

Flow-3D를 활용한 수질정화체가 설치된 농업용 배수로의 안정성 조사

Investigation of the Hydraulic Stability of Agricultural Drainage Channels Installed Water Purification Materials by using Flow-3D

김 선 주* · 박 기 춘**

Kim, Sun Joo · Park, Ki Chun

Abstract

In this study, the effect of the purification materials is analyzed and tested by Flow 3D and Hydraulic model test. Three dimension numerical analysis led from the research that sees abnormal form and the size back of the water purification material conferred the flowing water conduct inside the test channel against the test condition. Comparison it analyzed the flux distribution, a water depth of the channel which establishes the water purification materials the cross section, an interval of the water purification material, a conference with general channel, it change executed.

As a result, the cross section ratio of the purification materials against and a flux change from the test which it sees. The interval of the purification materials in order to prevent three dimension that follows in decrease of increase and flux must decide an interval.

Keywords : Drainage Channel, Water Purification Material, Numerical Analysis, Hydraulic Model test, Hydraulic Stability

1. 서 론

최근까지의 수질관리는 하수종말처리장이나 산업폐수처리장 등의 점원오염원 처리시설을 확충하는데 주력하여 주로 도시지역과 주요 산업지역에서 상당한 성과를 보이고 있다. 그러나 하천과 호소 등의 수질은 크게 개선되지 못하고 있는데, 이는 다량의 오염물질이 비점오염원으로부터 발생되어 하천 및 호소로

유입되고 있기 때문이다(이해미 2003).

이러한 하천과 호소 등의 관리를 위해서 관련시설의 환경친화적인 정비가 필요하나, 이론 및 응용 체계가 부족한 상태에서 설계 및 시공이 이루어지고 있으며, 수리·수문학적인 특성에 적합하지 않은 공법이 무분별하게 사용되어 시설에 대한 유지비용이 추가적으로 발생하고 있는 실정이다. 사용 재료에 있어서도 올바른 소재가 사용되지 않아 시설물의 안정성 문제가 발생하고 있다(고재선, 2004).

한편, 환경친화적인 정비를 통한 수질정화에 있어서도 주로 수로 사면공법 위주의 대부분인 반면에 수로 저면에 설치되는 수질정화를 위한 수질정화체에 대한 연구는 전무한 상태이다. 따라서 수질정화체를

* 건국대학교 생명환경과학대학 사회환경시스템공학전공 교수

** 한국건설기술연구원 수자원연구부 수자원연구실 Post Master
건국대학교 대학원 사회환경시스템공학과 석사

† Corresponding author. Tel.: +82-31-9100-251

Fax: +82-31-9100-251

E-mail address: parkpkc@kict.re.kr

설치한 수로에 대하여 수치해석 및 수리실험에 대한 수질정화체의 연구(박기춘, 2007)가 필요하다. 또한, 수질정화체를 설치한 수로에서 수리적 안정성 검토를 실시하는 것이 필요한 실정이다. 수리적인 안정성 검토는 식생 및 자연재료의 물리적 특성, 수로의 수리학적 특성 등에 대한 분석이 요구되며, 이에 선행하여 분석에 이용되는 장기간의 충분한 자료가 구축되어 있어야 한다(김창완, 2005).

본 연구는 수질정화체를 설치한 수로에서의 수리적 안정성을 알아보기 위하여 수리모형실험에 적합하게 활용될 수 있는 수치해석모형인 Flow-3D(김창성, 2004)와 수리모형시험을 병행 실시하였으며, 수리모형시험은 모형이론에 따라 1/10의 축척으로 아크릴 모형을 제작하였다. 제작된 모형의 검증은 위하여 수리적 현상을 측정하고 수치해석에서 구한 값과 비교를 실시하였다. 측정된 결과값과 수치해석값을 비교하여 수리적 안정성을 평가함으로써 수질정화체와 배수로를 설계하는데 설치방법에 대한 지침을 제공하는데 기초 자료를 마련하고자 한다.

II. 재료 및 방법

1. 수치모형 설계

수질정화체를 설치한 수로에서의 수리적 안정성을 알아보기 위하여 수치해석 프로그램인 FLOW-3D를 사용하였다. 연속체로 정의된 방정식을 컴퓨터로 해석하기 위해서는 차분화가 필요하며 차분화하는 방식은 크게 유한요소법(FEM; Finite element method)과 유한차분법(FDM; Finite difference method)으로 나눌 수 있다. FLOW-3D는 기본 유한차분방식을 사용하고 있으며, 기본격자에 형상이 존재할 경우에 자동으로 인식하여 계산영역을 분배하는 FAVOR를 도입한 유한체적법을 사용하고 있다.

FLOW-3D는 해석 영역을 작은 격자로 나눈 후, 이 격자 단위로 계산이 이루어지게 된다. 각 격자에 대해서 압력에 대해서 다음 시간에서의 속도를 구하며, 이 속도를 이용하여 Poisson 방정식 형태의 압력방정식 해를 구하는 방법을 이용하고 있다.

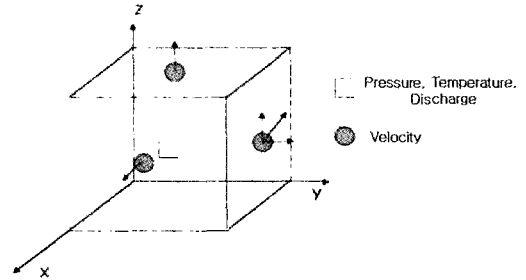


Fig. 1 Finite volume method

Fig. 1은 FLOW-3D에서 사용하는 유한체적법에서 계산되는 물리량을 간략하게 표시한 것이다.

Flow-3D에 입력자료로 사용한 값은 사다리꼴 농업용 토공배수로를 표준으로 하여 수치해석을 실시하였으며, “농업생산기반정비사업 조사·설계 실무요령(한국농촌공사, 2000)”을 참고하였다. 폭 9.5m, 수로 바닥폭 1.5m, 기울기 1/1000, 사면경사 1:2로 설계하였으며, 조도계수는 일반 토공수로에서의 값인 0.035를 사용하였다. 토공수로의 설계홍수위를 참고하여 최대수위는 2.0m, 여유고는 0.5m로 간격을 두었으며, 홍수시 유량을 고려하여 최대유량은 16.5 m³/s로 하여 입력자료를 구축하였다(Fig. 2, Table 1).

2. 수리모형시험 설계

배수로에서 흐름을 지배하는 주된 힘이 관성력과

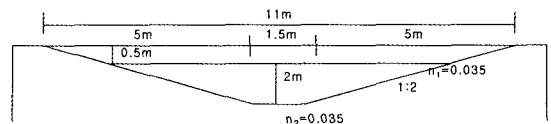
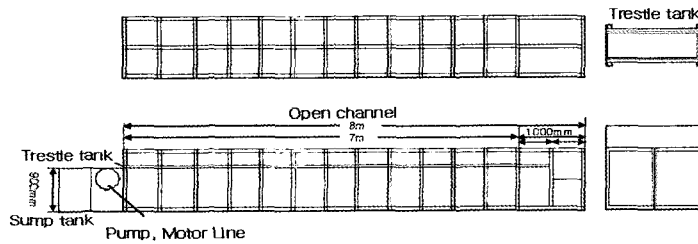


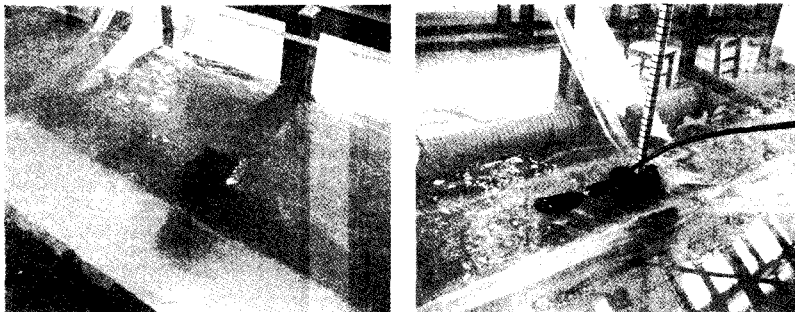
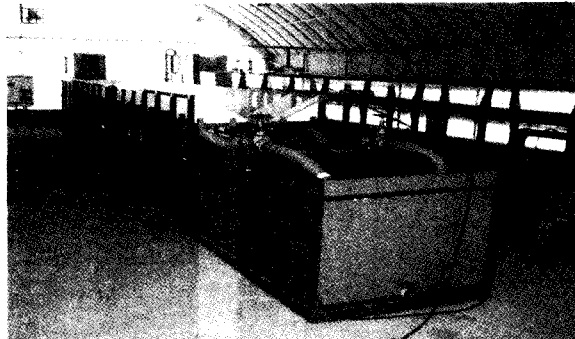
Fig. 2 Cross section of drainage channel

Table 1 Specifications of drainage channel

Items	Unit	Value
Slope (I)	-	1/1000
Roughness (n)	-	0.035
Height (h)	m	2.0
Free Board (h')	m	0.5
Bed Width (b)	m	1.5
Area (A)	m ²	11
Permissible Velocity (V)	m/s	1.5
Maximum Flow (Q)	m ³ /s	16.5



(a) Diagram of the hydraulic model used for test



(b) View of the hydraulic model used for test

Fig. 3 Hydraulic model test of drainage channel

중력가속도이므로 이 때의 모형축척은 Froude의 상사법칙을 따르며, 본 실험에서는 모형의 축척 $nL=10$ 으로 하였다.

수리모형시험용 개수로는 수로부, 저수조, 고가수조, 펌프 및 모터라인, 수로 낙수부로 구성되어 있으며, 모형수로 말단에 웨어를 설치하여 모형 하류부의 수위와 유량을 조절하였다. 모형수로의 길이는 총 8m이며, 설계된 수로의 단면은 Fig. 3(a)와 같으며 Fig. 3(b)와 같이 설치하였다.

3. 시험용 수질정화체 설계 및 제작

본 연구의 재료로 사용된 수질정화체는 다공성 콘크

리트로 된 재료로 내부 공극을 인위적으로 크게 하여 좁으로써 접촉 표면적이 매우 높고, 미생물이 안정하게 서식할 수 있는 공간을 확보하여 수로의 자정능력을 극대화한 직접 접촉 여재 중의 하나로 환경친화적인 재료라 할 수 있다.

Table 2 Values for the hydraulic model test calculated by the Froude's law of similitude

Items	Unit	Value
Bed Slope (I)	-	1/1000
Roughness (n)	-	0.024
Depth (h)	m	0.2
Free Board (h')	m	0.05
Bed Width (b)	m	0.15

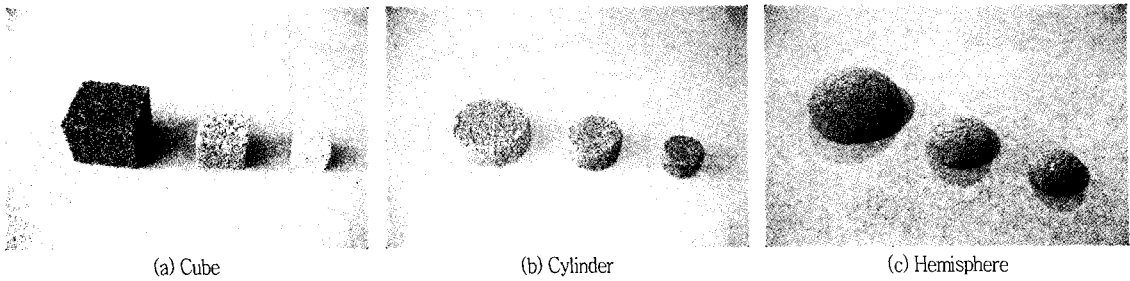


Fig. 4 Model of the water purification materials

수리학적 상사법칙을 적용하여 수질정화체의 크기 및 조도계수를 변환하였으며, 수질정화체 모형 설치에 따른 수위 및 유속을 측정하여 수치해석의 검증을 실시하였다. Fig. 4에서는 이러한 부피변화에 따른 수질정화체 모형의 크기를 보여주고 있다.

수질정화체의 총공극률은 25%이며, 수질정화체의 배합은 BSC(고로슬래그 시멘트) 45%, BS(고로슬래그 시멘트) 20%, 황토 35%으로 구성하였다(Table 3).

수질정화체의 부피, 모양, 배열 변화가 필요하므로 부피변화는 정육면체 형태를 기준으로 한 변의 길이가 5cm, 7cm, 10cm가 되도록 제작하였다. 모양변화를 알아보기 위하여 동일부피로 원기둥, 반구 형태를 제작하였으며, 높이에 따른 변화를 줄이기 위해 5cm로 고정하였다. 반구 형태의 수질정화체 모형은 수리 모형시험 장치의 수로바닥 15cm를 초과하여 최대 크기인 지름 15cm를 모형으로 제작하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 수질정화체 부피에 따른 수리적 안정성 검토

수질정화체 부피에 따른 결과를 유속과 Table 4와 같이 수심에 대하여 정리하였다. 수질정화체의 부피가 증가함에 따라 수로 내 유속이 증가하였는데, 이는 수질정화체 부피증가에 따른 통수 단면적의 감소로 인한 유속증가로 판단된다.

Table 3 Composition of water purification material (Porosity 25%)

BSC	BS	Loess	Total
45%	20%	35%	100%

Table 4 Changes of velocity and water depth in drainage channel by the changes of volume of water purification material

Shape	Volume	Numerical Analysis		Hydraulic model test	
		Velocity (m/s)	Water Depth (m)	Velocity (m/s)	Water Depth (m)
No material	-	1.07	2.00	1.00	2.05
Cube	a, b, c = 50cm	1.15	2.01	1.17	2.01
	a, b, c = 70cm	1.29	2.00	1.25	1.99
	a, b, c = 100cm	1.30	2.01	1.22	2.02

수질정화체 부피 변화에 따른 수치해석 및 수리모형시험 결과, 최대유속 1.30m/s, 최대수심 2.01m로 측정되었다. 최소유속은 1.30m/s, 최소수심 2.01m로 측정되어, 유속은 부피증가가 증가함을 나타내, 부피에 따른 저항증가로 판단된다. 이에 비해 수심 변화는 수질정화체 부피 변화와는 크게 관계가 없는 것으로 나타났다. 이러한 이유는 수질정화체의 부피가 수로 전체 길이인 80m에 대하여 미비하여 수심변화에는 큰 영향을 미치지 못한 것으로 판단된다.

2. 수질정화체 형태에 대한 수리적 안정성 검토

수질정화체 형태에 따른 결과를 유속과 수심에 대하여 정리하였다. Table 5와 같이 정육면체 형태에서 수질정화체의 부피가 증가함에 따라 유속은 증가하는 것으로 나타났으며, 원기둥형태에서는 반지름이 40cm인 경우 다시 증가하는 것으로 나타났다. 이 때 유속이 작게 나타나 수질정화에 있어서 효율성을 나타낼 것으로 판단된다.

수질정화체 형태에 따른 수심 변화를 나타내었다.

다음과 같이 수심 변화는 수질정화체 부피 변화와는 크게 관계가 없는 것으로 나타났다.

수질정화체 형태 변화에 따른 수로 내 유속과 수심의 수치해석 결과, 원기둥 형태가 설치된 수로의 최대유속과 최대수심이 각각 1.17m/s, 2.00m로 측정되어 정육면체 형태(최대유속 1.29m/s, 최대수심 2.00m)나 반구 형태(최대유속 1.24m/s, 최대수심 2.00m)가 설치된 수로보다 허용유속에 대해 안정한 것으로 판단된다.

수질정화체 형태 변화에 따른 수로 내 유속과 수심의 수리모형시험 결과, 원기둥 형태가 설치된 수로의 최대유속과 최대수심이 각각 1.17m/s, 2.03m로 측정되어 정육면체 형태(최대유속 1.25m/s, 최대수심 1.99m)나 반구 형태(최대유속 1.24m/s, 최대수심 1.93m)가 설치된 수로보다 허용유속에 대해 안정한 것으로 판단된다.

3. 수질정화체 배치에 대한 수리적 안정성 검토

Table 5 Changes of velocity and water depth in drainage channel by the changes of shape of water purification material

Shape	Volume	Numerical analysis		Hydraulic model test	
		Velocity (m/s)	Water Depth (m)	Velocity (m/s)	Water Depth (m)
No material	-	1.07	2.00	1.00	2.05
Cube	a, b, c = 50cm	1.15	2.01	1.17	2.01
	a, b, c = 70cm	1.29	2.00	1.25	1.99
	a, b, c = 100cm	1.30	2.01	1.22	2.02
Cylinder	r = 28cm	1.19	1.99	1.20	2.02
	r = 40cm	1.17	2.00	1.17	2.03
	r = 56cm	1.23	2.00	1.25	2.05
Hemispher	r = 39cm	1.16	1.99	1.17	1.97
	r = 55cm	1.24	2.00	1.24	1.93
	r = 75cm	1.24	2.01	1.26	2.10

수질정화체 배치에 따른 유속을 Table 6과 같이 나타내었다. 복합형 배치일 경우에 간격 20m인 경우 유속이 1.30m/s으로 최대를 나타내었다. 간격이 10m인 경우는 전면 수질정화체와 후면 수질정화체 간에 상호 영향에 의해 유속이 감소되고, 30m인 경우는 수질정화체 사이에 영향이 거의 없어 영향을 미치지 않아 생긴 결과로 판단된다.

수질정화체 배치와 무관하게 수심 변화는 크게 나타나지 않은 것으로 나타났다.

수질정화체 배치 변화에 따른 수치해석 및 수리모형시험 결과, 측면형 배치의 최대유속과 최대수심이 각각 1.16m/s, 2.22m로 나타나 안정성에 있어 다른 배치보다 유리한 것으로 분석되었다. 복합형 배치의 경우 1.34m/s, 2.19m, 일렬형 배치의 경우는 1.26m/s,

Table 6 Changes of velocity and water depth in drainage channel by the changes of arrangement of water purification material

Shape	Arrangement	Interval (m)	Numerical analysis		Hydraulic model test	
			Velocity (m/s)	Water Depth(m)	Velocity (m/s)	Water Depth(m)
No material	-	-	1.07	2.00	1.00	2.05
Cube	Line	10	1.16	1.99	1.24	1.98
		20	1.29	1.99	1.26	1.90
		30	1.12	2.20	1.00	2.22
Cube	Complex	10	1.17	1.99	1.32	1.99
		20	1.30	1.98	1.34	1.95
		30	1.11	2.18	1.12	2.19
Cube	Side	10	1.16	1.99	1.09	1.97
		20	1.19	1.98	1.16	2.02
		30	1.11	2.20	1.09	2.21

2.22m로 측정되었으며, 복합형 배치의 유속 증가는 단면적의 급격한 감소로 인한 것으로 판단된다.

수질정화체 간격 변화에 따른 수치해석 및 수리모형시험 결과, 수질정화체 간격이 10m일 때 최대유속 1.22m/s, 최대수심 1.98m로 측정되었으며, 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 감소되는 경향을 보였다.

IV. 결 론

본 연구는 수질정화체를 설치한 배수로의 효율성 평가를 위하여 수질정화체가 설치된 수로에 대하여 수리모형시험은 수리학적 상사법칙에 따라 실제 규모의 1/10로 제작된 수로를, 3차원 수치해석은 FLOW-3D 모형을 이용하여 모의하였다. 수로 내 흐름 특성 분석을 통한 안정성 평가를 실시하였다.

그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 수질정화체 부피 변화에 따른 수로 내 유속과 수심의 수치해석 및 수리모형시험 결과, 부피 증가에 따라 유속은 증가하는 것으로 나타났으며, 수심은 커다란 차이를 나타나지 않았다. 최대허용유속을 초과하지 않으면 이러한 수질정화체를 배수로에 설치하는데 수심 변화는 크게 고려하지 않아도 될 것으로 분석되었다.

2. 수질정화체 형태 변화에 따른 수로 내 유속과 수심의 수치해석 및 수리모형시험 결과, 원기둥 형태가 설치된 수로의 최대유속과 최대수심이 정육면체 형태나 반구 형태가 설치된 수로보다 허용유속에 대해 안정한 것으로 분석되었다. 따라서 원기둥 형태로서 수질정화체를 설치하는 것이 수리적으로 안정할 것이며, 수질효율성에 있어서도 더욱 효율을 나타낼 것으로 판단된다.

3. 수질정화체 배치 변화에 따른 수치해석 및 수리모형시험 결과, 측면형 배치의 최대유속과 최대수심이 각각 1.16m/s, 2.22m로 나타나 안정성에 있어 다른 배치보다 유리한 것으로 분석되었다. 복합형 배치의 경

우 1.34m/s, 2.19m, 일렬형 배치의 경우는 1.26m/s, 2.22m로 측정되었으며, 복합형 배치의 유속 증가는 단면적의 급격한 감소로 인한 것으로 판단된다. 따라서 하천에서의 수제처럼 측면형으로 수질정화체의 배열을 실시하는 것이 안정성을 꾀할 것으로 판단된다.

4. 수질정화체 간격 변화에 따른 수치해석 및 수리모형시험 결과, 수질정화체 간격이 10m일 때 최대유속 1.22m/s, 최대수심 1.98m로 측정되었으며, 20m는 1.25m/s, 1.96m, 30m는 1.07m/s, 2.21m로 측정되었다. 시공시에 간격이 짧아 높은 유속을 나타내지 않도록 하며 이에 따른 세굴이 일어나지 않도록 유의하여야 할 것으로 판단된다.

5. 수질정화체가 설치된 수로의 안정성을 수치해석과 수리모형시험으로 분석한 결과, 원기둥 형태 수질정화체를 측면형으로 배치하였을 때 수리적으로 가장 안정하다고 판단된다. 경우의 수와 경계조건에 있어 부족함이 존재하지만 지속적인 연구가 이루어진다면 수질정화체의 현장시공에 대한 더욱 안정성 있는 자료를 제공할 것으로 판단되며, 수치해석·수리모형시험과 현장모니터링을 통한 비교로서 앞으로의 시공에 기여할 것으로 기대된다.

References

1. Ko, 2004, Safety Analysis on the Environment Friendly Consolidated Canals and Small Streams, Konkuk University
2. Park, 2007, Hydraulic Stability Investigation of Drainage Channels Installed Water Purification Materials, Konkuk University
3. Kim, 2004, Numerical analysis of flow around bridge pier using FLOW-3D
4. Lee, 2003, Development and application of porous hydraulic structure to improve water quality in small and middle streams, Kyunghee University
5. Kim, 2005, Development of Multi-functional River Restoration Techniques, Korea Institute of Construction Technology

6. Korea Rural Community & Agriculture Corporation, 2000, Agricultural land and water development
7. Kim, 2005, Analysis of flow structure over ogee-spillway in consideration of scale and roughness effects by using CFD model, KSCE journal of civil engineering. vol.9 no.2 (2005.
- 3), pp.161-169
8. Park, 2002, "Investigation on the Three-Dimensional Finite Element Analysis for Injection Molding using MPI/FLOW3D", International Moldflow User Group Conference, Boston, USA