

# 강우유출수 처리목적 인공습지 침강지의 퇴적물 특성 및 설계 적정성에 관한연구

박 기 수\* / 청 정\*\* / 김 영 철\*\*\*

## Sediments and Design Considerations in the Forebay of Stormwater Wetland

Kisoo Park\* / Jing Cheng\*\* / Youngchul Kim\*\*\*

**요약** : 본 연구에서는 ‘09년’ 환경부의 비점오염저감시설 모니터링 및 유지관리 시범사업으로 건설된 강우유출수 처리목적의 인공습지 침강지에서 퇴적특성 및 설계 적정성에 대하여 조사분석 하였다. 본 연구대상 인공습지가 설치된 지역에는 대규모 우사가 산재해 있으며 인공습지는 가축사육지역에서 발생하는 강우유출수를 처리하기 위하여 설치되었다. 퇴적물의 발생양은 강우량 및 강우강도에 영향을 받아 결정되며 유입유량의 크기에 따라 지점별 퇴적량이 결정되는 것으로 나타났다. 퇴적물의 성분분석결과 영양염류의 경우 일반 농촌지역 인공습지 대비 연구대상 습지의 농도가 10배 높은 수치로 분석되었고 주변토양과 중금속함량을 비교한 결과 *Total-Pb*, *Total-As*는 비슷한 수준을 보이고 있으나 *Total-Cu*의 경우 축산단지의 영향을 받아 높은 수준의 함량을 나타내었다. 연간 퇴적물 발생량을 추정된 결과 중량으로는 13톤, 퇴적깊이는 약 23cm, 체적기준 65m<sup>3</sup>이었고 현재의 기준을 바탕으로 준설시기를 산출하였을 때 약 2.7년 정도로 조사되었다. 한편 침강지의 구조는 고유량시(강우시) 발생하는 세굴을 감안하여 현재와 같은 장방형 구조가 아닌 쐐기형 구조가 적합한 것으로 판단된다.

**핵심용어** : 비점오염, 영양염류, 인공습지, 중금속, 침강지, 퇴적물

**Abstract** : In this paper, field study results about accumulation of sediments and its property in the forebay of wetland aiming at stormwater from rural area wherein intensive cow feeding lots are operated are provided. In addition, some design aspects are discussed. Amount of sediment generation in the longitudinal direction of forebay was found to be affected by hydrological factors such as rainfall depth and intensity. Nutrient contents in the sediments of this wetland were 10 times higher than those in stormwater wetland in rural area without animal-feeding lot. *Total-Pb* and *As* contents show similar level to values from the soils of surrounding watershed, but *Total-Cu* content was higher due to the animal feeding lots. Yearly amount of sediment generation, its depth and volume were estimated to 13tons, 23cm, and 65m<sup>3</sup>. Based on these results and recommended guideline by *Korean Ministry of Environment*, dredging frequency was found to be about 2.7years. The shape of forebay has to be carefully designed to deal with a great change in flow rate. According to the results of sediment depth analysis, instead of the present rectangular, wedge-shape forebay is more desirable in handling scouring caused by high flows.

**Keywords** : Forebay, Nutrient, Nonpoint Pollution, heavy metals, sediment, stormwater wetland.

### 1. 서 론

급격한 도시화, 산업화로 인해 도로 및 주차장

등의 불투수층 지역에서 발생하는 오염물질의 양이 증가되고 있다. 과거 정부에서는 하수처리장 및 폐수처리장의 설치로 점오염원 중심의 처리를

+ Corresponding author : ykim@hanseo.ac.kr

\* 정회원 · 한서대학교 환경공학과 석사과정 · E-mail : parkks3507@naver.com

\*\* 비회원 · 한서대학교 환경공학과 석사과정 · E-mail : cjcg001@nate.com

\*\*\* 정회원 · 한서대학교 환경공학과 교수 · E-mail : ykim@hanseo.ac.kr

지향하여 왔다. 그러나 점오염 중심의 문제 해결이 우리나라 수계의 수질을 개선하는 데에는 한계가 있음을 인지하고 비점오염원의 관리와 비점오염물질을 처리하는 방향으로 국가 물환경정책이 전환되고 있다.

환경부에서는 2006년부터 “한강수계 비점오염 저감시설 모니터링 및 유지관리 시범사업”을 시작으로 2008년에는 금강, 영산강, 낙동강을 포함한 4대강수계의 비점오염저감시설 모니터링 및 유지관리 시범사업을 수행하고 있으며 인공습지, 식생수로, 침투도랑, 여과형, 와류형, 스크린형 시설 등과 같은 다양한 형태의 비점오염저감시설에 대해 모니터링 연구를 수행하고 있다(환경부·환경관리공단, 2011).

이 중 인공습지는 침전, 여과, 흡착, 미생물 분해, 식생식물에 의한 정화 등 습지가 보유하고 있는 자연적인 처리능력을 인위적으로 향상시켜 오염물질을 저감하고 지역의 경관적 가치 및 야생동식물의 서식지로서의 역할을 수행하는 비점오염 처리시설이다(Gavin F. B. 2006). 동시에 인공습지는 저류기능을 통하여 호우시 발생할 수도 있는 홍수 등 같은 자연재해를 방지하는 기능도 보유하고 있으므로 물리적인 실현가능성이 가장 높은 저감시설 중 하나이다(William J. M. 2000).

인공습지에서는 다양한 오염물질에 대한 제거분위기를 조성하고 처리능력(capacity)을 증가시키기 위하여 습지 전체면적 중 약 50%는 얕은 습지(0~0.3m), 30%는 깊은 습지(0.3~1.0m), 20%는 깊은 연못(1.0~2.0m)으로 구성하며 습지의 최선단에는 하수처리장 1차 침전지와 같은 기능을 수행하는 침강지(Forebay라고 부름)를 설치하고 있다(Lightbody A. F., 1999).

침강지는 강우시 유역에서 강우 유출수와 함께 유출되는 토사 및 부유물질이 습지내부로 유입되기 이전에 침전 처리하는 기능을 담당할 뿐 만 아니라 부분적으로 습지로 유입되는 유량을 조절하고 에너지를 소산시키는 기능을 수행한다.

침강지 설계기준에 따르면 침강지 용량은 인공습지설계용량을 나타내는 수질처리용량(water

quality volume, WQv)의 10%이상으로 확보되어야 하며 수심은 1.2~1.8m의 깊은 못 형태를 유지하고 장폭비는 최소 2:1이상으로 설계하며, 유지관리가 용이하도록 유지관리 도로를 확보하도록 권장하고 있다(환경부, 2008).

침강지의 전처리 기능이 정상적으로 발휘될 수 있도록 침강지에 퇴적된 토사와 식생이 관리되고 있는데 준설주기는 침강지 용량(부피)기준으로 50%이상이 매몰될 경우 토사를 제거하도록 권장하고 있고, 퇴적물이 습지 총 체적기준(WQv)으로 10%를 초과하지 않도록 규정하고 있다(환경부, 2008). 식생의 경우에는 보통 겨울철 식생고사기에 1회를 제거주기를 제안하고 있지만 과도한 식물성장은 물의 흐름을 방해할 수 있으므로 유지관리 주체의 판단으로 제거주기를 결정하고 있다.

기존에 국내에서 수행된 인공습지 침강지에 관한 연구는 퇴적물의 성상에 관한 연구가 대부분이며 침강지 설계 및 유지관리에 필요한 퇴적속도 및 퇴적특성에 대한 연구는 전무한 형편이다. 이 소영 등(2007)은 비점오염저감시설인 침투도랑과 여과형 시설에 설치된 침강지 퇴적물의 물리화학적 특성을 보고하고 있다. Yi(2010)는 국내 농촌 지역에서 운전되고 있는 인공습지 침강지의 퇴적물에 대한 입도분석 및 침전된 토사의 오염물질 함량 분석결과를 제시한 바 있다. 따라서 본 연구에서는 전라북도 정읍시 덕천면 일대에 강우유출수 처리목적으로 설치된 인공습지 침강지의 설계 적정성을 평가하고 침강특성 및 퇴적성분 분석을 통하여 추후 건설될 인공습지 설계에 필요한 기초 자료를 제공하고자 한다.

## 2. 연구방법

### 2.1 연구대상 지점

본 연구의 모니터링 대상지점인 전라북도 정읍시 덕천면 인공습지의 위치 및 영상을 Fig. 1에 나타내고 있다. 정읍 인공습지는 2008년에 금강수계 비점오염시설 모니터링 시범사업의 일환으로

설치되었고 강우시 강우유출수 및 건기시 하천수를 처리하기 위한 목적으로 건설된 비점오염 저감 시설이다.

유역면적은 약 64ha로 논, 밭, 임야, 축사, 주택 등으로 이루어져 있으며 주 오염원은 유역에 대규모로 산재하고 있는 소 사육단지의 축산폐수와 주변 농경지에서 유출되는 농업배수이다. 습지의 용량(WQv)은 4,027m<sup>3</sup>, 면적은 3,491m<sup>2</sup>, 비강우시 평균 체류시간은 약 15일로 조사되었다. 전체 유역면적 대비 습지면적은 약 0.8%로 강우 유출수 인공습지 분류기준으로 포켓습지(pocket

wetland) 규모이며(EPA, 1993), 침강지 용량은 국내 권장 기준인 10%에 약간 미치지 못하는 WQv의 약 8.7%이다(환경부, 2008). 습지의 비표면적(= 습지면적/습지용량)은 0.77m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>이다. 습지는 유입→ 침강지(forebay)→ 포기식 습지(aeration pond)→ 깊은습지(deep marsh) → 얇은 습지(shallow marsh)→ 소규모 연못(polishing pond)→유출단계로 구성되어 있으며 각 구성요소별 제원 및 유역토지 이용현황을 Table 1에 나타내었다.



Fig.1 Location of stormwater wetland used for this study and its elements

Table 1. Dimensions of stormwater wetland and watershed land use

(a) Dimensions					(b) Land use		
	Surface area(m <sup>2</sup> )	Depth (m)	Capacity (m <sup>3</sup> )	Percent capacity		Area (ha)	Percent area (%)
Forebay	288	1.2	351	8.7	Forest	26.7	41.8
Aeration pond	660	1.1	708	17.6	Paddy	9.5	14.8
Deep and shallow marsh	1,892	1.4	2,592	64.4	Cropland	12.0	18.8
Polishing pond	243	1.5	373	9.3	Feeding lot	10.8	16.8
Residential	5.0	7.8					
Sum	3,085	1.3 (avg.)	4,027	100.0	Sum	64.0	100.0

정읍 인공습지를 구성하고 있는 요소 중 최선단에 위치한 침강지는 유입수에 포함된 입자상물질을 침강을 통한 오염물질 제거 및 유량조절 기능을 수행하는 본 연구의 핵심이 되는 지점으로 4개 지점(Z-1, Z-2, Z-3, Z-4)을 모니터링 지점으로 선정하였으며 지점별 면적 산출은 침강지의

총 표면적에서 쿠폰이 설치된 지점을 중심으로 면적을 실측하여 산출하였으며 침강지의 수심이 일정하게 이루어져 쿠폰설치지점인 중간부분이 각 구간을 대표할 것으로 판단된다. 또한 퇴적속도를 측정하여 퇴적특성을 분석하였으며 지점별 제원은 Fig. 2와 Table 2에 제시하였다.

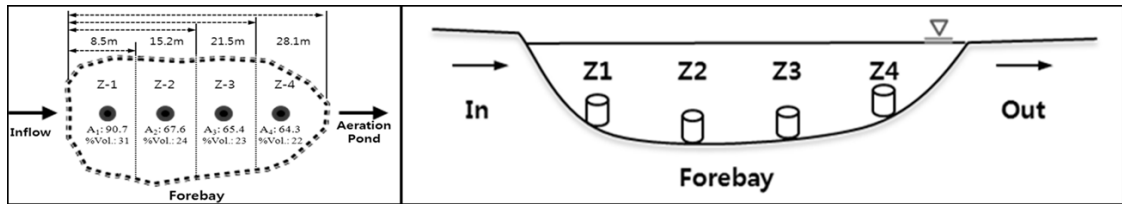


Fig. 2 Sediment monitoring point

Table 2. Dimensions of sediment monitoring zone

	Area (m <sup>2</sup> )	Depth (m)	Volume (m <sup>3</sup> )	Percent volume
Z-1	63.4	1.2	77.2	22
Z-2	92.2	1.2	112.3	32
Z-3	80.6	1.2	98.3	28
Z-4	51.8	1.2	63.2	18
Sum	288.0	1.2	351.0	100

## 2.2 모니터링 방법

퇴적물 모니터링 방법에는 컵형(cup type) 측정법, 평판형(plate type) 측정법, 그리고 습지에서 직접 코어시편(integrated core sample)을 채취하여 측정하는 방법으로 분류할 수 있다(Schulz M., 2003). 컵형 측정법은 세 가지 방법 중 가장 손쉽게 퇴적량을 측정할 수 있다는 장점이 있으나 침강지 내부에서 일어나는 재부상(resuspension)의 영향을 측정할 수 없으므로 퇴적물 양을 과대 평가할 수 있다는 단점이 있다. 평판측정법은 설치가 용이하면서 재부상 효과를 감안하여 퇴적속도를 산출할 수 있는 장점이 있는 반면에 퇴적깊이 측정시마다 배수를 반복적으로 실시해야한다는 단점이 있다(Robert W. N., 2000).

한편 코어시편을 채취하여 퇴적깊이를 측정하

는 방법은 가장 간편한 방법이지만 정읍습지에서와 같이 기존의 논을 활용하여 습지로 전환한 경우에는 신생퇴적물과 기존의 퇴적층을 구분하는 것이 쉽지 않으므로 적용을 배제하고 본 연구에서 달성하고자하는 연구목적에 부합하고 시간에 따른 퇴적속도 측정에 가장 적합한 컵형 측정법을 선정하여 모니터링 하였다.

Fig. 3은 컵형 쿠폰의 설치 및 회수장면을 나타내고 있다. 모니터링은 초기 설치 후 30~50일을 주기로 퇴적물 쿠폰을 채취하고 다시 새로운 쿠폰을 설치하는 방법으로 연속적으로 모니터링을 수행하였다. 채취된 퇴적물은 퇴적물 양 및 퇴적속도 산출을 통해 퇴적특성을 파악하고 아울러 퇴적물의 물리화학적 특성을 파악하기 위해 강열감량, 유기물질 및 영양염류 함량, 그리고 주요 중금속 함량을 조사 분석하였다.

### 2.3 퇴적물 양 및 퇴적속도 산출

퇴적물 양은 컵형 쿠폰에 퇴적된 퇴적물의 양을 쿠폰이 설치된 침강지 구간면적을 이용하여 환산하였고 침강지 전체 퇴적물 양은 각각의 구간면적의 퇴적물 양을 합산하여 구하였다. 퇴적물의 깊이는 4개 지점 쿠폰의 쌓인 퇴적물의 깊이를 면적 가중하여 얻은 평균깊이를 나타낸다. 침

강퇴적물의 부피는 컵형 쿠폰내부의 교란되지 않은 퇴적층의 깊이에 각각의 구간면적을 곱함으로써 산출하였다. 침강지 용량대비 퇴적물 부피(%)는 퇴적물 부피를 지점별 침강지 용량으로 나누어 산출하였다. 퇴적속도는 단위면적 당 일일 퇴적속도, 강우량 대비 단위면적 당 퇴적속도, 강우량 대비 퇴적깊이 증가속도, 일일 퇴적속도를 산출하였다.



Fig. 3 Preparation of cup-type sediment sampler and recovery

### 2.4 침강지 설계 적정성 및 준설시기 산정

인공습지의 효율에 침강지는 매우 중요한 역할을 담당하는 지점으로 침강지 설계의 적정성 및 준설시기 산정이 매우 중요한 인자로 꼽히고 있다. 설계의 적정성 평가는 기존에 제시된 문헌자료를 바탕으로 수질처리용량, 습지대비 침강지의 용적 및 퇴적물 저장용량을 조사·분석하였고 준설시기는 퇴적물 쿠폰에 침전된 퇴적물을 분석하여 퇴적물의 양 및 퇴적속도를 기준으로 침강지의 준설시기를 결정하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 모니터링 조사기간

Table 3에는 퇴적물 쿠폰 설치기간, 방치일수 및 각 기간 동안의 누적 강우량을 나타내었다. 누적 강우량 기준으로 1차~2차 조사기간은 강우기, 3차~4차 조사기간은 강우활동이 비교적 약한 비강우기로 분류할 수 있다. 방치기간은 27일~50일로 평균 42일이었다.

Table 3. Operational periods and time of the sediment sampler and cumulative rainfall depth

	Period 1	Time	Cum. R.D
Period 1	2011 June 11~2011 July 21	40days	480mm
Period 2	2011 July 22 ~ 2011 September 10	50days	378mm
Period 3	2011 September 11 ~ 2011 October 20	49days	66mm
Period 4	2011 October 21 ~2011 November 17	27days	57mm

### 3.2 침강지 퇴적특성

Table 4는 컵형 쿠포를 통하여 얻은 퇴적량 자료를 침강지 전체용량으로 환산한 퇴적량을 나타내고 있다. 조사 시기에 따라 다양한 퇴적분포를 보이고 있으며 각 시기별로 분석하였을 때 1차 조사의 경우 가장 많은 강우량을 기록하고 있지만 2차 조사에 비하여 퇴적량이 적은 것으로 분석되었다. 그 이유는 1차 조사 시기동안 평균 강우강도가 2.1mm/hr이고 2차 조사는 평균 3.4mm/hr로 약 1.6배의 강우강도 차이로 인해 1차조사기간의 퇴적물 양(2,807kg)보다 2차 조사기간에 퇴

적물(6,670kg)이 더 많이 퇴적한 것으로 판단된다. 3차 조사의 경우에는 1차 조사와 2차 조사에 비해 매우 적은 강우량을 기록하고 있지만 가장 많은 퇴적물 양(7,762kg)을 나타내고 있는데 그 이유는 3차 조사기간 중 인공습지 유입부 및 스크린 시설의 퇴적물 준설 작업으로 발생한 다량의 토사가 침강지로 유입되어 적은 강우량에도 많은 양의 퇴적물이 퇴적된 것으로 판단된다. 4차 조사 시기의 경우는 다른 시기와 비교하여 매우 적은 퇴적량을 보이고 있는데 비강우기 침강지에서 보통 발생될 수 있는 퇴적물 양(515kg)일 것으로 추정된다.

Table 4. Sediment accumulation characteristics

	Period 1					Period 2				
	Z-1	Z-2	Z-3	Z-4	Sum	Z-1	Z-2	Z-3	Z-4	Sum
Zone area(m <sup>2</sup> )	90.7	67.6	65.4	64.3	288	90.7	67.6	65.4	64.3	288
Zone volume(m <sup>3</sup> )	110	83	80	78	351	110	83	80	78	351
Weight(kg)	764	949	661	433	2,807	1,298	2,581	1,748	1,043	6,670
Depth(cm)	4.0	6.0	5.0	3.0	4.5	4.0	12.0	8.0	5.0	7.3
Volume(m <sup>3</sup> )	3.6	4.1	3.3	1.9	13.0	3.6	8.1	5.2	3.2	20.9
Percent volume(%)	3.3	4.9	4.1	2.5	3.7	3.3	9.8	6.5	4.1	5.9
	Period 3					Period 4				
	Z-1	Z-2	Z-3	Z-4	Sum	Z-1	Z-2	Z-3	Z-4	Sum
Zone area(m <sup>2</sup> )	90.7	67.6	65.4	64.3	288	90.7	67.6	65.4	64.3	288
Zone volume(m <sup>3</sup> )	110	83	80	78	351	110	83	80	78	351
Weight(kg)	904	2,258	2,543	2,058	7,762	267	142	64	41	515
Depth(cm)	4.0	11.0	10.0	9.0	8.1	2.8	2.1	0.7	0.6	1.7
Volume(m <sup>3</sup> )	3.6	7.4	6.5	5.8	23.4	2.5	1.4	0.5	0.4	4.8
Percent volume(%)	3.3	9.0	8.2	7.4	6.7	2.3	1.7	0.6	0.5	1.4

#### 3.2.1 조사시기에 따른 지점별 퇴적특성 분석

Fig. 4에는 쿠포 설치 지점별로 일일 단위 면

적당 퇴적물 양을 조사 시기에 따라 나타내었다. 이론적으로 침강지의 유입 선단부터 차례로 토사

가 퇴적되는 것으로 생각되었지만 조사결과가 강우기인 1차, 2차 조사시기에는 Z-1 지점의 퇴적물 양은 침강지 전체 평균 퇴적물 양보다 적은 퇴적량을 나타내었으며 Z-2 지점에 가장 많은 토사가 퇴적되고 점차 줄어드는 퇴적형태를 나타내고 있다.

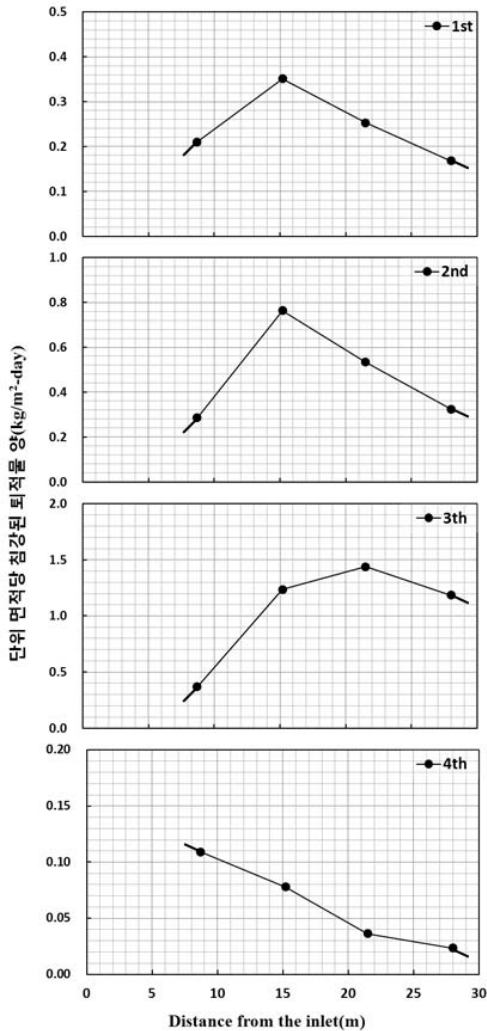


Fig. 4 Distribution of the sediments in the forebay with respect to sampling period

이는 강우시 유입유량의 증가로 유속이 증가하여 침강지 선단부에 퇴적되지 않고 2번 지점부터 퇴적이 일어난 것으로 사료되며 아울러 침강지 선단 유입부의 빠른 유속은 비강우기에 퇴적한 퇴적

물을 세굴작용으로 후단으로 이송시킨 것으로 판단된다.

3차 시기에는 습지 취입보와 유입부, 스크린 시설의 준설작업으로 비정상적으로 높은 퇴적량을 기록하였지만 이와 같은 작업은 습지 유지관리에서 필수적으로 일상적으로 이루어질 것이므로 귀중한 자료로 판단되며 퇴적물 집중지역은 비교적 적은 강우량에도 불구하고 1, 2차 조사시기와 비교하여 후단(Z-3)으로 이송되었음을 알 수 있다.

1, 2, 3차 조사시기와는 다르게 4차 조사시기에는 정상적인 비강우기로 강우시 강우강도의 영향 및 준설 등의 환경적 또는 인위적인 변수가 없어 저유량기의 퇴적형태인 침강지 선단부터 차례로 퇴적되는 양상을 보였다.

### 3.2.2 침강지 지점별 누적퇴적특성 분석

Fig. 5는 침강지 지점별 누적 퇴적량 자료를 나타내고 있다. 1지점과 2지점(Z-1, Z-2)에서는 방치시간에 따라 비교적 일정한 퇴적속도를 보이고 있다. 이는 침강지로 유입되는 유량이 증가하면 유입수의 농도도 함께 증가하고 유입유량이 감소하면 유입수의 농도 또한 감소하기 때문에 강우기에는 고농도이지만 강우지속시간이 건기기간에 비해 작기 때문에 적은 양이 퇴적된 것으로 보인다. 또한 강우기에는 고농도, 고유량의 유입수가 유입되면 침강지에서 수리학적 부하율이 커지게 되고 이에 따라 침전효율이 감소하게 되므로 다량의 퇴적물이 침강지가 아닌 습지 내부로 유입되는 것으로 판단된다.

이와 반면에 비강우기에는 유입되는 토사가 저농도이지만 침강지에 가해지는 수리학적 부하율이 작으므로 상대적으로 높은 효율로 퇴적되어 비율적으로 비슷한 수준의 퇴적속도를 나타낸 것으로 사료된다. 한편 3번, 4번 지점(Z-3, Z-4)의 경우 유량이 컸던 1차, 2차 조사기간과 비교하여 퇴적속도와 퇴적량에 있어 큰 차이를 보이고 있는데 이는 강우활동 및 유지관리활동과 밀접한 관련이 있다.

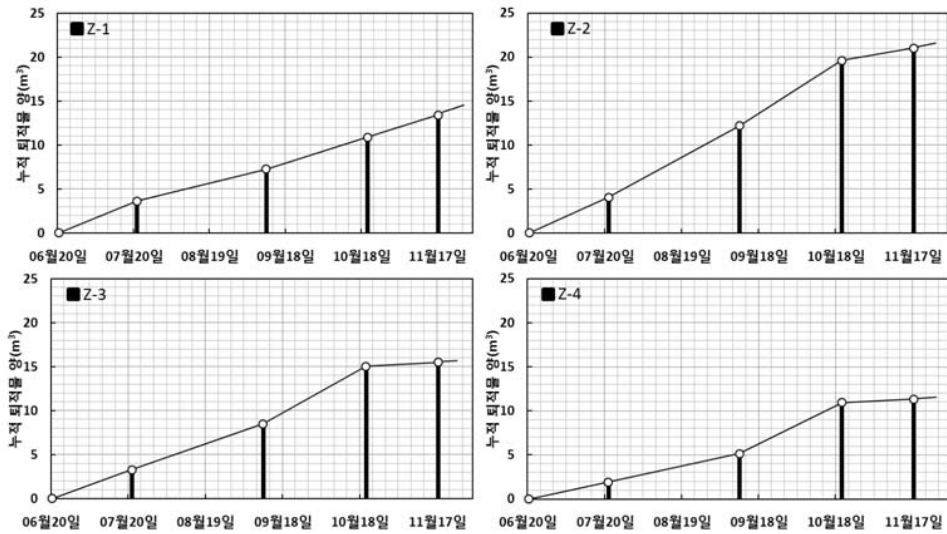


Fig. 5 Cumulative accumulation of the sediments with respect to time

### 3.3 오염물질 함량분석

Table 5에는 정읍 인공습지 침강지의 3차 조사와 4차 조사기간 동안 수집된 퇴적물에 대한 오염물질 함량 분석 결과를 제시하였다. 분석항목은 강열감량, 유기물질 함량, 영양염류의 함량 그

리고 중금속 및 미량원소 함량을 분석하였다. 토양환경보전법(환경부, 2009)에서 토양오염우려기준에 제시된 1 지역 중금속농도와 비교결과 정읍 습지의 중금속 함유량은 모두 기준치 이하로 토양에 함유된 중금속의 용출로 인한 수질오염 문제는 일어나지 않을 것으로 판단된다.

Table 5. Amount of pollutants associated with sediments

	Period 3					Period 4				
	Z-1	Z-2	Z-3	Z-4	Avg.	Z-1	Z-2	Z-3	Z-4	Avg.
VS(%)	15.8	15.9	11.6	12.0	13.8	18.7	15.8	16.0	16.0	16.6
COD(g/kg)	137	156	93	82	117	251	213	176	209	212
TN(g/kg)	5.46	6.22	2.54	3.55	4.4	6.86	6.08	8.03	9.44	7.6
TP(g/kg)	1.43	1.04	0.76	1.03	1.1	2.09	1.45	1.94	2.28	1.9
Total-Pb(mg/kg)	13.2	26.8	19.2	21.3	20.1	11.2	17.8	ND	12.2	13.7
Total-Cu(mg/kg)	27.7	12.8	14.1	9.0	15.9	7.7	9.0	7.9	6.3	7.7
Total-As(mg/kg)	3.1	3.8	1.4	3.6	3.0	2.1	2.8	0.9	2.7	2.1
Total-Cr(mg/kg)	0.3	0.2	0.3	0.2	0.3	ND	0.2	ND	0.1	0.1
Total-Cd(mg/kg)	1.0	1.9	ND	0.3	0.8	0.4	0.9	0.7	0.8	0.7
Total-Hg(mg/kg)	0.7	3.0	ND	1.2	1.2	1.3	ND	3.0	1.0	1.3

#### 3.3.1 정읍 인공습지와 이천 인공습지의 영양염류 특성비교

Fig. 6에서는 연구대상 인공습지 퇴적물의 TN

및 TP의 함량을 경기도 이천 도지리에 위치하고 있는 인공습지에서(Yi, 2010) 조사된 결과와 비교하였다. Fig. 6에 나타난 것처럼 약 10배 정도의



차이를 보이며 정읍습지의 TN, TP 함량이 높은 것으로 나타났다. 이는 유역에서 강우시 유출되는 오염물질의 양적 차이에 기인 한 것으로 정읍 습지의 경우 주 오염염원이 가축사육단지와 농업배수인 반면 이천 습지는 대부분이 논과 밭, 임야로 구성된 유역이므로 정읍습지의 TN과 TP 함량이 높게 나타난 것으로 판단된다. 한편 토지이용이 서로 다른 지역에 설치된 인공습지의 침강지에서 영양소 저감효율의 비교·평가는 어렵고 추후 건설될 축산단지 유역의 강우유출수를 처리 목적의

인공습지 침강지에서 발생하는 퇴적물을 처리할 계획을 수립할 때 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

### 3.3.2 인공습지 주변토양과 침강지 퇴적물의 중금속 함량 분석

Fig. 7에서는 침강지 퇴적물의 중금속 함량과 습지 주변지역 토양의 중금속 함량을 비교하여 나타내었다. Total-Pb와 Total-As의 경우에는 주변토양과 비슷한 수준의 함량을 보이고 있으나 Total-Cu는 가축(축산)단지의 영향을 가장 크게 받는 것으로 나타났다.

구리함량이 다른 토지이용과 비교하여 특별히 가축단지에서 높게 나타난 이유는 소나 돼지의 질병예방을 위하여 인위적으로 사료에 첨가하기 때문인 것으로 사료된다. 카드뮴의 경우 유역을 구성하고 있는 가축단지, 임야, 그리고 논토양의 함량과 비교하여 침강지에서 높은 것으로 분석되었다. 이는 인공습지 주변도로에서 자동차 연료의 연소 및 타이어의 마모물, 농경지에서 폐 농자재 조각이 발생하는 조각재가 강우시 유입되었기 때문인 것으로 판단된다.

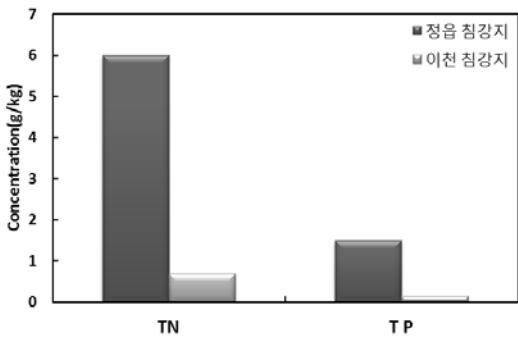
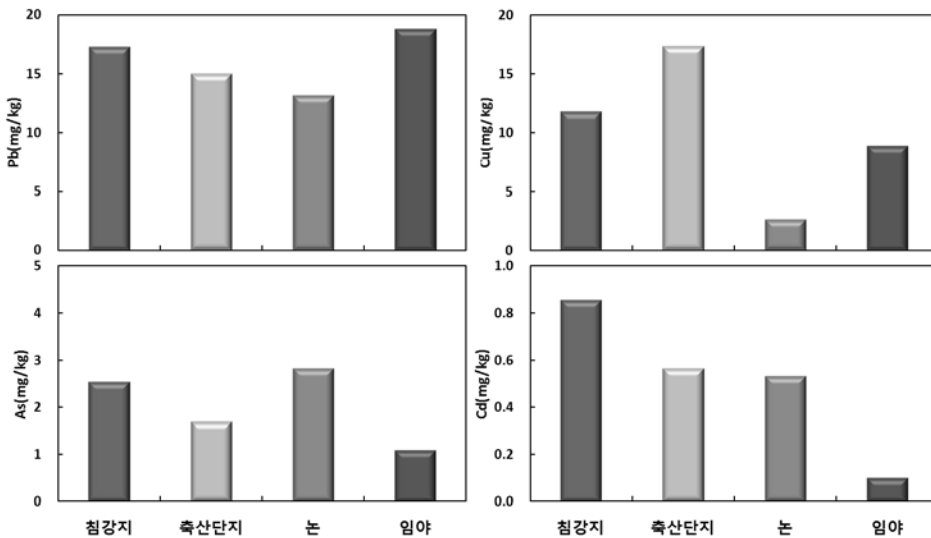


Fig. 6 Comparison between TN and TP contents in sediments from two different wetlands



\* 환경부·국립환경과학원, 2011(축산단지, 논, 임야)

Fig. 7 Comparison between metal contents in sediments and soils

### 3.4 침강지 준설시기 산정

침강지에서는 유입수에 함유된 고형물을 사전에 제거하여 습지내부로 유입되지 않도록 하여 습지의 수명연장 및 유지관리의 용이성 측면에서 매우 중요한 공정으로 주기적인 점검을 통해 준설시기를 결정해야 한다.

본 연구에서는 2011년 6월 ~ 2011년 11월까지 약 166일 동안 4회의 모니터링을 통해 약 15톤의 퇴적물이 퇴적된 것으로 추산되었다. 동일기간 동안 누적 퇴적물 깊이는 22cm, 퇴적물 부피는 약 62m<sup>3</sup>, 침강지 용량기준 약 18% 정도의 퇴적물이 발생하는 것으로 추산되었다. 그러나 신생 퇴적물에 의한 하부 퇴적물의 압밀 및 유기성 퇴적물의 분해, 재부상 효과, 세굴현상 등을 고려할 때 실제 퇴적물 양은 본 조사를 통해 얻은 추산치 보다 약 30% 정도 적을 것으로 추정된다.

현재 조사 기간동안의 자료가 미진하여 연간 퇴적물 양을 정확하게 산출할 수 없지만 제시한 자료가 강우기를 포함한 기간 동안에 수집된 자료이고, 나머지 12~5월까지 발생하는 양은 매우 작을 것으로 추정되며 비교적 유사한 수문환경으로 판단되는 4차 조사결과를 토대로 추정된 결과 약 3,500kg(3.5톤) 정도가 퇴적될 것으로 예상된다.

따라서 연간 퇴적물 양은 18.5톤, 깊이는 약 33cm, 부피는 약 94m<sup>3</sup>으로 추산되며 압밀, 재부상, 분해, 세굴현상 등의 기작에 의해 약 30%의 감량이 이루어진다고 보았을 때 퇴적물의 깊이는 약 23cm, 부피는 65m<sup>3</sup>정도로 추정된다. 내부생산이 활발한 습지내부에서 일어나는 재부상에 대한 많은 연구와 달리 전처리 성격의 침강지에서 재부상에 관한 연구는 전무하다. 연구대상 습지 침강지에 침적되는 퇴적물 중 약 15% 정도가 VS 성분(Table 5)으로 유역 토지이용 특성

으로 볼 때 생분해성이 양호한 유기물질로 가정하고, 습지 침강지에서 제거되는 고형물은 물보다 비중이 훨씬 크고 비압축성 침전물로 구성되어 있으므로 압밀, 재부상 등으로 15% 정도가 감소한다고 가정하여 전체 30%가 감량되는 것으로 추정하였다.

비점오염저감시설 설치 및 관리·운영 매뉴얼(환경부, 2008)에 제시된 침강지 용량의 50%로 감소되는 시점을 준설시기로 정습습지의 침강지 준설용량은 176m<sup>3</sup>이므로 매년 동일한 강우패턴을 가정한 준설빈도는 약 2.7년이 될 것이다.

이와 같은 수치는 잠정적인 수치로 추가적인 퇴적물 발생량 조사를 통하여 지속적으로 보완해야 할 부분으로 판단되며 또한 강우활동에는 불확실성이 늘 상존하므로 본 연구의 퇴적물 준설빈도는 참고자료로만 활용해야하며 현장 침강지의 실측작업을 통하여 준설시기를 결정해야 할 것으로 사료된다.

### 3.5 침강지 설계 적정성 평가

환경부에서 제시하고 있는 기준에 따르면 “인공습지 침강지는 강우유출수 처리 및 인공습지의 수명연장과 유지관리측면에서 중요한 지점으로 경계벽이 있는 독립적인 셀로 구성되어야 하고 장폭비는 2:1이상으로 조성해야 하며 수심은 1.2~1.8m의 깊이를 가져야 하며 유속은 습지내부에 퇴적물 침식이 일어나지 않을 정도의 유속을 유지하고 약 2~5시간의 체류시간을 갖도록 설계한다”라고 규정하고 있다. 한편 “침강지의 용량은 수질처리용량(WQv)의 10%이상을 처리할 수 있어야 하며 보통 3~5년을 주기로 퇴적물 준설을 실시한다”라고 규정하고 있다(환경부, 2008).

환경부의 장폭비 기준은 이상적인 수평류를 유도(관형반응기 거동)하기 위한 것으로 판단되며

일반적인 하수처리장 등의 침전지 설계기준을 원용한 것으로 사료된다. 이와 같은 기준을 인공습지(정읍 도계리)에서는 충실히 반영하여 침강지 장폭비를 2.6:1로 평균수심은 1.2m, 그리고 가장 중요한 침강지의 용량은 습지용량대비 약 8.7%로 할당되어 있어 기준에서 제시하고 있는 10%에는 미치지 못하지만 어느 정도 기준을 만족하고 있다.

그러나 강우 유출수 처리목적의 인공습지 침강지와 일반 하수처리장이나 정수장 침전지와의 가장 큰 차이점은 유량변동이다. 인공습지의 경우 유입유량이 강우여부 및 강우조건에 따라 엄청난 차이를 보이므로 일반적인 침전지 설계방식을 따르면 큰 오류를 범할 수 있다. 연구대상 인공습지와 같이 유량변동이 심한 침강지에서는 세굴에 대비하여 Fig. 8과 같이 장방형이 아닌 썸뿔형태가 적절하다.

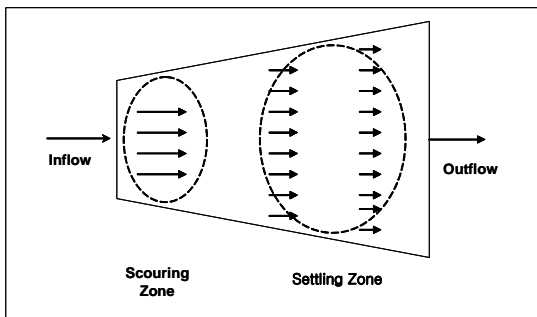


Fig. 8 Proposed structure of forebay (wedge type)

유입구 부분은 단면을 작게 해서 빠른 유속을 유도하여 퇴적을 방지, 세굴을 촉진하면서 동시에 유입 에너지를 소산시키고 후단으로 진행 될수록 단면적을 확장해서 수평유속을 점진적으로 감소시켜 침전을 유도하는 구조가 적절하다(Yi, 2010). 정읍습지와 같은 장방형 구조는 유량이 큰 경우 모든 단면에서 유속이 동일하므로 전체적으로 후단으로 퇴적물을 이송시켜 후속공정인 깊은 습지로 토사가 이동하여 결국 습지수명을 단축시키는 결과를 초래할 수 있다.

Table 6과 Fig. 9에는 강우시 침강지에서 수행한 모니터링 결과를 나타내고 있다. 두 개의 강우사상을 대상으로 수행한 모니터링에서 강우량은 비슷하지만 강우강도의 차이로 인하여 각각 69%와 87%의 제거효율을 나타내었다. WQv 설계개념에서 가정하는 바와 같이 일 강우량 기준으로 가정하면 침강지에서 체류시간( $HRT = Volume\ of\ forebay / Daily\ flow\ volume$ )은 각각 6hr과 16hr이며 이와 같은 수리조건에서 얻은 TSS 제거효율은 양호하다고 판단된다.

한편 수질처리용량(WQv) 4,023m<sup>3</sup>기준으로 침강지에서 수리학적 체류시간을 계산하면 약2hr (= 351m<sup>3</sup> x 24hr/day ÷ 4,023m<sup>3</sup>/day)으로 환경기준에서 권장하고 있는 2시간 이상의 조건은 만족시키고 있지만 실제 모니터링 대상 강우사상이 설계유량 보다 훨씬 작아 침전효율 진단은 불가능하였다.

Table 6. Monitoring rainfall events and TSS removal efficiency in forebay

	Rainfall depth (mm)	Rainfall intensity (mm/hr)	Flow volume(m <sup>3</sup> )	Eff.(%)	Amount of sediments removed(kg)
2011.08.07	20.0	6.7	1,404	69	142.5
2011.11.04	18.5	3.1	530	87	57.7

\*Eff.(%)-TSS removal efficiency only in forebay



효율을 고려한 타당성 진단은 불가능하였다.

- 6). 오염물질의 함량을 분석한 결과 농촌지역을 배수구역으로 하는 다른 인공습지에 비하여 정읍 인공습지 영양염류의 농도가 10배가량 높은 수치로 나타났다. 인공습지 주변의 토양과 중금속 함량을 비교한 결과 남과 비소는 비슷한 수준을 보이는 것으로 나타났고 가축단지의 구리는 높은 수치를 보이고 있는데 이는 소나 돼지의 질병을 예방하기 위해 인위적으로 사료를 첨가하였기 때문인 것으로 나타났다.

### 참 고 문 헌

- 엄한용. 2007. 인공습지의 설계방안, **한국관개 배수지**, 제 14권 제2호: 101-111.
- 이소영, 이은주, 김철민, M.C. Maniquiz 2007. 비점오염시설인 침투도랑과 여과형 시설내 침강지 퇴적물의 물리화학적 특성 분석, **한국습지학회지**, 9(3): 35-42.
- 환경부. 2008. 비점오염저감시설의 설치 및 관리·운영 매뉴얼, pp 86-110.
- 환경부. 2009. 토양환경보전법, 규칙 [별표 3] pp 10.
- 환경부, 국립환경과학원. 2011. 토양측정망 및 토양오염 실태조사결과, pp88-92.
- 환경부, 환경관리공단. 2011. 4대강수계 비점오염저감시설 모니터링 및 유지관리 최종보고서, pp 5-20.
- EPA. 1993. National Conference on Urban Runoff Management: Enhancing Urban Watershed Management at the Local, County, and State Levels, pp 431
- Gavin F. B., Carsten M. Mohammad S. F., JeongYul Suh. 2004. Efficiency of a Constructed Wetland in Removing Contaminants from Stormwater. **Wetlands**, 24(2): 459-466
- Lightbody A. F. The Physical Role of Transverse Deep Zones in Improving Constructed Treatment Wetland Performance, Ph. D. dissertation, Yale University, Connecticut, U.S.A. pp 31-33
- Robert W. N., William J. M. 1999. Phosphorus removal in created wetland ponds receiving river overflow. **Ecological Engineering**, 14(2000): 107-126
- Schulz M et al., 2003. The influence of macrophytes on sedimentation and nutrient retention in the lower River Spree(Germany). **Water Research**, 37(3): 569-578.
- William J. M., James G. G. 2000. The value of wetlands: importance of scale and landscape setting. **Ecological Economics**, 35(200): 25-33
- Qitao Yi. 2010. Nonpoint Source Pollution Control Using Constructed Wetland in the Agricultural Area, Ph. D. dissertation, Hanseo University, Seosan, Korea. pp 80-87.
- 논문접수일 : 2012년 03월 26일
- 심사의뢰일 : 2012년 03월 27일
- 심사완료일 : 2012년 04월 29일