

방류조건에 따른 댐 하류부의 2차원 수치해석

이중형^{1*}

¹공주대학교 건설환경공학부

Two - Dimensional analysis in Dam Downstream due Spill Condition

Jong-Hyeong Lee^{1*}

¹Division of Civil & Environmental Engineering, Kongju National University

요 약 2차원 RMA2 모델을 이용하여 방류조건에 따른 댐하류 하천의 홍수위, 유속분포 및 하상변동을 분석하였다. 수위분석결과 200년빈도에 의한 영향은 주암댐에서 광천교까지 구간(1.27km)에서 나타났고, 여유고는 댐 직하류 좌안제방 300m 구간에서 0.7m 부족하였다. PMF 방류시는 보성강 전구간에서 제방을 월류하는 것으로 분석되었다.

침수범람구역은 200년 빈도에서는 하천합류부의 일부지점에서 발생하였고, PMF 방류시에는 제방월류로 침수구역이 확대되었다. 하도내의 유속은 교량 및 하도의 폭이 좁은 구간에서 비교적 유속이 크게 나타나 하상저하가 발생하였다.

Abstract Two - dimensional numerical analysis model(RMA2), is mainly applied to analyze the flood water levels, velocities and change of river bed at the downstream of Dam. The analysis result be able to influence to Gwangchon bridge from Juam dam, freeboard be insufficient 0.7m to left bank 300m section of dam downstream. Bank overflow is appear to all section of Bosung river to PMF spill condition. Inundated district is appear to river confluence to 200year frequency and is expand to bank overflow to PMF spill condition. Velocity in the channel was simulated high velocity to the bridge and narrow reach and appear to riverbed degradation.

Key Words : RMA2, PMF, Flow characteristic

1. 서 론

최근 국지적인 강우의 발생 정도가 커지고 있으며, 이로 인한 홍수피해는 과거 발생한 피해에 비하여 점차 규모가 증가하고 있다. 또한 하도내에 존재하는 수공구조물이 증가하여 그 피해는 더욱 가중되고 있는 추세이다.

유역내에 존재하는 댐에 의한 방류는 강우에 의해서 발생되는 유출과 더불어 댐 하류의 홍수조절에 직접적인 영향을 미치고 있다. 댐 하류부에 위치한 지역이나 하도 구간은 댐에서의 방류량에 직접적인 영향을 받게 된다. 댐 유역의 강우량 증가와 이에 따른 홍수량 증가는 댐에

서의 방류량 증가를 가져오게 되며 이에 따라 댐 하류부의 유황과 구조물의 안정성 및 침수가능성에 미치는 영향도 달라지게 된다.

최근 효율적으로 하천내 흐름방향의 수리인자 특성변화, 하천단면의 급변화구간, 만곡부등의 흐름에 대한 영향을 정확하게 분석할 수 있는 2차원 수치해석 모형이 적용되고 있다. Gee 등[1]은 하천지역의 흐름해석을 위해 RMA모형을 이용하였다. Olsen 등[2],[3]은 Navier-Stokes 방정식에 난류의 흐름을 고려한 3차원 수치모형을 사용하여 흐름특성과 하상변동을 모의하였다. 윤태훈 등[4]은 개수로 합류부의 흐름양상을 해석하기 위하여 2차원 수

*Corresponding Author : Jong -Hyeong Lee (Kongju National University)

Tel: +82-41-521-9302 email: jhlee@kongju.ac.kr

Received October 25, 2012 Revised January 10, 2013 Accepted February 6, 2013

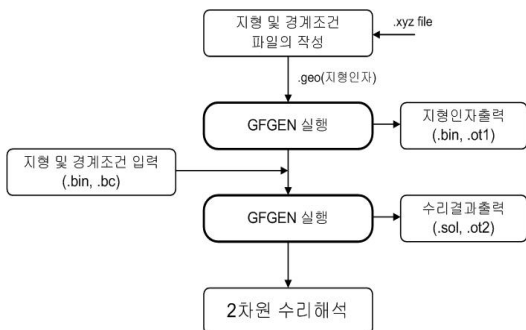
심적분 수치모형을 이용하였으며, 한건연 등[5]은 홍수터로의 범람현상을 모의하기 위하여 RMA-2모형을 이용하였다. 홍성민 등[6]은 경안천 하류구간을 대상으로 2차원 모형을 이용하여 하천의 흐름분석을 실시하였다. 신광섭 등[7]은 공주대교 상·하류구간에 대한 흐름특성과 하상 변동모의를 통해 2차원 모형의 적용성 및 대상구간의 하상변동양상을 파악하여 주요단면에서의 흐름특성과 연관성을 규명하였다.

본 연구에서는 방류조건에 따른 주암댐 하류부 보성강의 주요 수리 구조물의 수리안정성 및 침수가능성을 검토하고, 만곡 흐름을 나타내고 있는 지점을 선정하여 만곡부지점의 수리특성을 평가하였다. 만곡부의 흐름특성은 만곡부에서의 홍수위 상승에 대한 검토로서 하천의 바람직한 치수관리 방안에 효과적으로 이용될 수 있을 것이다.

2. 수치모형의 이론

본 연구에서 적용한 SMS모형은 지표수의 수리모델링 및 해석을 위한 일종의 전·후처리 시스템으로서 모형의 수행을 위한 입력파일의 작성이나 결과해석을 위한 그래픽 가시화 작업을 수행한다. SMS모형은 2차원 유한요소, 2차원 유한차분, 3차원 유한요소 그리고 1차원 축차계산 모형을 포함하는데, 각각의 프로그램에 적합하게 만들어진 사용자 인터페이스들로 SMS의 모듈이 구성된다.

SMS는 수표면의 표고와 유속을 계산하는 모형으로써 정상상태와 동역학적 모형 모두가 가능하며, 일반적인 적용절차는 Fig. 1과 같다.



[Fig. 1] Flowchart for 2-dimension hydraulic analysis

RMA2는 수심적분 2차원 흐름방정식을 공간적으로 Galerkin방법과 혼합보간기법, 시간증분에 대해서는 유한 차분기법을 채택한 동수역학적 수치해석 모형이다.

RMA2모형은 하중도를 포함한 하천수로구간의 흐름, 본류와 지류의 합류부, 유수단면의 확대 및 축소를 포함한 하천 구간의 흐름, 만곡수로동 하천의 수리 동역학적 계산에 널리 이용되고 있다.

모형의 지배방정식은 Navier-Stokes 방정식과 연속방정식을 수심방향으로 적분한 2차원 천수방정식으로 다음과 같다.

$$\frac{\partial h}{\partial t} + h \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) + u \frac{\partial h}{\partial x} + v \frac{\partial h}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$h \frac{\partial u}{\partial t} + hu \frac{\partial u}{\partial x} + hv \frac{\partial u}{\partial y} - \frac{h}{\rho} \left(E_x \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + E_y \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) + gh \left(\frac{\partial a}{\partial x} + \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{g \cdot u \cdot n^2}{h^{1/3}} (u^2 + v^2)^{1/2} - \zeta V_a^2 \cos \Psi - 2h\omega v \sin \phi = 0$$

$$h \frac{\partial v}{\partial t} + hu \frac{\partial v}{\partial x} + hv \frac{\partial v}{\partial y} - \frac{h}{\rho} \left(E_x \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + E_y \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) + gh \left(\frac{\partial a}{\partial x} + \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{g \cdot u \cdot n^2}{h^{1/3}} (u^2 + v^2)^{1/2} - \zeta V_a^2 \sin \Psi - 2h\omega u \sin \phi = 0$$

여기서,

- | | |
|----------------------------|---------------------|
| h = 수심 | g = 중력가속도 |
| u, v = 직교좌표계에서의 유속 | a = 하상표고 |
| x, y, t = 직교좌표계와 시간 | n = Manning의 조도계수 |
| ρ = 유체의 밀도 | ζ = 바람응력계수 |
| E_{xx} = x방향평면의 법선 와점성계수 | V_a = 풍속 |
| E_{yy} = y방향평면의 법선 와점성계수 | Ψ = 풍향 |
| E_{xy} = x방향평면의 접선 와점성계수 | ω = 지구자전각속도 |
| E_{yx} = y방향평면의 접선 와점성계수 | ϕ = 위도 |

3. 2차원 수치모형의 적용

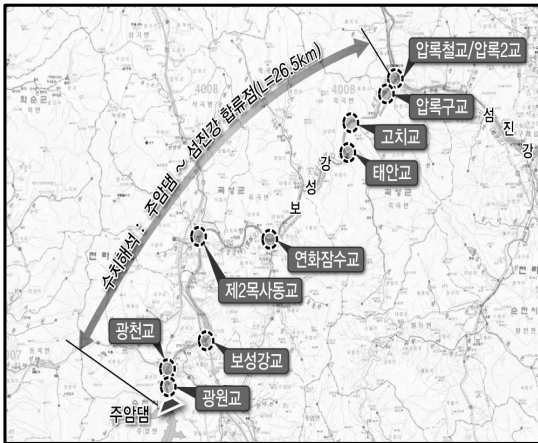
3.1 대상유역

주암댐이 속한 보성강은 섬진강수계에서 제일 큰 제1지류이며, 전남 보성군 웅치면 활성산(EL. 465.2 m)에서 발원하여 북쪽으로 유하하다가 장흥군 장평면 용강리 지점에서 북동향으로 변경하여 유하하면서 우안측으로 대

연천을 합류시킨 후 보성강댐에 이르게 된다. 보성강댐에서 다시 유향을 북쪽으로 유하하다가 광천, 주암천, 온수천 등을 합류시킨 후 유향을 북동쪽으로 변경하여 석곡천, 죽곡천, 동계천, 고치천을 좌우양안에서 합류시킨 후 섬진강 본류의 우안측으로 유입된다.

보성강유역은 고산준령으로 둘러 쌓여있고, 유역의 중·상류부는 만곡이 심하고 평지가 일부 발달되어 있으나, 중·하류에서 섬진강 합류지점까지 대부분의 구간은 협곡을 이루고 있다. 보성강유역의 유역면적은 1,313.3km², 유로연장은 120.30 km, 유역평균폭은 10.92 km, 형상계수는 0.09이며, 평균고도는 EL. 266.84 m이다.

본 연구의 수치해석 구간은 주암댐 하류부터 섬진강 합류점까지의 보성강 26.5km에 대하여 주요지점을 분석 구간으로 선정하였으며, 홍수빈도는 200년 빈도 및 PMF 방류량을 적용하였다.



[Fig. 2] Reach of numerical analysis

3.2 홍수위 영향검토

주암댐 200년빈도 홍수량은 주암댐 ~ 광천합류점 구간은 주암댐 200년빈도 방류량을 적용하였으며, 광천합류점 하류구간은 “섬진강수계 하천정비기본계획(보완)(섬진강, 요천, 보성강)(2003.10)”에서 산정된 계획홍수량을 적용하였다. PMF의 경우 전구간 금회 산정된 주암댐 PMF 방류량을 적용하였고, 각 구간별 적용 유량은 Table 1에 나타난 것과 같다.

방류조건에 따른 홍수위 검토 결과 200년 빈도시 주암댐 방류로 인한 직접적인 영향이 미치는 범위는 주암댐에서 광천교까지 약 1.27km 구간으로 나타났으며, 이 구간에 대해서는 주요 구조물에 대한 수리안정성 검토가 필요한 것으로 판단된다. 여유고 검토결과 200년 빈도 주암댐 방류시 여유고 부족 구간은 댐 직하류 좌안제방

300m로 평균 0.7m 여유고가 부족한 것으로 나타났으며, PMF 방류시는 주암댐 하류 보성강 대부분의 구간에서 제방을 월류하므로 제방보강이 필요하다. (Table 2 음영부분 참조)

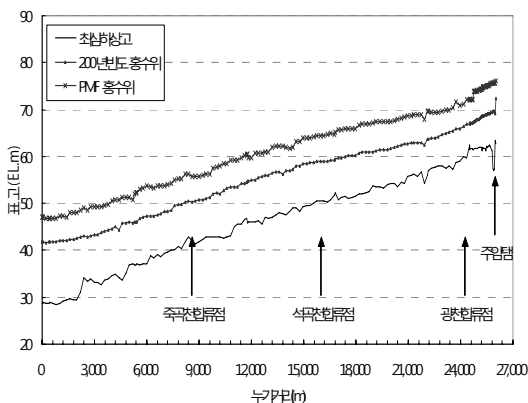
[Table 1] Boundary condition of numerical model

Divide		Discharge condition	Downstream stage condition
200yr frequency	Juam dam spill discharge (No.26.011)	3,660 m ³ /s	EL.41.84m (River general planning, Bosunggang estuary)
	Ghangcheon junction (No.24.370)	3,730 m ³ /s	
	Seukgokcheon junction (No.15.765)	3,830 m ³ /s	
	Jukgokcheon junction (No. 8.400)	3,930 m ³ /s	
PMF	Juam dam spill discharge	9,895 m ³ /s	

[Table 2] Result of freeboard for Juam dam downstream

station (No.)	acc. distance (m)	Bank height (EL.m)		Flood stage (EL.m)		200yr freeboard (m)		PMF freeboard (m)		Note
		left	right	200 yr	PMF	left	right	left	right	
24+742	24,742	70.42	73.62	67.45	73.84	2.97	6.17	-3.42	-0.22	Ghangcheongye
24+791	24,791	71.14	73.66	67.49	73.88	3.65	6.17	-2.74	-0.22	
24+841	24,841	72.06	73.68	67.57	73.90	4.49	6.11	-1.84	-0.22	
24+891	24,891	73.58	73.69	67.69	73.91	5.89	6.00	-0.33	-0.22	
24+941	24,941	74.25	73.81	67.91	74.01	6.34	5.90	0.24	-0.20	
24+991	24,991	73.91	73.75	67.97	73.96	5.94	5.78	-0.05	-0.21	
25+041	25,041	74.14	73.78	68.03	73.99	6.11	5.75	0.15	-0.21	
25+091	25,091	73.29	73.82	68.10	74.03	5.19	5.72	-0.74	-0.21	
25+141	25,141	73.05	74.08	68.32	74.27	4.73	5.76	-1.22	-0.19	
25+191	25,191	72.71	74.08	68.36	74.26	4.35	5.72	-1.55	-0.18	
25+241	25,241	72.97	74.30	68.53	74.48	4.44	5.77	-1.51	-0.18	
25+275	25,275	71.64	74.51	68.58	74.66	3.06	5.93	-3.02	-0.15	Ghangwongye
25+291	25,291	72.73	74.62	68.62	74.77	4.11	6.00	-2.04	-0.15	
25+341	25,341	71.33	74.72	68.76	74.86	2.57	5.96	-3.53	-0.14	
25+391	25,391	69.59	74.76	68.81	74.90	0.78	5.95	-5.31	-0.14	

25+441	25,441	69.26	74.83	68.90	74.97	0.36	5.93	-5.71	-0.14	
25+491	25,491	69.40	74.87	68.96	75.01	0.44	5.91	-5.61	-0.14	
25+541	25,541	69.32	74.99	69.04	75.13	0.28	5.95	-5.81	-0.14	
25+591	25,591	69.60	75.03	69.06	75.16	0.54	5.97	-5.56	-0.13	
25+641	25,641	69.38	75.04	69.11	75.17	0.27	5.93	-5.79	-0.13	
25+691	25,691	69.78	75.27	69.25	75.39	0.53	6.02	-5.61	-0.12	
25+741	25,741	71.97	75.43	69.36	75.55	2.61	6.07	-3.58	-0.12	
25+791	25,791	72.35	75.51	69.44	75.63	2.91	6.07	-3.28	-0.12	
25+841	25,841	73.57	75.60	69.53	75.72	4.04	6.07	-2.15	-0.12	
25+891	25,891	71.97	75.61	69.55	75.72	2.42	6.06	-3.75	-0.11	
25+941	25,941	72.77	75.63	69.56	75.74	3.21	6.07	-2.97	-0.11	
25+991	25,991	74.08	75.41	69.06	75.53	5.02	6.35	-1.45	-0.12	
26+011	26,011	81.19	76.01	72.37	76.00	8.82	3.64	5.19	0.01	Juamdam downstream



[Fig. 3] Stage curve of Juam dam downstream

3.3 주요지점의 영향 검토

본 연구에서는 상류단 경계조건으로 치수성을 고려하여 200년빈도, PMF 홍수량을 적용하였고, 지류의 홍수량은 하천 상하류의 연계성을 고려하여 기본계획 홍수량을 적용하였다. 각 구간의 지형자료를 기초로 요소(element)와 절점(nodes)으로 구성된 유한요소망(mesh)을 구축하였고, 지표면이 수면과 가까울수록 수치안정성의 문제로 매우 세심한 모의가 필요하며 최적 모의를 위해 지형조건을 최대한 고려하여 수행하였다.

난류확산계수의 경우 대상구역의 특성에 맞게 수심과 재료의 특성을 고려하여 구간에 따라 2,000N·sec/m²를 각각의 구간에 대해 적용하였으며, 수렴 수심조건은 0.001m로 하여 모델링에 대한 정확성과 신뢰성을 확보하였다.

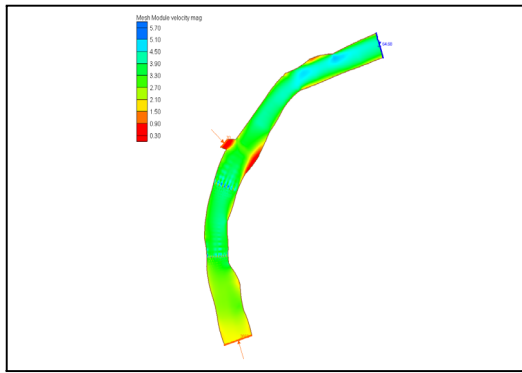
분석구간별 적용한 방류조건에 따른 유량, 수위 및 유한 요소망의 요소수, 절점수는 Table 3과 4와 같다.

[Table 3] Boundary condition and parameter (200yr frequency)

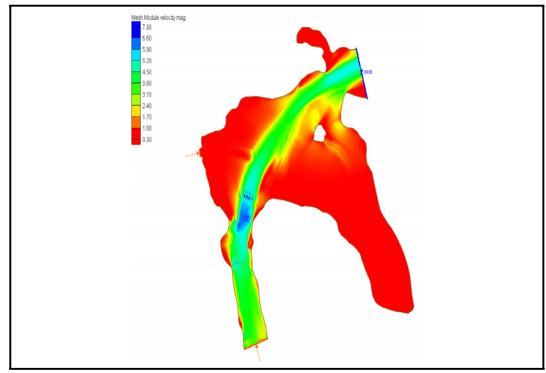
Divide	Section	section distance (m)	discharge condition (m ³ /s)	Stage condition (EL. m)	Element number	Nodal Point number	Note
Case1	No.22+940~No.25+970	3,030	3660	64.68	832	2,824	Juamdam ~ Juamcheon junction
Case2	No.17+570~No.22+940	5,370	3730	60.11	668	2,296	Juamcheon junction ~ Yujungcheon junction
Case3	No.12+210~No.17+570	5,360	3730	54.93	468	1,748	Yujungcheon junction ~ Moksadongcheon junction

[Table 4] Boundary condition and parameter(PMF)

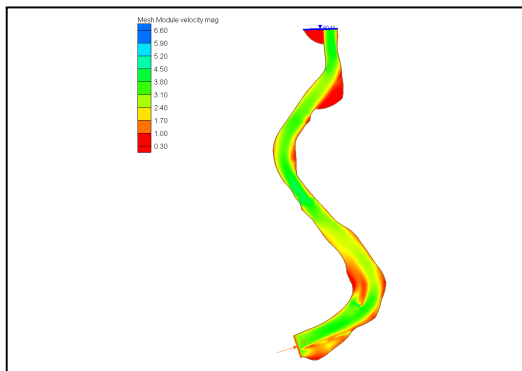
Divide	Section	section distance (m)	discharge condition (m ³ /s)	Stage condition (EL. m)	Element number	Nodal Point number	Note
Case4	No.22+940~No.25+970	3,030	9895	69.68	6,975	25,810	Juamdam ~ Juamcheon junction
Case5	No.17+570~No.22+940	5,370	9895	65.93	8,701	29,507	Juamcheon junction ~ Yujungcheon junction
Case6	No.12+210~No.17+570	5,360	9895	60.71	8,891	29,242	Yujungcheon junction ~ Moksadongcheon junction



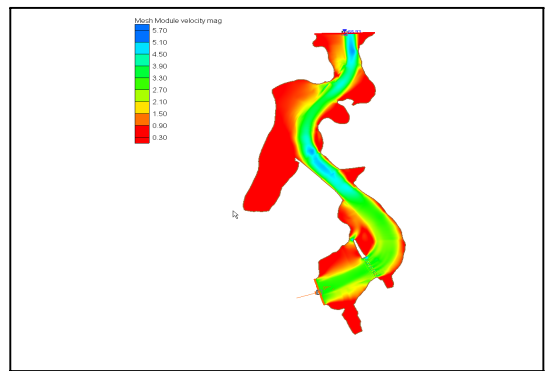
Case1



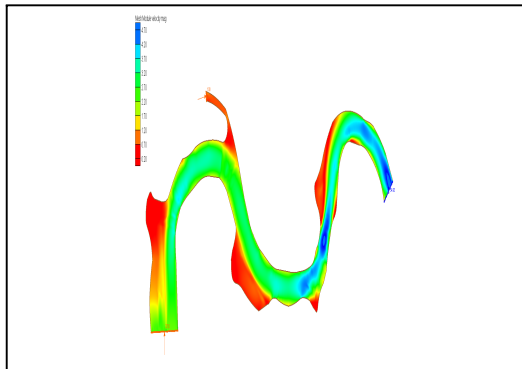
Case4



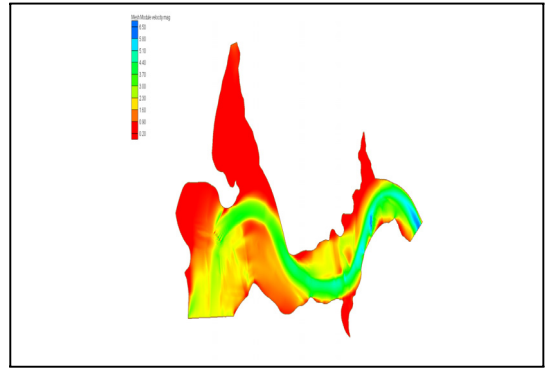
Case2



Case5



Case3



Case6

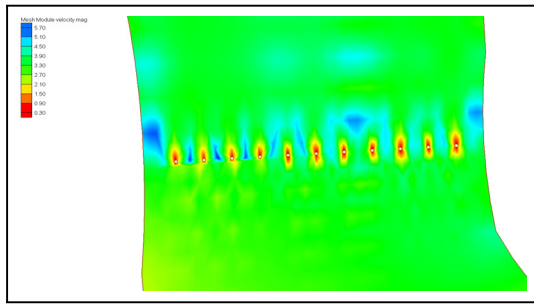
[Fig. 4] Velocity distribution(200yr frequency)

[Fig. 5] Velocity distribution(PMF)

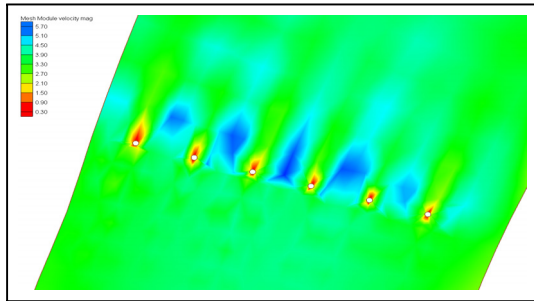
Fig. 4에서 보듯이 지류하천 합류부에서 일부 구간 침수범람구역이 발생하나, 200년 빈도 홍수량 방류시 하류 구간은 전반적으로 제내지 월류로 인한 침수범람구역이 발생하지 않은 것으로 분석되었다.

200년 빈도에 해당하는 유량이 하류하천으로 방류되었을 경우 하류하천은 전반적으로 유속은 4 m/s 이하의 유속이 분포하는 것으로 모의되었다.

Fig. 5에서 보듯이 PMF 홍수량 방류시 하류구간은 전체적으로 제방 월류로 인한 침수범람구역 이 확대되었으며, 합류하천에서 침수가 발생하여 확대되는 것으로 나타났다. 최대유속 범위는 5.70m/s~8.40m/s로 나타나는 것으로 분석되었다. 특히 CASE 4의 광원교 교량 주위에서 유속이 7.16m/s로 주암본댐 하류로부터 전체적으로 제방 월류 등의 영향으로 침수범위가 넓게 확산되는 것으로 나타났다.

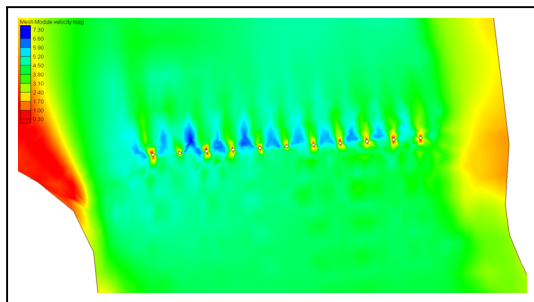


Ghangwongye station (200yr frequency)

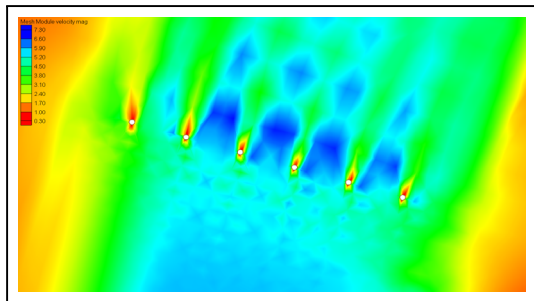


Ghangcheongye station (200yr frequency)

[Fig. 6] Velocity distribution of brige station



Ghangwongye station (PMF)

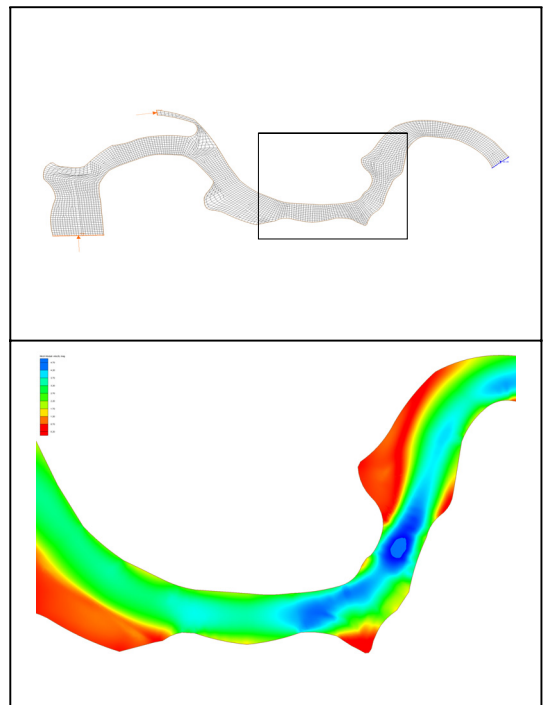


Ghangcheongye station (PMF)

[Fig. 6] Velocity distribution of brige station

주요 교량지점의 유속 분석결과 Fig. 6에서 보듯이 200년 빈도 홍수량 방류시 단면 급축소부(No.14+00)지점에서 4.56m/s, 광원교 교량 주위에서 5.54m/s, 광천교 교량 주위에서 5.46m/s 의 분포를 나타냈다. PMF 홍수량 방류시는 광천교(No.24+742)지점에서 약 7.37m/s 정도로 나타났다.

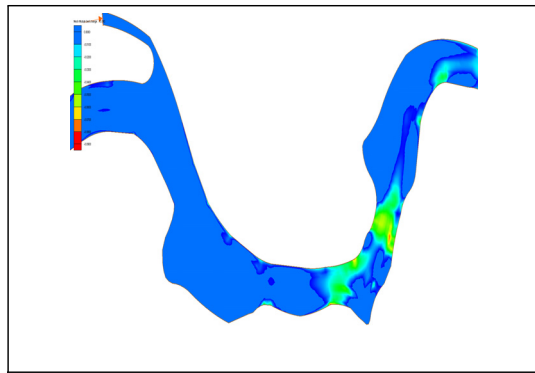
만곡부지점의 유속분포는 만곡부 상류부에서 최대 흐름의 구역이 나타났으며, 만곡부에서는 흐름의 편향구역과 정체구역, 그리고 만곡부 하류부에서 에너지 손실이 일어난 후 흐름의 회복구역으로 흐름특성이 나타났다. 또한 수위의 분포는 만곡부 단면 급축소부에서 수위가 상승하였고 만곡부가 끝나는 하류부에서의 수위는 감소하였다. (Fig. 7)



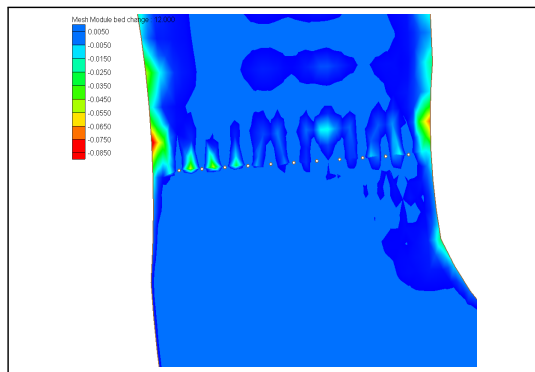
CASE 3 (No.14)

[Fig. 7] Stage distribution of curved channel

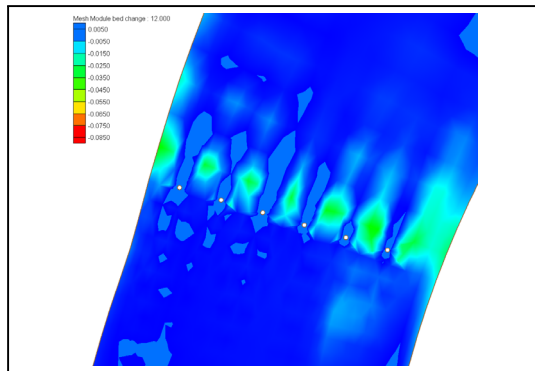
본 연구에서 검토한 광원교와 광천교는 유속이 빠르고 통수단면이 상대적으로 협착하여 교각 주변의 국부세굴이 매우 심각하게 발생할 것으로 판단되며 200년 빈도 홍수에 대하여 퇴사분포를 분석하기 위해 SMS의 RMA2를 이용하여 흐름분석을 하였고, SED2D-WES모형의 입력자료로 적용하여 수치모의를 수행하였다.



curved channel station(No.14)



Ghangwongye station



Ghangcheongye station

[Fig. 8] Analysis of riverbed change

그 결과 만곡부 단면 급축소구간(No.14)에서 최대 0.163m의 세굴이 발생하는 것으로 분석되었으며, 200년 빈도 영향을 받는 교량들의 단기 하상변동을 분석한 결과, 광원교에서 0.038m, 광천교에서 0.058m의 세굴이 발생하여 하상이 저하되는것으로 분석되었다.

4. 결론

본 연구에서는 주암댐 방류조건에 따른 댐 하류부 주요 수리 구조물의 수리안정성 및 침수가능성을 검토하였으며 이상 강우시를 대비한 방재 대책 수립을 수행하기 위한 자료로 활용하기 위하여 2차원 수치해석을 수행하였다.

- 1차원 수치모형으로 분석하기 힘든 수위분포, 유속 분포등을 2차원 수치해석으로 결과를 도출하였다. 홍수위 검토 결과 200년 빈도시 주암댐 방류로 인한 직접적인 영향이 미치는 범위는 주암댐에서 광천교까지 약 1.27km 구간에서 나타났으며, 이 구간에 대해서는 주요 구조물에 대한 보완이 필요할 것으로 판단된다. 여유고 검토결과 200년 빈도 주암댐 방류시 하류 여유고 부족 구간은 댐 직하류 좌안 제방 300m로 평균 0.7m 여유고가 부족한 것으로 나타났으며, PMF 방류시는 주암댐 하류 보성강 거의 전구간에서 제방을 월류하므로 제방 보강이 필요하다.
- 200년 빈도시 침수범람구역은 일부 발생하였으나 하천합류부 지점의 침수이었으며, 하류하천의 전반적인 유속은 4.0m/s 이하의 유속이 분포하는 것으로 분석되었다. 또한 PMF 홍수량 방류시 하류구간은 전체적으로 제방 월류로 인한 침수범람구역이 확대되었으며, 최대유속은 5.70m/s~8.40m/s의 범위를 나타내는 것으로 분석되었다.
- 200년 빈도 홍수량 방류시 단면 급축소부(14+00)지점에서 4.56m/s, 광원교 교량 주위에서 5.54m/s, 광천교 교량 주위에서 5.46m/s의 분포를 나타내었다. 단기하상변동을 분석한 결과, 광원교에서 0.038m, 광천교 0.058m의 세굴이 발생하여 하상저하가 발생하는 것으로 분석되었다.

References

- [1] Gee, D.M., and MacArthur, R.C., Evaluation and Application of the Generalized Finite Element Hydrodynamics Model, RMA-2. Two-dimensional modeling, *Hydrologic Engineering Center*, pp. 97-113, 1981.
- [2] Olsen, N. R. B. and Kjellesvig, H. M. Three-dimensional numerical flow modeling for estimation of maximum local scour depth. *Journal of Hydraulic Research*, Vol.36, No.4, pp.579-590, 1998.

DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/00221689809498610>

- [3] Olsen, N. R. B. and Kjellesvig, H. M. Three-dimensional numerical modeling of bed changes in a Sand trap. *Journal of Hydraulic Research*, Vol.37, No.2, pp.189-198, 1998.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/00221689909498305>
- [4] Yoon, Tae Hoon, Jung, Eui Teak, Park, Jong Suk, Junction flow analysis by two-dimensional numerical model, *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 31, No. 5, pp.529-538, 1998.
- [5] Han, Kun Yeun, Chung, Jae Hak, Lee, Eul Rae, Two dimensional analysis on inundated flow in floodplain, *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 33, No. 4, pp.483-493, 2000.
- [6] Hong, Sung Min, Jeong, in Geun, Lee, Joon Woo, Kim Sung Joon, Riverflow analysis of Gyeongan river doestream reach use SMS, *The Korean association of Geographic Information studies*, Vol. 7, No. 1, 2004.
- [7] Shin, Kwang Seob, Jeong, Sang Man, Lee, Joo Heon, Song Pum, Flow characteristics and riverbed changes simulation for the upstream and downstream section of Gongju bridge, *Journal of the Korean society of hazard mitigation*, Vol. 8, No. 2, pp.119-127, 2008.

이 중 형(Jong-Hyeong Lee)

[정회원]



- 1984년 8월 : 충북대학교 대학원 토목공학과(공학석사)
- 1991년 2월 : 충북대학교 대학원 토목공학과(공학박사)
- 1993년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 건설환경공학부 교수

<관심분야>

수리수문학, 하천공학