

# 댐방류량에 따른 낙동강수계 수리학적 흐름특성 분석

## The Analysis of Hydraulic Flow Characteristics by Dam Release on the Nakdong River

이을래\* , 신철균\*\* , 김상호\*\*\*  
Lee Eul Rae, Shin Chul Kyun, Kim Sang Ho

### 요 지

본 연구에서는 일차원 수리학적 하도추적모형인 FLDWAV 모형을 이용하여 낙동강 유역에 대해서 댐하류유역의 하도망을 구성하여 모형을 수행함으로써 댐 방류에 따른 안동댐에서 하구둑까지의 수리학적 흐름 특성을 분석하였다. 대상구간은 안동댐~하구둑까지의 본류구간과 임하댐직하~반번천합류점, 합천댐직하~황강합류점, 남강댐직하~남강합류점까지의 단면을 적용하였으며, 하천정기기본계획상에 나타난 실측하상단면자료를 FLDWAV모형에 적합하게 변환하였다. 본 연구에서 적용된 모형은 1차원 부정류 해석모형으로서 단일하도 뿐만 아니라 지류와 연계된 하도망의 해석도 성공적으로 수행하게 된다. 모형에 의해 산정된 유량 및 수위의 값들은 당시의 실측값과 비교하여 유사한 형태를 가지며 정량적, 정성적인 부분에서 모형의 적합성을 증명하였다. 본 연구를 통하여 대상구간의 전체하도에 대한 적용절차 및 분석기법 등을 참조하여 다른 수계로의 확장이 가능하게 된다. 단면변환 및 경계조건 산정방법, 모형의 수행 및 결과 분석 과정 등이 댐방류 또는 지류의 유입을 고려한 합리적인 하천관리를 위한 방향을 제시하게 될 것으로 판단된다.

**핵심용어 : FLDWAV, 댐방류, 지류와의 연계, 부정류**

### 1. 서 론

본 연구는 낙동강의 본류, 지류를 포함한 전체구간에 대해 1차원 부정류 해석모형인 FLDWAV를 이용하여 모형의 수렴성, 정확성 및 안정도에 대한 검토와 모형의 검증을 위해 주요 지점에서의 수위관측치와 비교하여 본 모형의 적용성을 입증하였다. 낙동강 상류의 댐 지점에서 유하하는 유량은 하도 전체구간에 상당한 영향을 미치고 있기 때문에, 전구간에서의 모형수행을 통하여 효율적인 댐운영 및 하천관리에 적용될 수 있다. 특히 댐방류에 따른 영향검토를 위해서 댐이 위치한 지류에서의 수리학적 영향 분석은 효율적이고 과학적인 하천관리를 위해서 상당히 중요하다. 실제 수리학적 모형은 단면조건 또는 유입/유출부에서의 경계조건, 지류의 연계 등에 따라서 상당히 민감하게 반응을 보인다. 최근 집중호우 및 태풍의 영향으로 낙동강 하류지역에서는 제방과피 및 범람이 지류에서 빈번히 발생하였다. 특히 본류의 영향을 받은 배수위 영향에 의해서 발생한 피해사례와 지류 및 본류의 합류점에서 발생하는 수리학적 거동을 분석하기 위해서는 본 모형을 이용하는것이 가장 합리적인 방법이 될것이다. 본 연구에서 수행된 적용절차와 산정된 결과는 향후 홍수기의 댐 운영 및 하천관리에 효율적으로 이용될 수 있을것으로 판단된다.

\* 정회원 · 한국수자원공사 물관리센터 선임연구원 · E-mail : erlee@kwater.or.kr  
\*\* 정회원 · 한국수자원공사 물관리센터 선임위원 · E-mail : kyun@kwater.or.kr  
\*\*\* 정회원 · 상지대학교 건설시스템공학과 교수 · E-mail : kimsh@sangji.ac.kr

## 2. 수리학적 하도추적모형

미국 기상청(NWS)에서 개발한 동수역학적 하도추적 모형인 FLDWAV는 대상구간에서의 시간에 따른 수위 및 유량을 포함한 다양한 수리학적 특성들을 분석하는 1차원 부정류모형이다. 특히 과거에는 없었던 혼합류흐름계산, 다중하도의 하도추적기능, Kalman Filter 기능 등 중요한 기능을 포함하고 있으며, 단일수로나 수지형 수로에서의 다양한 부정류 해석이 가능하다. 해석을 위해서 Saint-Venant 식의 가중 4점 음해형 유한차분기법을 이용하여 수공구조물을 포함한 다양한 조건에서의 부정류 흐름해석을 가능하게 한다. 또한 단일하도 또는 지류를 포함한 하도망을 구성하는 하천에서 실시간으로 홍수파의 흐름해석을 가능하게 한다.

FLDWAV는 부정류의 Saint-Venant 식의 해석을 기본을 두고 있다. 즉, 질량보존의 식과 운동량보존의 식은 각각 식 (1), (2)와 같다.

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial(A + A_o)}{\partial t} - q = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial\left(\frac{Q^2}{A}\right)}{\partial x} + gA\left(\frac{\partial h}{\partial x} + S_f + S_e\right) + L = 0 \quad (2)$$

식 (1), (2)로 구성되는 비선형 대수방정식의 해를 구하기 위하여 반복 계산법의 하나인 Newton-Raphson 방법을 적용하여 해석한다. Newton-Raphson 방법은 2차항 및 고차항의 모든 항들을 무시하는 비선형함수의 Taylor 급수전개이론에서 유도된다. 그 결과로 나타난 계산알고리즘은 식 (3)와 같다.

$$J(x^k)\Delta x = -f(x^k) \quad (3)$$

여기서,  $x$ 는  $(Q_1, h_1, \dots, Q_N, h_N)$ 으로 표시되는 미지의 벡터량이며,  $k$ 는 계산 반복횟수,  $J(x^k)$ 는  $x^k$ 값에 대한 편미분치로 구성되는 Jacobian 매트릭스,  $f(x^k)$ 는  $x^k$ 값에 대한 비선형방정식,  $x^k$ 는 초기가정값,  $x^{k+1}$ 은  $x^k + \Delta x$ 로써 계산에 의하여 개선된 값을 나타낸다. 미지의 유량  $(Q_i^{j+1}, Q_{i+1}^{j+1})$ 과 수위  $(h_i^{j+1}, h_{i+1}^{j+1})$ 항을 포함하는  $\Delta x$ 가 허용한계보다 작을 때 까지 계산을 반복하게 된다.

## 3. 수리학적 하도추적 모형의 적용

### 3.1 대상구간의 설정

본 연구에서 검토된 수리학적 하도추적 모형을 지류를 포함한 낙동강 전체유역에 적용하였다. 모형의 합리적 수행을 위해서 먼저 낙동강 본류 및 지류의 유역특성에 대해서 조사하였다. 일반적으로 하천정비기본계획은 평균 10년마다 한번씩 하는 것으로 되어 오랜 시간이 경과 했으나, 현재 낙동강 본류유역은 하천측량이 거의 마무리가 되어가는 상황이며 내년이면 실질적으로 모형수행을 위해 좀 더 정확한 단면자료구축이 가능할 것으로 판단된다. 본 모형수행을 위해서 본류를 포

함하여 반변천, 황강, 남강의 하천단면을 추가하였다. 이를 위해 필요한 지류의 최신 단면측량자료를 수집하였으며, 이를 모형에 반영하였다.

본류에서 수행된 하천측량은 반변천합류점에서 낙동강 하구둑까지 340Km의 구간이 수행되었으며, 전체 측점수는 783개이다. 본 모형에서는 HEC-2 단면자료를 그대로 사용할 수는 없으며 표고-하폭(HS-BS)의 형태로 단면이 입력된다. 이러한 변환작업을 위해 FLDWAV에서 제공하는 프로그램이 있지만, 실질적으로 모형수행을 하는 경우에는 모형운영자가 자체적으로 단면변환프로그램을 작성하는 경우가 많다. 본 연구에서도 단면변환을 위해서 자체 프로그램을 개발하였다. 그리고 하도 단면개수가 너무 많으면 모형이 수렴하는데도 시간이 걸리며 특히 단면의 형상에 민감하게 작용하는 FLDWAV에서는 모형의 발산시 오류를 찾아내는 과정이 상당히 어려운 점으로 대두될 수 있다. 또한 하천측량은 반변천합류점까지 수행이 되어 있으나, 본 모형에서는 안동댐부터 수행되는바, 안동댐에서 반변천합류점까지 약 5Km구간은 하상경사를 고려하여 가상단면을 삽입하였다. 이를 바탕으로 하여 본 연구에서는 단면의 개수를 265개로 조정하게 되었다.

### 3.2 홍수사상에 따른 입력조건 설정(Ty. RUSA 적용)

본 절에서는 하도의 유량을 조절하는 댐의 조절유량과 하류부 하구둑의 조위에 대한 영향이 본류 및 지류의 수리학적 특성에 어떠한 영향을 미치는 지 살펴보고자 한다. 수리학적 하도추적모형을 수행하기 위해서는 본류 및 지류의 유입유량과 하류의 하구둑의 조건들이 정확하게 입력되어야 한다. 이를 위해서 본 과업에서는 입력자료구축을 위한 전단계로서 저류함수법에 의한 홍수분석을 수행한 다음 낙동강 모식도에 나타나 있는 지점의 결과값들을 이용하여 유입유량값들을 산정하였다. 과거의 사상을 모의하는 경우는 실측치를 이용한 계산이 가능하지만 향후 예측되는 사상을 모의하기 위해 요구되는 지류유입 또는 소유역 유출량 등은 수문학적 모형을 통해서 산정이 가능하며 이에 따른 연계가 필수적이라 볼 수 있다. 그리고, 지천의 유입량은 정확한 입력지점을 산정할 수 있으나, 소유역유출량은 홍수분석모형에 의한 정량적인 값은 산정이 가능하더라도, 그 위치를 지정해 주는 과정에 있어서 어느 정도 오차를 유발할 수 있을 것이다. 그러나 소유역 유출량은 절대적으로 존재하고 있으나 그러한 정량적인 값을 본류에 정확하게 지정할 수 있게 하기 위해서 추후 반드시 개념적인 확립이 있어야 할 것이다.

이러한 절차에 의해서 상하류 경계조건을 지정하였다. 실제 발생한 과거 홍수사상을 이용하여 보정 및 검증을 수행하였다. 적용홍수사상은 2002년 8월 29일에서 9월 7일 까지 발생한 태풍루사의 호우사상을 적용하였다. 당시 안동댐, 임하댐, 합천댐, 남강댐에서의 방류량은 그림 1에 제시되었다. 여기서 방류량이라 함은 댐에서의 수문방류량을 지정할 수도 있겠으나, 각 지천별로 소유역 유입 또는 지류에 유입하는 또 다른 지류가 존재할 수도 있다. 모형의 수행에 있어서 실질적으로 지류로 유입하는 또 다른 지류의 유입을 고려하는 것은 모형수행에 효율적이지 못하며 낙동강 본류에는 어떠한 영향도 미치지 못한다. 그러나 실제적으로 지류에서도 유입되는 유량이 있으므로 본 연구에서는 소유역 또는 지류의 유입지점을 참조하여 지류의 유량을 산정하기 위해서 수문방류량과 소유역 또는 지류의 유입량을 고려하였다. 그림 2는 지류 및 소유역 유입량규모를 나타낸 그림이다. 하류구간의 수위경계조건은 하구둑상류의 조위관측자료를 적용하였는데, 당시 대조위는 1.68m, 소조위는 -0.14m의 값을 나타내었다.

실질적으로 모형을 수행함에 있어서 상하류 경계조건 뿐만 아니라, 지류 또는 소유역에서 유출되어 본류로 유입되는 양도 상당히 중요한 의미를 지닌다. 수문학적 모형과 수리학적 모형이 연계되는 경우, 상하류 경계조건은 실질적인 관측치에 의존하지만 지류유입량과 소유역 유출량 등

은 계산에 의해 입력되는 값으로서 수문학적 모형의 정확성도 일정부분 영향을 미치게 된다. 또한 소유역유출량의 본류유입지점의 선택도 상당히 어려운 문제가 될 수도 있다.

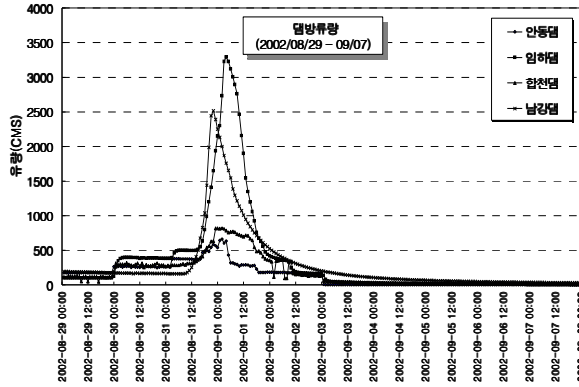


그림 1. 댐방류량(02/08/29 ~ 09/07)

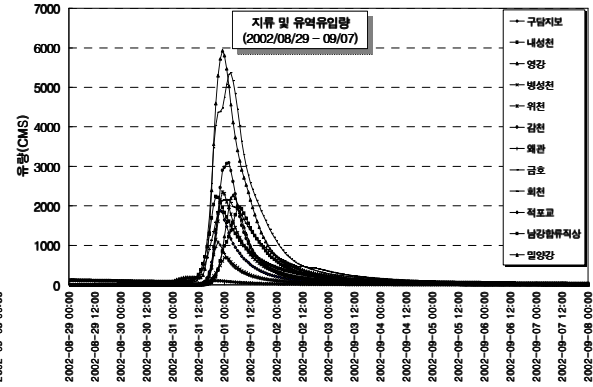


그림 2. 지류유입량 (02/08/29 ~ 09/07)

### 3.3 모형수행결과

그림 3 ~ 4는 제시된 홍수사상에 대해서 낙동강 본류의 현풍지점과 황강의 죽고지점에서의 계산수위와 실측수위를 비교한 그림이다. 모형수행결과 낙동강 본류에서는 전체적으로 하류로 진행할수록 오차가 줄어드는 것을 확인할 수가 있다. 그러나 지류인 황강, 남강 등에서는 관측수위와의 값에서 오차가 많이 발생하고 있었다. 이는 모형의 보정을 위한 수위관측소가 지류에 많이 존재하지 않는 것도 원인이 될 수가 있지만, 지류에서의 기점수위는 낙동강본류에서 계산된 지류합류점에서의 수위값을 하류경계조건으로 지정하여 지류를 계산하게 된다. 경우에 따라서는 지류에서의 값은 많은 입력자료들이 불확실성을 내포하게 된다. 따라서, 지류에서의 유입량자료에서 하류경계조건이 되는 자료까지 모든 자료들의 정확성이 수반되지 않는다면 지류에서의 수리학적 모형의 정확도는 저감된다고 볼 수 있다. 또한 낙동강 본류의 길이가 345Km가 되는 관계로 상류에서 충분한 유량이 유하하지 않으면 여러 가지 발산 및 오차의 원인을 제공하게 된다. 상류부분인 일선교 수위표 지점에서는 관측치와 거의 유사한 결과를 나타내고 있으나, 이러한 결과값들도 지속적인 매개변수 수정과 다양한 실제사상과 비교하여 검토할 필요가 있다. 합천, 죽고, 거룡강수위표가 있는 황강과 정암수위표가 있는 남강의 영향은 계산치와 상당한 차이를 유발하고 있다. 이는 지류의 정확한 매개변수산정의 어려움과 본류와 연계한 지류의 영향이기 때문에 상당한 어려움을 내포하게 된다. 그림 5와 6은 낙동강본류의 중단별 유량변화양상과 수위변화양상을 나낸 것이다. 추후 지류에서도 좀더 정확한 산정이 필요하며 이를 위해 지속적인 보정과 검증작업이 필요할 것으로 판단된다.

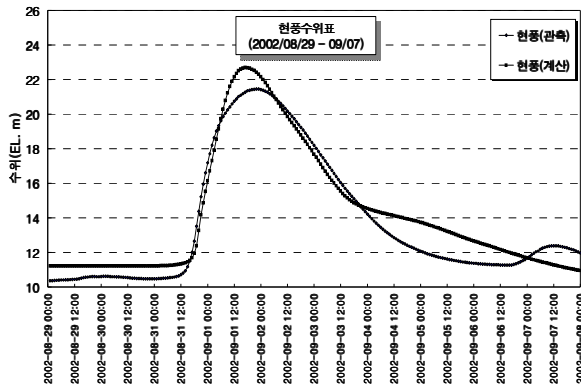


그림 3. 현풍수위표의 수위영향분석(본류)

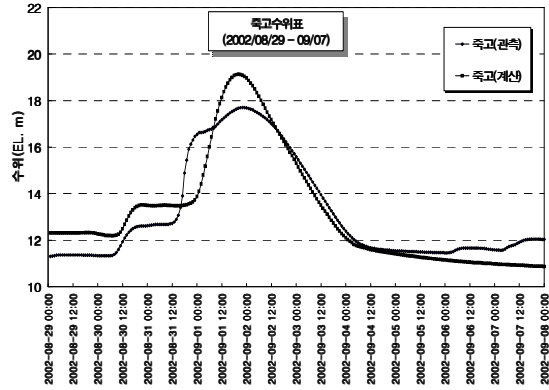


그림 4. 죽고수위표의 수위영향분석(황강)

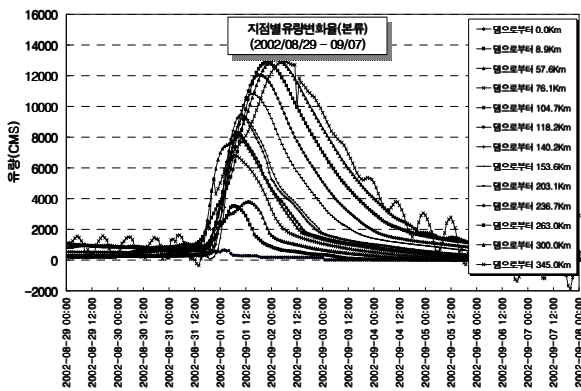


그림 5. 낙동강분류유량변화

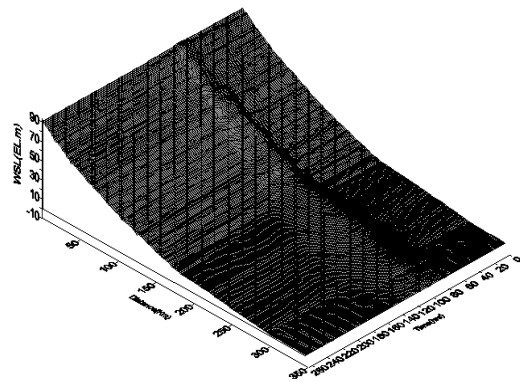


그림 6. 낙동강분류 수위변화

#### 4. 결론

본 연구에서는 일차원 수리학적 하도추적모형인 FLDWAV 모형을 이용하여 지류를 포함한 낙동강유역에 대해서 댐하류유역의 하도망을 구성하여 분석을 수행하였다. 기존의 연구성과들은 대체적으로 낙동강유역의 일부구간을 계산하거나 지류가 연계가 되지 않는 본류구간만 해석을 수행하게 되는데 본 과업에서는 낙동강분류전체구간 및 댐이 존재하는 세 개의 지류들을 연계하여 입력자료를 구축하였다. 각각의 관측수위표지점과 비교한 결과 부분적으로 과소 또는 과대산정되는 경향을 나타내었으나, 전체적인 경향에서 합리적인 결과를 나타냄으로서 모형의 적합성을 확인할 수 있었다. 본 연구를 통하여 대상구간의 전체하도에 대한 적용절차 및 분석기법 등을 참조하여 다른 수계로의 확장이 가능하게 된다. 단면변환 및 경계조건 산정방법, 모형의 수행 및 결과 분석 과정 등이 댐방류 또는 지류의 유입을 고려한 합리적인 하천관리를 위한 방향을 제시하게 될 것으로 판단된다.

#### 참고문헌

- 건설부 (1991, 1992, 1993). 낙동강하천정비기본계획, (II), (III)
- 건교부/부산지방국토관리청 (2003). 황강하천정비기본계획
- 경상북도 (1990). 반변천하천정비기본계획