

하도 합류부의 기하학적 특성과 유량조건에 따른 수리학적 특성 해석

안 승 섭* · 최 수 철** · 임 동 희**
*경일대학교 건설정보공학과, **경일대학교 대학원
(2006년 12월 13일 접수; 2007년 3월 14일 채택)

Analysis of Hydraulic Characteristics Depending Upon the Geometrical and Discharge Condition at Channel Junctions

Seung-Seop Ahn*, Soo-Chul Choi** and Dong-Hee Yim**

*Department of Construction & Geoinformatics Engi., Kyungil University, Daegu 712-701, Korea

**Graduate School, kyungil University, Daegu 712-701, Korea

(Manuscript received 13 December, 2006; accepted 14 March, 2007)

In this study, we took the geometrical character of the river channel junction and hydrologic conditions as independent variables, and hydraulic behavior characteristics as an independent variable. The result, after multiple analysis was carried out, proved that, except for the generating area of the accelerating zone of velocity the accelerating zone and both the main channel and the tributary zone of stagnation the stagnation zone, there was correlation of over 90%. Also, derived presumed expression of the hydraulic characteristics of the junction was applied to the real natural channel - the river channel of the Guem-ho main channel (the A-yang bridge to the Guem-ho bridge). As the result, it proved that it represented hydraulic characteristics relatively well.

Key Words : Channel junctions, Two-dimensional hydrodynamic model, Hydraulic characteristics

1. 서 론

최근의 하천개수를 포함한 유지관리방식은 치수 위주의 호안과 제방고의 설정 및 제방의 도로화와 하천내 고수부지의 주차장화 등에서 탈피하여 친환경적인 공간조성에 중점을 두고있는 실정이다. 친환경적이면서도 안정적인 하도의 설계를 위해서는 실제유역에서 장기간 관측된 충분한 자료를 기초로 한 다양한 수리학적 검토결과를 이용하여 하도 형태에 따른 수리학적 영향을 충분히 고려하여야 한다. 그러나 하도 합류부의 합류형태와 본류 및 지류의 특성에 따른 수위, 유속, 편수위, 지체현상 등의 변화로 대한 고려는 거의 불가능한 실정이다. 하도 합류부에서 접근각도 및 유량, 합류부의 하폭비에 따른 수리학적 특성 검토를 위하여 가상의 수로를

통한 다양한 경우의 수에 대해 수치해석을 실시하고 이를 기준으로 하여 실제 도시하천을 선택하여 분석하였다.

일반적으로 자연상태의 하천은 단일하천이 아닌 몇 개의 지천이 만나는 복잡한 형태의 망상하천(Braided river)으로 구성되어 있으므로 전체 하천망 시스템을 일체적으로 해석하는 일은 매우 어려운 문제이다. 특히, 하천과 하천이 만나는 합류부에서의 흐름은 합류부를 중심으로 상·하류에 서로 연관된 영향을 주게 되고, 현실적으로 어떠한 영향을 받고 있고, 어느 정도 범위까지 영향을 미치는지에 대한 명확한 해석 근거가 마련되지 않고 있는 실정이다.

최근까지 하도 시스템 중에서 합류부 흐름해석에 관한 연구는 Taylor¹⁾에 의해 45°와 135°로 합류하는 두개의 수평 사각형수로에 대한 실험을 통한 유량비와 수심비에 대한 접근을 시작으로 하여, 실험적 연구와 이론적인 수치해석이 활발하게 진행되고

Corresponding Author : Seung-Seop Ahn, Department of Construction & Geoinformatics Engi., Kyungil University, Taegu 712-701, Korea
Phone: +82-53-850-7314
E-mail : ahnsso@kiu.ac.kr

있다. 먼저, 실험을 통한 합류부의 해석은 Webber와 Greated²⁾는 실험수로를 대상으로 Taylor의 연구에서 합류되는 각도를 3개 이상으로 확장시켰으며 만곡수로벽면의 영향도 포함시켰다. Webber와 Greated가 사용한 이론도 합류각도와 유량비가 작은 경우 실험결과와 잘 일치하였다.

다음으로 합류부에 대한 수치해석기법을 이용한 흐름해석은 Behlke와 Pritchett³⁾는 합류부의 흐름특성을 파악하기 위한 수리모형실험 장치의 구성에 대한 사항을 정리하여 모형의 크기에 따른 적정 유량 및 Fr수의 범위를 결정하는 방법에 대해 제안하였다. Wylie⁴⁾은 하천구간에 섬 등이 존재하여 하천흐름이 나누어지는 경우 (Island type)에 대하여 정류상태이며 상류상태인 흐름의 수면형에 대해 컴퓨터를 통한 수치해석을 실시하였다. Ito와 Imai⁵⁾은 여러 논문에서 나타난 실험 모형 실험결과와의 관계를 정리하고 모멘트이론과 베르누이 방정식으로부터 실험방정식을 유도한 바 있다. Mc Guirk과 Rodi⁶⁾는 연속방정식과 모멘트 방정식에 의해 측방유입량의 흐름특성을 계산하는 수학적기법을 제안하였고 유한차분법에 의한 연구와 그간의 실험연구등을 비교하여 측면유량의 특성결과인 순환지역의 기하학적 구조를 비교·검토하였다.

Hager⁷⁾는 Best와 Reid⁸⁾이 실험한 분리 구역에 관한 실험의 결과를 이용하여 합류부 흐름에서의 에너지 손실에 대하여 베르누이 이론을 적용하여 상류단면과 합류되는 단면사이에 해석하였다. 측면유입부에서 유입유량의 방향은 합류각이 클수록 크게 나타나는 것을 증명하였다.

국내의 경우 모형을 이용한 합류부의 해석에 관한 연구는 거의 없는 상태이며, 윤⁹⁾은 지류의 흐름이 본류로 90°로 유입되는 흐름에 대해 지류의 유량과 단면을 변화시켜가며 수치적인 해석을 수행하였고, 최¹⁰⁾에 의해 하천 내 합류점에서 부정류에 적용이 가능한 모멘트 방정식을 수치해석을 통하여 제안되었다.

본 연구에서는 이차원 수치해석모형을 이용하여 하도 구간에 대한 합류부의 형태를 가정하고, 합류부의 본류와 지류의 접근각도, 합류부 본류와 지류의 유량비 변화 및 하폭비 변화에 따른 수리특성을 파악하는데 목적을 두었다.

2. 합류부에서의 흐름특성 분석

2.1. RMA-2모형의 개요 및 기본이론

RMA-2 모형은 2차원 수심적분된 유한요소 동수역학 수치모형으로 2차원 흐름영역에서 상류와 자유수면에 대한 수위와 x,y 방향의 유속성분을 계산한다. RMA-2모형은 난류흐름에 대한 Navier-

Stokes 방정식으로 Reynolds 유한요소해를 계산한다. 마찰력은 Manning과 Chezy공식으로 계산이 되고 와정섬계수는 난류흐름 특성을 정의하기 위해서 사용이 된다. 본 모형은 정류와 부정류 상태에서의 흐름을 해석 가능한 모형이다. RMA-2 모형은 Norton, King 그리고 Orlod¹¹⁾에 의해서 개발되었고 추후에 marsh porosity 옵션에 대한 부분적 개발이 캘리포니아 대학교의 King과 Roig에 의해서 이루어졌다.

RMA-2 모형의 유한요소법을 이용한 이차원 흐름해석 모형으로 사용된 지배방정식은 식(1)~식(3)과 같이 연속방정식과 운동량방정식을 사용한다. 이 방정식들을 각각의 격점에 적용하여 얻어지는 일련의 연립방정식을 음해법으로 풀게 되면 그 결과로서 각 격점별 수위(h) 및 유속(u,v)을 구할수 있게 된다.

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(uh)}{\partial x} + \frac{\partial(vh)}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + g \left(\frac{\partial h}{\partial x} + \frac{\partial a_0}{\partial x} \right) - \frac{\epsilon_{xx}}{\rho} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} - \frac{\epsilon_{xy}}{\rho} \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{gu}{C^2 h} \sqrt{u^2 + v^2} = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + g \left(\frac{\partial h}{\partial y} + \frac{\partial a_0}{\partial y} \right) - \frac{\epsilon_{yx}}{\rho} \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} - \frac{\epsilon_{yy}}{\rho} \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{gv}{C^2 h} \sqrt{u^2 + v^2} = 0 \quad (3)$$

여기서, x : 흐름방향으로의 거리, u : x방향 수평 유속성분, y : 흐름의 연직방향으로의 거리, v : y방향 수평유속성분, t : 시간, g : 중력가속도, h : 수심, a₀ : 하상표고, ρ : 유체의 밀도, ε_{xx} : x방향 법선 난류교환계수, ε_{xy} : x 방향 접선 난류교환계수, ε_{yx} : y 방향 법선 난류교환계수, ε_{yy} : y 방향 접선 난류교환계수, C : Chezy의 조도계수(Manning의 n으로부터 변환된 값)

2.2. 흐름의 특성

동수역학적 모형을 정의하는데 있어서 경계조건과 함께 일련의 재료특성이 매우 중요하다. 유한요소망에 있는 개개의 요소는 재료 고유번호를 가지게 되며, 개개의 재료는 4개의 난류교환계수(Turbulent Exchange Coefficient)와 1개의 Manning의 n값을 가지게 된다.

난류교환계수는 x방향으로의 법선 난류교환계수 ε_{xx}, x방향으로의 접선 난류교환계수 ε_{xy}, y방향으로의 법선 난류교환계수 ε_{yy}, y방향으로의 접선 난류교환계수 ε_{yx}가 있다.

난류교환계수는 와점성(eddy viscosity)계수라고도 하며 대부분의 경우 4개의 난류교환계수는 같은 값을 갖게되며, 적절한 값을 부여하는 것은 모형의 검증에 매우 중요한 요소이다. 난류교환계수는 물리적인 현상에 근거하지 않은 값으로 안정성을 위해 필수적으로 필요한 수치점성값을 포함하며, 모델의 안정성을 저해하지 않는 범위 내의 작은 값을 부여하게 된다. 만일, 난류교환계수가 너무 크게 되면 안정된 해는 얻을 수 있지만 흐름의 분포, 이탈, 와류 등의 적절한 모의가 약해지게 되고, 반대로 난류교환계수가 너무 작을 경우에는 안정된 해를 얻기가 힘들어진다. 적절한 난류교환계수를 선정하는 것은 모델을 검증하는데 있어서 가장 중요한 요소 중의 하나이다. 따라서 망의 간격, 예상유속, 문제의 동적 특성 등이 모두 초기 난류교환계수 선정에 반영되어야 하며, 모형의 초기에는 Table 1에서 나타난 바와 같은 지정된 값에서 시작하여 계산 값이 수렴할 때까지 값을 변화시켜 가는 것이 일반적이다.

다음으로, Manning의 n값은 하상재료 또는 지형 조건을 고려하여 부여하게 되는데, Chow¹²⁾와 미국 지질조사국(1989)은 여러 가지 하천조건에 대한 n값을 제안하였으며 Table 2와 같다.

Table 1. Eddy viscosity coefficient used in RMA-2 model

(unit : N-s/m ²)	
Condition	ϵ
Shallow channel (Ooze)	240~1200
Shallow channel (Race)	1200~2400
Deep estuary (Small element)	2400~4800
Deep estuary(Large element)	9500~14400
Tidal flat	4800~9500
Flow breakaway of structure environs	50~240

2.3. 모형매개변수의 검증

최근에 하도의 유출해석을 위한 수치해석 모형이 많이 개발되어 범용화되고 있으나, 일반적으로 자연상태의 흐름현상에 대한 수치해석을 위해서는 모형 실험을 실시하여 관측된 수리특성치를 근거로 수치해석모형의 매개변수를 추정 및 검정을 실시한 후에 실제 흐름현상을 수치해석하는 것이 최적의 방법이다.

그러나 합류부 흐름해석에 대한 연구는 연구동향에서 조사 검토된 바와 같이 이미 여러 연구자들에 의하여 모형제작 및 실험을 통한 연구 결과가 발표된 바 있다. 따라서 본 연구에서는 모형제작의 번거

Table 2. Roughness coefficient of Manning(n)

Channel conditions		Values	
Material involved	Earth	n0	0.025
	Rock cut		0.025
	Fine gravel		0.024
	Coarse gravel		0.027
Degree of irregularity	Smooth	n1	0.000
	Minor		0.005
	Moderate		0.010
	Severe		0.020
Variations of channel cross section	Gradual	n2	0.000
	Alternating occasionally		0.005
	Alternating frequently		0.010~0.015
Relative effect of obstructions	Negligible	n3	0.000
	Minor		0.010~0.015
	Appreciable		0.020~0.030
	Severe		0.040~0.060
Vegetation	Low	n4	0.005~0.010
	Medium		0.010~0.025
	High		0.025~0.050
	Very high		0.050~0.100
Degree of Meandering	Minor	m5	1.000
	Appreciable		1.150
	Severe		1.300

로움과 실험의 중복을 피하기 위하여 기존 실험수로와 동일한 제원의 합류부 수로를 이용하여 모형의 매개변수를 추정하고, 모형의 정확도를 검증한 다음 이 결과를 이용하여 합류부 형태에 따른 흐름의 수리학적 특성을 수치해석 모형을 이용하여 검토하였다.

본 연구에서 모형매개변수 검증에 이용된 모형실험의 결과는 Fig. 1에서 나타난 바와 같은 모형수로를 통하여 박¹³⁾과 진¹⁴⁾, 윤¹⁵⁾ 등 3명의 연구자가 같은 규격의 모형을 제작하여 실험연구를 수행하였다. 따라서 본 연구에서는 이들의 실험분석 결과와 본 연구에서 이용된 RMA-2모형을 이용한 수치해석 한 결과를 비교·검토한 후 실험결과를 가장 잘 모의할 수 있는 최적 매개변수를 추정하여 분석한 결과 조도계수는 0.012, 난류교환계수 2,000 N-s/m²으로 분석되어 이를 본 연구의 가상수로에 적용하였다.

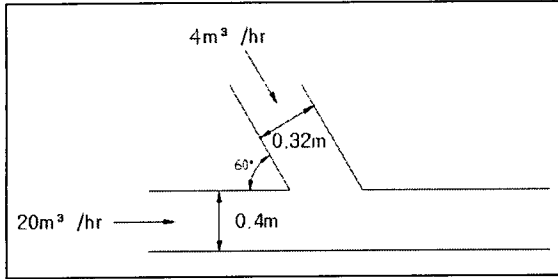


Fig. 1. Experimental channel of model parameter verification

2.4. 합류부 흐름의 특성인자 결정

하천의 합류부에서의 흐름에 대한 수리학적특성은 2개 하천의 합류형태와 수문조건에 따라서 변화된다고 가정하였다.

분석을 위한 합류형태에 관한 변수로는 Fig. 2에서 나타낸 바와 같이 본류와 지류의 접근각도(α)와 본류하폭(B)과 지류하폭(b)의 비(b/B)를 선정하였고, 수문조건으로는 본류유량(Q_1)과 지류유량(Q_2)의 비(Q_1/Q_2)를 선정하였다.

또한 분석에 대한 수치해석 결과의 고찰 인자로는 합류점에서부터 최대 유속(V_{max}) 발생지점까지의 거리(L, L_x, L_y), 최대 등유속선에 대한 범위($A_{V_{max}}$), 하류 정체구간의 거리(l_d) 및 상류 정체유속 발생 거리(l_u) 등을 설정하였다.

다음으로, 합류형태에 대한 수리학적 특성 검토를 위한 가상의 수로에 대한 규격과 합류부 형태 및 해석조건은 Table 3과 같이 가정하였다.

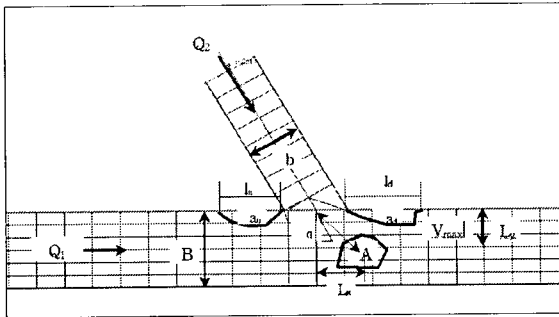


Fig. 2. Hydraulic characteristic factor at the channel junctions

본 연구에서 가정한 수로는 본류 수로를 하폭 1.5 m로 가정하고 지류수로는 0.25 m와 0.5 m의 경우로 구분하였으며, 수로의 경사는 본류와 지류 모두 1/750으로 결정하였다. 수로의 경사를 1/750으로 결정한 이유는 기존의 모형실험 결과와 비교하기 위하여 선행 연구자들이 제작한 모형의 경사가 거의 1/750이므로 이 경사를 그대로 적용하였다. 2개의 하천이 만나는 부분인 합류부 형태는 지류의 접근각도를 30°, 60° 및 90°로 하고, 본류와 지류의 하폭비는 1:0.17, 1:0.33 및 1:0.67로 하였다. 또한 본류와 지류하도를 유하하는 홍수량 수문조건을 1:0.2, 1:0.4 및 1:0.6으로 가정하였다.

2.5. 흐름특성분석 및 고찰

본 연구에서는 2개의 하천이 합류하는 합류부에서의 수리학적 특성의 검토를 위하여 유한요소 수치해석모형인 RMA-2 모형을 이용하여 하천형태 및 수문조건에 따른 검토를 실시한 결과 Fig. 3~Fig. 4 및 Table 4와 같았다. 그 결과 동일한 조건에서 본류와 지류의 유량비가 증가할수록 최대유속의 발생위치는 미소한 폭으로 멀어지고 있으며, 최대유속의 크기는 10~15 % 정도의 폭으로 빨라지고 있는 것으로 검토되었고, 상·하류부의 정체구간 거리는 미소한 폭으로 짧아지고 있는 것으로 검토되었고, 또한 동일한 조건에서 본류와 지류의 하폭비가 증가할 수록 최대유속의 발생위치는 길어지고 있으며, 최대유속의 크기는 미소하게 빨라지고 있으나 유량비에 비하여 그 변동폭이 매우 미소한 것으로 나타났고, 상·하류부의 정체구간 거리는 비교적 큰 폭으로 길어지고 있는 것으로 검토되었다.

Table 4에서 검토된 하도의 합류형태 및 수문조건에 따른 수리학적 변동특성을 검토하기 위하여 하도의 접근각도(α_1), 본류하도와 지류하도의 하폭비(x_2) 및 유량비(x_3)를 독립변수로 하고, 이들 조건에 따른 수리학적특성 인자를 각각 종속변수(y)로 하여 변수별 개별상관성 분석 및 관계식을 추정하였다. 그 결과 수리특성인자들과 하도합류형태 및 수문조건에 대한 개별상관분석 결과는 Table 5와 같이 검토되었다.

Table 3. Geometric and hydrologic characteristic of channel junctions

Q_1 (m)		Q_2 (m)		Steam slope (m/m)		α (°)	b/B	Q_2/Q_1
B	h	b	h	Q_1 (Main)	Q_2 (Tributary)			
1.5	3.0	0.25	3.0	1/750	1/750	30	0.25/1.5	4/20
		0.50				60	0.5/1.5	8/20
		1.00				90	1.0/1.5	12/20

하도 합류부의 기하학적 특성과 유량조건에 따른 수리학적 특성 해석

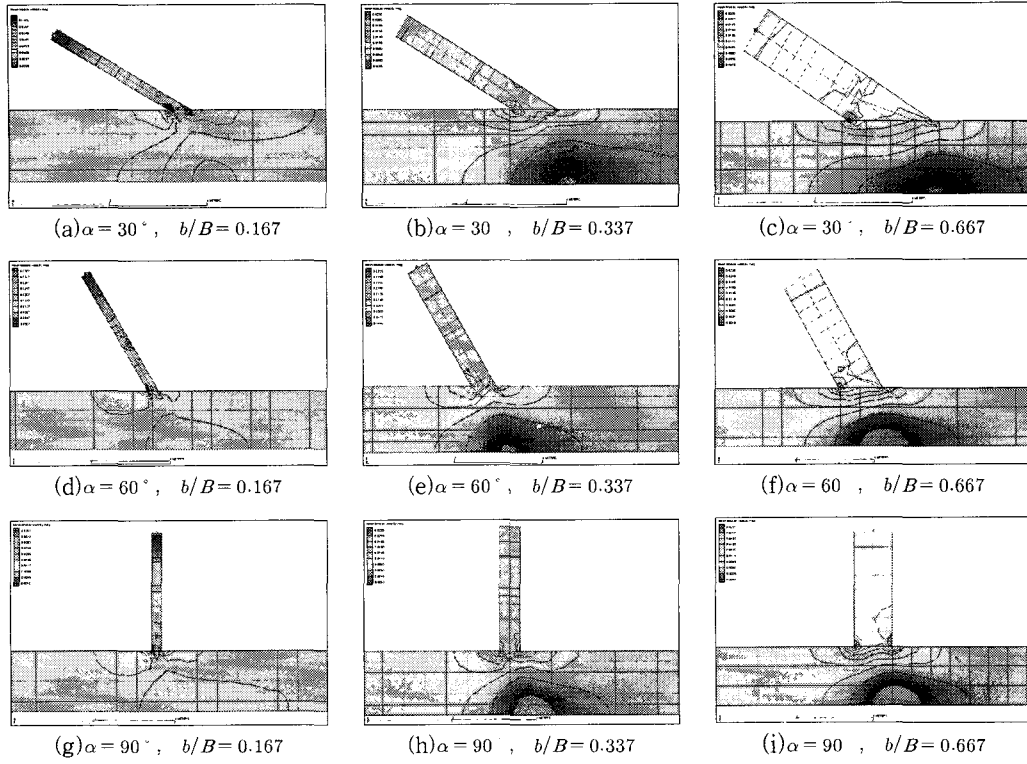


Fig. 3. Velocity distribution of channel junctions.

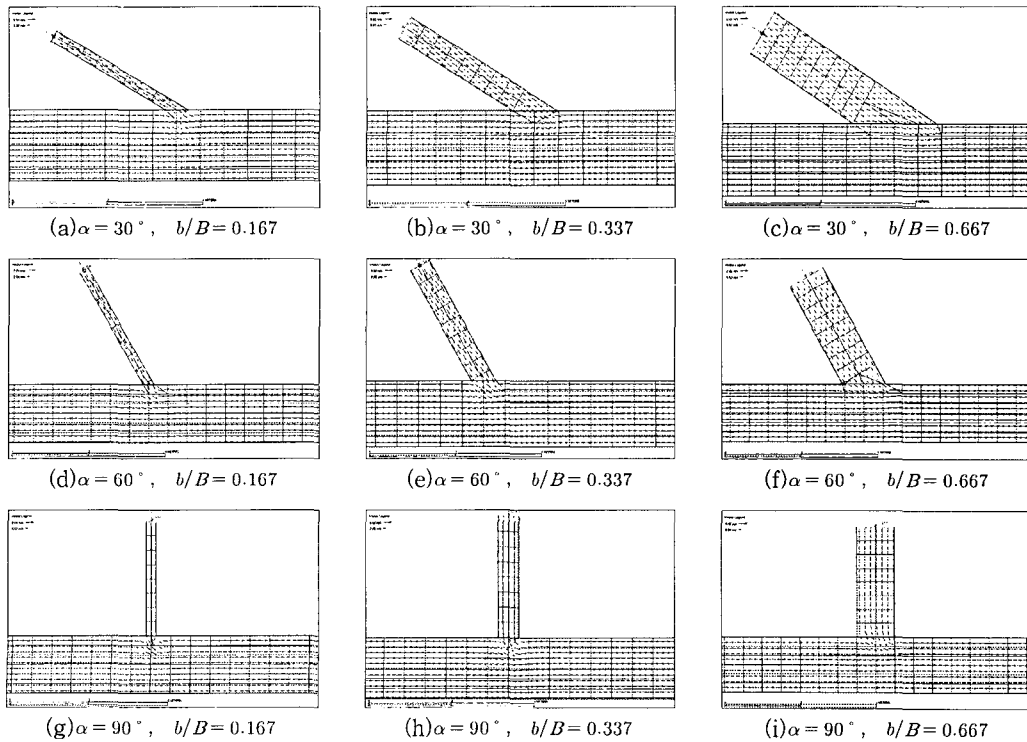


Fig. 4. Velocity vector of channel junctions.

Table 4. Result of hydraulic characteristic factor analysis

α	b/B	Q_2/Q_1	L_x (m)	L_y (m)	L (m)	A_2 (m^2)	V_{max} (m/s)	l_d (m)	a_d (m)	l_u (m)	a_u (m)
30°	0.17	0.2	0.66	1.30	1.48	0.3049	0.0225	0.28	0.0242	0.52	0.2310
		0.4	1.00	1.22	1.56	0.6530	0.0256	0.27	0.0100	0.35	0.0554
		0.6	1.07	1.34	1.77	0.1440	0.0290	0.27	0.0046	0.27	0.0111
	0.33	0.2	0.64	1.37	1.54	0.1250	0.0228	0.64	0.0315	0.75	0.3275
		0.4	1.00	1.41	1.73	0.0518	0.0257	0.44	0.0010	0.71	0.2325
		0.6	1.23	1.26	1.77	0.3293	0.0284	0.46	0.0000	0.58	0.1036
	0.67	0.2	0.95	1.32	1.64	0.2483	0.0231	1.03	0.0289	0.84	0.5982
		0.4	1.15	1.42	1.83	0.0389	0.0268	0.43	0.0033	0.84	0.4971
		0.6	1.21	1.42	1.91	0.0174	0.0303	0.36	0.0050	1.09	0.3418
60°	0.17	0.2	0.62	1.47	1.63	0.0070	0.0225	0.38	0.0290	0.43	0.1958
		0.4	1.00	1.33	1.66	0.3282	0.0250	0.51	0.0647	0.22	0.0172
		0.6	1.18	1.33	1.77	0.2472	0.0280	0.53	0.0476	0.21	0.0113
	0.33	0.2	0.56	1.42	1.52	0.0422	0.0235	0.57	0.0582	0.68	0.2547
		0.4	0.82	1.41	1.63	0.0608	0.0297	0.40	0.0081	0.61	0.2312
		0.6	0.94	1.38	1.66	0.1314	0.0300	0.33	0.0013	0.54	0.1607
	0.67	0.2	0.76	1.48	1.66	0.0015	0.0280	0.44	0.0812	0.61	0.4585
		0.4	0.50	1.50	1.57	0.0001	0.0246	0.53	0.1922	0.78	0.5234
		0.6	0.95	1.40	1.70	0.0517	0.0315	0.68	0.0161	0.77	0.3428
90°	0.17	0.2	0.56	1.40	1.50	0.0782	0.0237	0.55	0.1179	0.50	0.2759
		0.4	0.76	1.43	1.62	0.0293	0.0279	0.53	0.0108	0.59	0.0855
		0.6	0.80	1.30	1.52	0.3967	0.0310	0.53	0.0040	0.60	0.0197
	0.33	0.2	0.50	1.50	1.57	0.0001	0.0244	0.53	0.1422	0.57	0.2981
		0.4	0.72	1.41	1.59	0.0465	0.0281	0.30	0.0215	0.58	0.2232
		0.6	0.82	1.43	1.63	0.0343	0.0323	0.29	0.0142	0.60	0.2005
	0.67	0.2	0.52	1.45	1.54	0.0135	0.0247	0.53	0.2672	0.75	0.5117
		0.4	0.75	1.47	1.65	0.0026	0.0286	0.51	0.0662	0.60	0.3509
		0.6	0.86	1.43	1.67	0.0433	0.0325	0.52	0.0435	0.77	0.3135

2.5.1. 최대유속발생위치와 하도형태 및 수문조건과의 관계

지금까지 검토된 하도의 형태학적 특성인자와 수문조건과의 관계를 규명하기 위하여 이들 수문조건과 최대유속 발생위치에 대한 상관관계를 Table 5와 같이 검토하였다.

먼저, 2개의 하천이 합류하는 경우에 합류부 주변에서 최대유속이 발생하는 지점까지의 수평거리는 하폭비가 80%이상의 높은 상관성을 보이고 있었고 다음으로 유량비와 접근각도의 순으로 상관성이 있음을 알 수 있었다.

특히 수평위치는 유량비와는 양의 상관을 가지고

있으나 접근각도와 하폭비와는 음의 상관을 가지고 있음을 알 수 있다.

즉 수평위치는 접근각도와 하폭비가 커질수록 짧아지고 유량비가 커질수록 발생위치가 멀어짐을 알 수 있었다.

다음으로, 합류부에서 최대유속 발생위치까지의 수직거리는 하폭비가 92%이상의 높은 상관성이 있는 것으로 검토되었으며, 다음으로 접근각도와 유량비의 순으로 상관성이 있음을 알 수 있었다. 특히 수평위치와는 달리 수직위치는 접근각도와 양의 상관을 가지고 있으나 하폭비 및 유량비는 음의 상관을 가지고 있음을 알 수 있다. 즉 수직위치는 접근

각도가 커질수록 거리가 멀어지나 하폭비와 유량비가 커질수록 발생위치가 짧아짐을 알 수 있었다.

마지막으로, 합류점에서 최대유속 발생위치까지의 직선거리에 대한 검토결과 최대 유속이 발생하는 위치까지의 직선거리는 하폭비가 91 %이상의 높은 상관성을 보이고 있고, 다음으로 유량비와 접근각도의 순으로 상관성이 높음을 알 수 있었다. 특히 최대유속이 발생하는 위치까지는 하폭비와 접근각도가 커질수록 짧아지고, 유량비가 커질수록 멀어지고 있음을 알 수 있었다.

이상의 결과로 볼 때 합류부에서 최대유속이 발생하는 위치까지의 거리는 하폭비가 약 90 %이상의 절대적인 상관성을 보이고 있으며, 본류와 지류의 하폭비가 커질수록 유속이 발생하는 위치까지는 짧아지는 역(-)상관을 나타내고 있음을 알 수 있었다.

2.5.2. 최대유속과 하도형태 및 수문조건과의 관계

합류부 주변의 최대유속을 지금까지 검토된 하도의 형태학적 특성인자와 수문조건과의 관계를 규명하기 위하여 이들 수문조건과 최대유속에 대한 상관관계를 Table 6과 같이 검토하였다.

그 결과 합류부 주변에서 발생하는 최대유속은 유량비와 91 %이상의 높은 상관성이 있음을 알 수 있었으며, 다음으로 유량비와 접근각도의 순으로 상관성이 있음을 알 수 있었다. 특히 최대 유속은 하폭비와는 음(-)의 상관을 가지고 있고 접근각도와 유량비는 양의 상관을 나타내고 있음을 볼 때, 하폭비가 커질수록 최대유속은 감소하고, 접근각도와 유량비가 커질수록 최대유속은 증가함을 알 수 있었다.

다음으로 최대유속의 영역을 표시하는 최대유속에 해당하는 면적의 크기(가속영역의 범위)는 하폭비와 약 50 % 정도의 상관성이 있음을 알 수 있었으며, 다음으로 유량비와 접근각도의 순으로 상관성이 있음을 알 수 있었다. 특히 최대 유속에 해당하는 면적은 하폭비와 접근각도와는 음(-)의 상관을 가지

고 있고 유량비는 양의 상관을 나타내고 있음을 볼 때, 하폭비와 접근각도가 커질수록 최대유속에 해당하는 면적은 감소하고, 유량비가 커질수록 최대유속에 해당하는 면적은 증가함을 알 수 있었다.

2.5.3. 정체구간과 하도형태 및 수문조건과의 관계

합류부 주변의 흐름에 대한 정체구간을 지금까지 검토된 하도의 형태학적 특성인자와 수문조건과의 관계를 규명하기 위하여 이들 수문조건과 상·하류 정체구간 위치에 대한 상관관계를 Table 5와 같이 검토하였다.

그 결과 합류부 주변에서 발생하는 상류부 정체구간은 하폭비와 가장 상관성이 높고 다음으로 접근각도와 유량비의 관계로 상관성이 있음을 알 수 있었다. 즉, 상류부 정체구간까지의 거리는 하폭비가 커질수록 짧아지며, 접근각도와 유량비가 증가할수록 거리가 길어지고 있음을 알 수 있었다. 그러나 상류부 정체구간의 크기(정체영역 면적)는 유량비와 가장 큰 음(-)의 상관을 나타내고 있으며, 다음으로 하폭비와 접근각도의 순으로 양(+)의 상관성이 있음을 알 수 있었다.

다음으로, 합류부 주변에서 발생하는 하류부 정체구간은 하폭비와 가장 상관성이 높고 다음으로 접근각도와 유량비의 관계로 상관성이 있음을 알 수 있었다. 즉, 하류부 정체구간까지의 거리는 하폭비 및 유량비가 커질수록 짧아지며, 접근각도는 증가할수록 거리가 길어지고 있음을 알 수 있었다. 그러나 하류부 정체구간의 크기(정체영역 면적)는 유량비와 가장 큰 상관을 나타내고 있으며, 다음으로 접근각도 및 하폭비 순으로 상관성이 있음을 알 수 있었다. 하류부 정체영역은 상류부와는 달리 하류부 정체영역은 유량비와 하폭비는 커질수록 영역의 크기가 줄어드는 음(-)의 상관을 나타내고, 접근각도가 커질수록 증가하는 양(+)의 상관을 나타내고 있음을 알 수 있었다.

Table 5. Analysis of the relationship refer to hydraulic characteristic and hydrometric condition

Factor	$\alpha(x_1)$	b/B(x_2)	$Q_2/Q_1(x_3)$
V_{max} Horizontal distance (L_x)	-0.19868	-0.80964	0.30893
V_{max} Vertical distance (L_y)	0.05141	-0.92774	-0.03409
V_{max} Straight distance (L)	-0.03857	-0.91886	0.07034
V_{max} Area (A)	-0.19116	-0.45022	0.28253
Max. velocity (V_{max})	0.09400	-0.91139	0.14429
Upper reach section distance (L_u)	0.16014	-0.75264	-0.09951
Upper reach section area (A_u)	0.40508	-0.17945	-0.48521
Lower reach section distance (L_d)	0.25050	-0.42930	0.12046
Lower reach section area (A_d)	0.03474	0.04709	-0.74024

Table 6. Results of correlation and hydraulic characteristic factor analysis

Factor	Formula	R
V_{max} Horizontal Distance (L_x)	$y = 5.17898 - 0.01467x_1 - 7.04290x_2 + 3.42083x_3$	0.889
V_{max} Vertical Distance (L_y)	$y = 8.99892 + 0.00519x_1 - 11.04548x_2 - 0.51667x_3$	0.930
V_{max} Straight Distance (L)	$y = 10.61552 - 0.00472x_1 - 13.25525x_2 + 1.29167x_3$	0.922
V_{max} Area (A)	$y = 1.53811 - 0.00968x_1 - 2.68767x_2 + 2.14704x_3$	0.565
Max. Velocity (V_{max})	$y = 0.14920 + 0.00020x_1 - 0.22417x_2 + 0.04518x_3$	0.928
Upper Reach Section Distance (L_u)	$y = 1.91590 + 0.01381x_1 - 2.78795x_2 + 0.99583x_3$	0.511
Upper Reach Section Area (A_u)	$y = 1.25477 + 0.00053x_1 + 0.08420x_2 - 1.68488x_3$	0.743
Lower Reach Section Distance (L_d)	$y = 2.67741 + 0.00572x_1 - 3.16897x_2 - 0.53333x_3$	0.776
Lower Reach Section Area (A_d)	$y = 0.22939 + 0.00279x_1 - 0.14588x_2 - 0.50212x_3$	0.657

2.5.4. 수리특성인자와 하도형태 및 수문조건과의 관계

합류부 주변의 흐름에 대한 수리특성인자들을 지금까지 검토된 하도의 형태학적 특성인자와 수문조건과의 관계를 규명하기 위하여 이들 수문조건과 수리특성 인자간의 상관관계식을 검토한 결과 Table 6과 같았다.

3. 결 론

본 연구에서는 하도합류부의 수리학적특성을 해석하기 위하여 합류부에서 본류와 지류의 접근각도, 본류와 지류의 유량비 변화 및 하폭비 변화를 이용하였다. 이러한 연구 결과는 향후에 하도설계시 제체의 구조설계나 수공구조물 설치시에 유용한 기초자료로 이용될 수 있도록 하였으며, 분석 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 합류점에서부터 최대유속의 발생위치는 하폭비가 작을 경우에는 접근각도가 작을수록 멀어지나 하폭비가 클 경우에는 접근각도가 커질수록 멀어지고, 합류점 부근의 최대유속은 하폭비와 91%이상의 높은 상관성을 나타내고 있으며, 하폭비가 커질수록 최대유속은 감소하고 접근각도와 유량비가 커질수록 최대유속은 증가함을 알 수 있었다.

2) 합류부에서의 정체구간(zone of stagnation)의 길이는 접근각도가 증가함에 따라서 증가한다. 그러나 하폭비와 유량비가 커질수록 감소하고, 합류부 주변에서 발생하는 상류부 정체구간은 하폭비와 가장 상관성이 높고 다음으로 접근각도와 유량비의 관계로 상관성을 보였으며, 합류부 주변에서 발생하는 하류부 정체구간은 하폭비와 가장 상관성이 높고 다음으로 접근각도와 유량비의 관계로 상관성이

있음을 알 수 있었다.

3) 합류부에서 가속유로의 위치는 접근각도가 작을수록 수로중앙에 위치(지류보다 본류의 영향이 큼)하고, 접근각도가 증가할수록 합류점 반대편 하안(河岸)편으로 치우치는 것(횡방향 Moment 증가)으로 검토되었다.

4) 합류부 하도의 기하학적특성과 수문조건을 독립변수로 하고 수리학적 변동특성을 독립변수로 하여 다중상관분석을 실시한 결과 최대유속의 발생면적(가속영역)과 상·하류 정체구간의 면적(정체영역)을 제외하고는 모두 90 %이상의 높은 상관성을 나타내고 있음을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

- 1) Tyalor E. H., 1944, Flow characteristics at rectangular open channel junctions, Trans., ASCE, 109, 893-902.
- 2) Webber G., 1966, An investigation of flow behaviour at the junction of rectangular channels, Proceedings, The institution of civil engineers, 34(6901), 321-334.
- 3) Behlke C. E., Pritchett H. D., 1966, The design of supercritical flow at channel junctions, highway research record No. 123, Publication 1365, Highway Research Board, National Research Council, Washington D. C. 17-35.
- 4) Wylie E. B., 1972, Water surface profiles in divided channels, journal of hydraulic research, 10(3), IAHR, 325-341.
- 5) Ito H., Imai K., 1973, Energy losses at 90 de-

- gree pipe junctions, Journal of Hydraulic Division, 99(HY9), ASCE, 1353-1368.
- 6) Mc Guirk J. J., Rodi W., 1978, A depth-averaged mathematical model for the near field of the side discharge into open-channel flow, J. of Fluid Mechanics, 86(4), 761-781.
 - 7) Hager W. H., 1987, Discussion of separation zone at open-channel junctions, by Best J. L. , Reid I., Journal of Hydraulic Engineering, 113(4), ASCE, 539-543.
 - 8) Best J. L., Reid I., 1987, Closure by of separation zone at open-channel junction, Journal of Hydralic Engineering, 110(11), ASCE, 1588-1593.
 - 9) 윤태훈, 박종석, 1993, 합류수로부 흐름의 수치해석. 1993년도 학술발표회 논문집, 한국수문학회, 57-64.
 - 10) 최계운, 강관원, 1993, 하천 합류점에서 합류각도에 따른 흐름해석. 대한토목학회 학술발표회 개요집(2), 대한토목학회, 127-130.
 - 11) SMS Reference manual, 1999, Brigham Young University.
 - 12) Chow V. T., 1959, Open channel hydraulics, Mcgraw-Hill, 439-522.
 - 13) 박용섭, 2003, 합류부에서 유량 및 접근각도 변화에 따른 수리학적 특성 분석, 인천대학교 박사학위 논문.
 - 14) 진병호, 2003, 유량 변화에 따른 원환 설치 전·후 원형 교각 주위의 수리특성, 홍익대학교 대학원 토목공학과.
 - 15) 윤수인, 1996, 만곡하천합류에서의 수공구조물 설치시 흐름특성 분석, 경기대학교 대학원, 토목공학과.