

어도설치를 위한 댐하류 수리특성 분석

Analysis on Hydraulic Characteristics in Down Stream of Dam for Fishway Construction

맹 승 진* · 이 배 성**

Maeng, Seung-Jin · Lee, Bae-Seong

Abstract

In this study, we reviewed the optimal space for the fishway and fish storage establishment in the section between the downstream of the Hwacheon dam and the confluence of the Pungsan river. The hydraulic stability of these facilities was also examined. In the section between the downstream of Hwacheon dam and the confluence of Pungsan river, the release flow of Hwacheon dam was set at $5,495\text{m}^3/\text{s}$, $6,110\text{m}^3/\text{s}$ and $7,537\text{m}^3/\text{s}$, and numerical simulations were executed for each instance using the HEC-RAS model and RMA-2. In the analysis of the flow velocity distributions in the subject section by release flows of Hwacheon dam, it was shown that there was over $5.0\text{m}/\text{s}$ of high flow velocity at Sta. #1~Sta. #3, Sta. #4~Sta. #6, and Sta. #12~Sta. #13 of the sections analyzed in this study. The Sta. #0~Sta. #1 was considered appropriate for the fishway and fish storage establishment. As seen in the results of the numerical stability review by release flow conditions of Hwacheon dam subject to the selected available areas for fishway and fish storage, the topographically available section for the establishment of fishway and fish storage exists at Sta. #1~Sta. #3 when the release flow of Hwacheon dam is $5,495\text{m}^3/\text{s}$, whereas Sta. #0~Sta. #1 should be reviewed for the subject section for the establishment of fishway at release flows of $6,110\text{m}^3/\text{s}$ and $7,537\text{m}^3/\text{s}$, in addition to the figures gathered at the $5,495\text{m}^3/\text{s}$ release flow.

Finally, the available section for the establishment of fishway and fish storage was determined to be Sta. #0~Sta. #3. Further, if fishway and fish storage are established in the outer bank within this section, the high flow velocity section should be avoided. An alternative would be to establish for the fishway in the inner band on the section of Sta. #1 or Sta. #3.

Keywords : Hwacheon dam, Fishway, Numerical hydraulics, HEC-2, HEC-RAS, RMA-2, SMS

1. 서 론

우리나라는 지난 40여년간 급속한 경제성장으로 인해 개발도상국가에서 선진국가로 도약하는 단계에

있다. 최근의 급속한 산업화는 국민소득을 증가시켰고 이로 인해 '국가의 기간 구조물을 시공할 때에는 환경적인 측면을 중요시해야 한다'는 국민정서가 무르익게 되었다. 이와 같은 추세에 힘입어 최근에는 중앙정부나 지방자치단체에서 시공하고 관리하는 기간 시설물에 친환경적인 요소를 접목하여 운영하고 있다. 특히 자연과 밀접한 구조물인 수공구조물 시공 시 친환경적인 측면에서의 접근이 활발히 이루어지

* 충북대학교 농업생명환경대학 지역건설공학과

** 동부엔지니어링 수자원환경부

† Corresponding author. Tel.: +82-43-261-2576

Fax: +82-43-271-5922

E-mail address: maeng@chungbuk.ac.kr

고 있는 실정이다. 이러한 측면에서 화천군은 지역의 환경개선을 위해 화천댐으로 인해 단절된 하도로 발생된 어종의 변화를 묵과할 수 없는 현실에 처하게 되었다.

따라서 본 연구에서는 화천댐 직하류에서부터 풍산천 합류부까지를 분석대상구간으로 설정하고 화천댐의 방류량을 현재까지의 최대 실적 방류량인 5,495 m³/s, 최대 설계 방류량인 6,110m³/s 및 최대 수문 방류량인 7,537m³/s로 하는 방류 조건에 따른 1차원 및 2차원 수치모의, 즉 1차원 수치모의는 HEC-2 모형을 보완하여 Windows에 적합하도록 만들어진 HEC-RAS 모형, 2차원 수치모의는 유한요소법에 근거한 RMA-2 모형의 범용 프로그램인 SMS(Surface water Modeling System) 모형을 사용하여 분석하고자 한다. 결과적으로 본 연구에서는 화천댐 하류의 분석구간에 어도를 설치하는데 있어서 화천댐을 관리하고 있는 화천군과 한국수력원자력간의 고유 활용 목적을 만족할 뿐만 아니라 1차원 및 2차원 수치모의 분석에 의한 물리적 조건을 동시에 만족하는 최적의 위치를 제시함으로써 화천댐에 의해 단절된 어종의 변화를 개선하는데 도움을 주고자 한다.

II. 이론적 특성분석

본 연구를 위해 적용된 1차원 하천 흐름해석 프로그램인 HEC-RAS 모형(KWRA, 2002)과 2차원 하천 흐름해석인 RMA-2 모형에 대한 기본이론은 다음과 같다.

1. 1차원 수치모의

1차원 수치모의에서 수면곡선의 계산은 식 (1)의 에너지 방정식이 기본이 된다. 여기서 이용하는 방법이 표준 축차법으로 미지의 단면과 그 다음 단면사이의 값을 에너지 방정식에 의해서 반복적으로 계산하게 된다. 이때 최초 단면의 값은 그 다음 단면의 값을 산출해내는데 사용한다(Woo, 2001).

$$Y_2 + Z_2 + \frac{a_2 V_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \frac{a_1 V_1^2}{2g} + h_e \quad (1)$$

여기서, Y_1, Y_2 : 구간 양단에서의 수위,
 Z_1, Z_2 : 구간 양단에서의 단면 표고,
 V_1, V_2 : 구간 양단에서의 평균유속,
 a_1, a_2 : 구간 양단에서의 에너지 보정계수,
 g : 중력가속도, h_e : 에너지 손실수두

식 (1)의 단면사이에 발생하는 에너지 손실수두 h_e 는 다음과 같이 계산된다.

$$h_e = L \overline{S_f} + C \left| \frac{a_2 V_2^2}{2g} - \frac{a_1 V_1^2}{2g} \right| \quad (2)$$

여기서, L : 검사 단면간의 수로 구간길이,
 $\overline{S_f}$: 구간에서의 대표 마찰경사,
 C : 구간에서의 대표 마찰계수

또한, 검사단면간의 수로구간의 길이는 식 (3)으로 계산할 수 있다.

$$L = \frac{L_{lob} Q_{lob} + L_{ch} Q_{ch} + L_{rob} Q_{rob}}{Q_{lob} + Q_{ch} + Q_{rob}} \quad (3)$$

여기서, L_{lob}, L_{ch}, L_{rob} : 각각 좌측 제방, 주수로, 우측제방에서의 구간 양단의 수로구간 길이
 Q_{lob}, Q_{ch}, Q_{rob} : 각각 좌측 제방, 주수로, 우측 제방에 대한 구간 양단에서 산술 평균 유량

1차원 하천 흐름해석을 위한 단면분할, 에너지보정계수, 마찰손실, 압축·확대 손실 및 운동량 방정식의 적용은 Chow(1959), Gray(2001) 및 Roig(1995)에 의해 언급되었다.

2. 2차원 수치모의

RMA-2 모형은 2차원 질량 연속방정식과 2차원 Navier-Stokes의 힘-운동량 방정식에 대한 Reynolds 형태로 표시된다. 비압축성, 균질유체에 대한 Navier-Stokes식을 tensor형으로 기술하면 연속방정식과 운동방정식은 각각 식 (4) 및 식 (5)와 같다.

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \quad (4)$$

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} = g_i - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right] \quad (5)$$

여기서, x_i = Cartesian 좌표계, u_i = 속도 성분, ρ = 유체밀도, t = 시간, P = 압력, μ = 점성계수, g_i = 중력가속도, tensor (0, 0, -g)

난류 영역에서 속도와 압력은 시간과 공간 모두에 대해서 점진적으로 혹은 급격하게 변한다. 여러 가지의 항이 증가된 난류 유체의 내부 전단응력, 또는 Reynolds 때문에 Navier-Stokes 방정식의 점성력 항에 첨가된다. 따라서 이러한 수정들은 Navier-Stokes 방정식의 Reynolds 형태로 나타난다.

Reynolds 식을 식 (4) 및 식 (5)와 조합하면 다음 식과 같다.

연속방정식 :

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} + \frac{\partial \bar{w}}{\partial z} = 0 \quad (6)$$

x 방향 운동방정식 :

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} + \bar{w} \frac{\partial \bar{u}}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{p}}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} \right) \quad (7)$$

y 방향 운동방정식 :

$$\frac{\partial \bar{v}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{v}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} + \bar{w} \frac{\partial \bar{v}}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{p}}{\partial y} + \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} \right) \quad (8)$$

z 방향 운동방정식 :

$$\frac{\partial \bar{w}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{w}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{w}}{\partial y} + \bar{w} \frac{\partial \bar{w}}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{p}}{\partial z} + \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zz}}{\partial z} \right) \quad (9)$$

여기서, \bar{u}_i , \bar{p}_i 는 시간평균치를 취한 유속 및 압력항이고, u_i' , p_i' 는 변동속도 및 변동압력성분이며 전단응력항은 식 (10)과 같다.

$$\begin{aligned} \tau_{xx} &= 2\mu \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} - \rho \overline{u'u'} \\ \tau_{yy} &= 2\mu \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} - \rho \overline{v'v'} \\ \tau_{zz} &= 2\mu \frac{\partial \bar{w}}{\partial z} - \rho \overline{w'w'} \\ \tau_{xy} &= \mu \left(\frac{\partial \bar{u}}{\partial y} + \frac{\partial \bar{v}}{\partial x} \right) - \rho \overline{u'v'} \\ \tau_{xz} &= \mu \left(\frac{\partial \bar{u}}{\partial z} + \frac{\partial \bar{w}}{\partial x} \right) - \rho \overline{u'w'} \\ \tau_{yz} &= \mu \left(\frac{\partial \bar{v}}{\partial z} + \frac{\partial \bar{w}}{\partial y} \right) - \rho \overline{v'w'} \end{aligned} \quad (10)$$

RMA-2 모형에 의한 2차원 하천 흐름해석을 해석할 때 필요한 격자망의 구성과 절점에 대한 유속 산정은 U.S Army Corps of Engineers(1997)에 의해 언급되었다.

III. 수리특성 분석을 위한 조사 및 분석 방법

1. 조사 자료

분석 대상 구간에 대한 1차원 및 2차원 수리특성 분석을 실시하기 위해서는 하천의 종·횡단면 자료의 구축이 필요하다. 그래서 화천댐 직하류 지점부터 풍산천 합류지점까지 측량을 실시하였다. 측량한 결과를 토대로 1차원 및 2차원 수리특성 분석을 위한 지형자료를 Fig. 1과 같이 구축하였다.

1차원 및 2차원 수리특성 분석을 시도하기 위해 조도계수의 결정이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 Chow(1959)와 Barnes(1967)가 제시한 평균적인 조도계수를 이용하여 연구대상 구간의 조도계수를 산정하였다. 현지답사에 의해 분석 구간의 하상 재료의 특성이 돌로 구분됨에 따라, Fig. 1의 Sta. #0에서 Sta. #2까지의 조도계수는 0.050, Sta. #2에서 Sta. #13까지의 조도계수는 0.048로 하였다.

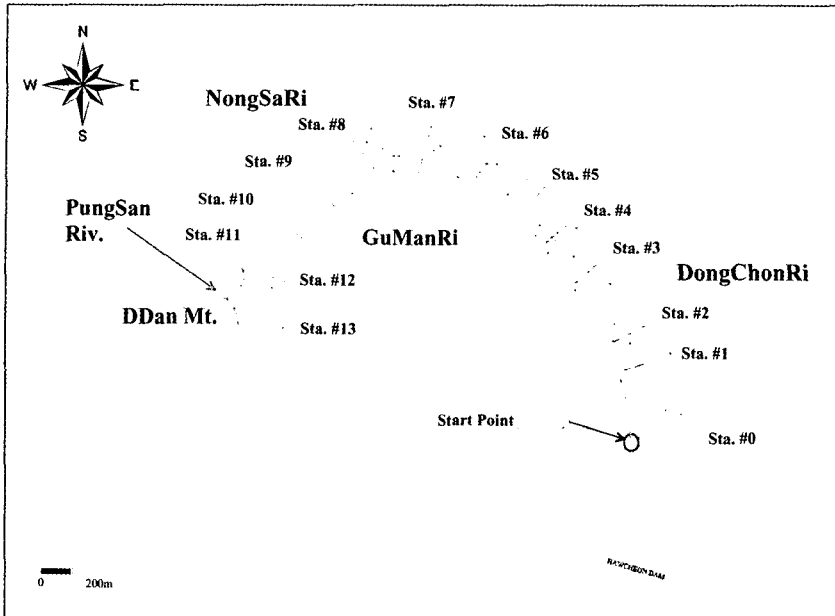


Fig. 1 Survey between the downstream of the Hwacheon dam and the joint point of the Pungsan river

2. 분석 방법

화천댐 직하류부에 어도를 설치할 지점을 선정하기 위해 화천댐 하류부에 대한 수리특성분석을 다음의 조건하에 실시한다.

화천댐 운영 이후 현재까지 여수로 최대 방류량인 $5,495\text{m}^3/\text{s}$ 를 방류할 경우, MOCT(1997)에서 제시한 여수로 최대 방류량인 $6,110\text{m}^3/\text{s}$ 를 방류할 경우 및 화천댐 최대 수문 방류량인 $7,537\text{m}^3/\text{s}$ 를 방류할 경우를 대상으로 1차원 및 2차원 수치모의 분석을 실시하기로 한다.

IV. 결과 및 고찰

1. 1차원 수치모의

본 분석에서는 1차원 수치모의를 위해 HEC-RAS 모형을 사용하였으며, 이 모형을 수행하기 위한 입력자료와 분석 결과는 다음과 같다.

가. 입력자료 구성

1차원 수치모의에 사용된 HEC-RAS 모형의 입력

자료는 하천의 지형자료와 흐름자료이다. 지형자료는 하천의 종방향거리, 횡단면자료 및 조도계수로서 전절에서 언급하였으며 흐름자료는 분석구간의 상류단과 하류단의 경계조건으로 구분하며 상류단의 경우에는 전절에서 언급한 화천댐의 방류량인 $5,495\text{m}^3/\text{s}$, $6,110\text{m}^3/\text{s}$ 및 $7,537\text{m}^3/\text{s}$ 를 경계조건으로 하였다. 하류단의 경우에는 경계조건으로 관측수위 자료, Rating Curve, 등류수심, 한계수심 등이 이용될 수 있으며, 여기서 등류수심은 하상경사와 수면경사가 동일할 때의 수심으로 HEC-RAS 모형에서는 하상경사를 입력하게 되어있다. 따라서 본 연구에서는 상류단 경계조건인 유량자료에 대응하는 하류단의 수위자료가 하상경사를 제외하고는 존재하지 않으므로 등류수심, 즉 하상경사를 하류단의 경계조건으로 하였다.

나. 수치모의 결과

화천댐 직하류부터 풍산천 합류부까지를 대상으로 화천댐에서의 방류량이 $5,495\text{m}^3/\text{s}$, $6,110\text{m}^3/\text{s}$ 및 $7,537\text{m}^3/\text{s}$ 일 경우에 1차원 모형인 HEC-RAS 모형을 이용하여 1차원 수치모의 분석을 실시한 결과는 다음과 같다. 이때 하류단의 경계조건으로는 하상경사 $S_0 = 0.002486$ 을 적용하였다.

화천댐 방류량이 5,495m³/s, 6,110m³/s 및 7,537 m³/s인 경우의 1차원 수치모의 결과는 Table 1과 같다. Table 1에서 방류량이 5,495m³/s일 때 분석 대상 전구간에 대하여 수위는 El. 84.30m~El. 91.79m로 변화하였고, 유속은 2.49m/s~4.80m/s로 나타났다. 특히 분석 대상구간에서 최소 유속은 최상류단인 Sta. #0 단면과 Sta. #8 단면에서 발생하였고, 최대 유속은 Sta. #1 단면에서 나타났다. 방류량이 6,110 m³/s일 때 분석 대상 전구간에 대하여 수위는 El. 84.78m~El. 92.28m로 변화하였다. 그리고 분석 대상구간에서 유속분포는 2.60m/s~4.91m/s이며, 최소 유속은 Sta. #8 단면에서, 최대 유속은 Sta. #1 단면에서 나타났다. 방류량이 7,537m³/s일 때 분석 대상 전구간에 대하여 수위는 El. 85.82m~El. 93.31 m로 변화하였다. 그리고 분석 대상구간에서 유속분포는 2.82m/s~5.13m/s이며, 최소 유속은 Sta. #8 단면에서, 최대 유속은 Sta. #1 단면에서 나타났다.

또한, 본 분석에 사용된 화천댐 방류량인 5,495 m³/s, 6,110m³/s 및 7,537m³/s를 조건으로 1차원 수치모의를 수행한 결과 각각의 하류단 수위는 El. 84.30m, El. 84.78m 및 El. 85.82m로서 2차원 수치모의의 수행시 하류단의 경계조건으로 사용하게 된다.

2. 2차원 수치모의

본 분석에서는 2차원 수치모의를 위해 RAM-2 모

형의 상용 프로그램인 SMS 모형을 사용하였으며, 이 프로그램을 수행하기 위한 입력자료와 분석 결과는 다음과 같다.

가. 입력자료 구성

2차원 수치모의를 적용하기 위해 하천 측량 자료를 사용하여 분석 구간의 지형자료를 Fig. 2(a)와 같이 구축하였다. 또한 분석구간의 세밀한 수치모의를 위해 5,024개의 요소와 10,429개의 절점으로 구성된 삼각형 격자망을 Fig. 2(b)와 같이 구성하였다.

하천흐름을 모의 수행하기 위한 중요한 인자중의 하나는 각 절점의 표고를 나타내는 지형자료와 더불어 하상재료의 특성을 나타내는 단면조도계수와 난류확산계수이다. 단면조도계수는 1차원 수치모의에서 적용한 바와 같이 동일한 방법으로 산정하였다. 난류확산계수는 분석대상 구간에서 1차원 흐름 해석시 평균 4.0m/sec 이상의 고유속 구간이 존재하였기 때문에 천수하천흐름의 고유속흐름 구간의 범위인 1,200~2,400N·sec/m² 범위 값을 적용하였다.

나. 수치모의 결과

본 분석에서는 전술한 입력자료를 사용하여 분석대상구간에서 화천댐의 방류량이 5,495m³/s, 6,110m³/s 및 7,537m³/s일 때 SMS 모형을 이용하여 2차원 수치모의 분석을 실시하였다. 이들 각각에 대한 수위분포, 수심분포, 유속벡터를 산정하였으나 본 분석에서

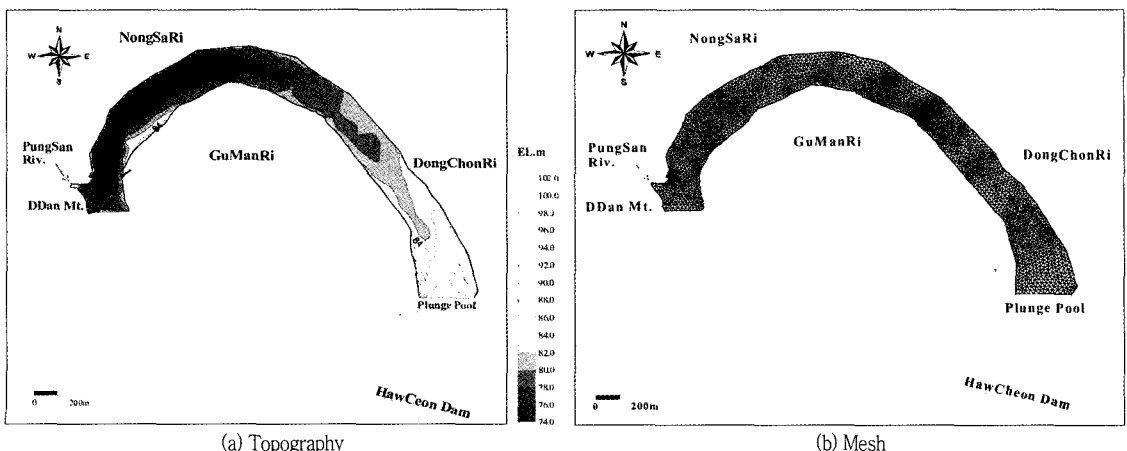


Fig. 2 Basic data for two dimension numerical analysis

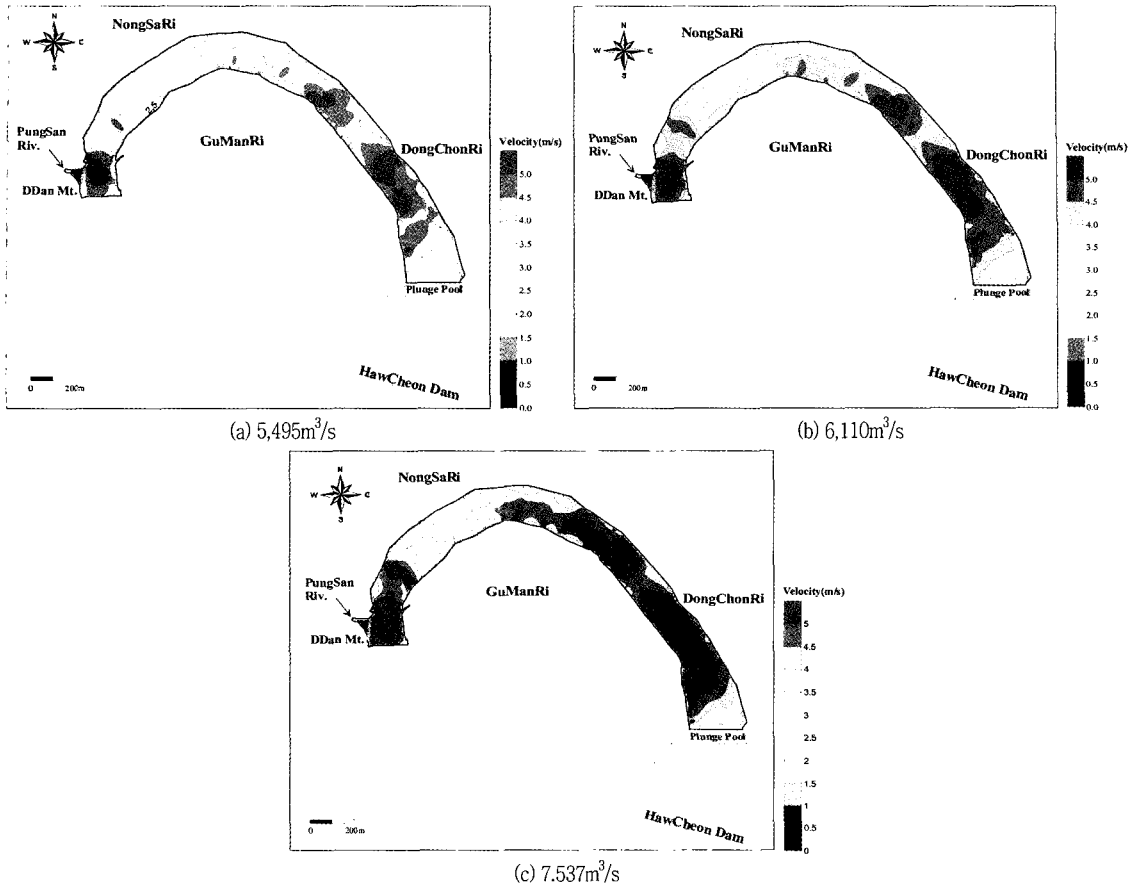


Fig. 3 Diagram of flow velocity distribution using RMA-2

는 표본 예로 유속분포도만을 Fig. 3과 같이 도시하였다.

Fig. 3(a)에서 보는 바와 같이, 5m/s 이상의 고유속을 보이는 구간은 Sta. #1~Sta. #3, Sta. #4~Sta. #6, 그리고, Sta. #12~Sta. #13 구간에서 발생하였으며, 이 외의 지역에서는 약 2.5m/s~4.0m/s의 유속분포가 나타났다. 특히, 풍산천의 합류부근에서 유속이 발생하지 않는 것은 풍산천의 유입량을 무시하여 계산하였기 때문이다. 또한, 분석대상 구간에서 단면별 평균 수위변화는 El. 84.61m~El. 91.65m이고, 단면별 평균 유속분포는 2.58 m/s~4.89 m/s이다. 단면별 평균유속에서 최대 평균유속은 Sta. #2 단면에서 4.89m/s로 나타났고, 최소 평균유속은 Sta. #0 단면에서 2.58m/s로 나타났다.

Fig. 3(b)에서 보는 바와 같이, 5m/s 이상의 고유

속을 보이는 구간은 Fig. 3(a)와 동일하였으나 Sta. #1~Sta. #3 구간에서의 고유속 분포가 좀 더 확대 발생하였으며, Sta. #7~Sta. #10 구간의 유속분포는 하도 중앙을 중심으로 평균 약 3.5m/s의 유속 분포를 나타내었다. 또한, 분석대상 구간에서 단면별 평균 수위변화는 El. 84.99m~El. 92.38m이고, 단면별 평균 유속분포는 2.66m/s~5.17m/s이다. 단면별 평균유속에서 최대 평균유속은 Sta. #2와 Sta. #5 단면에서 5.17m/s로 나타났고, 최소 평균유속은 Sta. #0 단면에서 2.66 m/s로 나타났다.

Fig. 3(c)에서 보는 바와 같이, 5m/s 이상의 고유속을 보이는 구간이 Fig. 3(b)에 비해 많이 발생하였다. 특히, Sta. #5 부근에 발생하였던 고유속 분포구간이 Sta. #4~Sta. #6 구간으로 확대 발생하였으며, Sta. #7~Sta. #10 구간의 유속분포는 화천댐에

Table 1 Comparison for mean velocity of section between one and two dimension numerical analysis using Hec-Ras and RMA-2

Sta.	Longitudinal distance (m)	Release flow(m ³ /s)											
		5,495				6,110				7,537			
		Water level (El. m)		Flow velocity (m/s)		Water level (El. m)		Flow velocity (m/s)		Water level (El. m)		Flow velocity (m/s)	
		Hec-Ras	RMA-2	Hec-Ras	RMA-2	Hec-Ras	RMA-2	Hec-Ras	RMA-2	Hec-Ras	RMA-2	Hec-Ras	RMA-2
0	2540.55	91.79	91.65	2.49	2.58	92.28	92.38	2.63	2.56	93.31	94.25	2.93	2.84
1	2229.55	90.26	91.20	4.80	4.50	90.72	91.60	4.91	4.79	91.74	94.25	5.13	5.15
2	2101.90	89.67	89.95	4.58	4.89	90.14	90.32	4.73	5.17	91.17	92.00	5.03	5.73
3	1823.19	88.86	88.79	3.97	4.41	89.36	89.22	4.11	4.63	90.42	90.75	4.40	5.07
4	1638.83	88.24	88.17	4.13	4.47	88.72	88.65	4.29	4.68	89.77	89.84	4.61	5.12
5	1488.04	87.81	87.50	4.04	4.89	88.30	87.90	4.18	5.17	89.36	89.63	4.48	5.77
6	1266.12	87.09	87.30	4.05	4.27	87.61	87.72	4.14	4.49	88.73	88.94	4.35	4.98
7	1028.78	86.78	86.71	3.10	3.89	87.32	87.21	3.20	4.07	88.48	89.00	3.42	4.51
8	805.49	86.64	86.50	2.50	3.28	87.18	87.06	2.60	3.44	88.35	88.25	2.82	3.83
9	587.07	86.10	86.48	3.33	3.26	86.63	87.00	3.45	3.42	87.74	89.18	3.71	3.81
10	407.60	85.60	86.54	3.66	3.40	86.12	87.02	3.78	3.57	87.23	89.40	4.04	4.01
11	296.48	84.98	85.76	4.36	3.91	85.45	86.25	4.55	4.12	86.47	88.19	4.93	4.68
12	199.92	84.68	85.15	4.31	4.45	85.14	85.61	4.49	4.71	86.15	87.00	4.87	5.44
13	0.00	84.30	84.61	3.66	3.98	84.78	84.99	3.79	4.21	85.82	85.98	4.07	4.92

서 6,110m³/s 방류할 때와 같이 하도 증앙을 중심으로 평균 약 4m/s의 유속분포를 나타내었다. 또한, 분석대상 구간에서 단면별 평균 수위변화는 El. 85.98 m~El. 94.25m이고, 단면별 평균 유속분포는 2.84 m/sec~5.77 m/sec이다. 단면별 평균유속에서 최대 평균유속은 Sta. #5 단면에서 5.77m/s로 나타났고, 최소 평균유속은 Sta. #0 단면에서 2.84m/s로 나타났다.

3. 1차원 및 2차원 수치모의 결과 비교

본 연구의 분석구간에 대한 1차원 수치모의 결과에서 수위와 유속은 각 단면에 대한 평균값이므로 이를 2차원 수치모의 모형과 비교, 분석하기 위해서는 2차원 모형에서 각 단면에 해당되는 절점값을 평균하였으며 이에 대한 결과는 Table 1과 같다.

Table 1과 같이 분석 대상구간에서 화천댐의 방류량이 5,495m³/s일 때 수위에 대한 1차원 및 2차원 수치모의 결과가 분석 대상 전 구간에 대하여 비교적 잘 일치하는 것으로 나타났다. 다만, 분석대상 구

간 중 최상류단 및 하류단의 경계부근에서 2차원 수치모의가 1차원 수치모의에 비해 큰 값을 모의하는 것으로 나타났으나, 이는 1차원 수치모의는 종 및 횡방향 확산을 고려하지 않는 반면에 2차원 수치모의에서는 이를 고려함에 따라 각 절점의 수위를 평균시키는데서 발생하는 오차로 판단된다. 또한, 분석구간의 중하류부에서는 2차원 수치모의에 의한 단면별 평균 유속이 1차원 수치모의에 의한 단면별 수치모의에 비해 다소 작게 산정되었다.

화천댐의 방류량이 6,110m³/s일 경우에는 화천댐의 방류량이 5,495m³/s일 때의 수심과 유속의 분포 양상은 비슷하나, 수위는 약 0.5m 상승하고, 유속은 약 0.2m/s 증가하는 것으로 나타났다.

화천댐의 방류량이 7,537m³/s일 경우, 분석구간의 경계부근에서 2차원 수치모의에 의한 수위가 1차원 수치모의에 비해 약 1.0m 크게 모의 되었으나, 분석구간의 중앙부인 Sta. #3~Sta. #8 구간에서는 약 0.5m 내외의 차이를 나타내었다. 유속의 경우에는 분석대상 전구간에 걸쳐 2차원 수치모의 결과가 1차원 수치모의에 비해 다소 크게 모의 하는 것으로 나타

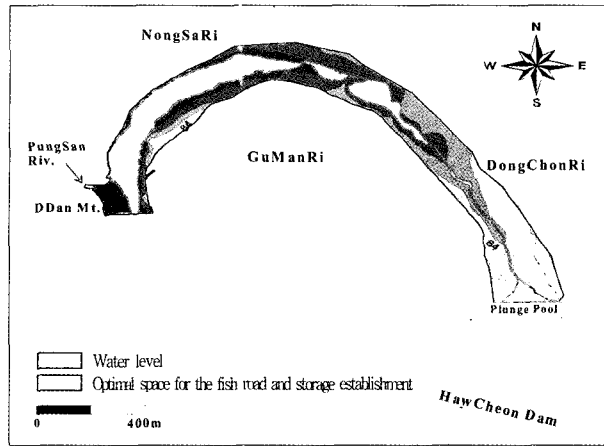


Fig. 4 Diagram for section of fish road and storage

났다. 그러나 전반적으로 전구간에 걸쳐 약 0.5m/s 내외의 차이를 보였다.

이상의 결과를 종합하면 화천댐의 방류량이 5,495 m³/s, 6,110m³/s 및 7,537m³/s 조건에서 1차원 및

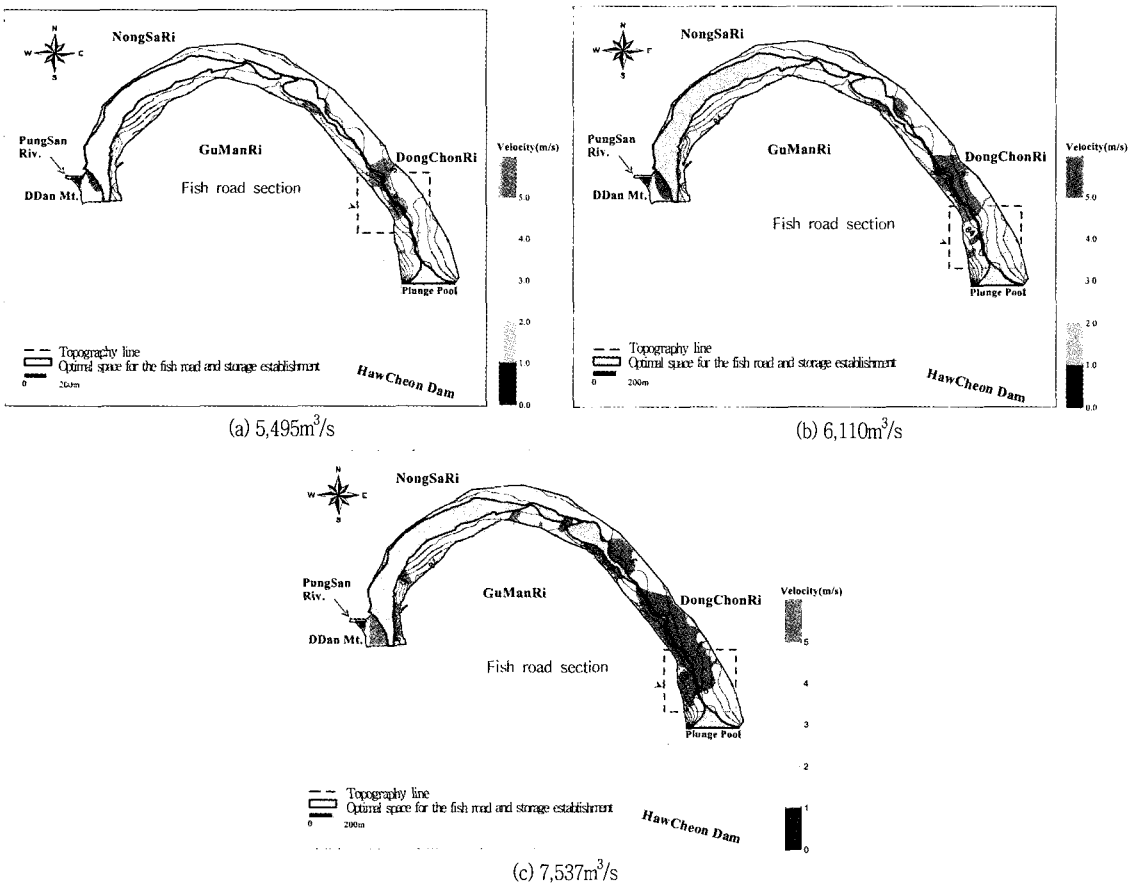


Fig. 5 Space for the fishway road and fish storage establishment

2차원 수치모의가 원활하게 수행된 것으로 사료된다.

4. 어도 설치 지점의 선정

본 분석에서는 화천댐 직하류부의 분석구간을 대상으로 1차원 및 2차원 수치모의의 분석 결과를 기반으로 하여, 화천댐 직하류부터 풍산천 합류점까지의 구간에서 어도 및 집어장을 설치하기에 타당한 구간을 Fig. 4와 같이 선정하였다.

Fig. 4에서 기존의 수위선은 Sta. #1~Sta. #13까지 존재하며, 이 구간의 수위는 평·갈수위에 해당되는 수위로써 어도 확보를 위한 별도의 작업이 이루어지지 않아도 되는 구간이다. 따라서 제외지에 어도 및 집어장을 설치할 경우 Sta. #0~Sta. #1 구간이 적절한 것으로 판단된다.

본 연구에서는 Fig. 4에 의해 선정된 어도 및 집어장 설치가능 구간에 대한 화천댐의 방류조건별 수리학적 안정성 검토를 실시하였으며, 그 결과는 Fig. 5와 같다.

Fig. 5(a)에서 보는 바와 같이 화천댐 방류량이 $5,495\text{m}^3/\text{s}$ 일 때, 지형학적 어도 및 집어장 설치가능 구간에서 5.0m/s 이상의 고유속의 분포를 나타내는 구간은 Sta. #1~Sta. #3, Sta. #4~Sta. #6 및 Sta. #12~Sta. #13이다. 여기에서 Sta. #4~Sta. #6과 Sta. #12~Sta. #13은 고유속 발생시 하상변동으로 인해 어도의 폭, 깊이 및 위치 등과 같은 물리학적 형상이 변할 수 있다. 그러나 이 구간은 평·갈수위시 수위가 존재하는 구간으로 별도의 어도 변경 등과 같은 작업이 이루어지지 않아도 되는 구간이다. 따라서 화천댐 방류량이 $5,495\text{m}^3/\text{s}$ 일 때, 어도 설치 대상구간은 Sta. #1~Sta. #3에 존재하게 된다.

또한, 화천댐 방류량이 $6,110\text{m}^3/\text{s}$ 와 $7,537\text{m}^3/\text{s}$ 일 때, 어도 설치 대상구간을 도시한 것은 Fig. 5(b) 및 Fig. 5(c)와 같으며 각각의 어도 설치 대상구간은 화천댐 방류량이 $5,495\text{m}^3/\text{s}$ 일 때의 어도 설치 대상구간에 추가하여 Sta. #0~Sta. #1의 구간이 검토되어야 할 것이다.

이상의 결과를 종합적으로 정리하면, 어도 및 집어장의 설치가능 구간은 Fig. 5에 표시한 것과 같이

Sta. #0~Sta. #3으로 나타났다. 이 구간에서 제외지에 어도 및 집어장을 설치할 경우 고유속 구간을 피하여 결정되어야 한다.

V. 결론

본 연구에서는 화천댐 직하류부터 풍산천 합류점까지의 구간에 어도와 집어장을 설치하기 위한 최적의 공간과 이러한 시설에 대한 수리학적 안정성 검토를 실시하였으며, 이에 대한 결과를 요약하면 다음과 같다.

화천댐 직하류부터 풍산천 합류점까지 구간에서 화천댐의 방류량을 $5,495\text{m}^3/\text{s}$, $6,110\text{m}^3/\text{s}$ 및 $7,537\text{m}^3/\text{s}$ 로 하였을 때, 각각에 대하여 1차원 및 2차원 수치모의를 실시하였다. 1차원 수치모의는 1차원 정상류 흐름해석 프로그램인 Hec-RAS 모형을 이용하였으며, 1차원 수치모의를 통해 2차원 수치모의를 위한 하류단 경계조건을 생성하였다. 2차원 수치모의는 유한요소법에 근거한 RMA-2 모형의 범용 프로그램인 SMS 모형을 이용하여 모의를 수행하였다. 2차원 수치모의 결과를 1차원 수치모의 결과와 비교한 결과 두 수치모의가 비교적 잘 일치하는 것으로 나타났다.

각각의 화천댐 방류량별 분석 대상구간에서의 수위변화는 방류량이 $5,495\text{m}^3/\text{s}$ 일 때, El. 84.3m~El. 95.0m, 방류량이 $6,110\text{m}^3/\text{s}$ 일 때, El. 84.78m~El. 95.0m, 방류량이 $7,537\text{m}^3/\text{s}$ 일 때, El. 85.82m~El. 94.25m로 나타났다. 화천댐 방류량별로 대상구간의 수위 분포는 유사한 양상을 나타냈으며, 방류량이 증가함에 따라 분석 대상구간 전역에 걸쳐 약 0.5m 씩 수위가 상승하였다. 그리고 방류량별로 분석 대상구간의 유속분포는 공히 Sta. #1~Sta. #3, Sta. #4~Sta. #6, Sta. #12~Sta. #13에서 5.0m/s 이상의 고유속을 나타내었다. 특히, 분석 대상구간의 유입유량 즉 방류량이 증가함에 따라 고유속구간이 좀 더 넓게 분포되는 양상을 나타내었다.

화천댐 직하류부터 풍산천 합류점까지의 구간에서 어도 및 집어장을 설치하기에 타당한 구간은 Sta. #0~Sta. #1이 적절한 것으로 판단되었다. 선정된 어도

및 집어장 설치가능 구간에 대한 화천댐의 방류조건 별 수리학적 안정성 검토를 실시한 결과 화천댐 방류량이 5,495m³/s일 때, 지형학적 어도 및 집어장 설치가능 구간은 Sta. #1~Sta. #3에 존재하며, 화천댐 방류량이 6,110m³/s와 7,537m³/s일 때, 어도 설치 대상구간은 방류량이 5,495m³/s일 때의 어도 설치 대상구간에 추가하여 Sta. #0~Sta. #1의 구간이 검토되어야 할 것이다.

최종적으로 어도 및 집어장의 설치가능 구간은 Sta. #0~Sta. #3으로 나타났다. 이 구간에서 제외지에 어도 및 집어장을 설치한다면 고유속 구간을 피하여 결정되어야 한다.

이 논문은 2006년도 충북대학교 학술연구지원 사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었음(This work was supported by Chungbuk National University Grant in 2006).

References

1. Barnes, H. H. 1967. *Roughness Characteristics of Natural Channels*, Geological Survey Water-Supply Paper 1849, US Government Printing Office, Washington, D. C.
2. Chow, V. T. 1959. *Open-Channel Hydraulics*, Mc-Graw Hill, New York, USA, pp. 116-123.
3. Gray, W. B. 2001. *Hec-Ras, River Analysis System Hydraulic Reference Manual*, U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, Davis, Calif.
4. Korea Water Resources Association (KWRA), 2002. *10th Report on Hydro-Engineering Workshop*, Seoul, Korea. (in Korea)
5. Ministry of Construction and Transportation (MOCT). 1997. *Survey Report on Water Supply Ability in Dams (Han River Basin)*, Gwacheon, Korea. (in Korean)
6. Roig, L. C. 1995. *Mathematical Theory and Numerical Methods of Modeling of Wetland Hydraulics*, in Water Resources Engineering, Proceedings of the 1995 First International Conference, ASCE, New York, pp. 249-253.
7. U.S. Army Corps of Engineers. 1997. *User's Guide to RMA2 WES Version 4.3*, Waterways Experiment Station Hydraulics Laboratory, Wex-Tech System, Inc., New York.
8. Woo, H. S. 2001. *Handbook of River Hydraulic*, Cheongmoongak. Korea. (in Korea)