SS, TP, and COD (X=Turbidity [NTU], n=84)

Item	Equation	R <sup>2</sup>	p-value
SS	SS=1.0703x+4.3156	0.9658	<0.05
TP	TP = 0.0019x+0.0291	0.8212	<0.05
COD	COD = 0.0352x+1.5816	0.8460	<0.05
TOC	TOD = 0.02x+1.21	0.5860	<0.05
BOD	BOD = 0.01x+1.02	0.3394	<0.05
TN	TN = -0.003x+4.77	0.0105	<0.05

농도는 강우량 10 mm 이상~50 mm 미만의 계급구간에서 48.1~86.6%의 수질개선 효과가 있는 것으로 조사되었다.

3. SS 단위면적 당 유출부하량과 강우량에 대한 상관성을 그래프 기울기로 비교한 결과, 10 mm 이상~50 mm 미만의 계급구간에서 2010년에 비하여 2014년에 수질이 개선되는 것으로 조사되었다.

4. 물골교지점에 대한 탁도 항목과 다른 수질 항목간의 상관성을 분석한 결과, 탁도 항목과 SS 항목의 결정계수  $R^2=0.9658$ 로 가장 높게 나타났고, 탁도 항목과 COD 항목의 결정계수  $R^2=0.8460$ , 탁도 항목과 TP 항목의 결정계수  $R^2=0.8212$ 로 높게 나타났다.

5. 만대천유역의 수질이 개선된 요인은 정부에서 흙탕물 발생문제를 제도권에 포함시킴과 동시에 흙탕물 발생을 억제시키기 위한 침전지, 완충식생대 조성, 과수작목 전환사업 등 저감대책을 지속적으로 추진한 결과라고 사료된다.

6. 강우시 만대천 수질을 하천수 생활환경기준(SS=25 mg/L 이하)에 만족시키기 위해서는 근본적으로 발생 후 관리보다 객토금지, 작목전환사업 등 집중적인 발생원 관리가 필요할 것으로 판단된다.

## 사 사

본 연구는 환경분야 국제기반 구축사업 지원에 의해

이루어진 것이며, 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

1. 환경부, 수질 및 수생태계 보전에 관한 법률, 2011.
2. doopedia, <http://www.doopedia.co.kr/mv.do?id=101013000733003>, 2017년 1월.
3. 환경부, “제2차 비점오염원관리종합대책”, 2012.
4. 김법철, “소양호 비점오염원 관리지역모니터링 및 평가(VI)”, 환경부, 2014.
5. 환경부, “비점오염원관리종합대책”, 2008.
6. 최지용, “유역관리를 통한 다목적댐 저수지의 효율적인 탁수 관리방안”, 한국환경정책평가연구원, 2008.
7. 이진희, “개발사업의 비점오염 영향평가방법 개발을 위한 기초연구”, 한국환경정책평가연구원, 2015.
8. 광동희, “섬진강댐 상류 유역의 강우시 비점오염물질의 유출 특성”, *상하수도학회*, 2008.
9. 신재영, “도라지와 감자 재배가 유출과 비점오염부하에 미치는 영향”, *한국농공학회*, 2012.
10. 강미아, “강우시 비점오염원의 오염부하 특성-고구마 재배지를 대상으로-”, *대한지질공학회*, 2009.
11. 환경관리공단, “만대천 토사 저감사업 타당성 및 기본 계획”, 2008.
12. 환경부, “수질오염공정시험기준”, 2011, 시행 2011.10.29, 법률 제10616호.
13. 국립환경과학원, “강우 유출수 조사방법”, 2012.
14. 강미아, “강우시 비점오염원의 오염부하특성”, *지질공학회지*, 2009.