

# 인공정화습지 운영을 위한 수리적 관리방안-영주댐 사례 Hydraulic Management for Artificial wetland in a Yeongju Dam

조한범\*, 김영진\*\*, 박동진\*\*\*

Han Bum Cho, Young-Jin Kim, Dong-Jin Park

## 요 지

비점오염물의 제거를 위해 설치하는 인공습지의 경우, 습지내로 유입되는 취입량과 배수량은 습지내로 유입되는 유입수의 체류시간을 결정하고, 습지의 침수를 방지하기위해 반드시 고려되어야 하는 사안이다. 습지의 유출입시설을 관리하고 조작하는 관리자의 입장에서 관리메뉴얼이 명확하고 직관적이지 못할 경우 강우초기에 적절히 대응하지 못해 습지의 침수 및 범람을 일으킬 수 있으며, 초기 우수 시 오염부하를 저감해야 하는 인공습지 본래의 기능을 기대하기 어렵게 된다. 그러나 각종 설계기준과 관리기준에는 이러한 사안에 대해 서언적인 관리방안만을 제시하고 있고 인공습지 설계에서도 설계서에 보편적인 내용만을 관성적으로 사용하고 있어, 영주댐 인공습지 관리메뉴얼의 사례를 소개하고자 한다. 인공습지의 설계강우량을 통해 유역의 유출유량을 산출하고, 강우별 하천수위를 산출하여 습지내 유입유량과 취수문 개도높이별 유입량 결정을 하였다. 결정된 수위별 수문개도 높이를 세부적으로 제시함으로써, 관리자는 원거리에서도 수문 조작을 판단하여 대응할 수 있는 실무적인 관리방안을 제시하고자 하였다.

**핵심용어** : 인공습지, 비점오염 저감시설, 운영관리, 유량분배

### 1. 현황

영주댐은 경상북도 영주지역에 위치한 다목적댐으로, 유역면적 500km<sup>2</sup> 인 내성천 중상류(지방하천) 구간이며 경북 봉화군과 영주시에 걸쳐 형성되어있다. 댐 내 저수지로 유입되는 비점오염원을 저감하기 위해 천본리, 두월리, 용상리에 총 3개소의 인공정화습지가 설치되어 있다.

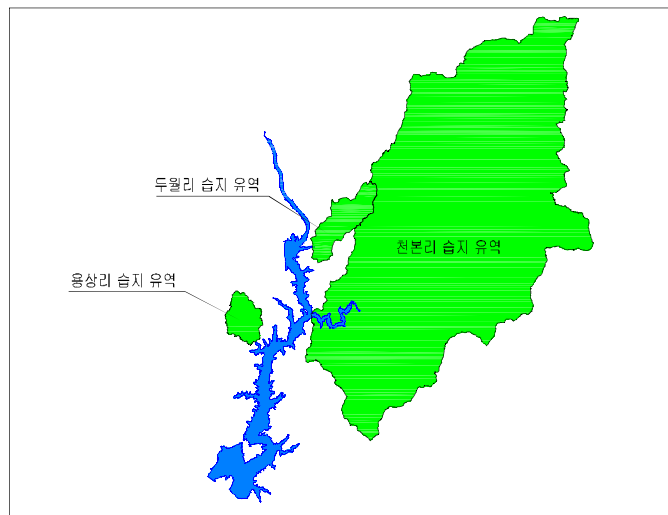


그림 1. 영주댐 인공습지와 습지별 대상 유역

\* 정회원 · 삼성물산 인프라ENG팀(항만/수자원 ENG) · E-mail : [hanbum94.cho@samsung.com](mailto:hanbum94.cho@samsung.com)  
 \*\* 정회원 · 삼성물산 영업팀(인프라영업) · E-mail : [yj777.kim@samsung.com](mailto:yj777.kim@samsung.com)  
 \*\*\* 정회원 · 삼성물산 영업팀(인프라영업) · E-mail : [dj8914.park@samsung.com](mailto:dj8914.park@samsung.com)

각 인공습지가 비점오염부하 저감을 위해 담당하고 있는 유역의 제원은 표1과 같으며, 각 유역의 지목현황을 함께 나타내었다. 또한, 그림1에서는 각 습지가 위치한 유역을 표시하고 있다. 녹색 부분이 각 유역을 나타내며, 파란색은 영주다목적댐의 본류인 내성천의 제1지류 토일천을 나타낸다. 토일천은 하류 종단은 내성천과의 합류점을 나타낸다.

표 1. 대상유역별 현황

대상유역	유역면적(km <sup>2</sup> )	지목현황(km <sup>2</sup> )				
		전	답	임야	대지	기타
천분리습지	116.0	16.50	8.94	82.48	3.52	4.56
두월리습지	4.1	0.69	0.47	2.46	0.15	0.38
용상리습지	2.4	0.90	0.50	2.41	0.21	0.25

## 2 규모

유역내 비점오염원은 우기시 강우에 의해 배출되며, 초기강우에 의해 배출되는 유역내 오염물질의 처리를 위해 습지설계 시 수질처리를 위한 적정한 습지용량 산정이 필요하다. 인공습지의 규모를 결정하기 위해 사용되는 방법은 크게 세가지가 있다. 1) 수리학적 체류시간에 의한 방법과 2) BOD 부하율에 의한 방법 3) 식물의 산소전달율에 의한 방법 등이 있다.

### 2.1 체류시간

일반적으로 인공습지의 경우 체류시간은 12~14hr/day를 기준으로 하여 설계한다. 농업용 수질개선을 위한 인공습지 설계관리요령(2004, 농림부)에 따르면, 수질정화 효율은 1차습지 기준으로 12~24시간 일때가 가장 높으며 시간이 지날수록 효율은 반감된다. 따라서, 영주댐의 경우 12시간을 설계체류시간으로 결정하였다. 1차 습지는 미나리, 줄, 애기부들 과 같은 식재식물 구간을 의미하며, 2차습지는 창포, 갈대 등의 식물이 식재된 구간을 나타낸다.

### 2.2 부하삭감

인공습지의 설계용량은 수질처리용량을 저류하고 안전하게 통수시키기 위한 저류 용량을 말하며, 산정방법은 식(1)과 같다.

$$WQ_v = 10^{-3} \times P \times A \times R_v \quad (1)$$

$WQ_v$  = 수질처리용량(m<sup>3</sup>),  $A$  = 유역면적(m<sup>2</sup>),  $P$  = 설계강우량(mm),

$R_v$  = 체적유출계수(=0.05+0.009×I, I=불투수율(%))

표 2. 습지내 유량유입비율 (유역유량대비)

구분	설계강우	유역면적	체적유출계수	수질처리용량	설치용량	습지유입비율
천분리습지	5mm	116.0km <sup>2</sup>	0.7	40,083m <sup>3</sup>	2,350m <sup>3</sup>	5.86%
두월리습지	5mm	4.1km <sup>2</sup>	0.5	1,029m <sup>3</sup>	1,195m <sup>3</sup>	116.13%
용상리습지	5mm	2.4km <sup>2</sup>	0.5	603m <sup>3</sup>	327m <sup>3</sup>	54.22%

인공습지 설계기준에 따르면, 설계강우는 초기우수를 고려하여 5mm의 유출고를 선정하게 된다. 각 설계강우시 필요한 수질처리용량과 영주댐 유역에 설치된 3개의 습지의 설치용량을 표2에

비교하였과 각 습지가 저감하는 부하량을 표3에 나타내었다. 천본리의 경우 부하저감량이 인공습지 3개소 중 가장 크에도 불구하고 습지유입비율은 전체 수질처리용량의 5.86%로 매우 낮다. 이것은 처리용량과 집수구역의 면적이 차이가 매우 크다는 것을 의미한다. 반면, 유역면적이 작은 두월리는 필요용량을 초과하는 116.3% 이므로, 부하저감량 산정시는 100%로 산정하였고, 용상리의 경우 좁은 유역에 비해 설치면적이 작아 54.22%의 유입비율을 나타내고 있다.

표 3. 유역별 삭감부하량 및 부하저감량

구분		천본리습지	두월리습지	용상리습지
삭감부하량 = 식(2)	BOD(kg/일)	23.84	0.96	1.27
	T-N(kg/일)	31.23	1.20	1.40
	T-P(kg/일)	3.73	0.14	0.17
부하저감량 = 삭감부하량×유입률	유입률(%)	5.86	100	54.22
	BOD(kg/일)	1.40	0.96	0.69
	T-N(kg/일)	1.83	1.20	0.76
	T-P(kg/일)	0.22	0.14	0.09

### 3. 운영

일반적으로 댐 상류에 설치된 인공습지는, 댐 관리자가 위치하는 곳과 상당한 거리가 있다. 영주댐의 경우, 댐 관리동과 각 습지의 이동거리는 10km~16km 가량 이격되어 있기 때문에, 초기 우수 발생시 관리자는 현장으로 이동하여 수문을 조작하여야 한다.

#### 3.1 유량관리

각 습지는 하천의 유량을 유입시키는 유입부와 정화작용을 하는 체류부, 체류를 정화를 마치고 하천으로 회귀하는 유출부로 구성된다. 그림2는 유입수의 흐름동선을 나타내며, 그림3에는 각 부분의 시설을 나타내고 있다. 유입부에 위치하는 조작수문은 이것을 조작하여 습지내로 유입되는 유량을 조절한다.

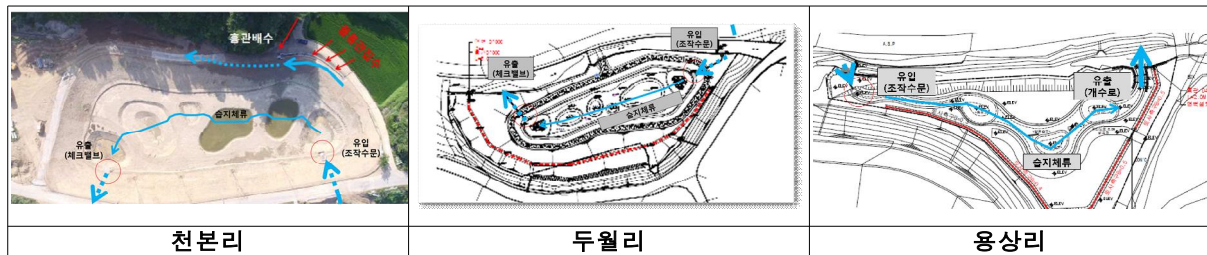


그림 2. 습지별 유량관리

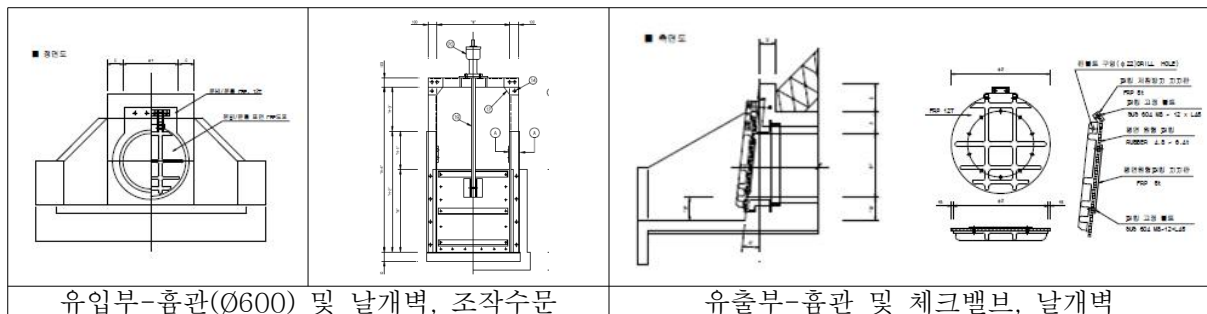


그림 3. 유출입부 수리구조물

#### 4. 관리방안

습지의 유량관리를 위해서는 먼저, 각 습지의 유입부와 유출부의 수리적 제원과 강우량별 취입 하천의 유량을 산정하여 수위를 산정한다. 그리고 수위별 수문개방 정도를 결정하여 적정 관리유량을 결정하게 된다. 표 4는 습지별 주요제원을 나타낸다. 습지의 수리제원은 강우 발생시 유입부와 유출부의 유량차에 따라 습지내 수위상승 여부를 검토하게 된다.

표 4. 유출입부 주요제원

구 분	주요제원		
	천본리	두월리	용상리
유입부관저고(EL.m)	161.4(상단)→161.3(하단)	163.6(상단)→163.3(하단)	162.7(상단)→162.6(하단)
유출부관저고(EL.m)	160.8(상단)→160.3(하단)	162.8(상단)→160.9(하단)	161.9(상단)→161.8(하단)
유입관 길이(m)	20	20	5.5
유출관 길이(m)	28.0	18.0	6.5
관경사	0.018	0.106	0.015
관리도로 표고(EL.m)	164~165	164.5	162.4~162.7
평균수심(m)	0.67	0.5	0.48
유입부 제원(mm)	D600(흡관)/조작수문	D600(흡관)/조작수문	D600(흡관)/조작수문
유출부 제원(mm)	D600(흡관)/체크밸브	D600(흡관)/체크밸브	W3600개수로

#### 4.1 설계강우시 하천수위

표5는 일강우량별 각 습지 인접 하천(습지로 유입되는 하천)의 발생유량을 나타낸다. 이를 이용하여 하천의 수위를 구할 수 있다.

표 5. 강우별 하천수위

구분	두월리		용상리		비고	
	유량(m <sup>3</sup> /s)	수위(EL.m)	유량(m <sup>3</sup> /s)	수위(EL.m)		
유역면적(km <sup>2</sup> )	4.1		2.4			
일강우량	1mm	0.033	164.17	0.019	162.90	
	2mm	0.066	164.24	0.039	163.02	
	3mm	0.100	164.30	0.058	163.12	
	4mm	0.133	164.36	0.078	163.21	
	5mm	0.166	164.41	0.097	163.29	설계강우량
	10mm	0.332	164.63	0.194	163.63	
	20mm	0.664	164.73	0.389	164.18	

#### 4.2 유입수심과 수심별 수문관리

하천의 수위가 결정되면 습지유입부의 제원을 이용하여 수심별 유입량과 유출량이 산정되며, 이를 이용해 수문별 개도량을 결정할 수 있다.(표6)

표 6. 수위별 수문개방

구분	유입부 하천수위(EL.m)	개도 가능 높이(m)	최대유입유량(m <sup>3</sup> /s)	비고
천본리	H < 161.9	0.6 이상(전면개도)	0.458	개수로 흐름
	161.9 ≤ H < 162.0	0.6 이상(전면개도)	0.792	관수로 흐름
	162.0 ≤ H < 162.1	0.5 이하	0.827	관수로 흐름
	162.1 ≤ H < 162.4	0.4 이하	0.841	관수로 흐름
	162.4 ≤ H < 163.3	0.3 이하	0.852	관수로 흐름
	163.3 ≤ H < 164.0	0.2 이하	0.589	관리도로 164.0
두월리	H < 163.9	0.6 이상(전면개도)	0.794	개수로 흐름
	163.9 ≤ H < 164.5	0.6 이상(전면개도)	1.047	관리도로 164.5
용상리	H ≤ 163.2	0.6 이상(전면개도)	0.874	관리도로 163.2

### 4.3 취입 및 습지 내 수위 관리

유입부의 수심별로 개도별 유입량이 산정되면, 유출부의 방류능력을 고려하여 개도 높이를 결정한다. 관리자는 유입부의 수심을 측정하여 개도높이를 표7 및 8과 같이 조작하게 된다. 천본리는 잠관형태로 하천수위와 무관하게 유입가능하므로 두월리와 용상리와는 관리방안을 차별화 한다.

표 7. 수위별 조치사항(천본리)

구분	하천수위(EL.m)	개도 가능 높이(m)	조치사항
천본리	H < 161.9	0.6 이상(전면개도)	· 유입관 날개벽 수심 0.7m 미만 일 경우 유입부 및 유출부 수문 개도높이 0.6m 이하로 유지
	161.9 ≤ H < 162.0	0.6 이상(전면개도)	
	162.0 ≤ H < 162.1	0.5 이하	· 유입관 날개벽 수심 0.8m 미만 일 경우 유입부 및 유출부 수문 개도높이 0.5m 이하로 유지
	162.1 ≤ H < 162.4	0.4 이하	· 유입관 날개벽 수심 1.1m 미만 일 경우 유입부 및 유출부 수문 개도높이 0.4m 이하로 유지
	162.4 ≤ H < 163.3	0.3 이하	· 유입관 날개벽 수심 2.0m 미만 일 경우 유입부 및 유출부 수문 개도높이 0.3m 이하로 유지
	163.3 ≤ H < 164.0	0.2 이하	· 유입관 날개벽 수심 2.7m 미만 일 경우 유입부 및 유출부 수문 개도높이 0.2m 이하로 유지
	H ≥ 164.0	수문폐도	· 유입관 날개벽 수심 2.7m 이상 일 경우 유입부 및 유출부 수문 모두 닫음

표 8. 수위별 조치사항(두월리, 용상리)

구분	강우량	수위(EL.m)	조치사항	비고	
두월리	1mm	163.83	· 유입관 날개벽 수심 1.0m 미만 일 경우 유입부 및 유출부 수문 개도높이 0.6m 이하로 유지		
	2mm	163.90			
	3mm	163.96			
	4mm	164.02			
	5mm	164.07			
	10mm	164.29		· 유입관 날개벽 수심 1.0m를 초과하는 경우, 유입부와 유출부의 수문을 폐쇄하여 습지 내 수위 상승이 없도록 함	
	20mm	164.63			
용상리	30mm	164.92	· 용상리는 습지 유출부의 방류능력이 유입부에 비해 충분히 크므로 과다 유입을 방지하기 위한 수문조절은 필요하지 않음 · 따라서, 하천수위와 관계없이 수문을 상시 개방하되, 유지보수 또는 필요시 수문을 폐쇄하여 관리		
	1mm	162.90			
	2mm	163.02			
	3mm	163.12			
	4mm	163.21			
5mm	163.29		설계강우량		

### 5. 결과

영주다목적댐 상류에 설치된 3개의 인공습지를 관리자가 관리할 때 강우발생별 유입유량을 사전 예측하여 원거에서도 습지 유량조절 판단이 가능하도록 하였다. 강우 발생시 관리자가 현장에서 상황에 따라 수위를 조절하는 비효율적인 방안 대신 사전에 조치사항을 수치적으로 명기함으로써 댐 유역의 비점오염 관리시설 관리 효율성을 높이는 효과를 기대할 수 있다.

### 참 고 문 헌

1. 환경부(2016), 비점오염저감시설의 설치 및 관리·운영메뉴얼
2. 한국수자원공사(2009), 영주다목적댐실시설계보고서
3. 한국수자원공사 영주댐관리단(2016), 영주다목적댐 운영관리지침
4. 농림부(2004), 농업용 수질개선을 위한 인공습지 설계·관리 요령