

하천 만곡률과 홍수량에 따른 수면경사도 산정

Estimation of the Water Surface Slope by the River Bend Curvature and Flood Discharge

최 한 규* / 이 문 희** / 백 효 선*** / 박 수 진****
Choi, Han Kuy / Lee, Mun Hee / Baek, Hyo Sun / Park Soo Jin

Abstract

In this research, we made a one and two-dimensional analysis of numerical data collected from the bend curvature of a bended river section. According to the result from the numerical analysis, the inflow & output angle caused a water level deviation which increased with an increase of the flood discharge. From the water level deviation of our two-dimensional numerical model, we obtained the maximum slope of 6.67% when the inflow and output angle was 105 degrees and the flood discharge was 500 CMS. As for the right side, the differences with the one-dimensional numerical model were reduced when the angle was more than 90°. As for the left side the differences were reduced when the angle was more than 105°. For a river with more than 90 degrees bend curvature, a hydraulic experiment would be more appropriate than a numerical analysis.

key words : numerical analysis, flood discharge, water level, water surface slope, river bend curvature, hydraulic model experiment

요 지

본 연구는 만곡하천의 단면을 만곡률에 따라 1·2차원 수치해석을 실시하였다. 수치해석 결과 유·출입각에 따른 수위 편차가 발생하였으며, 홍수량 변동에 따른 편차가 증가 하였다. 2차원 수치모형에 의한 수위편차를 보면 유·출입각 105도 일 때 홍수량 500CMS에서 최대경사가 6.67%가 나타났다. 우측은 90도를 초과하는 경우 1차원 수치모형과의 편차가 감소하였으며, 좌측의 수위는 105도를 초과하는 경우 1차원 수치모형과의 편차가 감소하는 것을 확인하였다. 이는 90도 이상의 만곡하천의 경우 수치해석보다는 수리모형실험을 통하여 검증하는 것이 바람직하겠다.

핵심용어 : 수치해석, 홍수량, 수위, 수면경사, 만곡하천, 수리모형실험

1. 서 론

1.1 연구의 목적 및 범위

하천 수면형 계산을 방법으로는 하천의 종방향에

대해서만 산정가능한 1차원모형과 횡방향 까지 고려할 수 있는 2차원모형 및 수심에 대한 변동까지 해석이 가능한 3차원 모형으로 구분된다. 위 방법중 기본 계획 수립시 일반적으로 사용되는 방법은 1차원 수치해석모형으로 하천 종방향에 대해서만 수면형을 산정하고 있다. 그러나 산간지역의 만곡하천이 산재해 있

* 정회원 · 강원대학교 토목공학과 교수, 공학박사 (e-mail: hankuy@kangwon.ac.kr)

** 강원대학교 대학원 토목공학과 박사수료

*** 강원대학교 대학원 토목공학과 박사과정

**** 강원대학교 대학원 토목공학과 공학석사

는 경우 좌우 수면형의 변동을 고려할 수 없으므로 하천정비를 위한 기본계획수립시 신뢰성이 감소한다. 이는 만곡부 하천에서는 원심력에 의하여 하천 좌우의 수위차가 발생하게 된다. 종방향에 대해서만 해석 되는 기본 1차원 수치해석모형의 방법상의 제한으로 경우에 따라서는 실제 발생 가능한 홍수위보다 작게 산정 되는 오류가 발생하게 된다. 따라서 본 연구는 이러한 오류를 최대한 감소시키기 위하여 만곡부 하천에서의 1차원 수치해석모형과 2차원 수치해석모형의 좌우 편차를 산정, 분석함으로써 수치적으로 상호 편차를 확인하여 이를 정량적으로 제시하였으며, 또한 산출된 상호편차는 각 단면별 홍수위 비교뿐만 아니라 홍수량에 따른 영향을 비교하여 오차 변동특성을 살펴보았으며, 이에 따른 변동특성을 회귀식으로 산정하여 각 방법별 오차범위를 예측할 수 있도록 하였다.

본 연구를 위하여 이용된 프로그램에는 1차원 수치해석은 HEC-RAS를 이용하였으며, 2차원 수치해석은 RMA-2 모형을 이용하였다.

2. 수치해석

2.1 입력자료 계획

2.1.1 지형자료 계획

한국수자원공사의 용어사전에 의하면 만곡률이란 “하천의 두지점 사이의 직선길이와 유심천 길이와의 비”로 정의하고 있다. 따라서 본 연구를 위하여 곡선반경을 50.0m로 고정하고 fig.1에서 보는 바와 같이 유출입 각을 135°, 105°, 90°, 45°, 15°로 하여 만곡률이 0.3, 2.5, 10.0, 13.4, 21.6% 되도록 지형자료를 입력하였다.

다음으로 하천 횡단면을 계획하였다. 현재 만곡부 하천의 대부분이 상류지역에 위치하고 있다는 지리적

인 특성과 이에 따른 상류하천의 규모 등을 고려할 때 하폭은 30.0m로 계획하였다. 연구계획 횡단면은 fig. 2와 같다.

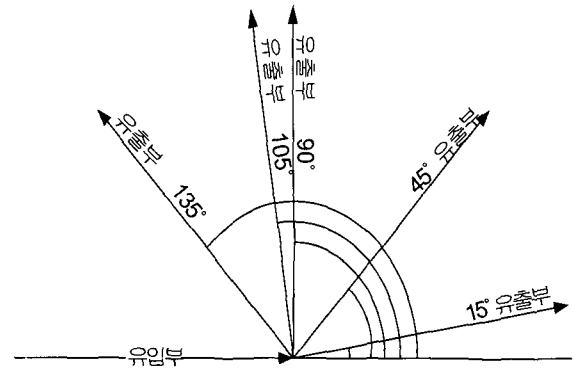


Fig. 1 하천·출입각

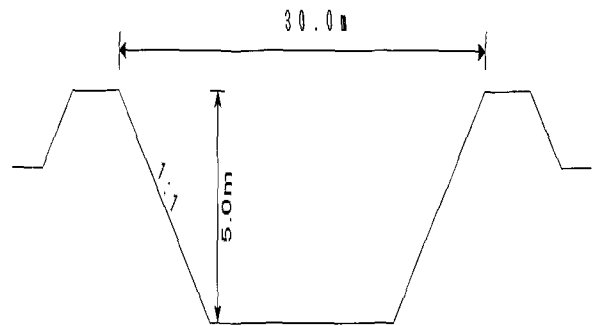


Fig. 2 연구계획 횡단면도

2.1.2 홍수량 계획

본 연구를 위한 홍수량 계획은 산지지형이 다량 분포한 강원도 지역 하천에서의 기본계획상 일반적인 계획홍수량인 100CMS ~ 500CMS로 계획하여 적용하였다. fig. 3은 강원도 지방2급 하천의 계획홍수량 및 평균하폭을 나타냈다.

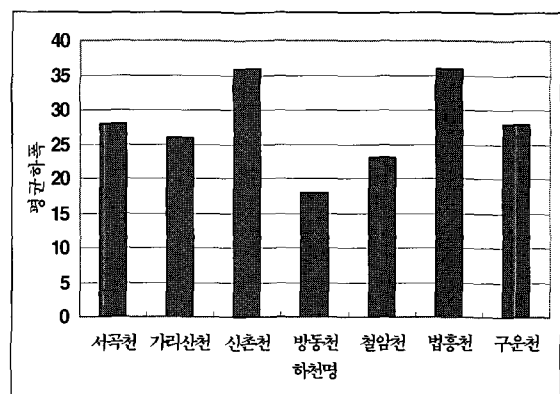
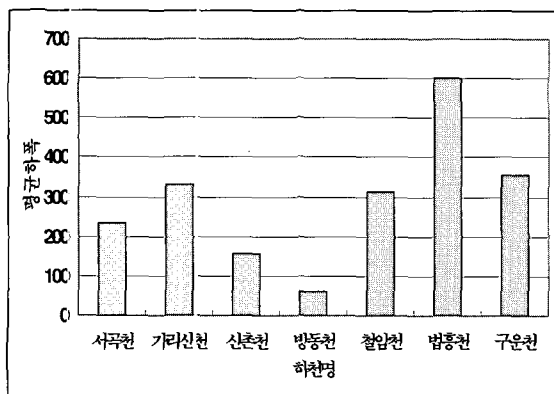


Fig. 3 강원도 지방 2급 하천의 기본계획상 계획 홍수량 및 평균하폭

2.2 수치해석 자료 입력

2.2.1 차원 수치해석 자료입력

1차원수치해석을 위하여 지형자료를 지형자료계획의 의하여 각 반곡률별로 작성된 가상의 자료를 지형자료로 입력하였으며, 경계조건으로는 상류에는 100~500CMS까지 100CMS간격으로 홍수량 자료를 입력하였으며 하류에는 기점홍수위를 100.0m로 입력하였다.

2.2.2 2차원 수치해석 자료입력

2차원수치해석을 위하여 횡단자료를 입력하였으며, 횡단자료를 입력하기 위하여 지형자료로는 1차원 수치해석을 위한 지형조건과 같게 하였다. 다만 3차원 지형자료를 필요로 함으로 CAD를 이용하여 3차원지형자료를 이용 절점좌표로 적성한 후 이를 이용하여 삼각망과 Mash를 구성하여 수치해석을 위한 지형자료로 이용하였으며 경계조건은 1차원 수치해석의 경계조건과 같이 상류지역에서는 100~500 CMS의 홍수량 값을 하류에는 기점홍수위 100.0m를 입력하였다.

2.3 수치해석 결과

2.3.1 1차원 수치해석결과

본문 2.2.1 방법에 의하여 입력 및 해석과정을 실시하여 1차원 수치해석에 대한 다음과 같은 결론을 도출하였다. 본 결과는 유·출입각의 변동에 따라 홍수량 300CMS에 대한 해석 값으로 아래 fig. 4에서 보는바와 같이 1차원 수치해석 상에서는 유·출입각 변동에 따른 홍수위의 변동이 발생하지 않아 하나의 선으로 표현되고 있다.

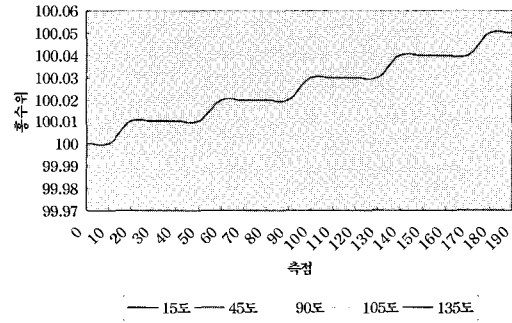


Fig. 4 유·출입각에 따른 홍수량 300CMS 홍수위선

2.3.2 2차원 수치해석결과

유·출입 각에 따른 2차원 수치해석 결과는 fig. 5 ~ fig. 9과 같으며 유입방향에서 유출방향을 기준으로 하천의 좌우측을 판단하였으며 이에 따른 각 조건별 좌우측의 수위를 Table 1과 같이 나타내었다.

3. 결과분석

3.1 통계분석

3.1.1 오차분석

본 연구에서는 1차원 모형과 2차원 수치해석 결과를 이용하여 각 모형별 수위 편차를 분석하였으며, 편차를 산정한 결과 유·출입각 크기 및 홍수량이 클수록 1, 2차원 수치해석의 편차가 크게 발생하는 경향을 보이고 있으나, 90도 보다 큰 각도의 경우 2차원 수치해석상의 우측편차가 감소하고 있었으며, 105도에서 좌측의 편차가 가장 큰 값을 보이다가 이후 감소하는 것으로 나타났다. 각 조건별 1, 2차원 수치해석 편차는 아래 fig. 10에 나타내었다.

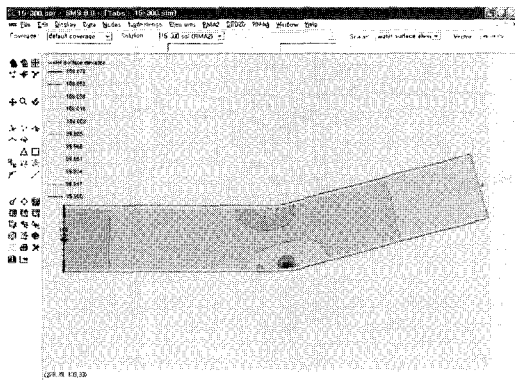


Fig. 5 유·출입각 15° 홍수량 300CMS 경우 2차원 수치해석결과

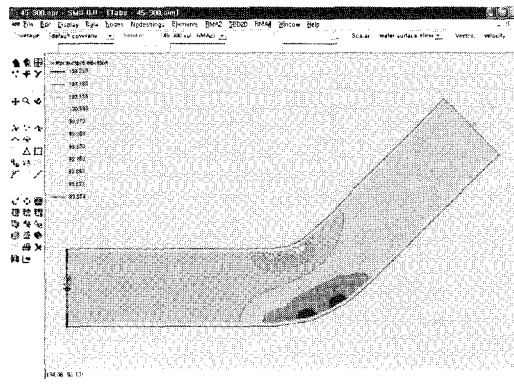


Fig. 6 유·출입각 45° 홍수량 300CMS 경우 2차원 수치해석결과

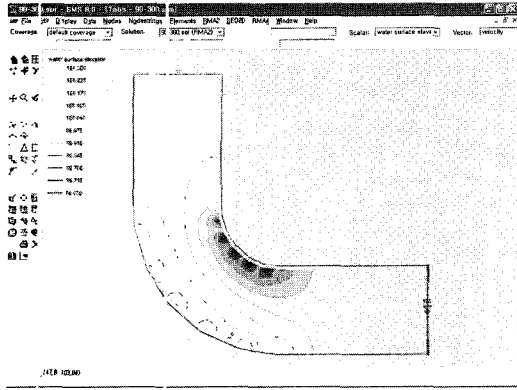


Fig. 7 유 · 출입각 90° 홍수량 300CMS
경우 2차원 수치해석결과

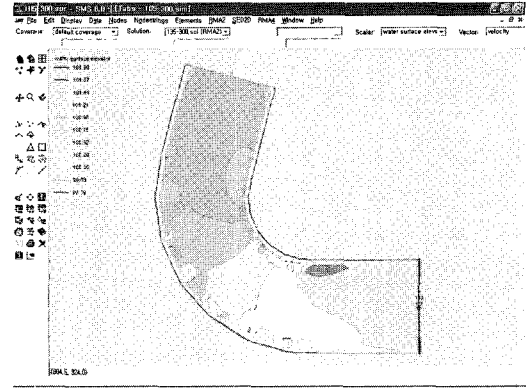


Fig. 8 유 · 출입각 105° 홍수량 300CMS
경우 2차원 수치해석결과

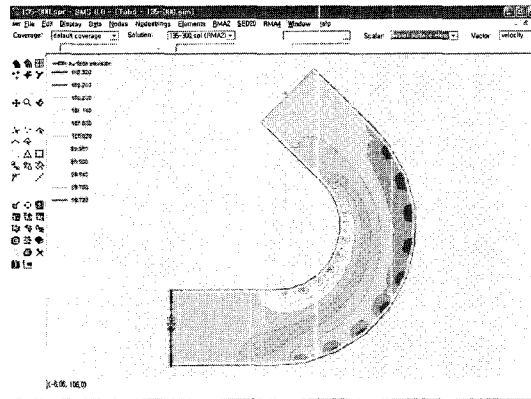


Fig. 9 유 · 출입각 135° 홍수량 300CMS
경우 2차원 수치해석결과

Table 1. 각 조건별 좌 · 우 홍수위 산정결과

홍수량 (CMS)	15도		45도		90도		105도		135도	
	좌	우	좌	우	좌	우	좌	우	좌	우
100	100.02	99.96	100.03	99.96	100.05	99.96	100.29	99.97	100.05	99.97
200	100.07	99.90	100.12	99.84	100.15	99.88	100.60	100.00	100.16	99.86
300	100.15	99.80	100.25	99.69	100.3	99.72	100.75	100.25	100.32	99.78
400	100.27	99.67	100.46	99.50	100.5	99.51	101.05	100.18	100.55	99.65
500	100.47	99.47	100.70	99.17	100.85	99.32	101.60	100.20	100.75	99.40

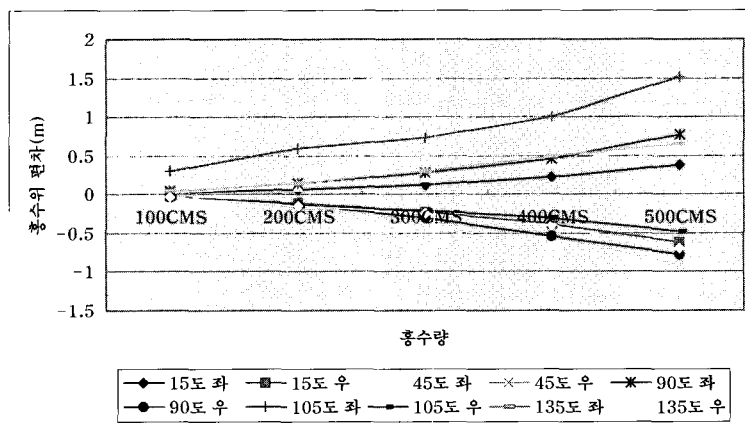


Fig. 10 각 조건별 1,2차원 수치해석 편차

3.1.2 상관분석

1,2차 수치해석의 조건별 상관성을 알아보기 위하여 상관성분석을 실시하였으며, 상관분석결과 전체 각도에 대하여 홍수량 300CMS인 경우에 오차변동에 대한 상관성이 가장 크게 산정되었으며, 105° 이내에서는 200CMS가 가장 좋은 것으로 90° 이내에서는

100CMS가 가장 좋은 것으로 나타나고 있어 각도가 클수록 1,2차 수치모형 오차에 대한 상관성은 홍수량 증가와 높은 연관성을 보이는 것을 알 수 있다. 각 조건별 수치모형 편차에 대한 상관계수는 Table 2에 나타내었으며, 상관도는 아래 fig. 11 ~ fig. 15에 나타내었다.

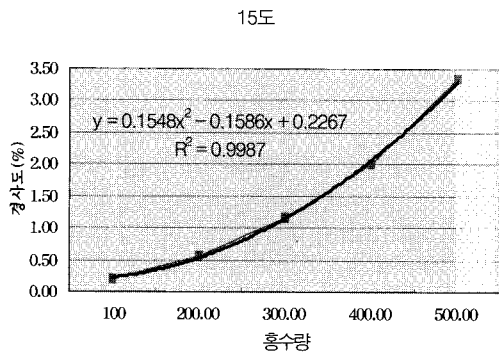


Fig. 11 유·출입각 15° 홍수량 300CMS 2차원 수치해석결과

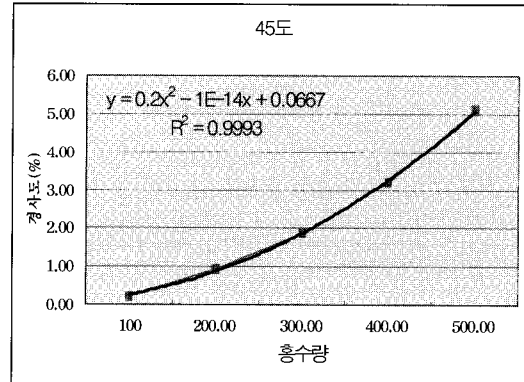


Fig. 12 유·출입각 45° 홍수량 300CMS 2차원 수치해석결과

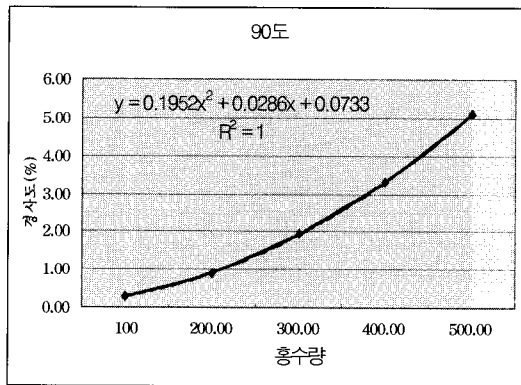


Fig. 13 유·출입각 80° 홍수량 300CMS 2차원 수치해석결과

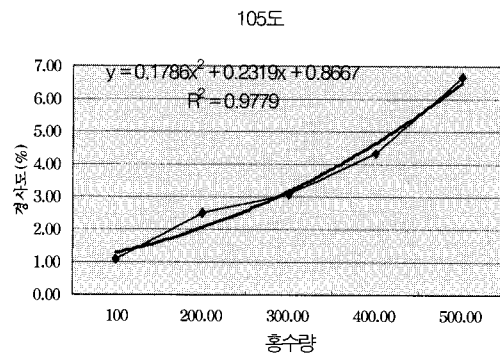


Fig. 14 유·출입각 105° 홍수량 300CMS 2차원 수치해석결과

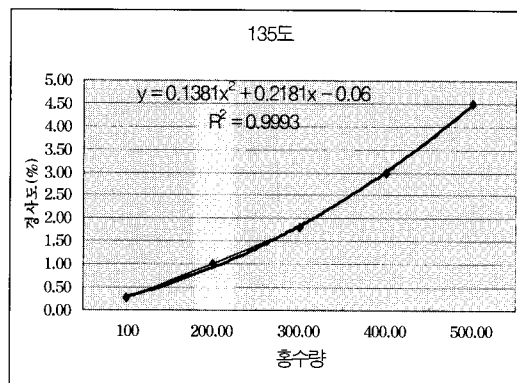


Fig. 15 유·출입각 135° 홍수량 300CMS 2차원 수치해석결과

Table 2. 각 조건별 좌·우 홍수위 산정결과

각도	100 CMS	200 CMS	300 CMS	400 CMS	500 CMS
15	0.06	0.17	0.35	0.60	1.00
45	0.07	0.28	0.56	0.96	1.53
90	0.09	0.27	0.58	0.99	1.53
105	0.32	0.60	0.50	0.87	1.40
135	0.08	0.30	0.54	0.90	1.35
15~135	0.388	0.534	0.607	0.579	0.471
15~105	0.737	0.791	0.643	0.665	0.658
15~90	0.997	0.751	0.847	0.842	0.803

Table 3. 유·출입 각도별 회귀식

각도	회귀식	결정 계수
15	$Y=0.1548 \times X^2 - 0.1586 \times X + 0.2267$	0.998
45	$Y=0.2 \times X^2 + 0.0667$	0.999
90	$Y=0.1952 \times X^2 - 0.0286 \times X + 0.0733$	0.999
105	$Y=0.1786 \times X^2 + 0.2319 \times X + 0.8667$	0.977
135	$Y=0.1381 \times X^2 - 0.2181 \times X - 0.06$	0.999

Table 4. 수면 경사도 분석결과(%)

각도	15°	45°	90°	105°	135°
100CMS	0.20	0.23	0.30	1.07	0.27
200CMS	0.57	0.93	0.90	2.50	1.00
300CMS	1.17	1.87	1.93	3.07	1.80
400CMS	2.00	3.20	3.30	4.33	3.00
500CMS	3.33	5.10	5.10	6.67	4.50

3.1.3 회귀분석

유·출입 각도별 수면경사를 회귀분석을 통하여 회귀식을 산정하였으며, 이와 같은 회귀식을 이용하여 1차원 수치산정 값의 홍수량을 가지고 1,2차원 수치모형의 수면편차를 간편식으로 추정할 수 있도록 회귀식을 개발하였다. 이와 같은 회귀식은 1,2차원 수치모형의 편차를 추산함으로써 하천 시설물에 대한 부정적인 영향을 과다하게 줄 것으로 판단되는 경우 2차원 수치모형해석 여부를 검증할 수 있는 기준이 될 수 있을 것으로 판단된다. Table 3은 유·출입 각도별 산정된 회귀식을 나타내었다.

3.2 수면경사도 산정

1차원 수치해석 결과상의 홍수위를 기준으로 좌우 홍수위의 수면차를 이용 경사도를 분석하였으며, 분석 결과 105도를 초과하는 경우 좌우 수면경사가 감소하

는 것으로 분석되었다. 아래 표에서 살펴보듯이 홍수량 500CMS 일 때 유출입각 105도 에서 최대 6.67%의 경사가 발생하였다. 아래 Table 4 는 수면 경사도 분석 결과를 나타냈다.

4. 결론

본 연구에서는 임의의 하천단면과 홍수량을 적용하여 하천 유·출입 각도에 따른 1,2차원 수치해석을 실시하여 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

- (1) 유출입각도에 따른 1,2차원 수치모형간의 수위 편차는 유출입각도 90° 이하에서는 홍수량 변동에 따라 편차가 증가하였으나 이를 초과하는 경우 1차원 수치모형과의 수면차가 감소하였다. 이는 하천설계기준에서도 유입각이 45° 이상되는 경우 하류 사행에 불안정한 현

상이 발생하게 되어 유입각을 최대 15° 로 제한하고 있는 실정이므로 90° 이상되는 하천의 경우 수치해석을 통한 해석보다는 수리모형실험등을 통한 충분한 검증이 필요할 것으로 사료된다.

- (2) 2차원 수치모형에 의한 좌우 수위 편차에 대하여 경사도를 산정한 결과 하천 유·출입 각도가 커지거나 홍수량이 증가 할수록 좌·우 수위편차가 증가하였다. 특히 유출입각 105° 홍수량 500CMS에서 최대 경사가 6.67%값이 산정되었다.
- (3) 1차원 수치해석에 의한 좌우안의 수위편차를 추정하기 위한 회귀식을 Table4와 같이 각도 별로 산정 할 수 있었다.
- (4) 상기와 같은 연구를 통하여 일반적으로 만곡부에서는 좌우 경사가 발생한다는 사실을 수치적으로 확인할 수 있었다. 다만 본 연구에서는 가상의 하천지형을 단순화시켜 비교한 결과이며 추후 식생, 하상재료, 호안재료등의 다양한 변화에 대하여 지속적인 비교연구가 수행되어 차후 2차원이상의 수치해석을 설계기준등으로 제시할 수 있는 근거로 활용되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

한국수자원학회(2005) 하천설계기준-해설. 한국수자원학회.

안상진 (2001) 1,2차원 모형을 이용한 골재채취 전·후의 소하천 흐름 해석. 충북대학교 건설 기술 연구소.

정의택 (1992) 합류수로부에서의 흐름 해석. 한양대학교.

김형일 외 (1996) 자연하천에서의 홍수위 산정을 위한 1차원 모형과 2차원 모형의 비교. 연세대학교.

김창완 (1995) 2차원 하천 모형의 개발. 한국건설기술연구원.

윤용남 외(1995), 2차원 수리모형을 이용한 교량에서의 홍수로 인한 최대세굴 심도 예측. 한국수자원학회 학술 발표회 논문집.

윤태훈 (1998). 2차원 수치모형에 의한 합류흐름 해석. 한국수자원학회 논문집, 제31권 제 5호, pp.529~538.

조홍연 외(1995). 직교곡선격자를 이용한 흐름모형의 구성 및 적용 팔당호 유황분석을 중심으로. 대학토목학회논문집

이현구(1999). HEC-RAS 모형에 의한 도시통과 하천에서의 수면곡선 해석. 대전산업대학교

이계윤(2005). 댐하류 만곡부 하천에 대한 수리학적 특성 연구. 강원대학교 대학원

손영환(1988). 중소하천의 수로크기와 하천흐름의 특성. 한양대학교 대학원

Barbara P. Donnell(1997). RMA2 WES Version 4.3. WexTech Systems, Inc., pp74~77

Chaudhry, M. F. (1993). Open-Channel Flow. Prentice-Hall, Inc.

Hanger Willi H. (1989). Transitional Flow in Channel Junctions. J. of Hydraulic Div, ASCE, Vol.115, No.2 Feb.

Barkau, R, L. (1993). UNET One-Dimensional Unsteady Flow through a Full Network of open Channels User's Manual, U. S. Army Corps of Engineers

S. K. Godunov(1960). A difference method for the numerical calculation of discontinuous solutions of hydrodynamic equations, Mat. Sbornik 47, 3, pp. 271~306, (1959). Translated as JPRS 7225 by US Dept. of Commerce, November

Civil ENG Guidelines for Planning and Designing Hydroelectric Developments, Volume1

- ◎ 논문접수일 : 2007년 03월 27일
- ◎ 심사의뢰일 : 2007년 03월 27일
- ◎ 심사완료일 : 2007년 06월 04일