

댐 상류 인공습지 조성

Wetland build to The upper stream of DAM

박상우¹

¹한국수자원공사 탐진댐 건설단

I. 목 적

댐 건설 후 호소의 수질보전을 위하여 환경기초시설(하수처리장)등을 설치·운영함으로써 점오염원(마을하수, 축산폐수등)에 대해서는 제어가 가능하나, 강우에 의한 비점오염원 배출수에 대하여는 고려되지 않아 호소수질에 많은 영향을 주어 비점오염원 제어를 위한 대안으로 습지조성을 검토하였다.

II. 설계유량 설정

습지용량 결정에 있어 유량설정은 변수가 많이 작용하며, 습지조성에 있어 평시 하천유량과 모든 강우시 하천유량을 고려하여 규모를 결정하면 이상적이나, 강우전체에 대한 유량을 고려하여 습지를 조성할 경우 습지 규모 및 조성공사비에 비하여 처리 효율이 떨어지므로 강우에 의한 초기유출시 오염도가 가장 높은점을 감안하여 평시 하천유량과 초기유출에 해당하는 강우를 설계유량으로 적용키로 하였다.

평시 하천유량 결정에 있어서 탐진댐 유역 평균유량과 강우시 유량을 고려하면 평균유량이 강우시 유출량을 포함하고 있어 강우에 의한 유출이 중복되므로 갈수량을 평시 하천유량으로 설정하고, 탐진댐 유역 60일 갈수량($0.57\text{m}^3/\text{s}$, 탐진댐 기본설계보고서)을 탐진댐 평균유량과 비교 분석한 결과 년중 2/3이상 하천유량이 유지되어 평시 하천유량은 $0.57\text{m}^3/\text{s}$ 로 결정하였다.

강우에 의한 유출량 산정은 “탐진댐 인공습지의 자문보고서(2003, 수환경연구소 소장 황길순)”와 외국 습지용량 산정시 제시된 강우 25.4mm(1inch)에 대한 직접유출량을 적용하였는데, 탐진댐 28개년 강우DATA를 분석한 결과 25.4mm초과 강우는 년 평균 14.7일로 년중 4.03%, 강우일수 대비 14.71%이며, SCS방법에 직접유출분석결과에 따르면 물론 수치적인 해석이지만 21.8mm미만의 강우시 유출이 없어 25.4mm이하 강우를 습지처리대상 강우로 설정하였다.

1. 강우량에 따른 유역의 직접유출량추정 (SCS 방법)

$$Q = \frac{(P-0.2S)^2}{P+0.8S}, S = \frac{25,400}{CN} - 254mm$$

$$Q = 0.117mm$$

Q:직접유출량, S:최대잠재저류수량(초기손실포함), CN:수문학적 토양피복형수(70)

AMC I : 토양은 건조하지만,응고점에 이른 정도는 아니며 경작이 가능한 상태

AMC II : 평균상태(62.5, 탐진댐 기본설계 보고서)

AMC III : 호우나 또는 지난 5일간에 나타난 세우(細雨) 및 저기온상태로 포화된 토양(79.5, 탐진댐 기본설계 보고서)

※ 탐진댐 기본설계시 적용한 CN값은 AMC II와 AMC III 조건의 대략 평균값에 해당하는 CN값 70을 적용하여 값을 그대로 인용

2. 탐진댐 기본설계서 중 SCS 무차원 단위도에 의한 유출분석

탐진댐 기본설계보고서에 따르면 강우 1mm에 대한

$$q_p = 10.27m^3/s, t_p = 3.96hr, t_r = 1.67t_p.을$$

$$Q = 1/2 \times q_p(t_p + t_r)에 대입하면 Q = 1/2 q_p(2.67t_p)$$

Q : 직접유출량의 총용적, q_p : 첨두유출량

t_p : 첨두유량도달시간, t_r : 감수(減水)시간

※ 탐진댐 기본설계보고서, 응용수문학(향문사 P221) 인용

위 식을 적용하기에 앞서 기저장 일정가정이론에 의하여 $t_p + t_r$ 이 일정하다고 가정하고, 직접유출우량 0.117mm에 대한 탐진댐 유역(193km²)의 유출량 22,581m³을 Q로 보면 q_p (첨두유출량)는 1.186m³/s이고, 댐지점으로 유입에서 유출까지 10.57시간이 걸리므로, 단일강우 25.4mm이하에 해당하는 유출수는 탐진댐 상류에 조성계획인 습지로 1일 이내에 유입될 것으로 생각된다. 추가로 탐진댐 상류에 시행중인 하수처리장 유출수에 대한 2차 정화효과를 위하여 하수처리장의 계획 하수량을 처리용량에 포함하였다.

3. 설계유량(신풍지구)

(1) 평시 하천유량(60일 갈수량 적용)

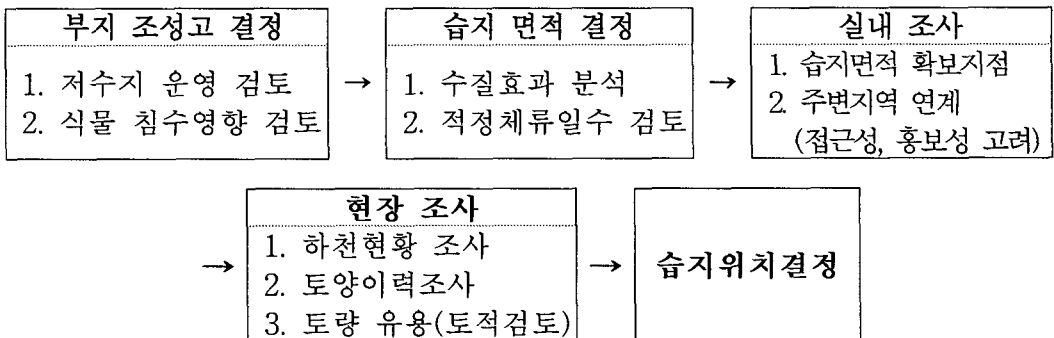
$$\text{신풍지구} : 0.57\text{m}^3/\text{s} \times 32.79\text{km}^2 / 193\text{km}^2 \times 3600 \times 24 = 8,367.06\text{m}^3/\text{day}$$

(2) 25.4mm 강우에 대한 직접유출량(SCS방법)

$$\text{신풍지구} : 0.117\text{mm} \times 32.79\text{km}^2 = 3,836.43\text{m}^3$$

구 분	신풍지구	비 고
유역면적(km ²)*	32.79(A2)	
하수종말처리장 계획하수량(m ³ /day)	180	
평시 하천유량(m ³ /day)	8,367.06	
초기강우(20mm)차집시 유출량(m ³)	3,836.43	
예상습지처리용량(m ³ /day)	12,383	

Ⅲ. 시설계획



<표1. 인공습지 조성공사 흐름도>

1. 유입시설

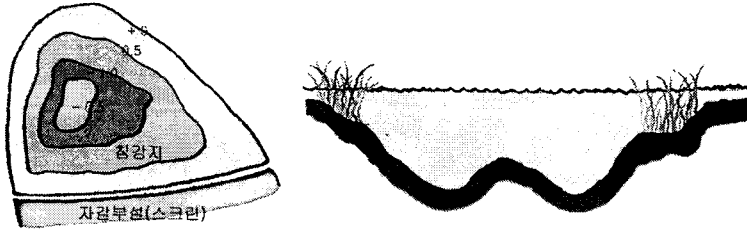
하천으로부터 침강지로의 유입은 상류부에 습지수위와 동일한 레벨로 Con'c 보 및 CSG보를 설치하여 수위를 유지토록 하고 자연유하방식의 유입수로를 설치하였으며, 수로는 일정부분 습지수위와 동일한 레벨의 개수로 또는 흡관을 설치함으로써 일정유량을 유지토록 하였다.

2. 침강지

당초 침강지의 형태는 정수식물의 번식을 방지하고, 유입수내 무기고형물의 제거

및 습지내 균일한 흐름을 유도하기 위하여 수심 1.0m로 조성예정이었으나, 미립자가 바닥에 침전되기 이전 유출되거나 바람등에 의한 교란이 예상되므로 침강지내 바닥 조성고를 다양하게 조성하여 침강 효율을 높였다.

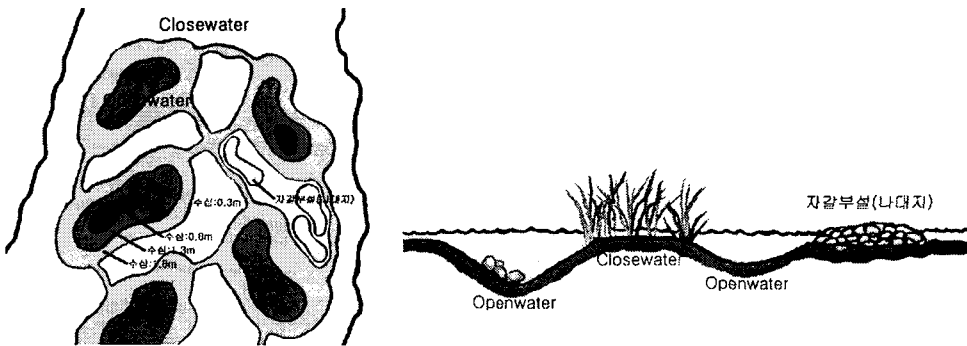
월류부분은 보형태로 시공하여 자갈을 포설하고 정수식물을 식재하여 스크린작용을 할 수 있도록 조성하였다.



<침강지 조성 평면 및 단면>

3. Close Water(emergent식물서식지)

정수식물재배지 수위는 약 30cm를 유지할 수 있도록 하고 현재 토지의 대부분이 논으로 사용되고 있으므로 자유흐름의 형태로 부지정리를 실시하고 기존토양을 이용하여 기질층을 조성한 후 습지내 자연적인 식물의 도입·전개과정이 이루어 질 수 있는 모래, 자갈, 점토질로 이루어진 나지지역을 조성하였다.



<습지조성 평면(Online wetland), 단면>

4. Island

Island의 L/W(Length/width)는 5/1~10/1, 습지와 횡방향으로 설치하여 물의 흐름을 방해하지 않도록 하고 전체 습지면적의 1~5%의 면적 구성비를 이루도록 하였다. 또한 Deadspace(사영역)를 방지하기 위하여 제방부와 연결하지 않았으며,

Island의 비탈면 기울기는 1:7내외로 조성하였다.

5. Openwater

시화호 습지조성 조경공사 기본 및 실시설계보고서에 전체습지 조성면적의 15~50%를 점유하는 것으로 언급되어 있고, 자문결과 생태적 다양성과 침강효과를 위한 소규모 연못형태의 Openwater를 다수 배치토록 권장하므로 습지전체 면적의 30%에 해당하는 Openwater를 조성하고, 부유물의 침강효과를 높이고 습지 전반에 물이 드나들 수 있도록 다양한 수심을 갖는 소규모 연못형태로 조성 후 수로를 통하여 연결하는 구조로 조성 후 Submergent식물이 서식하게 하여 식물성장기에 수중에의 산소전달이 가능하게 하고 조류의 번식을 방지토록 하였다.

6. 습지내부 비탈면

식물의 서식특성상 수심에 따라 다양한 형태의 식물종이 서식할 수 있으며 이에 따라 생태환경 또한 다양한 형태로 형성될 수 있으므로 습지 비탈면 기울기는 1 : 3~1 : 7 경사로 조성하였다.

7. 식 재

(1) 식재대상식물

Closewater 전반에 질소, 인 및 중금속에 대하여 정화능력이 탁월한 갈대, 부들을 우점종으로 식재를 계획하였으나, 갈대·부들에 습지가 점유될 경우 당초 목적했던 생태계보존이 아닌 인위적인 환경간섭이 될 우려가 있어 자연전개과정이 이루어 질 수 있는 나대지를 조성하였는데, 고랭이과 식물과 가래과 식물의 군집은 각각 자유수면(침전지 및 Openwater)내부와, 유지관리도로 비탈면 등에 식재 또는 천이과정을 통하여 성장이 예상되며, 기타 부유 또는 침수식물등은 2~3년에 걸쳐 씨앗과 하천의 수리학적 이동, 야생조류에 의한 이동 등으로 습지에 자생할 것으로 예상된다.

(2) 식재밀도

습지내 식재시 균일한 성장을 위한 식재간격은 0.5m(약 4본/m²)으로 계획하였으나, 단 식종의 다양성 유지를 위해 식재구역, 밀도 등의 부분적 변경.

(3) 식재방법

종자 파종은 경제적이거나 발아율을 신뢰할 수 없고, 이식 및 토양덩어리 운반은 운반 및 채취에 많은 노동력이 소요되며, 원 이식지의 훼손이 우려되어 식물재료(갈대·부들)는 묘목장에서 구입하고 심는방법은 근경심기로 하였다.

IV. 습지계획에 대한 적정성

1. 수위검토

(1) 식물 내수성

습지내 식재계획 중인 식물의 성장높이는 갈대(1~3m), 부들(0.8~1.5m)로서 “箕面川 댐 저수지 서차지 구간의 녹화방안 연구”에서 침수시간과 수온이 논벼에 미치는 영향에 따르면 수온30℃에서는 6일 이내 수온20℃에서는 10일 이내의 침수에서도 피해가 크지만 고사 또는 수확전무가 되지 않는 것으로 보고 되고 있으며, 앞끝이 수면상에 조금이라도 노출하고 있는 경우는 전부 침수하고 있는 경우에 비교해 훨씬 피해가 적은 것으로 보고 되고 있다.

“탐진댐 수문학적안정성 확보방안 수립조사 보고서”에 따르면 최근에 개정된 PMP도와 태풍“Rusa”에 의한 강릉지역의 집중호우를 전이하여 PMP를 산정하고, 증가된 가능최대강우량(PMP)으로 가능최대홍수량(PMF)를 산정하여 댐안정성 확보를 위한 치수능력증대방안에 대한 종합적인 검토결과 비구조적 대책으로 2019년까지 하계제한수위방안(EL.82.0→EL.79.0m)을 도입하였다.

(2) 수몰지 년중 침수예상시간별 수위

8일 : EL. 78.860m

10일 : EL. 78.806m

15일 : EL. 78.778m

2. 부지조성고(F.L.) 및 습지내 수위 결정

당초 습지조성고 결정 검토시에는 식물침수시 고사되지 않는 것으로 보고되는 10일을 기준으로 년 중 침수예상시간별 수위 EL. 81.186m와 갈대,부들의 성장높이 1.5m를 고려하여 습지 조성고를 EL. 79.7m(EL. 79.685m)로 결정하였으나,

2003년 “탐진댐 수문학적 안정성 확보방안 수립조사 보고서”의 결과에 따라 수위를 EL.79.0m로 관리할 때 식물 침수시 고사되지 않는 것으로 보고되는 10일을 기준으로 년

중 침수예시시간별 수위는 EL.78.8m(EL. 78.806m)이므로 식물 성장 높이 1.5m를 고려하면 습지조성고는 77.3m이나 여유고를 두어 77.5m로 결정하였다.

갈대의 성장에 따른 적정 수위는 0.2~0.6m로 되어 있으나 실제 시화호 운영중 검토된 내용을 보면 0.2~0.3m가 적정 수위로 보고 되고 있어 본 대상지에서는 0.3m로 유지관리토록 하였다.

3. 습지규모검토

○ 습지 설계시 오수유입량과 수질특성을 고려한 적정 습지규모 산정을 위해 사용된 모형들을 이용하는 것이 일반적이나, 이는 수처리공학에서 이용되는 모형(기준)이라 매우 높은 오염도의 유입수를 처리대상으로 하는 경우를 가정하고 있거나 국내에 적용하기 곤란한 결과를 적정한 것으로 받아 들이고 있는 문제가 있다.

○ 이러한 모형의 적용에 있어 습지가 갖는 한계의 구분이 부적절(습지는 단순히 용량에 의하여 일정한 처리효율을 갖는 것은 아님, 국내의 일반습지에서 유입수의 농도는 크게 변동을 하여도 유출수의 수질은 거의 일정)하다고 판단되어 환경부 수질보전국 “비점오염원 관리요령”의 비점오염원저감시설내 체류시간인 24~48시간을 습지의 설계요소로 적용

(1) RBS(Ratio of basin to storm)에 의한 방법

① 강우(Storm)가 빈번한 지역의 오염물질 제거효율을 고려하여 적용

② 결정인자

- 상류유역 발생유량(VR), 습지용량(VB)
- 제거효율은 VB/VR에 따라 결정

일반적으로 비점오염원에 유발된 오염 부하 감소를 위하여 VB/VR을 2.5~5.0 내외의 값 적용하고 점오염원 대상지역의 경우 1~2.5 내외값을 적용하나 위에서 언급한바와 같이 습지한계를 고려하여 VB/VR을 1~1.5로 적용.

오염물질	습지용량/발생유량			
	1	2.5	5	7.5
탁도	50~60	70~80	85~90	90~95
BOD,COD	25~30	35~40	40~45	45~90
T-N,T-P	30~40	40~50	50~60	60~70
기타중금속	30~35	40~45	40~50	45~60

<습지용량별 처리효율, 단위 %>

(2) 수리학적 체류시간에 의한 검토

① 수리학적 체류시간을 검토하여 오염물질의 적정 처리기간 설정

② 수리학적 체류시간이 짧은 경우 오염물질의 생물학적 분해에 적절한 시간을 제공하지 못하며, 지나치게 긴 체류시간은 습지내를 혐기성 상태로 전환시킬 가능성이 있음.

③ 여름의 증발산, 겨울의 결빙, 식물의 성장 및 사멸등의 영향 고려

④ 체류시간

시화호 습지조성 조경공사 기본 및 실시설계보고서에서는 식물에 의해 점유되지 않은 단면적의 비에 대한 체류시간을 고려하였으나, 탐진댐 습지 체류시간 검토시에는 식물에 의해 점유되지 않은 단면적의 비를 고려한 체류시간과 공극-공간의 지하흐름에 의한 체류시간을 같이 고려하였다.

$$\text{체류시간}(t1) = LWnd/Q$$

L : 웅덩이의 길이, W : 웅덩이의 넓이

n : 식물에 의해 점유되지 않은 단면적의 비(0.8~0.95, 0.9적용)

d : 웅덩이의 깊이(수심)

※ L(길이)×W(넓이)는 습지의 면적과 같으므로 이번 검토에서는 면적×단면적비(n)×수심으로 한다.

$$\text{체류시간}(t2) = LWad/Q(a : \text{매질의 다공성}, d : \text{매질의 깊이})$$

매질형태	최대10%입자크기, mm	다공성(a)	K ₂₀
중간모래	1	0.42	1.84
조립모래	2	0.39	1.35
자갈모래	8	0.35	0.86

적정 체류시간 : 4~15일(설계기준), 1~1.5일(자문결과)

※ n는 0.875적용(0.8~0.95의 중간값), a:매질의 다공성(0.35적용), d :매질의 깊이(0.1m적용)

(3) BOD부하율에 따른 검토

① 유기물 부하 조절 이유

탈질 박테리아 생존을 위한 탄소원 공급

습지내 정수식물의 산소전달을 위한 유기물 과부하 방지

② 적정 BOD 부하율(kg/ha·일) 산정 : 67미만

※ 폐수처리공학(Metcalf&Eddy)의 습지에 대한 설계기준

③ 강우시 도로, 시가화, 농촌지역 등 비점오염원에서 발생하는 퇴적물의 영향

오염원		수질농도(mg/l)				비고
		BOD	SS	T-N	T-P	
도로 및 시가화지역	도로 시가화	18~300	25~514	3.1~24.3	0.07~1.14	
농촌지역 (산림, 농경배수)		7.8~31.5	18.5~284.0	6.9~29.5	0.18~0.92	

※ 도로, 시가화, 농촌지역 수질은 팔당호 퇴적물 영향조사
(환경관리공단, 2000. 6)에서 인용

④ 위 자료를 토대로 초기강우시 BOD농도 최대값적용 : 31.5ppm

(4) 수리학적 부하율에 의한 적정성 검토

① 설계의 기준이 되는 수리학적 부하율은 150~500m³/ha·d

② 수리학적 체류시간과 상관관계가 있음

※ 폐수처리공학(Metcalf&Eddy), 시화호 습지조성 조정공사 기본 및 실시설계
보고서 인용.

(5) 식물의 산소전달율에 의한 검토

① 습지식물의 산소 전달능력을 평가하여 유기물 과부하 여부 판단

② 습지내 산소요구량 = 1.5*BOD₅

③ 산소공급가능량(AO) = TrO₂ * As

<p>BOD₅ : 유기물 부하량(kg/일)</p> <p>TrO₂ : 식물에 의한 산소 전달량 (5~45g O₂/m²일)</p> <p>As : 습지표면적(m²)</p>

※ 산소요구량(BOD5)=BOD×유입량, 산소공급가능량(AO)=습지표면적×산소전달량

V. 결론

댐 상류 인공습지 조성이 일반적인 인공습지조성과 뚜렷이 구별되는 점은 습지 조성 대상지가 보상 및 기타여건상 수몰지에 국한된다는 점이다.

댐 수몰지의 경우 수위변동에 따라 인공습지 식재부는 물론 제방부까지 침수가 예상되므로 지하수위, 방수효과, 토지이용 이력등이 입지선정 중요도를 갖는 일반습지와는 달리 식재된 식물의 생육 및 시설물의 유지관리를 고려하여 가능한 침수피

해를 받지 않는 제한수위 이상의 수몰지로 조성공간이 제한되며 습지의 주 처리대상인 비점오염원 배출수 처리를 위한 소요면적을 만족시킬 수 있는 부지선정이 가장 중요하다.

현재 습지계획을 수립하면서 아쉬운 것은 국내에 습지의 처리효율, 규모산정 및 조성형태등에 대하여 체계적으로 정리된 자료가 없다는 것이었다. 또한 인공습지의 특성상 한분야의 전문가가 아닌 수리, 생태, 환경전문가가 연구 또는 계획에 함께 참여하여야 함에도 일부 전문가만으로 계획 및 시공이 이루어지고 있다는 것이었다.