

수중보 흐름의 모의를 위한 FLDWAV 모형의 개선

Enhancement of FLDWAV Model for the Simulation of Flow at Submerged Weirs

전경수*, 김진수**, 이상호***
Kyung Soo Jun, Jin Soo Kim, Sang Ho Lee

요 지

한강 하류부의 잠실 및 신곡 수중보가 흐름에 미치는 영향을 적절히 모의할 수 있도록 FLDWAV 모형을 수정, 개선하였다. 고정보 측에서 발생하는 월류형 흐름에 대해서는 월류 유량 관계식을, 가동보 측에서의 하도형 흐름에 대해서는 Manning 형의 유량관계식을 각각 적용함으로써 복합적인 형태의 수중보 흐름을 모의하도록 하였다. 월류 유량식으로는 수중 위어형 및 자유 월류형 흐름에 대한 식들이 적용 가능하며, 가동보 개방 시 또는 미개방 시의 흐름을 모두 모의할 수 있다. 모형의 적용성을 검증하기 위하여 수중보 지점에서의 다양한 조건에 대하여 계산을 수행한 결과, 각 경우에 대한 배수효과가 잘 모의되었다. 평수시 흐름에 대한 모의 기능을 검사한 결과, 수중보의 존재로 인한 수위의 불연속성이 잘 모의되었다.

핵심용어 : FLDWAV 모형, 수중보, 한강, 배수효과

1. 서 론

한강 하류구간의 홍수 시 및 평수기 흐름에 가장 큰 영향을 미치는 하천구조물은 잠실 및 신곡 수중보이다. 잠실 수중보는 1982년부터 추진된 한강종합개발사업에 따른 상시수위 저하로 예상되는 제반 문제점을 해결하기 위하여 1986년에 건설되었다. 즉, 한강의 일정수위 및 수심을 유지하여 하천 경관을 개선하고, 수상이 용의 활성화 및 기존 수리구조물의 기능 보호를 위하여 건설된 하천시설물로서 잠실대교 직하류 지점에 위치하고 있다. 고정보와 가동보의 복합보로서, 가동보는 수세(flush)를 위하여 평시에는 주기적으로 부분 개방을 하고, 유량이 1500 m³/s 이상이 되면 완전 개방하도록 되어 있다. 신곡 수중보는 잠실 수중보와 마찬가지로 한강개발사업 중 하도 정비로 인한 상시 수위의 저하로 발생하는 이수상의 문제점과 연안지대의 지하수위 변동으로 인한 지반침하 문제, 연안 농경지의 용수공급 문제, 수리 구조물에 발생하는 제반 문제를 해결하고, 하천공간을 이용하여 인공호반을 조성, 도시 경관을 극대화하려는 목적으로 건설되었다. 잠실 수중보와 마찬가지로 고정보와 가동보의 복합형으로서, 서해안 조위의 영향을 크게 받는 지점에 위치하여 조위 상승에 따라 역방향 흐름이 발생하기도 한다.

현재 한강 홍수 통제소의 수리학적 하도추적 시스템은 미국 기상청의 FLDWAV(구 DWOPER) 모형(Fread와 Lewis, 1998)을 기반으로 하고 있다. FLDWAV 모형은 상류와 사류의 혼합류, 댐 붕괴 홍수과, 측방 월류, 저류지, 폐경계 구간을 포함하는 하도에 대한 흐름 계산 등 다양한 기능을 갖춘, 수지형 하천 수계에 대한 종합적인 부정류 계산모형으로서 국내에서 널리 사용되고 있다. 현재 FLDWAV 모형에는 상기한 바와 같은 수중보 흐름의 수리학적 특성을 반영할 수 있는 모의 기능이 없다. 따라서 이러한 기능을 갖춘 새로운 모형의 도입을 생각할 수 있으나, 그에 따른 시스템의 재구성에 상당한 기간과 노력이 요구될 뿐만 아니라, 기

* 정회원 · 성균관대학교 대학원 토목공학과, 부교수

** 정회원 · 성균관대학교 공과 대학 토목환경공학과, 석사과정

*** 정회원 · 부경대학교 건설공학부, 부교수

존의 모형이 지니고 있는 여타의 기능들을 잃게 되는 문제점이 있다. 이러한 점을 감안한다면 기존의 FLDWAV 모형에 수중보 흐름 모의 기능을 추가하는 것이 현실적인 개선책이 될 수 있다. 현재 한강 홍수통제소의 모형은 잠실 수중보의 경우 과거 홍수사상에 대한 모의계산으로부터 산정된 수중보 지점 수위가 관측수위를 가장 잘 근사시킬 수 있도록, 수위-유량 관계를 도출하여 사용하고 있다(한강홍수 통제소, 1994; 해양수산부, 2001). 그러나 현재 설치되어 있는 수중보의 제원 또는 운영방식의 변화, 새로운 하천 구조물의 설치 등으로 인하여 수중보에서의 흐름조건이 바뀔 경우에는 현재 도출되어 있는 수위-유량 관계를 적용할 수 없다는 문제가 있다. 조위의 영향으로 역방향 흐름이 발생할 수 있는 신곡 수중보의 경우에는 이러한 방법을 사용할 수 없으며, 따라서 현재 신곡 수중보의 경우에는 월류 표고를 하상의 표고로 간주하여 계산을 수행하도록 되어 있다. 또한 수리학적 계산모형의 주된 기능이 홍수 시의 흐름계산이기는 하지만, 수중보 상류 및 하류의 흐름이 단절될 수 있는 평수 시에 대한 모의 기능까지를 고려한다면 수중보 흐름에 대한 수리학적 모의 기능이 개선이 요구된다. 따라서 본 연구는 잠실 및 신곡 수중보에서의 다양한 흐름 양상에 따른 모의가 가능하도록 FLDWAV 모형을 보완, 개선하고자 수행되었다.

2. 수중보 흐름 모의를 위한 FLDWAV 모형의 개선

기존의 FLDWAV 모형을 사용할 경우 잠실 수중보 및 신곡 수중보에서의 흐름을 수리학적으로 모의하는 것이 불가능하다. 따라서 본 연구에서는 이러한 모의 기능이 추가되도록 FLDWAV 모형을 수정하였다. 가동보가 개방되지 않은 상태에서 수중보 양측의 수위가 월류 표고보다 낮아 수중보에 의한 흐름의 불연속이 생기는 경우, 월류 흐름의 방향이 바뀌는 순간 수중보 상류와 하류의 수위가 같아지는 경우 및 자유월류형 역방향 흐름이 발생하는 경우 등 계산수리학적으로 문제가 발생할 수 있는 여러 경우(전경수, 1996)에 대한 처리가 가능하도록 하였다. 이에 대한 상세한 내용은 한국수자원공사(2004a)에 기술되어 있다.

이와 같이 수중보에서의 흐름을 계산수리학적으로 모의할 수 있도록 개선된 FLDWAV 모형을 수행하기 위해서는 내부 경계로서 수중보의 존재 및 그 위치를 인식시키기 위한 변수, 수중보 직상류의 계산점과 직하류의 계산점 간의 거리, 고정보의 길이, 가동보의 길이, 고정보의 정점 표고 및 가동보 지점의 하상 표고와 같은 정보들이 입력되어야 한다. FLDWAV 계산 프로그램은 기본적으로 영미(English) 단위계를 사용한다. 미터(Metric) 단위를 사용하도록 입력할 경우에는 모든 변수를 영미 단위로 변환하여 계산을 수행한 후, 일부 계산결과는 영미 단위 그대로, 일부 결과는 다시 미터 단위로 변환하여 출력한다. 따라서 source program 수정에 있어서 새로운 변수를 정의하여 사용하게 되면 이러한 단위 변환의 문제 때문에 매우 번거롭게 된다. 따라서 가급적 기존 프로그램에 포함되어 있는 변수들을 활용하여 프로그램을 수정하였다.

3. 모형의 적용

3.1 모형의 구성

모형의 대상구간은 팔당댐부터 한강 하구의 월곶 지점까지의 하천구간이다(그림 1 참조). 주요 지천으로 왕숙천, 탄천, 중랑천, 안양천 등이 있으며 황해도 유출되기 직전 임진강과 합류한다. 이들 지천으로부터의 유입량은 기지의 모형 입력 자료로서 부여되었다. 표 1은 모의계산에 사용된 과거의 홍수사상의 기간을 모형의 상류단 경계조건인 팔당댐 방류량의 최대치와 함께 나타낸 것이다.

하천 단면 자료와 각 홍수사상에 대한 팔당댐 방류량 및 지천 유입량 자료는 한국수자원공사(2004a, 2004b)에 상세히 제시되어 있다.

3.2 홍수시 수중보 흐름에 대한 모의 기능 검토

수중보 흐름의 모의 기능을 추가하여 개선된 FLDWAV 모형의 적용성을 검증하기 위하여 홍수사상 1에 대하여 조도계수 $n = 0.0263$ 으로 하여 모의계산을 수행하였다. 하류단 경계조건으로는 월곶 지점에서의 실시간 조위변화를 표준조화함수의 형태로서 부여하였다. 월곶 지점의 조화상수로는 2000년도에 측정된 197일간

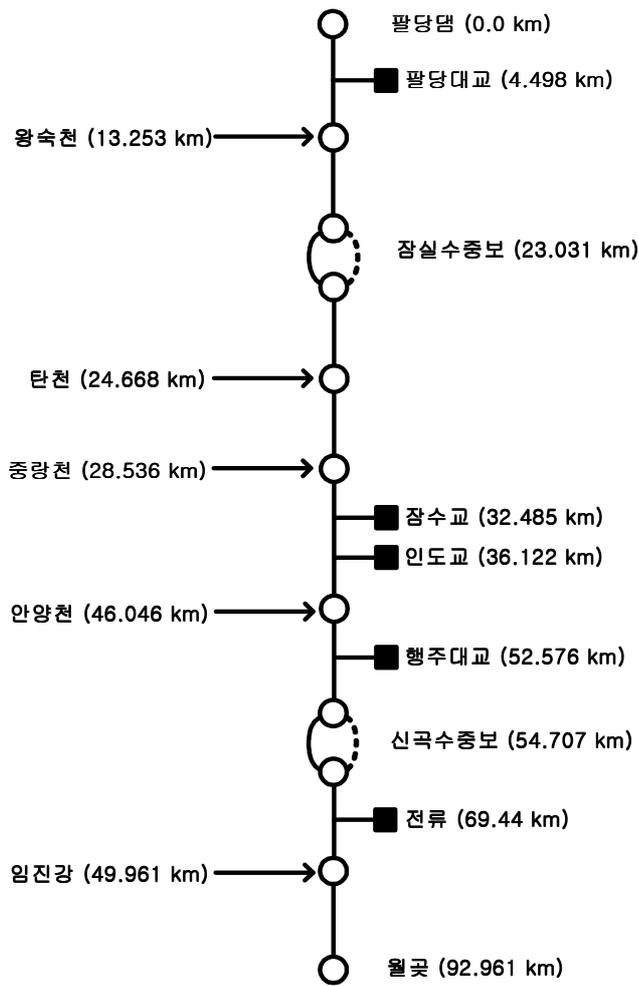


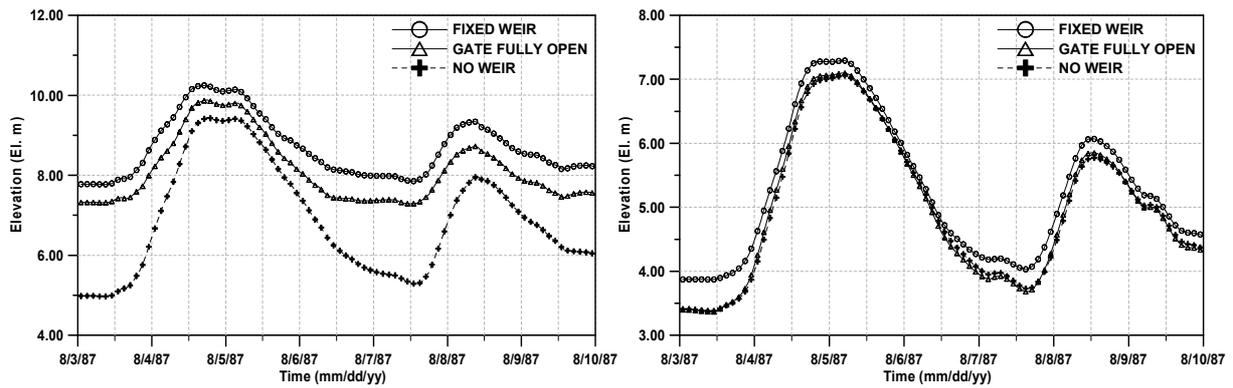
그림 1. 팔당댐 하류구간에 대한 모형의 모식도

표 1. 모의계산에 사용된 홍수사상 자료

홍수사상	기간	팔당댐 최대방류량(CMS)
1	1987/08/03 ~ 1987/08/09	11,068
2	1995/08/23 ~ 1995/08/27	24,956
3	2003/08/23 ~ 2003/08/26	9,369

의 자료를 이용하여 산정된 55개 분조에 대한 추정치들(해양수산부, 2001, 2002)을 사용하였다.

가동보가 완전 개방된 경우, 가동보가 개방되지 않은 경우 및 수중보가 존재하지 않는 가상의 경우 등 세 가지 경우에 대하여 계산을 수행하였다. 각 경우에 대한 모의계산 결과로서 광장 및 행주대교에서의 수위수문곡선을 그림 2에 나타내었다. 광장 지점은 잠실 수중보 상류 약 3 km, 행주대교는 신곡 수중보 상류 약 2 km 지점에 각각 위치한다. 수중보가 존재하지 않는 가상의 경우와 비교하여 수중보의 존재로 인한 배수 효과(backwater effect)가 잘 모의되고 있으며, 가동보가 개방되지 않을 경우의 배수효과가 완전 개방된 경우에 비하여 더 크다는 점 등 기대되는 경향들이 잘 모의되고 있다. 신곡 수중보에 의한 배수효과는 잠실 수중보의 경우에 비하여 작게 나타나고 있는데, 이는 수중보의 정점표고가 상대적으로 낮기 때문이다. 가동보를 개방할 경우 신곡 수중보에 의한 배수효과는 수중보가 존재하지 않는 경우와 비교하여 미미한 것으로 나타나고 있다.



(a) 광장 지점 (b) 행주대교 지점
 그림 2. 광장 및 행주대교 지점 수위 계산결과

3.3 평수시 흐름 모의기능 검토

수중보에서의 다양한 흐름양상을 모의할 수 있도록 개선된 모형의 평수시 흐름 모의기능을 검토하기 위하여 2005년 3월 11일 0시부터 14일 0시까지의 72시간 동안의 기간에 대한 모의계산을 수행하였다. 이 기간 동안의 팔당댐 방류량은 그림 3과 같으며, 이를 상류단 경계조건으로 부여하였다. 하류단 경계조건은 3.2 절에서와 마찬가지로 월곡 지점에서의 실시간 조위변화를 표준조화함수의 형태로서 그림 4와 같이 부여하였다. 잠실 및 신곡 수중보의 가동보가 모두 개방되지 않은 상태에서 고정보 측 월류 흐름만이 존재하는 경우에 대하여, 신곡 수중보 상류구간에 대해서는 조도계수 0.025로, 하류구간에 대해서는 0.015로 각각 부여하여 모의계산을 수행하였다. 그림 5는 신곡 수중보 직상류 및 직하류 지점에서의 수위변화를 시간에 따른 수위 변화를 나타내고 있다. 조석의 영향으로 매일 2회에 걸쳐 하류 측 수위가 상류 측 수위보다 높아지는 것으로 모의되고 있다. 하류 측 수위가 더 높아지는 기간 동안에는 조석이 신곡수중보 상류로 전파하게 되는데, 그림 6은 그 영향이 잠실수중보 직하류까지 미칠 수 있음을 나타내고 있다. 이는 팔당댐 방류량이 $180 \text{ m}^3/\text{s}$ 일 때, 잠수교 지점에서 최대 1.1 m의 조차가 발생한다는 실측결과(김원과 김창완, 1998)로 미루어 볼 때, 납득할 만한 결과라 할 수 있다.

4. 결론

한강 하류부의 잠실 및 신곡 수중보가 흐름에 미치는 영향을 적절히 모의할 수 있도록 FLDWAV 모형을 수정, 개선하였다. 고정보 측에서 발생하는 자유 월류형 및 수중 위어형 월류 흐름에 대해서는 월류 유량 관계식을, 가동보 측에서의 하도형 흐름에 대해서는 Manning 형의 유량관계식을 각각 적용하여, 복합형 수중보 흐름을 모의하였다. 수중보 양측의 수위가 모두 월류 표고보다 낮아 흐름이 존재하지 않는 경우, 수중보 양측의 수위가 같아지는 경우, 자유 월류형 역방향 흐름 등 고정보 측의 다양한 형태의 흐름에 대한 모의가 가능하도록 하였다. 가동보가 완전 개방된 경우, 가동보가 개방되지 않은 경우 및 수중보가 존재하지 않는 가상의 경우 등 세 가지 경우에 대하여 계산을 수행한 결과 각 경우에 대한 배수효과가 성공적으로 모의되었다. 평수시 흐름에 대한 모의 결과, 잠실 및 신곡 수중보에 의한 흐름의 단절과 신곡수중보에서의 역방향 흐름 및 신곡수중보 상류 구간으로의 조석 전파가 재현되었다.

감사의 글

본 연구는 한국수자원공사의 연구과제로서 수행되었으며, 이에 사의를 표한다.

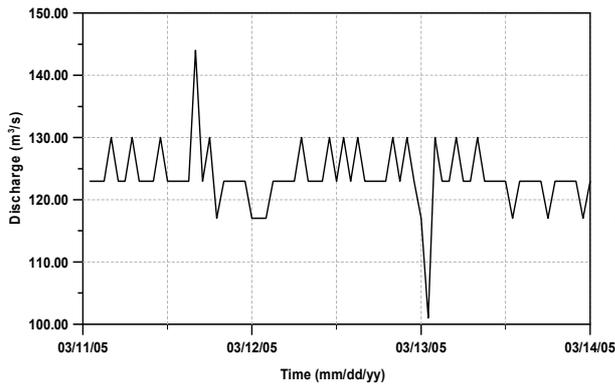


그림 3. 평수기 흐름 모의계산에 사용된 하류단 경계조건(팔당댐 방류량)

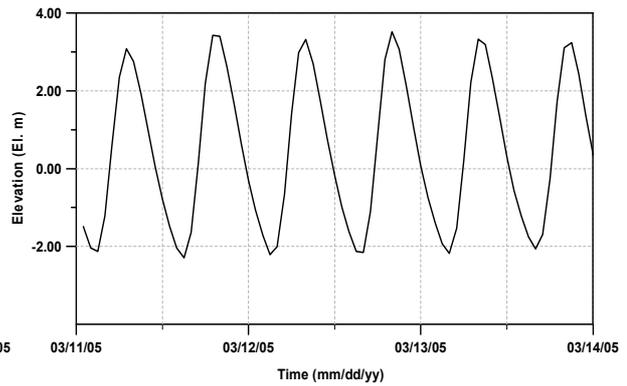


그림 4. 평수기 흐름 모의계산에 사용된 하류단 경계조건(월곶 조위)

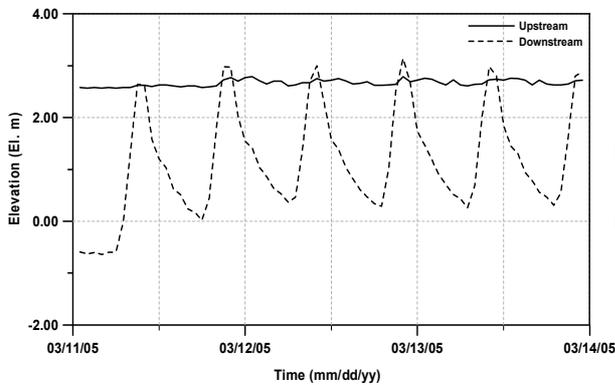


그림 5. 평수시 흐름 모의결과(신곡 수중보 직상류 및 직하류 수위의 시간 변화)

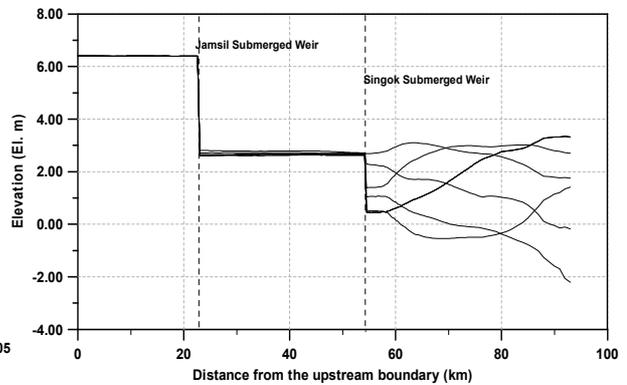


그림 6. 평수시 흐름 모의결과(수면 곡선의 시간변화)

참고문헌

1. 김원, 김창완(1998). 신곡수중보의 영향 및 흐름특성 조사, 건기연 98-097, 한국건설기술연구원.
2. 전경수(1996). 월류흐름을 포함한 부정류 계산모형에 관한 연구, 한국수자원학회지, 제29권 제2호, pp. 153-165.
3. 한국수자원공사(2004a). 한강수계 댐군 홍수조절 연계운영 시스템 구축(1차년도) 보고서.
4. 한국수자원공사(2004b). 한강수계 댐군 홍수조절 연계운영 시스템 구축(1차년도): 부록.
5. 해양수산부(2001). 한강·임진강 유역에 대한 조위영향 연구.
6. 해양수산부(2002). 한강·임진강 유역에 대한 조위영향 연구(II).
7. 한강홍수 통제소(1994). 홍수자료관리시스템 구축.
8. Fread, D.L. and Lewis, J.M(1998). NWS FLDWAV Model, NWS Report, Hydrologic Research Laboratory, NWS Office of Hydrology, NWA, Silver Spring, MD.