

수치해석을 이용한 윤중제 흐름특성해석 적용성

Applying the Polder Levee of the Stream Specific by Using Hydordynamic Model

최한규* 김장욱** 백호선***
Choi, Han-Kuy Kim, Jang-Uk Baek, Hyo-Sun

Abstract

When the existing polder levee was constructed, the river's numerical analysis decided the bank raise by applying the planned flood stage or by using the result from the sectional 1st dimensional numerical analysis.

But, it was presented that there is a limitation in the 1st dimensional value analysis when the structure like the polder levee obstructs the special shaped running water flow. Therefore, in order to verify the numerical value applicability when the polder levee is constructed, this report compared each other through the 1st and 2nd dimensional numerical analysis and the mathematical principle model laboratory.

In case of the polder levee construction through the numerical analysis and the mathematical principle model laboratory, it was decided that there was no big problem in the 1st dimensional numerical analysis applied design, considering the uncertainty of mathematical principle analysis though the first dimensional numerical analysis was calculated a little bigger than the second. But, after construction, it was found that the water level deviation of the 1st, 2nd occurred biggest at the place where the flow was divided into two. Also, as a result of comparing the 1st, 2nd dimensional numerical analysis with the mathematical principle model laboratory, it was confirmed that the 1st numerical analysis applied design decreased the modal safety largely, as the left side water level was calculated smaller more than 0.5m in case of the 1st dimensional numerical analysis.

키워드 : 수치해석, 윤중제, 수위, 흐름특성

Keywords : numerical analysis, polder levee, water level, stream specific

1. 서론

일반적인 자연하천의 경우 유수의 흐름에 수궁하며 하상의 형태가 형성되고 통수에 적합하도록 하폭의 크기가 형성되어왔다. 그러나 인류의 발달과 더불어 하천의 이수 및 치수의 목적에 따라 인

위적으로 하천의 흐름을 변경하였으며 하폭 또한 그와 같은 이유에 따라 인위적인 변경이 이루어지게 되었다. 대표적인 사례가 하천의 인공적인 시설물 설치와 경작지 및 주거지 확대를 위한 하천의 인위적인 하폭의 축소와 확대이다.

이러한 방향의 하천정비는 과거 개발시대에 일반적으로 추진된 정비방향이었으나 최근에는 자연친화적인 하천복원과 더불어 수변구역을 이용한 관광상품개발을 위하여 다양한 하천정비방향이 유도되고 있으며 특히 하천 중앙에 위치한 섬형태의

* 강원대학교 토목공학과 교수, 공학박사·교신저자

** 강원대학교 대학원 토목공학과 석사과정

*** 강원대학교 대학원 토목공학과 박사수료

지형인 경우 주변의 하천과 접하고 주변 경관이 양호한 상태로 관광상품으로서의 상품성이 부각되어 제방을 보강하여 휴양지 및 야영장등으로 개발되고 있다. 이러한 설형태의 지형에 제방이 형성하는 것을 일반적으로 윤중제로 칭하고 있다. 그러나 윤중제 설치에 따른 수리특성이 일반적인 하천에서 발생하는 수리특성과 상이할 수 있다. 이러한 사유는 윤중제로 인하여 유수흐름이 분리되어 흐르게 되며 윤중제를 지난 하천은 다시 합류하여 흐르게 됨으로서 윤중제를 중심으로 좌우의 유수흐름이 상이할 수 밖에 없다.

그러나 기존의 1차원 수치해석을 이용하여 계획된 하천제방은 좌우의 수리특성을 예측하기 어려운 실정이나 사용상의 편리성으로 인하여 1차원 수치해석을 이용하여 계획을 수립됨에 따라 제방 축조후에도 제방안정성에 문제점을 내포하고 있으며 계획홍수위보다 낮게 제방이 설치되는 경우 홍수시 월류에 따른 재산 및 인명피해가 발생할 수도 있다.

따라서 본 연구는 윤중제를 설치하게 되는 경우 1차원수치해석과 2차원수치해석을 실시하여 윤중제에서의 흐름특성을 파악하고 각 수치해석과 수리모형실험을 통해서 재현한 수리특성과의 비교를 통해 윤중제에서의 수치해석 적용성 및 문제점을 파악하는데 본 연구의 목적이 있겠다.

2. 수치해석

2.1 연구지점 현황

1) 북천 수문현황

본 연구지점은 북천 구간내에 위치한 윤중제로 북천을 기본계획이 수립된 지방2급하천이다.

이에 따른 계획홍수량 기점홍수위는 표1,2와 같다.

표 1 북천 기본 및 계획홍수량

산정지점	유역면적 (km ²)	유로연장 (km)	기본홍수량 (m ³ /s)	계획홍수량 (m ³ /s)	빈도
인북천 합류점	302.1	34.20	2,397	2,400	50
한계천 합류점	215.9	28.42	1,985	1,990	50
영실천 합류점	82.0	16.35	822	820	50
용대교 직상류	63.0	11.70	683	685	50

표 2 연구지점 빈도별 기점홍수위

산정방법	50년 빈도	80년 빈도	100년 빈도	150년 빈도
북천기본 계획	294.37	294.95	295.24	295.74

본 연구지점은 북천 기본계획 구간 중 중간부에 위치한 지점으로 전형적인 윤중제 형태로 보이고 있으며, 윤중제 계획을 위하여 계획홍수위 이상으로 제방계획을 수립할 계획이다. 따라서 계획홍수량 발생 시에도 유수흐름이 좌우로 구분되어 흐르는 특징을 가지고 있다. 아래 그림 1은 연구지점의 현황을 그림으로 나타낸 것이다.

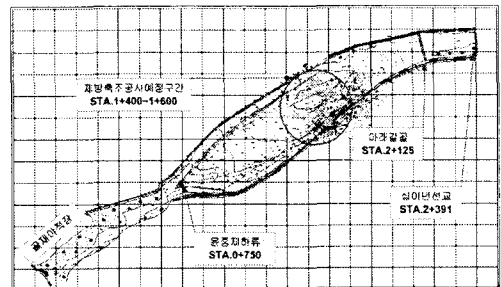


그림 1 연구지점 현황도

2.2 1차원 수치해석

1) 자료의 입력

본 연구를 위하여 대상 지점에 대하여 측량한 평면 및 횡단자료를 입력하였으며 1차원 수치해석에 입력된 평면자료는 그림2와 같다.

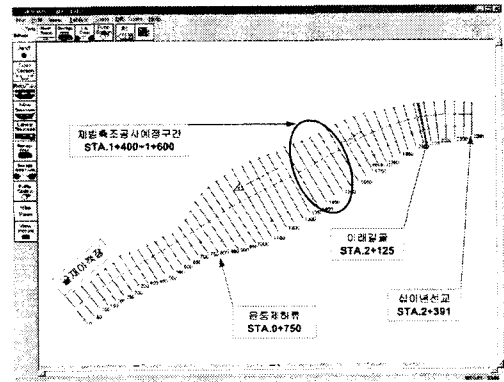


그림 2 1차원 수치해석 지형 입력그림

2) 수치해석결과

입력된 자료를 이용하여 제방계획전후에 대하여 수치해석을 실시한 결과 그림 3과 4와 같은 해석결과를 확인 할 수 있었으며 윤중제 설치지점을 중심으로 설치전후 수리특성 변동이 확인 되었다.

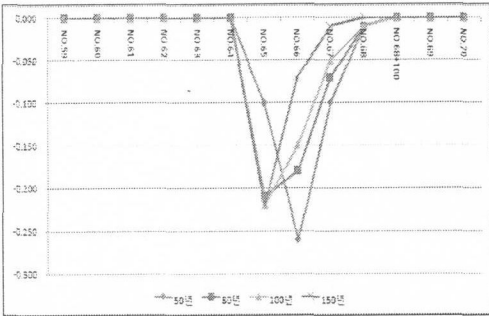


그림 3 윤중제 설치전후에 따른 수위편차도

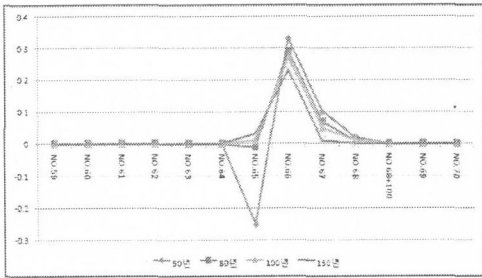


그림 4 윤중제 설치전후에 따른 유속편차도

2.3 2차원 수치해석

1) 자료의 입력

1차원 수치해석과 동일하게 측량된 자료를 이용하여 mash를 구성하여 2차원 수치해석을 실시하였다.

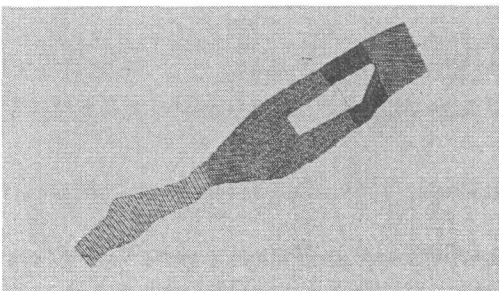


그림 5 2차원 수치해석 mash구성도

2) 2차원 수치해석결과

그림 6과 7에서 보는 바와 같이 윤중제 설치 전후에 따른 유속분포에 대하여 검토 결과 윤중제 설치에 따라 유속이 대체로 증가하였으며 유수 흐름이 불규칙하여 국부적으로 와류 현상 발생 구간

이 증가함을 확인 할 수 있었다.

표 3 2차원 수치해석결과

측점	좌측부		우측부	
	수위	유속	수위	유속
NO.62	299.37	2.33	298.60	2.71
NO.63	300.01	2.68	299.38	3.23
NO.64	301.25	2.42	301.10	3.55
NO.65	302.21	2.55	301.42	4.24
NO.66	302.90	2.68	302.77	3.12

윤중제 설치 전후에 따른 수위분포에 대하여 검토한 수위 변동에는 큰 차이가 없었으나 윤중제 설치 지점 하류부의 경우 좌안부의 수위가 다소 증가함을 확인 할 수 있었다.

RMA-2 모형의 결과는 node별로 산정됨에 따라 본 연구지점중 윤중제 설치지점인 NO.65지점에 대하여 검토한 결과를 살펴보면 유속의 경우 좌안부가 크게 증가한 반면에 우안의 0.9m/sec 증가하였다. 그러나 수위의 경우 좌안부가 유속이 크게 증가하여 평균적인 수위는 다속 작게 산정되었으며 우안의 경우 평균 수위가 0.7m가량 증가함을 확인 할 수 있었다.

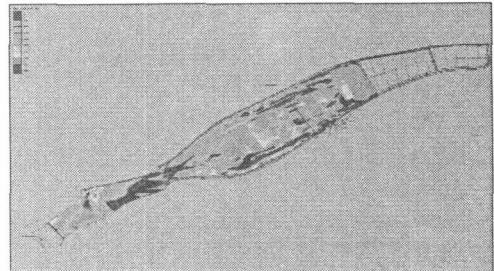


그림 6 2차원 수치해석 유속분포도(설치전)

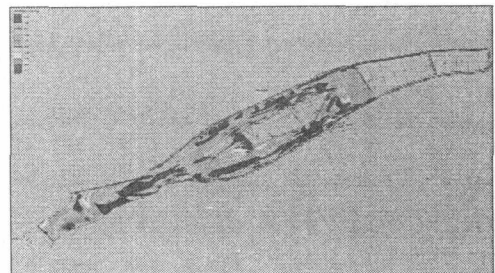


그림 7 2차원 수치해석 유속분포도(설치후)

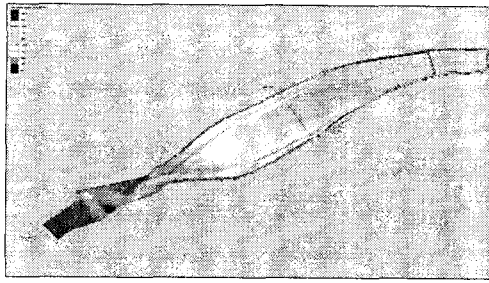


그림 8 2차원 수치해석 수위분포도(설치전)

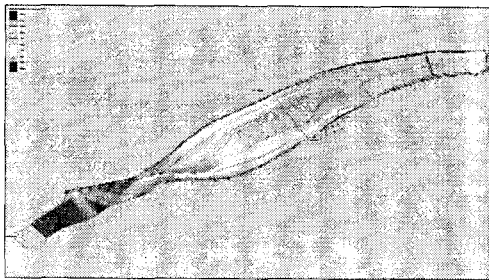


그림 9 2차원 수치해석 수위분포도(설치후)

3. 수리모형실험

3.1 수리모형제작

현황측량자료를 이용하여 모형은 제작하였으며 모형의 축척은 X방향 200 Y방향 40의 왜곡축척을 사용하여 제작하였으며 이에 따른 각각의 축척비는 다음과 같다.

$$X_R = B_R = P_R = 200$$

$$Y_R = H_R = 40$$

$$V_R = \frac{Y_R}{\sqrt{X_R}} = 2.83$$

$$n_R = \frac{X_R^{1/2}}{Y_R} Y_R^{2/3} \left(\frac{Y_R}{X_R}\right)^{1/2} = 1.919$$

$$Q_r = A_r U_r = X_r Y_r^{3/2} = 50596$$

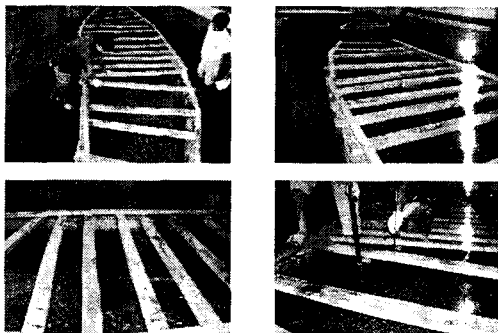


그림 10 수리모형제작 과정

3.2 수리모형 실험결과

본 연구를 위한 실험구간중 실제 배수위 영향과 더불어 수로 안정화 등으로 인하여 실험결과와 신뢰성이 저하되는 구간이 발생하게 된다. 따라서 하류부와 상류부의 일정구간은 수리모형실험측정에서 제외하여 자료의 신뢰성을 높이고자 하였으며 유속과 수위의 측정은 윤중계가 없는 구간에서는 하폭을 3분위로 구분하여 측정을 실시하였으며 윤중계 구간은 유수흐름이 발생하는 좌우의 각 1지점에서 측정하여 표 4와 같은 모형실험 결과를 확인할 수 있었다.

표 3 2차원 수치해석결과

측점	좌측부		우측부	
	수위	유속	수위	유속
NO.62	299.62	1.98	298.62	2.81
NO.63	300.07	2.36	299.27	3.61
NO.64	301.46	1.94	301.14	3.84
NO.65	302.32	2.16	301.36	4.56
NO.66	302.95	2.1	302.71	3.41

4. 결과분석

4.1 1,2차원 수치해석 비교검토

윤중계 축제선의 경우 좌안의 경우 1,2차원 수치해석 편차가 우안에 비하여 작았다. 또한 좌안에 비하여 편차가 크게 발생한 우안의 경우 편차가 발생하였으나 2차원 수치해석보다 다소 크게 산정된 값으로 제방설계시 안정성 확보 차원에서 측면에서는 1차원 수치해석결과를 설계시 적용하여도 문제점이 발생하지 않을 것으로 판단되었다.

반면에 윤중계 축조후에는 1,2차원 수치해석에 의한 편차가 설치전에 비하여 크게 발생하였으며 특히 좌안의 경우 1차원 수치해석에 의한 수위가 2차원 수치해석보다 0.5m 이상 작게 산정되어 1차원 수치해석을 이용하여 제방계획을 수립하는 경우 제방월류등의 인성상에 문제가 발생할 수 있음을 확인 하였다.

또한 윤중계 설치후에는 윤중계가 시작되는 상류지점의 수위 1,2차원 수치해석 편차가 1.0m 정도 발생하였다. 이는 2차원 수치해석의 경우 윤중계로 인하여 유수 흐름이 좌우로 분리되어 흐르는 것으로 해석이 되나 1차원 수치해석은 기본적으로

중침하량과 구성관계식을 이용해 산정한 최종침하량과 비교 한 결과 다른 예측기법에 비해 비교적 적은 상대오차 범위로 분석되었다.

Hoshino법에 의해 예측한 최종침하량과 구성관계식을 이용해 산정한 최종침하량과 비교한 결과 T와 T/S²의 관계곡선에서 후반부 직선의 기울기가 나타나지 않아 최종침하량을 예측할 수 없거나 80%이상의 높은 압밀도에서 직선의 기울기가 나타나 압밀 초기에는 최종침하량을 예측할 수 없는 경우가 발생하였다.

\sqrt{s} 법은 예측한 최종침하량과 구성관계식에 의해 산정된 최종침하량과 비교한 결과 그림 8과 같이 쌍곡선법보다 후반부 직선의 직선성이 향상된 마산-1과 여천의 경우 최종침하량의 상대오차범위가 쌍곡선법에 비해 비교적 적게 분석되었다.

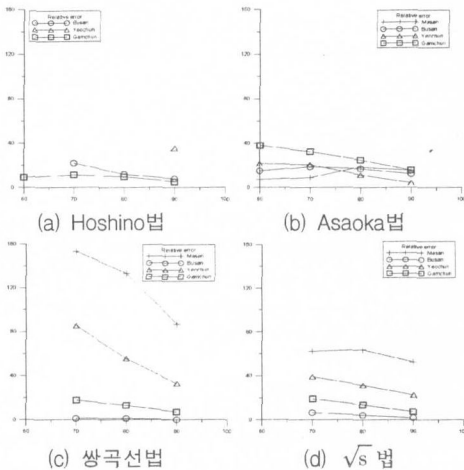


그림 9. 각압밀도별 최종침하량 상대오차

4.2.2 원심모형실험 계측자료 비교

4.4.1절과 같은 방법으로 원심모형 실험을 통해 계측한 자중압밀 시간-침하자료를 구성관계식을 이용해 산정한 최종침하량과 침하예측기법으로 예측한 최종침하량과 비교 분석 하여 표 11과 같은 결과를 도출하였다.

표 11에서와 같이 각 지역별로 수치해석에 의한 최종침하량과 예측 최종침하량을 비교한 결과 쌍곡선법은 0.2~86.2%, Hoshino법은 최종침하량을 예측할 수 없거나 0.3~146%의 상대오차 범위를 나타내었고, Asaoka법은 0.1~34.5%, \sqrt{s} 법은 0.1~41.6%의 상대오차 범위로 분석 되었다. 이로써 침하예측 기법중 Asaoka법이 가장 적은 상대오차 범위로 예측함을 알 수 있었다.

표 10. 각 압밀도별 침하예측법을 통한 최종침하량의 상대오차비교

		쌍곡선법							
수치 해석 (S _f)	S	60~70%		60~80%		60~90%		80~90%	
		상대 오차 (%)	S	상대 오차 (%)	S	상대 오차 (%)	S	상대 오차 (%)	
마산	4.29	10.87	153.4	9.99	132.9	8.01	86.67	6.49	51.21
부산	11.48	11.28	1.32	11.29	1.26	11.43	0.04	-	-
여천	10.39	19.24	85.2	16.15	55.47	13.8	32.77	12.82	23.4
감천	12.8	10.52	17.83	11.12	13.16	11.90	7.02	-	-

		Asaoka 법							
수치 해석 (S _f)	S	0~60%		0~70%		0~80%		0~90%	
		상대 오차 (%)	S	상대 오차 (%)	S	상대 오차 (%)	S	상대 오차 (%)	
마산	4.29	3.98	7.20	4.68	9.00	5.09	18.58	4.96	15.64
부산	11.48	9.70	15.10	9.28	18.80	9.48	17.06	10.03	12.21
여천	10.39	12.64	21.62	12.53	20.64	11.60	11.61	10.85	4.38
감천	12.8	7.94	37.94	8.67	32.31	9.63	24.76	10.81	15.56

		\sqrt{s} 법							
수치 해석 (S _f)	S	60~70%		60~80%		60~90%			
		상대 오차 (%)	S	상대 오차 (%)	S	상대 오차 (%)	S	상대 오차 (%)	
마산	4.29	6.954	62.098	7.024	63.73	6.546	52.587		
부산	11.48	10.697	6.413	10.924	4.427	11.234	1.715		
여천	10.39	14.46	39.172	13.649	31.367	12.707	22.3		
감천	12.8	10.372	18.969	11.025	13.867	11.858	7.359		

		Hoshino 법							
수치 해석 (S _f)	S	60~70%		60~80%		60~90%			
		상대 오차 (%)	S	상대 오차 (%)	S	상대 오차 (%)	S	상대 오차 (%)	
마산	4.29	-	-	-	-	-	-	-	-
부산	수치 해석 (S _f)	60~70%		60~80%		60~90%			
	S	상대 오차 (%)	S	상대 오차 (%)	S	상대 오차 (%)	S	상대 오차 (%)	
11.48	13.95	22.05	12.81	12.1	12.32	7.81			
여천	수치 해석 (S _f)	-		-		80~90%			
	S	침하량		침하량		상대 오차 (%)			
10.39	-	-	-	-	14.08	35.49			
감천	수치 해석 (S _f)	50~60%		50~70%		50~80%		50~90%	
	S	상대 오차 (%)	S	상대 오차 (%)	S	상대 오차 (%)	S	상대 오차 (%)	
12.8	11.61	9.27	11.31	11.63	11.55	9.77	12.16	5.02	

참 고 문 헌

- [1] 안상진, “1,2차원 모형을 이용한 골재채취 전·후의 소하천 흐름 해석”, 충북대학교 건설 기술 연구소, 2001.
- [2] 정의택, “합류수로부에서 흐름해석”, 한양대학교, 1992.
- [3] 김형일 외, “자연하천에서의 홍수위 산정을 위한 1차원 모형과 2차원 모형의 비교”, 연세대학교, 1996.
- [4] 윤태훈, “2차원 수치모형에 의한 합류흐름 해석”, 한국수자원학회 논문집, 제31권, 제 5호, pp.529~538, 1998.
- [5] 안상진, 최계운, “소하천에서 유로변경에 따른 수리특성 분석”, 한국수자원학회 논문집, 제34권, 제 5호, 2001.
- [6] 강원도, “북천 하천정비기본계획변경 보고서”, 강원도, 1999.
- [7] Chaudhry, M. F., “Open-Channel Flow”, Prentice-Hall, Inc, 1993.
- [8] Hanger Willi H., “Transitional Flow in Channel Junctions”, *J. of Hydraulic Div, ASCE*, Vol.115, No.2 Feb, 1989.
- [9] Barkau R L, “Unit One-Dimension Unsteady Flow through a Full Network of Open Channels User’s Manual”, *U. S. Army Corps of Engineers*, 1993.