

자연형 호안공법의 수리학적 특성 분석을 위한 기초 연구

Study for Analysis of Hydraulic Characteristic of Close-Natural revetment technique

한만신*, 최계운**, 김우진***

Man Shin Han, Gye Woon Choi, Woo Jin Kim

요 지

하천에 있어서 저수호안의 수층부는 수리학적 안정성이 요구되는 부분이나 이에 대한 신뢰성 있는 자료와 적정 공법의 선정 방안이 마련되어 있지 않고 있으며, 국내 자연형하천 조성을 위하여 하천하안에 적용된 공법들은 대부분 콘크리트블록, 말파석, 강화석, 전석, 잡석 등 견고한 재료를 활용한 공법이었다.

최근 하천의 생태환경 조성으로 인하여 식생에 의한 공법 개발이 활발하게 진행되고 있으나 이의 치수적인 평가는 진행되고 있지 않으며, 이들 각종 공법의 적용여부는 주로 소류력의 평가에 의한 것으로 하천의 생태적 환경보다는 치수적인 관점에서 적용되고 있다.

국내 생태하천의 경우 호안의 경사가 1:2 ~ 1:5 정도로 매우 완만한 것이 보통이며, 급강하 하천이 아니기 때문에 설계유속은 2~3m/s 정도이다. 본 연구에서는 경사에 따른 호안의 안정성을 검증하기 위하여 3차원 모델인 Flow-3D를 이용하여 길이 20m, 폭 2m, 높이 1m의 개수로 장치를 구성하였으며, 호안의 조도변화에 따른 유량별 2차원 유속분포 및 Froude수를 산정하여 분석하였다.

핵심용어 : Flow-3D, 호안, 2차원 유속분포

1. 서 론

호안은 제방 또는 하안을 유수에 의한 파괴와 침식으로부터 직접 보호하기 위해 제방 앞비탈에 설치하는 구조물로 비탈덧기, 기초, 비탈멈춤, 밀다짐의 네 부분 중 일부 또는 전부를 조합하여 설치한다. 이 중 비탈덧기는 유수, 유목 등에 대해 제방 또는 호안의 비탈면을 보호하기 위하여 설치하는 것을 말한다.

현재 국내 하천공사에 있어서 돌망태공, 편책공, 돌붙임공, 돌쌓기공, 격자블록공 등 다양한 비탈덧기공법이 적용되고 있으나 호안설계에 대한 모호한 규정으로 인해 주로 설계자의 경험에 의해 그 공법이 적용되고 있는 실정이다.

최근 이상홍수 발생과 호안의 노후화 등으로 인해 홍수 시 호안 붕괴로 인한 인명 및 재산피해가 가중되고 있다.

* 정회원 · (재)국제도시물정보과학연구원 선임연구원 · E-mail : 8190hansman@hanmail.net

** 정회원 · 인천대학교 토목환경공학과 교수 · E-mail : gyewoon@incheon.ac.kr

*** 정회원 · 인천대학교 토목환경공학과 석사과정 · E-mail : kyulmaro@naver.com

국내 하천설계기준에서는 침식에 대한 호안을 설치토록 하고 있으나 확실한 안정성 평가기법은 제시되어 있지 않은 실정으로 호안공은 유속이 3m/s이상에서 설치하도록 제시하고 있어 호안공별 시공기준이 경험에 의존하게 되어 호안공이 과대 설계되거나 과소 설계된다.

하천은 구간마다 고유의 특성을 가지고 있고 자연하천에서의 흐름은 유수의 관성력에 대한 점성력 및 중력의 상대적 영향에 따라 흐름 상태가 지배된다. 따라서 관성력에 대한 중력의 상대적인 비인 Froude수는 이러한 하천의 수리적 특성을 고려할 수 있는 중요한 인자가 된다. 이에 하천제방 호안 설계에 있어서 Froude수에 대한 특징을 살펴보고자 한다.

2. 이론적 배경

Flow-3D는 연속방정식, 3차원 Navier-Stokes 방정식, 에너지 방정식을 사용하여 비정상 유동 상태를 해석한다. 자유표면 해석을 위해 VOF 방정식이 사용되며, 직각 형상의 격자계에서 일반 형상을 정의해 줄 수 있도록 FAVOR 방법이 각 방정식에 적용된다.

2.1 비압축성 연속방정식(Continuity Equation) 및 운동방정식(Momentum Equation)

$$\frac{\partial}{\partial x}(uA_x) + \frac{\partial}{\partial y}(vA_y) + \frac{\partial}{\partial z}(wA_z) = \frac{RSOR}{P} \quad (1)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{1}{V_f} \left\{ uA_x \frac{\partial u}{\partial x} + vA_y \frac{\partial u}{\partial y} + wA_z \frac{\partial u}{\partial z} \right\} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + F_x - \frac{RSOR}{\rho V_f} u \quad (2a)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{1}{V_f} \left\{ uA_x \frac{\partial v}{\partial x} + vA_y \frac{\partial v}{\partial y} + wA_z \frac{\partial v}{\partial z} \right\} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y} + F_y - \frac{RSOR}{\rho V_f} v \quad (2b)$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} + \frac{1}{V_f} \left\{ uA_x \frac{\partial w}{\partial x} + vA_y \frac{\partial w}{\partial y} + wA_z \frac{\partial w}{\partial z} \right\} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial z} + F_z - \frac{RSOR}{\rho V_f} w \quad (2c)$$

여기서, u, v, w 는 각 x, y, z 방향의 속도성분을 나타내고, V_f, A_x, A_y, A_z 는 체적 fraction 및 각 방향의 면적 fraction을 나타낸다. 또 ρ 는 Density, RDIF는 난류 diffusion 항이고 RSOR는 Mass Source/sink 항을 나타낸다.

2.2 VOF방정식(Volume-of-Fluid Advection Equation)

유체의 형상은 단위 체적당 유체 1의 체적을 나타내는 $F(x, y, z, t)$, VOF 함수로 나타낸다.

$$\frac{\partial F}{\partial t} + \left\{ \frac{\partial}{\partial x}(FuA_x) + \frac{\partial}{\partial y}(FvA_y) + \frac{\partial}{\partial z}(FwA_z) \right\} = FDIF + FSOR \quad (3a)$$

$$FDIF = \frac{1}{V_f} \left\{ \frac{\partial}{\partial x}(v_f A_x \frac{\partial F}{\partial x}) + R \frac{\partial}{\partial y}(v_f A_y \frac{\partial F}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z}(v_f A_z \frac{\partial F}{\partial z}) + \xi \frac{v_f A_x F}{x} \right\} \quad (3b)$$

여기서, diffusion 상수인 $v_f = c_f \mu / \rho$ 로 나타나며 FDIF항은 Diffusion of Fluid Fraction을 나타낸다. FSOR 항은 연속방정식에서의 RSOR에 해당하며 유체 1의 질량 생성항에 따른 시간에 대한 체적 변화율을 나타낸다. 1 유체 또는 2 유체의 문제에 따라 $F=0$ 은 void 또는 유체 2로 정의된다.

2.3 FAVOR 방법(Fractional Area/Volume of Representation)

직각형 격자 안에 들어있는 일반 형상을 기술하는 방법으로 일반 FDM 사용시 가장 큰 문제인 하나의 계단형 격자에 의한 결과의 정확도 저하를 해결하기 위해 각 직각형격자의 각기 면들이 전체 또는 일부가 유체가 출입할 수 없는 물체에 의해 막혀있을 수 있다고 정의하는 것이다. 그러

므로 한 직각형 격자에서 유동물질이 차지하는 부피 및 이 매체가 통과하는 면적이 정의되며 이 격자 안에서의 질량, energy, 운동량들에 대한 통과 면적에 대한 flux를 고려한 방정식들의 유한 체적 적분을 통해 일반 물체 주위의 유동에 대한 영향을 기술하게 된다.

3. 모형 구축 및 수행 조건

수치해석에 사용될 호안부분의 솔리드모형은 3D CAD를 이용하여 호안의 한쪽 사이드만을 제작하였고 메쉬는 그림 1과 같이 구성하였으며, 그림 2는 구성한 솔리드모형과 메쉬를 FAVOR 방법을 사용하여 표현된 모습이다.

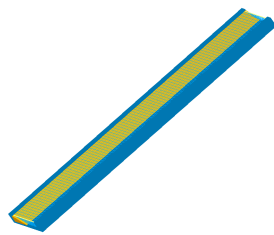


그림 1. Geometry 및 Mesh 구성



그림 2 FAVOR 방법

Flow-3D에서의 Roughness의 표현은 절대조도계수(Absolute Roughness Coefficient)로 나타내며 본 수치모델링에서는 호안 경사의 조도계수를 0.000001부터 0.005 까지 10배씩 점차적으로 증가시켜가며 수치실험을 실시하였다. 사용한 조도계수 0.000001은 가장 작은 값으로 구리, 알루미늄 등에 해당하며, 0.005는 가장 큰 값으로 보통 목재에 해당한다. 또한 수로벽면 및 바닥은 모두 0.000001로 고정시켰다. 또한 유량을 각각 0.2m³/sec, 0.25m³/sec, 0.3m³/sec 씩 변화를 주어 실험하였다.

4. 실험결과

4.1 조도계수 변화에 따른 유속분포

조도계수 변화에 따른 유속분포를 알아보기 위하여 각 Case별 물의 흐름방향으로의 유속 Vx의 최대값들을 비교분석하였다. 조도변화에 따른 유량변화를 0.2m³/sec, 0.25m³/sec, 0.3m³/sec로 변화를 주었으며, 그림 3과 같이 조도가 커질수록, 그리고 유량값이 클수록 최대유속이 감소하는 경향을 보였다.

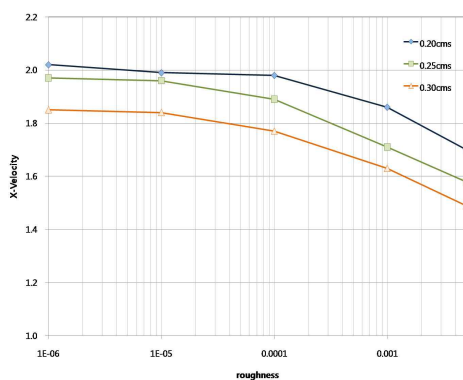


그림 3. 조도계수 변화에 따른 최대유속 변화

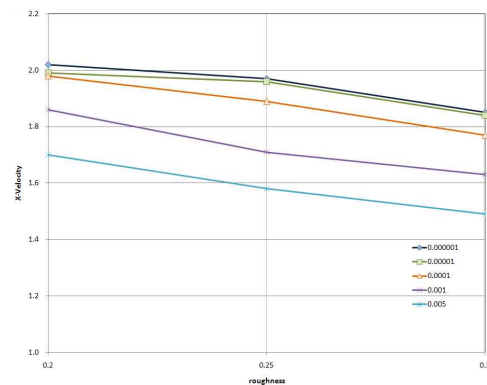
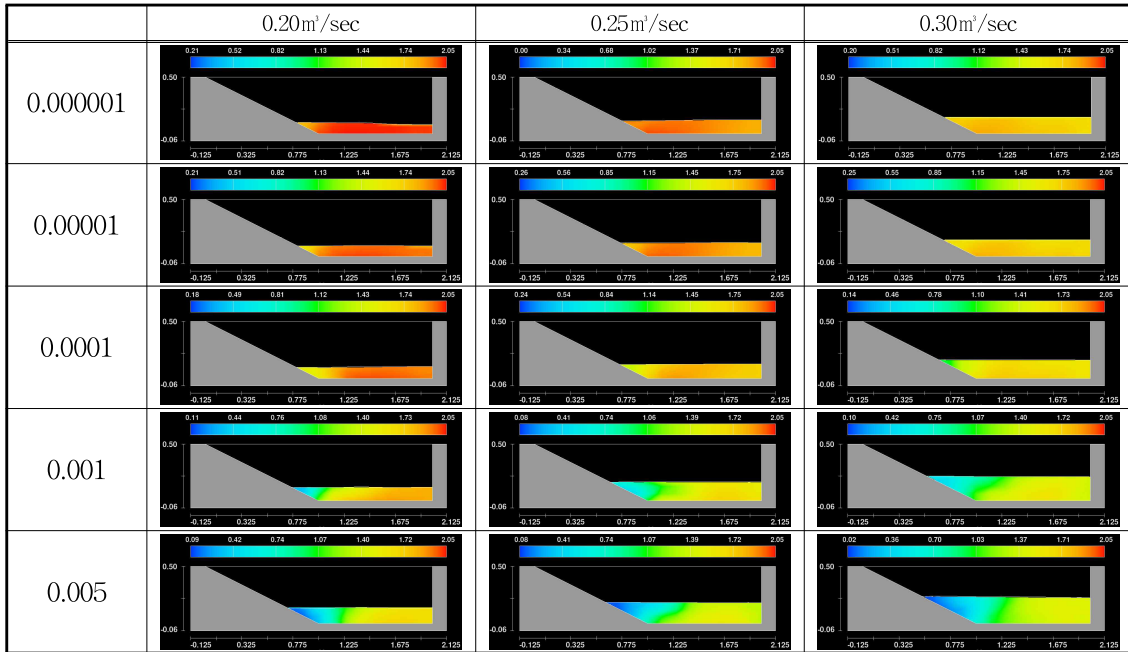


그림 4. 유량변화에 따른 최대유속 변화

표 1. 조도계수 변화에 따른 유량별 최대유속 변화



4.2 조도계수 변화에 따른 Froude수 산정

조도계수 변화에 따른 Froude수를 산정하기 위하여 흐름이 있는 단면적에 대하여 각 절점에서의 Froude수에 대한 평균값을 이용하였다. 조도변화에 따른 유량변화를 0.2m³/sec, 0.25m³/sec, 0.3 m³/sec로 변화를 주었으며, 그림 5와 같이 조도가 커질수록 Froude수가 감소하는 경향을 보이고 있다. 조도값이 작은 경우에 비하여 큰 경우가 유량변화에 따른 변화가 점차적으로 감소하는 것으로 나타났다. 조도의 변화가 크게 변화함에도 불구하고 Froude수의 변화가 크기 않기 때문에 호안의 조도에 의한 영향보다 유속에 의한 영향이 크게 나타나는 것으로 나타났다.

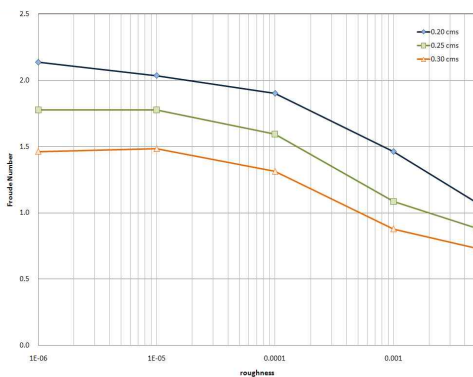


그림 5. 조도계수 변화변화에 따른 Froude수 산정

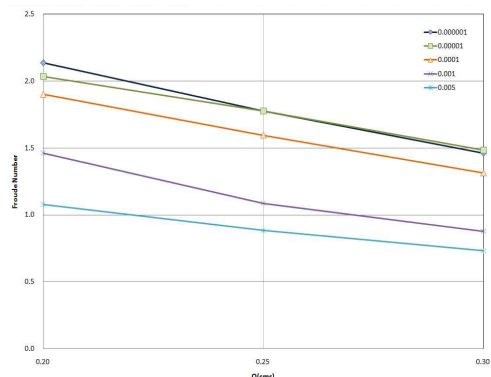
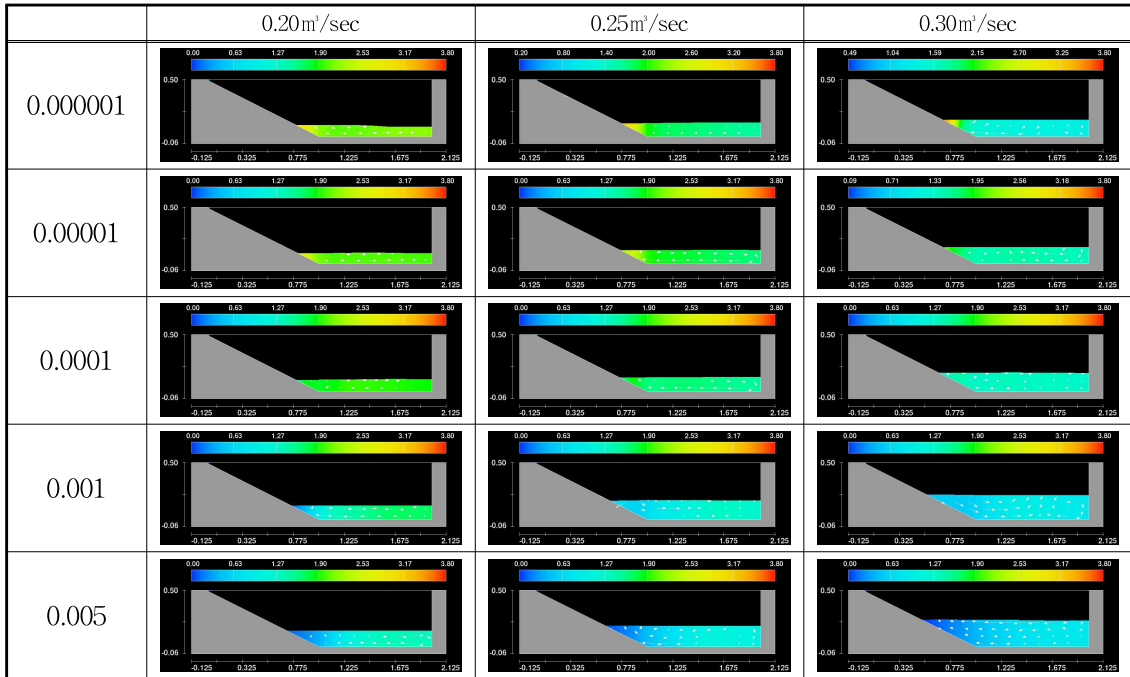


그림 6. 유량변화에 따른 Froude수 산정

표 2에서 보는바와 같이 개수로의 중간지점에서 호안의 조도변화에 따른 Froude변화를 나타내었을 때, 호안에서 가까운 지점의 Froude수의 변화가 크게 나타났으며, 조도가 커질수록 Froude수가 점차 감소하는 영역이 넓어지는 것을 알 수가 있다. 또한, 조도가 큰 경우에 비하여 작은 경우가 Froude수가 최대로 나타나는 것으로 나타났다.

표 2. 조도계수 변화에 따른 유량별 Froude 변화



4. 결 론

본 연구는 자연형 호안에서의 호안설치에 따른 수리학적 특성을 분석하기 위한 기초자료로 활용하기 위하여 호안 조도를 0.000001~0.005로 변화하면서, 유량을 0.20m³/sec, 0.25m³/sec, 0.30m³/sec에 대한 유속 및 Froude수의 변화를 분석하였다.

호안의 조도를 증가할수록 흐름 방향으로의 횡단면에서 최대유속값 및 Froude수가 감소하는 경향을 보이고 있으며, 유량이 증가할수록 최대유속값 및 Froude수가 감소하는 것으로 나타났다.

호안의 조도가 증가함에 따라 호안부에서의 유속감소가 크게 증가하였고, 유심의 주 흐름구간이 호안 반대편으로 이동함에 따라 평균유속이 낮아지면서 수위가 증가하였다.

본 수치해석 결과를 통하여 동일한 조건에서의 개수로 장치를 제작하여 비교할 예정이며, 향후 호안경사의 변화 및 자연형 호안 공법의 적용에 따른 수리학적 특성을 규명하고자 한다.

참 고 문 헌

1. 김정환 (2007). FLOW-3D를 활용한 유체유동 해석(7), 토목 분야에서의 활용-수리분야, CAD & Graphics, pp.177~181.
2. 윤용남 (2003). 수리학, 기초와 응용.
3. 이종필, 박의정, 최경환, 김철 (2008). “수리모형실험을 통한 호안의 수리적 안정성 분석”, 한국수자원학회 학술발표회 논문집, pp.1867~1873.
4. 이진수, 윤병만, 류권규, 노영신 (2005). “개수로 흐름의 유속분포에 관한 연구”, 한국수자원학회 학술발표회 논문집, pp.986~990.
5. Chow, V. T. (1959). Open Channel Hydraulics. McGraw-Hill.
6. FLOW-3D User's Manual (2007).