

낙동강하류부 수리학적 하도추적

Hydraulic Channel Routing on the Nakdong River Downstream

이을래*, 신철균**, 이상진***, 이배성****
Lee Eul Rae, Shin Cheol Kyun, Lee Sang Jin, Lee Bae Sung

요 지

본 연구에서는 미국기상청(NWS)에서 개발된 수리학적 홍수추적모형인 FLDWAV 모형을 이용하여 낙동강유역의 수리학적 특성을 규명하고 그에 따른 결과를 분석하였다. 이를 위해서 하구둑의 배수위 영향을 직접적으로 받게 되는 낙동강 하류부인 적포수위표에서 낙동강 하구둑까지의 구간을 홍수추적모형을 수행하였다. 또한 모형수행의 정확성을 지배하는 하구둑에서의 방류량 특성을 분석하기 위해서 다양한 경우에 대해서 적용하였다. 수행을 위한 상류유입유량경계조건과 횡방향 유입유량은 수문학적 저류함수법에 의해서 유입량을 산정하였으며, 하류수위경계조건은 하구둑에서 실측하게 되는 내수위값을 적용하였다. 모의 수행을 위해서 본 연구에서는 최적의 일관된 매개변수를 확립하였으며, 대표홍수사상에 대해서 적용한 결과 수위관측지점의 관측수위와 거의 일치하는 것을 확인할 수 있었다. 또한 낙동강 하구둑에서의 수리/수문학적 특성변화는 낙동강의 상류까지 영향을 미치게 된다. 현재까지 하구둑에서의 방류량 산정에 관한 연구는 일부 수행이 되었으나, 운영자가 실질적으로 도입하기에는 아직까지 많은 검증이 필요하다. 이를 위해 본 연구에서는 하류경계조건을 명지저점까지 확장함으로써 부정류모형의 수행을 통한 하구둑에서의 수위 또는 방류량을 산정할 수 있는 방법을 제시하였다. 상류의 유량규모와 하류의 하구둑 조위에 따른 본류의 배수영향범위 등을 분석하는것은 합리적인 댐운영과 하천관리를 위한 중요한 인자가 될것으로 판단된다.

핵심용어 : FLDWAV, 댐방류, 지류와의 연계, 부정류

1. 서 론

우리나라는 해마다 풍수해로 인해 엄청난 피해를 보고 있으며 피해복구비 또한 막대하다. 특히 지구 온난화현상의 발생과 함께 생긴 엘니뇨현상의 영향으로 최근에 발생한 홍수피해상황을 살펴보면, 하절기 태풍의 내습에 의한 집중호우라는 기존의 호우형태를 벗어나 국지적인 이른바 게릴라성 집중폭우로 단일 홍수사상으로는 지금까지의 기록을 갱신하였으며, 거의 전국을 차례로 강타했다는 점에서 예년의 집중호우 특성과 판이다. 이러한 홍수피해를 줄이기 위해서는 홍수조절 및 방어계획과 관련한 방재대책을 수립하여야 한다.

본 연구의 목적은 1차원 부정류 해석모형인 FLDWAV 모형을 이용하여 낙동강 하류구간을 대상으로 상류단 홍수조건의 댐방류량이 하천의 홍수위에 미치는 영향을 해석하여 실시간 홍수 예경보 시스템을 구축하는 데 있다. 이를 위하여 2003년에 발생한 매미의 홍수사상을 대상으로 홍수파의 전달특성을 모의하였으며, 이와 병행하여 현재 운영중인 낙동강 하구둑의 현황을 파악하고

* 정회원 · 한국수자원공사 물관리센터 선임연구원 · E-mail : erlee@kowaco.or.kr
** 정회원 · 한국수자원공사 물관리센터 선임위원 · E-mail : kyun@kowaco.or.kr
*** 정회원 · 한국수자원공사 수자원연구원 수자원환경연구소 선임연구원 · E-mail : sjilee@kowaco.or.kr
**** 정회원 · 한국수자원공사 수자원연구원 수자원환경연구소 위촉연구원 · E-mail : baesung@hannam.ac.kr

하구둑에서의 합리적인 방류량 산정을 위한 방법을 제시하였다. 하구둑에서의 방류량 산정방법을 검토하기 위해서 다양한 경우를 선정하여 수행하였다. 현재 부산권관리단에서 사용하는 NEDECO 방정식은 상·하류의 수위차만을 고려하여 산정되기 때문에 운영하는데 문제는 없지만 좀더 정확한 산정방법이 필요하게 된다. 하류 경계조건을 명지지점까지 확장함으로써 부정류 모형의 수행을 통하여 하구둑에서의 수위 또는 (방)유량을 산정할 수 있는 방법을 제시하였다. 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.

2. 동역학적 홍수추적 모형

본 연구에 사용된 동역학적 홍수추적 모형인 FLDWAV모형은 미 기상청에서 개발한 DWOPER 모형과 DAMBRK 모형을 조합하고 보완한 모형이다(Fread, 1999). FLDWAV는 단일하천이나 수지형 하천과 같은 물리적인 적용의 다양성까지 함께 고려하여, 1차원 부정류 흐름에 대한 수치모형을 일반화 시킨것이다. 수리학적 하도추적모형은 부정류의 Saint-Venant 식의 해석을 기본을 두고 있다. 즉, 질량보존의 식과 운동량보존의 식은 각각 식 (1), (2)와 같다.

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

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

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.

3. 낙동강 하류구간의 적용

본 모형의 적용성을 입증하기 위해서 최근 발생한 홍수사상에 대해서 검토를 하였다. 낙동강 유역은 적포교를 중심으로 하류지역에서 침수피해와 제방붕괴 등이 집중적으로 발생하고 있는 실정이다. 하류로 갈수록 완만한 경사에 의해서 내수배제가 불량해지고 제방범람이 발생하기 때문에 관리자가 정보를 알고 싶어하는 하류 특정지점에서의 수위값을 산정할 필요가 있게 되었다. 이러한 이유로 본 연구에서는 적포교수위관측소를 기점으로 하여 낙동강 하구둑까지를 대상구간으로 설정하였다. 상류유입은 적포교지점에서의 유입유량과 지류/하도에서 유입되는 유량을 설정한 다음 그 값을 유량경계조건을 지정하였다. 본 대상구간에서 유입하는 지류로는 남강과 밀양강, 양산천 등이 있는데, 이는 KOWACO 홍수분석에 의해 유입량을 고려하여 지점별 횡방향 유입량으로 입력하였다. 하류단 경계조건이 되는 하구둑에서는 매 시간별로 수위가 관측되고 있으며, 대상사상의 모의를 위해서 실제적으로 운영되어진 하구둑 상류유역의 수위조건을 적용하였다.

전술한 바를 근거로 하여, 2003년 9월 11일 ~ 9월 20일까지 발생한 홍수인 매미 사상에 대해서 적용하였다. 2002년 발생한 RUSA에 이어 다음해에 발생한 MAEMI는 더욱 큰 피해를 유발하였다. 당시 적포교지점으로 유입하는 유량도 11,600 CMS 규모의 상당한 양이 유입되고 있었으며

지류에서도 많은 양의 유량이 측방향으로 유입되고 있었다. 당시 유입되는 유량양상은 9월 12일에서 16일 사이에 집중적으로 유입하였으며 이는 측방유입에서도 비슷한 시간대에 최대유입이 되었다. 당시 남강유역 및 밀양강의 유입량규모는 각각 3,432 CMS, 3,160 CMS로서 예년의 홍수규모에 비해서 상당히 큰 유입량이 발생하였다. 당시에 관측된 하구둑의 조위양상도 일정한 양상이 아닌 상당히 불규칙한 형태로 관측이 되고 있으며 이는 조위영향을 직접적으로 받는 삼랑진지점에서 가장 민감하게 작용하게 된다(그림 1~2). 모형에서는 계산의 정확성을 가지기 위해서 매개변수를 조정하게 되는데 수리학적 모형에서는 주로 조도계수를 보정하게 된다. 그러나 경계조건의 불확실성을 많이 내포한 경계조건의 경우, 실측치와 계산치를 맞추기 위해서 수행하는 매개변수의 조정도 한계가 있을 수가 있다. 그림 3~4는 각각 진동지점과 삼랑진관측소에서의 관측치와 계산치를 비교한 결과이다. 그림에서 나타난 바와 같이 진동지점에서는 관측치의 수위양상과 일치하고 있으며 계산값도 큰 차이를 나타내지 않고 있다. 이번 사상에 대해서도 진동지점에서는 계산수위가 관측수위보다 조금 낮게 산정이 되고 있다. 대체적으로 0.5m 정도의 수위차를 나타내고 있는데, 이 값도 좀더 정확한 유입유량산정과 조위의 정확한 관측치가 수반될 때 좀더 정확한 값을 산정할 수 있을 것이다. 삼랑진지점에서는 계산치가 조금 높게 산정이 되었으며 0.40m의 차이를 가지고 있다. 유량의 상승부에서는 거의 값이 일치하고 있으나 감수부에서는 수위값이 차이를 나타내고 있다. 그러나 저유량의 경우 발생하는 조위의 영향에 따른 수위변화양상과 정량적 값은 실측치와 계산치가 거의 일치하고 있는 것을 확인할 수가 있다.

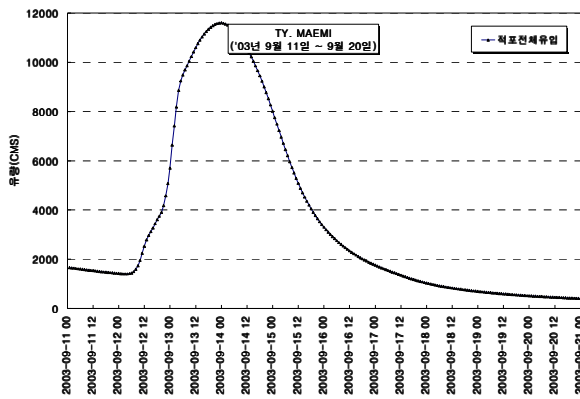


그림 1. 적포교 전체 유입량

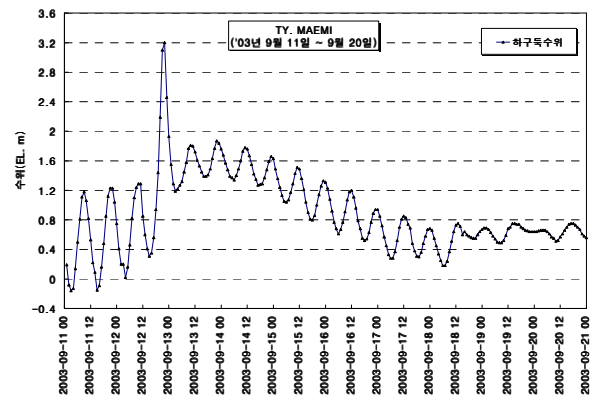


그림 2. 하구둑수위

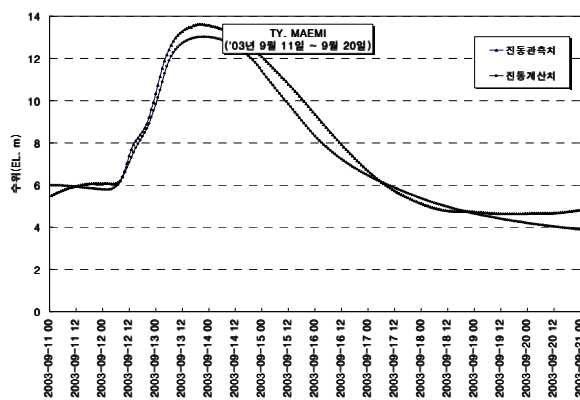


그림 3. 진동에서의 수위변화 비교

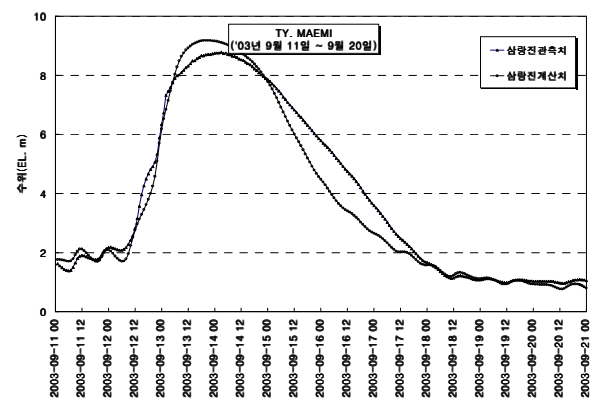


그림 4. 삼랑진에서의 수위변화비교

4. 낙동강 하구둑 방류량 산정방안 검토

4.1 방류량산정을 위한 개선사항

하구둑에서의 (방)유량을 산정하기 위해서 대상구간을 위해 명지지점까지 연장하여 수행했다. 그림 5와 같이 하구둑은 하류 명지지점에서 상류방향 약 10km 지점에 위치해있다. 따라서 모형의 수행결과는 하도 중에 위치한 하구둑의 수리학적 결과를 제시하게 된다. 하구둑의 폭은 475m(주/조절배수문 47.5×10)으로 지정하였다. 앞에서 제시한바와 같이 하구둑에서 명지지점까지 10.0km구간은 가상하도를 적용하였다. 본 과업에서는 대상단면구간을 명지지점까지 확장함으로써 하류경계조건은 명지지점으로 지정하였다. 실제적으로 조위의 값은 외해에 바로 접해있는 명지지점을 입력하는 것이 합리적인 방법이 될 수가 있으며, 산정되는 외해조위를 바로 입력하게 된다. 또한 홍수기때 하구둑의 10개 배수문은 완전개도상황이기 때문에 배수문의 폭을 고려하여 470m로 하폭을 축소하였으며 하구둑 하류지형에서 명지지점까지의 단면은 하구둑 상류지점의 단면형태를 반영하여 가상으로 입력하였다.

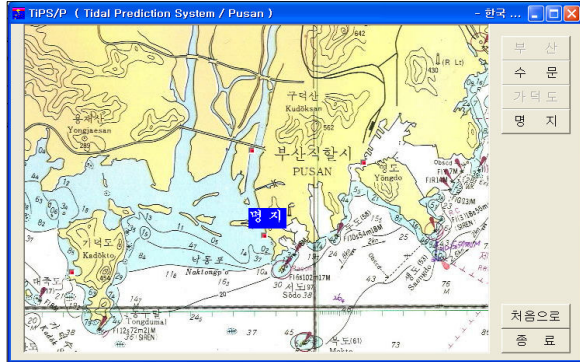


그림 5. 명지지점의 위치

4.2 방류량 산정 방법 비교 및 검토

금번 과업에서 새로이 구축된 단면을 이용하여 하구둑에서 발생하게 되는 수리학적 특성을 분석하였다. 수리학적 모형을 수행하기 위해서는 상, 하류의 경계조건이 필요하게 된다. 본 적용에서는 단면구간을 적포교지점에서 명지지점까지 수행하기 때문에 상류단의 유입유량은 동일하게 적용이 된다. 하류수위경계조건은 상황에 따라 3가지 경우에 대한 변화를 지정하였는데, 그림 000와 같다. 하구둑하류 관측수위와 명지의 관측수위는 수위비교를 하면 거의 유사한 값을 도출하고 있었다. 그리고 모형의 검증을 위해서 적용된 사상은 2003년 9월에 발생한 MAEMI의 홍수사상이 적용되었다.

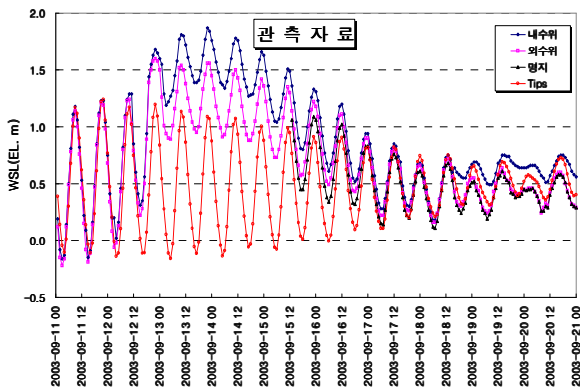


그림 6. Case별 관측/예측조위

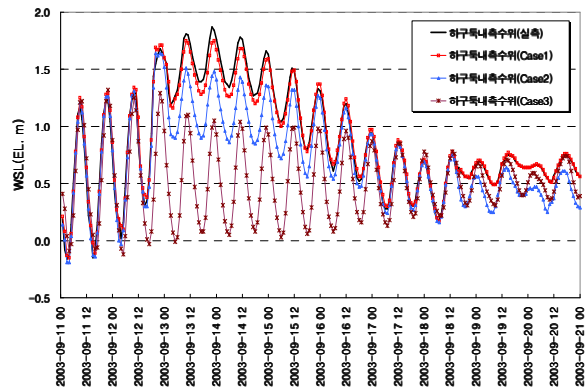


그림 7. 하구둑 상류 수위변화

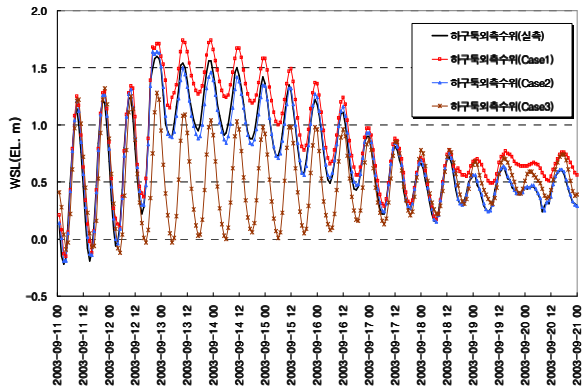


그림 8. 하구둑 하루 수위 변화

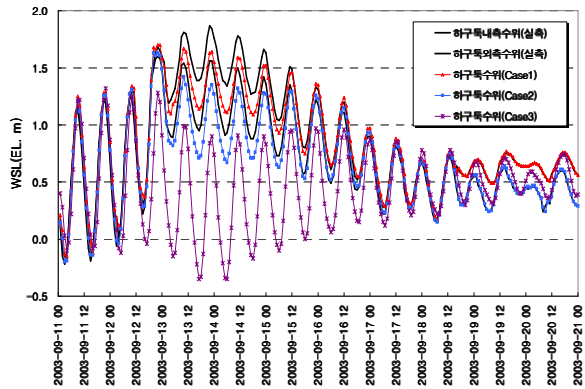


그림 9. 하구둑 지점 수위 변화

현재 부산권관리단에서 적용하고 있는 하구둑 방류량은 NEDECO에서 제시한 방류량산정식을 사용하고 있다. 이것은 Full Open의 경우 정확도가 저감되는 것으로 판단되어진다. 그림에서 나타난 바와 같이 각 경우별 하구둑의 방류량은 각각 차이를 나타내고 있다. 모든 경우의 경계조건들은 모두 의미가 있는 조건들로서 계산상에 어떻게 적용되는가에 따라서 방류량 또는 하구둑에서의 수위도 조금씩 차이가 발생하고 있다. 결국 하구둑에서의 정확한 방류량이 실측되어지거나 신뢰성 있는 방류량 값이 제시된 후 본 연구에서 제시한 부정류 해석 모형에 의한 방류량을 보정 및 검증과정을 거친 후 실무에 적용한다면 더욱 합리적인 값을 도출할 수 있을 것으로 판단된다.

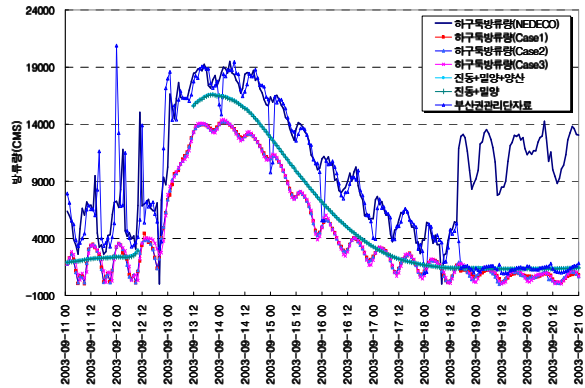


그림 10 하구둑 지점 유량 변화

5. 결론

본 연구는 수문학적 홍수추적과정이 일반화된 낙동강 유역의 하도구간에서 수리학적 홍수추적 모형인 FLDWAV를 적용함으로써 이 유역에 대한 동역학적 홍수추적모형의 적용성을 입증하였으며, 더욱 정교한 홍수해석을 실시할 수 있었다. 하구둑에서의 방류량 산정방법을 검토하기 위해서 다양한 경우를 선정하여 수행하였다. 현재 부산권관리단에서 사용하는 NEDECO 방정식은 상하류의 수위차만을 고려하여 산정되기 때문에 운영하는데 문제는 없지만 좀더 정확한 산정방법이 필요하게 된다. 하루 경계조건을 명지지점까지 확장함으로써 부정류 모형의 수행을 통하여 하구둑에서의 수위 또는 (방)유량을 산정할 수 있는 방법을 제시하였다.

참고문헌

Fread, D. L. and Lewis, J. M. (1998). NWS FLDWAV MODEL, Theoretical Description and User Documentation, Hydrologic Research Laboratory Office of Hydrology, National Weather Service(NWS), NOAA.