

FLDWAV 모형을 이용한 하천합류부에서의 수리학적 특성 연구 A Study on the Hydraulic Characteristics of River Junctions Using FLDWAV Model

조현경*

Hyeon-Kyeong Cho*

<Abstract>

This study aims at the calculation of a variation of flow characteristics of main channel for tributary inflow in river junction. So this study was analyzed the variation of flow depth and velocity in main channel for a change of inflow degree. For this purpose, FLDWAV model are carried out for variations of 30°, 60° and 90° tributary inflow at junction. Results show that velocity ratio($V1/V3$) increases and flow depth ratio($H1/H3$) decreases for discharge ratio($Q1/Q3$) of upstream and downstream when degree increases in junction. And FLDWAV model was applied at a real river junctions. Selected area is a junction of Gumho river and Sin stream. Results show that pattern is similar to a virtual channel.

Keywords : FLDWAV model, river junction, hydraulic characteristics

1. 서 론

인간이 하천 주변지역이나 홍수터 지역을 개발해 나가면서 홍수의 위험이 매년 증대되고 있다. 특히 지구 온난화에 따라 국지적 홍수가 빈발해 가는 추세에 있어 그 위험은 더욱 커지고 있다.

자연하천에 있어서의 홍수현상은 변동성이 강한 비선형성으로써 그 흐름은 부정류 상태로 되므로 이에 대한 수치적 처리 및 해를 구하는 것은 매우 복잡하다. 그러나 최근 컴퓨터를 이

용하여 쉽게 홍수류의 기본방정식을 수치적분하는 것이 가능하게 되었으며, 이에 따라 과거에 해석하기 어렵던 흐름의 특성들이 속속 밝혀지고 있다.

하천의 소통능력을 향상시키기 위하여 주요 하천마다 하천정비계획을 수립하고 있는데, 유역의 지형과 하도의 제약조건 때문에 특히 합류부의 적합한 설계가 매우 어려운 실정이다. 하천의 합류부를 흐르는 흐름은 지류의 수, 지류유입 각도, 수로의 형상과 경사, 흐름의 방향 및 유량, 합류점 모서리의 굴곡 등과 같은 여러

* 교신저자, 정회원, 영남이공대학 토목과 교수, 工博
E-mail : chohk@ync.ac.kr

* Corresponding Author, Prof., Dept. of Civil Engineering,
Yeungnam College of Science & Technology, Ph.D.

가지 수리인자를 포함하는 매우 복잡한 수리학적 특성을 발생시키고 있다. 특히 하천합류부에서는 변화류의 발생과 본류와 지류의 하상경사 불일치 등 때문에 합류시 지류의 유속감소로 인한 수위상승과 지류의 내수배제가 극히 어려운 현상이 발생하여 저지대 지류부 연안에 많은 피해를 일으킬 수 있으므로 이에 대한 규명이 반드시 필요하다.

기존의 연구 성과를 살펴보면, 국외로는 Modi(1981)¹⁾ 등은 Conformal Mapping 기법에 기초를 두고 임의의 각도로 합류하는 합류점에서의 흐름을 이론적으로 해석하려고 시도하였으며, Ramamurthy(1988)²⁾ 등은 동일한 수로폭을 가지고 45°로 합류하는 하천에 대한 흐름을 연구하였다. 또한 Hager(1989)³⁾는 동일한 폭을 가진 하도에서 두 개의 사류흐름이 45° 및 22.5°로 합류하는 하천에서 이론적 및 실험적인 연구를 하였으며, Christodoulou(1987)⁴⁾는 사류(Supercritical Flow)의 주흐름에 대해서 작은 각도로 유입하는 지류의 상류(Subcritical Flow)흐름에 대한 몇 가지 실험결과를 발표하였다. 국내의 연구 성과로는 윤태훈(1993)⁵⁾, 최계운(1993)⁶⁾ 등이 직선수로의 합류부에 관한 연구를 수행한 바 있고, 최근에는 박용섭(2003)⁷⁾, 최계운(2004)⁸⁾ 등이 합류부의 유량 및 접근각도에 따른 흐름변화를 연구 발표하였다.

본 연구에서는 먼저, 선택된 수치모형을 가상하도의 합류부에 적용시켜 수리학적 특성을 규명하고, 실제 하천합류부에 적용시켜 모형의 적용성을 검토하였다.

2. FLDWAV 모형의 이론

2.1 모형의 개요

FLDWAV 모형은 Fread가 20여 년에 걸쳐 개발한 1차원 하천모형으로써 기존에 널리 사용된 DWOPER 모형의 단점을 보완하고 댐과 피 해석모형인 DAMBRK 모형을 통합한 모형이다. 수치기법으로 사점 음해유한차분법이 적용되었으며, Newton-Raphson 방법으로 비선형 연립방정식을 해석한다.

이 모형의 장점으로는 복잡한 하도망에도 적용이 가능하며 다양한 형태의 외부 경계조건과 댐, 교량, 보 등의 하천구조물도 내부 경계조건으로 처리하여 해석할 수 있다. Kalman Filter

기법을 이용한 실시간 홍수에경보 기능도 갖고 있다.

단점으로는 Newton-Raphson 방법으로 비선형 연립방정식을 풀기 때문에 하도특성이나 수문특성에 따라 발산할 가능성이 있다. 또한 하도 횡단면 자료를 일반적인 좌표형태가 아니라 표고와 하폭으로 변환하여 입력해야 하는 번거로움이 있다.

2.2 기본이론

1) Saint-Venant 방정식

부정류의 해석에 이용되는 Saint-Venant 방정식은 연속방정식과 운동량 방정식으로 구성되는 데, 이 때 흐름단면에서는 균일한 유속분포를 이루며, 하도경사는 대체로 완만하다고 가정한다.

부정류의 연속방정식은 흐름구간으로 흘러들어오는 유입량과 유출량의 차가 구간의 저류량의 변화와 같다는 질량보존의 법칙을 나타내는 데, 다음 식(1)과 같이 나타낼 수 있다.

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

여기서, Q 는 유출량, A 는 하도단면적, q 는 측방 유입량이다.

또한 운동량 방정식은 임의의 검사체적(Control Volume)에 작용하는 외력의 합은 운동량의 변화율과 같다는 Newton의 제 2법칙에 의해 유도되는데, 다음 식(2)와 같이 표시할 수 있다.

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(Q^2/A)}{\partial x} + gA\left(\frac{\partial y}{\partial x} - S_o + S_f\right) - qv_x = 0 \quad (2)$$

여기서, t 는 시간, x 는 거리, g 는 중력가속도, y 는 수위, S_o 는 하도경사, S_f 는 마찰경사, v_x 는 측방류의 흐름방향의 유속성분이다.

2) Preissmann 4점 음해법

본 연구에서는 Preissmann 방법을 이용하여 연속방정식과 운동량 방정식을 차분화 하였다. Preissmann 방법을 격자망(Fig. 1. 참조)에서 차분식으로 표현하면 다음 식(3)~(5)와 같이 나타낼 수 있다.

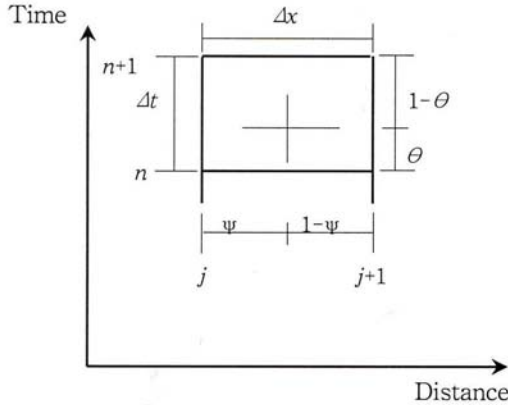


Fig. 1. Mesh of Preissmann Implicit Method.

$$f(x,t) \cong \frac{\theta}{2}(f_{i+1}^{n+1} + f_i^{n+1}) + \frac{1-\theta}{2}(f_{i+1}^n + f_i^n) \quad (3)$$

$$\frac{\partial f}{\partial t} \cong \frac{1}{2\Delta t}[(f_{i+1}^{n+1} - f_{i+1}^n) + (f_i^{n+1} - f_i^n)] \quad (4)$$

$$\frac{\partial f}{\partial x} \cong \frac{\theta}{\Delta x}(f_{i+1}^{n+1} - f_i^{n+1}) + \frac{1-\theta}{\Delta x}(f_{i+1}^n - f_i^n) \quad (5)$$

여기서, f 는 변량이고, θ 는 시간가중계수(Time Weighting Factor)이며 0.5와 θ 사이의 값이다. 또한 β 는 공간가중계수(Space Weighting Factor)이며, 일반적으로 0.5로 규정된다.

미지수인 $n+1$ step에 대한 것을 $f^{n+1} = f^n + \Delta f$ 의 개념을 도입하여 정리한 다음 연속방정식에 대입하여 차분형태의 식으로 나타내면 다음 식 (6)~(8)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{1}{2\Delta t}(\Delta A_{i+1} + \Delta A_i) + \frac{1}{\Delta x}[\theta(\Delta Q_{i+1} - \Delta Q_i) + (Q_{i+1} - Q_i)] \cong 0 \quad (6)$$

$$\frac{1}{2\Delta t}(b_{i+1}\Delta y_{i+1} + b_i\Delta y_i) + \frac{1}{\Delta x}[\theta(\Delta Q_{i+1} - \Delta Q_i) + (Q_{i+1} - Q_i)] \cong 0 \quad (7)$$

$$A\Delta y_{i+1} + B\Delta Q_{i+1} = C\Delta y_i + D\Delta Q_i + G \quad (8)$$

여기서,

$$A = \frac{b_{i+1}}{2\Delta t}, \quad B = \frac{\theta}{\Delta x}, \quad C = -\frac{b_i}{2\Delta t},$$

$$D = \frac{\theta}{\Delta x}, \quad G = -\frac{1}{\Delta x}(Q_{i+1} - Q_i)$$

이다.

또한 운동량방정식을 차분화하여서 식(9)와 같은 형태로 정리하면 다음 식(9)와 같이 나타낼 수 있다.

$$A'\Delta y_{i+1} + B'\Delta Q_{i+1} = C'\Delta y_i + D'\Delta Q_i + G' \quad (9)$$

3) Double Sweep 방법

Implicit 유한차분법은 동시에 풀어야 할 미지수가 많고, 역행렬에 의한 계산으로 인해 계산시간이 오래 걸린다는 단점이 있다. 따라서 이 단점을 보완하기 위하여 개발된 방법이 Double Sweep 방법이다. 이 Double Sweep 방법은 연속방정식과 운동량 방정식을 차분화하여 앞의 식(7)과 같은 선형대수형태의 식으로 변형시켜 해석하는 방법이며, 그 전개과정은 다음과 같다.

대상구간내의 Grid Point를 N개로 잡는다면 구하고자 하는 다음 시간 단계인 N+1 Step의 미지수는 2N개(수위, 유량)이며, 한 Grid(4개의 Grid Point)에 대하여 각각 2개의 방정식을 적용할 수 있다. 대상구간 내에는 2N-2개의 식이 만들어지며, 모자라는 2개의 식은 상류 경계조건과 하류 경계조건으로부터 구할 수 있다. 따라서 전 구간에 걸친 연립방정식을 풀 수 있으며, 정리하면 다음 식(10)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\Delta Q_{i+1} = E_{i+1}\Delta y_{i+1} + F_{i+1} \quad (10)$$

여기서,

$$E_{i+1} = [L_i(C + DE)_i - A_i] / [B_i - M_i(C + DE)_i]$$

$$F_{i+1} = [N_i(C + DE)_i + D_i F_i + G_i] / [B_i - M_i(C + DE)_i]$$

따라서 E_i, F_i 만 알면 E_{i+1} 과 F_{i+1} 을 구할 수 있으므로 전 대상구간에 걸쳐 E와 F를 구할 수 있으며, E_1 과 F_1 은 상류 경계조건으로부터 구할 수 있으므로 $E_1, F_1, E_2, F_2, \dots, E_{N-1}, F_{N-1}, E_N, F_N$ 을 차례로 구할 수 있다.

4) Newton-Raphson 방법

비선형 대수방정식을 풀기 위해서 Newton-Raphson 방법을 사용할 경우 방정식은 다음 식(11)과 같이 나타낼 수 있다.

$$f(x) = 0 \tag{11}$$

여기서, x 는 $(h_1, Q_1, h_2, Q_2, \dots, h_N, Q_N)$ 의 미지의 벡터량이며, 반복횟수 k 에서의 x^k 는 $(h_1^k, Q_1^k, h_2^k, Q_2^k, \dots, h_N^k, Q_N^k)$ 이다.

비선형 방정식은 다음 식(12)와 같이 선형화된다.

$$f(x^{k+1}) = f(x^k) + J(x^k)(x^{k+1} - x^k) \tag{12}$$

여기서, $J(x^k)$ 는 x^k 값으로 계산되는 $f(x)$ 의 1차 편미분으로 이루어지는 계수행렬 Jacobian이다.

Newton-Raphson 반복법은 잔차오차 $f(x^{k+1})$ 을 0으로 만들기 위함이므로 다음 식(13)과 같이 나타낼 수 있다.

$$J(x^k)(x^{k+1} - x^k) = -f(x^k) \tag{13}$$

여기서, $x^{k+1} - x^k = \Delta x^k$ 로 놓을 수 있고 Δx^k 가 오차한계내에 들어올 때까지 반복 계산한다.

2.3 합류부에서의 수리

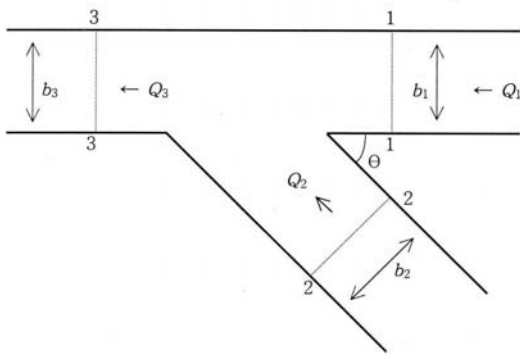


Fig. 2. Definition Sketch.

일반적으로 Fig. 2와 같은 합류부가 있으면, 들어오는 흐름은 주하도에서 사류로 정하고 측면의 지류흐름은 상류 또는 사류라고 가정한다. 일반적으로 합류후의 수축부는 Fig. 2에 나타난 바와 같으며, 이는 주로 각도 θ 에 달려 있다. 최대수축단면 3-3은 흐름폭 $b_3 = \mu b_1$ 이고, 이 때 μ 는 수축계수이며 $\mu \leq 1$ 의 값을 갖는다.

합류점에서의 흐름은 기본적으로 3차원이지만, 몇몇 중요한 특성은 단순한 1차원 방법으로 얻을 수 있다. 주하도 방향에서 운동량 방정식은 단면 1-1, 2-2와 3-3(Fig. 2)사이를 검사체

적(Control Volume)이라 하고 경계마찰과 저면 경사를 무시하면 운동량방정식은 다음 식(14)와 같이 쓸 수 있다.

$$p_1 b_1 + \rho Q_1 V_1 + p_2 b_2 \cos \theta + \rho Q_2 V_2 \cos \theta - p^* b_2 \cos \theta = p_3 b_3 + \rho Q_3 V_3 \tag{14}$$

여기서, ρ 는 물의 밀도, V_i 는 각 단면에서의 평균속도($i=1,2,3$), p_i 는 정수역학적 가정에 기초를 둔 단위폭당 압력($=\rho w y_i^2$), w 는 물의 비중, p^* 는 측벽의 불균형 반응을 설명한다.

3. 가상하도에의 적용

3.1 가상하도 합류부의 개요

본 연구에서는 하도합류부에서의 수리학적 특성을 규명하기 위해서 Fig. 3과 같이 본류에 지류 1개가 유입하는 가상하도망을 구성하였으며, 각 지점간 거리는 500m로 정하였다. 이 때 본류의 유량을 일정하게 유지하고 지류의 유량과 지류 유입각도를 변화시키면서 FLDWAV 모형의 모의를 수행하였다.

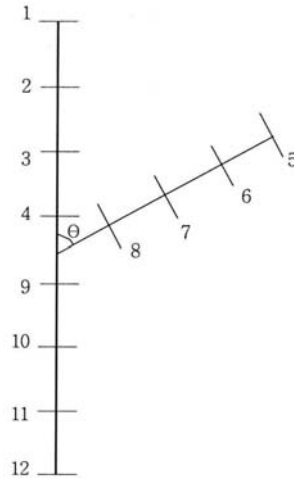


Fig. 3. Study Channel Network.

본 연구수행에 사용된 조건은 우선, 본류의 하도폭을 50m, 지류의 하도폭을 10m로 정하였고, 유량은 본류 300 m³/sec로 고정하였으며, 이 때 지류유입량을 30, 60, 100 m³/sec로 각각 변화시켰다. 하도의 조도는 하도를 완전히 개수된 직선하도구간이며, 하천의 단면이 균일한 단면을 갖는 이상적인 하천구간으로 가정하고, 본류와 지류를 0.030으로 동일하게 정했으며, 하

상경사는 본류 1/500, 지류 1/400으로 각각 정하였다.

또한 본 연구에서는 가상하도 합류부의 수리학적 특성을 규명하기 위하여 본류와 지류의 합류시 각도를 30°, 60°, 90°로 결정하였다.

3.2 가상하도 합류부에서의 수리학적 특성분석

하도합류부의 수리학적 특성을 분석하기 위해서 본 연구에서는 본류에 300 m³/sec의 유량이 흐른다고 하였을 때, 지류에서 각각 30, 60, 100 m³/sec의 유입량이 본류로 흘러든다고 가정하였으며, 또한 각각의 유입량에 대하여 지류 유입각도를 30°, 60°, 90°로 변화시켜 FLDWAV 모형을 모의하였다. 이 때 각각의 경우에 대한 유속 및 수위의 변화량을 산정하고 이로부터 합류부 부근에서의 수심 및 유속의 변화를 분석한 결과 다음 Table 1~3과 같았으며, 지류유입시 본류하도의 종단 수위변화를 플로트한 결과 다음 Fig. 4~6과 같이 나타났다.

Table 1. Variations of Depth and Velocity Depending on Degree of Confluence in Tributary Channel(30 m³/sec)

No.	30°		60°		90°	
	H(m)	V (m/sec)	H(m)	V (m/sec)	H(m)	V (m/sec)
1	5.051	3.882	5.052	3.882	5.054	3.883
2	5.120	3.911	5.132	3.916	5.139	3.919
3	5.212	3.950	5.220	3.953	5.220	3.953
4	5.301	3.987	5.312	3.991	5.314	3.992
9	5.282	3.979	5.282	3.970	5.284	3.980
10	5.343	4.004	5.357	4.010	5.360	4.011
11	5.443	4.045	5.445	4.046	5.447	4.047
12	5.552	4.089	5.561	4.093	5.564	4.094
5	4.521	2.966	4.518	2.965	4.521	2.966
6	4.810	3.030	4.802	3.029	4.803	3.029
7	5.087	3.088	5.078	3.086	5.078	3.086
8	5.347	3.138	5.358	3.140	5.361	3.141

먼저, 본류유량 300CMS, 지류유입량이 30 m³/sec라고 하였을 때는 Table 1에서 나타난 바와 같이 지류유입각을 30°, 60°, 90°일 경우로 구분하여 분석하였다. 지류합류부 부근에서의 수리학적 특성을 분석해 보면 지류유입각이 30°인 경우 합류점 상류인 No.4에서의 수심은 5.301m, 유속은 3.987 m/sec, 합류점 하류인 No.9에서의 수심은 5.282m, 유속은 3.979

m/sec, 지류유입각이 60°인 경우 합류점 상류인 No.4에서의 수심은 5.312m, 유속은 3.991 m/sec, 합류점 하류인 No.9에서의 수심은 5.282m, 유속은 3.970 m/sec, 지류유입각이 90°인 경우 합류점 상류인 No.4에서의 수심은 5.314m, 유속은 3.992 m/sec, 합류점 하류인 No.9에서의 수심은 5.284m, 유속은 3.980 m/sec으로 나타났다. 또한 지류유입시 본류하도의 종단 수위변화를 플로트한 결과 다음 Fig. 4와 같이 나타났으며, 지류 유입량이 30 m³/sec로 본류유량에 비해 상대적으로 미소하므로 합류점 상류부의 배수현상이 유입각을 변화시켰을 때 크게 드러나지는 않았다.

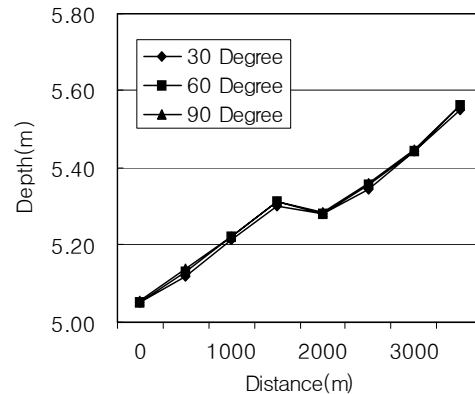


Fig. 4. Variation of Flow Depth for Various Combining Angles(30 m³/sec).

또한 본류하도의 유량 300 m³/sec, 지류유입량이 60 m³/sec라고 하였을 때는 Table 2에서 나타난 바와 같이 지류유입각을 30°, 60°, 90°일 경우로 구분하여 분석하였다. 하도합류부에서의 수리학적 특성을 분석해 보면 지류유입각이 30°인 경우 합류점 상류인 No.4에서의 수심은 5.520m, 유속은 4.076 m/sec, 합류점 하류인 No.9에서의 수심은 5.625m, 유속은 4.118 m/sec, 지류유입각이 60°인 경우 합류점 상류인 No.4에서의 수심은 5.523m, 유속은 4.077 m/sec, 합류점 하류인 No.9에서의 수심은 5.628m, 유속은 4.119 m/sec, 지류유입각이 90°인 경우 합류점 상류인 No.4에서의 수심은 5.527m, 유속은 4.079 m/sec, 합류점 하류인 No.9에서의 수심은 5.632m, 유속은 4.121 m/sec으로 나타나 지류유입의 영향을 받아 상류로의 배수현상이 일어남을 알 수 있었다. 이것은 지

류유입시 본류하도의 중단 수위변화를 플로트한 결과 다음 Fig. 5와 같이 합류점 상류부의 배수현상이 유입각을 변화시켰을 때 분명히 드러남을 알 수 있었다.

Table 2. Variations of Depth and Velocity Depending on Degree of Confluence in Tributary Channel(60 m³/sec)

No.	30°		60°		90°	
	H(m)	V (m/sec)	H(m)	V (m/sec)	H(m)	V (m/sec)
1	5.206	3.947	5.208	3.948	5.209	3.949
2	5.303	3.988	5.304	3.988	5.307	3.989
3	5.401	4.028	5.403	4.029	5.407	4.030
4	5.520	4.076	5.523	4.077	5.527	4.079
9	5.625	4.118	5.628	4.119	5.632	4.121
10	5.552	4.089	5.556	4.091	5.559	4.092
11	5.627	4.119	5.629	4.120	5.632	4.121
12	5.710	4.152	5.713	4.153	5.726	4.158
5	5.049	3.080	5.061	3.082	5.057	3.082
6	5.216	3.113	5.217	3.113	5.208	3.112
7	5.401	3.152	5.441	3.156	5.356	3.140
8	5.543	3.175	5.636	3.191	5.549	3.176

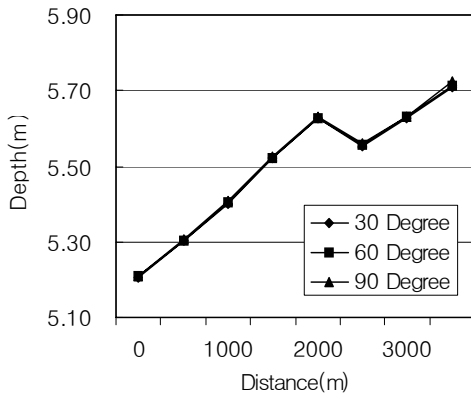


Fig. 5. Variation of Flow Depth for Various Combining Angles(60 m³/sec).

다음으로, 본류하도의 유량 300 m³/sec, 지류 유입량이 100 m³/sec라고 하였을 때 지류유입각을 30°, 60°, 90°일 경우로 구분하여 분석한 결과 Table 3과 같이 나타났다. 지류합류부 부근에서의 수리학적 특성을 분석해 보면 지류유입각이 30°인 경우 합류점 상류인 No.4에서의 수심은 5.792m, 유속은 4.184 m/sec, 합류점 하류인 No.9에서의 수심은 5.750m, 유속은 4.168

m/sec, 지류유입각이 60°인 경우 합류점 상류인 No.4에서의 수심은 5.795m, 유속은 4.185 m/sec, 합류점 하류인 No.9에서의 수심은 5.754m, 유속은 4.169 m/sec, 지류유입각이 90°인 경우 합류점 상류인 No.4에서의 수심은 5.801m, 유속은 4.188 m/sec, 합류점 하류인 No.9에서의 수심은 5.759m, 유속은 4.171 m/sec로 나타나 역시 지류유입의 영향을 받아 상류로의 배수현상이 일어남을 알 수 있었다. 이것은 지류유입시 본류하도의 중단 수위변화를 플로트한 결과 다음 Fig. 6과 같이 합류점 상류부의 배수현상이 유입각을 변화시켰을 때 분명히 드러남을 알 수 있었다.

Table 3. Variations of Depth and Velocity Depending on Degree of Confluence in Tributary Channel(100 m³/sec)

No.	30°		60°		90°	
	H(m)	V (m/sec)	H(m)	V (m/sec)	H(m)	V (m/sec)
1	5.416	4.034	5.419	4.035	5.422	4.036
2	5.527	4.079	5.530	4.080	5.535	4.082
3	5.658	4.131	5.660	4.132	5.669	4.136
4	5.792	4.184	5.795	4.185	5.801	4.188
9	5.750	4.168	5.754	4.169	5.759	4.171
10	5.816	4.194	5.821	4.196	5.826	4.197
11	5.900	4.226	5.910	4.230	5.918	4.233
12	5.991	4.261	5.994	4.262	5.999	4.264
5	5.612	3.187	5.703	3.203	5.804	3.221
6	5.641	3.192	5.718	3.206	5.726	3.207
7	5.716	3.205	5.821	3.223	5.834	3.226
8	5.819	3.223	5.973	3.249	5.984	3.251

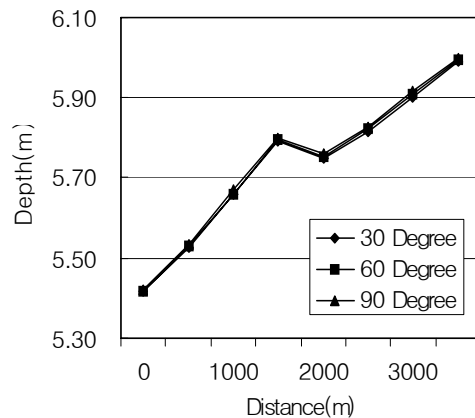


Fig. 6. Variation of Flow Depth for Various Combining Angles(100 m³/sec).

3.3 분석 및 고찰

위의 각 결과에서 나타난 바와 같이 지류의 유입에 의해 본류수로 상류측으로 수면상승이 발생되어 배수곡선을 이루며, 특히 합류점 직상류에서는 지류유입의 영향을 크게 받는 것으로 나타났다.

하도합류부에서의 흐름은 본류와 지류의 유량에 따라서 다르게 된다. 본 연구에서는 본류의 유량을 일정하게 하고 지류의 유량을 합류각도에 따라 변화시키면서 FLDWAV 모형을 수행하였다. 여기서, 유량비는 본류의 유량에 대한 합류후의 총유량의 비로 정의된다.

본류하도의 하상경사, 유량, 지류의 유량과 합류각에 따른 수로 합류부의 수심 영향을 파악하기 위하여 합류각과 유량비의 변화를 무차원화 시켰다. 본 연구에서 지류하도의 유입량과 합류수로 상류부의 수면변화 관계는 Fig. 7 및 8과 같이 지류하도의 유입량에 의한 유량비 Q_1/Q_3 와 Q_2/Q_3 가 증가함에 따라 상류부 수심의 비 H_1/H_3 와 H_2/H_3 는 감소하는 것으로 나타났다. 여기서, Q_2 , Q_3 는 각각 지류의 유량과 합류후의 유량이다.

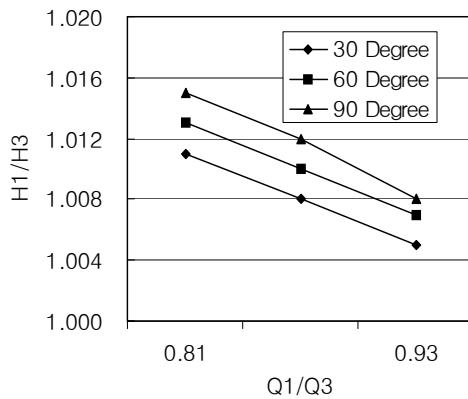


Fig. 7. Variations of H_1/H_3 for Q_1/Q_3 .

또한 본류하도의 하상경사, 유량, 지류의 유량과 합류각에 따른 수로 합류부의 유속 영향을 파악하기 위하여 합류각과 유량비의 변화에 대한 합류부의 유속을 무차원화 시켰다. 본 연구에서 지류하도의 유입량과 합류수로 상류부의 유속변화 관계는 Fig. 9 및 10과 같이 지류하도의 유입량에 의한 유량비 Q_1/Q_3 와 Q_2/Q_3 가 증가함에 따라 상류부 수심의 비 V_1/V_3 와 V_2/V_3 는 증가하는 것으로 나타났다.

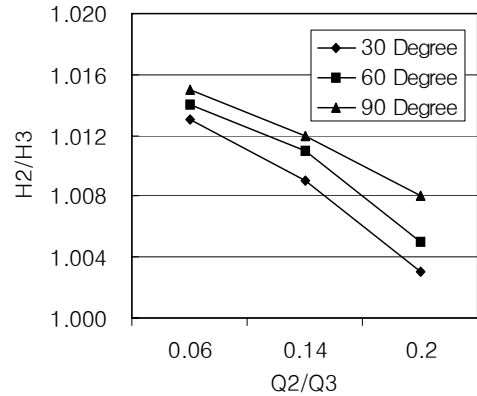


Fig. 8. Variations of H_2/H_3 for Q_2/Q_3 .

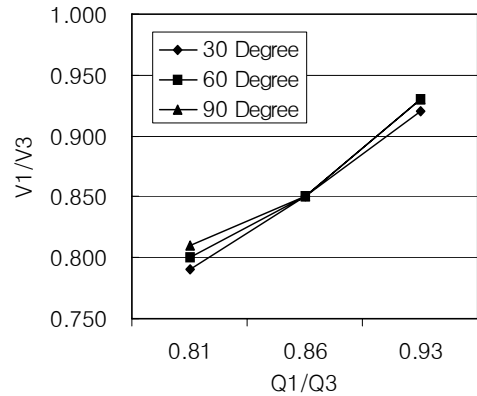


Fig. 9. Variations of V_1/V_3 for Q_1/Q_3 .

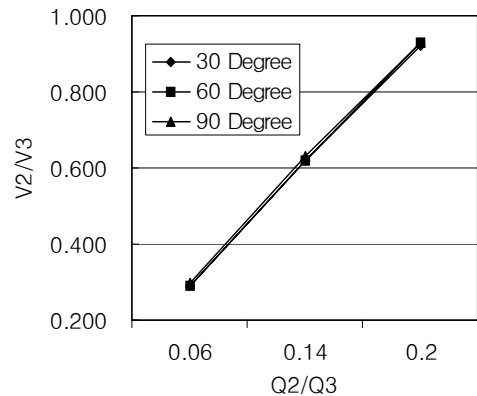


Fig. 10. Variations of V_2/V_3 for Q_2/Q_3 .

4. 실제하천에의 적용

4.1 분석 하천합류부의 개요

본 연구에서 선정된 지점은 낙동강 제 1지류인 금호강과 신천이 만나는 합류부를 선택하였

다. 금호강은 경북 포항시 죽장면 가사리에서 발원하여 남서류하여 영천시를 지난 뒤 서측으로 유하하여 경산시, 대구광역시를 지나 낙동강 중류부 좌안측으로 합류하는 하천으로 유역면적은 2,087.9km²이고 유로연장은 114.6km이며, 특히 대구광역시를 관류하면서 신천과 합류한다. 신천은 금호강유역의 8개지류 중의 하나로 경상북도 가창 화백록에서 발원하여 대구광역시의 중앙부를 관통하고 있는 주요하천으로써 대구광역시 침산동에서 금호강과 합류하고 있으며, 유역면적은 158.32km²이고 유로연장은 27.0km이다(Fig. 11. 참조).



Fig. 11. Study River Junction.

4.2 실제하천 합류부에의 적용결과

본 연구에서 금호강과 신천이 만나는 합류부를 연구대상으로 선정하였다. 합류부 부근의 수문량 및 기하학적 특성은 금호강 하천정비기본계획(보완)⁹⁾ 및 신천 하천정비기본계획¹⁰⁾ 보고서를 참고로 하였으며, 주요 내용은 다음 Table 4~5와 같다.

Table 4. Characteristics of Gumho river

Station	Distance (m)	Project Flood (m ³ /sec)	Project Stage (EL.m)	River Width (m)
신천 합류후	0	5,680	26.49	255
신천 합류전	500	5,680	26.59	220

Table 5. Characteristics of Sin stream

Station	Distance (m)	Project Flood (m ³ /sec)	Bottom Slope	River Width (m)
신천 하구	0	1,328	0.0033	247
경대교 지점	1,630	1,315	0.0033	135

본류인 금호강의 유량은 계획홍수량인 5,680 m³/sec, 지류인 신천의 유량은 계획홍수량인 1,328 m³/sec로 정하였으며, 합류되는 각도는 85°로 측정되었다. 하도단면자료는 하천정비기본계획에 사용된 단면자료를 이용하였으며, FLDWAV 모형을 수행한 결과는 다음 Table 6 및 Fig. 12와 같았다.

하천합류부에서의 수리학적 특성을 분석해보면 합류점 상류인 No.3에서의 수심은 11.507m, 유속은 4.439 m/sec, 합류점 하류인 No.7에서의 수심은 11.202m, 유속은 4.262 m/sec로 분석되어 지류유입의 영향을 받아 상류로의 배수현상이 발생함을 알 수 있었다. 특히 종단 수위변화를 플로트한 결과 Fig. 12와 같이 나타나 합류점 상류측으로의 배수현상이 발생함을 명확하게 알 수 있었으며, 이는 가상하도와 비슷한 형태였다.

Table 6. Variation of Depth and Velocity of Gumho River Depending on Inflow of Sin stream

No.	85°	
	H(m)	V(m/sec)
1	10.103	4.187
2	10.746	4.253
3	11.507	4.439
7	11.202	4.262
8	11.724	4.596
9	12.196	4.721
4	8.753	3.398
5	9.318	3.584
6	9.924	3.982

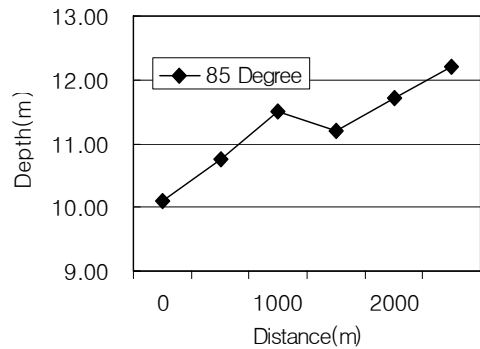


Fig. 12. Variation of Depth of Gumho river Depending on Inflow of Sin Stream.

5. 결 론

본 연구에서는 하천합류부에서의 수위 및 유속변화 등의 수리학적 특성을 규명하기 위해서 지류유량의 변화와 합류각의 변화에 따른 수치모의를 수행하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

- 1) 하도합류부에서의 수리학적 특성을 파악하기 위한 수치모형으로써 복잡한 하도망의 해석이 가능한 FLDWAV 모형을 이용하였다.
- 2) FLDWAV 모형을 가상하도에 적용한 결과 지류의 유입에 의해 본류수로 상류측으로 수면상승이 발생되어 배수곡선을 이루며, 특히 합류점 직상류에서는 지류유입의 영향을 크게 받는 것으로 나타났다.
- 3) 가상하도에 대해 FLDWAV 모형을 수행한 결과 수로합류부의 유량에 대해서 유량비가 클수록 합류각의 변화에 대해 수심비가 감소하는 것으로 나타났으며, 합류유입각에 대해서는 사이각이 작을수록 수심비는 큰 값을 나타내고 있다.
- 4) 하도합류부에서의 유속은 유량비가 클수록 수심비가 선형적으로 증가하는 것으로 나타났으며, 합류부 상류의 수심은 유량비와 합류각에 의해 크게 영향을 받는 것으로 나타났다.
- 5) 실제 하천합류부로 금호강과 신천이 만나는 지점을 선정하였으며, FLDWAV 모형을 수행한 결과 가상하도와 비슷한 패턴의 결과를 나타내는 것으로 파악되었다.

이러한 하천합류부에서의 수리학적 특성은 유량비와 유입각 만이 아니라 하폭의 비, 수공구조물의 종류, 지류의 유입위치 등에 따라서 크게 변화될 수 있다고 생각되어 앞으로는 이에 대한 고려도 필요하다고 판단된다.

참 고 문 헌

- 1) Modi, P.N., Ariel, P.D., and Dandekar, M.M., "Conformal Mapping for Channel Junction Flow," J. Hydr. Div., ASCE, Vol. 107, No. 12, pp. 1713-1733, 1981.
- 2) Ramamurthy, A.S., Carballada, L.B., and Tran, D.M. "Combining Open Channel Flow at right angled Junctions," J. Hydr. Engrg., ASCE, Vol. 114, No. 12, pp. 1449-1460, 1988.
- 3) Hager, W.H., "Supercritical Flow in Channel Junctions," J. Hydr. Engrg., ASCE, Vol. 115, No. 5, pp. 595-616, 1989.
- 4) Christodoulou, G.C., "Junction of Subcritical to Supercritical Channel," Proc., XXII I.A.H.R. Congr., Lausanne, pp. 112-116, 1987.
- 5) 윤태훈, 박종석, "합류수로부 흐름의 수치해석," 제35회 수공학 연구발표회 논문집, pp. 57-64, 1993.
- 6) 최계운, 강관원, "하천합류점에서 합류각도에 따른 흐름해석," 대한토목학회 학술발표 개요집(II), pp. 127-130, 1993.
- 7) 박용섭, "합류부에서 유량 및 접근각도 변화에 따른 수리학적 특성 분석", 인천대학교 박사학위논문, 2003.
- 8) 최계운, 박용섭, 한만신, "합류부의 유량 및 접근각도에 따른 흐름변화", 한국수자원학회논문집 제37권 제8호, pp. 623-630, 2004.
- 9) 금호강 하천정비기본계획(보완), 건설교통부, 1997.
- 10) 신천 하천정비기본계획, 대구광역시, 2001.

(2007년 8월 12일 접수, 2007년 11월 9일 채택)