

FESWMS-2DH 모형에 의한 횡성댐 하류부의 흐름 해석

임 창 수¹⁾, 맹 승 진²⁾

1. 서론

본 연구는 강원도 원주 횡성지역의 생활, 공업, 관개용수 공급과 홍수조절 및 전력자원 개발을 위한 횡성댐 공사가 시작됨에 앞서 횡성댐 직하류부에 예상되는 하상의 세굴문제와 관련하여 2차원 수치모형을 이용한 하도 흐름 해석을 수행하였다.

본 연구의 적용대상인 횡성댐 설계를 위한 전단계로 수행되어진 수리모형 실험 결과에 의하면 감쇄지에서 수류의 에너지가 감쇄되지 않은 상태로 하류에 전달되어 흐르기 때문에 감쇄지 하류 약 300m 지점까지 사류가 발생하였으며, 이로 인한 하천 하류부의 세굴현상이 예상되는 바이다.

본 연구에서는 상기의 문제점을 보완하기 위한 방편으로 미국 연방 도로청(Federal Highway Administration ; FHWA, 1989)의 기술적 지원을 받아 미국 지질 조사국(USGS)의 수자원실(Water Resources Division)에서 개발한 이차원 수치 모형인 FESWMS-2DH (Finite Element Surface Water Modeling System : 2-Dimensional Flow in Horizontal Plane) 을 이용하여 감쇄지의 물리적 특성을 원 설계시와 다르게 변화시켜 적용함으로써 하천의 흐름 상태를 파악하고 그 결과에 대한 대책을 수립하고자 한다.

2. 모형의 적용

실제 하천에서의 복잡한 흐름에 관한 수치모형화 과정에 있어서는 대상 하천의 기하학적, 지형학적 특성을 반영하여 수치해를 일관성 있게 처리해야 한다. 이러한 방법의 하나는 모형이 실제 대상 하천에서의 실측자료를 재현하는지를 검토해 보는 것이다. 그러나 본 연구에서는 횡성댐 직하류부에 대한 실측자료의 부재로 수치모형의 적용 결과를 관측자료와 비교 할 수 없었다. 따라서 본 절에서는 횡성댐 직하류부에 대해 HEC-2 모형에 적용한 결과를 FESWMS-2DH 모형의 입력자료로 사용하여 횡성댐 직하류부에 대한 2차원적 유속 분포를 산정 하였다. 또한, 모형의 적용을 위한 감쇄지의 길이, 폭 및 바닥표고는 각각 111m, 20m 및 124.2m로 가정하여 적용하였다.

1) 한국수자원공사 수자원연구소 선임연구원

2) 한국수자원공사 수자원연구소 연구원

2.1 대상하천의 개요

본 연구의 대상하천인 횡성댐의 직하류부는 남한강 본류의 지천으로서 행정구역은 강원도 횡성군 갑천면 대관대리에 속하며, 강원도 원주 횡성지역의 생활, 공업, 관개용수공급과 홍수조절 및 전력개발을 목적으로 현재 건설중인 높이 48.5m, 길이 205m 규모의 중앙차수벽 석괴댐형식을 갖춘 다목적댐이다. 횡성댐에서 홍수시 여수로로 방류되는 유량은 하천폭이 약 90 ~ 100m인 댐 직하류부의 하천을 따라 하류로 흐른다. 댐이 건설되는 곳의 하류에 잠실수중보와 팔당댐이 있어 횡성댐 직하류부의 하천흐름은 조위 및 조류속 변화에 대한 영향을 받지 않는 것으로 판단된다.

2.2 입력자료 구축을 위한 HEC-2 모형 결과

본 연구는 2차원 수치모형인 FESWMS-2DH 모형을 모의하기 위한 입력자료의 생성을 위해 1차원 수치모형인 HEC-2 모형의 결과를 사용하였다. HEC-2 모형을 모의하기 위한 입력자료는 대상하천의 횡단면 측량자료, 빈도별 홍수량, 조도계수, 수면의 표고 등이다. 이상의 입력자료로서 대상하천에 대해 HEC-2 모형을 모의한 결과 횡단측량 지점에서 빈도별 홍수량에 따른 홍수위, 최심부의 수심, 최심부의 유속, 횡단면 면적 등을 산정 할 수 있었다. 대상 하천의 흐름을 모의하기 위한 하천의 횡단면 측량자료는 횡성댐 본댐 하단 부터 약 50m 간격으로 총 12개의 횡단면 측량 지점이 있다. 본 연구에 사용된 빈도별 홍수량은 200년 빈도 홍수량인 2,072CMS에 대해 모의하였으며, 이에 대하여 HEC-2 모형에 의해 모의된 결과는 표 1과 같다.

2.3 대상하천의 요소망 구성

모형의 적용을 위한 영역에 사용된 격자망은 대상하천의 기하학적 특성에 따라 삼각형 요소를 사용하였으며, 각 절점에 대한 지형좌표는 IDRISI 소프트웨어를 사용하여 구하였고 이에 대한 지형도는 그림 1과 같다. 또한 계산에 필요한 요소망을 작성한 결과는 그림 2와 같다.

표 1. HEC-2 모형에 의해 모의된 결과

횡단면 번호	측점간 거리(m)	본댐 하단 부터의 누가거리(m)	홍수위 (EL.)	최심부 수심(m)	최심부 유속 (m/s)	횡단면적 (m ²)
1	36	36	146.38	9.38	3.35	619.27
2	58	94	146.26	9.25	3.46	599.36
3	54	148	146.13	9.13	3.50	591.36
4	65	213	146.19	9.19	2.94	705.89
5	50	263	145.47	8.47	4.44	466.75
6	50	313	145.55	8.55	3.75	552.99
7	50	363	145.64	9.04	3.06	677.41
8	50	413	145.57	8.97	3.08	672.46
9	50	463	145.54	9.04	2.95	702.26
10	50	513	143.78	6.88	6.17	335.89
11	50	563	143.92	6.92	5.12	404.75
12	50	613	142.61	5.71	6.58	314.66

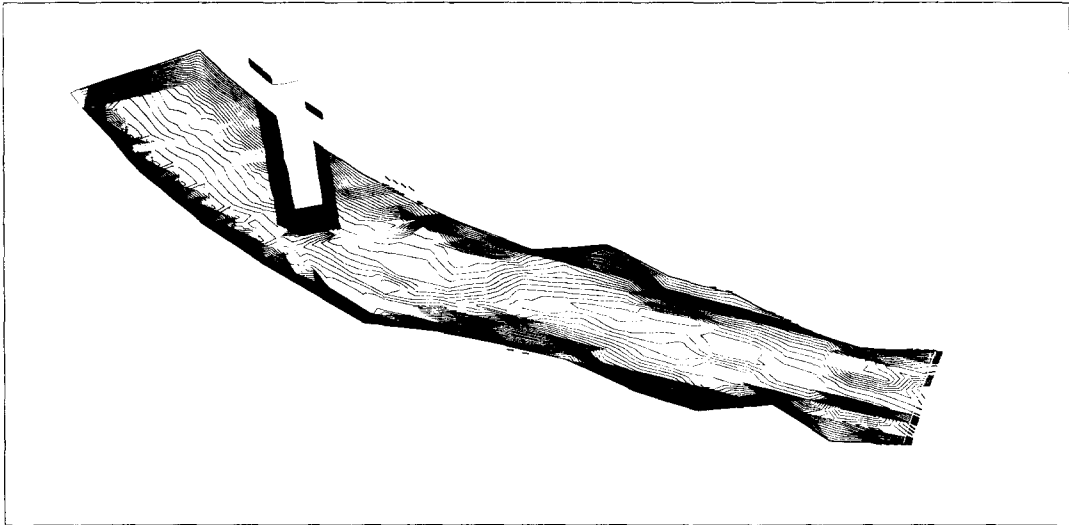


그림 1 대상유역의 2차원적 형상

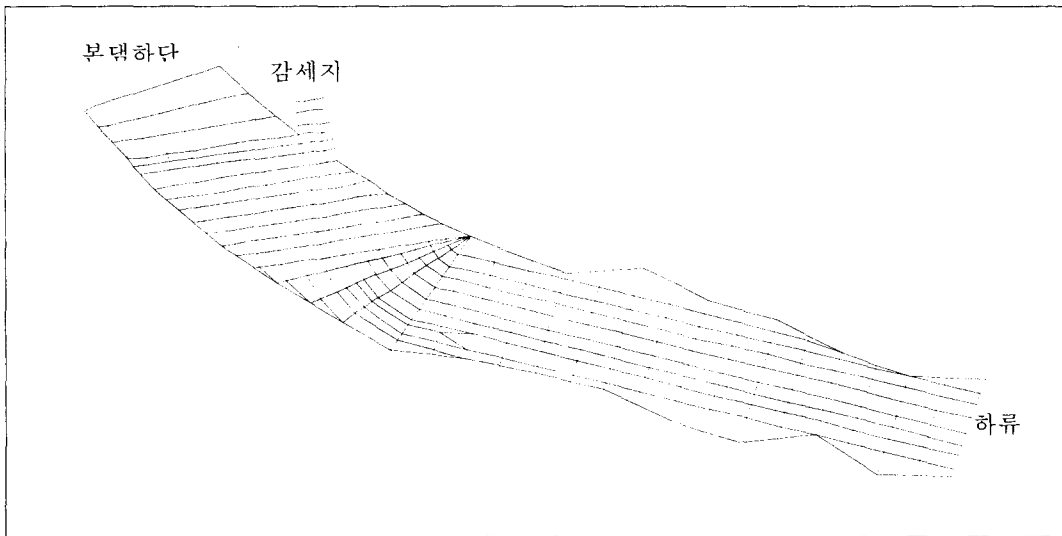


그림 2. 대상하천의 요소망

대상하천의 요소를 분할하는데 있어서 지형의 변화가 비교적 적은 부분에서는 요소의 크기를 가능한 크게 하였으나, 지형이 험소한 곳이나 감세지 부분은 유속의 변화가 클것으로 예상되므로 이들지역에 대해서는 요소의 크기를 작게하여 상대적으로 조밀한 격자를 구성하였다. 횡성댐 직하류부의 대상하천에서 구성된 요소망의 요소수는 353개이고 절점수는 중간절점을 포함하여 1,112개이다. 개방경계조건에서 유입경계에서의 절점은 7개이고 유출경계에서의 절점은 17개로 구성하였다

2.4 경계조건

본 연구의 적용을 위한 개방경계조건인 유입경계조건과 유출경계조건은 실측자료의 부실로 인하여 댐 건설 이전의 실측자료를 입력자료로 사용한 1차원 수치모형인 HEC-2 모형의 결과를 경계조건 입력자료로 사용하였다. 이와 같은 이유로 대상하천에서의 FESWMS-2DH 모형에 대한 보정 및 검증은 본 연구에서 실시할 수 없었다.

3. 횡성댐 건설에 따른 수리학적 변화 예측

3.1 주요입력자료의 결정

모형의 입력자료로서는 각 절점별 표고, 요소별 바닥마찰계수, 초기조건 및 경계조건 등이 있다. 이들 입력자료에 대한 결정과정과 방법은 다음과 같다.

모형에 입력되는 절점별 표고는 평균해수면으로 부터의 높이이다. 각 절점에서의 표고는 대상하천에서의 횡단면 측량자료를 사용하여 산정하였다. 이들 중에 두 측정사이에 위치하는 절점의 표고는 기준되는 측정에서 부터 거리의 비에 따라 선형보간법으로 산정하였다.

요소별 마찰계수의 산정에는 Manning의 조도계수 n 값을 이용하였는데, 우선 대상하천 전 지역에 걸쳐 큰 변화를 보이지 않는 것으로 가정하고 현재 댐 건설 중인 기술자들의 판단과 홍수시 수면폭이 30m 이상인 대하천에서 큰 호박돌이나 관목이 없는 규칙적인 단면에서의 Manning 조도계수 n 값은 0.025 ~ 0.060임을 참조하여 0.04로 추정하였다.

그리고 유체의 밀도, Coriolis 계수, 공기 밀도, 풍력은 대상하천에 대한 실측자료가 없기 때문에 FESWMS-2DH 모형에서 설정해주는 기본 값을 사용하였다.

한편 각 격자 지점별 초기조건은 모든 격자에 대해서 동일한 값으로 하고 유입경계조건인 유량과 수위표고는 각각 2,072cms 및 146.38m로 결정하였고 유출경계조건인 평균 수위표고는 142.61m로 결정하였다.

3.2 모형 분석 결과

대상하천에 대한 유량의 동수역학적 해석을 위해서 FESWMS-2DH 모형을 이용하여 이차원 흐름의 모의 수행을 실시하였다. 우선, 본 연구에서는 각 격자 지점별 초기조건을 모든 격자에 대해서 동일한 값을 입력하여 모의 산정된 이차원 유속 및 수심분포를 계산하였고, 유속분포만을 도시한 결과는 그림 3과 같다.

상기의 과정에 의해 산정된 이차원 유속 분포를 각 격자 지점별 초기조건으로 입력하여 모의 산정된 이차원 유속 및 수심분포를 다시 각 격자 지점별 초기조건으로 입력한다. 이러한 일련의 과정을 수회 반복하여 각 격자 지점별 유속 및 수심분포가 안정될때의 값을 산정한 후, 이를 후처리

과정을 통해서 해석구간에 대한 이차원 유속벡터 및 수심분포로 출력하였다. 각 격자 지점별 유속 및 수심분포를 도시한 결과는 그림 4 및 그림 5와 같다.

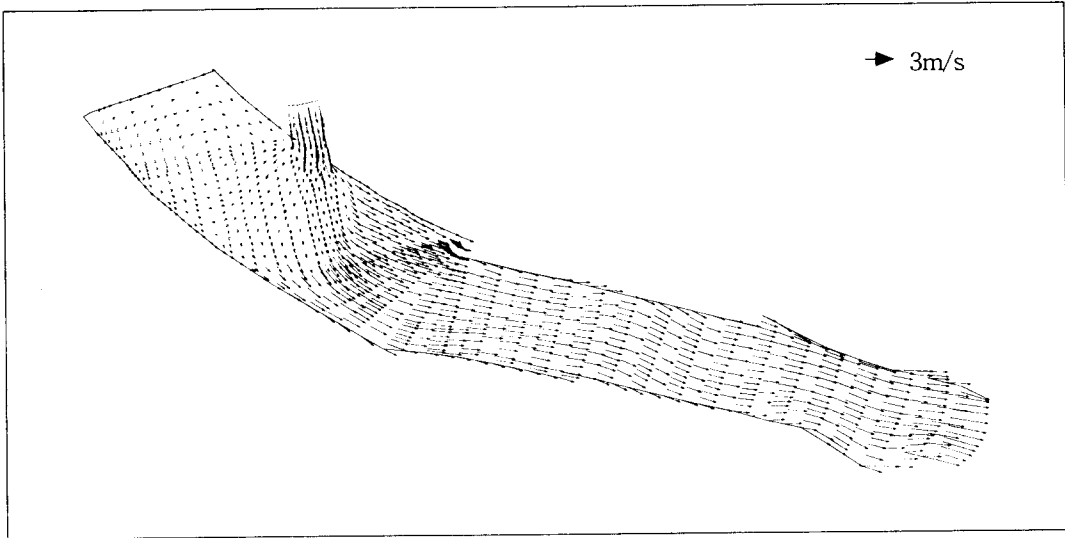


그림 3. 초기유속분포도

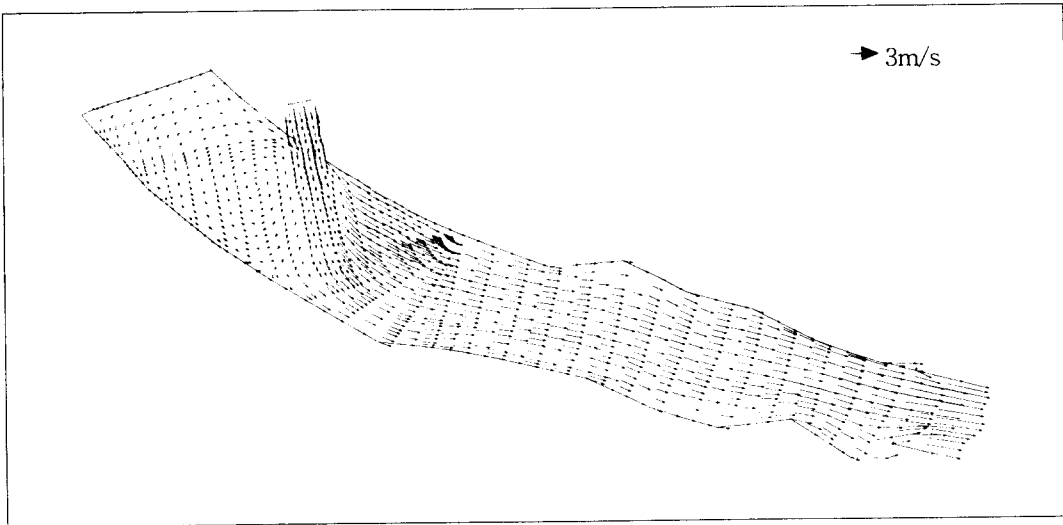


그림 4. 최종 유속분포도

유량 유입부인 감세지 입구에서 2,072 cms 의 유량조건을 가정하여 모델을 적용한 경우에 있어서 그림 4에서와 같이 감세지에서의 유속은 3.947 ~ 4.130 m/s, 수심은 23.37 ~ 24.59 m로 나타났다. 감세지를 따라 흐르는 유량 중 일부는 하천 상류로 역류하면서 유속이 점점 느려져 본댐의 직 하단부에 이르러서는 유속이 거의 0m/s 에 가깝게 나타났다. 대부분의 유량은 감세지를 따라 흐르며 감세지 끝단부와 인접한 하천의 우안에 도달한후 하류로 흘러가는 결과를 나타내었다. 여기서 대상하천 구간의 대부분 지역에서는 상류의 흐름이 발생하였으나 유량유출부의 약 50m 전방에서

부터 하천 단면 중심부를 기점으로 좌안부의 전반에 걸쳐 사류가 발생하고 유향은 하천의 좌안측을 향하는 결과를 보여주었으며, 유량유출부의 단면 전구간에서는 Froude 수가 1.213 ~ 1.554을 갖는 사류가 발생하였다.

또한, 이차원 모형에 대한 모의결과와 HEC-2 모형의 모의결과를 비교 검토하였으며, 하천의 횡단면 자료 중 최심부에서의 유속을 비교한 결과는 표 2와 같다.

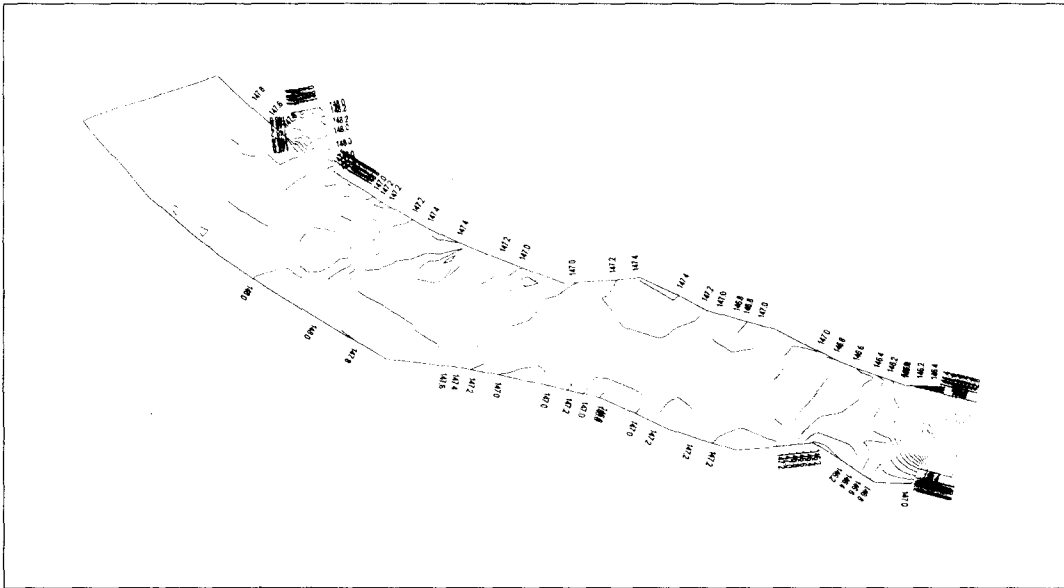


그림 5. 등수위곡선

표 2 HEC-2 모형과 FESWMS-2DH 모형의 모의결과 비교

횡단면 번호	측점간 거리(m)	본댐 하단 부터의 누가거리(m)	HEC-2		FESWMS-2DH	
			최심부 수심(m)	최심부 유속 (m/s)	최심부 수심(m)	최심부 유속 (m/s)
1	36	36	9.38	3.35	13.01	0.97
2	58	94	9.25	3.46	23.66	4.19
3	54	148	9.13	3.50	10.58	1.30
4	65	213	9.19	2.94	10.73	2.71
5	50	263	8.47	4.44	10.23	3.91
6	50	313	8.55	3.75	10.07	3.91
7	50	363	9.04	3.06	10.55	3.36
8	50	413	8.97	3.08	10.50	3.25
9	50	463	9.04	2.95	10.53	3.29
10	50	513	6.88	6.17	9.78	4.18
11	50	563	6.92	5.12	9.23	4.85
12	50	613	5.71	6.58	5.41	8.84

표 2에서 보여주는 바와 같이 대상하천의 상류부에서 HEC-2 모형과 FESWMS-2DH 모형의 결과가 상이하다는 것을 알 수 있다. 이는 HEC-2 모형에 의한 결과가 댐이 건설되기 이전의 하천 상태를 고려한 결과이기 때문이다. 대상하천의 중심부 이하에서는 전반적으로 2차원 모형의 결과가 HEC-2 모형에 의한 결과 보다 크게 나타났는데 이는 2차원 모형에서 난류동요에 의한 에너지 손실항이 포함된 것으로 판단된다. 또한 대상하천 말단부의 최심부 유속이 8.84m/s로 횡단면 번호 11에서의 최심부 유속 4.85m/s 보다 빨라지는 경향을 보이고 있는데, 이것은 그림 1의 지형도에서 나타나는 바와 같이 하천 단면의 상대적인 축소로 인해 하천 말단부에서의 유속이 증가한 것으로 사료된다.

4. 결론

본 연구에서 대상하천의 유속 및 유향을 고려해 보면 하천의 우안부는 지형적으로 암반이기 때문에 별다른 하천 시설물은 필요없을 것으로 판단되나 하천의 좌안부는 완만한 경사의 나대지이며 유속은 2.08 ~ 5.198m/sec의 범위를 나타내고 있다. 이는 하천시설기준(1993)에서 일반적으로 유속이 3 m/sec 이상이면 호안이 필요한 것으로 보고 있기 때문에 하천 좌안부는 호안을 설치하는 것이 바람직한 것으로 사료된다.

사면안정을 위한 비탈덧기식 호안의 종류는 떼붙임, 돌망태공, 돌붙임공, 돌쌓기공, 돌채움 비탈방지공, 사석공 등이 있으며 이론적 계산에 의한 호안의 직접 설계는 현재까지 곤란하며 보통 경험과 이론의 양면에서 고찰하여 설계되어야 할 것이다.

참고문헌

1. Abbott, M. B., D. R. Basco, Computational Fluid Dynamics, Longman Scientific & Technical, pp 387 ~ 398.
2. Froehlich, D. C., 1991. FESWMS-2DH USERS MANUAL, WEST Consultants, Inc.
3. WEST Consultants, Inc. Support Literature.
4. 건설부 국립건설시험소, 1990. 횡성댐 수리모형실험 보고서
5. 건설부, 1993. 하천시설기준.
6. 구자웅 외 7명, 1993. 신고 수리학, 향문사, p.207
7. 박영욱 외 3명, 1997. 유한요소망을 이용한 방조제 건설 전후의 조석특성변화 예측, 한국관개배수 4권 1호.
8. 한국건설기술연구원, 1995. 이차원 하천 모형의 개발(I)
9. 한국수자원공사, 1990. 횡성다목적 댐 실시설계 수리·수문계산서
10. 한국수자원공사, 1997. 취수구 유사유입 저감기법 개발 연구(2차년도)