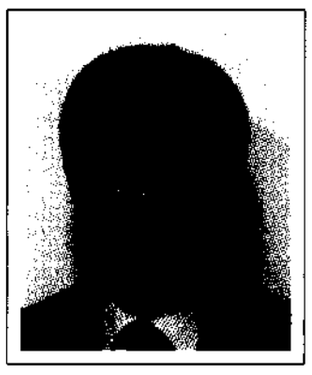
운하건설에 따른 홍수영향 분석

김 진 수 ▸▸
성균관대학교 건설환경시스템공학과 박사과정
sue0851@skku.edu

이 숙 정 ▸▸
성균관대학교 건설환경시스템공학과 박사과정
greenbeing@skku.edu



전 경 수 ▸▸
성균관대학교 사회환경시스템공학과 교수
ksjun@skku.edu

1. 서론

2007년 말 제 17대 대통령 선거 직후부터 본격화되기 시작한 한반도 대운하 사업에 대한 논란이 끊임없이 계속되고 있다. 한반도 대운하는 기존의 하천시스템에 대대적인 변화를 초래할 사업으로서 이수, 치수, 수질관리 등 하천관리의 모든 기능적 요소들에 미치는 영향이 우선적으로 검토되어야 함에도 그 동안의 사회적 논의는 물류수송 관련 경제성과 환경성을 위주로 한 찬반 논쟁에 치우쳐 왔다. 최근에는 수자원 관련 제반 문제들로 논쟁의 범위가 확대되어 있으나, 그 기조는 여전히 찬반 논쟁에서 벗어나지 못하고 있다. 수자원 관리의 기능요소들은 서로 상충되는 측면이 강하여, 하천 시스템에 어떤 변화를 주었을 때 모든 기능이 향상되기를 기대하기는 일반적으로 매우 어렵다. 그럼에도 대운하 사업을 추진하는 측에서는 사업의 긍정적 효과만을 강조하고, 해결되어야 할 문제점을 제시하거나 제기된 문제점들을 적극적으로 인정하고 검토하는데 인색하여 불신을 초래하였으며, 반대 측에서는 깊이 있는 전문지식에 근거한 과학적이고 합리적인 분석결과에 의해서라기보다는 이러한 불신과 사업이 추진되지 말아야 한다는 믿음 때문에 부정적인 시각으로 일관하고 있다.

대운하 건설에 따른 수자원 분야 현안 중 수질문제와 더불어 찬반 양측의 주장이 극명하게 대립하고 있는 것이 운하 건설이 홍수에 미치는 영향에 관한 문제이다. 한강과 낙동강의 중상류 구간은 하상경사가 커서 하천유량을 증가시켜 주운수심을 확보하는 것이 불가능하기 때문에, 하상을 준설하고 주운보들을 설치함으로써 수심을 확보하는 것이 대운하의 기본구상이다. 하상의 준설은 하천수위를 낮추는 효과가 있는 반면, 주운보의 존재는 보 상류 하천의 수위를 높이는 역할을 한다. 따라서 홍수시 주운보 상류 측의 수위상승을 억제하기 위해서는 주운보의 통수능을 증가시켜야 한다. 이를 위해서 보의 일부분은 수문이 설치된 개폐식의 가동보로 설치, 운영되어야 한다. 각종 토론회 자료집과 동영상에 담긴 발표 및 토론 내용을 보면 현재 운하 건설에 따른 홍수위 상승을 주장하는 대운하 반대 측의 학자들은 이러한 점을 충분히 이해하지 못하고 있다. 그들은 댐에서 홍수조절 용량 확보를 위해서 방류를 하듯이 주운보의 수문이 홍수조절 용량 확보를 위한 방류 수단인 것으로, 즉 주운보 상류의 수위를 저하시켜 확보되는 공간으로 홍수를 조절하겠다는 것으로 잘못 이해하여 이에 대

한 반박을 하고 있다. 그러나 폭 600m인 30km의 하도구간의 수위를 1 m 낮춤으로써 확보되는 용량은 5,000m^3/s의 유량을 한 시간 동안 저수할 수 있는 용량에 지나지 않는다. 이러한 오해가 발생한 배경에는 추진 측에서 주운보도 댐처럼 잘 운용하면 홍수를 조절할 수 있다고 언급한 바 있기 때문인 면도 있다.

이렇듯 찬반 양측 간의 의사소통이 원활하지 않은 것은 모두 자신들의 입장에 합치되는 단편적 사실만을 주장하고 상대의 주장을 적극적으로 검토하려 하지 않기 때문이기도 하지만, 보다 근본적으로는 이들의 하천수리학 또는 하천공학 분야 전문성이 결여되어 있기 때문이다. 잠실 수중보가 어떤 식으로 운영되는가를 이해한다면, 전술한 바와 같은 오해가 생길 수 없을 것이다. 심지어는 주운보 직상류의 홍수위가, 주운보에 의하여 증가하는 평상시 수위에 홍수로 인하여 상승하는 수위만큼 산술적으로 더해져 결정되는 것처럼 설명하는 학자도 있는 실정이다. 그런데 이것이 다수의 비전문가들을 고의적으로 오도하려는 것이 아니라, 실제로 본인이 그렇게 믿고 있는 것으로 보인다는 것이다. 후자가 전자보다 더 심각한 문제일 수 있다. 유창한 언변과 함께 홍수폭탄이라는 신조어까지 구사해가며 사실과 거리가 먼 주장을 본의 아니게 설파하고 있는 셈이며, 학자들의 전문성과 제공되는 정보의 질에 대한 판별능력이 결여된 언론에 의하여 일반 국민들에게 여과 없이 전달되고 있는 실정이다. 찬반 의견을 주장하는 것과 전문가를 자처하며 왜곡된 사실을 -그것이 고의든 아니든 관계없이- 주장하는 것은 다른 문제이다. 사업에 반대하는 전문가들도 자신의 주장이 비전문가인 사회 구성원들에게 미칠 수 있는 영향에 대하여 추진 측의 전문가들과 같은 정도의 책임감을 느끼고 신중해야 할 것이다. 주장하는 내용이 자신의 전문성과 거리가 먼 분야에 관련된 것일 경우에는 더욱 그러하다.

저자들이 이 지면을 빌어 이러한 고언을 하는 것은 한반도 대운하 사업을 추진하는 전문가들을 두둔하고자 함이 아니다. 다만, 사업에 찬성하든 반대하든지에 관계없이 하천에서의 물의 흐름을 지배하는 자연법칙은 변함이 없고, 하천 기술자들이 보를 설계하는 기술이 달라지지 않을진대, 이러한 사실들이 왜곡되어서는 곤란하다는 믿음 때문이다. 사회 구성원들을 혼란스럽게 하고 때로는 전문가들에 대한 불신을 초래하는 소모적인 찬반논쟁은 이제 지양되어야 한다. 대부분이 비전문가인 사회 구성원들에게 양질의 정보를 제공할 수 있도록 생산적인 노력을 기울여야 할 때이다. 특히, 공학을 전공하는 전문가들은 계량화된 수치들을 그 근거와 함께 제공함으로써 일반의 이해를 구할 필요가 있다. 한반도 대운하 사업의 시행 여부가 국민의 뜻에 따라 결정된다고 했을 때, 전문가도 한 표이고 비전문가도 한 표이다. 전문가의 바람직한 역할은 자신이 전문가임을 내세워 일반인들을 특정한 방향으로 이끌어가려 의도하기보다는, 그들 스스로 최선의 판단을 할 수 있도록 그 근거가 될 자료를 제공하는 것이다. 이 과정에서 공정하고 치우침이 없어야 하며, 그러기 위해서는 사회적으로 민감한 문제에 대하여 찬성 또는 반대의 입장을 공공연히 취하지 않는 것이 바람직할 수도 있다.

그 동안 수자원 전문가들은 한반도 대운하 사업에 대하여 찬성 또는 반대 입장을 표명하는 것을 자제해 왔을 뿐만 아니라, 계량화된 평가결과를 제시하지도 않아왔다. 이는 이러한 것이 짧은 기간에 가능할 만큼 간단한 일이 아닌 탓도 있지만, 현재까지 공개된 계획안이 사업의 기본구상 수준에 국한되어 있어 전문적인 검토를 위한 -그런 것이 확정되어 있는지도 불분명하지만- 상세 설계안이 가용하지 않기 때문이다. 대운하 건설이 홍수에 어떤 영향을 미치는가에 대한 치열한 찬반토론이 진행될 때 하천수리학 전문가, 홍수 전문가들은 늘 토론장 밖에 있어왔다. 그래서 그러한 전문가들은 원래 따로 있는 것이 아니라고 인식되었는지도 모를 일이고, 급기야 하천 기술자들의 상식과 전혀 다른 주장들이 난무하기에 이르렀다. 이 시점에서 더 이상 못 본 체 침묵으로 일관하는 것은 하천기술자들에 대한 도리도 아니고, 자신이 속한 전문성과 관련된 사안에 대한 정확한 정보를 공공에 알리고 공유할 책무를 소홀히 하는 것이라는 판단에,

그 동안의 검토결과를 정리하여 금번 심포지움에 발표하게 되었다.

하천 또는 수로에서의 흐름에 관한 수리학적 분석을 위해서는 하천 단면 자료를 포함한 지형 자료와 주운보와 같은 수공구조물의 위치(좌표), 규모, 형식 및 운영방안 등에 관한 자료가 요구된다. 현재 한반도대운하에 대한 기본구상안이 기술되어 있는 한반도대운하연구회(2007) 및 추부길(2007) 등을 통하여 가용한 자료는 하도 종단계획 관련자료, 주운수로의 단면제원, 주운보의 개략적 위치 및 주운 관리수위 정도이다. 따라서 여기서는 이러한 가용 자료들을 충실히 반영하고, 그 밖의 자료, 특히 주운보 관련 자료들에 대해서는 여러 경우를 가정하여 분석을 수행하였다. 2006년 7월 홍수를 대상으로 남한강 구간에 대하여 분석을 수행하였으며, 주운보 건설 후 발생하게 될 홍수위와 2006년 당시 홍수위를 비교하는데 초점을 두었다.

2. 계산모형

하천수계의 일반적인 형태는 수지형인 반면 본 연구에서는 폐합형 수계에 관한 부정류 계산모형을 사용하였다. 이는 폐합형 수계 모형이 지천 유입지점, 월류형 수공구조물에서 발생하는 다양한 형태의 흐름을 간편하게 처리할 수 있다는 장점이 있기도 하지만(전경수, 1996), 무엇보다도 주운보에서 발생하는 복합위어 흐름을 모의하기 위함이다. 이에 대하여는 5장에서 상세히 기술하기로 한다. 전산모형은 1차원 비정상 흐름 및 유사이동에 관한 계산 모형으로서 Iowa 수리연구소(Iowa Institute of Hydraulic Research)에서 개발된 CHARIMA 모형(Holly 등, 1990)의 흐름계산 부프로그램을 기반으로 수립되었다.

2.1 계산망의 구성

단일하도의 경우 하도내의 각 계산점에 대하여 그 상류 및 하류의 인접한 계산점들과의 수리학적 관계가 주어진다. 또한 하도내 각 계산점에서 상류단 및 하류단의 두 경계점에 이르는 경로는 유일하며, 따라서 각 계산점에서의 흐름은 이들 두 경계조건에 따라 좌우된다. 이는 수지형 하천수계의 경우에도 마찬가지로서 합류점이 내부경계가 된다는 점만 다를 뿐 상 · 하류 경계에 이르는 경로는 유일하며, 각 계산점에서의 흐름은 이들 두 경계조건만으로부터 결정된다. 그러나 폐합형 수계의 경우에는 어떤 지점으로부터 수계전체의 경계에 이르는 경로가 유일하지 않으며 각 계산점에서의 흐름은 두개 이상의 여러 지점에서의 흐름조건에 따라 결정된다. 따라서 폐합형 수계에 대한 계산모형은 절점(node), 수로(link) 및 계산점(computational point)으로 구성된다. 절점은 두개 이상의 수로가 연결되는 지점(합류점, 분기점 등) 또는 경계점에 위치하며 수로는 한 절점에서 인접 절점에 이르는 흐름경로를 나타낸다. 결국 수지형 수계는 폐합형 수계의 특별한 경우에 속하며, 단일하도의 경우에는 한개의 수로만이 존재하게 된다. 계산점은 수위, 유량 등의 흐름변수들이 계산되는 지점으로서 각 수로에는 최소 2개의 계산점이 위치한다.

2.2 지배방정식

폐합형 수계에 관한 계산모형의 지배 방정식은 수로 지배방정식과 절점 지배 방청식들로 구성된다. 수로 지배방정식은 하도형 흐름에 관한 것과 월류형 흐름에 관한 것으로 구분되는데, 하도형 흐름에 관한 수로 지배방정식은 다음식 (1) 및 (2)와 같은 연속방정식 및 운동량방정식으로 구성된다.

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \qquad (1)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}\left(\alpha \frac{Q^2}{A}\right) + gA\frac{\partial y}{\partial x} + gA\frac{Q|Q|}{K^2} = 0 \qquad (2)$$

여기서 $Q = Q(x,t)$ 및 $y = y(x,t)$는 각각 유량과

수위를 나타내며, A와 K는 흐름단면적과 통수능으로서 각각 y의 함수이다. α는 운동량 보정계수, g는 중력가속도이며, x와 t는 각각 공간 및 시간좌표를 나타낸다. 통수능 K는 Manning의 조도계수(n)를 사용하면 다음과 같이 나타내진다.

$$K = \frac{1}{n} A R^{2/3} \tag{3}$$

여기서 R은 동수반경(hydraulic radius)이다.

월류 구조물 양단의 격자점들을 각각 i 및 (i+1)이라 하면 월류형 흐름에 관한 수로 지배방정식은 다음과 같은 연속방정식 (4)와 월류유량 관계식 (5a) 및 (5b)로 구성된다(그림 1 참조).

$$Q_i = Q_{i+1} \tag{4}$$

$$|Q_i| = \mu b_w \sqrt{2g} \sqrt{y_u - y_d}\,(y_d - y_w) \quad (5a)$$

$$\left(y_d - y_w \geq \frac{2}{3}(y_u - y_w) \right)$$

$$\mu b_w \frac{2}{3} \sqrt{\frac{2g}{3}} (y_u - y_d)^{3/2} \quad (5b)$$

$$\left(y_d - y_w < \frac{2}{3}(y_u - y_w) \right)$$

여기서 μ는 월류유량계수, y_w는 월류부의 바닥표고, bw는 월류부의 바닥폭이다. y_u 및 y_d는 각각 월류 흐름의 상류 및 하류측 수위로서, 계산점 i에서 (i+1) 방향으로 월류하는 경우에는 $y_u = y_i$, $y_d = y_{i+1}$ 이며, 역방향인 경우에는 그 반대이다. Q_i 및 Q_{i+1}은 월류유량을 나타낸다.

각 절점 j에 대한 연속방정식은 다음과 같다.

$$\sum_{k=1}^{L(j)} Q_{j,k} + Q_{ext}(j,t) = \tag{6}$$

여기서 J는 절점의 총수, L(j)는 절점 j에 연결된 수로의 총수이며, Qext(j,t)는 시각 t에서의 기지의 외부 유출입량으로서 유입량일 경우 양의 값을 가지며, 지천 유입량, 상류단 경계에서의 유입량 등이 여기에 포함된다.

또한 어떤 절점에 연결된 각 수로의 끝단 계산점들은 동일한 지점에 위치하므로 다음과 같은 등수위 조건이 성립된다.

$$y_{j,k} = y_j \quad , \quad k = 1, \cdots, L(j), \quad j = 1, \cdots, J \tag{7}$$

여기서 $y_{j,k}$는 절점 j와 k를 연결하는 수로의 절점 j 측 끝단 계산점에서의 수위를 나타낸다.

2.3 수치해법

각 절점 및 수로에 대한 지배방정식이 비선형이므로 계산망 전체적으로는 비선형 연립방정식을 이룬다. 따라서 각 계산점에서의 매시각 수위 및 유량은 Newton-Raphson 방법에 의하여 계산된다. Newton-Raphson 방법의 적용에 따른, 보정량에 관한 선형 연립방정식에 대해서는 폐합형 network에 대한 double-sweep 알고리듬에 의한 해석이 가능하다. Newton-Raphson 방법에 의한 1회 반복계산은 Newton-Raphson 보정량방정식의 계수산정, 수로에 대한 forward sweep, 절점 수위보정치의 계산(matrix double-sweep) 및 수로에 대한 return sweep 등 크게 네 단계로 구성된다. 이들 각 단계에 관한 상세한 내용은 Cunge(1975) 및 Holly 등(1990)에 기술되어 있다.

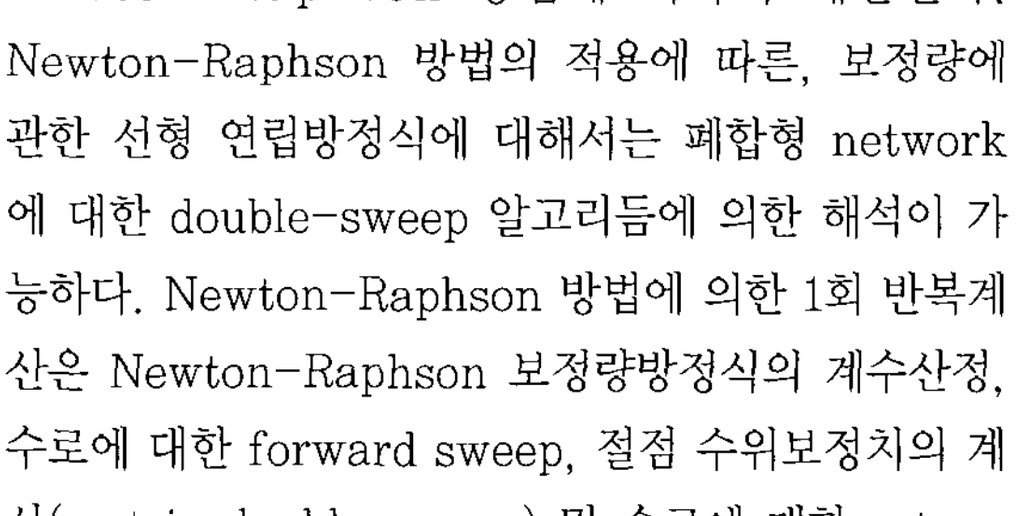


그림 1. 월류형 흐름에 관한 정의도

3. 주운수로 건설 후의 하도단면 및 주운보 자료의 구축

한반도대운하연구회(2007) 및 추부길(2007)의 남한강 구간에 대한 계획안에 따르면 선박 운항에 필요한 주운 수심은 약 6m이며, 이를 위하여 여주보 및 강천보 두 개의 주운보 설치를 계획하고 있다(그림 2 참조). 주운을 위한 관리수위, 하상 종단 경사 및 주운수로의폭은 구간별로 다른데, 강천보에서 충주조정지댐의 구간의 관리수위는 El. 49.0m이며, 하상 종단 경사는 1/13,000이다. 여주보에서 강천보 구간은 관리수위 El. 35.0m, 하상 종단 경사 1/15,000이며, 팔당댐에서 여주보 구간은 관리수위 El. 25.0m, 하상 종단 경사 1/17,000이다. 주운수로의 폭은 여주보 하류 구간에서는 300m이며, 상류 구간에서는 200m이다.

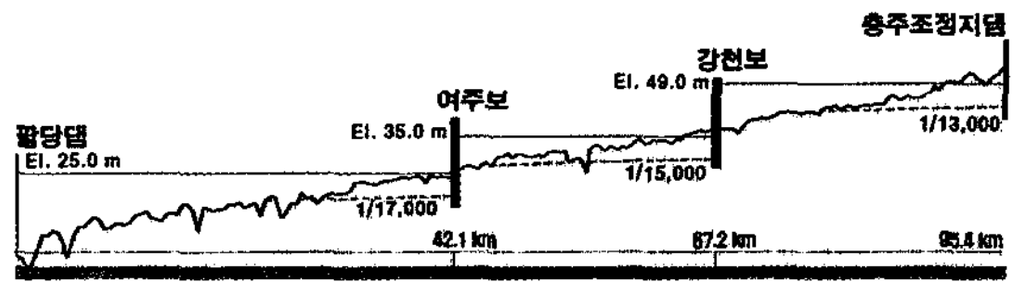


그림 2. 운하건설 전 · 후의 최심하상고 및 각 구간별 관리수위 (한반도대운하연구회, 2007)

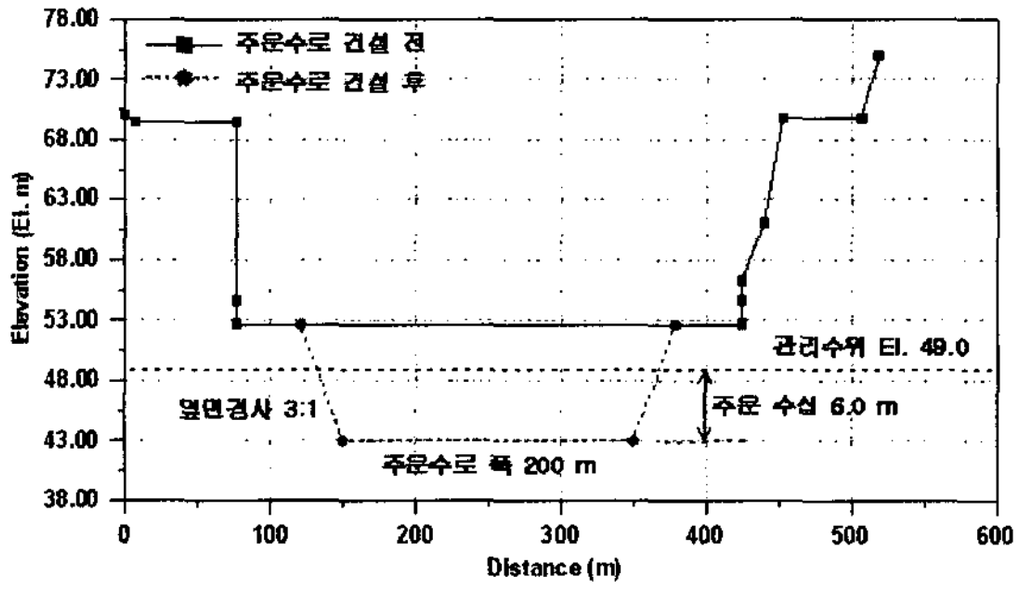


그림 3. 주운수로 건설 후의 하도단면 (충주조정지댐 직하류 지점)

이와 같은 계획안에 부합하도록 기존의 하천단면 자료로부터 운하 건설 후의 하천 단면자료를 다음과 같이 생성하였다. 우선 충주조정지댐, 강천보 및 여주보의 직하류, 즉 각 구간의 상류단 지점에서의 주운수로의 하상고는 관리수위보다 주운수심만큼 낮은 것으로 하였다. 예를 들어 충주조정지댐 직하류의 관리수위는 El. 49.0m이며, 주운 수심은 6m이므로 이때의 주운수로 하상고는 El. 43.0m가 된다(그림 3 참조). 이와 같이 각 구간의 상류단 지점에서의 주운수로의 하상고가 결정되면, 구간별 하상 종단 경사와 단면간 거리에 따라 각 단면이 위치한 지점에서의 주운수로의 하상고를 알 수 있다(그림 2 참조). 주운수로의 하상고가 결정된 후에는 각 구간별로 계획된 주운수로의 단면이 확보되도록 각 지점에서 준설하는 것으로 하여, 주운수로 건설 후의 단면을 결정하였다. 주운수로의 단면형은 옆벽경사 3:1인 사다리꼴로 하였다.

남한강 구간의 주운 수심을 유지를 위한 주운보로서 여주보와 강천보를 설치하도록 계획되어 있으나, 주운보의 형식 및 제원을 포함하는 상세 설계안은 가용하지 않은 상태이다. 한반도대운하연구회(2007)에 따르면 여주보와 강천보는 팔당댐으로부터 각각 42.1 및 67.2km 상류 지점에 위치하는 것으로 되어 있다. 본 연구에서는 횡단면 자료가 존재하는 지점들 중 이들 위치에 가장 가까운 지점에 주운보가 설치되는 것으로 가정하였다. 여주보와 강천보 모두 수문이 설치된 개폐형 가동보와 고정보의 복합형으로 가정하였다. 고정보의 월류표고는 관리수위보다 1m 높은 것으로, 즉 강천보의 경우 El. 50.0m로, 여주보의 경우 El. 36.0m로 가정하였다. 가동보와 고정보를 포함하는 주운보 전체 폭은 강천보 550m, 여주보 670m로 하였다. 그림 4에 이와 같이 가정된 주운보의 예로서 여주보의 형상을 설치지점의 단면자료와 함께 나타내었다.

4. 평수시 흐름계산

운하 건설이 평수시 흐름에 미치는 영향을 알아보기 위하여 남한강 구간에 대한 흐름 계산을 수행하였다. 평수시 흐름에 대한 대표 유량으로서 2006년 10월부터 2007년 5월간의 평균유량을 사용하였다. 청

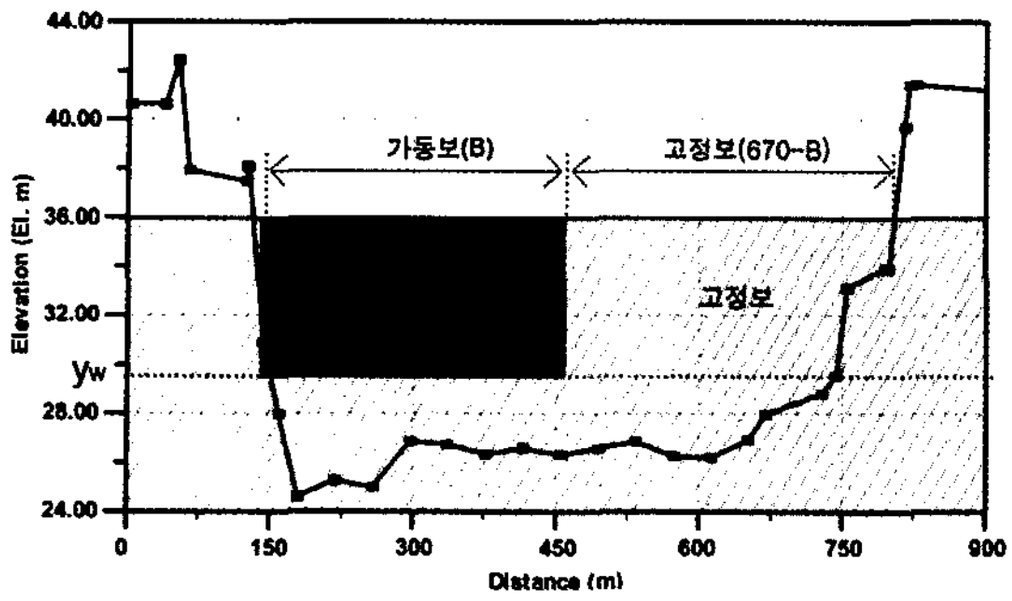


그림 4. 본 연구에서 가정한 주운보의 형태 및 제원 (여주보)

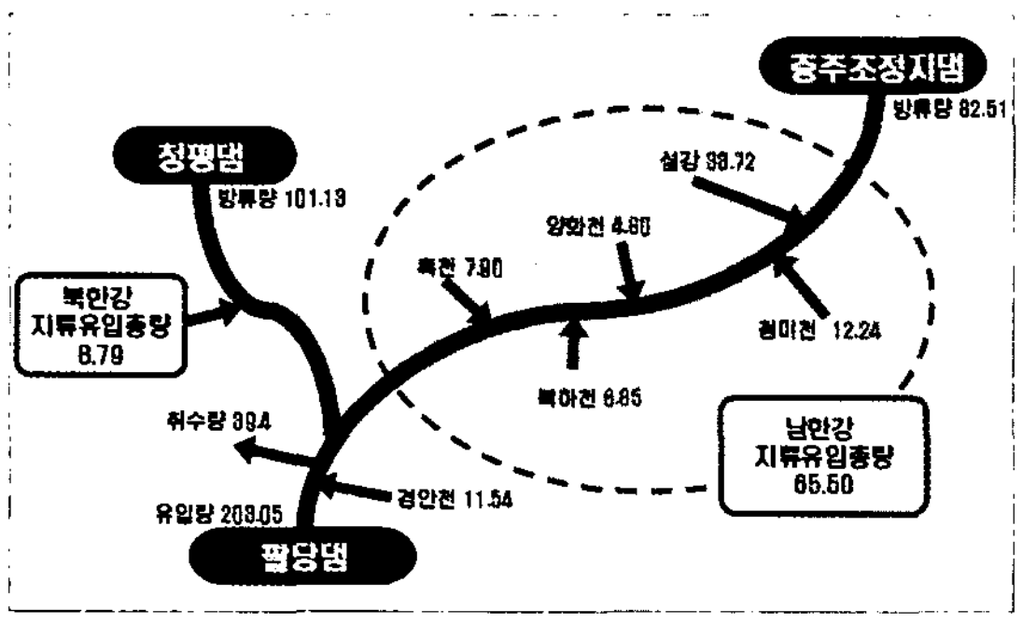


그림 5. 2006년 10월부터 2007년 5월 간의 평균유량

평댐 및 충주조정지댐 방류량, 팔당댐 치수량 및 팔당댐 유입량으로부터 청평댐과 팔당댐 간의 지천 유입유량, 충주조정지댐과 팔당댐 간의 지천 유입유량 및 경안천 유입유량의 합을 구하고 이를 각 지천의 점유유역 면적비로 배분하여 지천 유입량을 산정하였다.남한강 구간의 지천으로는 유역 면적이 비교적 큰 섬강, 청미천, 양화천, 복하천 및 흑천을 포함하였다. 이와 같은 물수지 분석 결과는 그림 5에 나타낸 바와 같으며, 이를 입력 자료로 하여 HEC-RAS 모형(HEC, 2002)에 의한 부등류 계산을 수행하였다.

충주조정지댐-강천보, 강천보-여주보, 여주보-팔당댐의 3개 구간으로 나누어 각각 계산을 수행하였다. 하류단 경계조건으로는 각 구간별로 주운수로의 관리수위를 사용하였다. 주요 지점에 대한 운하 건설 전 · 후의 수위 계산결과를 표 1에 정리하여 나타내었다. 주운보와 인접한 상류 구간에서는 운하 건설 후 수위가 상승하며, 하류 구간에서는 수위가 하강하는 것을 알 수 있다. 그림 6에 이와 같이 계산된 수면 곡선을 운하건설 전, 즉 현재의 하천 단면에 대하여 계산된 결과와 비교하여 나타내었다.

5. 대운하 건설에 따른 홍수영향 분석

대운하 건설이 하천 홍수에 미치는 영향을 분석하기 위하여 운하 건설 전 · 후에 대하여 각각 계산 모형을 수립하였다. 수립된 모형들을 2006년 7월 홍수(노재화와 김휘린, 2006)에 적용하여 모의계산을 수행하였다. 2006년 7월 홍수는 한강홍수통제소 등 유관기관 수자원 기술자들의 필사적인 홍수방어 노력으로 남한강 구간에 별다른 피해를 입히지는 않았으나, 1990년 홍수에 맞먹는 대규모 홍수였다. 모의기간은 07월 14일 16시 정각부터 07월 21일 09시까지이다.

5.1 운하 건설 전

모형의 구성은 상류단인 충주 조정지댐 및 청평댐, 하류단인 팔당댐, 유입지천인 경안천, 흑천, 복하천, 양화천, 청미천, 섬강 등 6개의 지천 유입지점과 남한강과 북한강의 합류점에 각각 절점이 위치하도록 하였으며, 절점들은 인접절점들과 각각 한 개의 수로로 연결하였다(그림 7 참조). 모형의 상류단 경계조건인

표 1. 주요 지점별 평수위 계산결과의 비교 (El.m)

	충주조정지댐 직하류	강천보 직상류	강천보 직하류	여주대교	여주보 직상류	여주보 직하류
운하 건설 후	49.01	49.00	35.01	35.00	35.00	25.00
운하 건설 전	54.08	38.22	38.09	32.82	26.86	26.81
수위 차	-5.07	10.78	-3.08	2.18	8.14	-1.81

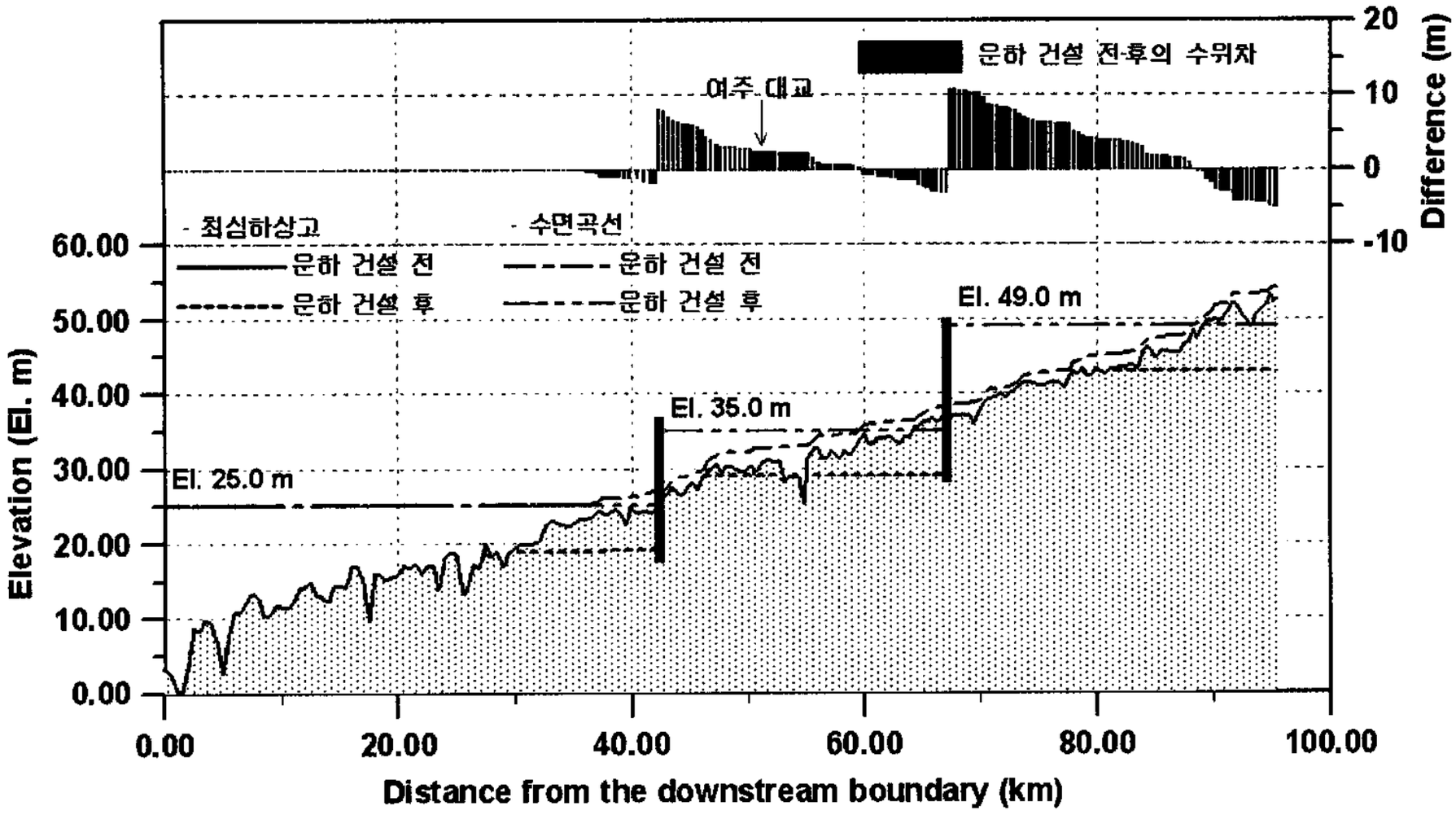


그림 6. HEC-RAS 모형에 의한 평수위 계산결과

충주조정지댐과 청평댐의 홍수 기간 내의 최대 방류량은 충주 조정지댐의 경우 13,515m³/s이며, 청평댐은 11,497m³/s이다. 하류단 경계조건인 팔당댐 수위는 홍수 기간 중 관리수위인 El. 25.0m으로 일정하게 부여하였다. 지천 유입량은 각 지천에서의 관측지점에서의 수위 자료와 수위-유량 관계식을 사용하여 유입유량으로 환산하였으며, 수위 관측소가 존재하지 않는 유역의 경우에는 경안천과의 유역 면적비를 이용하여 유입유량을 산정하였다.

여주대교 지점에서의 수위 관측 자료를 이용하여 모형의 매개변수인 조도계수를 추정하였다. 모형의 정확한 보정을 위해서는 가변매개변수 모형 및 이에 따른 최적 추적 모형을 적용할 수도 있으나(김한준과 전경수, 2004; 황의준과 전경수, 1998), 본 연구의 목적이 운하 건설 전·후의 상대적인 비교이므로 상대적으로 간단한 단일 조도계수 모형을 사용하였으며, 시산에 의하여 조도계수를 추정하였다. 매개변수 추정결과 보정된 조도계수 값은 0.0315 이며, 그림 8은 모형의 계산결과로서 구해진 각 지점에서의 홍수기간 중 최대 수위를 나타낸 것이다.

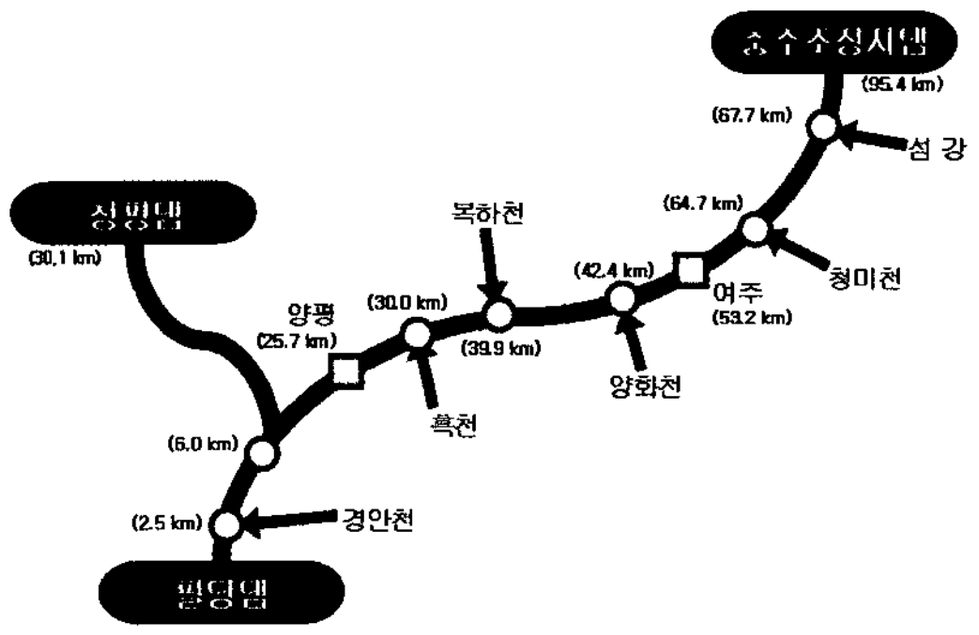


그림 7. 운하 건설 전 하도에 대한 계산모형의 모식도

5.2 운하 건설 후

운하 건설 후의 남한강 구간의 홍수위를 계산하기 위하여 모형을 수립하였다. 강천보와 여주보 지점을 제외한 나머지 대상 하천 구간에서의 모형의 구성은 운하 건설 전과 동일하며, 주운보 지점에서는 가동보와 고정보 양측 모두에서 월류 흐름이 발생하는 복합위어흐름(composite weir flow) 모의가 가능하도록 모형을 구성하였다. 이를 위하여 주운보가 위치한 지점의 상·하류단에 절점을 추가하였으며, 두 절점사이는 가동보 측과 고정보 측에서의 월류 흐름을 각각

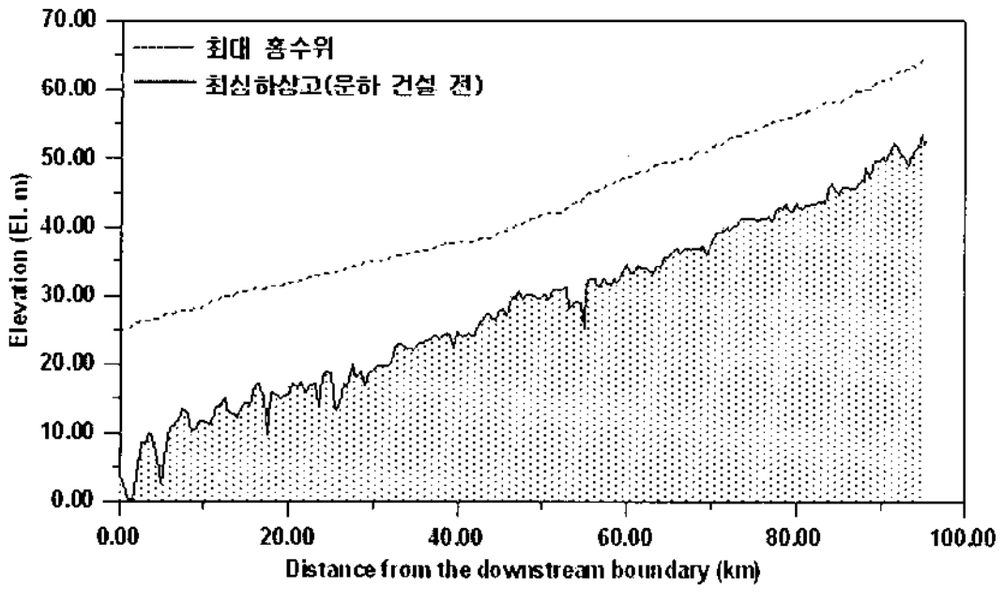


그림 8. 남한강 구간 각 지점에서의 최대 홍수위 (운하 건설 전)

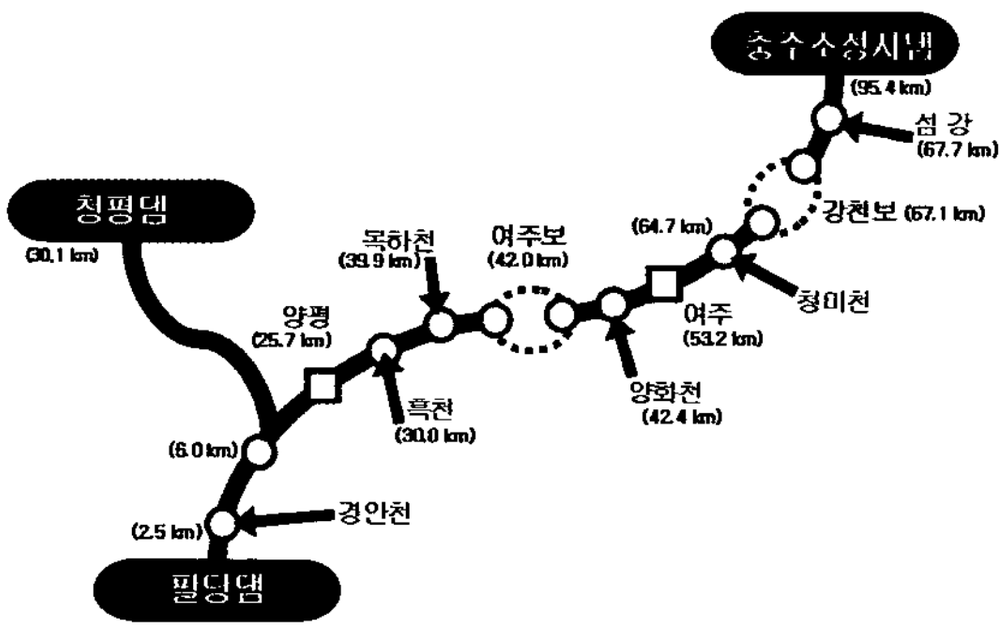


그림 9. 운하 건설 후에 대한 계산 모형의 모식도

모의하도록 두 개의 수로로 연결하였다. 이에 따른 모형의 모식도는 그림 9와 같으며, 조도계수는 5.1절에서 추정된 0.0315를 동일하게 사용하였다.

(1) 예비방류 효과분석

운하 건설 후 평수시에는 가동보의 수문을 개방하지 않은 상태에서 관리수위를 구간별로 유지하게 된다. 이때 홍수가 발생하기 전 가동보를 개방할 경우

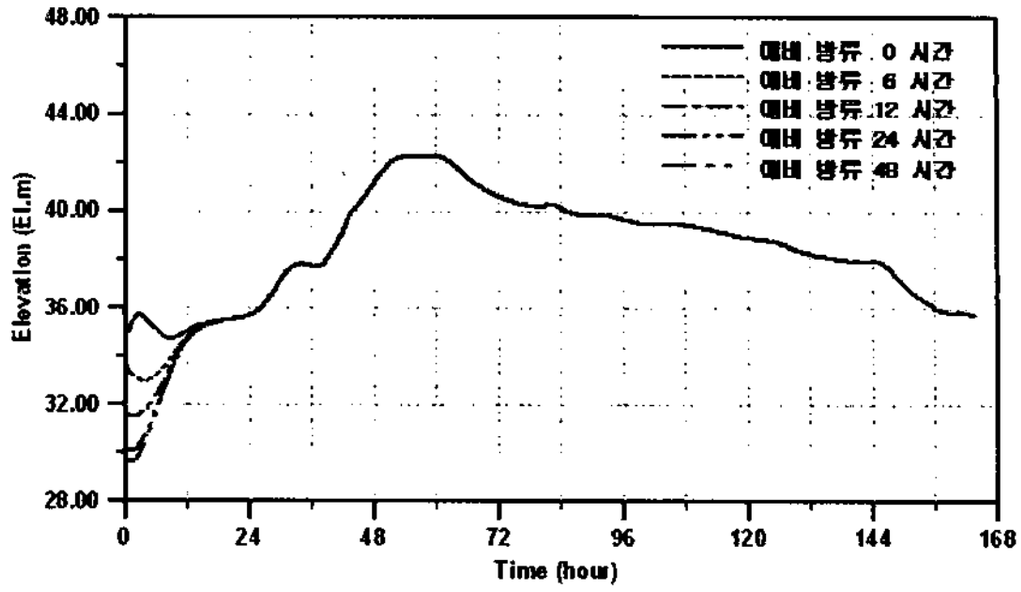


그림 10. 예비방류에 따른 여주대교 지점의 홍수위 계산결과 비교

주운보 상류 구간의 수위는 점차 감소하게 되며, 가동보 개방 시간에 따라 홍수 시작 전의 초기 수위가 달라진다. 이러한 예비방류가 홍수에 미치는 영향을 알아보기 위하여 예비방류를 하지 않았을 경우와 6시간, 12시간, 24시간 및 48 시간 동안 예비방류한 각각의 경우에 대하여 2006년 7월 홍수에 대한 모의계산을 수행하였다. 그림 10에 예비방류 시간에 따른 계산결과의 예로서, 여주대교 지점에서의 수위 계산결과를 도시하였다. 홍수가 시작된 후 약 24 시간 이후의 계산 결과는 예비 방류 시간에 상관없이 모든 구간에서 동일하게 나타났다. 따라서 예비 방류에 따른 초기 수위의 변화는 홍수위 산정에 있어 초기 계산 결과에만 영향을 미치고, 주된 관심사인 구간 내의 최대 홍수위 계산 결과에는 영향을 미치지 않는 것으로 모의되었다. 이후 제시되는 모든 계산결과는 예비방류를 실시하지 않은 상태, 즉 초기수위를 관리수위로 유지한 상태에서 충주조정지댐 방류량이 1000 m^3/s 이상이면, 수문을 완전히 개방하는 것으로 가정하여 계산을 수행하였다.

표 2. 홍수시 흐름 모의에 적용된 각 경우에 대한 가동보의 제원

	강천보		여주보	
	수문폭(m)	월류표고(El.m)	수문폭(m)	월류표고(El.m)
Case 1	200	40.83	300	27.33
Case 2	200	37.85	300	26.65
Case 3	300	40.83	400	27.33
Case 4	300	37.85	400	26.65

(2) 홍수시 흐름 모의

그림 4의 여주보 제원의 예시와 같이 수문의 폭(B)과 가동보 월류표고(y_w)가 주어지면, 주운보의 제원이 결정된다. 본 연구에서는 수문의 폭과 월류표고를 변화시켜가며 표 2와 같은 네 가지 경우에 대하여 홍수시의 흐름모의를 수행하였다.

Case 1의 주운보의 제원은 남한강 구간의 한반도대운하연구회(2007) 및 추부길(2007)의 계획안(주운수로의 하상 경사 및 주운폭)을 반영한 것이다. 강천보 및 여주보에서 가동보의 폭(B)의 값은 구간별 주운수로의 폭과 같으며, 가동보의 월류표고(y_w) 값은 주운보 설치 예상지점에서 주운수로를 건설하였을 경우의 주운수로의 하상고 값이다. 이에 따른 주운보의 제원은 강천보의 경우 B=200m, yw=El. 40.83m이며, 여주보의 경우에는 B=300m, yw=El. 27.33m가 된다. Case 2의 주운보의 제원은 가동보의 월류폭은 동일하며, 월류 표고를 월퓨폭을 만족하는 가능한 가장 낮은 표고로 한 경우이다. Case 3은 Case 1과 가동보의 월류표고는 같게 하고, 가동보의 월류폭은 두 주운보에서 모두 100m씩 증가하여 강천보의 경우에는 B=300m, 여주보는 B=400m로 하였다. Case 4는 가동보의 월류 표고(y_w)는 Case 2와 같으며, 월류폭(B)은 Case 3의 경우와 동일하게 하여 모형에 적용한 경우이다.

Case1~4의 모의결과 구간 내의 모든 계산점에서의 최대 홍수위는 Case 1의 모의결과가 가장 높으며, Case 4의 계산결과가 가장 낮은 것으로 나타났다. 또한 주운보 제원의 변화로 인하여 전 구간에서 운하를 건설하기 이전의 모형의 수행결과에 비해서도 최대 홍수위가 낮거나 같은(팔당댐 인근 하류 1.5km 구간) 것으로 모의되었다. 주요 지점별로 살펴보면 Case 1과 비교하여 최대 홍수위가 강천보 직상류 지점에서 3.68m, 직하류 지점에서 0.13m 감소하였으며, 여주보 직상류 및 직하류 지점에서는 각각 0.82m와 0.09m 감소하였다. 여주대교 지점에서는 0.18m 감소하는 것으로 나타났다. 또한 주운수로 건설 전의 최대 홍수위에 비하여 충주조정지댐에서 3.50m, 강천보 직상류와 직하류 지점에서 0.63m와 2.26m 감소하였다. 여주대교 지점에서는 0.80m 감소하였으며, 여주보 지점에서는 직상류 지점에서 0.70m, 직하류 지점에서 1.62m 감소하였다. 주요 지점에서의 최대 홍수위를 표 3에 정리하였으며, Case 4의 최대 홍수위 산정결과를 그림 11에 운하 건설 전의 결과와 함께 도시하였다.

6. 맺음말

한반도 대운하 사업에 대한 논란이 끊임없이 계속되고 있다. 대운하 건설에 따른 수자원 분야 현안 중 수질문제와 더불어 찬반 양측의 주장이 극명하게 대립하고 있는 것이 운하 건설이 홍수에 미치는 영향에 관한 문제이다. 본 연구는 계산수리학적인 방법에 의하여 운하건설이 홍수에 미치는 영향을 분석하고자 수행되었다. 운하 건설 후의 평수기 및 홍수시 흐름을 모의 계산하여 운하 건설 전 상태에 대한 계산결

표 3. 주요 지점별 최대 홍수위 비교 (El. m)

	충주 조정지댐	강천보 직상류	강천보 직하류	여주대교	여주보 직상류	여주보 직하류
Case 1	61.12	52.81	47.47	42.27	38.34	36.62
Case 2	61.01	51.07	47.39	42.19	38.11	36.56
Case 3	61.00	50.96	47.37	42.12	37.69	36.57
Case 4 (①)	60.95	49.13	47.34	42.09	37.52	36.53
주운수로 건설 전(②)	64.45	49.76	49.60	42.89	38.22	38.15
수위 차(①-②)	-3.50	-0.63	-2.26	-0.80	-0.70	-1.62

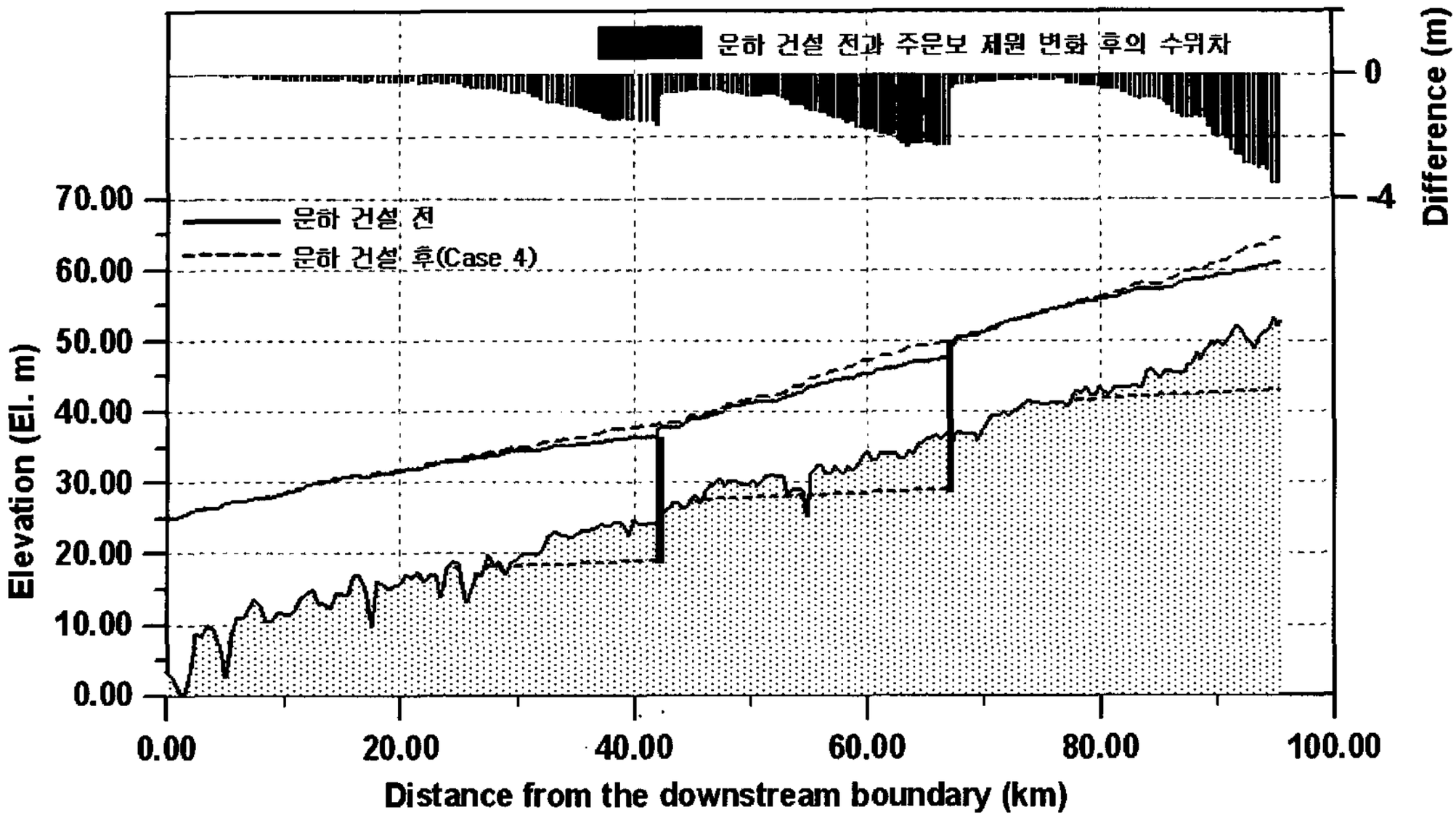


그림 11. 주운수로 건설 전과 Case 4의 최대 홍수위 계산 결과 비교

과와 비교하였으며, 주운보의 제원 및 운영에 따른 홍수위 변화를 분석하였다.

2006년 10월부터 2007년 5월간의 평균유량을 사용하여 운하 건설 전·후의 평수시의 수위 변화를 HEC-RAS 모형을 이용하여 모의하였다. 그 결과 주운보의 영향으로 주운보 상류의 수위는 운하 건설 전에 비하여 상승하며, 주운보 하류의 수위는 준설효과 때문에 운하 건설 전보다 하강하는 것으로 나타났다. 수위의 상승 및 하강의 정도는 상류쪽 구간으로 갈수록 커지는 것으로 모의되었다.

홍수 발생 전의 주운보 수문의 개방에 의한 예비방류의 효과를 분석하였다. 예비방류를 시작함에 따라 수위 및 유량은 초기에 빠르게 감소하며, 이에 따라 홍수 발생 시의 초기 수위는 예비방류 시간에 따라 다르게 된다. 그러나 다양한 초기 수위에 대하여 동일한 홍수사상을 적용한 결과, 일정 시간이 흐른 후의 홍수위는 모든 구간에서 동일하여 최대 홍수위의 계산결과에는 영향을 미치지 못하였다. 따라서 예비방류에 의한 영향은 홍수 초기에만 제한적으로 발생하며, 예비방류를 통해 주운보 상류 구간의 수위를 낮추어 발생하는 공간에 의한 홍수 조절효과는 기대하기 힘들다. 가동보 수문의 개방에 의한 홍수위 조절을 위해서는 홍수시의 가동보의 상세 운영 규정이 수립되어야 할 것이다. 운하 건설 전·후의 최대 홍수위를 비교한 결과 보 직하류부는 준설로 인하여 홍수위 감소효과가 현저히 발생하며, 상류측 구간으로 갈수록 최대 홍수위의 차이는 더욱 커지는 것으로 모의되었다. 홍수위는 주운보의 제원인 수문의 폭과 가동보의 월류표고에 따라 크게 달라지는 것으로 나타났으며, 적절한 주운보의 설계와 운영에 의하여 운하 건설 전보다 전반적으로 홍수위를 낮추는 것이 가능할 것으로 판단된다.

참고문헌

건설교통부 (2006), 한국수문조사연보.

김한준, 전경수 (2004). "가변 조도계수 부정류 계산 모형." 한국수자원학회논문집, 제37권, 제12호, pp. 1055-1063.

노재화, 김휘린 (2006). "2006년 7월 홍수특성 및 향후대책." 대한토목학회지, 제54권, 제12호, pp. 128-136.

전경수, 김진수, 이상호 (2007). "한강 본류에의 적용을 위한 FLDWAV 모형의 개선." 한국수자원학회논문집, 제40권, 제2호, pp. 135-146.

전경수 (1996). "월류흐름을 포함한 부정류 계산모형에 관한 연구." 한구수자원학회지, 제29권, 제2호, pp. 153-165.

추부길 (2006). 왜 한반도 대운하인가. 말과 창조사.

한반도대운하연구회 (2007). 한반도대운하는 부강한 나라를 만드는 물길이다, 경덕출판사.

황의준, 전경수 (1997). "한강 본류에 대한 부정류 계산모형: 모형의 보정." 한국수자원학회논문집, 제30권, 제5호, pp. 549-559.

Cunge, J.A., Holly, F.M., Jr, and Verwey, A. (1980). Practical aspects of computational river hydraulics. Pittman.

HEC (2002). HEC-RAS River analysis system: User's manual, version 3.1. Hydrologic Engineering Center, US Army Corps of Engineers, Davis, Calif.

Holly, F.M., Yang, J.C., Schwarz, P., Schaefer, J., Hsu, S.H., and Einhellig, R. (1990). "Numerical simulation of unsteady water and sediment movement in multiply connected networks of mobile-bed channels." IIHR Report No. 343, Iowa Inst. of Hydr. Res., Iowa City, Iowa.

Liggett, J.A., and Cunge, J.A. (1975). "Numerical methods of solution of the unsteady flow equations." Unsteady flow in open channels, K. Mohmmod and V. Yevjevich, eds., Water Resour. Publications, Fort Collins, Colo., pp. 89-182.