

수질정화체를 설치한 수로의 수리적 안정성과 효율성 연구

A Study on the Hydraulic Stability and Efficiency Investigation of Water Purification Material Installed in Channel

강승묵*, 김선주,

Seung Mook Kang, Sun Joo Kim

요 지

친환경 공법의 수리적인 안전성 검토는 식생 및 자연재료의 물리적 특성, 하천의 수리·수문학적 특성, 유사특성과 이들의 상호관계 등에 대한 분석이 요구되며, 이에 선행하여 분석에 이용되는 장기간의 충분한 자료가 구축되어 있어야 한다. 그러나 우리나라의 경우 이러한 자료는 부족한 실정이며, 주로 시범구간을 통한 제한된 자료만이 이용되고 있을 뿐이므로 수리학적·치수방재적 측면에서 친환경 공법의 안전성 평가에 있어 많은 어려움을 겪고 있다.

본 연구에서 수질정화체의 배치 변화를 통한 수치해석 통하여 수심 및 유속분포를 비교·분석하여 수로의 3차원적 흐름특성을 파악하고, 실제 대상수로에 수질정화체를 설치하여 수로의 수리적 안정성을 연구하였다. FLOW-3D와 수리모형시험 그리고 대상수로 모니터링을 각 경우에 따라 유속, 수위를 측정하여 다양한 조건에 대한 흐름 특성을 연구하였다.

핵심용어 : 농업용 배수로, 수리적 안정성, FLOW-3D

1. 서 론

현대사회에서 환경에 대한 중요성은 이제 선택이 아닌 필수적인 요소로서 대두되고 있다. 이는 농업분야도 예외적일 수 없으며 현재 많은 수질정화체에 대한 환경친화적 개념이 도입되고 있다.

최근 더욱 심각해지고 있는 이상기후와 게릴라성 폭우 등으로 인해 강수일수는 예전에 비해 많이 줄어들었지만 일시에 많은 양의 비가 내리는 경우가 빈번하게 발생하고 있어, 수질정화체의 계획규모를 넘어선 재해의 발생빈도가 날로 높아지고 있는 실정이다. 현재 우리나라 수로에서는 이·치수를 위한 목적으로 각종 수리공구조물들이 설치·운영되고 있으며, 이러한 최근의 강우특성을 반영할 수 있는 수리 안정적 측면에서의 수질정화체 주변 흐름특성에 대한 정확한 검토와 연구가 요구된다.

본 연구는 수질정화체를 설치한 수로의 수리적 안정성과 효율성 분석을 목적으로 하며, 현장 시공 전 3차원 흐름 해석인 FLOW-3D를 통해 현장 설치 근거를 마련하였다. 현재 우리나라는 수리적 및 치수 방재적 측면에서 농업용 수로에서의 안정성에 대한 표준화된 분석체계가 아직 규정되지 못하여 실무에 많은 어려움을 겪고 있다. 더구나 농업용 수로는 지역적 특성이 두드러지고 계절에 따른 유량변화가 심하여 수리적 안전에 대한 분석체계가 적절하게 갖추어지지 않은 실정이다. 따라서 본 연구에서는 Flow-3D에 실제 수로의 값을 주고 수로에 수질정화체를 설치 할 수 있는 경우의 수를 수치해석을 하였다. 관개기와 홍수기등의 실측 자료를 분석하여 수질정화체의 설치방법에 대한 지침을 제공하고, 수질정화체에 따른 오염원 저감(비점오염원)과 수로의 치수설계에 있어서 기초 자료로 만드는데 그 목적이 있다.

* 정회원 · 건국대학교 대학원 사회환경시스템공학과 대학원 · E-mail : mk3894@konkuk.ac.kr

** 정회원 · 건국대학교 생명환경과학대학 사회환경시스템공학전공 교수 · E-mail : sunjoo@konkuk.co.kr

2. 재료 및 방법

2.1 연구 대상지구

수질정화체가 설치된 수로에서의 수리적 안정성 및 효율성을 알아보기 위해 충남 당진군의 성문간척지구 내 100m수로 두곳에 나누어 한쪽 수로는 수질정화체를 측면 일렬형, 다른 수로는 복합형으로 수질정화체를 설치하여 실험 하였다.

당진석문지구는 담수호 유입부 중안 퇴적구간(고대면 슬항리)이며 전체 유역면적 22,672 ha이며 농지22ha, 습지3.2 ha, 유수지 0.32ha 그리고 기타 부태시설등 총 4 ha로 구성되었다.

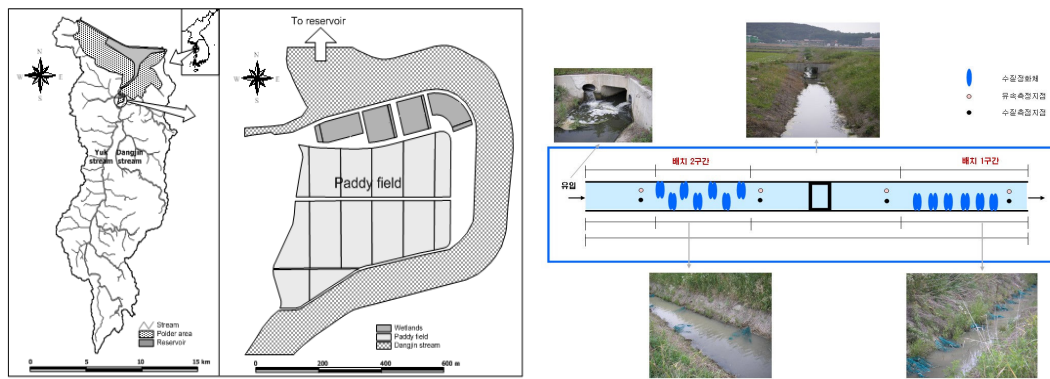


그림 1. 대상지구

2.2 수치해석 및 평가방법

수질정화체가 설치된 농업용 수로의 수리적 안정성과 효율성을 알아보기 위하여 3차원 흐름 해석인 FLOW-3D로 수치해석을 통해 얻은 결과를 실제 대상수로에 수질정화체를 설치하여 수로의 수리적 안정성을 분석하였고, 연구소로의 4개점을 정해 DO, BOD, TN, TP, TSS 항목의 효율성 분석을 실시하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 FLOW-3D 수치해석 결과

본 연구에서는 수질정화체를 설치한 수로의 수리적 안정성 검토를 위하여 수치해석을 실시하였다.

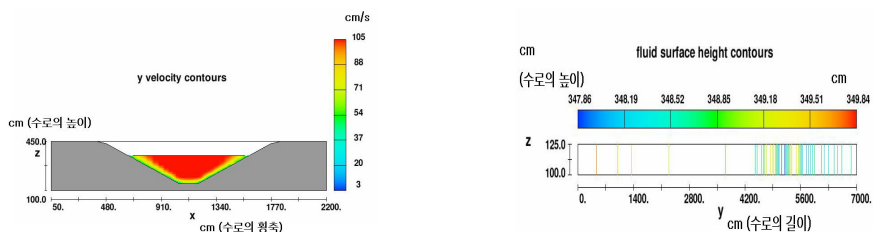


그림 2. 유속·수심분포(수치해석, 기본수로)

검증된 수질정화체에 대하여 본 연구에서는 수질정화체 배치와 거리에 따른 흐름변화 분석을 실시하였다. 배치는 중앙 일렬형 배치, 복합형 배치, 측면 일렬형 배치에 대하여 분석을 실시하였으며, 선행 작업으로서 수치해석을 통하여 배치에 따른 모의를 실시하였다.

배치에 따른 유속 변화를 표 4.5와 같이 나타내었다. 복합형 배치일 경우에 간격 1.5m인 경우 유속이 1.30m/s으로 최대를 나타내었다. 일렬형 배치인 경우 간격이 1.5m인 경우 유속이 최대로 나타났는데 이는 간격이 1m인 경우는 전면 수질정화체와 후면 수질정화체 간에 상호 영향에 의해 유속이 감소되고, 2m인 경우는 수질정화체 사이에 영향이 거의 없어 영향을 미치지 않아 생긴 결과로 판단된다.

표 1. 수질정화체 배치에 따른 유속·수심 변화

형 태	배 열	간 격	유 속	수 심
기본수로			1.07m/s	2.00m
정육면체	일렬	간격 1m	1.16m/s	1.99m
		간격 1.5m	1.29m/s	1.99m
		간격 2m	1.12m/s	2.20m
정육면체	복합	간격 1m	1.17m/s	1.99m
		간격 1.5m	1.30m/s	1.98m
		간격 2m	1.11m/s	2.18m
정육면체	측면	간격 1m	1.16m/s	1.99m
		간격 1.5m	1.19m/s	1.98m
		간격 2m	1.11m/s	2.20m

수질정화체 배치에 따른 수심 변화를 표 4.6과 같이 나타내었다. 수질정화체 배치와 무관하게 수심 변화는 크게 나타나지 않았으나, 간격이 2m인 경우는 수심이 2.20m로 다른 간격에 비하여 크게 증가하는 것으로 나타났다.

3.2 현장시험 결과

3.2.1 수리적 안정성 평가

조도계수의 변화에 따른 측정지점 사이의 수리특성을 비교하였으며 특징적 경향은 나타나지 않았으나 각각의 측정지점에 평균유속과 소류력은 감소하는 경향을 보이고 있다. 수질정화체 설치에 따른 유속, 소류력을 비교하였으며 수로에서의 모형에 의해 실측값이 아래의 표와 같이 나타났다.

표 2. 실측값과 모의 값의 비교

수질정화체 설치방법	평균유속 (m/s)	
	실측	모의
측면 일렬형 1-1	0.882	0.9
측면 일렬형 1-2	1.226	1.24
복합형 2-1	1.070	1.01
복합형 2-2	1.069	1.12

표 3. 설치별 사면부 최대유속과 소류

설치 방법	사면부 최대유속 (m/s)	사면부 최대소류력 (N/m ²)
측면 일렬형 1-1	2.0	50.72
	1.78	47.06
측면 일렬형 1-2	1.27	19.02
	1.22	14.96
복합형 1-1	1.31	18.85
	1.22	15.06
복합형 1-2	1.77	43.58
	1.57	38.34

3.2.2 수질정화체의 설치별 안정성 해석

가) 허용유속 지표에 의한 안정성

표 4. 허용유속 기준 비교 값

적용공법 (Section No.)	평균유속(m/s)	
	좌안	우안
측면 일렬형 1-1	1.29	1.19
측면 일렬형 1-2	1.77	1.17
복합형 1-1	1.31	1.24
복합형 1-2	2.00	1.62

표 5. 2007년 7월 홍수량에 대한 모의

수질정화체 설치방법		설계홍수량 (14.76m ³ /s)		모의유량(17.32m ³ /s)	
		평균유속(m/s)		평균유속(m/s)	
		좌안	우안	좌안	우안
측면 일렬형	1-1	1.24	1.14	1.28	1.18
	1-2	1.57	1.05	2.31	1.55
복합형	2-1	1.22	1.27	1.5	1.45
	2-2	1.78	1.45	2.65	2.14

수질정화체 설치한 수로에 블록자체에 의한 이탈이 발생하지 않을 경우, M.Escarameia(1988)가 제시한 유속 기준에 대하여 허용범위 내에 있으며 대체로 유속에 의한 파괴에 있어 안전하나, 정화체 상부에 식생으로 피복된 부분의 세굴에 의한 침식을 막는 것이 중요하며 유속의 영향을 많이 받는 부분에 대해서는 수질정화체가 수로에 완전히 잠기도록 시공이 이루어 져야 할 것으로 판단된다.

Chow에 의해 제시된 “수로의 허용유속 기준” 1.23~1.54 m/s 범위 내에 있으며 측면 일렬형으로 설치된 것에 대하여 유속 감소와 소류력 감소가 안전성에 기여하는 것으로 분석되었다.

수로에 수질정화체 시공이 완료된 후 2007년 7월 22일 1일 333.2mm의 집중호우가 발생하였으며 이 때의 홍수량 17.32m³/s을 적용하였다. 표 4.16 설계초기 퇴적이 없는 상태에서의 시공 단면을 모형에 적용하여 모의한 결과 값을 나타낸다. 복합형 2-2에 부분의 평균 유속이 다른곳에 비해 비교적 높게 분석되었으며, 각각의 단면들에 대해서 모니터링 결과 유속이 빠르게 나타난 부분에 대해서 토사의 유실이나 옆 논들에서의 유입이 발생한 것으로 분석되었다. 다른 구간에 대한 모니터링 결과 홍수에 의한 발생 부분이 없는 것으로 조사되어 수질정화체 설치한 홍수에 비교적 안전한 것으로 판단된다.

3.2.3 수질정화 효율성 평가

가) 용존산소량 (DO)

각 측정지점 평균 DO농도값은 6.57, 5.56, 6.13, 6.04 mg/L를 나타내어 전체적으로 충분한 호기성상태를 나타내었다. 표에서 보는 것과 같이 각 측정지점의 DO농도가 추수후에 높게 나타난 것은 기온의 저하로 인해 산소를 소모하는 미생물의 활동이 저조하고 온도가 낮음에 따라 용존포화농도가 높아졌기 때문이라고 판단한다.

나) 생물화학적 산소요구량 (BOD₅)

각 측정지점 평균 BOD₅농도는 3.7, 3.1, 3.4, 3.2mg/L로 나타났다. BOD₅는 각 측정지점별로 16% 미만의 매우 낮은 처리율을 나타내었다. 성장기와 추수후의 평균농도는 3.38mg/L와 3.53mg/L를 나타내었다.

다) 총부유 물질량 (TSS)

TSS는 각 측정지점별로 평균 17.1, 20.9, 10.7, 16.0mg/L를 나타내었다. 각 측정지점별 평균 처리효율이 58, 79, 55, 71%로서 수질정화체가 TSS제거에 안정적인 효과가 있는 것으로 나타났다. 수질정화체의 TSS제거기작은 여과 및 침전과 미생물에 의한 분해가 있다. 본 수로와 같은 경우 수질정화체로 인한 유속감소로 인해 입자성 물질이 침전되어 대부분의 TSS가 제거되었다고 판단된다.

라) 총 질소 (T-N)

측정지점별 평균 처리효율이 44, 46, 47, 46%로 비교적 높게 나타내었다. 6~10월의 실험결과를 가지고 총질소를 형태별로 살펴보았을때 전체질소 중 유기질소와 질산성질소가 차지하는 비율이 각각 52%와 42%로 대부분을 차지하였다. 현재보다 수로의 수위 및 유입유량을 조절하여 체류시간을 늘려준다면 지금보다 침전에 의한 입자성 유기질소의 제거 및 탈질화 박테리아에 의한 질산성질소의 제거가 더 이루어져 약간 더 많이 제거할 수 있을것으로 판단된다.

마) 총 인 (T-P)

성장기와 추수후의 평균농도는 0.13mg/L와 0.17mg/L를 나타내었다. 수로에서의 인의 제거기작은 흡착, 침강 및 수질정화체의 흡수 등 여러 물리적, 화학적, 생물학적 과정에 의해 이루어 진다. 본 수로의 경우 실험기간 동안 총인을 형태별로 분석해 본 결과 입자성인 약 60%와 용존성인은 약 40%로 나타났으며, 입자성인은 주로 침전하고 용존성인은 식물 및 수질정화체의 의해서 흡수되어 수로에서 총인이 제거되었다고 판단된다. 또한 수온에 따른 계절적 차이에 의한 영향은 상대적으로 적어서 추수후에도 성장기와 유사한 처리 효과가 나타난 것으로 판단된다.

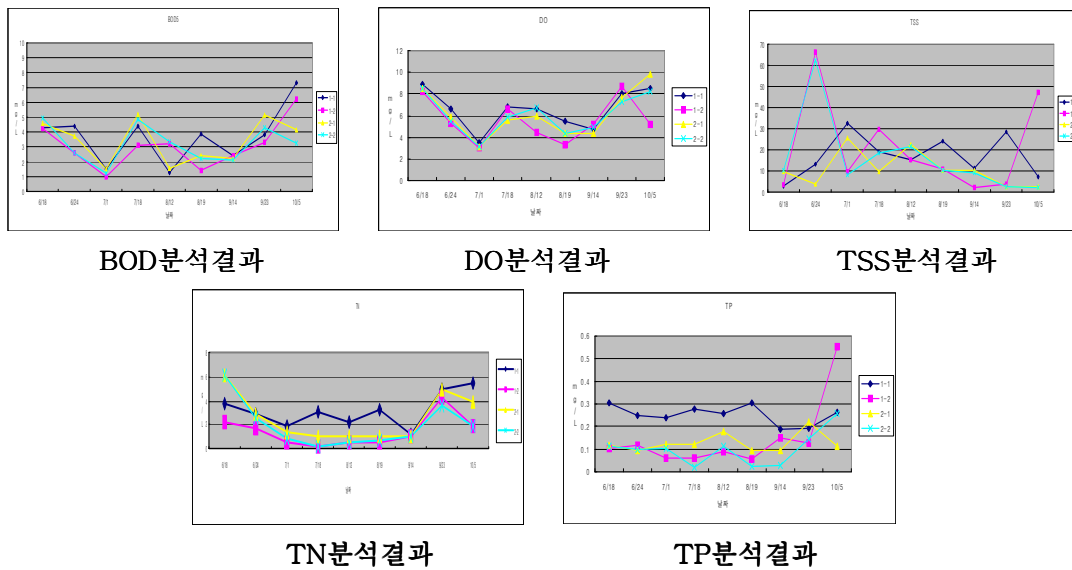


그림 3. 수질 효율성 결과

4. 결 론

본 연구에서는 수질정화체가 설치된 수로에 대하여 3차원 수치해석을 하였으며, 시험 결과를 가지고 대상지구에 수질정화체를 설치하여 수로의 수리적 안정성과 효율성을 평가를 하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. FLOW-3D 모형을 이용 수치해석을 하였고, 이를 근거로 대상수로에 수질정화체를 설치하여 연구 하였다.
2. FLOW-3D 수치해석 결과, 배치에 따른 수로 내 유속은 측면 일렬형 배치의 2m, 1m, 1.5m 순으로 안정성이 나타났고 2m 간격에서 1.11m/s로 최저 유속을 나타냈고, 복합형 1.5m에서 1.30m/s로 최대유속으로 나타났다. 나타냈고 수심은 일렬, 복합, 측면형 배치 별다른 차이가 없는 것으로 분석되었고 간격 변화에 따른 수치해석 결과, 수질정화체 간격이 10m일 때 최대유속 1.22m/s, 최대수심 1.98m로 측정 되었으며, 20m는 1.25m/s, 1.96m, 30m는 1.07m/s, 2.21m로 측정되었다. 간격이 짧을수록 높은 유속을 보였으나 10m의 경우 너무 작은 간격으로 인하여 최대 유속이 감쇄되는 경향을 보였다.
3. 복합형 2-2 구간의 평균 유속이 다른 단면에 비해 높게 분석 되었으며, 홍수 후 각각의 구간들에 대해서 모니터링 한 결과 유속이 빠르게 나타난 부분에 대해서 토사의 유실이나 옆 논에서의 유입이 발생한 것으로 조사되어 모형에 의한 모의 결과와 유사하게 나타는 것으로 분석되었다.
4. DO는 수질정화체에 의한 수질정화 효과를 찾지 못하였고, BOD₅는 각 측정지점별로 16% 미만의 낮은 처리율을 나타냈지만 TSS는 지점 별 평균 처리율이 58, 79, 55, 71%로 수질정화체가 TSS 제거에 안정 적인 효과가 있는 것으로 나타났다. T-N과 T-P도 각각 각 측정지점 별 40% 후반대의 높은 처리 효율을 나타내었다.

5. 참고문헌

1. 김선주, 2000, 자연친화적 하천 및 수리시설정비를 위한 토목용 신재료의 활용과 설계기법, 연구보고서
2. 문영일, 2007, FLOW-3D를 이용한 하천 흐름 해석에 관한 연구, 서울시립대학교 석사학위논문
3. 송재우, 박성식, 2004, 식생수로와 비식생수로에서의 조도특성 및 유속분포, 대한토목학회논문집 24호
4. 한국건설기술연구원, 2005, 다기능 하천실험사업, 연구보고서
5. 한국농촌공사 농어촌연구원, 2001, 수리실험 및 연구세미나 자료집