

침수된 구조물의 Manning계수 산정 수치실험 Numerical Experiment for Estimation of Manning Coefficient for the Submerged Structure

권갑근¹, 조상민², 이성원³, 윤성범⁴

Kab Keun Kwon¹, Sang Min Cho², Seong Won Lee³ and Sung Bum Yoon⁴

1. 서 론

지구의 온난화로 인한 기상이변으로 폭풍이나 해일등과 같은 자연재해로 발생하는 재산피해가 전 세계적으로 증가하고 있는 추세이다. 우리나라의 경우도 태풍이나 이동성 저기압으로 인하여 해안지역내에 범람피해를 꾸준히 받고 있는 상황이다. 주거지 밀집지역내 해수의 범람시 범람고 및 주거지 구조물의 배치에 따라 해수의 흐름저항은 변화한다. 특히 지역내 구조물들이 완전히 침수되는 경우와 침수되지 않는 경우는 에너지 손실의 메커니즘이 각각 다르기 때문에 흐름저항의 변화양상도 서로 다르게 나타난다.(Wu et al., 1999) 권 등(2008)은 정방형 다열기둥을 이용하여 부분적으로 침수되는 조건의 수리실험을 수행하였으며 범람고 및 구조물의 배치에 따른 Manning 계수를 측정후 이를 산정할 수 있는 실험식을 제안하였다. 본 연구는 구조물이 침수된 경우의 흐름저항의 변화를 연구하기 위해 3차원 전산유체해석 프로그램인 FLUENT를 이용하여 수치실험을 수행하였다. 기존의 수리실험에 사용된 정방형 다열기둥과 같은 규격의 저항체를 적용하였으며 저항체 높이의 30배까지 수심을 높여 실험을 수행하였다. 그리고 구조물이 완전히 침수된 경우와 그렇지 않은 경우의 흐름저항을 Manning계수로 나타내어 비교하였으며 추가적으로 구조물

이 흐름방향과 흐름횡방향으로 균등하게 배열된 경우와 서로 엇갈리게 배열된 경우의 수치실험도 수행하여 각각의 n 값을 비교하였다.

2. 이론 및 수치실험 방법

2.1 Manning 평균유속공식

수치실험에서는 Manning의 평균유속공식을 사용하여 침수된 구조물로 인한 에너지 손실을 Manning 계수 n 값으로 표현하였다.

$$V = \frac{1}{n} R_h^{2/3} S_f^{1/2} \quad (1)$$

V 는 평균유속, n 은 Manning계수, R_h 는 동수반경, S_f 는 에너지경사이다. FLUENT를 이용한 수치실험은 등류로 설정하여 수행되었으므로 S_f 는 수로경사 S_0 로 표현이 가능하다. 또한 무한히 넓은 수로로 가정하였기 때문에 R_h 는 등류수심 d 로 대체하였다. 수치실험은 d 와 S_0 를 초기조건으로 설정하고 V 를 측정후 다음의 식을 이용하여 n 값을 산정하였다.

$$n = \frac{1}{V} d^{2/3} S_0^{1/2} \quad (2)$$

1 한양대학교 토목공학과 박사과정

2 한양대학교 토목공학과 석사과정

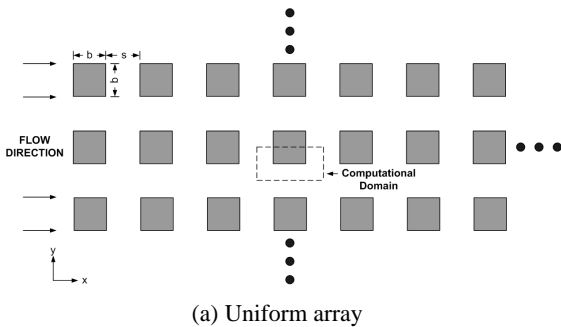
3 한국건설기술연구원 책임연구원

4 한양대학교 건설환경시스템공학과 교수

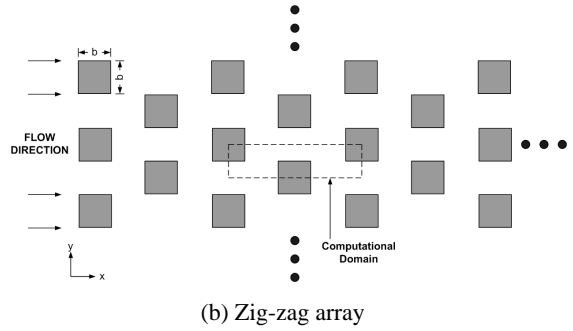
2.2 계산영역 및 구조물 생성

FLUENT를 이용한 수치실험은 권 등(2008)의 수리실험값과 비교하기 위하여 수리실험에 사용된 폭 $b=0.114\text{m}$ 의 정방형 다열기둥이 수로에 무한히 분포한다는 가정에서 다열기둥의 효과를 충분히 나타내고 계산시간의 단축을 위하여 Fig.1과 같은 계산영역을 설정하였다. 또한 다열기둥의 높이는 0.114m 로 기둥의 폭과 같게 설정하였다. 먼저 기존 수리실험으로 측정된 n 값과 수치실험을 통해 산정된 n 값을 비교를 통해 모형을 검증하기 위하여 Fig.1(a)와 같이 저항체가 횡방향과 흐름방향으로 일정하게 배열되어 있고 흐름 횡방향으로 공극률 $r=0.43$ 이 되도록 Y방향으로 0.1m 인 계산영역을 설정하였다. 연직방향인 Z방향으로는 0.0171m , 0.0342m , 0.057m , 0.0798m , 0.114m 의 수심을 설정하였으며 흐름방향 이격거리 s 는 $0.124\text{m}(s/b=1.1)$ 로 설정하여 수리실험값과 비교하였다. 두 번째로 침수된 구조물 또는 저항체로 인한 Manning계수 n 값의 변화를 알아보기 위해 Z방향으로 구조물 높이의 30배인 3.42m 의 범위까지 수심을 점차 증가시켜 수치실험을 수행하였다. 또한 추가적으로 공극률 $r=0.5$ 와 $s/b=1.0$ 인 경우의 수치실험을 수행하여 수심의 변화에 따른 n 값의 변화를 측정하였다.

마지막으로 저항체가 엇갈려 배치된 경우의 흐름을 수치실험 하였으며 이를 위해 Fig.1(b)와 같은 영역을 설정하였으며 공극률 $r=0.5$, $s/b=1.0$ 을 주었다. 그리고 저항체가 일정하게 배치된 경우의 n 값과 비교하여 엇갈려 배치된 경우의 흐름 저항의 정도를 확인하였다.



(a) Uniform array



(b) Zig-zag array

Fig. 1. Computational domain of FLUENT

수치실험에 사용된 격자의 크기는 $Z=22.8\text{cm}$ 까지는 $\Delta x=\Delta y=\Delta z=0.008\text{m}$ 를 사용하였고, $Z=22.8\text{cm}$ 보다 더 높은 영역은 $\Delta x=\Delta y=\Delta z=0.016\text{m}$ 의 격자크기를 사용하여 수치모의 하였다.

수치실험에 사용된 경계조건으로 Fig.2와 같이 계산영역의 상류단과 하류단에 주기적 경계조건(periodic boundary condition)을 사용함으로써 X방향에 대하여 계산된 하류단에서의 유속분포 및 수심 등의 데이터가 상류단의 조건으로 들어가 다열기둥이 있는 무한히 긴 수로에서의 등류를 구성할 수 있었다. 그리고 측면 경계면은 모두 대칭형 경계조건으로 설정하여 Y방향으로 다열기둥의 확장을 나타내었으며 Z방향의 바닥경계면은 수리학적으론 매끈한 벽면인 no-slip 경계조건을 사용하였다. 20°C 의 물의 물성치와 $k-\epsilon$ 난류모형을 사용하였으며 수로경사는 0.0049 로 일정하게 유지하기 위해 X방향과 Z방향으로 중력성분을 나누어 설정하였다. 또한 경계면의 유입구와 유출구의 인접한 지점에 유량을 계산할 수 있는 Plane을 설치하여 등류가 형성된 후의 유량을 측정하였으며 이를 Manning공식에 대입하여 n 값을 산정하였다.

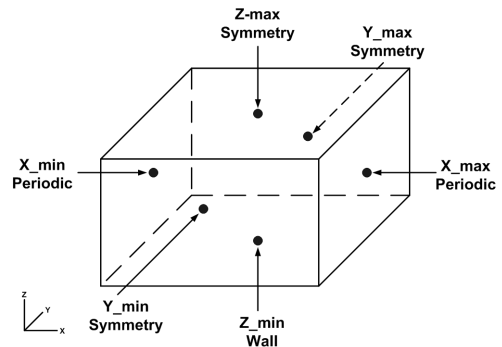


Fig. 2. Boundary condition

3. 수치실험결과

3.1 수리실험 결과와의 비교

FLUENT를 이용한 수치실험을 검증하기 위하여 기존의 구조물이 침수하지 않은 조건의 수리실험 결과와 비교하였으며 이를 Fig.3에 나타내었다. Fig.3은 $s/b=1.1$, $r=0.43$ 일 때의 수리실험과 수치실험의 n 값을 비교한 그림이다. 수심 d 와 정방형 다열기둥의 폭 b 를 무차원화 하여 X 축에 d/b 로 나타내었다. 수치실험은 수리실험결과와 마찬가지로 수심이 증가할수록 n 값도 증가함을 확인하였다. 그러나 수치실험의 n 값은 수리실험의 n 값보다 작게 측정되었다. 이는 수리실험의 경우 실험수로 폭의 제한으로 인하여 기둥에 의해 발생한 교호와류가 수로 횡방향으로 공진을 발생시켜 무한히 넓은 수로로 가정한 수치실험의 결과보다 n 값이 높게 측정된 것으로 파악된다.

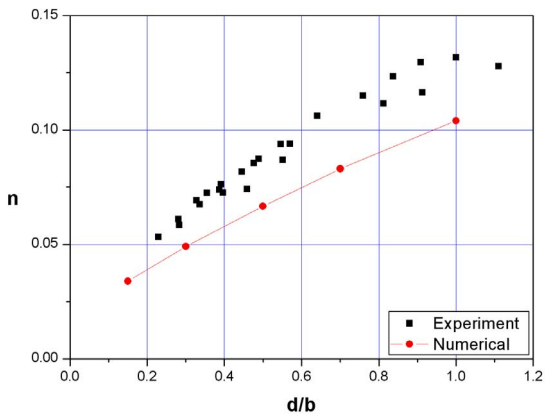
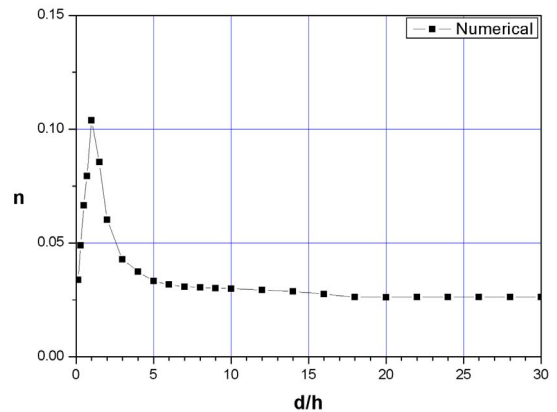


Fig. 3. Comparison of n value between hydraulic experiment and numerical test ($s/b=1.1$, $r_0=0.43$)

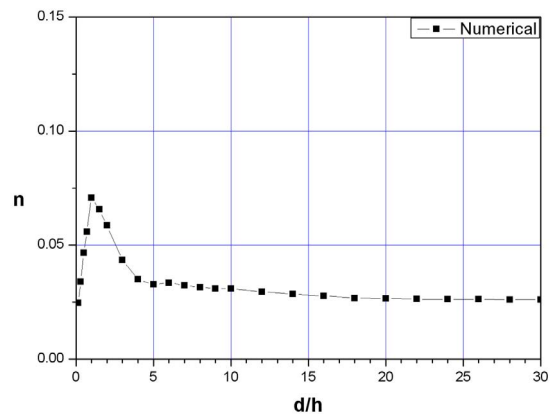
3.2 수심변화에 따른 수치실험 결과

침수된 구조물의 수심에 따른 n 값의 변화를 확인하기 위하여 구조물 높이의 30배까지 수심을 증가시켜 수치실험 하였으며 그 결과를 Fig.4에 나타내었다. Fig.4의 (a)와 (b)는 $s/b=1.1$, $r=0.43$ 과, $s/b=1.0$, $r=0.5$ 일 때의 수심에 따른 n 값의 비교이다. X 축은 수심 d 와 구조물 높이 h 의 비로 무차원화 하였다. 수심이 기둥의 높이보다 작은 경우에는 수심이 증가할수록 n 값도 증가하였으며 수심과 기둥의 높이가 같은 위치인 $d/h=1.0$ 에

서 최대 n 값이 측정되었다. 그리고 수심이 기둥의 높이보다 증가할수록 n 값은 감소하였으며 $d/h \approx 20$ 에서 수심이 증가하여도 n 값은 거의 변하지 않은 것이 확인되었다. $d/h < 1.0$ 의 범위에서는 수심이 증가할수록 흐름저항의 원인이 되는 기둥의 접촉면적도 증가하기 때문에 n 값은 증가하게 되고 이 경우의 n 값은 수심에 비례하여 증가한다. 그러나 $d/h > 1.0$ 의 범위에서는 수심이 증가하여도 기둥의 높이는 일정하여 상대조고는 감소하므로 n 값도 점차 감소하게 된다.



(a) $s/b=1.1$, $r=0.43$



(b) $s/b=1.0$, $r=0.5$

Fig. 4. Variation of n value according to water depth

3.3 저항체의 배열형상에 따른 결과비교

정방형 다열기둥을 엇갈리게 배열한 경우와 일정하게 배열한 경우의 수치실험 결과를 비교하였다. Fig.5는 $s/b=1.0$, $r=0.5$ 인 조건에서 Fig.1(a),

(b)의 계산영역과 같이 엇갈리게 배열된 경우와 일정하게 배열된 경우의 수심에 따른 n 값을 비교한 그림이다. 전체적으로 엇갈리게 배열된 경우의 n 값이 일정하게 배열된 경우의 n 값보다 높게 측정되었으며 $d/h=1.0$ 일 때의 n 값의 차이가 가장 크게 나타남을 확인하였다. 그리고 수심이 증가할수록 n 값의 차이는 줄어들며 d/h 가 20 이상이 되면 n 값은 거의 같게 나타남이 확인되었다. 이는 같은 공극률이라도 기둥이 일정하게 배열되면 기둥의 간격사이로 흐름이 원활히 진행되지만 엇갈리게 배열되면 흐름의 진행이 기둥에 의해 방해받아서 흐름저항이 더 증가하게 된다. 그러나 수심이 기둥의 높이에 비해 크게 증가하게 되면 n 값은 상대조고만의 함수가 되어 거의 일정한 값을 나타내기 때문에 기둥이 배열된 형상에 상관없이 n 값은 서로 같아지게 된다.

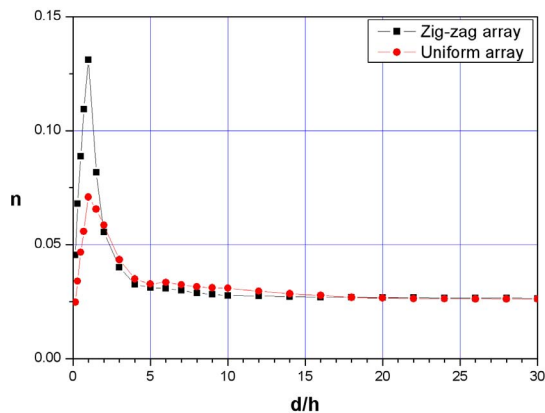


Fig. 5. Comparison of n -value between zig-zag array and uniform array ($s/b=1.0$, $r_0=0.5$)

4. 결 론

3차원 전산유체해석프로그램인 FLUENT를 이용하여 구조물이 침수된 조건에서의 n 값을 측정하였다. 구조물을 정방형 다열기둥으로 대체하고 수심을 기둥높이의 30배까지 높여 수치실험을 수행하였다. 수심이 기둥높이보다 낮은 범위에서의 기존의 실험값과 수치실험값을 비교한 결과, 수치실험의 n 값이 수리실험의 결과보다 낮게 측정되었으며 이는 수리실험에서 생성된 교호와류로 인한 수로내 부진동의 발생으로 n 값이 수치실험보다 높게 측정된 것으로 파악된다. 또한 수심이 기둥높이와 같은 경우에서 최대 n 값이 측정되었

으며 수심이 증가할수록 n 값이 감소하였다. 그리고 수심이 기둥높이의 20배 정도의 범위에서 n 값은 수심에 상관없이 일정한 값을 유지하였다. 마지막으로 다열기둥이 엇갈리게 배열된 경우의 수치실험을 수행하여 일정하게 배열된 경우의 n 값과 비교하였다. 수치실험 결과 전체적으로 엇갈리게 배열한 기둥의 n 값이 일정하게 배열된 경우의 n 값보다 높게 측정되었으며 수심이 증가할수록 n 값의 차이는 감소하여 결국 서로 같아짐을 확인하였다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행 한 2005년도 건설핵심기술연구개발사업(과제번호: 05-건설핵심 D10, 과제명: 해저시설물 차폐기술연구)에 의하여 연구비가 지원되었으며 이에 감사를 포함합니다.

참고문헌

- 권갑근, 최준우, 윤성범 (2008). 개수로 다열기둥에 대한 상당저항계수 측정. 대한토목학회논문집, 대한토목학회, 제28권, 제6B호, 635-642.
- Wu, F.C., Shen, H.W., Chou, Y.J., (1999). Variation of roughness coefficient for unsubmerged and submerged vegetation. J of Hydraulic Engineering, Vol.125, No.9, 934-942.