

Research Paper

고랭지 밭 밀집지역 다단계 침사지의 강우-유출 오염물질 제거 효율 - 소양호 상류의 자운지구를 중심으로 -

조 재 현

가톨릭관동대학교 바이오융합공학과

Pollutants Removal Efficiency of Rainfall-runoff from Dense Highland Field Areas in Multistage Sedimentation Basins - Focused on Jaun Area in Upstream Watershed of Lake Soyang -

Jae Heon Cho

Department of Biosystems and Convergence Engineering, Catholic Kwandong University

요약 : 홍천군 내면 자운지구에는 고랭지 채소밭이 밀집되어 있어서 우기에는 고랭지 밭에서 많은 토사가 유출되어 소양호 탁도와 수질에 큰 영향을 미치고, 하류의 수도권 상수원에도 악영향을 준다. 본 연구에서는 고랭지밭 지역의 토사유출 저감을 위한 여러 BMPs 시설 중에서 많은 비용이 들지만 우리나라에서의 실측 조사 결과가 거의 없는 다단계 침사지에 대해서 강우시 유출입수를 실측 조사하고, 비점원오염물질 삭감효율을 분석하였다. 자운지구의 자운리 786번지와 자운리 628-2번지 다단계 침사지에서 2차례 강우에 대해서 침사지의 SS 제거효율을 분석한 결과 35%~62%의 삭감율을 보였다. BOD는 약 24%~55%, TP는 약 35%~58%의 오염부하가 삭감되었다. 이 지역 다단계 침사지의 실측 효율은 이론적인 효율보다 다소 낮지만 현재 설치되어 있는 침사지를 적절하게 관리하면 효율을 더 높일 수 있고, 추가적인 침사지 설치를 통해 흙탕물 관리를 효과적으로 할 수 있다.

주요어 : 고랭지밭, 다단계 침사지, 비점원오염물질, 제거효율

Abstract : Highland fields are concentrated in the Jaun area of Hongcheong-gun, a large amount of sediments are discharged from the highland fields. The sediment runoff affect the turbidity and water quality of the Soyang Lake, furthermore adversely affect water supply source of the capital region. There are several kinds of BMPs(Best management practices) to decrease the sediment runoff from the highland fields. Although construction cost of multistage sedimentation basins is very high, there is no actual survey data for the removal efficiency of suspended sediments and water quality in our country. In this study, stormwater inflow and outflow of the multistage sedimentation basins were surveyed, and the removal efficiency of nonpoint source pollutants were analyzed. The stormwater survey results for two rainfall events show that removal efficiencies of SS, BOD and TP

loads in the multistage sedimentation basins are 35%~62%, 24%~55%, 35%~58%, respectively. Although the measured efficiencies of the basins were lower than the theoretical efficiency, the proper operation and management can improve the removal rate of the basins. Turbid water problem in the upper parts of the Soyang River can be managed effectively through the additional installation of multistage sedimentation basins.

Keywords : Highland field, Multistage sedimentation basin, Nonpoint source pollutants, Removal efficiency

I. 서론

홍천군 내면 자운리 일대에는 고랭지 채소밭이 밀집되어 분포하고 있다. 집중호우가 발생하는 우기에는 고랭지 밭으로 부터 많은 토사가 유출되어 하류의 내린천과 소양강을 거쳐서 소양호 탁도와 수질에 큰 영향을 미친다. 특히 2006년 7월에는 소양호유역에 태풍 에위니아로 인한 집중호우가 발생하여 인제기 상관측소 기준으로 8일간 총 670mm, 시간 최대 66mm의 비가 내렸다. 이로 인해 소양호 유역으로부터 다량의 토사가 소양호로 유입되고, 유입된 토사는 소양호 내부에서 호수의 성층현상으로 인해 장기간 호수 내에 체류하였다가 방류되므로 소양호 탁도가 20NTU 이상으로 지속된 일수가 168일에 달했다 (Kim & Jung 2007). 이와 같이 집중호우가 빈번하게 발생하는 홍수기에는 소양호에 다량의 비점오염물질이 유입되어 탁수 현상을 유발시키고 있는 실정이다.

환경부는 2006년 태풍 에위니아 당시 산사태 등 소양강 상류 지역에서 발생한 막대한 양의 토사가 호수 내로 유입되어 탁도가 300NTU 이상 증가한 것을 계기로 2007년 8월에 소양강 유역을 비점오염원 관리지역으로 지정하여 관리하고 있다. 많은 예산을 들여 흙탕물저감사업을 실시하고, 2009년부터 비점오염 저감사업 및 시설을 대상으로 운영과 실태를 조사하고 소유역 및 비점오염 저감시설에 대한 모니터링 사업을 실시하고 있다(Wonju Regional Environmental Office 2016).

본 연구에서는 고랭지밭 지역의 토사유출 저감을 위한 여러 BMPs 시설 중에서 많은 부지면적과 건설비가 필요하고 목표하는 효과를 거두기 위해서는 적절한 관

리와 운영이 필수적인 다단계 침사지에 대해서 강우시 유출입 수를 실측 조사하고, 비점원오염물질 삭감효율을 분석하였다. 먼저 국내외의 고랭지밭 침사지 및 저류지의 효율 관련 연구와 고랭지밭 토사유출에 관한 관련 연구를 조사하였다. Joo et al. (2002)은 영농방법에 따른 강원도 고랭지 영농지의 토양 유실량 평가를 실시하였다. Lee(2007)은 GIS 기반 토사유실모델을 이용하여 소양호유역의 고랭지밭에서 발생하는 토사유실 특성을 분석하였다. Kim et al. (2005)은 산업단지에서의 비점오염물질 저감을 위해서 강우량 해석, 유출량 해석 및 비점오염물질 유출해석 등을 통하여 저류지 용량을 산정하고 문헌상의 효율을 기준으로 오염부하삭감량을 산정하였다. Lee et al. (2000)은 저류지에 의한 우수의 수질개선효과를 모형실험에 의하여 분석하였다. Lee et al. (2016)은 도시지역의 가상의 소규모 처리대상구역을 대상으로 유휴곡선을 유지하기 위한 생태저류지의 크기를 결정하였다. Karine et al. (2013)은 배수면적 1.7ha이고, 불투수층 표면적 비율이 75% 인 부유처리습지(floating treatment wetland)를 조성한 연못에서 강우유출수질을 조사하였고, SS의 제거효율이 41%였다.

Ahmed et al. (2016)은 배수면적이 320ha이고, 건설한지 19년된 강우유출수를 위한 습지에서 강우유출수의 오염물질 제거효율을 조사하였고, 2013~2014년 강우유출수의 SS, TP, TN 제거효율이 각각 96%, 90%, 60%에 이르렀다. Hyun et al. (2010)은 고랭지밭에서 발생하는 흙탕물을 제어하기 위해 소규모 그물망 침사지를 시공하여 강우량, 유입수량, 침사지 유입수 및 유출수를 분석하고, 효율을 분석하였다. Novotny (2003)는 연못의 비점오염물질 제거효율을 BOD 20~40%, TP 50~60%, TN 30~40% 범위인 것으로

보고하고 있다. 집중호우시 다량의 우수가 침사지로 유입될 경우 침사지내 유속의 증가로 침사지 효율이 저하될 우려가 있기 때문에 다단계 침사지로 계획하여 집중호우시 침사지내 유속을 감소시키고, 침전효율을 높일수 있다(Jeonbuk Development Institute 2011). 연못형 저류지(wet pond)의 침강지는 수질처리용량의 10% 이상으로 하고, 저류지 최대수심은 2.4m 이하, 최소수심은 0.9~1.2m 정도로 한다(National Institute of Environmental Research 2010).

우리나라에서는 비점오염물질을 제거하기 위한 다단계 침사지의 실측 제거효율에 대한 연구가 드물고, 특히 고랭지밭 지역에 대한 실측조사는 전무한 실정이다. 본 연구에서는 홍천군 내면 자운리의 고랭지밭 밀집 지역의 토사유출을 저감시키기 위하여 설치한 2개 다단계 침사지에서 강우시 유입 및 유출 수질과 유량을 실측 조사하여 비점오염물질 저감효과를 분석하고, 강우유출수 입도분석을 통해서 기존 침사지의 이론적인 부유물질 제거효율을 산정하여 실측효율과 비교 분석하였다. 아울러 홍천 자운지구에 기존에 설치되어 있는 다단계 침사지의 효율적인 관리방안을 모색한다.

II. 연구방법

1. 연구 대상지역 개요

소양호유역 상류부인 홍천군 내면 자운리 일대의 자운지구에는 고랭지밭이 밀집된 지역으로 자운천의 지류인 중조향천과 조향천 일대, 그리고 자운천 상류부에 고랭지밭이 밀집되어 있다. Figure 1에는 소양호유역도와 자운지구의 다단계 침사지 위치도를 표시하였다. Figure 2는 자운지구에 위치한 다단계 침사지를 표시하였다. Table 1은 2013년 환경부 중분류 토지피복도 분석결과(원주지방환경청, 2016)로 중조향천, 조향천, 자운천의 농경지는 대부분이 고랭지밭이고, 농경지 면적 비율이 각각 14.6%, 12.0%, 11.0%에 달한다. 2015년 시점의 주요 재배작물은 감자, 무, 배추 등의 일년생 작물이며 생산량은 각각 13,132 M/T, 6,300 M/T, 6,127 M/T이고, 재배면적은 각각 445 ha, 250 ha, 226 ha이다. 이 지역 농경지 토양의 물리화학을 개선하여 생산성을 높이기 위해서 4월 ~ 5월 경까지 객토를 하고 파종 직후에는 홍수기가 도래하여 나지 상태에서 많은 비가 오기 때문에 많은 토사가 유출되고 있다. 인제군 가아



Figure 1. Lake Soyang watershed and location of multistage sedimentation basins.

Table 1. Land use of the streams around the Jaun area

Stream	Subbasin area (km ²)	Land use				
		Forest (km ²)	Upland field (km ²)	Paddy field (km ²)	Others (km ²)	Proportion of agricultural land (%)
Jungjohangcheon	10.22	8.60	1.50	0	0.12	14.6
Johangcheon	41.61	35.56	4.89	0.003	1.17	12.0
Jauncheon	136.41	117.03	14.45	0.004	4.93	11.0

Table 2. Rainfall events for monitoring multistage sedimentation basins in the Jaun area

Weather station	Period	Rainfall depth (mm)	Rainfall duration period (h)	Mean rainfall intensity (mm/h)	Number of precedent dry days	5 day precedent rainfall depth (mm)
Changchon	15:00, Jul. 1 ~ 13:00, Jul. 2, 2017	97	22	4.41	0.9	5
	14:00, Oct. 2 ~ 08:00, Oct. 3, 2017	61	18	3.39	4.6	4

지구의 평균경사도는 24.5°로 나타났으며, 경사도 30~40°가 34.11%로 가장 많은 지역을 차지하였다 (Wonju Regional Environmental Office 2016). Table 2는 자운지구에 인접한 창촌 우량관측소의 다단계 침사지 조사기간 중의 강우 특성을 나타내고 있다. 7월 1일 강우는 강수량 97mm, 강우지속기간 22hr 이고, 10월 2일 강우는 강수량 61mm, 지속기간 18hr 이었다. 인제기상관측소의 2014, 2015, 2016년의 년

간 강수량이 각각 705, 755, 1184mm로 같은 기간 전국평균인 1174, 948, 1272mm보다 7~40% 정도 적은 강수량 분포를 보이고 있다.

2. 다단계 침사지 실측조사 및 강우유출수 입도분석

소양호 유역 상류부의 홍천군 자운지구에는 우기에 고랭지밭 지역의 토양침식에 의한 토사유출을 저감하기 위해서 자운리 786번지, 628-2번지, 581번



Figure 2. Multistage sedimentation basin in Jaunri 628-2.

Table 3. Multistage sedimentation basins in the Jaun area

Location	Construction cost (Million Won)	Site area (m ²)	Surface area (m ²)	Capacity (m ³)
581, Jaun 1 ri	4,500	38,524	25,161	25,000
628-2, Jaun 4 ri	197	6,735	5,949	7,840
978, Jaun 2 ri	7,000	21,163	22,674	17,410
786, Jaun 4 ri		20,398	20,741	14,735

지 및 978번지에 4개소의 다단계 침사지가 건설되어 운영 중인 상태이다(Figure 1과 Table 3 참조). 자운지구 침사지에는 관리인이 있어서 유입부 유출부의 수문관리 등의 업무를 하고 있고, 여름철 전에 준설을 시행하고 있으나 모든 다단계침사지가 최적의 상태로 운영되고 있지는 않다. 이 중에서 본연구의 강우조사 시점에 정상적으로 운영되고 있는 786번지, 628-2번지 2개소의 침사지를 대상으로 7월 1일~2일, 10월 1일~4일 2개 강우사상에 대해 각 침사지 유입 및 유출부의 유량 및 수질조사를 실시하였다. 유량은 단면조사와 유속계를 이용해서 실측하고, 수질은 채취한 현장시료를 실험실로 운반하여 분석하였다. 2016년 10월 3일 강우시에 중조항천, 자운천

과 786번지와 978번지의 2개 다단계 침사지의 유입수와 유출수에 대해서 입도분포를 조사하였고, 0.017 μm ~ 2000 μm 입도범위의 분석이 가능한 Laser 입도분석기를 사용하여 분석하였다.

III. 결과토의

1. 강우유출수 입도분석

흙토람자료에 의하면 홍천군 내면 자운리의 토성은 세사양토 0.2%, 사양토 64.6%, 양토 35.2%이다. 홍천 자운리는 양토 이상 입경이 100%로 조사되어 대부분의 토양이 모래로 구성되어 있다. Table 4는 소양강유역 조사지점에서 10월 3일에 채취한 강우유

Table 4. Particle size distribution of stormwater runoff in the Jaun area

Survey site	Fine sand (%)	Very fine sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	Proportion of Sand (%)
	250~100 μm (0.25~0.1mm)	100~50 μm (0.1~0.05mm)	50~2 μm (0.05~0.002mm)	<2 μm (<0.002mm)	
Jauncheon	2.22	7.19	83.94	6.65	9.41
Yangu bridge	0.97	4.27	86.44	8.32	5.24
Jungjohangcheon		1.47	82.79	15.74	1.47
Inflow of sedimentation basin (786, Jaun-ri)	2.03	5.03	84.83	8.11	7.06
Outflow of sedimentation basin (786, Jaun-ri)		0.08	82.02	17.9	0.08
Inflow of sedimentation basin (978, Jaun-ri)	1.22	4.89	77.4	16.49	2.24
Outflow of sedimentation basin (978, Jaun-ri)		0.94	85.82	13.24	0.94
Deposit soil (786, Jaun-ri)					<524 μm 10%
Deposit soil (628-2, Jaun-ri)					<462 μm 10%

출수와 퇴적토의 입도분포 조사결과이고, Figure 3 - Figure 8에는 입도분포도를 제시하였다. 본 연구에서 조사 분석한 2개의 다단계 침사지가 위치한 자운지구 중조항천 강우유출수는 모래 1.47%, 미사 82.79%, 점토 15.74%로 조사되었다(Table 4와 Figure 4 참조). 중조항천 유출수는 미사와 점토의 비중이 크다. 대부분의 토양 입도분포가 모래인 자운지구에서는 이 지역 고령지밭의 객토 여부에 따라 강우유출수의 입도 분포가 크게 달라진다. 입도분포 조사시점에 중조항천 주변의 객토를 한 밭에서 많은 미사와 점토가 쓸려내려 와서 자운지구 일대 강우유출

수의 미사와 점토의 비중이 큰 것으로 판단된다.

조항천 상류에 위치한 홍천 자운리 786 번지 다단계 침사지 유입부와 유출부의 모래 비중은 각각 7.06%, 0.08%이고, 유입부와 유출부의 점토 비중은 각각 8.1%, 17.9%로 분석되어 유출부의 점토 비중이 높다(Figure 5와 Figure 6 참조). 자운리 786 번지 다단계 침사지에서 모래는 거의 전량미 침전되고 미사와 점토만이 하루로 배출된다. 자운천 상류부의 978번지 다단계 침사지에서도 모래는 거의 침전되고 미사와 점토가 하루로 배출된다(Figure 7과 Figure 8 참조).

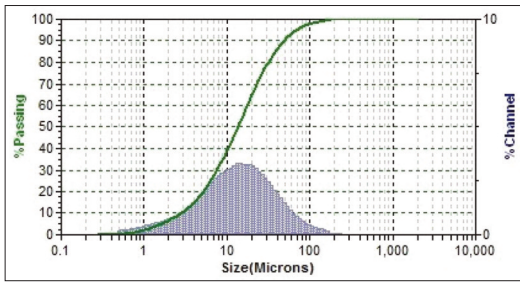


Figure 3. Particle distribution of stormwater runoff at the Jauncheon.

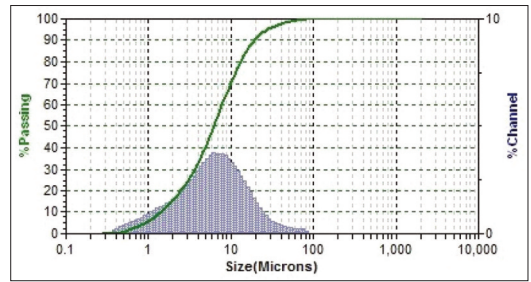


Figure 4. Particle distribution of stormwater runoff at the Jungjohangcheon.

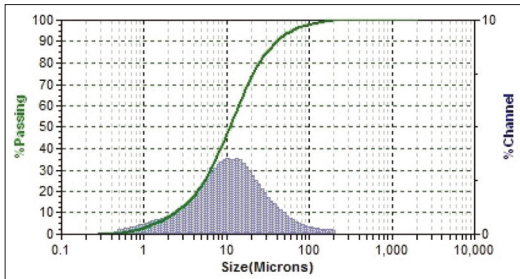


Figure 5. Particle distribution of stormwater inflow at the multistage sedimentation basin (786, Jaunri).

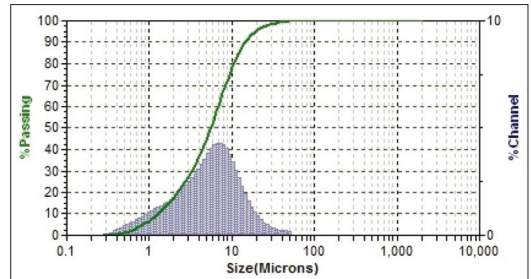


Figure 6. Particle distribution of stormwater outflow at the multistage sedimentation basin (786, Jaunri).

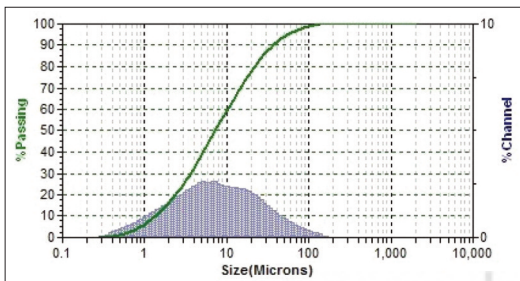


Figure 7. Particle distribution of stormwater inflow at the multistage sedimentation basin (978, Jaunri).

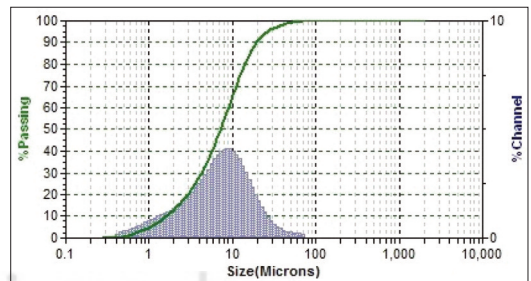


Figure 8. Particle distribution of stormwater outflow at the multistage sedimentation basin (978, Jaunri).

2. 다단계 침사지 비점원오염물질 삭감효율

본 연구의 강우-유출조사에 의한 다단계 침사지의 비점오염물질 제거효율은 Table 5와 같다. 7월 1일~2일 강우조사시 자운리 786 침사지의 BOD, SS, TP 삭감효율은 각각 43.9%, 54.6%, 34.7%로 조사되었고, 자운리 628-2침사지의 BOD, SS, TP 삭감효율은 각각 24.0%, 58.2%, 38.3%로 조사되었다.

10월 1일~4일 강우조사시의 자운리 786 침사지와 자운리 628-2 침사지의 유입수와 유출수의 유량과 수질 변화는 Figure 9~10과 같다. 자운리 786 침사지 SS의 경우 유입수 농도의 피크가 시간강우량이 20mm가 내린 3시 경에 3,034mg/L에 달하고 이후에 SS 농도가 급격히 낮아진 반면에, 유출수 SS농도는 점차적으로 높아져서 강우의 피크 이후에 완만하게 농도가 낮아진다. BOD, COD, TP 등의 농도도

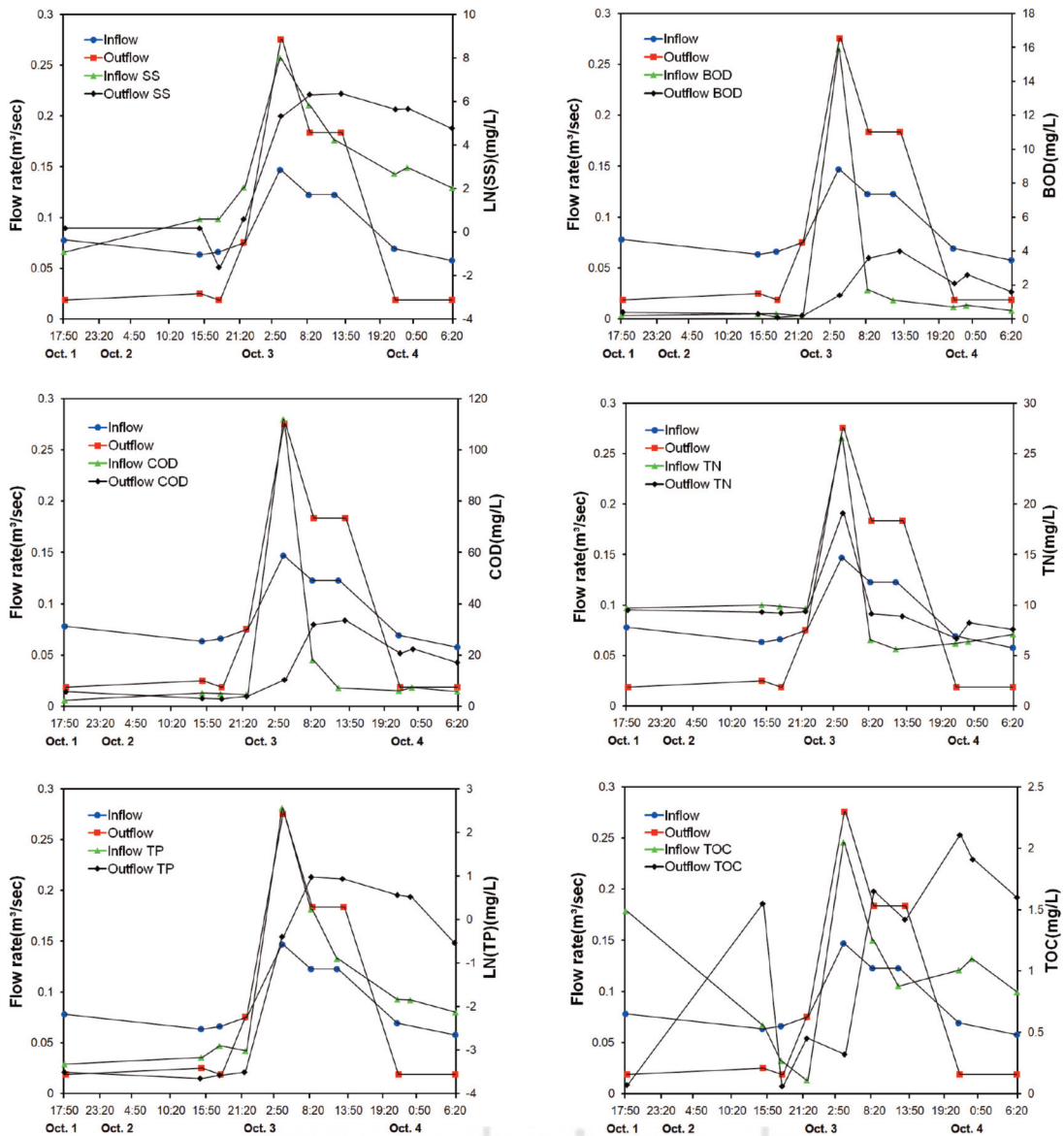


Figure 9. Variation of stormwater runoff water quality and flow at the multistage sedimentation basin (786, Jaun-ri, October 1~4, 2016).

SS와 비슷한 경향을 보였다. BOD, SS, TP 삭감효율은 각각 23.9%, 35.2%, 33.2%로 조사되었다. 자운리 628-2 침사지의 BOD, SS, TP 삭감효율은 각각 54.8%, 61.9%, 58.3%로 조사되었다.

침사지용량과 유입수량, 체류시간을 비교하면 자운리 786번지 침사지는 7월 조사와 10월 조사 모두 조사기간이 체류시간보다 길기 때문에 강우의 영향을 받는 유입 및 유출 유량이 큰 시기는 지나고 평상

시 유량으로 복귀한 시점까지 조사되었으므로 침사지의 삭감효율 계산의 정밀도가 높다. 자운리 628-2 침사지는 조사기간이 체류시간보다 짧지만 유량과 탁도의 피크가 지난 시점까지 조사되어 유입 및 유출 부하량이 큰 시기가 지났으므로 상당한 신뢰도가 있는 것으로 판단된다.

홍천군 자운지구의 자운리 786번지와 자운리 628-2번지 다단계 침사지에서 2차례 강우에 대해서

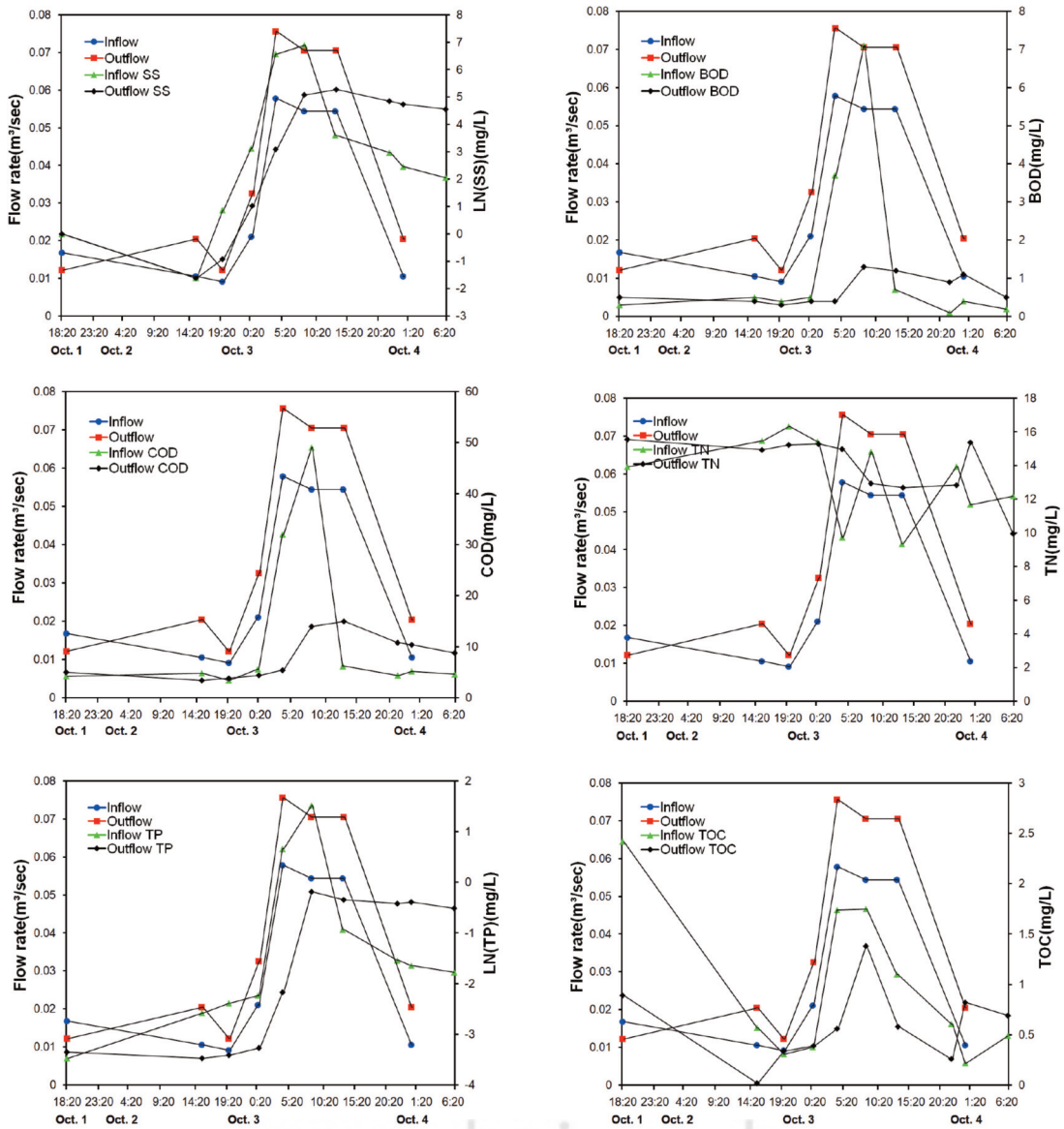


Figure 10. Variation of stormwater runoff water quality and flow at the multistage sedimentation basin (628-2 Jaun-ri, October 1~4, 2016).

Table 5. Removal efficiency of stormwater pollutant loads at the multistage sedimentation basins in the Jaun area

Multistage sedimentation basin		BOD	SS	COD	TN	TP	TOC
786, Jaun-ri (7/1~2)	Inflow (kg)	44.65	4,221	340	189	14.0	171
	Outflow (kg)	25.05	1,914	170	87	9.1	72.5
	Removal efficiency (%)	43.9	54.6	49.9	53.7	34.8	57.7
628-2, Jaun-ri (7/1~2)	Inflow (kg)	6.19	643	44.2	44.6	2.49	22.5
	Outflow (kg)	4.71	269	28.5	29.9	1.53	15.0
	Removal efficiency (%)	24.0	58.2	35.4	33.1	38.3	33.1
786, Jaun-ri (10/1~4)	Inflow (kg)	48.4	8,127	375	192.73	35.3	19.2
	Outflow (kg)	36.8	5,262	322	192.39	23.6	17.9
	Removal efficiency (%)	23.9	35.2	14.3	0.17	33.2	7.2
628-2, Jaun-ri (10/1~4)	Inflow (kg)	10.1	1,340	79.7	63.3	5.96	5.97
	Outflow (kg)	4.5	511	52.0	78.0	2.48	3.57
	Removal efficiency (%)	54.8	61.9	34.8	-23.2	58.3	40.3

* 786 침사지(7/1~2): 조사시간 19.1(hr), 체류시간 8.1(hr)
 * 628-2 침사지(7/1~2): 조사시간 19.3(hr), 체류시간 36.3(hr)
 * 786 침사지(10/1~4): 조사시간 60.5(hr), 체류시간 48.1(hr)
 * 628-2 침사지(10/1~4): 조사시간 60.5(hr), 체류시간 96.1(hr)

침사지의 SS 제거효율을 분석한 결과 약 35%~ 62%의 삭감효율을 보였다. BOD의 경우는 약24% ~ 55%의 삭감효과를 나타냈고, TP도 약 35%~ 58%의 오염부하가 삭감되었다.

수질오염총량관리기술지침(National Institute of Environmental Research 2014)에 의하면 저류지는 BOD 제거효율 34%, TN 제거효율 28%, TP 제거효율 36%를 제시하고 있다. Novotny(2003)에 의하면 연못의 경우 BOD 20~40%, TP 50~60%, TN 30~40%의 처리효율을 보고하고 있다. 이 기준에 따르면 자운리 786번지와 자운리 628-2번지 다단계 침사지는 적절하게 운영되고 있는 것으로 판단된다.

3. 다단계 침사지 용량 적정성 검토와 침사지 운영

자운리 786번지와 자운리 978번지 다단계침사지에 대해서 Stokes' Law와 침사지 소요수면적 계산식으로부터 현재 설치된 제원에 대한 부유물질 제거효율을 검토하였다. 7월 1일~2일 강우사상과 10월 2일~4일 강우사상의 입도분포가 동일한 것으로 가정하였다. 현재 설치된 자운리 786번지, 978번지 침사지의 수면적으로 10월 1일~4일 조사에서 Table 6과 같이 이론적으로는 각각 89.3%, 88.0%의 부유물질을 삭감할 수 있으나 실제 측정된 786번지 침사지의 SS

제거효율은 35.2%로 조사되었다. 7월 1일~2일 강우시 Table 6과 같이 이론적으로는 각각 71.3%, 39.9%의 부유물질을 삭감할 수 있고, 실제 측정된 786번지 침사지의 SS 제거효율은 54.6%로 조사되었다.

$$- \text{Stokes' Law: } V_s = \frac{1}{18\mu} g(\rho_s - \rho)d^2$$

여기서, V_s : 독립입자의 침전속도(cm/sec)
 g : 중력가속도(980cm/sec²)
 ρ_s : 입자의 밀도(g/cm³)
 ρ : 유체의 밀도(g/cm³)
 d : 입자의 직경(cm)
 μ : 유체의 점성계수(g/cm·sec)

$$- \text{침사지의 소요수면적(m}^2\text{)} = \text{설계우수유출량(m}^3\text{/hr)} / \text{소요표면적부하율(m}^3\text{/m}^2\text{.hr)} \times \text{여유율}$$

현재 설치되어 있는 침사지 면적에 합당하는 부유물질 제거효율을 달성하기 위해서는 침사지의 설계수심은 최소한 2m 이상으로 유지하는 것이 적절하다. 고령지발 지역의 침사지에는 많은 토사가 침사지 바닥에 퇴적되어 침전부의 부피가 줄어들고 신속하게 퇴적토를 준설할 수 없기 때문에 가능한 2.5m 정도의 수심을 확보하는 것이 필요하다. 침사지 효율에는 침사지 수면적과 침전 가능한 수심확보가 중요한 인자이므로 7월 1일 강우와 같이 강우량 97mm 정도의

Table 6. SS removal efficiency of stormwater pollutant loads at the multistage sedimentation basins in the Jaun area

Rainfall event	Sedimentation basin	surface area (m ²)	Treatable settling velocity (cm/sec)	Treatable particle size (μm)	Theoretical removal efficiency (%)	Surveyed removal efficiency (%)
October 1~4, 2016	786 Jaun-ri	20,741	0.000492	2.520	89.3	35.2
	978 Jaun-ri	22,674	0.000184	1.542	88.0	-
July 1~2, 2016	786 Jaun-ri	20,741	0.002939	6.160	71.3	54.6
	978 Jaun-ri	22,674	0.008251	10.322	39.9	-

큰 강우시 높은 효율을 달성하기 위해서는 침사지 수 표면적을 더 확보하는 것이 필요하다. 홍수기전에 침사지 퇴적토를 준설해서 적절한 수심을 유지하고, 관리인을 통해서 침사지 유입부의 하천과 수문을 관리하고, 유출부 수문관리, 지내 이상 징후에 대응을 신속하고 적절하게 할 수 있는 체계가 필요하다. 이와 같은 침사지의 이상징후 대응과 홍수시 및 평시 관리를 위해서는 이 지역의 토사유출 상황을 누구보다 잘 아는 지역주민의 협조가 필수적이다. 소양호 상류지역 농민들을 대상으로 2016년 11월에 비점오염 관리 실태에 대한 설문조사를 실시하였다(Wonju Regional Environmental Office 2016). 설문조사에서 79%의 농민이 흙탕물저감사업 참여 의사를 밝혔고, 61%의 농민이 탁수저감 시설관리를 농민이 직접 하는 것이 좋겠다는 의사를 밝혔다. 따라서 지역 주민에 대한 교육과 홍보를 통해서 침사지 인근 주민들이 침사지 관리에 자발적으로 참여할 수 있는 체계 구축이 필요하다. 이와 같은 다단계 침사지의 적절한 운영관리와 퇴적물의 관리를 통해서 침사지의 토사 및 오염물질 제거효율을 높일 수 있고, 추가적인 침사지 설치를 통해 흙탕물 관리를 효과적으로 할 수 있다.

IV. 결론

자운지구 상류부이고 배수구역내 고랭지밭이 밀집되어 있는 중조향천 강우유출수의 입도분포는 모래 1.47%, 미사 82.79%, 점토 15.74%로 조사되어 중조향천 강우유출수는 미사와 점토의 비중이 크다. 원래 대부분의 토양 입도분포가 모래인 자운지구에서는 이 지역 고랭지밭의 객토 여부에 따라 강우유출수의 입도 분포가 크게 달라지고, 객토를 한 밭에서 유출

된 많은 미사와 점토로 인해서 자운지구 일대 강우유출수의 미사와 점토의 비중이 큰 것으로 판단된다.

자운리 786번지 다단계 침사지에 대해서 현재 설치된 제원에 대한 부유물질 제거효율을 검토하였다. 현재 설치된 자운리 786번지 침사지의 수면적으로 10월 1일~4일과 7월 1일~2일 강우시 이론적인 부유물질 제거효율은 각각 89.3%, 71.3%로 산정되었고, 실제 측정된 침사지의 효율은 이보다 각각 61%, 23% 낮게 나타났다.

자운지구의 자운리 786번지와 자운리 628-2번지 다단계 침사지에서 2차례 강우에 대해서 침사지의 SS 제거효율을 분석한 결과 35%~62%의 삭감율을 보였다. BOD는 약 24%~55%, TP는 약 35%~58%의 오염부하가 삭감되어서 자운리 786번지와 자운리 628-2번지 다단계 침사지는 적절하게 운영되고 있다.

고랭지밭 지역의 침사지에는 많은 토사의 유입으로 침전부의 부피가 줄어들므로 침사지를 효율적으로 운영하기 위해서 2.5m 정도의 수심을 확보하는 것이 필요하다. 아울러 침사지 인근 주민들이 침사지 관리에 자발적으로 참여할 수 있는 체계 구축과 추가적인 침사지 설치와 침사지 퇴적토의 적절한 관리를 통해서 이 지역 흙탕물 관리를 효과적으로 할 수 있다.

사 사

이 연구는 2016년도 원주지방환경청의 “만대·가야·자운지구 비점오염원 관리지역 모니터링 및 평가” 사업의 지원과 교육부의 재원에 의한 한국연구재단의 기초연구사업(NRF-2017R1D1A1B03032816)의 일부지원으로 수행되었습니다.

References

- Ahmed M, Malin E, Maria V. 2016. Long-term hydraulic and treatment performance of a 19-year old constructed stormwater wetland-Finally matured or in need of maintenance. *Ecological Engineering*. 95: 73-82.
- Hyun GW, Park HK, Lee YS, Lee SJ, Park JH, Jun SH, Choi J, Lim KJ. 2010. Analysis of sediment reduction efficiency with net type sediment settling pond at highland agricultural region. *Journal of Korean Society on Water Quality*. 26(2): 215-224. [Korean Literature]
- Jeonbuk Development Institute. 2011. Selection of nonpoint source pollution control technologies for the Saemangeum watershed. [Korean Literature]
- Joo JH, Jung YS, Kim JJ, Park CS, Yang JE. 2002. Characteristics of the dressed soil in farm land in Naerinchun upper stream and management practices to reduce soil erosion. *Journal of Agricultural, Life and Environmental Sciences*. 13: 108-115. [Korean Literature]
- Karine EB, Elizabeth AF, Chris CT. 2013. Floating treatment wetland retrofit to improve stormwater pond performance for suspended solids, copper and zinc. *Ecological Engineering*. 54: 173-182.
- Kim B., Jung S. 2007. Turbid storm runoffs in Lake Soyang and their environmental effect. *Journal of Korean Society of Environmental Engineers*. 29(11): 1185-1190. [Korean Literature]
- Kim LH, Lee BS, Kwon SY. 2005. Optimum capacity of retention basin for treating nonpoint pollutants and its removal efficiency in industrial complex areas. *Journal of Korean Wetlands Society*. 7(3): 75-85. [Korean Literature]
- Lee GS. 2007. GIS-based soil erosion analysis of highland upland. *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*. 27(5D): 657-662. [Korean Literature]
- Lee JT, Song CH, Kang TH. 2000. A study on the effect of water quality improvement of a storm sewage by detention pond. *Journal of Korea Water Resources Association*. 33(3): 351-364. [Korean Literature]
- Lee OJ, Kim S, Kim H, Kim S. 2016. Size determination method of bio-retention cells for mimicking natural flow duration curves. *Journal of Wetlands Research*. 18(4): 424-431. [Korean Literature]
- National Institute of Environmental Research. 2010. Management guidelines of nonpoint source pollution of the development works for Korean TMDL. [Korean Literature]
- National Institute of Environmental Research. 2014. Technical guidelines for total maximum daily loads. [Korean Literature]
- Novotny, V. 2003. *Water quality: Diffuse pollution and watershed management*; John Wiley & Sons: New York, NY, USA.
- Wonju Regional Environmental Office. 2016. Monitoring and assessment for the nonpoint source pollution management area of Mandae, Gaah and Jaun region. [Korean Literature]