



# 만대 · 가아 · 자운지구 비점오염 유출특성 분석 및 저감사업 평가

## Characteristics of Non-point Pollution Runoff in Mandae, Gaa, and Jaun Districts and Evaluation of Reduction Projects

우수민<sup>a</sup> · 금동혁<sup>b</sup> · 홍은미<sup>c,†</sup> · 임경재<sup>d</sup> · 신민환<sup>e</sup>

Woo, Soo-Min · Kum, Dong-Hyuk · Hong, Eun-Mi · Lim, Kyoung-Jae · Shin, Min-Hwan

### ABSTRACT

Due to muddy water from the highland fields upstream of Soyangho Lake, the Mandae, Gaa, and Jaun have been redesignated as NPS management areas. This study aims to evaluate the adequacy and supplementation points of the implementation plan by analyzing the operation status of muddy water generation and reduction facilities through on-site investigations by NPS management area to achieve the effective nonpoint pollution reduction goal in the implementation of the implementation plan established in 2020. The SS load calculated based on the survey results from July to October 2019 from 2017 showed a decrease in 2019 compared to 2017. Both and the Jaun were analyzed to have decreased. However, the amount of precipitation also decreased by about 27%, so it was judged that the effect of the reduction project was not significant. As a result of the detailed investigation of abatement facilities, about 86% of the 793 facilities installed in the management area were evaluated as 'good'. As a result of a detailed investigation by subwatersheds, subwatersheds 105 and 106 in the Mandae were analyzed as comprehensive subwatersheds. appeared to fall. In addition, it was analyzed that the effect of reducing muddy water in the Mandae district was insufficient due to the high ratio of leased farmers, lack of efforts to reduce turbid water in leased farmland, conversion to annual crops, and neglect of bare land. In the case of Gaa district, although the abatement facilities are concentrated in the upstream, muddy water was also found to be severe.

**Keywords:** Non-point Sources (NPS); NPS management areas; implementation plan; reduction facilities; detailed investigation; comprehensive subwatershed

## 1. 서론

강원도 내 고랭지밭에서 강우 시 배출되는 비점오염물질이 하류 수계의 수질 및 수생태계에 지속적으로 악영향을 미치면서 비점오염원의 관리 필요성이 증대되었고, 유실된 토사가 하류 수계에 고탁수 문제를 장기화 시키면서 탁수 관리에 대한 정부와 국민의 인식을 변화시켰다 (Lee, 2008; Hyun, 2010). 특히 수도권 식수원인 북한강 수계 소양호에서 2006년 태풍 에위니아로 발생된 탁수가 약 280일간 지속되면서 환경적·사회적 문제가 발생됨에 따라 정부차원의 정책개발과 흙탕물 발생 저감을 위한 다양한 사업이 추진되었고, 소양호는

전국 최초로 2007년 8월 비점오염원 관리지역으로 지정·고시되었다. 이에 따라 환경부는 2007년 12월 소양호 비점오염원 관리대책을 수립하고 (ME, 2007), 강원도는 2010년 소양호 비점오염원 관리지역 관리대책에 대한 시행계획을 수립하였다 (GP, 2010). 시행계획에 따라 관리지역 내 토양 유실 및 탁수 개선 등을 위해 비점오염원 관리지역에서는 식생배수 및 식생도랑, 겨울피복 작물재배 및 양분관리, 재배작물 작목 전환, 경운방법 개선, 객토 관리 등의 발생원 관리대책, 유출경로 관리 정책 및 다양한 비점오염 저감시설 설치 등의 노력을 기울였고, 2014년 12월 소양호는 관리목표인 탁도 50 NTU를 달성하면서 비점오염원 관리지역에서 해제되었다 (Jeon, 2015).

그러나 소양호 상류 유역은 여전히 고도 400 m 이상, 경사도 15% 이상인 급경사지에 분포하고 있는 고랭지밭에서의 토양유실이 일반 농경지에 대비 최대 82.9% 높게 나타나고 있는 등 문제가 끊임없이 대두되고 있고 (Choi, 2009), 강우 시 발생된 흙탕물이 하류에 인접한 자치단체에도 사회적·경제적으로 피해를 주고 있는 실정이다. 이러한 문제들로 인하여 2015년 10월 소양호 상류에서 전체 밭 면적 중 고랭지밭 비율이 약 50%에 달하는 등 고랭지밭 밀집지구로 구분되는 만대·가아·자운지구가 비점오염원 관리지역으로 재지정되

<sup>a</sup> Assistant Manager, EM Research Institution

<sup>b</sup> Director, EM Research Institution

<sup>c</sup> Assistant Professor, Department of Environmental Sciences, Kangwon University

<sup>d</sup> Professor, Department of Agricultural Engineering, Kangwon University

<sup>e</sup> Director, EM Research Institution

<sup>†</sup> Corresponding author

Tel.: +82-33-250-8571

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

Received: September 17, 2021

Revised: November 19, 2021

Accepted: December 10, 2021

었다 (ME, 2016). 만대·가아·자운지구에는 비점오염저감을 위해 약 1,055 억원 규모의 비점오염저감시설 설치, 거버넌스 구성, 발생원관리대책이 수립되었고, 각 관리목표지점별 5~30% 유량구간에서 SS농도 만대지구 60.3 mg/L, 가아지구 17.7 mg/L, 자운지구 42.0 mg/L를 2026년까지 90% 달성하는 것을 목표로 시행계획이 수립되었다 (GP, 2020). 따라서, 효과적인 비점오염원 저감 목표 달성을 위해 현재 상태를 평가하고 계획상 미흡한 점은 없는지 파악하는 것이 매우 중요한 시기로 판단된다. 특히 비점오염원관리지역에는 그동안 막대한 예산이 투입되어 다양한 비점오염원 저감시설이 설치되었지만, 뚜렷한 비점오염 저감효과가 나타나지 않았는데 (WREO, 2015), 이에 대해서 저감시설이 부족한 것인지 유지관리 소홀에 따라 저감시설로서의 기능을 제대로 못하고 있는지 등에 대한 명확한 원인 파악은 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구의 목적은 비점오염원관리지역이 재지정됨에 따라 2017년부터 2020년까지 수행한 강우시, 비강우시 모니터링 결과 및 2020년 수행한 소하천별 정밀조사를 바탕으로 2020년 수립된 시행계획의 추진에 효과적 비점오염저감 목표 달성을 위해 비점오염원관리지역별 현장조사를 통한 흙탕물 발생을 분석하고, 현장조사를 통해 기 설치된 저감시설의 운영상태를 분석하여 시행계획의 적절성 및 보완점을 평가하는데 있다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 연구대상지역

2015년 비점오염원 관리지역으로 재지정된 인북천 유역 만대지구와 가아지구, 내린천 유역 자운지구는 3개 군, 10개 읍면동을 총괄하여 광범위하게 지정되어 있던 소양호 비점오염원 관리지역을 실효성 있는 사업 추진 및 관리가 이루어질 수 있도록 관리면적을 약 10%로 크게 줄여 3개 비점오염원 관리지역, 4개의 읍면동으로 지정되었다. 만대지구의 면적은 64.14 km<sup>2</sup>로 양구군 해안면, 인제군 심적리, 가전리를 포함하며, 가아지구의 면적은 47.30 km<sup>2</sup>로 인제군 인제읍 가아리를 포함한다. 자운지구의 면적은 133.18 km<sup>2</sup>로 홍천군 내면 창촌리, 광원리, 자운리를 포함한다. 비점오염 관리지역 내 경작지 면적은 총 29.70 km<sup>2</sup>으로 만대지구 16.80 km<sup>2</sup>, 가아지구 1.45 km<sup>2</sup>, 자운지구 11.46 km<sup>2</sup>의 경작지가 분포하여 있다 (WREO, 2021). 우수계통은 만대지구의 경우, 만대천을 중심으로 월산천, 구시장천, 성황천, 방추골천, 청룡안골천, 상명천, 방추골일천, 이현천, 화수천, 수화골천, 작은저골천, 큰저골천, 운전천, 둔정골천, 내동천, 내동3천, 내동2천, 지뢰골천 등 18개

소하천으로 구성되어 있으며 만대천은 인북천과 합류하여 소양강으로 유입된다. 가아지구는 가아천을 중심으로 작은터천, 큰터골천, 갑박골천, 다소골천, 용수골천, 피지개천, 보래골천, 배나무골천 등 8개 소하천으로 구성되어 있으며, 가아천은 인북천과 합류하여 소양강으로 유입된다. 자운지구는 원당천, 대계천, 소계천, 소한천, 대한동천, 헌터골천, 조항천, 중조항천, 하조항천, 운도천, 어용골천, 뱃재천, 용장골천, 덕두천 등 14개 소하천으로 구성되어 있으며, 자운천은 내린천과 합류하여 소양강으로 유입된다 (Fig. 1).

## 2. 비점오염유출특성 분석

### 가. 비점오염 유출 모니터링

비점오염 관리지역의 흙탕물 발생을 평가하기 위해 만대지구 만대천 말단의 물골교, 가아지구 가아천 말단의 솔정교, 자운지구 자운천 말단의 자운교를 조사지점으로 선정하여 유량 및 SS를 모니터링하였다. 유속은 도섭법으로 측정하였으며, 유속면적법을 이용하여 하천 유량을 산정하였다. 강우시 고수위로 인하여 도섭법을 이용한 유량 측정이 어려운 홍수기는 실측한 수위와 유량 데이터를 바탕으로 수위-유량 곡선을 산정하고, 수변에 부자식 수위계 (Thalimedes, OTT Hydrometrie)를 설치하여 계측한 수위데이터를 유량으로 환산하였다. 비강우시 시료채취는 현장에서 직접 채취하였으며, 강우시는 자동시료채취기 (ISCO 3700 Sampler, ISCO)를 2시간 간격으로 채취하여, 수질오염공정시험기준 (2020)에 준하여 분석을 실시하였다. 지점별 실측 유량과 SS농도 자료를 구축하고, 오염부하 산정 방법인 NI (Numeric Integration) 방법을 활용하여 유출사상에 따른 오염부하를 정량적으로 평가하는 WAPLE (Choi et al., 2015) 시스템을 이용하여 SS 부하량 및 Event Mean Concentration (EMC)를 산정하였다. 부하량 및 EMC는 연도별로 강우가 집중되는 7월부터 10월까지의 조사데이터를 활용하였으며, 이를 바탕으로 연도별 수질경향을 분석하였다.

### 나. 비점오염 저감시설 유지관리상태 현장조사

만대·가아·자운지구는 비점오염 관리지역으로 지정된 이후 비점오염 저감사업을 통해 침사지, 수로, 식생토낭, 돌망태, 옹벽, 사면매트 등의 다양한 비점저감시설이 설치되었다 (Fig. 2). 2019년까지 만대지구는 수로형시설이 65개, 사면보호시설이 154개, 침사지시설이 3개, 기타 5개 시설 등 총 227개 시설, 가아지구는 수로형시설이 75개, 사면보호시설이 59개, 침사지 7개, 기타 6개 시설 등 총 147개 시설이 설치 및 운영 중인 것으로 조사되었다. 자운지구는 수로형시설이 75

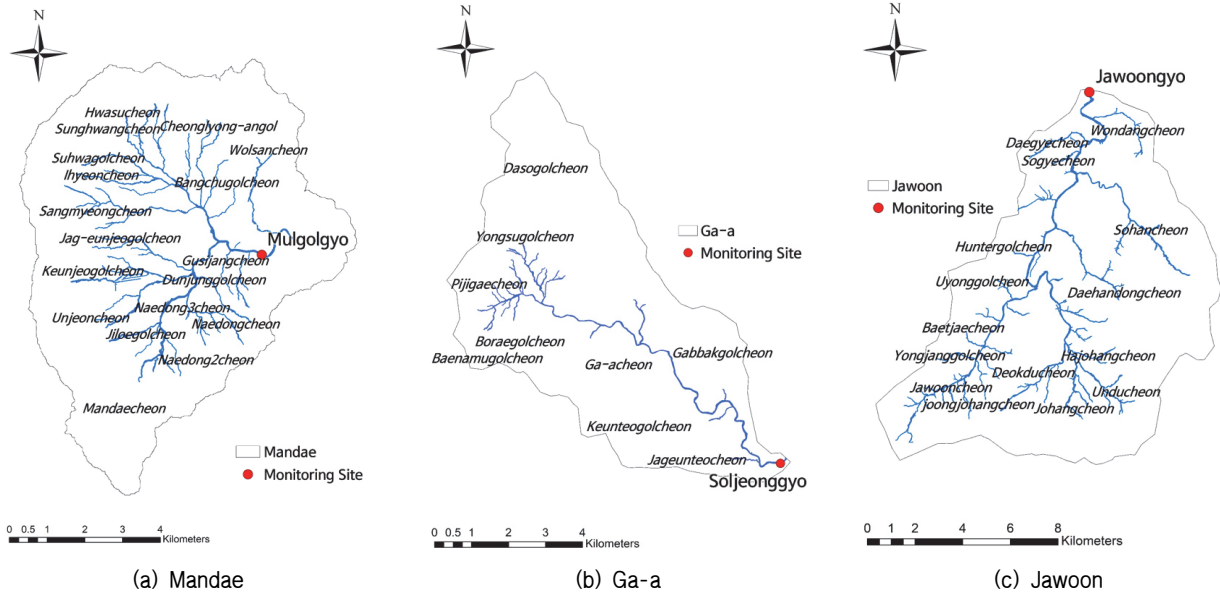


Fig. 1 Monitoring point by management watershed

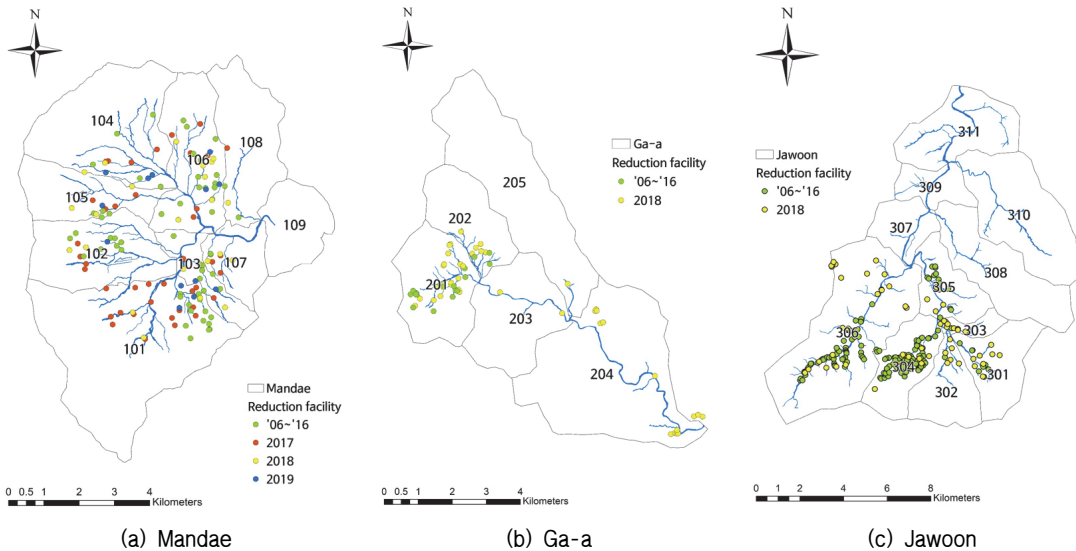


Fig. 2 Location of non-point source reduction facility

개, 사면 보호시설이 232개, 침사지 5개, 기타 2개 시설 등 총 314개 시설이 설치 및 운영중에 있다 (WREO, 2021). 그리고 2020년 ‘소양호 상류 비점오염원 관리대책 시행계획’을 통해 2026년까지 대형 침사지 및 개비온 옹벽, 우회수로 등의 저감시설 설치등의 계획이 수립되었다.

비점오염 저감시설을 통해 계획된 저감 목표를 달성하기 위해서는 시설 설치 뿐만 아니라 유지관리 또한 매우 중요하다. 그런데 유지관리 소홀로 저감시설로서의 기능이 상실된다면 막대한 예산을 투입하는 저감사업에 큰 효과를 기대하

기는 힘들 것으로 판단된다. 따라서 지속적인 비점오염저감 시설의 관리가 매우 중요한데, 본 연구에서는 만대지구와 자운지구 그리고 가아지구에 설치된 비점오염 저감시설에 대한 유지관리 상태를 파악하기 위해 현장조사를 수행하였다. 비점오염 저감시설의 유지관리 상태는 원주지방환경청에서 Table 1과 같이 기능성, 안정성, 환경성, 민원성 항목으로 구분하여 50점 이하는 불량, 50~70점은 보통, 70점 이상은 양호로 저감시설의 관리상태 등급을 분류하는 체계를 이용하여 평가하였다 (WREO, 2021).

**Table 1** Example For Maintenance Status Assessment Table (Slope Stabilize)

Category	Contents	Score	Measure			
Funtional (40)	Broken condition	20	No breakage	Damage less than 5%	Damage more than 20%	Damage more than 50%
			Reduction function possible	Reduction function maintenance	Reduced reduction function	No reduction function
			20	15	10	0
	Deformed state	20	No deformation	Deformed less than 5%	Deformed more than 30%	Deformed more than 50%
			Reduction function possible	Reduction function maintenance	Reduced reduction function	No reduction function
			20	15	10	0
Stability (30)	Ground stability	15	No ground problem	Subsidence less than 5%	Subsidence more than 10%	Subsidence more than 20%
			Reduction function possible	Reduction function maintenance	Reduced reduction function	No reduction function
			15	10	5	0
	Slope stability	15	No slope corrosion	Corrosion less than 5%	Corrosion more than 10%	Corrosion more than 20%
			Reduction function possible	Reduction function maintenance	Reduced reduction function	No reduction function
			15	10	5	0
Environmental (20)	Surrounding vegetation	10	Lots of vegetation	Adequate vegetation	No vegetation	-
			Reduction function possible	Reduction function maintenance	No reduction function	
			10	5	0	
	Contaminants	10	No contaminants	Some contaminants	Need to remove	
			Reduction function possible	Reduction function maintenance	No reduction function	
			10	5	0	
Complaints (10)	Possibility of complaints	10	No complaints	Some complaints	Complaints	
			Reduction function possible	Reduction function maintenance	No reduction function	
			10	5	0	

다. 하천별 흙탕물 발생 정밀조사

비점오염 관리지역 내 흙탕물 발생 우심 소유역을 분석하기 위해 강우시 하천별 SS 농도를 정밀조사하였다. 조사지점은 지적도의 지목구분에서 ‘천’과 ‘구’를 분류하고, 항공사진을 통해 하천 합류부 및 접근성 등을 고려한 조사 가능 여부 지점을 판단하여 선정하였다. 조사 지점은 Fig. 3과 같이 ‘소양호 상류 비점오염원 관리대책 시행계획’ 소유역 기준 만대지구 102 소유역 13개 지점, 101 소유역 11개 지점 등 총 54개 지점을 선정하였다. 가아지구, 자운지구 또한 동일한 기준으로 정밀조사 지점을 선정하였으며, 가아지구 조사 지점은 최상류 소유역인 201 소유역 13개, 202 소유역 7개 지점 등 총 28개 지점을 선정하였고 자운지구는 306 소유역 25개 지점, 305 소유역 11개 지점 등 총 72개 지점을 선정하였다. 만대지구와 가아지구는 199.0 mm의 강우 (선행강우 310.5 mm)가 발생한 2020년 8월 5일 조사가 수행되었고, 자운지구는 84.0 mm의 강우 (선행강우 381.0 mm)가 발생한 2020년 8월 6일 조사를 수행하였다. 또한 비점오염원 관리지역 내 주요한 비점오염원인 고랭지밭의 비율을 산정하여, 정밀 조사 결과와 연계하여 우심 소유역을 선정하였다 (Table 2).

3. 비점오염 관리지역 시행계획 검토

2020년 수립된 ‘소양호 상류 비점오염원 관리대책 시행계획’에서는 비점오염 관리지역 내 토사유출의 주요 발생원인 고랭지 경작지와 소유역별 토사 침식량 예측자료를 활용하여 만대, 가아, 자운지구 내 우선관리지역을 선정하였다. 만대지구의 경우 1순위 소유역은 101, 102, 104 소유역, 2순위 소유역은 105, 106, 108 소유역, 3순위 소유역은 107, 109, 103 소유역으로 선정하였으며 가아지구는 1순위 소유역으로 201, 202 소유역, 2순위 소유역으로는 204 소유역, 3순위로는 203, 205 소유역을 선정하였다. 자운지구의 1순위 소유역은 306, 311, 305, 301 소유역, 2순위 소유역은 304, 307, 310, 308 소유역, 3순위 소유역은 309, 302, 303 소유역으로 선정되었다 (GP, 2020).

본 연구를 통해 조사된 비점오염 관리지역별 저감시설 유지관리 현황조사 및 소유역별 정밀조사를 바탕으로 흙탕물 발생 우심소유역을 분석하고 효과적으로 비점오염원관리지역의 흙탕물 저감 목표를 달성하기 위해 시행계획상의 우심 소유역과 비교·검토하였다.

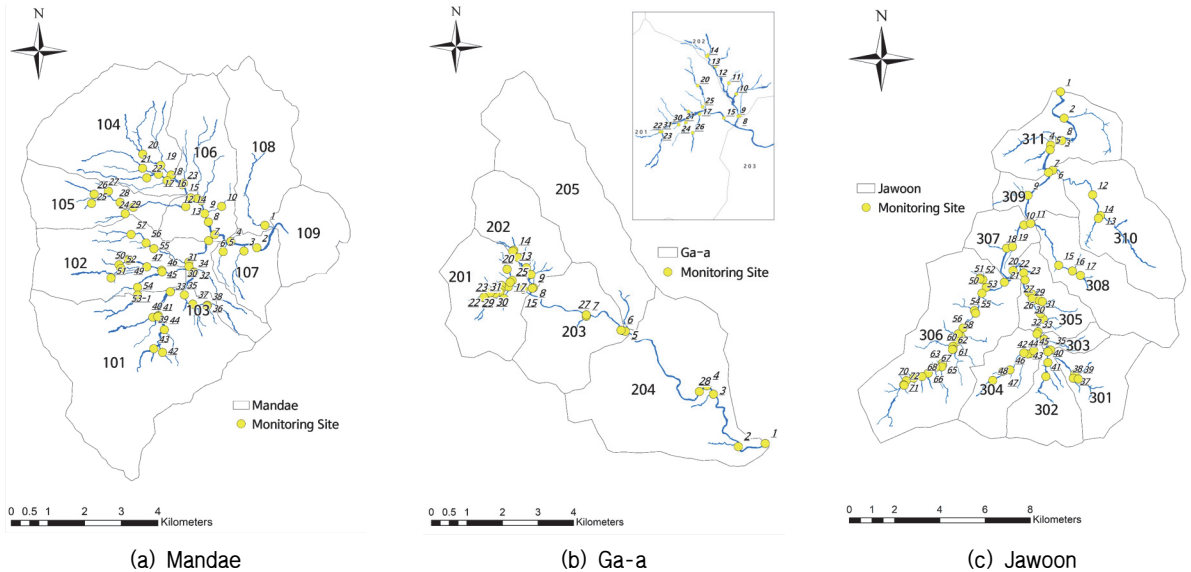


Fig. 3 Investigation Point Location

Table 2 Information of investigation in management area

Area	Monitoring site	Investigation date	Rainfall (mm)
Mandae	54	2020-08-05	199.0
Ga-a	28	2020-08-05	
Jawoon	72	2020-08-06	84.0

### III. 결 과

#### 1. 비점오염 관리지역별 흙탕물 발생 분석

비점오염관리지역별 흙탕물 발생경향 분석을 위해 WAPLE 시스템을 활용하여 SS 항목의 연도별 EMC 및 부하량을 산정하였다. EMC는 2017년부터 2019년 7월부터 10월까지 물골교 19회, 솔정교 18회, 자운교 16회 수행된 강우조사 결과를 활용하였다. 조사한 강우 사상들의 평균강수량, 최대강우강도, 평균강우강도를 산정하여 연도별값을 Table 3에 정리하였다. 부하량은 2017년부터 2019년의 7월부터 10월까지 강우 및 비강우시 조사결과를 사용하여 분석하였다 (Fig. 4, Table 4). 비강우시 EMC 및 부하량 산정결과는 Fig. 4 및 Table 4에 정리하였다.

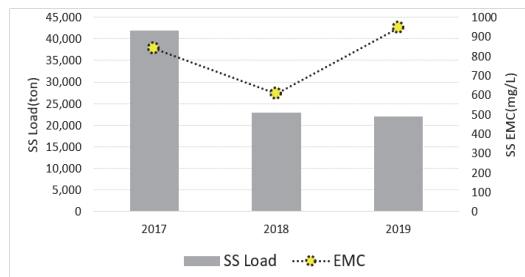
EMC 산정 결과 만대지구는 2017년 837.9 mg/L, 2019년 943.2 mg/L로 분석되었으며 가아지구는 2017년 104.8 mg/L, 2019년 128.8 mg/L로 분석되었다. 자운지구는 2017년 292.6 mg/L, 2019년 165.3 mg/L로 분석되었다. 자운지구의 EMC

는 감소한 것으로 나타났고, 만대지구 및 가아지구의 EMC는 오히려 증가한 것으로 분석되었다. 만대지구와 가아지구의 강우강도가 2017년 대비 2019년 증가한 반면 자운지구는 감소한 것으로 나타났다. 선행연구에 따르면 오염물질의 발생은 강우강도가 증가함에 따라 전반적으로 증가하는 경향을 나타낸다 (Yang, 2006). 이러한 결과는 강우강도의 감소에 의한 영향으로 판단된다.

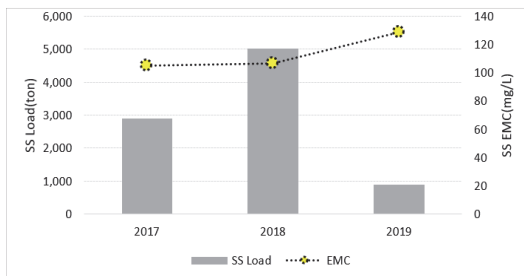
SS 부하량은 2017년 대비 2019년 만대지구 19,922 ton, 가아지구 2,004 ton, 자운지구 3,489 ton 감소한 것으로 분석되었다. 연도별 부하량 산정결과로는 흙탕물이 점차 저감되는 것으로 보일 수 있겠으나, 해당 비점오염원 관리지역의 2019년 강수량 또한 2017년 대비 약 27% 감소한 것으로 나타났다. 이에 SS EMC 및 부하량 분석 결과로 판단할 때, 비점저감시설의 효과 보다는 아직 강우에 의한 영향이 흙탕물 발생에 큰 영향을 미치고 있는 것으로 나타나, 비점오염저감사업의 효과가 크게 나타나지 않고 있다고 판단된다.

Table 3 Rainfall characteristics by Year

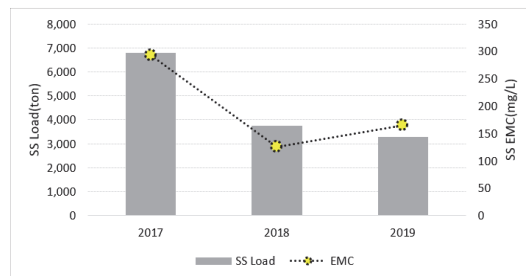
Item	Mandae			Ga-a			Jawoon		
	2017	2018	2019	2017	2018	2019	2017	2018	2019
Avg. rainfall (mm)	72.2	98.4	61.3	71.1	72.3	60.1	149.2	76.2	48.7
Max. rainfall intensity (mm/hr)	18.4	16.4	13.3	14.3	12.7	11.7	29.8	14.4	10.7
Avg. rainfall intensity (mm/hr)	1.8	3.9	3.0	1.5	3.1	3.1	2.1	3.5	1.5



(a) Mandae



(b) Ga-a



(c) Jawoon

Fig. 4 SS load (2017~2019) for each management watershed

**Table 4** Pollution load and EMC by year for each management watershed

Watershed		Rainfall (mm)	SS Load (ton)	SS EMC (mg/L)
Mandae	2017	917.0	41,980	837.9
	2018	872.5	22,946	606.4
	2019	670.0	22,058	943.2
Ga-a	2017	835.5	2,902	104.8
	2018	690.0	5,018	106.8
	2019	540.0	898	128.8
Jawoon	2017	1,236.0	6,785	292.6
	2018	767.0	3,749	124.7
	2019	618.0	3,296	165.3

**2. 비점오염 저감시설 유지관리상태 평가**

비점오염원관리지역의 비점오염저감시설의 상태를 평가하기 위해 현장 전수조사를 수행하였다.

만대지구는 총 332개의 개별 비점오염 저감시설에 대한 조사가 이루어졌으며, 80.4% (267개)는 양호, 2.7% (9개)는 보통, 6.6% (22개)는 불량, 10.2% (34개)는 손·망실로 분류되었다. 만대지구의 각 시설 구분에 따라 사면보호시설과 수로형 시설, 침사지 시설은 대부분 관리상태가 양호한 것으로 조사되었고, 기타시설 (낙차공, 식생완충대, 전석깔기 등)은 손·망실이 높은 것으로 나타났다. 그리고 불량으로 분류된 시설은 식생토낭, 전석깔기, 식생매트, 돌망태, 코이어룰, 석축 등으로 식생토낭이 8건, 식생매트 7건, 돌망태 4건 등으로 조사되었고, 침식과 영농활동에 의한 영향으로 평가되었다.

가야지구의 각 시설 구분에 따라 사면보호시설, 수로형시설, 기타 시설은 관리상태가 양호한 것으로 조사되었으나, 일부 불량으로 분류된 시설은 식생토낭, 침사지, 집수정, 식생토낭 각 1건씩으로 침식 및 퇴적, 영농활동에 의한 영향으로 평가되었다. 가야지구는 총 147개의 개별 비점오염 저감시설에 대한 조사가 이루어졌으며, 90.5% (133개)는 양호, 5.4% (8개)는 보통, 2.7% (4개)는 불량, 1.4% (2개)는 설치 위치 확인이 필요한 것으로 평가되었다. 가야지구의 각 시설 구분에 따라 사면보호시설, 수로형시설, 기타 시설은 관리상태가 양호한 것으로 조사되었으나, 침사지 시설은 다른 시설들에 비해 관리상태가 좋지 않은 것으로 나타났다. 그리고 불량으로 분류된 시설은 식생토낭, 침사지, 집수정 각 1건씩으로 침식 및 퇴적, 영농활동에 의한 영향으로 평가되었다.

자운지구는 총 314개의 개별비점오염저감시설에 대한 조사가 이루어졌으며, 86.9% (273개)는 양호, 4.1% (13개)는 보통, 1.0% (3개)는 불량, 8.0% (25개)는 설치 위치확인이 필요한 것으로 평가되었다. 자운지구의 각 시설 구분에 따라 사면보호시설, 수로형시설, 침사지시설은 관리상태가 양호한 것으로 조사되었다. 그리고 불량으로 분류된 시설은 돌망태 1건과 저감펜스 2건으로 강우에 의한 파손과 영농활동에 의한 영향으로 평가되었다.

관리지역 내에 설치된 793개의 시설 중 약 86%의 시설이 ‘양호’등급으로 평가되어 관리지역 내 개별 비점오염저감시설의 유지관리 상태는 전반적으로 양호한 것으로 나타났다 (Table 5). 하지만 만대지구와 자운지구의 손망실 비율도 약 10% 이상을 차지하고 있는 것으로 나타났다.

**Table 5** Management status of non-point pollution reduction facility

Structure classification		Good	Fair	Poor	Lost	Total
Mandae	Grade stabilization	182	5	21	24	232
	Ditch	81	4	0	6	91
	Sediment basin	3	0	0	0	3
	Etc.	1	0	1	4	6
	Total	267	9	22	34	332
Ga-a	Grade stabilization	56	1	2	0	59
	Waterway	68	5	1	1	75
	Sediment basin	3	2	1	1	7
	Etc.	6	0	0	0	6
	Total	133	8	4	2	147
Jawoon	Grade stabilization	210	8	1	13	232
	Waterway	58	5	0	12	75
	Sediment basin	5	0	0	0	5
	Etc.	0	0	2	0	2
	Total	273	13	3	25	314

### 3. 하천별 SS 정밀조사를 통한 우심소유역 선정

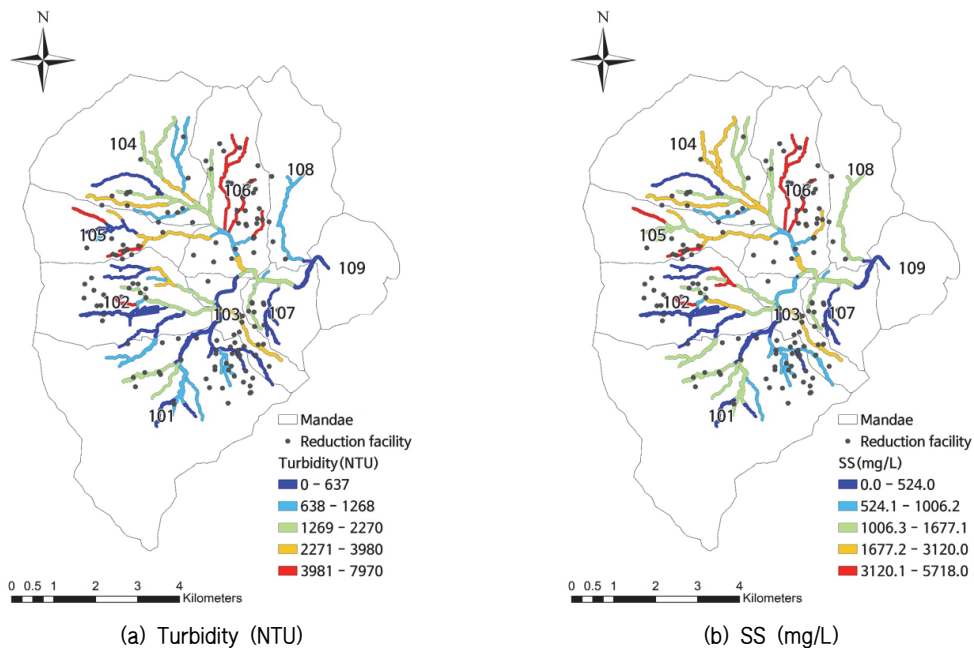
#### 가. 만대지구

만대지구 정밀조사 결과 (Table 6, Fig. 5, Fig. 6), 탁도는 167~7,970 NTU, SS농도는 164.3~5,718.0 mg/L로 조사되었으며, 평균 탁도와 평균 SS농도는 101 소유역이 가장 낮고, 105 소유역과 106 소유역이 높게 나타났다. 101 소유역인 만대천 상류구간은 탁도 418 NTU, SS농도 313.8 mg/L를 보였으나, 성황천 (104, 106소유역)과 합류후 탁도 1,688 NTU, SS농도 1,318.0 mg/L로 증가하는 것으로 나타났다. 성황천의 상류구간은 탁도 2,648 NTU, SS농도 1,992.0 mg/L를 보였으나 중류구간은 탁도 1,994 NTU, SS농도 1,112.9 mg/L로 다소 감소한 것으로 나타났다. 하지만 105 소유역과 106 소유역이 합류

한 후 하류지점에서는 탁도 2,650 NTU, SS농도 1,876.0 mg/L로 증가한 것으로 나타났다. 105 소유역은 상명천이 흐르고 있으며, 상류지점의 탁도 및 SS농도는 6,900 NTU, SS농도 5,636.0 mg/L로 흙탕물 발생이 심한 것으로 조사되었으며, 하류에도 영향을 미쳐 탁도는 2,000 NTU 이상, SS농도는 3,000.0 mg/L 이상으로 분석되었다. 106 소유역은 청룡안골, 방추골천, 방추골일천이 흐르고 있으며, 청룡안골의 탁도 및 SS농도는 7,970 NTU, 4,960.0 mg/L, 방추골천의 탁도 및 SS농도는 6,000 NTU, 4,140.0 mg/L로 흙탕물 발생이 심한 것으로 조사되었다. 하지만 성황천과 합류 후 유량증가에 따른 희석 효과로 인해 탁도 및 SS농도는 다소 낮아지는 것으로 분석되었다.

**Table 6** Turbidity and SS concentration range of Mandae

Subwatershed	Turbidity (NTU)			SS (mg/L)		
	Min.	Max.	Avg.	Min.	Max.	Avg.
101	313	1,556	796.5	313.8	1,383.0	756.4
102	167	4,730	1,384.2	202.0	5,718.0	1,601.0
103	481	2,550	1,515.5	575.0	2,092.0	1,333.5
104	371	3,290	1,780.6	287.5	2,250.0	1,395.2
105	183	6,900	3,279.3	1,197.1	5,636.0	2,966.7
106	964	7,970	3,183.1	934.0	4,960.0	2,172.3
107	224	1,688	1,099.3	164.3	1,318.0	868.5
108	1,242	1,242	1,242.0	1,052.0	1,052.0	1,052.0



**Fig. 5** Turbidity, SS concentration in Mandae



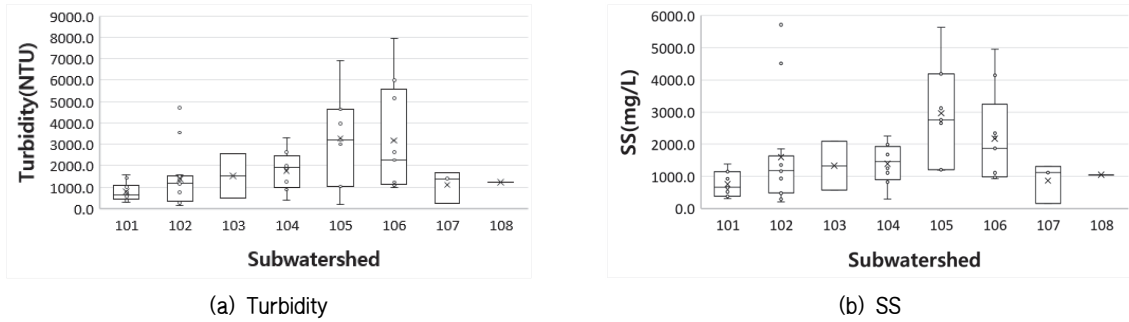


Fig. 6 Population of turbidity and SS concentration in Mandae

나. 가아지구

가아지구 정밀조사 결과 (Table 7, Fig. 7, Fig. 8), 탁도는 17~962 NTU, SS농도는 17.8~1,020.0 mg/L로 조사되었으며, 평균 탁도와 평균 SS농도는 가아지구 말단 소유역인 204 소유역이 가장 낮고 상류 소유역인 201 소유역과 202 소유역이 높아 우심유역으로 선정하였다. 가아천 상류는 탁도 410

NTU, SS농도 575.0, 중류에서 탁도 220 NTU, SS 농도 289.0 mg/L, 하류 탁도 167 NTU, SS농도 197.3 mg/L로 상류에서 하류로 갈수록 탁도와 SS농도가 낮아지는 것으로 나타났다. 201 소유역의 소하천은 피지개천과 배나무골천, 보래골천 등으로 962 NTU, 1,020.0 mg/L로 탁도와 SS농도가 가장 높았고, 피지개천과 보래골천의 탁도와 SS농도가 600 NTU 이상,

Table 7 Turbidity and SS concentration range of Ga-a

Subwatershed	Turbidity (NTU)			SS (mg/L)		
	Min	Max	Avg	Min	Max	Avg
201	46	962	405.6	47.3	1,020.0	475.7
202	183	624	393.4	246.7	742.0	470.6
203	19	228	155.7	17.8	321.5	209.4
204	17	167	87.9	18.4	197.3	105.4
205	150	150	150.0	232.0	232.0	232.0

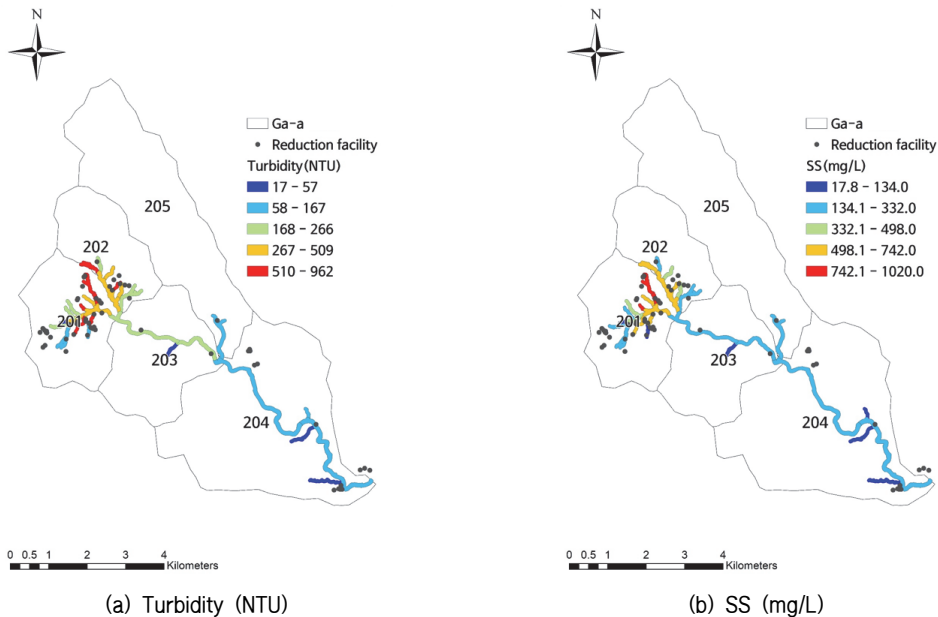


Fig. 7 Turbidity, SS concentration in Ga-a

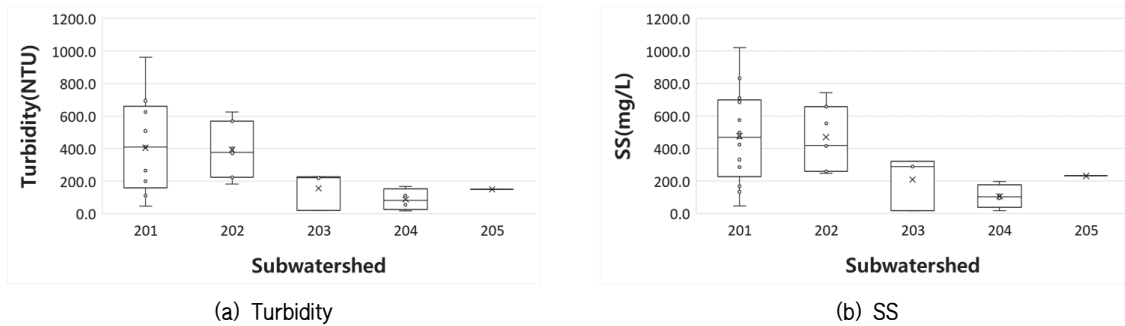


Fig. 8 Population of turbidity and SS concentration in Ga-a

700 mg/L로 높게 나타나, 흙탕물 발생이 심한 것으로 나타났다. 202 소유역의 소하천은 용수골천 등으로 탁도는 최대 624 NTU, SS농도는 최대 742.0 mg/L로 나타났는데, 최대 SS농도가 발생된 지점은 최근 몇 년동안 산림 일부가 벌목된 후 조림 사업이 이루어지고, 농지의 산림 복원 사업이 이루어지는 곳으로 산림에 의한 영향으로 판단된다.

다. 자운지구

자운지구 정밀조사 결과 (Table 8, Fig. 9, Fig. 10), 탁도는 7~761 NTU, SS농도는 10.8~1,199.0 mg/L로 조사되었으며, 평균 탁도와 평균 SS농도는 자운지구의 310 소유역이 가장 낮고, 조향천 말단 소유역인 305 소유역이 높게 나타났다. 310 소유역의 상류는 주로 산림지역으로 탁도와 SS농도는 각각 11.6 NTU, 22.4 mg/L로 매우 낮게 나타났으며, 말단에서도 탁도와 SS 농도가 각각 54.5 NTU, 115.5 mg/L로 다른 소유역에 비해 낮은 탁도와 SS농도를 보였다. 자운지구에서 비점오

염저감시설이 집중적으로 설치된 301, 302, 304, 306 소유역의 상류는 정밀조사 결과 비교적 탁도와 SS농도가 낮게 나타났으나 소유역 하류에서는 탁도와 SS농도가 증가하는 것으로 조사되었다. 301~304 소유역은 탁도와 SS농도가 253~300 NTU, 340.0~360.5 mg/L 였으나, 하류 305 소유역 말단은 406 NTU, 405.0 mg/L로 증가한 것으로 나타났다. 또한 306 소유역의 상류는 탁도와 SS농도가 각각 167 NTU, 245.0 mg/L로 나타났으나, 말단에서는 514 NTU, 1,199.0 mg/L로 증가하는 것으로 나타났다. 305 소유역은 탁도와 SS농도가 761 NTU, 895.0 mg/L, 이외 지점도 탁도 639 NTU, SS농도 785.0 mg/L로 다소 높게 나타났다. 306 소유역은 어용골천에서 유입되는 유입수의 탁도와 SS농도가 479 NTU, 511.0 mg/L로 다소 높게 나타나는 등 상류 하천에서 발생된 흙탕물의 영향보다는 소유역 내 유입 지류에서 발생된 흙탕물의 영향이 심한 것으로 판단된다.

Table 8 Turbidity and SS concentration range of Jawoon

Subwatershed	Turbidity (NTU)			SS (mg/L)		
	Min	Max	Avg	Min	Max	Avg
301	36	127	67.6	47.6	134.5	89.5
302	58	200	132.6	68.6	238.5	159.6
303	169	169	169.0	218.7	218.7	218.7
304	33	378	157.2	69.0	425.0	208.6
305	7	761	386.9	80.4	895.0	452.6
306	35	514	185.3	40.6	1199.0	264.3
307	87	402	204.9	83.7	490.0	321.9
308	11	505	204.2	10.8	642.0	247.9
309	12	209	110.6	31.4	419.0	225.2
310	12	70	39.9	22.4	128.3	85.2
311	41	351	147.1	57.7	591.0	259.8

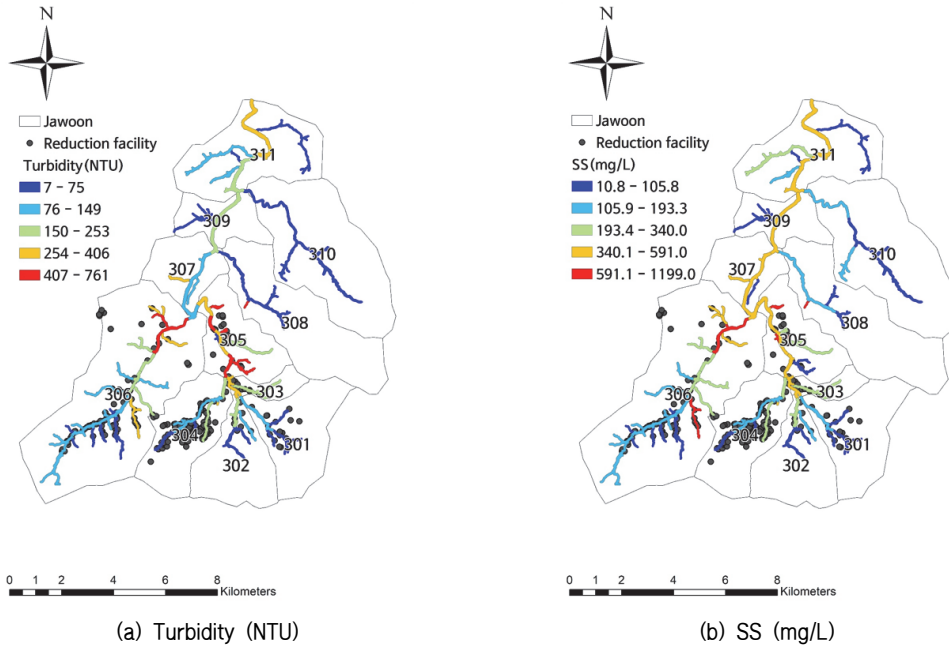


Fig. 9 Turbidity, SS concentration in Jawoon

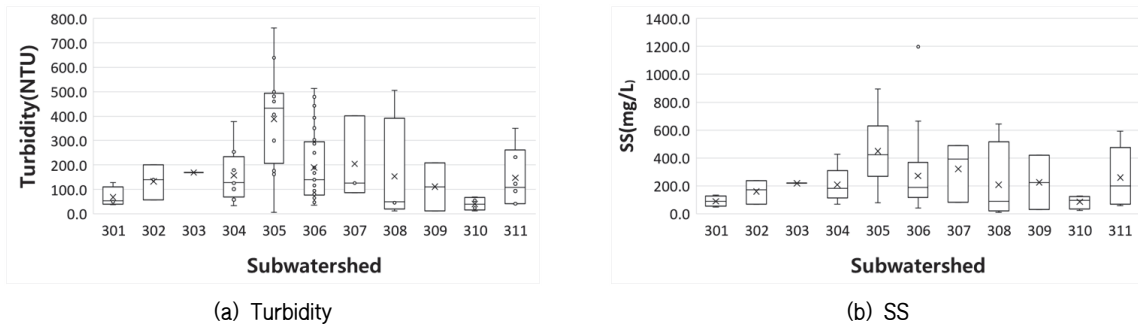


Fig. 10 Population of turbidity and SS concentration in Jawoon

#### 4. 비점오염 우심소유역 원인 분석

관리지역별 저감시설 현황조사와 소하천별 수질분석결과, 현장조사 결과를 활용하여 지구별 우심소유역의 원인을 분석하였다. 만대지구의 경우, 소하천별 정밀조사 결과, 만대지구의 경우 105, 106 소유역이 우심 소유역으로 분석되었다. 지구별 농경지 현황을 조사한 결과 (Table 9), 만대지구의 경우 105, 106 소유역 내 농경지 면적은 각각 1.64, 2.62 km<sup>2</sup>로 이중 고랭지밭 비율은 48.4%, 38.6%로 다른 소유역에 비해 높은 것으로 분석되었다. 특히 106 소유역 내 청룡안골, 방추골천, 방추골일천 등 상류 소하천의 고랭지밭 비율은 53.4%로 매우 높게 나타났다. 그러나 만대지구는 저감시설이 밀집하지 아니하고, 소유역별 비교적 고르게 분포하여 저감효율이 전체적으로 떨어지는 것으로 판단된다. 또한 만대지구는 높은 임

대농민 비율과 임대농지에서의 탁수저감 노력 부족, 단년생 작물로의 전환 및 나대지 방치 등으로 흙탕물 발생 저감효과가 미비한 것으로 분석되었다.

가야지구의 우심 소유역은 201, 202 소유역으로 분석되었다. 가야지구의 경우 201, 202 소유역 내 농경지 면적은 각각 0.53, 0.28 km<sup>2</sup>로 고랭지밭 비율이 76.8%, 88.3%로 다른 소유역에 비해 높은 것으로 분석되었다. 저감시설의 경우, 상류에 저감시설이 상대적으로 밀집해있으나 농도 또한 높은 것으로 나타났다. 상류유역에 저감시설의 설치가 부족한 것으로 판단된다.

자운지구는 조항천 말단, 305 소유역이 우심 소유역으로 분석되었다. 자운지구의 경우 305 소유역 내 농경지 면적은 1.18 km<sup>2</sup>, 고랭지밭 비율은 74.7%로 다른 소유역에 비해 농경

**Table 9** Ratio of highland fields

Watershed	Subwatershed	Highland field		Non-highland field		Total area (km <sup>2</sup> )
		Area (km <sup>2</sup> )	Ratio (%)	Area (km <sup>2</sup> )	Ratio(%)	
Mandae	101	1.08	30.4	2.47	69.6	3.55
	102	0.95	34.3	1.82	65.7	2.77
	103	0.32	27.2	0.86	72.8	1.18
	104	0.89	34.6	1.68	65.4	2.57
	105	0.79	48.4	0.85	51.6	1.64
	106	1.01 *(0.91)	38.6 *(53.4)	1.61 *(0.79)	61.4 *(46.6)	2.62 *(1.70)
	107	0.43	40.2	0.64	59.8	1.07
	108	0.54	63.3	0.31	36.7	0.85
Ga-a	201	0.43	76.8	0.13	23.2	0.56
	202	0.25	88.3	0.03	11.7	0.28
	203	0.03	34.2	0.05	65.8	0.07
	204	0.02	7.8	0.27	92.2	0.29
	205	0.00	0.0	0.05	100.0	0.05
Jawoon	301	0.40	54.3	0.34	45.7	0.74
	302	0.39	59.5	0.26	40.5	0.65
	303	0.09	45.8	0.11	54.2	0.20
	304	0.73	58.5	0.52	41.5	1.25
	305	0.88	74.7	0.30	25.3	1.18
	306	1.99 *(0.37)	64.9 *(75.3)	1.08 *(0.12)	35.1 *(0.25)	3.06
	307	0.34	72.0	0.13	28.0	0.47
	308	0.43	80.7	0.10	19.3	0.53
	309	0.19	59.7	0.13	40.3	0.32
	310	0.35	90.7	0.04	9.3	0.39
	311	1.07	73.2	0.39	26.8	1.46

\*Small river farmland upstream of the subcatchment

지 면적과 고랭지밭 비율이 높은 것으로 분석되었다. 또한 306 소유역의 어용골천은 농경지 면적 0.50 km<sup>2</sup> 중 고랭지밭은 75.3%로 고랭지밭 비율이 높은 것으로 분석되었다. 또한 비점저감시설이 밀집하여 있는 상류는 흙탕물 발생이 비교적 낮았으나, 조항천이 합류하는 중류 부근의 흙탕물 발생이 높은 것으로 분석되었다.

현장조사를 통해 분석된 비점오염원관리지역별 우심 소유역은 대부분 고랭지밭 비율이 높은 반면 상대적으로 저감시설은 부족한 것으로 효과적인 흙탕물 저감을 위해서는 분석된 우심소유역에 추가적인 저감사업의 추진이 필요할 것으로 판단된다.

### 5. 비점오염 관리지역 시행계획 우선순위 적절성 평가

본 연구에서 선정한 우심 소유역과 시행계획상의 비점오염 관리지역 시행계획 우선순위 소유역을 비교한 결과, 시행계획 우선순위 1순위 또는 2순위로 잘 일치하는 것으로 나타났다. 각 지구별로 비점오염원 유출특성에 따라 적절한 비점저감시설이 설치된다면, 흙탕물 발생이 점차 저감될 것으로 기대할 수 있을것으로 판단되며, 향후 지속적인 비점오염 저감사업 추진을 통해 관리 목표 연도에는 비점오염원관리지역의 큰 흙탕물 개선효과가 기대된다.

## IV. 결론

본 연구는 소양호 유역 내 만대·가아·자운지구의 하천 모니터링 및 저감시설 조사를 통해 우심 소유역을 분석하고 비점오염 저감을 위해 추진되고 있는 소양호 상류 비점오염 원관리지역 관리대책 시행계획의 적절성을 평가하였다. 만대·가아·자운지구를 대상으로 연도별 SS EMC 및 부하량을 산정한 결과, 부하량은 감소하는 것으로 나타났으나 강수량 또한 감소하여 부하량의 감소가 온전히 저감사업의 성과로 단정짓기에는 어려움이 있고, 만대지구와 가아지구의 EMC 농도는 강우강도 증가에 따라 증가한 것으로 분석되어 강우에 의한 영향을 많이 받는 것으로 나타나는 등 저감사업에 의한 영향은 미비한 것으로 판단되었다. 이에 저감사업의 문제점을 분석하기 위해 저감시설 정밀조사 및 소양호 상류 비점오염원 관리대책 시행계획 기준 소유역별로 정밀조사를 실시하였다. 저감시설 정밀조사 결과 저감시설의 유지관리 상태는 전반적으로 양호한 것으로 나타났지만 하천별 SS 정밀조사 결과 만대지구는 전체적으로 높은 농도의 흙탕물이 발생되고 있고 있으며, 가아지구는 상류 소유역에서 농도가 높은 것으로 분석되었다. 그러나 자운지구는 저감시설이 밀집한 상류 유역은 흙탕물 농도가 상대적으로 적은 것으로 나타났고, 상대적으로 저감시설이 적었던 중류 소하천 유역의 흙탕물 농도가 높은 것으로 분석되었다. 결국 비점오염저감시설의 밀집도를 높여야 저감효과를 기대할 수 있을 것으로 판단된다. 2026년까지 만대·가아·자운지구에는 다양한 저감대책이 시행계획에 따라 추진될 계획인데 우심소유역에 적절한 저감사업이 계획되어 있어 흙탕물 개선 노력에 큰 성과가 이루어질 것으로 판단된다. 하지만 이 뿐만 아니라 효과적으로 관리 목표 달성을 위해서는 저감시설의 유지관리상태 및 소유역별 흙탕물 농도를 지속적으로 모니터링하여, 현행되고 있는 저감사업의 효율을 평가하고 보완하는 것이 중요할 것으로 사료된다.

## 감사의 글

본 연구는 원주지방환경청에서 시행한 ‘2020년 비점오염 원관리지역(만대·가아·자운지구,도암호유역) 모니터링 및 평가’에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

## REFERENCES

1. Choi, Y. H., C. H. Won, J. Y. Seo, M. H. Shin, H. J. Yang, K. J. Lim, and J. D. Choi, 2009. Analysis and comparison about NPS of Plane Field and Alpine Field. *Journal of Korean Society on Water Environment* 25(5): 682-688 (in Korean).
2. Choi, Y. H., D. Kum, J. Ryu, H. Jung, Y. S. Kim, J. H. Jeon, K. S. Kim, and K. J. Lim, 2015. A study of total nitrogen pollutant load through baseflow analysis at the watershed. *Journal of Korean Society on Water Environment* 31(1): 55-66 (in Korean). doi:10.15681/KSWE.2015.31.1.55.
3. Gangwon Province(GP), 2010. Soyang lake nonpoint source pollution management implementation plan. (in Korean)
4. Gangwon Province(GP), 2020. Soyang lake(Mandae, Ga-a, Jawoon) nonpoint source pollution management implementation plan. (in Korean)
5. Hyun, G. W., S. B. Park, J. H. Park, S. H. Geon, J. W. Choi, K. S. Kim, and K. J. Lim, 2010. Desing of optimum volume of sediment settling pond at highland agricultural watershed using WEPP model. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 52(5): 87-94 (in Korean). doi:10.5389/KSAE.2010.52.5.087.
6. Jeon, M. S., 2015. An institutional plan to manage in gangwon province that are vulnerable to nonpoint source pollution, 12. Research Institute for Gangwon(RIG).
7. Lee, J. Y., 2008. A hydrological analysis of current status of turbid water in Soyang River and its mitigation. *The Journal of Korean Society of Soil and Groundwater Environment* 13(6): 85-92 (in Korean).
8. Ministry of Environment(ME), 2007. Soyang lake nonpoint source pollution management. (in Korean)
9. Ministry of Environment(ME), 2016. Soyang lake(Mandae, Ga-a, Jawoon) nonpoint source pollution management. (in Korean)
10. Wonju Regional Environmental Office(WREO), 2015. Monitoring and evaluation for the management of nonpoint pollution sources in Soyang Lake in 2015. (in Korean)
11. Wonju Regional Environmental Office(WREO), 2021. Monitoring and evaluation of nonpoint pollution sources in Lake Soyang and Lake Doam. (in Korean)
12. Yang, H. K., 2006, Runoff characteristics of non-pount source pollutants in storm event - Case study on the upstream and downstream of Kokseong river. *The Journal of the Association of Korean Geograpers* 41(4): 418-434 (in Korean).

