

분수로 분류부 형상에 따른 유량분배율 특성의 실험적 연구

An Experimental Study on Characteristic of Discharge Distribution Rate according Divided Channel Shape

최한규* 백호선** 이석환***
Choi, Han-Kyu Baek, Hyo-Sun Lee, Seok-Hwan

Abstract

The divided channel is not often used on the river and when the installation is for the controlling of the flow quantity. The determination of the channel size is not a easy task. Model tests are examined to confirm the variation of distribution rate by the method of the channel installation and the position of the structure and the adjustment of numerical simulation is executed by the comparing of the results. This study is to execute numerical model according to installation of divided channel by using AQUADYN program, the 2nd dimension numerical model, and HEC-RAS program, the 1st dimension numerical model, by the shape of divided channel. Also, it compares with difference by method about each case.

키워드 : 분수로, 분배율

Keywords : *Divided Channel, Distribution Rate*

1. 서론

종래의 하천 흐름에 대한 연구는 주로 수리 모형 실험에 의해서 발전해 왔다. 그러나 1960년대 이후부터는 컴퓨터의 발달과 보급에 힘입어 수치 모형 실험의 비중이 높아지고 있는 실정이다. 수리 모형 실험과 수치 모형 실험을 비용과 시간 측면에서 비교해 보면 수치 모형 실험이 좀더 유리하다고 할 수 있다. 실험의 신뢰성에 있어서는 아직 수리 모형 실험 쪽이 높다고 생각할 수 있으나, 수리 축소 모형으로는 실제 흐름의 재현 및 원형으로의 환산에 문제가 따른다는 단점도 있다. 최근에는 수

리 모형 실험 결과가 수치 모형 실험의 검증 자료로 이용되며 또한 수치 모형 실험 결과가 수리 모형 실험의 예비 실험으로 이용되는 등 상호 보완적인 역할을 한다. 하천 수치 모형은 일차원, 이차원 및 삼차원 모형으로 나누어진다. 일차원 모형은 모형과 이론이 단순하여 이용하기에는 가장 편리하지만 이로부터 구한 결과를 이용하여 실제 흐름 현상을 명확히 규명하기에는 어렵다. 반면 삼차원 모형은 수평과 연직 방향의 모든 정보를 제공해 주나 프로그램이 방대하고 운용에 시간과 비용이 많이 소요되는 단점이 있다. 따라서 이차원과 삼차원 상황의 중간 단계적인 수치 모형이 널리 연구된 바 있다.

본 연구에서는 모형과 이론이 단순하여 이용하기에 가장 편리한 일차원 하천 모형인 HEC-RAS와 이차원 하천모형 중 상용화된 AQUADYN을

* 강원대학교 토목공학과 교수, 공학박사

** 강원대학교 대학원 토목공학과 박사과정

*** 강원대학교 대학원 토목공학과 석사과정

사용하였고, 그 결과와 실제 실험 모형과의 차이를 비교, 분석하였다.

2. 수치모형

2.1 일차원 하천 모형

하천에서 일차원 점변 부정류를 해석하기 위해 사용하는 지배 방정식은 연속 방정식과 운동량 방정식으로 구성되는 Saint Venant 방정식으로 Lai(1986)가 유도한 식의 형태는 다음과 같다.

$$B \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial A}{\partial x} u + A \frac{\partial u}{\partial x} + uB \frac{\partial h}{\partial x} = [q] \quad (1)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + g \frac{\partial h}{\partial x} - gS_0 + gS_f = \left[-\frac{q}{A}(u-u') \right] \quad (2)$$

여기서 t 는 시간, x 는 흐름 방향의 좌표, h 는 수심, B 는 하폭, A 는 유수단면적, u 는 유속, q 는 횡유입량, g 는 중력가속도, S_0 는 하상 경사, S_f 는 마찰 경사, u' 는 횡유입량의 x 방향 유속이다.

식 (1~2)의 유도에는 유체의 연속성, 비압축성, 비뉴톤 흐름 등 기본 가정과 더불어 다음과 같은 가정이 필요하다. ① 유체는 균일한 밀도를 가지고 있다. ② 천수 이론 (shallow water theory)의 적용을 받는다. 유체 입자의 수평 방향 가속도는 중력 가속도와 비교하여 무시할 만큼 작다. 따라서 흐름 중의 수압 분포는 정수압 분포를 이룬다. ③ 하상은 수평에 가까우며 흐름 방향으로 굴곡이 심하지 않다. 따라서 흐름방향은 최심 하상고를 따라 정의될 수 있다. 시간에 따라 변하지 않는다. ④ 항상 안정적이어서 시간에 따라 변하지 않는다. ⑤ 수평 유속 성분에 의한 전단력만을 고려한다. 따라서 Chezy 공식이나 Manning 공식이 사용될 수 있다.

2.2 이차원 하천 모형

이차원 하천 모형은 연직 방향의 변화를 무시하는 수평 이차원 모형과 수평 방향의 변화를 무시하는 연직 이차원 모형으로 나눌 수 있다. 수평 이차원 모형은 수심 적분형 천수 방정식을 이용하며, 연직 이차원 모형은 밀도류 및 성층류와 같이 연직 방향의 밀도 변화가 흐름에 큰 영향을 미치는 경우에 적용하며 폭 적분형 방정식을 이용한다. 하천의 경우에는 흐름의 연직 방향의 변화보다는 수평 방향의 변화가 크기 때문에 수평 이차원 모형을 자주 이용하게 된다.

연속방정식,

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial(HU)}{\partial x} + \frac{\partial(HV)}{\partial y} = 0 \quad (3)$$

운동량 방정식,

$$\begin{aligned} & \frac{\partial(HU)}{\partial t} + \frac{\partial(UHU)}{\partial x} + \frac{\partial(VHU)}{\partial y} \\ &= \frac{\partial}{\partial x} (H\nu' \frac{\partial U}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (\nu' \frac{\partial U}{\partial y}) - gH \frac{\partial \zeta}{\partial x} \\ &+ \frac{\tau_x^F}{\rho} - \frac{\tau_x^B}{\rho} \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial(HV)}{\partial t} + \frac{\partial(UHV)}{\partial x} + \frac{\partial(VHV)}{\partial y} \\ &= \frac{\partial}{\partial x} (H\nu' \frac{\partial V}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (\nu' \frac{\partial V}{\partial y}) - gH \frac{\partial \zeta}{\partial x} \\ &+ \frac{\tau_y^F}{\rho} - \frac{\tau_y^B}{\rho} \end{aligned} \quad (5)$$

여기서 t 는 시간, x 와 y 는 좌표, H 는 수심, ζ 는 바닥면 표고 z 에 수심을 더한 수면 표고, U 와 V 는 수심 평균 유속, τ_x^F 와 τ_y^F 는 각각 x 와 y 방향의 수면 전단응력, τ_x^B 와 τ_y^B 는 각각 x 와 y 방향의 바닥면 전단 응력, ρ 는 물의 밀도, g 는 중력가속도를 나타낸다. 수면 전단력과 바닥면 전단력은 각각 다음 식과 같이 모형화할 수 있다.

$$\begin{aligned} \tau_x^F / \rho &= \rho_a c_f W_x \sqrt{W_x^2 + W_y^2}, \\ \tau_y^F / \rho &= \rho_a c_f W_y \sqrt{W_x^2 + W_y^2} \\ \tau_x^B / \rho &= gn^2 U \frac{\sqrt{U^2 + V^2}}{H^{1/3}}, \\ \tau_y^B / \rho &= gn^2 V \frac{\sqrt{U^2 + V^2}}{H^{1/3}} \end{aligned} \quad (7)$$

여기서 ρ_a 는 공기의 밀도, c_f 는 공기와 물의 마찰 계수, W_x 와 W_y 는 각각 x 와 y 방향의 풍속, n 은 Manning 조도 계수이다.

식(4)와 식(5)를 식(7)과 같이 모형화하여 벡터 형태로 정리하면 다음 식을 얻을 수 있다.

$$\frac{\partial U}{\partial t} + \frac{\partial E}{\partial x} + \frac{\partial F}{\partial y} = S \quad (8)$$

여기서 $U = [H, HU, HV]^T$ 를 미지수 벡터이며, $E = [HU, HU^2 + gH^2/2, HUV]^T$ 로 x -방향 플럭스벡터이며,

$F = [HU, HUV, HV^2 + gH^2/2]^T$ 로 y -방향 플럭스 벡터이며,

$S = [0, gH(S_{0x} - S_{fx}), gH(S_{0y} - S_{fy})]^T$ 로 생성항 벡터이며, 생성항 벡터에서 S_{0x} 와 S_{0y} 는 각각 x 와 y 방향 바닥면 경사, S_{fx} 와 S_{fy} 는 각각 x 와 y 방향 수면 경사를 나타낸다

3. 모형 실험

3.1 모형실험

(1) Case 1~Case 4

Case 1~Case 3은 분수로 입구에 수증보를 위치의 변화를 주어 설치하였으며, 분수로에 수증보를 설치하지 않았다. 그리고 Case 4는 분수로와 분수로 모두 수증보를 설치하여 유량증가에 따른 유량분배율을 실험하였다.

(2) Case 5~Case 7

분수로와 분수로 모두 수증보를 제거한 상태이며 분수로의 유입각도에 변화를 주어 실험을 실시하였다.

(3) Case 8~Case 10

분수로에는 증보를 설치하지 않은 상태로서 분수로에 부분적인 수증보를 설치하여 설치각도에 따른 유량 분배를 실험하였다.

(4) Case 11~Case 14

Case 11~Case 13의 경우는 분수로에 하폭 변화를 주어 실험을 실시하였고, Case 14는 분수로의 하폭을 변화시키면서 분수로에 부분적인 수증보를 설치한 경우이다.

3.2 모형실험 결과

각 경우에 대하여 모형실험결과를 살펴보면 우선 Case1의 경우에 대한 실험 결과 다음 표와 같은 결과를 얻었다. 이 경우를 보면 유량의 증가에 대하여 분배율 변화에 큰 변동이 없음을 볼 수 있다

표1. Case 1 결과

유량 (m ³ /sec)	측정단면	분배유량 (m ³ /sec)	분배율 (%)
660	A단면	423	64.1
	B단면	237	35.9
735	A단면	481	65.4
	B단면	254	34.6
775	A단면	498	64.3
	B단면	277	35.7
845	A단면	516	61.1
	B단면	329	38.9

Case 2에 대하여 실험한 결과를 표<2>를 통하여 볼 수 있는데 분수로에 설치한 보가 하류쪽으로 내려감으로써 분수로 유량 부담이 되려 줄어들고 있음을 볼 수 있었다

표2. Case 2 결과

유량 (m ³ /sec)	측정단면	분배유량 (m ³ /sec)	분배율 (%)
660	A단면	496	75.1
	B단면	164	24.9
735	A단면	540	73.4
	B단면	195	26.6
775	A단면	559	72.2
	B단면	216	27.8
845	A단면	607	71.8
	B단면	238	28.2

Case 3은 Case 2에 비하여 분수로의 보 위치를 하류방향으로 이동했을 경우인데 Case 1에서 Case 2로 보가 이동했을 때의 유량 분배율 차보다는 작은 차이이지만 분수로의 유량분배율이 작아지고 있음을 확인하였다.

표3 Case 3 결과

유량 (m ³ /sec)	측정단면	분배유량 (m ³ /sec)	분배율 (%)
660	A단면	515	78.1
	B단면	145	21.9
735	A단면	573	78.0
	B단면	162	22.0
775	A단면	580	74.9
	B단면	195	25.1
845	A단면	624	73.8
	B단면	221	26.2

Case 4의 경우는 Case 2의 경우보다 분수로에 0.5m의 보를 설치한 경우인데 이때의 분배율을 보면 Case 1의 경우와 비슷한 결과를 얻었으나 Case 1의 경우에 비하여 유량증가에 의한 분배율의 변화가 본 경우에 크게 발생하는 것을 볼 수 있었다.

표4. Case 4 결과

유량 (m ³ /sec)	측정단면	분배유량 (m ³ /sec)	분배율 (%)
660	A단면	439	66.5
	B단면	221	33.5
735	A단면	477	64.9
	B단면	258	35.1
775	A단면	477	61.5
	B단면	298	38.5
845	A단면	498	59.0
	B단면	347	41.0

이번의 경우에는 분수로에 수증보를 제거하고 분수로에 대한 분수로의 설치 각도에 대한 변화를 주었을 때의 경우에 대하여 실험한 결과이다 우선 Case 5의 경우는 설치각이 15°인 경우인데 대체로 30%이상의 분배율을 보였다.

표5. Case 5 결과

유량 (m ³ /sec)	측정단면	분배유량 (m ³ /sec)	분배율 (%)
660	A단면	458	69.4
	B단면	202	30.6
735	A단면	502	68.3
	B단면	233	31.7
775	A단면	510	65.8
	B단면	265	34.2
845	A단면	544	64.4
	B단면	301	35.6

Case 6에서는 30°로 했을 경우인데 이 경우에는 유량 증가에 대하여 분수로 분배율의 변화가 다른 경우에 비하여 작음을 알 수 있었다. 또한 각도에 대한 분배율의 차이가 있음을 알 수 있었다.

표6 Case 6 결과

유량 (m ³ /sec)	측정단면	분배유량 (m ³ /sec)	분배율 (%)
660	A단면	462	70.0
	B단면	198	30.0
735	A단면	511	69.5
	B단면	224	30.5
775	A단면	531	68.5
	B단면	244	31.5
845	A단면	568	67.3
	B단면	277	32.7

Case 7은 분수로의 설치각도를 45°로 증가시켜 실험을 한 경우로 설치각도에 따라서 분수로의 유량 분배율이 지속적으로 감소하는 경향을 확인 할 수 있었다

표7 Case 7 결과

유량 (m ³ /sec)	측정단면	분배유량 (m ³ /sec)	분배율 (%)
660	A단면	464	70.3
	B단면	196	29.7
735	A단면	507	69.0
	B단면	228	31.0
775	A단면	543	70.0
	B단면	232	30.0
845	A단면	581	68.8
	B단면	264	31.2

Case 8은 Case 5와 같이 분수로의 수중보를 제거하고 분수로에 대한 분수로의 설치각도를 15°로 한 경우로써 분수로에 부분적인 수중보를 설치하였다.

표8. Case 8 결과

유량 (m ³ /sec)	측정단면	분배유량 (m ³ /sec)	분배율 (%)
660	A단면	472	71.4
	B단면	188	28.6
735	A단면	529	72.0
	B단면	206	28.0
775	A단면	550	71.0
	B단면	225	29.0
845	A단면	590	69.8
	B단면	255	30.2

Case 9는 Case 8과 분수로 조건은 같으며 분수로 수중보의 설치각도를 30°로 하여 실험을 하였다. 분수로에서의 유량분배율이 Case 8의 경우보다 증가함을 알 수 있다.

표9. Case 9 결과

유량 (m ³ /sec)	측정단면	분배유량 (m ³ /sec)	분배율 (%)
660	A단면	452	68.5
	B단면	208	31.5
735	A단면	514	70.0
	B단면	221	30.0
775	A단면	527	67.9
	B단면	248	32.1
845	A단면	578	68.4
	B단면	267	31.6

Case 8, Case 9와 같은 조건이며, 분수로의 수중보 설치각도를 60°로 하였다. 분수로의 수중보 설치 각도가 커짐에 따라서 분배율이 점진적으로 증가하고 있음을 나타내고 있다.

표10. Case 10 결과

유량 (m ³ /sec)	측정단면	분배유량 (m ³ /sec)	분배율 (%)
660	A단면	443	67.1
	B단면	217	32.9
735	A단면	502	68.3
	B단면	233	31.7
775	A단면	521	67.2
	B단면	254	32.8
845	A단면	567	67.1
	B단면	278	32.9

Case 11~Case 14의 경우는 분수로의 하폭을 변화시켜 실험한 경우이다. Case 11의 경우는 분수로 단면의 10%를 축소시켜 실험을 하였고 유량이 증가함에 따라 분배율이 비교적 크게 증가함을 알 수 있었다.

표11. Case 11 결과

유량 (m ³ /sec)	측정단면	분배유량 (m ³ /sec)	분배율 (%)
660	A단면	487	73.7
	B단면	173	26.3
735	A단면	523	71.2
	B단면	212	28.8
775	A단면	543	70.1
	B단면	232	29.9
845	A단면	585	69.2
	B단면	260	30.8

Case 12는 분수로의 하폭을 25% 축소시켰으며 그 결과 유량증가에 따른 분배율의 증가가 Case12보다 적어짐을 알 수 있었다.

표12. Case 12 결과

유량 (m ³ /sec)	측정단면	분배유량 (m ³ /sec)	분배율 (%)
660	A단면	500	75.7
	B단면	160	24.3
735	A단면	552	75.1
	B단면	183	24.9
775	A단면	580	74.8
	B단면	195	25.2
845	A단면	621	73.4
	B단면	224	26.6

다음은 분수로의 하폭을 50%로 축소시켰으며 유량증가에 따라서 분배율이 증가하는 것으로 나타났다. Case 11, Case 12에 비해 거의 없음을 보이고 있다.

표13. Case 13 결과

유량 (m ³ /sec)	측정단면	분배유량 (m ³ /sec)	분배율 (%)
660	A단면	531	80.4
	B단면	129	19.6
735	A단면	592	80.5
	B단면	143	19.5
775	A단면	619	79.8
	B단면	156	20.2
845	A단면	669	79.2
	B단면	176	20.8

Case 14는 분수로의 하폭을 50%로 축소시키고 분수로에 부분적이 수중보를 설치하였다. Case13의 결과와 비교할 때 분수로에 부분적이 수중보가 있더라도 분수로의 단면이 과다 축소되면 분배율에는 영향을 끼치지 않는다는 것을 알 수 있었다.

표14. Case 14 결과

유량 (m ³ /sec)	측정단면	분배유량 (m ³ /sec)	분배율 (%)
660	A단면	527	79.8
	B단면	133	20.2
735	A단면	579	78.7
	B단면	156	21.3
775	A단면	605	78.1
	B단면	170	21.9
845	A단면	662	78.3
	B단면	183	21.7

4. 수치모의

4.1 수치모의 개요

컴퓨터가 오늘날과 같이 발달되기 전의 시대에는 하천 흐름을 해석하기 위해서 여러 가지 형태로 단순화시킨 모형을 이용하였다. 오늘날에도 하천의 특성이나 홍수시 수문 곡선의 변화 양상 등을 고려하여 보다 경제적이며 효율적으로 흐름을 해석하기 위해 단순화된 방법을 이용하고 있다. 그러나 컴퓨터 연산 속도의 증가, 컴퓨터 이용료의 인하, 컴퓨터 보급의 확대 등으로 인해 단순화된 모형을 사용하는 장점은 많이 줄어든 상황이다. 따라서 본 연구에서는 1차원 해석모형인 HEC-RAS와 2차원 해석모형인 AQUADYN을 이용하여 각 경우에 대하여 분배율을 산정하여 보았다.

4.2 수치모의 결과

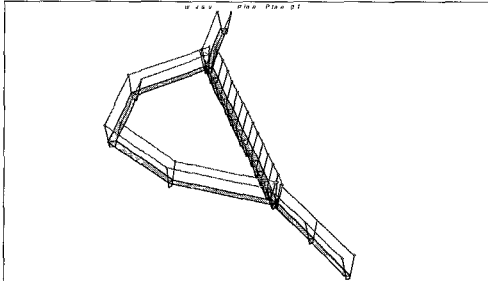


그림1. HEC-RAS를 이용한 모형의 단면도

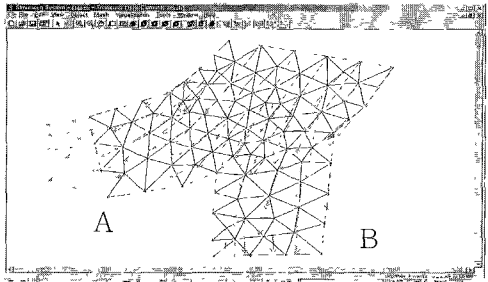


그림2. AQUADYN를 이용한 모형의 분류부 유속도

우선 Case1의 경우로 1차원 수치모의 결과가 2차원 수치모의 결과보다 모형 실험에 비하여 분배율이 상당히 차이가 발생함을 알 수 있었다.

표15. Case 1 결과

유량(m ³ /sec)	측량단면	1차원 수치모의		2차원 수치모의	
		분배유량(m ³ /sec)	분배율(%)	분배유량(m ³ /sec)	분배율(%)
660	A단면	473	71.7	451	68.3
	B단면	187	28.3	209	31.7
735	A단면	524	71.3	506	68.8
	B단면	211	28.7	229	31.2
775	A단면	551	71.1	531	68.5
	B단면	224	28.9	244	31.5
845	A단면	600	70.9	576	68.2
	B단면	246	29.1	269	31.8

표10 Case 2 결과

유량(m ³ /sec)	측량단면	1차원 수치모의		2차원 수치모의	
		분배유량(m ³ /sec)	분배율(%)	분배유량(m ³ /sec)	분배율(%)
660	A단면	499	75.6	503	76.2
	B단면	161	24.4	157	23.8
735	A단면	552	75.1	545	74.1
	B단면	183	24.9	190	25.9
775	A단면	580	74.8	573	73.9
	B단면	195	25.2	202	26.1
845	A단면	630	74.5	622	73.6
	B단면	216	25.5	223	26.4

표17. Case 3 결과

유량(m ³ /sec)	측량단면	1차원 수치모의		2차원 수치모의	
		분배유량(m ³ /sec)	분배율(%)	분배유량(m ³ /sec)	분배율(%)
660	A단면	537	81.4	520	78.8
	B단면	123	18.6	140	21.2
735	A단면	593	80.6	579	78.2
	B단면	142	19.4	156	21.2
775	A단면	623	80.4	601	77.5
	B단면	152	19.6	174	22.5
845	A단면	675	79.9	644	76.2
	B단면	170	20.1	201	23.8

분수로에 보를 설치 할 경우에 분수로 시점부에서 하류로 내려갈수록 분수로의 유량분담이 줄어드는 경향은 모형실험과 같은 경향을 보이고 있으나 수치해석에는 Case 1과 Case 3의 분배율 차이가 모형실험에 비하여 작았다.

Case 4에 대한 수치해석 결과 유량의 증가에 따른 경향이 모형실험 경향에 비하여 다소 차이가 발생하였다. 모형실험에서는 유량증가에 따른 분배율의 차이가 크게 나타났으나 수치해석에서는 1차원이 2차원보다 적은 분배율 변동을 보였으며 1차원, 2차원 모두 모형실험에 비하여 차이가 미미하였다.

표18~표20은 분수로의 설치각도에 따른 분수로의 유량 분담량에 대하여 해석한 결과인데 각각의 표에서 보는 바와 같이 1차원적인 수치해석 모형에서는 분수로 설치 각도 변화에 대하여 전혀 고려해주지 못하고 있음을 알 수 있었다. 그리고 모형 실험과 2차원적인 수치해석 모두 분수로 설치 각도가 커짐에 따라서 분수로의 유량 분배율이 감소하였고, 2차원 해석에서는 Case 7의 경우 유량이 증가함에 따라서 분배율이 증가하는 모형 실험과는 달리 분배율이 감소하는 경향을 나타내었다.

표18 Case 4 결과

유량(m ³ /sec)	측량단면	1차원 수치모의		2차원 수치모의	
		분배유량(m ³ /sec)	분배율(%)	분배유량(m ³ /sec)	분배율(%)
660	A단면	499	75.5	456	69.1
	B단면	162	24.5	204	30.9
735	A단면	552	75.1	499	67.9
	B단면	183	24.9	236	32.1
775	A단면	580	74.8	521	67.2
	B단면	195	25.2	254	32.8
845	A단면	630	74.5	562	66.5
	B단면	216	25.5	283	33.5

표19. Case 5 결과

유량(m ³ /sec)	측정단면	1차원 수치모의		2차원 수치모의	
		분배유량(m ³ /sec)	분배율(%)	분배유량(m ³ /sec)	분배율(%)
660	A단면	487	73.8	463	70.2
	B단면	173	26.2	197	29.8
735	A단면	539	73.3	517	70.3
	B단면	196	26.7	218	29.7
775	A단면	567	73.2	528	68.1
	B단면	208	26.8	247	31.9
845	A단면	615	72.8	561	66.4
	B단면	230	27.2	284	33.6

표20. Case 6 결과

유량(m ³ /sec)	측정단면	1차원 수치모의		2차원 수치모의	
		분배유량(m ³ /sec)	분배율(%)	분배유량(m ³ /sec)	분배율(%)
660	A단면	487	73.8	469	71.1
	B단면	173	26.2	191	28.9
735	A단면	539	73.3	519	70.6
	B단면	196	26.7	216	29.4
775	A단면	567	73.2	541	69.8
	B단면	208	26.8	234	30.2
845	A단면	615	72.8	580	68.6
	B단면	230	27.2	265	31.4

표21. Case 7 결과

유량(m ³ /sec)	측정단면	1차원 수치모의		2차원 수치모의	
		분배유량(m ³ /sec)	분배율(%)	분배유량(m ³ /sec)	분배율(%)
660	A단면	487	73.8	470	71.2
	B단면	173	26.2	190	28.8
735	A단면	539	73.3	511	69.5
	B단면	196	26.7	224	30.5
775	A단면	567	73.2	540	69.7
	B단면	208	26.8	235	30.3
845	A단면	615	72.8	591	69.9
	B단면	230	27.2	254	30.1

Case 8~Case 10은 분수로에 부분적이 수중보를 설치한 것으로서 수치해석 분배율 경향과 모형실험 분배율 경향이 비교적 근사치를 이루고 있는 것을 알 수 있었고, 1차원 수치모의 결과와 2차원 수치모의 결과는 거의 일치하는 것으로 나타났다.

표22. Case 8 결과

유량(m ³ /sec)	측정단면	1차원 수치모의		2차원 수치모의	
		분배유량(m ³ /sec)	분배율(%)	분배유량(m ³ /sec)	분배율(%)
660	A단면	468	70.9	472	71.5
	B단면	192	29.1	188	28.5
735	A단면	514	69.9	520	70.7
	B단면	221	30.1	215	29.3
775	A단면	545	70.3	548	70.7
	B단면	230	29.7	227	29.3
845	A단면	591	69.9	587	69.5
	B단면	254	30.1	258	30.5

표23. Case 9 결과

유량(m ³ /sec)	측정단면	1차원 수치모의		2차원 수치모의	
		분배유량(m ³ /sec)	분배율(%)	분배유량(m ³ /sec)	분배율(%)
660	A단면	459	69.5	461	69.8
	B단면	201	30.5	199	30.2
735	A단면	509	69.3	511	69.5
	B단면	226	30.7	226	30.7
775	A단면	536	69.2	533	68.8
	B단면	239	30.8	242	31.2
845	A단면	579	68.5	577	68.3
	B단면	266	31.5	268	31.7

표24. Case 10 결과

유량(m ³ /sec)	측정단면	1차원 수치모의		2차원 수치모의	
		분배유량(m ³ /sec)	분배율(%)	분배유량(m ³ /sec)	분배율(%)
660	A단면	451	68.3	449	68.0
	B단면	209	31.7	211	32.0
735	A단면	499	67.9	503	68.4
	B단면	236	32.1	232	31.6
775	A단면	527	68.0	524	67.6
	B단면	248	32.0	251	32.4
845	A단면	567	67.1	562	66.5
	B단면	278	32.9	283	33.5

Case 11~Case 13은 모형실험 결과와 1차원 수치해석이 다소 차이를 보이고 있으며 특히 Case 13의 경우가 분배율 경향에서 큰 차이를 보이고 있다. 그러나 모형실험과 수치모의의 모두 분수로 하폭의 감소에 따라 분수로의 분배율이 감소하는 현상을 보였고 2차원 수치모의가 1차원 수치모의 보다 모형실험 결과와 근사한 값을 보이고 있음을 알 수 있었다.

표25. Case 11 결과

유량(m ³ /sec)	측정단면	1차원 수치모의		2차원 수치모의	
		분배유량(m ³ /sec)	분배율(%)	분배유량(m ³ /sec)	분배율(%)
660	A단면	452	68.5	471	71.4
	B단면	208	31.5	189	28.6
735	A단면	493	67.1	514	69.9
	B단면	242	32.9	221	30.1
775	A단면	509	65.7	533	68.8
	B단면	266	34.3	242	31.2
845	A단면	543	64.3	579	68.5
	B단면	302	35.7	266	31.5

표26. Case 12 결과

유량(m ³ /sec)	측정단면	1차원 수치모의		2차원 수치모의	
		분배유량(m ³ /sec)	분배율(%)	분배유량(m ³ /sec)	분배율(%)
660	A단면	460	69.7	487	73.8
	B단면	200	30.3	173	26.2
735	A단면	510	69.4	536	72.9
	B단면	225	30.6	199	27.1
775	A단면	536	69.2	563	72.6
	B단면	239	30.8	212	27.4
845	A단면	583	69.0	612	72.4
	B단면	262	31.0	233	27.6

표27. Case 13 결과

유량(m ³ /sec)	측정단면	1차원 수치모의		2차원 수치모의	
		분배유량(m ³ /sec)	분배율(%)	분배유량(m ³ /sec)	분배율(%)
660	A단면	480	72.7	507	76.8
	B단면	180	27.3	153	23.2
735	A단면	533	72.5	564	76.7
	B단면	202	27.5	171	23.3
775	A단면	562	72.5	592	76.4
	B단면	213	27.5	183	23.6
845	A단면	613	72.5	636	75.3
	B단면	232	27.5	209	24.7

Case 14는 초기 유량에서의 분배율은 Case 11~Case 13과 유사한 값을 보이고 있으나 유량이 증가함에 따라 유량 분배율이 점차 감소하는 경향을 나타냈다. 이것은 일차원 모형이 단면 급변화부, 수중 구조물의 주위의 흐름 해석에서 정확하게 해석하지 못하기 때문이라고 판단된다.

표28. Case 14 결과

유량(m/sec)	측량단면	1차원수치모의		2차원수치모의	
		분배유량(m/sec)	분배율(%)	분배유량(m/sec)	분배율(%)
660	A단면	468	70.9	482	73.0
	B단면	192	29.1	178	27.0
735	A단면	529	72.0	533	72.5
	B단면	206	28.0	202	27.5
775	A단면	564	72.8	562	72.5
	B단면	211	27.2	213	27.5
845	A단면	609	72.1	612	72.4
	B단면	236	27.9	233	27.6

5. 결과비교분석

(1) Case 1 그림에서 보는 바와 같이 Case 1의 경우에는 모형실험이나 수치해석이 유량 변화에 대하여 민감한 반응을 보이고 있지 않음을 알 수 있었으며 모형실험과의 분배율 오차는 1차원 수치모의가 6~10%, 2차원 수치모의가 4~8%정도의 오차를 보이고 있어서 2차원 수치모의가 1차원 수치모의 보다 모형실험 결과와 근사함을 알 수 있었다,

(2) Case 2 : 모형실험과 수치해석의 오차가 0.5 ~ 2.5%정도의 오차를 보이고 있으며 일반적인 경향을 보면 유량이 증가함에 따라서 오차 또한 증가하는 경향을 보였다.

(3) Case 3 : Case 1~Case 3의 경우는 분수로의 보 위치에 따른 유량분배의 경향을 살펴보기 위한 경우인데 본 경우가 보의 위치가 가장 하류에 있는 경우로써 일반적으로 보의 위치가 하류로 갈수록 분배율이 작아지는 경향을 알 수 있었다.

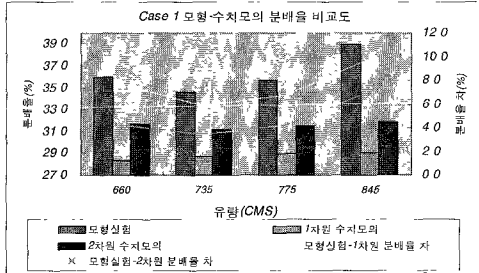


그림3. Case1의 분배율 비교도

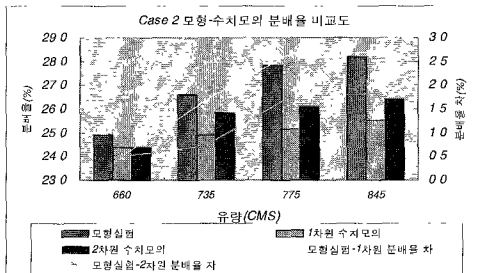


그림4. Case2의 분배율 비교도

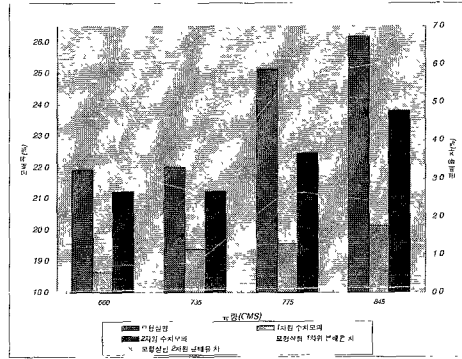


그림5. Case 3의 분배율 비교도

(4) Case 4 : 이 경우에는 분수로에 0.5m의 보를 분수로와 동시에 설치한 경우로써 모형 실험과 1차원 수치해석의 차이가 가장 크게 발생하였다. 1차원 수치모의의 오차가 가장 크게 발생한 원인은 1차원 수치해석이 하천 구조물에 의하여 발생할 수 있는 국부적인 수리학적 거동을 전혀 반영하여 주지 못하기 때문인 것으로 판단된다.

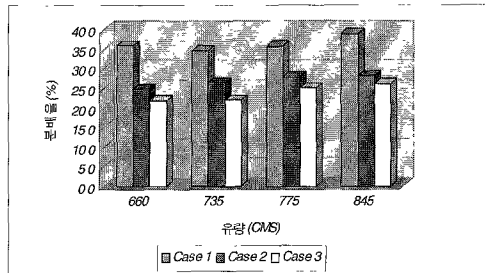


그림6 Case 1~Case 3 분수로에서의 모형실험 유량 분배율

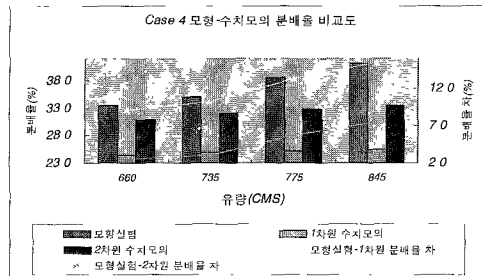


그림7. Case 4 유량분배율 비교도

(5) Case 5~Case 7 : 이 경우는 분수로에서 분수로의 설치각도에 따른 유량분배의 경향을 살펴보기 위한 실험으로 모형실험과 2차원 수치모의의 오차가 1~2%로 거의 비슷한 경향을 나타내는 것에 비하여 1차원 수치모의는 Case 7의 경우 8% 정도의 큰 오차를 보이고 있었다.

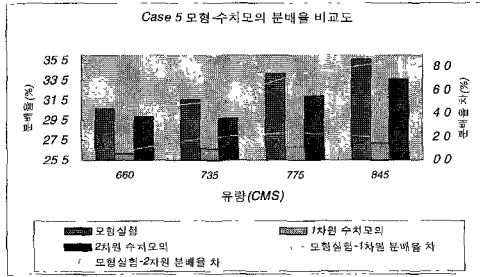


그림8. Case 5 유량분배율 비교도

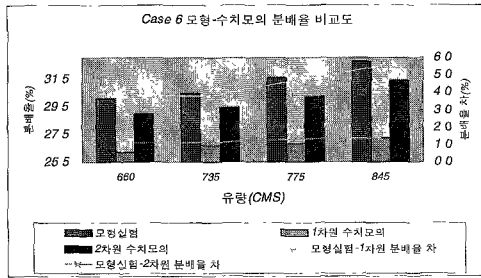


그림9. Case 6 유량분배율 비교도

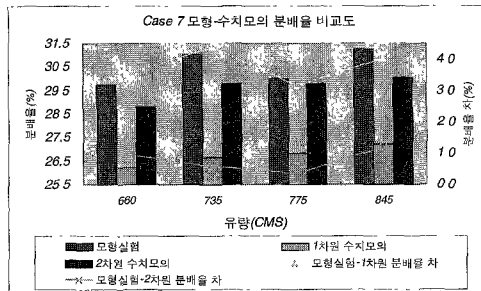


그림10. Case 7 유량 분배율 비교도

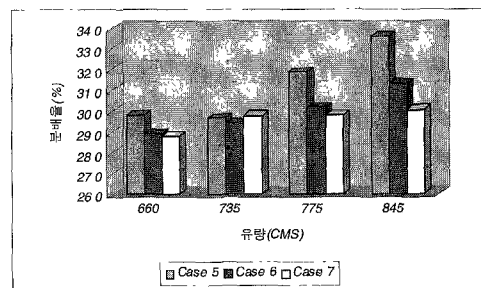


그림11. Case 5~Case 7 2차원 수치모의에 의한 분배율도

(6) Case 8~Case 10 : 보의 설치 방향이 유수 진행 방향의 연직각에 가까울수록 분수로로의 유입량이 많아짐을 알 수 있었다. 또한 보 설치 방향에 따라 유량에 대한 분배율 변동이 작아짐을 알 수 있었고 유량이 증가함에 따라서 수치모의와 모형실험의 분배율 차도 작아짐을 알 수 있었다.

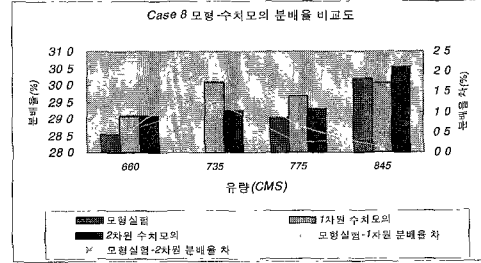


그림12. Case 8 유량분배율 비교도

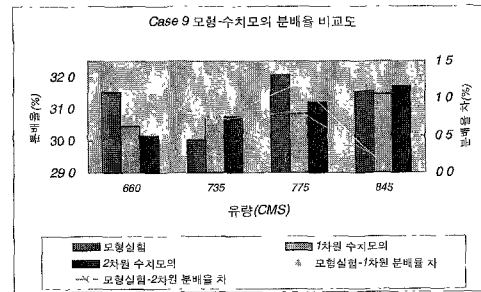


그림13. Case 9 유량분배율 비교도

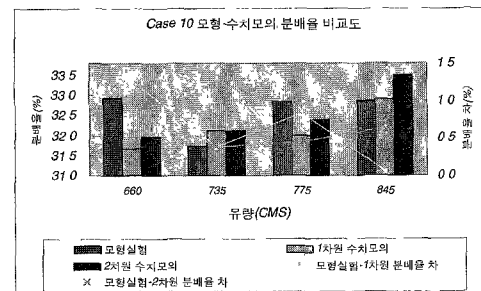


그림14. Case 10 유량분배율 비교도

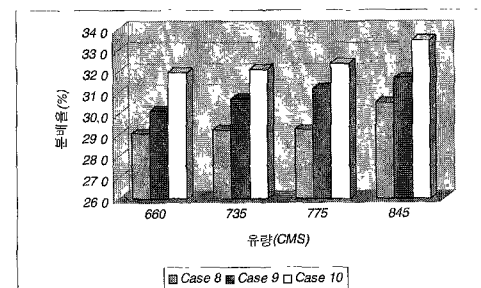


그림15. Case 8~Case 10 2차원 수치모의에 의한 분배율도

(7) Case 11~Case 13 : 하폭이 줄어들수록 유량 분배율이 작아졌으며 특히 하폭 감소에 따른 모형실험과 수치모의 분배율 오차가 증가함을 알 수 있었다. 따라서 본수로와 분수로의 하폭비가 증가할수록 수치모의의 신뢰성이 감소한다고 할 수 있겠다

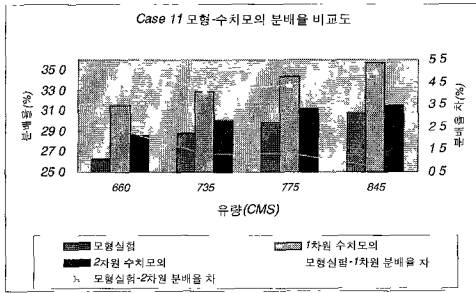


그림16. Case 11 유량분배율 비교도

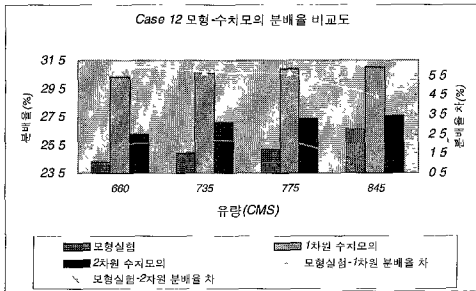


그림17. Case 12 유량분배율 비교도

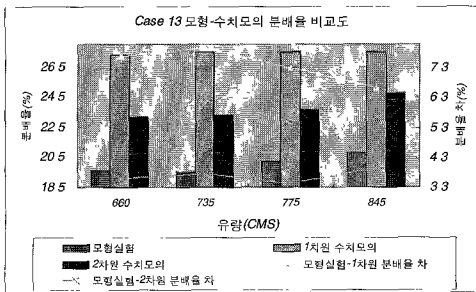


그림18. Case 13 유량분배율 비교도

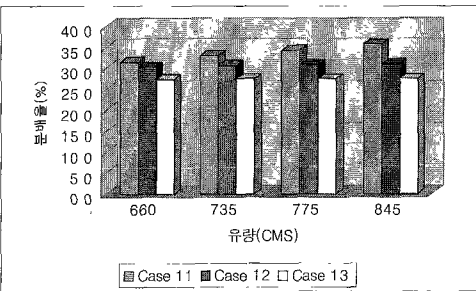


그림19. Case 11~Case 13 1차원 수치모의의 의한 분배율도

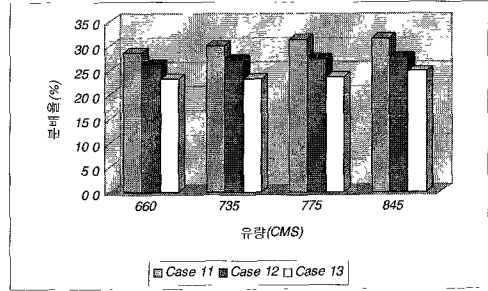


그림20. Case 11~Case 13 2차원 수치모의의 의한 분배율도

(8) Case 14 : 하폭이 감소함에 따라 유량 분배율이 확연히 줄어들었으며 유량 증가에 따른 분배율이 일정한 경향을 보이고 있었음을 확인할 수 있었으나 1차원 수치모의 결과에서는 유량 증가에 따른 유량 분배율이 서로 상반된 경향을 보였다. 1차원 수치모의 결과에서 Case 8은 유량 증가에 따라 분배율이 대체로 커지는 반면 Case 14는 유량 증가에 따라 분배율이 감소하였다. 따라서 수치모의 결과는 분수로와 분수로의 하폭비에 따라 잘못된 결과를 얻을 수도 있으므로 모형 실험을 통하여 검증하여야 할 것이다.

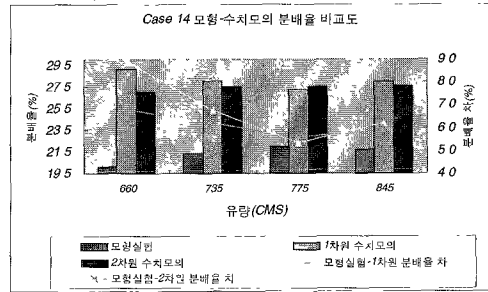


그림21. Case 14 유량분배율 비교도

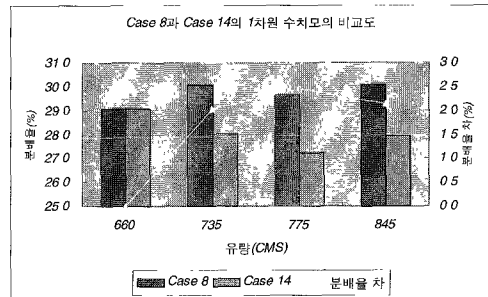


그림22 Case 8과 Case 14의 1차원 수치모의의 분배율 비교

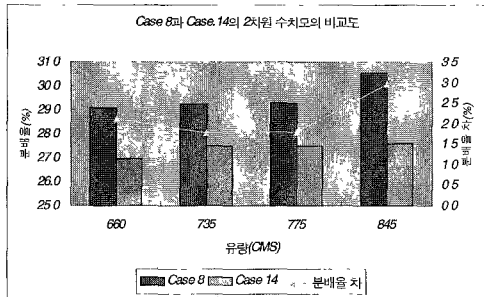


그림23 Case 8과 Case 14의 2차원 수치모의 분배율 비교

5. 결론

일반적으로 평, 갈수기에서는 분수로의 유량 유입을 막기 위하여 보를 설치하게 되는데 분수로 내의 보 위치에 따라 실험한 결과, 보가 하류방향으로 내려 갈수록 유량분배율이 작아지는 경향을 보였다. 이러한 원인이 발생하는 요인은 홍수기의 빠른 유속에서 초기 단면적의 크기보다는 유입된 유량이 하류에 위치한 보의 영향 등으로 와류가 발생하여 유입 부분까지 영향을 주기 때문인 것으로 판단되었다. 따라서 분수로에 보를 설치할 때에는 이러한 현상을 충분히 고려하여 보를 설치하여야 될 것으로 사료된다.

모형실험과 수치모의 값을 비교한 결과 1, 2차원 수치모의 모두 모형실험에 비하여 분수로 유입이 작게 나타나는 경향을 보였다. 특히, 하천에 구조물을 설치하는 경우 분수로 보다는 분수로에 구조물이 설치되는 경우 그 차이가 크게 발생하는 것을 확인할 수 있었으며, 이러한 점을 고려하여 분수로의 설치규모 및 분수로 구조물 설치 시에 세심한 주의가 필요함을 알 수 있었다.

1, 2차원 수치모의를 상호 비교한 결과 Case 1, 2와 같은 횡적인 단면변화에 대해서는 큰 차이를 보이지 않았으나 분수로와 분수로의 유입각 등 평면적인 변화에 대해서는 1차원모형은 해석하지 못하는 문제점을 나타내었다. 또한 본 연구에서 사용한 모형은 수심에 대한 유속변화를 고려하지 못하는 모형을 사용한 관계로 수심방향의 유속변화에 대하여 해석을 하지 못하였으나 평면상의 X, Y 좌표로의 유속방향과 유속을 해석할 수 있었으며 해석 결과도 모형실험과 비교하여도 상당히 양호하다는 것을 알 수 있었다.

위 세가지 결론을 다시 정리하면 모형실험의 시간적인 노력과 경제적인 손실을 감안할 때 수치모의를 활용한다면 충분히 분수로 설치에 대한 설계조건을 제공하여 줄 수 있다고 생각한다.

참고문헌

- [1] 건설교통부, “남한강 수리모형실험 보고서”, 국립건설시험소, 1997
- [2] 정의택, “합류수로부에서의 흐름 해석”, 한양대학교, 1992
- [3] 김형일 등, “자연하천에서의 홍수위 산정을 위한 1차원 모형과 2차원 모형의 비교”, 연세대학교, 1996
- [4] 김창완, “이차원 하천 모형의 개발”, 한국건설기술연구원, 1995
- [5] 윤용남등, “2차원 수리모형을 이용한 교량에서의 홍수로 인한 최대 세굴 심도 예측”, 한국수자원학회 학술 발표회 논문집, 1995
- [6] 윤용남, “공업수문학”, 청문각, 1999
- [7] 윤태훈, “2차원 수치모형에 의한 합류흐름 해석”, 한국수자원학회 논문집, 제31권, 제 5호, pp.529~538, 1998
- [8] Hanger Willi H., “Transitional Flow in Channel Junctions”, J. of Hydraulic Div”, ASCE, Vol.115, No.2 Feb, 1989
- [9] Chaudhry, M. F., “Open-Channel Flow”, Prentice-Hall, Inc, 1993
- [10] Barkau, R. L., “UNET One-Dimensional Unsteady Flow through a Full Network of open Channels User's Manual, U. S. Army Corps of Engineers, 1993