

남한강과 평창강 합류부 주변의 수리구조물 제거에 따른 수리특성변화

The Variation of Hydraulic Characteristics Depending upon Removal of the Hydraulic Structures near the Junction between Nam Han and Pyeong Chang Rivers

최 계 운* / 윤 용 진** / 조 준 범***

Choi, Gye Woon / Yoon, Yong Jin / Cho, Jun Bum

Abstract

In this paper, it was analyzed the variation of hydraulic characteristics through changing discharge at main channel and lateral channel and state of hydraulic structure at the natural channel junction by experiment. The experimental area is chosen at the channel junction of Nam-Han river and Pyeongchang river. The scale of the experiment is 1/200 in horizontal, and 1/66.7 in vertical, so the distortion rate is 3. From the experiment, the reduction effect of the water level is 12% in the case of removing intank dam, and 5% at the hydro-electronic dam removing case. Furthermore, in the case of two hydraulic structures removing, the reduction effect of water level is 18% at the channel junction. Also, the stagnation zone, which is caused by diminution of the channel at the junction, is decreasing through removing the structures.

keywords : channel junction, hydraulic structure, hydraulic model, backwater effect

요 지

본 연구에서는 본류와 지류가 만나는 합류구간을 지닌 자연형 사행하천을 대상으로 수리모형실험을 통해 유량변화와 하도내 수리구조물 변화에 따른 하천내 배수효과를 분석하고, 합류부의 수리특성 변화를 분석하였다. 또한 본 연구에서는 수리모형실험결과를 적용하기 위하여 모형이론을 제시하고, 제시된 모형이론을 토대로 모형을 제작, 설치하고 50년, 200년빈도의 홍수량에 대하여 구조물제거 효과를 분석하였다.

수리모형은 남한강과 평창강 합류부를 대상구간으로 선정하여 수평방향으로는 1/200, 수심방향으로는 1/66.7의 축척으로 왜곡도 3으로 제작하였으며 조도검증을 통해 모형실험결과가 원형에 적용되도록 하였다. 실험은 하도내에 설치된 취수댐과 소수력댐에 대한 제거효과를 수위변화 및 유속변화 등 수리학적 특성변화를 중심으로 분석하였다.

실험결과 취수댐 상류 합류부에서의 수심저감효과는 취수댐 제거시 약 12%, 소수력댐 제거시 약 5%, 취수댐 소수

* 인천대학교 공과대학 토목환경시스템공학과 교수, 공학박사
Professor, Dept. of Civil & Environmental System Engineering., Incheon Univ., Incheon, 402-749, Korea
(e-mail: gyewoon@incheon.ac.kr)

** 도화종합기술공사 상무, 수자원개발기술사, 박사과정
Doctor's Course, Dohwa Consulting Engineers CO., LTD., Yeoksam-Dong, Kangnam-Gu, Seoul, 135-080, Korea
(e-mail: yyj4569@dohwa.co.kr)

*** 인천대학교 공과대학 토목환경시스템공학과, 공학석사
Master, Dept. of Civil & Environmental System Engineering., Incheon Univ., Incheon, 402-749, Korea
(e-mail: nom75@hanmail.net)

력범 모두 제거 시 약 18%로 2개의 수리구조물을 모두 제거할 경우 합류부 유황개선에 큰 도움이 될 것으로 예상된다. 또한 합류부에는 본류와 지류가 만나는 측면을 따라 유속이 0보다 작은 정체구간이 형성되며, 구조물 제거에 따라 유속이 증가하면서 정체구간은 다소 감소된다. 본 연구결과는 하천망 해석 뿐만 아니라 합류점 주변의 유지관리나 정비, 구조물 설치 시 기초 자료로 크게 활용 될 수 있을 것이다.

핵심용어 : 합류부, 수리구조물, 수리모형실험, 배수위 영향

1. 서 론

자연현상에 의하여 또는 인위적인 작용에 의하여 지구표면에 만들어진 물의 흐름이 바다까지 이어지도록 형성된 길을 하천이라 한다. 따라서 자연상태에서의 하천은 유역 내 지형조건에 따라 직선구간과 사행구간이 혼재되기도 하고 서로 다른 유로가 만나 또 하나의 유로를 형성하기도 한다. 또한 이러한 하천의 하도 내에 필요에 의해 인위적으로 구조물이 설치된다. 그러나 설치된 구조물로 인하여 흐름특성이 크게 변화되며, 이를 컴퓨터 모형으로 정확하게 모의하기에는 어려움이 많다. 이는 하천모형을 이용하여 홍수위 해석시 자연하천의 형태적인 복잡성을 모델 내에서 사실대로 구현하기가 쉽지 않기 때문이다. 즉, 자연하천은 인공수로와는 달리 단면이 일정하거나 완전한 직선 형태를 보이는 것도 아니며, 또한 서로 다른 하천이 만나 형성되는 합류구간에서의 흐름해석이 복잡하기 때문에 대부분 이를 단순화하고 많은 가정을 통한 해석이 이루어지고 있기 때문이다. 더욱이, 하도 내에 구조물이 설치되어 하천 유량의 흐름을 방해하는 경우에 하천 흐름은 더욱 복잡한 특성을 보인다.

1990년대를 지나면서 엘니뇨 등 이상기후에 의해 시, 공간적으로 강우패턴의 변화가 커지고 있고, 2002년 여름에 영월, 김천 등에 나타난 현상처럼 집중호우 등에 의해 제방이 붕괴되는 사례가 발생되고 있으며, 특히 하천의 제방구조물 주변이나 하천의 사행구간 그리고 하천의 본류와 지류가 만나는 합류점을 중심으로 수위 상승에 따른 제방의 집중적인 붕괴가 발생하는 점을 고려할 때 실제 자연하천의 단면을 가진 사행하천에서의 하천 해석은 안전한 하천을 유지하기 위한 매우 중요한 문제가 아닐 수 없다.

이러한 문제에 대한 연구동향을 살펴보면 국내에서 합류부 흐름특성에 대한 연구는 박용섭(2003)과 최계운 등(2002)이 본류와 지류의 폭비가 0.8인 모형수로를 이용하여 합류구간에서의 유량비별, 접근각도별 수리특성을 분석하여, 합류구간 흐름에서 평균 유속보다 빠른 가속유로를 제안하고 합류각도가 클수록 가속유로의 영향권이 증가한다고 하였다. 만곡수로의 합류구간에 있

어서는 백창식과 윤세의(1999)가 만곡부 45°에 합류구간을 설치하고 유량비, 합류각, 지류경사 등을 변화시키며 지류에 대한 수위상승의 관계를 도출하였다.

하천의 흐름 해석에 있어서 하천에 설치된 구조물에 의한 수위변화와 관련된 연구는 Yarnell(1934)이 교각의 교각을 통과하는 흐름에 대해 에너지 방정식을 이용해 각 교각의 형상에 대한 계수를 도입하여 수위변화를 계산하는 관계식을 검토하였으며, 심기오(1996)는 Froude 상사를 통해 소하천 합류구간에서 장애물에 의한 수위와 유속의 변화를 분석하고 하상의 경사와 합류각도가 수심비에 미치는 영향을 규명하였다. 외국에서는 합류부에 대한 수리적 특성변화(손실수두, 흐름변화 등)의 대한 연구가 수행되었다.(Hager, 1989; Hager, 1987; Lin 과 Soong, 1979; Modi 등, 1981; Taylor, 1994; Webber 와 Greated, 1966)

이러한 연구는 모두가 사행하천의 만곡구간 또는 합류구간에 국한된 흐름특성을 분석하기 위한 연구로 실제 하천설계에 직접 활용하기에는 용이하지 않다는 단점이 있으며, 실제 사행하천을 직선구간으로 가정하여 하천을 해석하는 표준축차법 등을 적용하는 경우에는 여전히 사행하천의 특성을 반영하지 못하고 있어 직선구간으로 가정하여 수행되는 해석결과와 실제 사행하천에서 관측되는 실험결과와의 비교를 통한 실제 하천 설계에 반영할 수 있는 결과를 도출한 연구는 미흡한 상태이다.

이러한 실정을 감안하여 본 연구에서는 본류와 지류가 만나는 합류구간을 지닌 자연형 사행하천을 대상으로 수리모형실험을 통해 하도내 수리구조물 제거에 따른 수리특성 변화를 분석하고, 특히 수리구조물을 제거함에 따라 합류부에서의 수위와 유속변화를 분석하여 합류부의 유황개선 방안을 모색하는 것을 연구목적으로 하여 이를 달성하기 위하여 모형이론을 선정하고, 선정된 모형이론을 토대로 모형을 제작하고 여러 경우에 대한 모형실험을 수행하였다.

2. 모형제작설치 및 실험방법

2.1 모형이론

하천모형은 대개 실험 대상 수역에 걸쳐서 수면경사

의 변화가 완만한 경우에 수행한다. 하천모형은 수로내의 수위 및 유속, 그리고 흐름분포를 규명하는 경우와 유사이동 및 하상변동을 연구하는 경우의 두가지 경우로 분류하여 전자의 경우 고정상모형을 사용하며, 후자의 경우 이동상 모형을 사용한다. 일반적으로 하천모형을 사용하여 연구하는 문제들은 다중수로 하천에서 특정수로의 흐름의 개폐에 따른 영향, 교각 등에 의한 흐름축소부에서의 수리손실, 수중보, 교각 등의 수리구조물 주변에서의 세굴, 조류나 파랑이 주운에 미치는 영향, 그리고 하천하구에서의 흐름특성 등이다.

하천의 하상이 안정되어 있어서 유사이동 또는 하상변동에 의한 영향이 그다지 중요하지 않은 하천흐름에는 고정상 실험이 사용된다. 고정상 실험에서 연구되는 대표적인 문제들은 수로내의 장애물 또는 수로정비에 의한 배수효과, 홍수추적, 그리고 하구수로에서의 흐름분포 등이다. 본 모형실험은 개수로 실험이므로 Froude 상사법칙을 적용하며 원형과 모형에서 Manning의 평균 유속공식이 적용된다고 가정하고 조도를 조정함으로써 유체점성력 상사성이 유지되도록 모형이론을 수립하였다.

본 모형실험은 개수로 실험이므로 중력이 가장 중요한 힘이 된다. 그러므로 우선적으로 관성력과 중력의 비인 Froude수가 모형과 원형에서 일치되도록 하는 Froude 상사법칙을 적용한다. 또한 고정상 실험에서 중요한 관심사는 유속분포나 수면 또는 에너지경사이다. 따라서 고정상 실험에서는 하상조도의 영향이 매우 중요하다. 하천흐름에서는 대개의 경우 Reynolds수가 상당히 크므로 전단력이 경계면과 경계층에서의 마찰항력(friction drag)에 기인한 것보다는 형상항력(form drag)에 기인한 것이 지배적이다. 따라서 Manning형의 평균 유속공식을 사용할 수 있다. 이러한 경우 실질적으로 불가능한 Reynolds수의 상사성 확보를 대치하여 원형과 모형에서 Manning의 평균 유속공식이 적용된다고 가정해서 조도를 조정함으로써 유체점성력의 상사성을 유지한다. 이때 중요한 제한조건은 모형에서의 흐름이 난류가 유지되어야 한다는 것이다.

축척이 매우 작은 모형의 경우 모형에서의 유속이 너무 작아지기 때문에 정확한 유속 측정이 어려우며, 모형에서의 흐름이 층류가 되어 원형에서의 흐름상태와 상사성을 유지하기 힘들게 된다. 이러한 경우에 연속축적 Yr이 수평축적 Xr보다 큰 왜곡모형을 사용하여 상기 문제점을 해결한다. 왜곡모형에서 경사축적 Sr = Yr / Xr이며, 이 관계식을 Manning형의 평균유속공식에 대입하면 다음과 같다.

$$U_r = \frac{1}{n_r} R_r^{2/3} \left(\frac{Y_r}{X_r} \right)^{1/2} \quad (1)$$

왜곡 모형에서 속도는 중력에 의해 결정되므로 Froude 상사법칙에서 Lr 대신 Yr을 사용한다.

$$U_r = Y_r^{1/2} \quad (2)$$

식 (1)과 식 (2)로부터 모형의 조도축적을 구하면 다음 식과 같다.

$$n_r = \frac{Y_r^{2/3}}{X_r^{1/2}} \quad (3)$$

왜곡모형에서의 유량 축적은 다음 식과 같다.

$$Q_r = A_r U_r = X_r Y_r^{3/2} \quad (4)$$

표 1은 왜곡모형의 모형이론을 사용하여 고정상 실험의 수리량 환산비 및 축적을 결정하여 수록한 것이다.

2.2 모형제작

모형제작은 실험대상구간인 강원도 영월지역의 남한강과 평창강이 만나는 합류부를 포함한 남한강 6km, 평창강 1.2km구간으로 하여 수평방향 1/200, 수심방향 1/67의 축적을 적용한 왜곡도가 3인 왜곡모형을 제작하였다. 제작된 모형수로의 총 연장은 42m이며 수로를 구성하는 단면의 폭은 1m~5m까지 다양하게 변화되고 있고 모형수로 내에 교량 5개, 취수댐과 소수력댐 등 총 7개의 구조물을 설치하였다.

측량자료는 ‘영월지역수해방지종합대책수립(강원도, 2004)’을 위해 시행한 수심측량성적을 사용하여 모형제작에 필요한 각 축선에서의 단면도를 작성하였고 축선은 200m 간격으로 일정하게 설치되었다. 실험구간내 사용된 단면은 총 48개이며 각 단면의 번호는 하천 측량시 부여되었던 단면번호를 그대로 사용하였고 모형의 평균 하상경사는 본류의 경우 0.00434, 지류의 경우 0.0064이다. 그림 1은 원형하천의 평면도이며, 그림 2는 모형제작의 순서도를 도시한 것이다.

모형에는 현재 하천에 설치되어있는 교량 5개, 취수댐 1개, 소수력댐 1개 등 7개의 구조물이 설치되어 있으며, 각 구조물은 원형하천에서 실측한 자료를 이용하여 상사를 통해 아크릴로 제작하여 모형에서의 흐름이 실제흐름과 같아지도록 크기 및 규모를 조성하여 설치하였다.

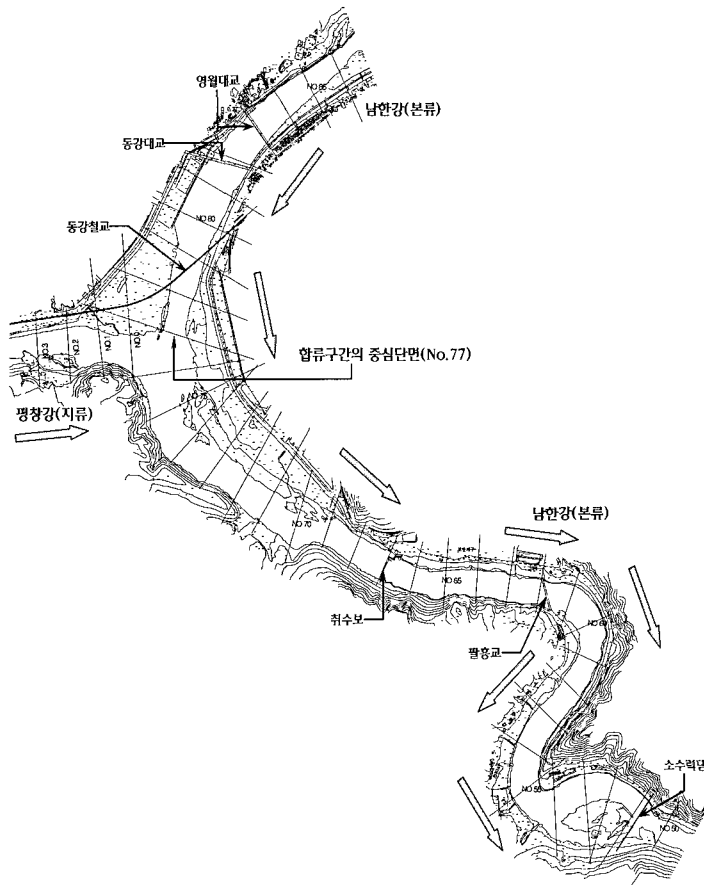


그림 1. 남한강과 평창강 합류부의 평면도

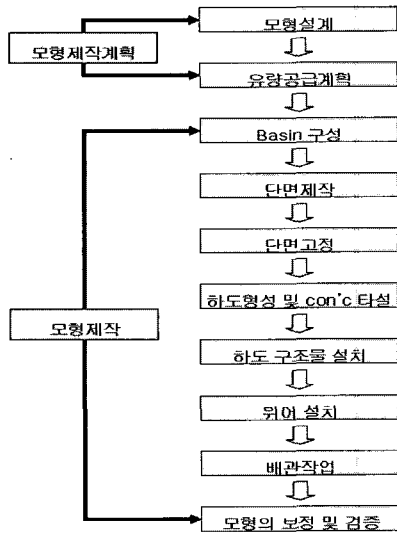


그림 2. 모형제작 순서도

본 실험은 대규모 모형실험이기 때문에 독립적인 펌프실에서 유량이 공급되며, 유입되는 유량을 정확하게 측정할 필요가 있다. 본 모형실험에서는 대규모 개수로 실험에 성공적으로 사용되어 왔던 위어(weir) 방식을

사용하여 유량을 측정하였다. 제작된 모형수로에 직접적으로 유량을 공급하는 유량조절조는 2m×3m×0.9m 크기의 강철관으로 제작하였으며 월류판 1개, 정류판 3개를 설치하였고 모형수로의 최 상류부분 상단에 위치하도록 하였다.

유량조절조에서 모형으로 유입되는 유량은 사각위어를 통해 측정할 수 있도록 하였으며 유량측정용 사각위어는 한국공업규격(KS B 6302)에 의거하여 제작하였고 검증을 통해 유량계수를 산정하여 제시된 유량관계식에 따라 유량을 계산하였다. 모형수로와 일체로 구성된 안정화부분은 실험구간으로 유입되는 유량이 정류상태를 유지하도록 하기 위한 목적으로 모형수로 최 상류부분에 저수조를 만들어 모형으로 유입되는 유량은 저수조에서 안정화를 거친 후 3개의 정류판을 통과하면서 정류상태를 유지하도록 하였다.

유량의 공급은 20HP 펌프 2대와 15HP 펌프 1대를 사용하여 최대 0.12m/sec 유량을 공급할 수 있도록 하였다. 지하 저수조에서 펌핑된 유량은 지상 3m 높이에 설치된 고수조로 공급되고 고수조에서 일정수두를 유지

하도록 하여 파이프를 통해 합류부 상류 2개의 유량조절조로 자연 유하시키도록 하였으며 유량공급 파이프에 설치된 밸브를 통해 유량을 조절하도록 하였다. 유량조절조에서는 폭 50cm의 사각위어를 통해 수로내부로 유량을 유입시키며 유입된 유량은 정류관을 통해 정류상태를 유지하도록 하였다. 수로를 통과한 유량은 수로 말단에 설치한 집수정으로 유입되어 집수정 배출구에 설치된 밸브를 통해 지하 저수조로 회수되도록 하였고, 이때 밸브를 통해 수로의 하류 경계수위를 조절할 수 있도록 하였다.

그림 3은 모형수로의 유량공급 모식도를 표현한 것이며, 그림 4는 완성된 모형수로의 모습이다.

2.3 위어의 유량검증

완성된 수리모형에 유량을 공급하기 위한 유량조절조에 설치된 사각위어는 한국공업규격(KS B 6302)에 의거하여 제작하였으나 정확한 유량 측정을 위해 위어의 유량검증을 실시하였다. 유량검증을 위해 위어의 월류높이에 따른 유량을 측정하여 유량계수를 계산하고 측정값과 계산값의 검토를 통해 위어의 평균 유량계수를 결정하여 위어의 월류높이에 따른 수위-유량곡선을

작성하였다.

유량검증 결과 유량계수(K)의 평균값으로 계산한 값이 거의 일치하는 것으로 나타났으므로 위어에서의 유량은 한국공업규격(KS B 6302)에서 제시된 4각위어의 유량공식을 사용하였고, 유량계수(K)는 실험을 통하여 측정된 유량계수의 평균값을 사용하였다.

$$Q = 1.7604bh^{1.5} \quad (5)$$

여기서, Q : 사각위어를 통한 유입유량(m^3/sec)

b : 위어의 폭(0.5m)

h : 위어의 월류수심(m)

2.4 모형의 조도조정

조도계수에 영향을 미치는 요소는 매우 다양하고 복잡하여 어떤 수로의 조도계수를 수로의 부분적인 형상만으로 파악하기는 매우 곤란하다. 본 실험에서는 원형하천에 대하여 실측한 지형자료를 이용하여 HEC-RAS 수치모의를 수행, 시행착오법으로 조도계수를 결정하였다. 본 실험에서는 일정한 형태 및 크기의 조도블럭을

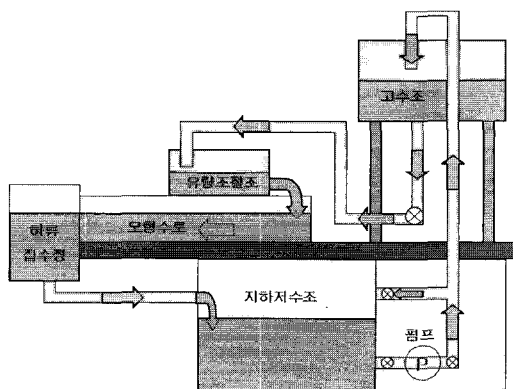


그림 3. 유량공급 모식도

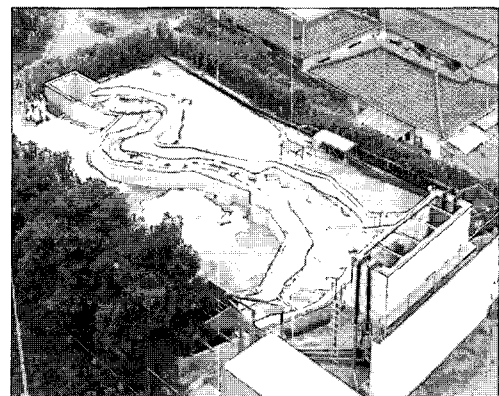


그림 4. 모형수로의 전경

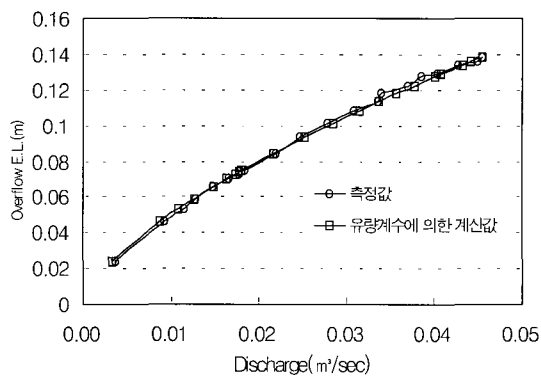


그림 5. 위어의 수위-유량곡선 비교

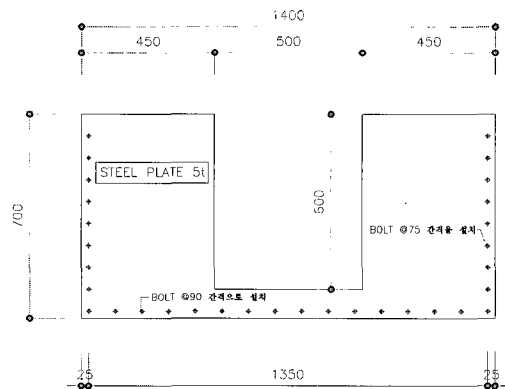


그림 6. 사각위어의 제원

하상에 일정하게 부착하여 요구되는 조도를 만족시키기 위하여 알려진 수위에 대응하는 유량에 대한 모형에서의 수심을 일치시키는 방법인 수위일치법으로 조도를 조정하였다.

모형의 조도를 결정하기 위하여 사용된 조도블럭은 시멘트로 제작된 반구형 블럭으로, 목판에 높이가 1.2cm이고 지름이 각각 2cm, 3cm, 4cm로 판을 만들고 주형을 제작하여 다량제작이 가능하도록 하였다. 모형의 조도검증을 위한 실험은 5회에 걸쳐 수행하였으며, 1회에는 조도를 붙이지 않은 상태에서 수로의 조도를 계산하고 현장검증과 HEC-RAS모형(U.S.Army Corps of Engineers, 2001)을 이용한 수치해석을 통해 조도블럭을 부착할 위치를 선정하고 2회부터 조도블럭을 부착하면서 수리모형의 수위를 조절하여 조도를 검증하였다. 조도검증을 위해 사용된 유량은 원형 하천의 실제 유량인 50년빈도의 25%, 50%, 75%에 해당하는 유량, 50년빈도 유량, 100년빈도 유량을 모형으로 상사하여 조도검증을 위한 실험유량으로 사용하였다. 그림 7은 조도블럭을 완전히 부착한 후의 모습이다.

2.5 실험조건 및 방법

본 연구에서는 자연형 단면을 지닌 사행수로내에 설치된 구조물을 제거하는 경우, 유로내의 흐름특성과 합류점 부근의 흐름특성의 변화를 분석하기 위하여 하상재료의 이동이 없는 고정상 실험으로 하였으며, 구조물의 조건에 따라 크게 4가지의 실험 조건을 설정하였다. 각각의 조건에서 분류와 지류의 유량을 변화시키며 수로내 28개 단면에 대해 288개 측정에서 수위와 유속을 측정하고 분석하였으며, 각각의 단면에 대하여 좌안으로부터 1 ~ 15번 까지 측정지점 번호를 부여하였다.

실험유량은 '영월지역수해방지종합대책(강원도, 2004)'을 위해 산정한 기본홍수량을 기준으로 50년빈도와 200년빈도 홍수량으로 정하였다. 표 2는 실제홍수량과 실험유량을 나타낸 것이며, 표 3은 본 연구에서 수행한 실험조건을 나타내고 있는데, 표에 나타난 4가지의 조건에 대해서 각각 2가지 유량조건으로 하여 총 8가지의 조건에 대하여 실험을 실시하였다.

본 연구에서 유속 측정을 위해 사용한 유속계는 측

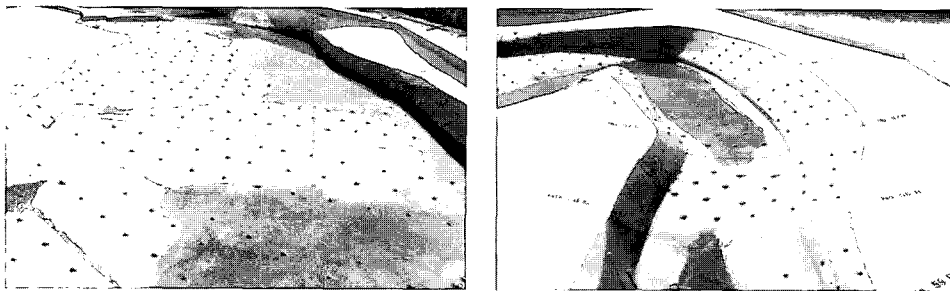


그림 7. 조도블럭 부착후 하상

표 2. 고정상 실험의 실험유량 단위 : m³/sec

구분		50년	200년
남한강 (분류)	실제유량	6530	7720
	모형유량	0.05994	0.07086
평창강 (지류)	실제유량	4470	5160
	모형유량	0.04103	0.04736

표 3. 고정상 실험의 실험안

구분	개요	실험(안)			
		현상태	취수댐 제거시	소수력댐 제거시	취수댐 및 소수력댐 제거시
현재상태	구조물 변경 없는 실제 현장상태 그대로 재현	●			
취수댐철거	유수소통에 지장을 주는 영월발전소 냉각수 취수댐(4.8m) 철거		●		●
수력댐철거	유수소통에 지장을 주는 영월 소수력 발전댐(7.7m) 철거			●	●

정범위가 0.1~250cm/sec 인 ADV- 11000 초음파 유속 계이며, 수위는 0.01mm 까지 측정이 가능한 포인트 게이지를 사용하였다. 수심 및 유속측정은 수로 단면에 미리 측점을 표시하여 항상 같은 지점에서 측정이 될 수 있도록 하였다. 표 3은 고정상 실험을 실시하기 위하여 제시된 실험안으로 실험안에 대한 개요와 제거하는 구조물의 내용이 들어 있다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 수리구조물 제거전 흐름특성분석

실험 대상구간 하도에 설치된 구조물을 제거하는 경우 흐름특성 변화를 파악하기 위해 앞서 구조물이 제거되지 않은 현재 상태(CASE-1)에서의 흐름특성을 살펴보았다. 현상에서의 흐름특성은 HEC-RAS로 수치모의한 결과와 비교 검토하였고, 유량조건은 50년빈도와

200년빈도 홍수량에 대해서 실험을 실시하였다. 그림 8과 그림 10은 구조물 제거 전 수리모형실험과 HEC-RAS 수치모의 결과의 종방향 수위비교 그래프이고, 그림 9와 그림 11은 구조물 제거전의 수리모형실험 결과를 유속분포 평면도로 나타낸 것이다.

현상에서의 수위결과를 HEC-RAS 수치모의 결과와 비교해 보면 50년빈도 유량일때 수위차는 -0.41~0.29m로 전체 측선에서 다양하게 변화되고 있지만 평균수위차는 0.00m로 거의 일치하는 것으로 나타났다. 200년빈도 유량에서도 수위차는 -0.22~0.08m로 약간씩 차이를 보이고 있지만 평균수위차는 0.1m 이내로 비슷한 결과가 나왔다. 따라서 현상 실험결과와 HEC-RAS에 의한 수치모의 결과는 거의 일치하고 있는 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 모형의 조도를 조정할 때 각각의 유량별 수위를 HEC-RAS 수치모의 수위에 일치시켰으므로 조도의 검증이 성공적으로 되었

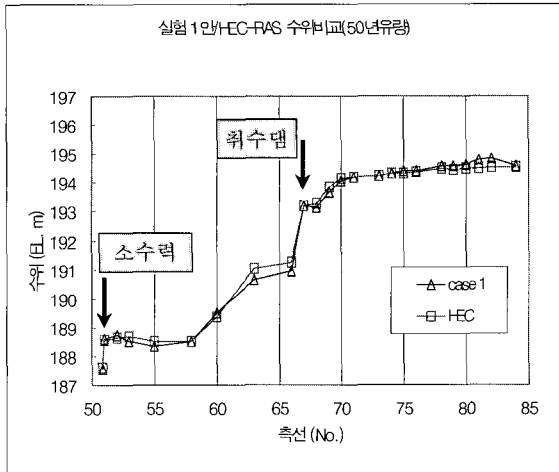


그림 8. 수리구조물 제거 전 수치실험과 수리모형 실험의 수위결과 비교(50년빈도)

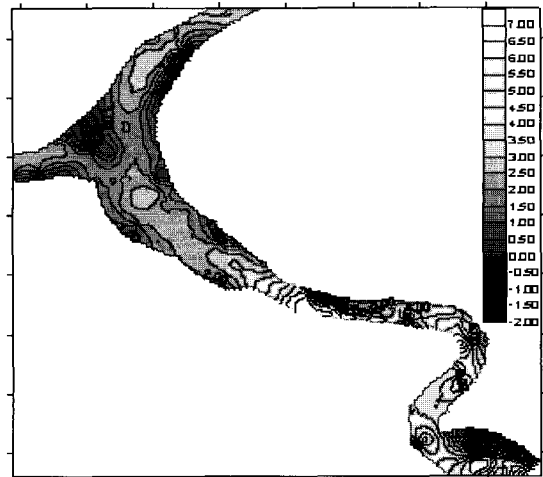


그림 9. 수리구조물 제거 전 유속분포도 (50년빈도)

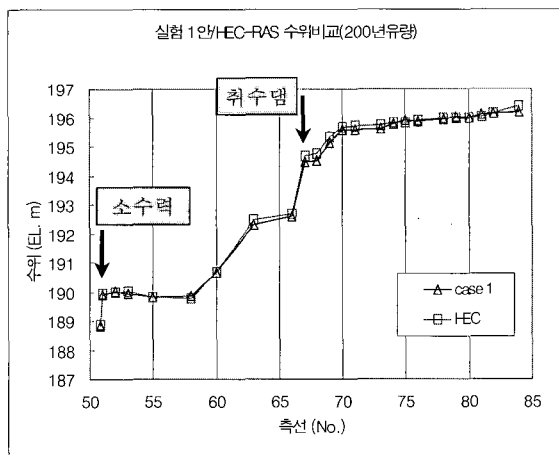


그림 10. 수리구조물 제거전 수치실험과 수리모형 실험의 수위결과 비교(200년빈도)

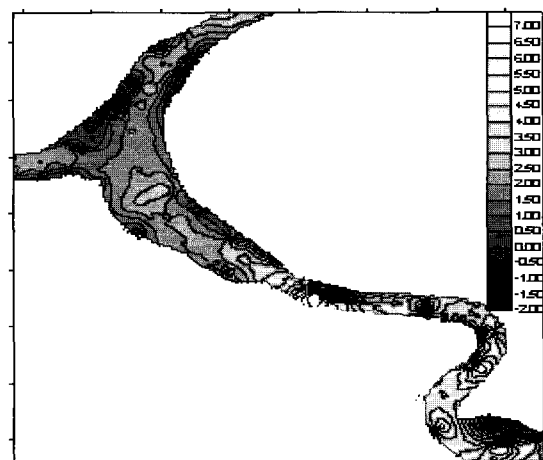


그림 11. 수리구조물 제거전 유속분포도 (200년빈도)

음을 알 수 있다.

유속분포도를 보면 본류와 지류가 만나는 합류부에 유속이 0 이하가 되는 정체구간이 형성되고 있으며, 단면이 비교적 넓은 측선 70번 상류에는 약 2m/s 이하로 유속이 느리고, 단면이 좁아지면서 사행을 이루는 70번 하류에는 거의 3m/s 이상의 빠른 유속분포를 보이고 있다. 본류와 지류가 만나는 합류부는 두 개의 흐름이 거의 90°로 만나면서 흐름에 방해가 받아 유속이 느려지면서 일부 정체구간이 형성되고, 측선 70번 하류에는 단면축소와 급한 사행 등으로 인해 유속이 빠른 것으로 사료된다.

3.2 수리구조물 제거에 따른 흐름특성변화

실험 대상구간 하도에 설치된 구조물을 제거하는 경우 흐름특성변화를 파악하기 위하여 표 3의 실험안과 같이 측선 67번에 위치한 높이 4.8m의 취수댐을 제거한 경우(CASE-2), 측선 50.08번에 위치한 높이 7.7m의 소수력댐을 제거한 경우(CASE-3), 취수댐과 소수력댐 모두 제거한 경우(CASE-4)에 대해서 흐름특성을 살펴보

았다. 유량조건은 50년빈도와 200년빈도 홍수량 2가지에 대해서 실험을 실시하였으며, 각각의 실험결과를 구조물이 모두 설치되어 있는 상태(CASE-1)의 실험결과와 비교 검토하였다.

3.2.1 취수댐 제거 후 흐름변화

취수댐제거시 수위결과를 현상태의 결과와 비교해 보면 50년빈도 유량일때 수위차는 취수댐이 위치한 측선 67번에서 -2.09m로 수위차가 가장 많이 발생했으며 전체평균 -1.17m 수위가 낮아졌다. 측선 67번을 기준으로 상류 합류부에는 수위가 많이 낮아졌으나 하류에는 거의 비슷한 값을 나타내고 있다. 200년빈도 유량에서도 비슷한 경향을 보이고 있으며 수위차는 -1.98m~0.02m로 전체평균 -1.03m 수위가 낮아졌다.

평균수위의 종방향 수위비교 그래프를 보면 취수댐 제거에 따른 수위저감은 취수댐(No.67)을 기준으로 상류 합류부에서 나타났으며, 남한강과 평창강이 만나는 합류점 상류에도 그 영향은 비슷하게 나타났다. 취수댐 상류 합류부의 평균수심저감은 50년빈도의 경우 -1.71m, 200

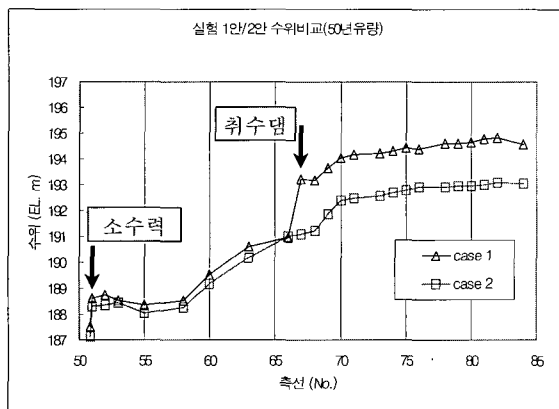


그림 12. 수리구조물 제거 전과 취수댐 제거 후의 종방향 수위비교(50년빈도)

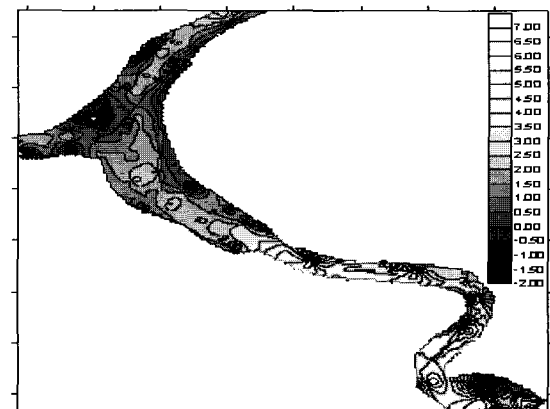


그림 13. 취수댐 제거 후 유속분포도 (50년빈도)

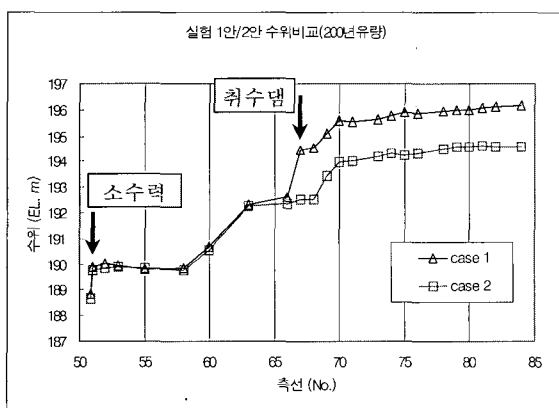


그림 14. 수리구조물 제거 전과 취수댐 제거 후의 종방향 수위비교(200년빈도)

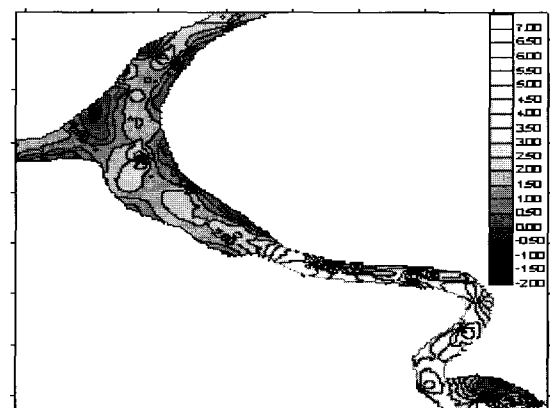


그림 15. 취수댐 제거 후 유속분포도 (200년빈도)

년빈도의 경우 -1.58m로 약 1.6m 이상 수위가 낮아졌다. 부록의 표 4 취수댐제거에 따른 수심저감효과를 보면 취수댐을 제거한 경우 합류부(No.67~No.84)에서의 수심저감효과는 50년빈도의 경우 13.91%, 200년빈도의 경우 11.53%로 약 12%이상의 수심 저감효과가 나타났다.

부록의 표 5 취수댐제거에 따른 평균유속결과를 보면 유속변화의 경우 취수댐이 위치한 측선 67번에서 50년빈도의 경우 -1.77m/s, 200년빈도의 경우 -2.07m/s로 현상태에 비해 유속이 크게 느려졌으며, 이는 취수댐 제거 전 유속은 댐 월류부에서 측정하였기 때문에 구조물 제거 후 유속에 비해 빠른 유속을 나타낸 것으로 판단된다. 전체적으로도 현상태 유속결과와 비교해 볼 때 미세하지만 느려진 것으로 나타났다. 그러나 유속의 경우 같은 측선에서도 측정 위치에 따라 크게 변화되고 있으며 시간에 따라서도 변화량이 크게 나타나기 때문에 평균유속만으로 비교하기에는 무리가 있다고 사료된다. 취수댐 제거

후 유속분포를 보면 수리구조물 제거 전(현상태)에 비하여 본류와 지류의 합류부 정체구간은 다소 감소된 것으로 나타났으며, 취수댐 제거로 인해 합류부에서 유수소통이 다소 원활해 진 것으로 사료된다.

3.2.2 소수력댐 제거 후 흐름변화

소수력댐 제거시의 수위결과를 현상태의 결과와 비교해 보면 50년빈도와 200년빈도 유량 모두 소수력댐이 위치한 측선 50.08에서부터 60번까지는 약 1m 이상 수위가 낮아졌으나 60번 상류로는 현상태와 비교해 볼 때 수위저감이 크게 나타나지 않았다. 특히 합류부에서는 수리구조물 제거전과 비교해 볼 때 큰 차이가 없었다. 배수위 영향이 60번 상류에는 미미하게 나타난 것은 소수력댐 상류의 급한 사행과 67번에 위치한 취수댐에 의해 흐름이 단절되어 합류부에는 배수위 영향이 작게 미치는 것으로 사료된다. 50년빈도 유량의 경우 수위차

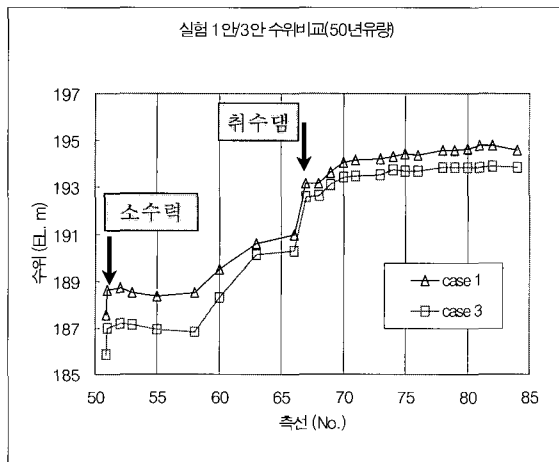


그림 16. 수리구조물 제거 전과 소수력댐 제거 후의 종방향 수위비교(50년빈도)

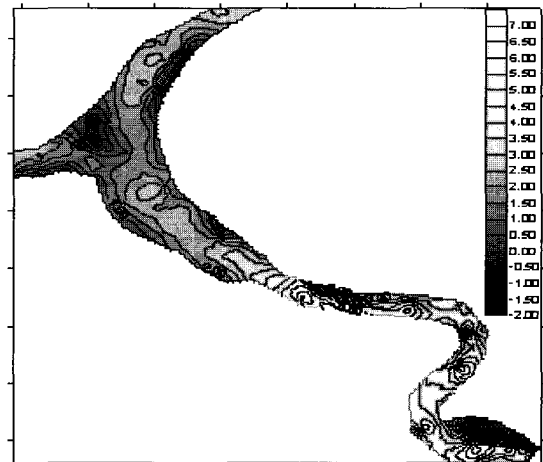


그림 17. 소수력댐 제거 후 유속분포도 (50년빈도)

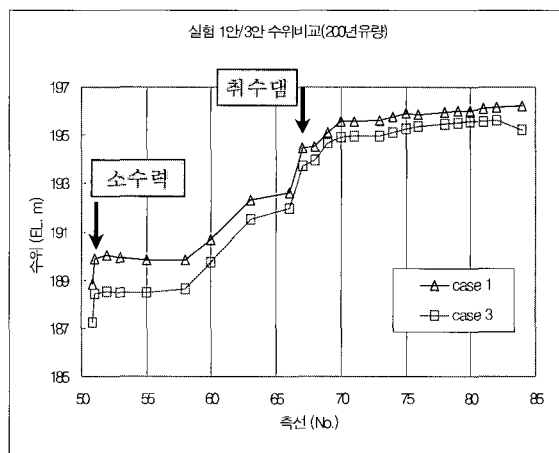


그림 18. 수리구조물 제거 전과 소수력댐 제거 후의 종방향 수위비교(200년빈도)

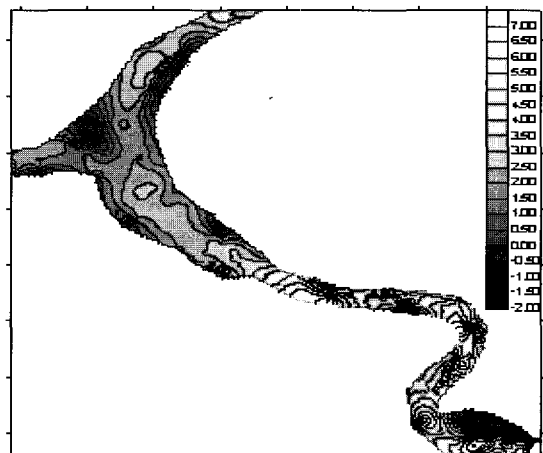


그림 19. 소수력댐 제거 후 유속분포도 (200년빈도)

범위는 $-1.69\text{m} \sim -0.48\text{m}$ 이고, 전체평균 -0.92m 로 수위가 낮아졌으며, 200년빈도의 경우 $-1.59\text{m} \sim -0.42\text{m}$ 로 평균 -0.82m 수위가 낮아졌다. 수위차가 가장 크게 나타난 지점은 소수력댐이 있는 No.50.85이다.

부록의 표 6 소수력댐 제거에 따른 수심 저감효과를 보면 소수력댐 제거에 따른 취수댐 상류 합류부의 평균 수심저감은 50년빈도의 경우 -0.70m , 200년빈도의 경우 -0.59m 로 약 0.65m 수위가 낮아졌으며, 수심저감효과는 50년빈도의 경우 5.69%, 200년빈도의 경우 4.30%로 취수댐 제거 후(CASE-2)에 비해 합류부에서의 수심저감효과는 작은 것으로 나타났다. 소수력댐의 경우 높이가 7.7m 로 취수댐(4.8m)에 비하여 상당히 크지만 수위 저감효과는 오히려 떨어지는 것은 소수력댐 상류의 급한 사행과 취수댐에 의하여 배수위 영향 구간이 취수댐 제거시에 비하여 작기 때문인 것으로 사료된다.

부록의 표 7 소수력댐제거에 따른 평균유속 결과를 보면 유속변화의 경우 소수력댐이 위치한 측선 50.08번

에서 50년빈도의 경우 -1.99m/s , 200년빈도의 경우 -1.48m/s 로 현상태에 비해 유속이 크게 느려졌으며, 이는 소수력댐 제거전 유속은 댐 월류부에서 측정하였기 때문에 구조물 제거 후 유속에 비해 빠른 유속을 나타낸 것으로 판단된다. 그 외 구간에서는 현상태 유속결과와 비슷한 수치를 보이고 있다. 전체적인 유속분포 또한 현상태와 비슷한 경향을 보이고 있으며, 합류부에서도 큰 차이는 나타나지 않았다.

3.2.3 취수댐 및 소수력댐 제거 후 흐름변화

취수댐 및 소수력댐제거시에서의 수위결과를 현상태의 결과와 비교해 보면 50년빈도유량에서는 취수댐이 위치한 67번에서 최대 -2.96m 수위차가 낮으며 66번에서 최소 -0.91m 수위차가 나타났고 평균 -2.13m 의 수위 저감효과가 있었다. 200년빈도 유량에서도 50년빈도 유량과 비슷한 경향을 보이고 있으며 평균 -2.15m 의 수위 저감효과가 나타났다. 평균수위의 종방향 수위비

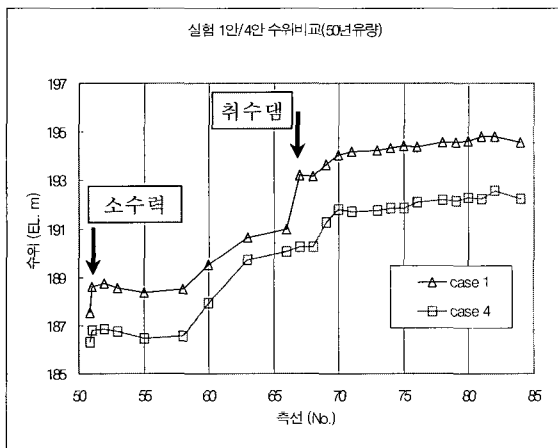


그림 20. 취수댐과 소수력댐 제거후의 종방향 수위비교(50년빈도)

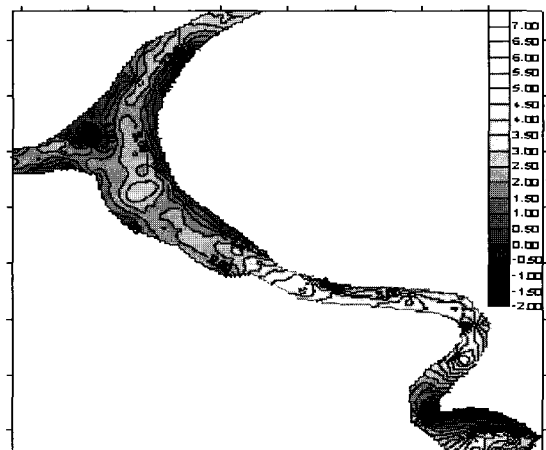


그림 21. 취수댐 및 소수력댐 제거후 유속분포도(50년)

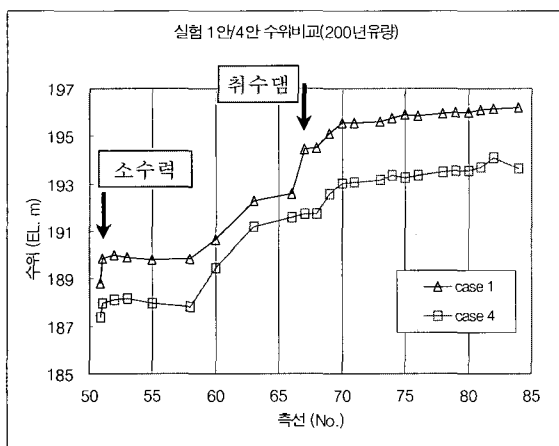


그림 22. 취수댐과 소수력댐 제거후의 종방향 수위비교(200년빈도)

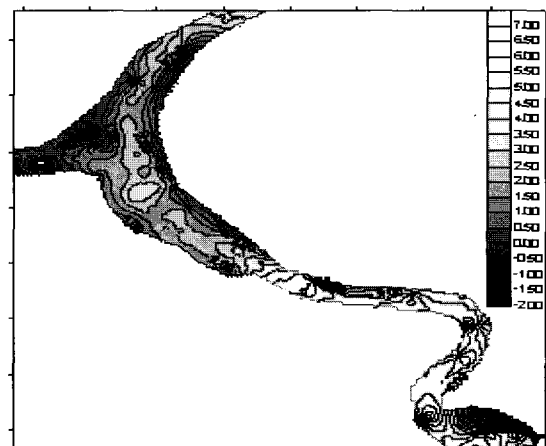


그림 23. 취수댐 및 소수력댐 제거후 유속분포도(200년)

교 그래프를 보면 소수력댐과 취수댐 제거에 따른 수위 저감은 급한 사행부와 팔홍교가 있는 No.60~No.66 구간에서 수위차는 약 1m 정도로 많은 차이를 보이지 않았으나, 그 외 구간에서는 취수댐제거시와 소수력댐제거시에 비해 큰 차이를 나타냈다. 특히 취수댐 상류 합류부에서의 평균수위 저감은 50년빈도의 경우 -2.47m, 200년빈도의 경우 -2.48m로 약 2.4m 이상 수위가 낮아졌다. 부록의 표 8 취수댐 및 소수력댐제거에 따른 수심저감효과를 보면 소수력댐과 취수댐 모두 제거한 경우 합류부(No.67~No.84)에서의 수심저감효과는 50년빈도의 경우 20.10%, 200년빈도의 경우 18.09%로 동시에 두 개의 수리구조물을 제거할 경우 합류부의 수심저감은 굉장히 크게 나타났다. 상류인 합류부에서의 수위저감은 크게 나타났지만 취수댐과 소수력댐 사이의 No.60~No.66 구간에서 상류보다 수위차가 더 작게 나타난 원인을 분석해 보면 취수댐 하류의 유로형태는 67~62번 구간은 직선 형태이고, 62~57번 구간은 약 120° 우안으로 급한 사행을 이루고 있으며, 다시 57~52번 구간에는 약 120° 좌안으로 급한 사행을 이루고 있어 소수력댐 제거에 따른 배수위 영향이 두 번의 급한 사행으로 인해 축선 63번 이후에는 많은 영향이 미치지 않았기 때문인 것으로 사료된다.

부록의 표 9 취수댐 및 소수력댐 제거에 따른 평균유속 결과를 보면 유속변화의 경우 소수력댐이 위치한 축선 50.08번에서 50년빈도의 경우 -4.22m/s, 200년빈도의 경우 -5.17m/s로 현상태에 비해 유속이 크게 느려졌으나, 합류부에서는 주 수로부를 중심으로 구조물 제거전에 비해 유속이 다소 빨라졌다. 그 외 구간에서는 현상태 유속결과와 비슷한 수치를 보이고 있다. 전체적인 유속분포를 보면 취수댐이나 소수력댐이 위치한 하류 사행부의 정체구간이 다소 감소한 것을 볼 수 있는데 이는 구조물 제거에 의해 유수소통이 다소 원활해 졌음을 의미한다. 따라서 이와 같은 결과를 종합해 볼 때 취수댐과 소수력댐을 동시에 제거할 경우 합류부 주변의 유수소통이 원활해져 합류부 유행개선에 큰 도움을 줄 것으로 예상된다.

4. 결 론

본 연구에서는 합류구간과 사행구간이 존재하는 복잡한 형태의 자연하천을 대상으로 하도내 수리구조물 변화에 따른 수리특성 변화를 분석하기 위하여 수리모형실험을 실시하였다. 실험조건은 하도내에 설치된 취수댐과 소수력댐 각각의 구조물을 제거시켜 모두 4가지의 실험조건을 구성하고 각각의 조건에서 분류와 지류의 유량을

50년, 200년빈도 홍수량으로 하여 수리모형실험을 수행하였다. 각각의 경우에 수위변화, 유속변화 등을 비교, 분석하였으며 다음과 같은 결론을 도출하였다.

첫째로, 남한강과 평창강 합류부 주변에 있는 수리구조물을 제거할 경우 합류부(No.67~No.84)의 평균 수위 저감은 취수댐 제거시 약 1.6m, 소수력댐 제거시 약 0.65m, 취수댐과 소수력댐 동시에 제거시 약 2.4m 수위 감소를 보였다.

둘째로, 취수댐 상류 합류부에서의 수심저감효과는 취수댐 제거시 약 12%, 소수력댐 제거시 약 5%, 취수댐 소수력댐 모두 제거시 약 18%로 2개의 수리구조물을 모두 제거할 경우 합류부 유행개선에 큰 도움이 될 것으로 예상된다.

셋째로, 소수력댐에 의한 배수위 저감효과는 취수댐과는 달리 소수력댐 상류 약 2km지점인 60번 단면 이후 급격히 감소하여 합류부에는 그 영향이 미미하게 나타났다. 이와 같은 실험결과를 유로형태와 비교해 볼 때 수리구조물에 의한 배수위 영향은 구조물로부터 거리 보다는 유로 형태에 따라 많은 영향을 받는 것으로 판단된다.

넷째로, 남한강과 평창강이 만나는 합류부에는 상류로부터의 유입유량 크기에 따라 약간의 차이가 있지만 전반적으로 유로 중심부로부터 영월 시내쪽으로 상당한 상류방향에는 유속이 0보다 작은 정체구간이 형성되며, 구조물제거에 따라 유속이 빨라지면서 정체구간도 다소 감소되고 있다. 이로 인하여 합류부에서의 퇴적현상이 감소될 것으로 보이며, 유수소통이 구조물 제거 전에 비해 원활해 질 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구(보고서)는 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행 한 2003년도 건설핵심기술연구개발사업 (03산학연C03-01)에 의한 도시홍수재해관리기술연구사업단의 연구성과입니다.

참 고 문 헌

- 박용섭 (2003). 합류부에서 유량 및 접근각도 변화에 따른 수리학적 특성 분석, 박사학위 논문, 인천대학교.
- 최계운, 박용섭, 최종영 (2002). "합류점의 수리특성에 관한 연구", **대한토목학회 2002년 학술발표회논문집**, pp. 494~496.
- 백창식, 윤세의 (1999). "만곡수로 합류부에서 흐름특성에 관한 실험적 연구", **대한토목학회논문집**, Vol.

- 19, No. II-3, pp. 297~307.
- 심기오 (1996). 도시 소하천의 합류 및 장애물로 인한 흐름특성의 변화, 박사학위 논문, 단국대학교.
- 강원도 (2004). **영월지역수해방지종합대책수립**, 강원도.
- Yannell (1934). *Bridge piers as channel obstructions*, U.S.Dept. of Agriculture, Technical Bulletin, pp. 442-451.
- Hager, W. H. (1989). "Transitional Flow in Channel Junctions", *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 115, No. 2, ASCE, pp. 243~259.
- Hager, W. H. (1987). "Discussion of Separation Zone at Open-Channel Junctions", by Best, J. L. and Reid, I., *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 113, No. 4, ASCE, pp. 539~543.
- Lin, J. D. and Soong, H. K. (1979). "Junction Losses in Open Channel Flows", *Water Resources Research*, Vol 15, No. 2, pp. 414~418.
- Modi, P. N., Ariel, P. D. and Dandekar, M. M. (1981). "Conformal Mapping for Channel Junction Flow", *Journal of the Hydraulic Division*, Vol. 107, No. HY12, ASCE, pp. 1713~1733.
- Taylor, E. H. (1994). "Flow Characteristics at Rectangular Open-Channel Junctions", *Transactions*, No. 109, ASCE, pp. 893~902.
- U.S. Army Corps of Engineers (2001). *HEC-RAS River Analysis System*, Hydraulic Reference Manual, Hydrologic Engineering Center, pp. 1-1~2-21.
- Webber, N. B. and Greated, C. A. (1966). "An Investigation of Flow Behaviour at the Junction of Rectangular Channels", *Proceedings*, Vol. 34, Session 1965~1966, The Institution of Civil Engineers, pp. 321~334.

(논문번호:05-39/접수:2005.02.25/심사완료:2005.07.12)

부 록

표 4. 취수댐제거에 따른 수심저감효과

단위: m

측선	구분	50년빈도	200년빈도
67	현상태 수심	14.13	15.41
	취수댐제거시 수심	12.03	13.45
	수심차	-2.09	-1.95
68	현상태 수심	15.89	17.25
	취수댐제거시 수심	13.93	15.27
	수심차	-1.96	-1.98
69	현상태 수심	14.35	15.82
	취수댐제거시 수심	12.55	14.14
	수심차	-1.80	-1.68
70	현상태 수심	13.37	14.89
	취수댐제거시 수심	11.72	13.31
	수심차	-1.65	-1.58
71	현상태 수심	12.60	13.99
	취수댐제거시 수심	10.89	12.43
	수심차	-1.71	-1.56
73	현상태 수심	12.13	13.52
	취수댐제거시 수심	10.45	12.08
	수심차	-1.68	-1.44
74	현상태 수심	12.85	14.31
	취수댐제거시 수심	11.25	12.86
	수심차	-1.60	-1.45
75	현상태 수심	9.89	11.37
	취수댐제거시 수심	8.24	9.70
	수심차	-1.65	-1.66
76	현상태 수심	12.82	14.28
	취수댐제거시 수심	11.34	12.76
	수심차	-1.48	-1.52
78	현상태 수심	10.87	12.22
	취수댐제거시 수심	9.19	10.80
	수심차	-1.68	-1.42
79	현상태 수심	10.80	12.21
	취수댐제거시 수심	9.16	10.78
	수심차	-1.64	-1.43
80	현상태 수심	10.75	12.10
	취수댐제거시 수심	9.07	10.70
	수심차	-1.68	-1.40
81	현상태 수심	11.47	12.76
	취수댐제거시 수심	9.67	11.31
	수심차	-1.80	-1.45
82	현상태 수심	11.82	13.14
	취수댐제거시 수심	10.09	11.57
	수심차	-1.73	-1.57
84	현상태 수심	11.93	13.53
	취수댐제거시 수심	10.40	11.92
	수심차	-1.54	-1.62
현상태 평균수심		12.38	13.79
취수댐제거시 평균수심		10.66	12.21
평균수심차		-1.71	-1.58
수심저감효과(%)		13.94	11.53

표 5. 취수댐제거에 따른 평균유속결과

단위: m/s

측선	구분	50년 빈도			200년 빈도		
		실험값	수치 모의	유속차	실험값	수치 모의	유속차
50.08		6.220	6.827	-0.61	6.250	7.106	-0.86
51		2.169	3.211	-1.04	2.386	3.313	-0.93
52		1.937	3.186	-1.25	2.703	2.866	-0.16
53		2.695	2.968	-0.27	2.752	2.702	0.05
55		3.272	3.746	-0.47	3.815	3.720	0.10
58		4.665	4.557	0.11	4.964	5.327	-0.36
60		3.198	5.072	-1.87	3.811	3.989	-0.18
63		3.696	4.479	-0.78	3.794	4.823	-1.03
66		3.530	3.594	-0.06	3.256	3.471	-0.21
67		4.469	63237	-1.77	4.753	6.879	-2.07
68		4.129	4.386	-0.26	4.186	4.310	-0.12
69		2.540	2.991	-0.45	2.260	2.881	-0.62
70		1.851	2.264	-0.41	1.552	2.218	-0.67
71		1.729	1.735	-0.01	1.476	1.733	-0.26
73		1.159	2.033	-0.87	1.896	1.699	0.20
74		1.055	1.683	-0.63	1.364	1.541	-0.18
75		1.545	2.389	-0.84	1.634	2.416	-0.78
76		1.394	1.524	-0.13	1.758	1.761	-0.00
77		0.896	0.998	-0.10	1.047	1.205	-0.16
78		0.493	1.046	-0.55	1.102	1.080	0.02
79		1.038	1.744	-0.71	1.460	1.055	0.40
80		1.040	1.775	-0.74	1.696	1.153	0.54
81		0.824	2.002	-1.18	1.622	13721	-0.10
82		1.154	1.722	-0.57	1.633	1.184	0.45
84		2.347	3.004	-0.66	2.519	2.897	- 0.38

표 6. 소수력댐제거에 따른 수심저감효과

단위: m

측선	구분	50년빈도		200년빈도	
		현상	차	현상	차
67	현상	14.13	15.41		
	소수력댐제거시 수심	13.51	14.65		
	수심차	-0.62	-0.75		
68	현상	15.89	17.25		
	소수력댐제거시 수심	15.35	16.69		
	수심차	-0.54	-0.56		
69	현상	14.35	15.82		
	소수력댐제거시 수심	13.81	15.36		
	수심차	-0.55	-0.46		
70	현상	13.37	14.89		
	소수력댐제거시 수심	12.76	14.23		
	수심차	-0.62	-0.66		
71	현상	12.60	13.99		
	소수력댐제거시 수심	11.90	13.37		
	수심차	-0.70	-0.63		
73	현상	12.13	13.52		
	소수력댐제거시 수심	11.43	12.87		
	수심차	-0.69	-0.65		
74	현상	12.85	14.31		
	소수력댐제거시 수심	12.26	13.65		
	수심차	-0.59	-0.65		
75	현상	9.89	11.37		
	소수력댐제거시 수심	9.18	10.75		
	수심차	-0.71	-0.62		
76	현상	12.82	14.28		
	소수력댐제거시 수심	12.13	13.79		
	수심차	-0.68	-0.49		
78	현상	10.87	12.22		
	소수력댐제거시 수심	10.14	11.74		
	수심차	-0.73	-0.47		
79	현상	10.80	12.21		
	소수력댐제거시 수심	10.06	11.70		
	수심차	-0.74	-0.51		
80	현상	10.75	12.10		
	소수력댐제거시 수심	9.99	11.68		
	수심차	-0.76	-0.42		
81	현상	11.47	12.76		
	소수력댐제거시 수심	10.53	12.22		
	수심차	-0.94	-0.54		
82	현상	11.82	13.14		
	소수력댐제거시 수심	10.91	12.62		
	수심차	-0.91	-0.52		
84	현상	11.93	13.53		
	소수력댐제거시 수심	11.22	12.56		
	수심차	-0.71	-0.97		
현상		12.38	13.79		
소수력댐제거시		11.68	13.19		
평균수심차		-0.70	-0.59		
수심저감효과(%)		5.71	4.30		

표 7. 소수력댐제거에 따른 평균유속결과

단위: m/s

측선	구분	50년 빈도			200년 빈도		
		실험값	수치 모의	유속차	실험값	수치 모의	유속차
50.08		4.838	6.827	-1.99	5.624	7.106	-1.48
51		3.820	3.211	0.61	3.475	3.313	0.16
52		3.625	3.186	0.44	3.268	2.866	0.40
53		3.713	2.968	0.75	3.355	2.702	0.65
55		4.225	3.746	0.48	4.063	5.327	0.34
58		5.760	4.557	1.20	5.367	3.989	0.04
60		4.688	5.072	-0.38	5.318	4.823	1.33
63		4.660	4.479	0.18	4.655	3.471	-0.17
66		3.890	3.594	0.30	4.496	6.819	1.03
67		6.083	6.237	-0.15	5.622	4.310	-1.20
68		4.446	4.386	0.06	4.350	2.881	0.04
69		3.134	2.991	0.14	3.031	2.218	0.15
70		2.425	2.264	0.16	2.226	1.733	0.01
71		1.764	1.735	0.03	1.713	1.699	-0.02
73		1.948	2.033	-0.09	2.014	2.416	0.31
74		1.626	1.683	-0.06	1.712	1.541	0.17
75		2.220	2.389	-0.17	2.275	2.416	-0.14
76		1.592	1.524	0.07	1.739	1.761	-0.02
77		0.863	0.998	-0.14	1.066	1.205	-0.14
78		0.997	1.046	-0.05	1.032	1.080	-0.05
79		1.699	1.744	-0.04	1.670	1.055	0.61
80		1.644	1.775	-0.13	1.685	1.153	0.53
81		1.771	2.002	-0.23	1.925	1.721	0.20
82		1.519	1.822	-0.20	1.561	1.184	0.38
84		2.918	3.004	-0.09	3.085	2.897	0.19

표 8. 취수댐 및 소수력댐제거에 따른 수심
저감효과

단위: m

측선	구분	50년빈도		200년빈도	
		수심	수심차	수심	수심차
67	현상태 수심	14.13	15.41		
	취수댐 및 소수력댐제거시 수심	11.16	12.65		
	수심차	-2.96	-2.75		
68	현상태 수심	15.89	17.25		
	취수댐 및 소수력댐제거시 수심	12.97	14.46		
	수심차	-2.92	-2.79		
69	현상태 수심	14.35	15.82		
	취수댐 및 소수력댐제거시 수심	11.94	13.26		
	수심차	-2.42	-2.56		
70	현상태 수심	13.37	14.89		
	취수댐 및 소수력댐제거시 수심	11.11	12.33		
	수심차	-2.27	-2.56		
71	현상태 수심	12.60	13.99		
	취수댐 및 소수력댐제거시 수심	10.13	11.49		
	수심차	-2.46	-2.50		
73	현상태 수심	12.13	13.52		
	취수댐 및 소수력댐제거시 수심	9.66	11.06		
	수심차	-2.47	-2.45		
74	현상태 수심	12.85	14.31		
	취수댐 및 소수력댐제거시 수심	10.40	11.92		
	수심차	-2.45	-2.39		
75	현상태 수심	9.89	11.37		
	취수댐 및 소수력댐제거시 수심	7.33	8.77		
	수심차	-2.55	-2.60		
76	현상태 수심	12.82	14.28		
	취수댐 및 소수력댐제거시 수심	10.54	11.80		
	수심차	-2.27	-2.48		
78	현상태 수심	10.87	12.22		
	취수댐 및 소수력댐제거시 수심	8.49	9.79		
	수심차	-2.39	-2.43		
79	현상태 수심	10.80	12.21		
	취수댐 및 소수력댐제거시 수심	8.36	9.76		
	수심차	-2.43	-2.45		
80	현상태 수심	10.75	12.10		
	취수댐 및 소수력댐제거시 수심	8.40	9.67		
	수심차	-2.35	-2.43		
81	현상태 수심	11.47	12.76		
	취수댐 및 소수력댐제거시 수심	8.90	10.39		
	수심차	-2.58	-2.38		
82	현상태 수심	11.82	13.14		
	취수댐 및 소수력댐제거시 수심	9.57	11.14		
	수심차	-2.24	-2.00		
84	현상태 수심	11.93	13.53		
	취수댐 및 소수력댐제거시 수심	9.60	11.04		
	수심차	-2.33	-2.50		
현상태 평균수심		12.38	13.79		
취수댐 및 소수력댐제거시 평균수심		9.90	11.30		
평균수심차		-2.47	-2.48		
수심저감효과(%)		20.13	18.09		

표 9. 취수댐 및 소수력댐제거에
따른평균유속결과

단위: m/s

측선	구분	50년 빈도			200년 빈도		
		실험값	수치 모의	유속차	실험값	수치 모의	유속차
50.08		2.602	6.827	-4.22	1.932	7.106	-5.17
51		2.813	3.211	-0.40	3.485	3.313	0.17
52		2.729	3.186	-0.46	2.729	2.866	-0.14
53		2.506	2.968	-0.46	2.506	2.702	-0.20
55		1.705	3.746	-2.04	3.707	3.720	-0.01
58		4.909	4.557	0.35	4.909	5.327	-0.42
60		4.135	5.072	-0.94	4.135	3.989	0.15
63		4.135	4.479	-0.34	4.135	4.823	-0.69
66		3.094	3.594	-0.50	3.094	3.471	-0.38
67		4.891	6.237	-1.35	4.891	6.819	-1.93
68		4.351	4.386	-0.03	4.351	4.310	0.04
69		3.067	2.991	0.08	3.067	2.881	0.19
70		2.003	2.264	-0.26	2.003	2.218	-0.21
71		1.630	1.935	-0.11	1.630	1.733	-0.10
73		1.641	2.033	-0.39	1.641	1.699	-0.06
74		1.446	1.683	-0.24	1.446	1.541	-0.10
75		2.330	2.389	-0.06	2.330	2.416	-0.09
76		1.519	1.524	-0.00	1.519	1.761	-0.24
77		1.296	0.998	0.30	1.296	1.205	0.09
78		1.141	1.046	0.09	1.141	1.080	0.06
79		1.343	1.744	-0.40	1.343	1.055	0.29
80		1.079	1.775	-0.70	1.079	1.153	-0.07
81		1.525	2.002	-0.48	1.525	1.721	-0.20
82		1.729	1.722	0.01	1.729	1.184	0.55
84		1.986	3.004	-0.02	2.986	2.897	0.09