

합류부 하상고 불일치에 의한 분리구역 특성분석

An Analysis on the Characteristics of Separation Zone Due to a Bed Discordance at Confluence

최 흥 식* / 모 선 재**
Choi, Heung Sik / Mo, Sun Jea

Abstract

The diverse patterns of separation zone according to the marked bed discordance by dredging at confluence in addition to the confluence angle of tributary and discharge ratio between tributary and main channels have been analyzed by CCHE2D model simulation. The separation zone is defined by inside of zero velocity boundary at down-stream of confluence. The separation zone dose not formed at the 30° of confluence angle of tributary. The size of separation zone increases as the discharge ratio and confluence angle increase in general. The separation zone decreases as the dredging depth increases which shows the relative momentum reduction compared by the flow volume increasing by dredging at confluence. The contraction factor with the variation of confluence angle and discharge ratio has been investigated and confirmed the corresponding conveyance decreasing results in backwater effect. The regression equation of shape factor with confluence angle and discharge and dredging depth ratios has been suggested.

Keywords : Separation zone, Dredging depth, Confluence angle, Discharge ratio, Shape factor, Contraction factor

요 지

합류부에서의 지류의 합류각, 지류와 본류의 유량비에 추가하여, 본류 준설에 의한 하상고 불일치에 따른 다양한 양상의 분리구역의 특성을 CCHE2D 모형을 사용하여 분석하였다. 분리구역은 지류가 합류되어진 직후 단면에서의 유속이 0(영)인 경계로 정의하였다. 합류각 30° 이하에서는 분리구역이 형성되지 않았다. 유량비와 합류각 증가에 따른 분리구역의 크기는 일반적으로 증가하는 양상으로 나타났다. 준설 깊이 증가에 따른 분리구역의 크기는 합류부 수용체의 증가에 기인한 지류에서의 상대적인 운동량의 감소로 인하여 감소되었다. 유량비와 합류각의 변화에 따른 분리구역의 수축지수를 규명하였고, 통수기능의 저하에 따른 배수영향을 확인하였다. 합류각, 유량비, 준설 깊이비에 따른 분리구역의 형상지수의 관계식을 제안하였다.

핵심용어 : 분리구역, 준설 깊이, 합류각, 유량비, 형상지수, 수축지수

1. 서 론

지류가 유입하는 본류의 합류부 하류에서는 분리구역

(separation zone)이 형성되며, 상류로부터 내려온 유사 퇴적에 따른 하상변화의 발생으로 다양한 수리특성을 나타낸다. 아울러, 합류부에서 수리특성의 변화는 홍수가 발

* 교신저자, 상지대학교 건설시스템공학과 교수 (e-mail: hsikchoi@sangji.ac.kr)
Corresponding Author, Professor, Dept. of Civil Eng., Sangji Univ., Wonju 220-702, Korea

** (주)창설, 수자원부 주임 (e-mail: cswater1@naver.com)
Engineer, CHANG SEOL Engineering Co., Seoul, Korea 1

생활 경우 배수위에 의한 홍수범람과 배수능력의 저하로 주변지역에 피해를 가져올 수 있다.

최근 기후변화로 인한 가뭄발생과 집중호우에 따른 홍수피해를 방지하고자 준설을 통해 통수단면적을 증가시켜 하천유지용수 확보 및 홍수방어능력 증대를 제안하고 있다. 하지만 하도의 본류를 과도하게 준설하면, 본류와 지류의 하상이 급격하게 단차가 발생하며, 그에 따른 합류부에서 수리특성의 변화가 발생된다.

합류부 특성에 대한 연구는 Taylor (1944)에 의해 시작되어 합류부의 흐름특성을 운동량방정식 이론을 적용하여 분석하였으며, 이를 바탕으로 동일한 수로 폭을 가진 합류각도 45°, 135°인 수로에 적용하여 수심 변화의 규명에 이론과 실험의 결과가 상당히 유사하다는 것을 확인하였다. Modi et al. (1981)은 합류부 각도 30°, 60°, 90°로 구성된 합류점에 대해 연구하였다. 본류와 지류의 유량비는 하폭과 합류각도와 비례한다는 결과를 내었고 정체점은 지류와 본류가 만나는 곳에서 발생한다고 하였다. Best and Reid (1984)는 상이한 합류각도에 대한 분리구역의 규모를 실험에 의하여 해석하였다. 그 결과 정상류의 흐름은 합류점과 지류의 유량비가 클수록 잘 나타나고 분리구역은 합류점의 각도가 45°, 70°, 90°로 갈수록 점차 커지고 수로의 유량비가 0.30~0.35 범위에서 최대를 보이는 반면에 15°일 때는 45°, 70°, 90°인 경우와 반대의 현상이 나타났다고 하였다. Gurram et al. (1997)은 합류각 30°, 60°, 90°인 경우에 대해서 실험을 하여 합류부의 흐름상태를 Froude 수에 따라 구분하였고 지류의 유입에 따라 생기는 수축부와 최저수심 그리고 상류부의 최고수위를 분석하였다. Ramamurthy and Zhu (1997)는 90도 합류각의 수로에서 실험을 하여 모멘트 변형량과 확장 손실에 의한 수축지수를 계산하였고, 직사각형 수로에서의 유량비와 면적비와의 함수인 에너지 손실계수를 구하였다.

대부분의 연구는 유량비, 합류각에 따른 합류부의 수리특성의 연구이다. Liu et al. (2012)은 90도 각도로 합류하는 지류와 본류에서의 유량비에 따른 본류에서의 분리구역, 배수위 현상, 유사의 이동에 의한 하상의 변화를 규명하였다. Zhang et al. (2015)은 중국의 황하에 지류로부터 고농도 유사(hyperconcentrated tributary flow)의 유입에 따른 유사의 이송과 하상의 변화를 실험적으로 해석하였다. Coelho (2015)는 30도와 60도로 지류가 유입하는 합류부에서의 상류와 사류의 흐름상태에 따른 합류부 전과 후에서의 자유수면의 형태를 분석하였다. 최근의 연구는 합류부 수리특성의 변화와 더불어 하상변화 또는 합류부의 흐름특성에 따른 수면의 변화에 대한 연구로 지류와 본류

의 단차에 기인한 하상의 불일치에 의한 합류부 수리특성의 연구는 부재하다.

Park (2003)은 다양한 합류각도와 지류와 본류의 유량비에 따른 수리실험을 수행하여, 유량비가 증가하면 합류부의 수리특성변화인 정체구간이 증가하고 합류각이 증가하면 최대 유속이 증가함을 확인하였다. Choi et al. (2004)은 이에 추가하여 합류점 부근의 최대유속의 크기와 발생위치를 분석하였다. Cho (2005)는 Park (2003)의 실험결과를 바탕으로 유함수를 이용하여 분리구역을 정의하고, 분리구역의 특성을 규명하였다. 합류각, 유량비, 본류 Froude수에 의한 분리구역의 무차원 길이비와 폭비에 의한 기존의 실험식을 수정하였고, 수축지수와 형상지수의 수리적 특성을 분석하였다. Park et al. (2009)은 합류각 90° 수로에서 본류와 지류가 만나는 모서리 지점을 곡선과 대각선으로 연결하여 흐름특성을 검토하고 2차원 RMA2 모형을 이용하여 수치실험을 실시한 결과, 유수흐름을 완만하게 만든 지형들을 제안하였다. 기존의 연구는 지류가 본류에 합류하는 특성인 유량비, 합류각 등에 따른 합류부의 수리특성에 대한 규명이다.

최근 합류부의 본류의 준설에 따른 현저한 하상고의 차이가 발생하는 합류부에서의 수리특성을 규명한 연구가 요구된다. Kim et al. (2011)은 합류각 45° 수로에서 본류와 지류의 하상고 차이에 따른 합류부의 흐름특성을 검토하고 2차원 RMA2 모형을 이용하여 수치실험을 실시한 결과, 본류와 지류의 하상고 차이가 커짐에 따라 최대 유속의 발생 지점이 합류부 하류쪽으로 점차 이동되고 지류의 전체적인 유속이 증가함을 확인하였다. Ribeiro et al. (2012)은 수심의 급경사 지류가 수심이 깊은 본류로 합류에 따른 현저한 하상고의 차이가 발생하는 합류부에서의 2중 구조의 수리특성을 규명하였다. 아울러 유사의 이송에 따른 합류부에서의 퇴적은 통수능력의 저하와 난류운동에너지의 증가에 따른 전단경계의 발생으로 유사이동을 가속시키는 현상을 규명하였다. 이와 같이 지류와 본류와의 단차에 의한 합류부 하상고의 불일치는 합류부 수리특성에 큰 영향을 주게 된다. Kim (2014)은 낙동강 수계의 병성천 합류부를 포함한 여러 지점에서 본류의 준설에 따른 하상고 차이에 의한 합류부의 흐름과 하상변동의 특성을 규명하고, 지류방향의 침식인 두부침식(head-cut erosion) 특성을 분석하였다.

따라서 본 연구에서는 지류가 본류로 유입에 따른 유량비, 합류각에 추가하여 본류의 준설에 따른 지류와 본류와의 단차에 기인한 하상고의 불일치를 나타내는 준설 깊이 변화에 따른 합류부 분리구역 형성을 분석하였다.

이는 홍수방어, 저류효과를 증대하고자 준설을 시도한 본류하천으로 유입하는 지류와의 합류부 구간에서의 수리특성의 변화 양상을 분석하고자 함이다.

2. 수치모형의 적용

2.1 무차원 매개변수의 정의와 모형실험의 조건

분리구역의 정의는 Fig. 1에서와 같이 유속이 0(영)인 구역을 분리구역의 경계로 정의하였다. 이때 B 는 본류의 폭, L_s 는 분리구역의 거리, B_s 는 분리구역의 폭을 나타낸다. 분리구역의 특성은 길이와 폭을 본류 하천쪽으로 나눈 무차원 길이비(L_s/B)와 무차원 폭비(B_s/B)로 분석하였다. 분리구역의 형상지수(shape factor)는 B_s/L_s 이고, 분리구역을 제외한 흐름단면 폭의 수축지수(contraction factor)는 $C_c = (B - B_s)/B$ 이다. 유량비는 본류의 유량(Q_1), 지류유량(Q_2), 지류 합류후 유량($Q_3 = Q_1 + Q_2$)의 유량비($Q_r = Q_2/Q_3$)로 정의하였다. 본류의 수심을 y 그리고 준설깊이를 z_d 로 정의하여, 준설 깊이비 $z_{dr} = z_d/y$ 이다.

Park (2003)은 모형실험을 통해 유량비, 합류각 변화에 따른 합류부 수리특성을 분석하였다. 모형의 제원은 길이 1.80 m, 본류 수로의 폭 0.40 m, 지류수로의 폭 0.32 m, 수로의 높이 0.40 m이다(Fig. 1). 지류가 합류되어지는 각도는 90°이고, 지류와 합류부에서의 유량비는 0.15, 0.35, 0.45이다. 수치모형의 적용에 따른 모형의 검증에 위한 수치모의는 합류각 90°에서의 유량비 변화에 따른 분리구역 크기에 대한 Park (2003)의 결과 값과 비교하였다(Table 1).

2.2 수치모형의 선정과 검증

합류부에서의 복잡한 수리특성과 그에 따른 하상의 변화를 규명에는 연직 전단 난류 구조의 해석을 포함하는 3차원모형의 적용이 원칙일 수 있다. 그러나 본 연구는 유량비, 합류각에 추가하여 준설 깊이비에 따른 합류부에서의 분리구역의 형성에 대한 규명으로 2차원적 해석이 실용적이다. 2차원 흐름 및 하상변동을 위한 수치해석모형은 River2D, RMA2의 SED2D, CCHE2D (Center for Computational Hydroscience and Engineering 2

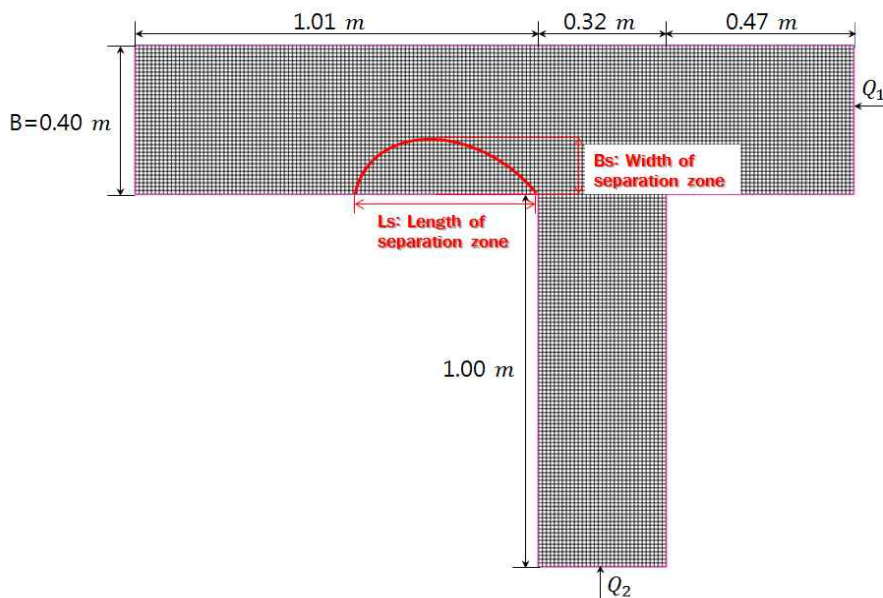


Fig. 1. Definition of Separation Zone and Experimental and Numerical Schematization (Park, 2003)

Table 1. Experimental Condition (Park, 2003)

Confluence angle 90°	Discharge ratio		
	0.15	0.35	0.45
Main channel discharge (m ³ /s)	0.011	0.011	0.011
Tributary discharge (m ³ /s)	0.002	0.006	0.009
Water depth (m)	0.091	0.107	0.107

Dimensional)모형 등이 있다. 합류부에서 분리구역 형성의 분석을 위한 수치모형은 상류와 사류영역의 흐름과 이차류(secondary flow)의 흐름과 이에 따른 하상변화가 모의 가능하고, 하상토 입도분포의 입력이 가능하고, 소류사와 부유사의 총유사의 이송형태에 대해 각각 모의 가능하고 다양한 형태의 유사량 공식의 적용이 가능하여 흐름과 하상변동 모의에 자주 사용(Ji and Jang, 2014; Kim, 2014)하는 CCHE2D 모형을 사용하였다. CCHE2D는 미국 Mississippi 대학의 NCCHE (National Center for Computational Hydroscience and Engineering)에서 개발한 2차원 수치모형이다(Jia and Wang, 2001; Wu, 2001). CCHE2D모형은 수심적분 2차원 난류흐름에 대한 천수방정식과 수심적분 2차원 이송-확산방정식과 유사이송방정식을 해석한다.

모형의 적용성을 검토하기 위하여 합류각 90°에서의 분리구역 길이와 폭을 수로폭으로 나눈 분리구역의 길이와 폭을 실험값(Park, 2003)과 비교하였다. 수치 모형의 입력변수인 조도계수와 난류 점성계수의 검증(calibration)을 수행하였고, 수치모의 결과와 실험값과의 비교결과 분리구역의 길이는 잘 일치하였으며, 분리구역의 폭은 유량비가 0.45에서 실험값보다 적게 나왔으나, 양상은 잘 일치하였다(Fig. 2). 따라서 사용하는 CCHE2D모형의 적용성을 확인하였다.

3. 적용결과 및 분석

3.1 적용수로의 제원 및 수치모의 조건

모형수로는 본류 길이 1.80 m, 본류 수로의 폭 0.40 m, 지류 수로의 폭 0.32 m로 Park (2003)의 실내실험에서 사용된 수로제원을 사용하였으며(Fig. 1), 본류와 지류의 단차를 위해 본류수로바닥의 높이는 0.40 m로 설정하였다. 각 조건의 변화는 합류각 30°, 45°, 60°, 75°, 90°, 105°, 120°로 7가지, 유량비 0.15, 0.35, 0.45로 3가지, 준설 깊이(z_d) 0.02 m, 0.04 m, 0.06 m로 3가지이다(Table 2). 본류수심에 따른 준설 깊이비는 유량비 0.15의 경우 0.22, 0.44, 0.66이며, 유량비 0.35와 0.45의 경우 0.19, 0.37, 0.56이다.

모형수로의 격자는 본류흐름의 종방향으로 180개와 횡방향으로 40개의 격자를 설정하였고 지류흐름의 종방향으로 100개와 횡방향으로 32개의 격자를 설정하였다. 본류의 격자수는 동일하나 지류의 경우 합류각마다 각기 다른 격자수로 설정하였다.

3.2 흐름모의 결과

3.2.1 유량비에 따른 분리구역 형성

유량비에 따른 분리구역의 길이비 및 폭비는 유량비가 커질수록 증가되었다. Fig. 3은 합류각 90°에서 유량비 3

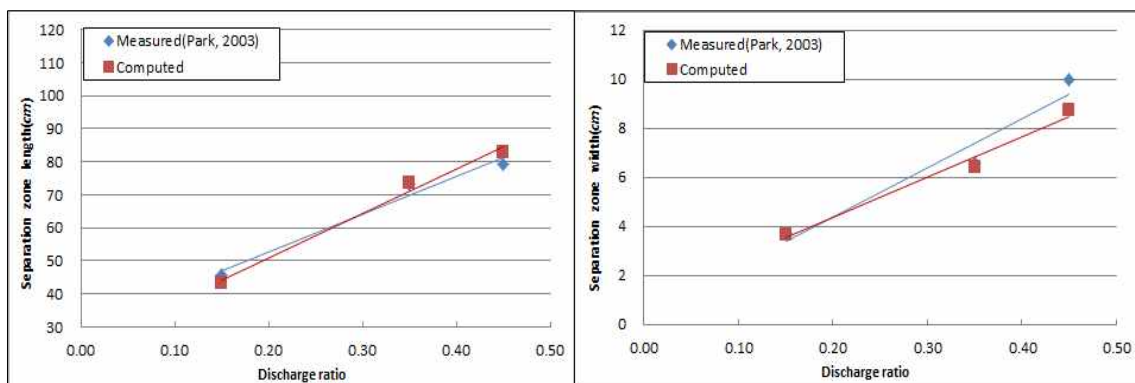


Fig. 2. Comparison and Verification for Numerical Simulation

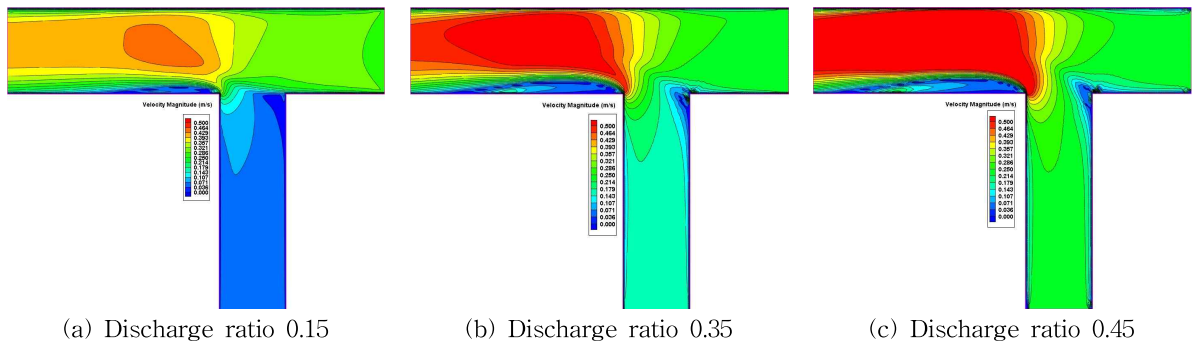
Table 2. Numerical Simulation Conditions

Confluence angle (°)	Dredging depth (m)	Dia. of sediment size (m)	Main channel discharge (m ³ /s)	Tributary discharge (m ³ /s)	Discharge ratio	Water depth (m), <i>y</i>
30, 45, 60, 75, 90, 105, 120	0.02	0.00067	0.011	0.002	0.15	0.091
	0.04			0.006	0.35	0.107
	0.06			0.009	0.45	0.107

가지에 대한 유선을 나타낸 것이다. 지류유입량이 증가됨에 따라 즉, 유량비가 커짐에 따라 합류수로 하류부에 뚜렷한 분리구역이 형성됨을 확인할 수 있다. 유량비가 커질수록 합류부 상류 흐름에 영향을 주어 상류부에서도 와(eddy)가 형성되어 흐름의 정체구역이 형성되었다. 아울러, 유량비가 커질수록 흐름단면이 감소되어 합류부 상류까지 더 큰 배수위 영향을 확인하였다(Fig. 4). Fig. 5는 합류각 90°에서 유량비 변화에 따른 분리구역의 길이비, 폭비와 형상지수를 그래프로 나타낸 것이다. 그림에서 확인할 수 있듯이 유량비가 증가함에 따라 분리구역의 길이비 및 폭비와 형상지수가 증가함을 알 수 있다.

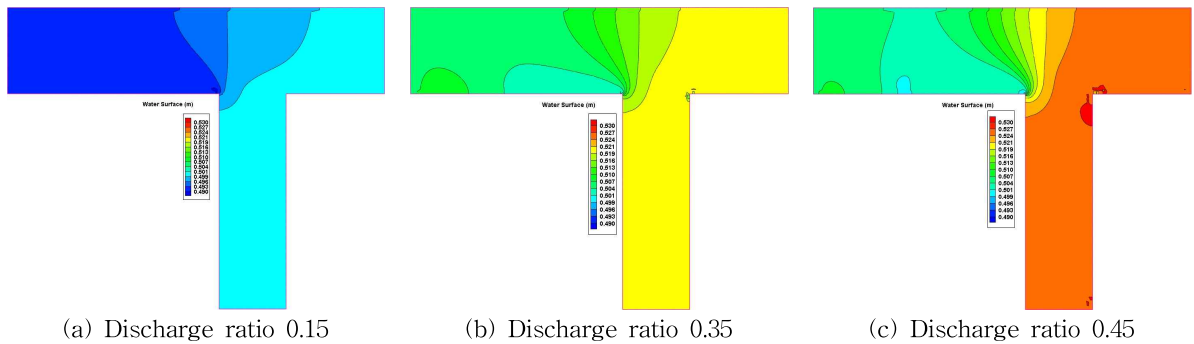
3.2.2 합류각에 따른 분리구역 형성

동일 유량비에서는 합류각이 커질수록 분류흐름과 충돌각이 증가하여 분리구역 길이비 및 폭비도 증가됨을 확인하였다(Fig. 6). 아울러, 분리구역 크기의 증가에 따른 흐름단면이 감소되어 합류부 상류까지 더 큰 배수위 영향을 확인하였다(Fig. 7). 하지만, 30°의 합류각인 경우에는 분리구역이 형성되지 않았다. 합류부에서 분류와 지류의 흐름이 충돌할 때 유속의 변화가 일어나며, 이로 인해 분류 하류의 흐름방향이 변화되어 분리구역의 길이비 및 폭비가 변화되는 것으로 판단된다.



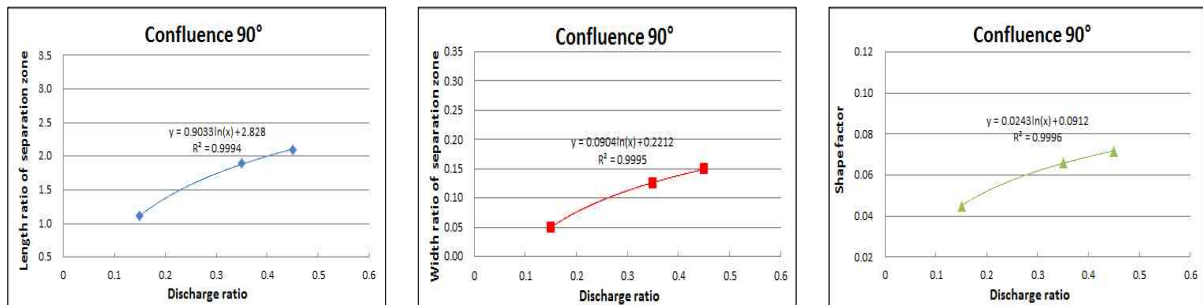
(a) Discharge ratio 0.15 (b) Discharge ratio 0.35 (c) Discharge ratio 0.45

Fig. 3. 3 Cases of Stream Line for Confluence Angle of 90°



(a) Discharge ratio 0.15 (b) Discharge ratio 0.35 (c) Discharge ratio 0.45

Fig. 4. 3 Cases of Water Level for Confluence Angle of 90°



(a) Length ratio of separation zone (b) Width ratio of separation zone (c) Shape factor

Fig. 5. Length and Width Ratios and Shape Factor for Confluence Angle of 90°

Fig. 8은 유량비 0.45에서 합류각 변화에 따른 분리구역의 길이비 및 폭비와 형상지수를 그래프로 나타낸 것이다. 그림에서 확인할 수 있듯이 합류각 증가에 따른 분리구역의 길이비 및 폭비와 형상지수가 증가함을 알 수 있다.

3.2.3 준설 깊이비에 따른 분리구역 형성

금당천 합류부에서 분류 준설에 의한 하상고 불일치에 단면에 하상유지공 설치하고 그에 따른 수리과 지형 변화 분석(Ji and Jang, 2014)에 CCHE2D 모형을 사용하였고,

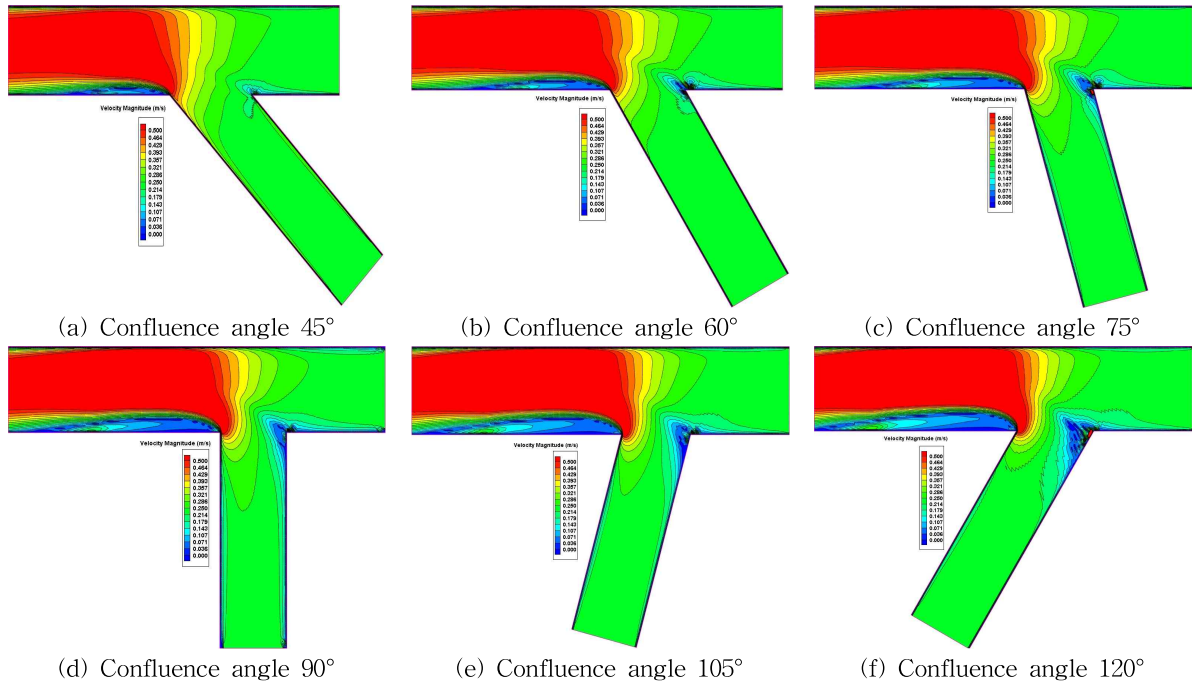


Fig. 6. 6 Cases of Stream Line for Discharge Ratio of 0.45

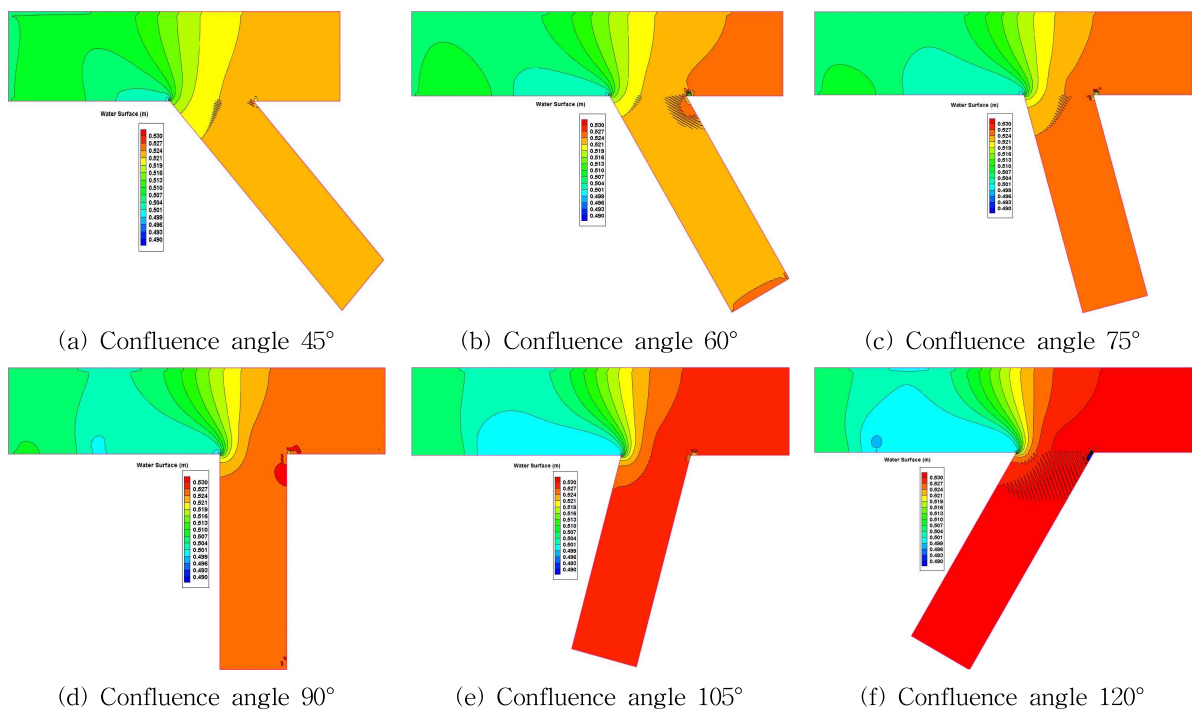


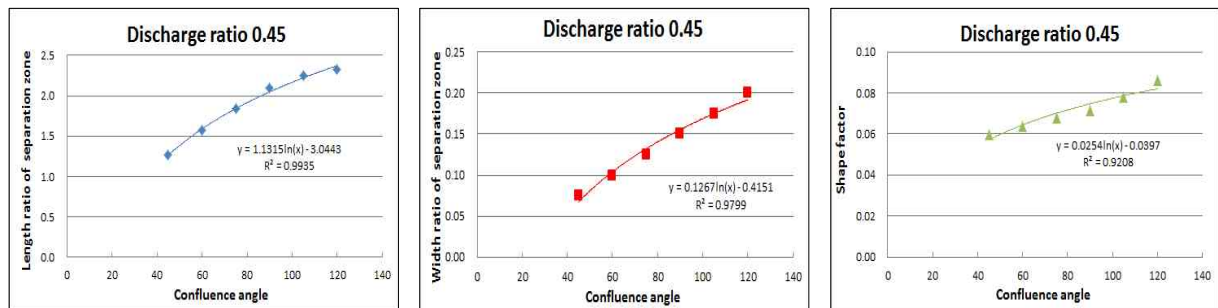
Fig. 7. 6 Cases of Water Level for Discharge Ratio of 0.45

본 분석에서 역시 합류부 수리특성을 잘 재현할 수 있었다. 아울러 고정상하도로 가정한 합류부에서 수리특성은 이동상 하도로 가정할 경우는 지류 상방으로의 침식에 의한 두부침식(head-ward erosion)으로 합류부 부근에서의 지형변화로 그에 상응하는 수리특성은 변화를 가져올 수 있다.

준설 깊이비에 따른 분리구역의 길이비 및 폭비는 준설 깊이비가 커질수록 작아지는 경향이 나타났으나, 일정한 경향을 나타내지 못하였다. 이는 합류부에서 수용체가 커짐에 따른 지류 유입량의 운동량의 상대적 감소에 기인하는 것으로 판단된다. 합류각 30°에서의 분리구역은 모든 준설 깊이비와 유량비에서 형성되지 않았다. 45° 합류각

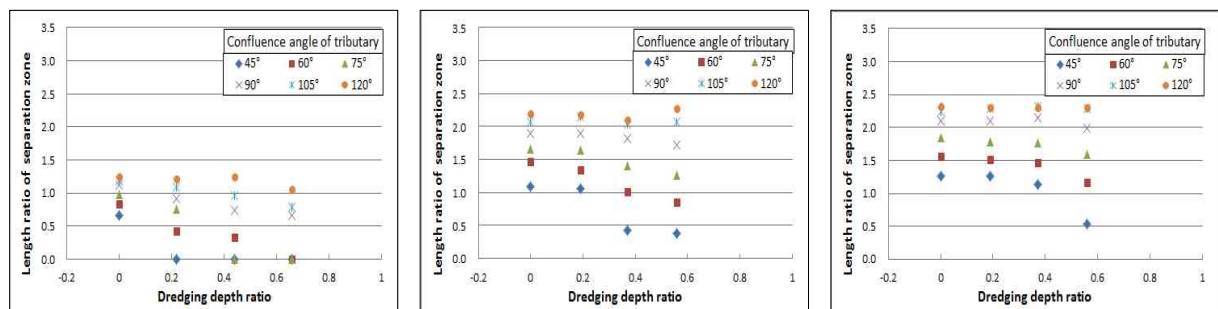
의 경우 유량비 0.35와 0.45에서는 분리구역이 나타났으나, 유량비 0.15의 경우 준설함에 따라 분리구역이 나타나지 않았다. 60°~75° 합류각에서는 준설 깊이비가 커질수록 분리구역의 길이비 및 폭비는 감소되는 것으로 나타났다. 90°~130°의 경우 준설 깊이비가 커질수록 분리구역의 길이비 및 폭비가 감소하나 그 차이가 매우 미미하였다(Figs. 9 and 10). 일반적으로 유량비가 커질수록 분리구역의 길이비와 폭비는 일반적으로 감소하는 것으로 나타났다.

Fig. 11은 합류각이 90°일 때 유량비에 따른 합류부 분리구역의 형상을 나타낸 것이다. 유량비가 커짐에 따른 분리구역이 크게 발달함을 볼 수 있다. 아울러 합류부에



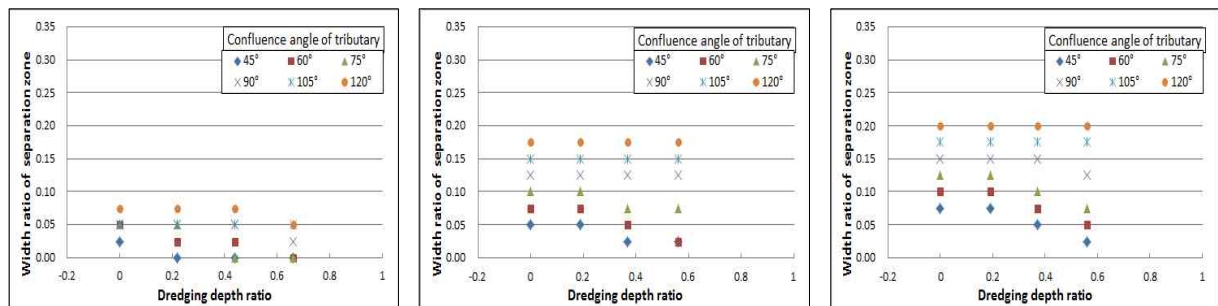
(a) Length ratio of separation zone (b) Width ratio of separation zone (c) Shape factor

Fig. 8. Length and Width Ratios and Shape Factor for Discharge Ratio of 0.45



(a) Discharge ratio 0.15 (b) Discharge ratio 0.35 (c) Discharge ratio 0.45

Fig. 9. Length Ratios of Separation Zone to Dredging Depth Ratios



(a) Discharge ratio 0.15 (b) Discharge ratio 0.35 (c) Discharge ratio 0.45

Fig. 10. Width Ratios of Separation Zone to Dredging Depth Ratios

서의 준설깊이가 커짐에 따라 분리구역의 크기는 감소됨을 보여준다. 이는 준설에 의해 합류부에서의 수용체가 증가되고 그에 따른 지류로부터의 유입 운동량의 상대적 감소에 기인한 것으로 판단된다.

3.2.4 형상지수 및 수축지수

유량비에 따른 분리구역의 형상지수의 관계로 보면 유량비 0.35 이하, 즉 본류에 대한 지류의 유량이 적을 때는 분리구역이 작기 때문에 형상지수의 상관성을 찾기가 어렵다. 유량비 0.45에서는 합류각이 커질수록 형상지수는 증가되는 것을 확인하였다. 준설 깊이비에 따른 형상지수는 60°~75°의 합류각의 경우, 준설 깊이가 커질수록 형상지수가 감소되었으며, 90°~120°의 합류각에서는 준설 깊이가 커질수록 형상지수의 차이가 미미하게 감소하는 것을 확인하였다(Fig. 12).

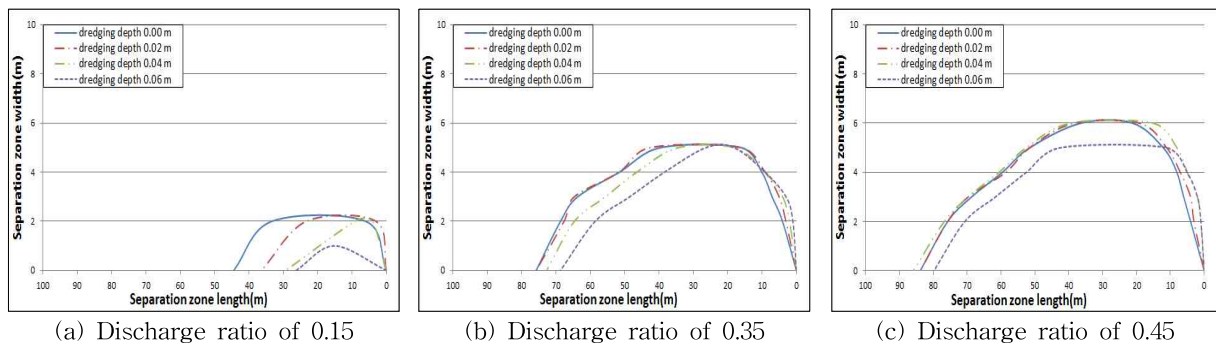
분리구역을 제외한 흐름단면 폭의 수축지수는 유량비와 합류각이 커짐에 따라 감소되며 수축지수와 흐름단면적은 비례하므로 수축지수가 감소할수록 흐름단면적은 감소되어 합류부 상류까지 더 큰 배수위 영향을 확인하였다. 합류각에 따른 수축지수는 유량비 0.15의 경우 지류의 유량이 작아 수축지수의 상관성을 찾기가 어렵다. 유량비 0.35 이상의 경우 합류각이 커질수록 수축지수가 감소됨

을 확인하였다. 준설 깊이비에 따른 수축지수는 60°~75°의 합류각에서 준설 깊이가 커질수록 증가되고 90°~130°의 합류각에서는 준설 깊이가 커질수록 형상지수는 미미하게 감소하였다(Fig. 13).

Table 3은 고정상 하도에서의 합류각과 유량비에 추가하여 합류부의 준설에 의한 준설 깊이비에 따른 분리구역의 형상지수의 관계식을 나타낸 것이다. 결정계수는 0.686로 다소 떨어지나 준설에 따른 하상고의 불일치에 따른 분리구역의 변화를 규명할 수 있는 관계식으로 사용할 수 있다. 즉 분리구역의 형성에 따른 형상지수는 합류각과 유량비에 의해 비례적으로 증가하나, 준설 깊이는 반비례적 관계임을 볼 수 있다. 이는 합류부에서의 준설 깊이의 증가는 합류부의 수체가 커짐에 따른 지류부 흐름의 운동량이 상대적으로 작아짐에 따른 분리구역의 형성이 미약해짐을 의미한다.

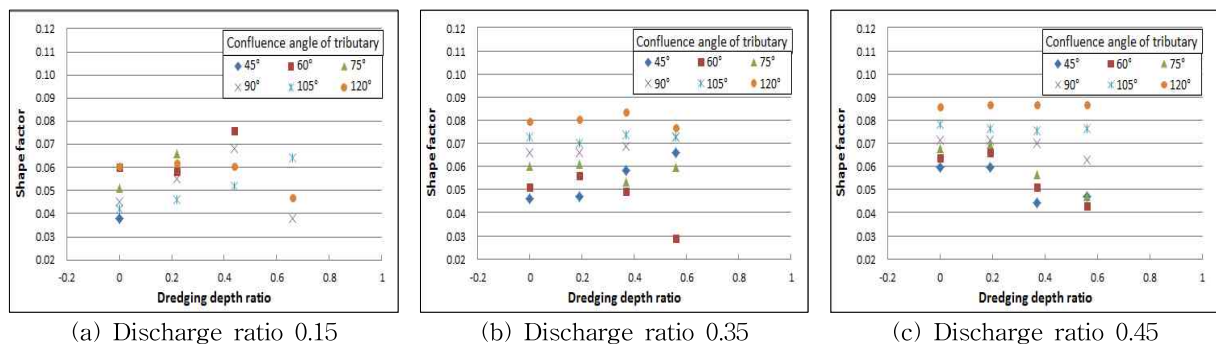
4. 결론

본 연구에서는 복잡한 수리특성을 가진 합류부에서의 다양한 유량비, 합류각에 추가하여 합류부의 준설에 의한 하상고의 불일치에 따른 합류부의 수리특성을 규명하였다. 수치모형은 CCHE2D를 사용하였으며, 흐름모의를 통



(a) Discharge ratio of 0.15 (b) Discharge ratio of 0.35 (c) Discharge ratio of 0.45

Fig. 11. The Change of Separation Zones by the Variation of Dredging Depths at Confluence



(a) Discharge ratio 0.15 (b) Discharge ratio 0.35 (c) Discharge ratio 0.45

Fig. 12. Shape Factors of Separation Zone to Dredging Depth Ratios

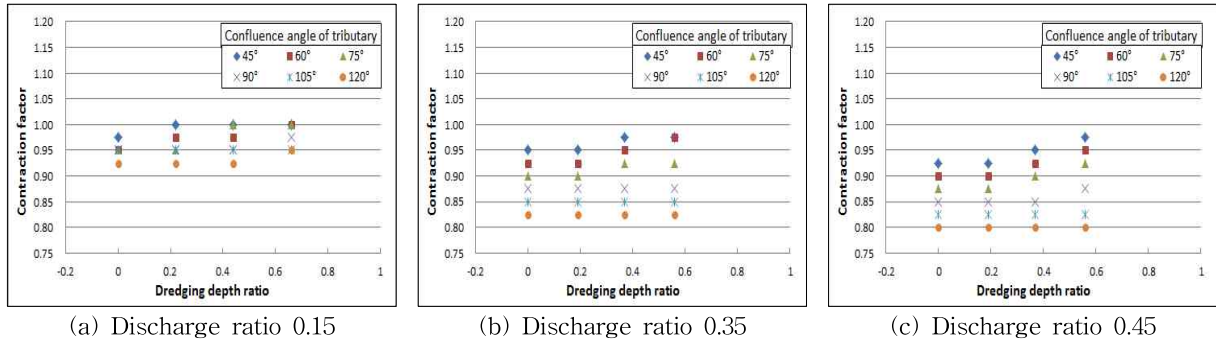


Fig. 13. Contraction Factors of Separation Zone to Dredging Depth Ratios

Table 3. Regression Equation of Shape Factor for Fixed Bed by Various Confluence Angles, Dredging Depth and Discharge Ratios

Regression equation	Determination coefficient
$B_s/L_s = 0.001dig - 0.018z_{dr} + 0.073Q_r - 0.021$	$R^2 = 0.686$
<i>dig</i> : Confluence angle(°), z_{dr} : Dredging depth ratio, Q_r : Discharge ratio	

해 분석한 분리구역은 지류가 합류되어진 직후 단면에서의 유속이 0(영)의 값을 나타내는 정체구간으로 설정하였다.

- 1) 유량비에 따른 분리구역의 크기는 유량비가 커질수록 증가되었다. 아울러 동일 유량비에서는 합류각이 커질수록 분리구역의 크기도 증가됨을 확인하였다. 또한 합류각 30°이하에서는 분리구역이 형성되지 않았다.
- 2) 분리구역은 준설 깊이비가 커질수록 작아지는 경향으로 나타났다. 이는 준설에 의한 합류부에서 수용체의 용량의 증가로 인한 지류로부터의 유입 운동량의 상대적 감소를 가져와 분리구역의 크기는 감소되었다.
- 3) 유량비에 따른 분리구역의 형상지수의 관계로 보면 유량비 0.35이하인 경우 형상지수의 상관성을 찾기가 어렵다. 유량비 0.45에서는 합류각이 커질수록 형상지수는 증가되는 것으로 확인하였다. 흐름 단면폭의 수축지수는 유량비와 합류각이 커짐에 따라 감소되어, 합류부에서 통수기능의 저하를 가져와 배수위에 영향을 가져옴을 확인하였다.
- 4) 고정상 하도에서의 합류각, 준설 깊이비, 유량비에 따른 형상지수의 관계식은 $B_s/L_s = 0.001dig - 0.018z_{dr} + 0.073Q_r - 0.021$ 이며, 결정계수는 0.686이다. 이 관계식은 유량비와 합류각의 증가는 형상지수를 증가시키고, 반면에 준설 깊이비의 증가는 형상지수를 감소시킴을 보여준다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 건설기술혁신사업의 연구비지원 (자연과 인간이 공존하는 생태하천 조성 기술 개발 Green River; 과제번호12건설핵심CO2)에 의해 수행되었습니다.

References

Best, J.L. and Reid, I. (1984). "Separation Zone at Open-Channel Junction." *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 110, No. 11, pp. 1588-1594.

Cho, M.S. (2005). *Analysis of Hydraulic Characteristics at Confluence by Lateral Inflow*. M. Sc. dissertation of Sangji University (in Korean).

Choi, G.W., Park, Y.S., Han, M.S., and Kim, Y.K. (2004). "The Analysis of Hydraulic Characteristics at Channel Junction through Hydraulic Model Test." *J. of Korea Water Resources Association*, KWRA, Vol. 37, No. 10, pp. 881-888 (in Korean).

Coelho, M. (2015). "Experimental determination of free surface levels at open channel junctions." *Journal of Hydraulic Research*, Technical note, 2015 International Association for Hydro-Environment Engineering and Research, pp. 1-6.

Gurram, S., Karki, K., and Hager, W.(1997). "Subcritical Junction Flow." *Journal of Hydraulic Engineering*,

- ASCE, Vol. 123, No. 5, pp. 447-455.
- Ji, U., and Jang, E.K. (2014). "Numerical Analysis of Flow and Bed Changes due to Tributary Inflow Variation at the Confluence of the Namhan River and the Geumdang Stream." *J. of Korea Water Resources Association*, KWRA, Vol. 47, No. 11, pp. 1027-1037 (in Korean).
- Jia, Y., and Wang, S.S.Y. (2001). *CCHE2D: Two-dimensional Hydrodynamic and Sediment Transport Model for Unsteady Open Channel Flows over Loosed Bed*. NCCHE-TR-2001-1, School of Engineering, The University of Mississippi, USA.
- Kim, H.K., Han, J.Y., Kim, C.M., and An, W.S. (2011). "Hydrological Properties Depending on River Bed Elevation Gap at Confluence." *2011 Proceeding of Korea Water Resources Association*, KWRA (in Korean).
- Kim, K.M. (2014). *Numerical analysis of alluvial channel characteristics at confluent channel*. M. Sc. thesis of Yeungnam University (in Korean).
- Liu, T., Chen, L., and Fan, B. (2012). "Experimental study on flow pattern and sediment transportation at a 90° open-channel confluence." *International Journal of Sediment Research*, Vol. 27, No. 2, pp. 178-187.
- Modi, P.N., Ariel, P.D., and Dandekar, M.M. (1981). "Conformal Mapping for Channel Junction Flow." *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 107, No. 12, pp. 1713-1733.
- Park, S.S., Lee, J.W., and Cho, Y.S. (2009). "Analysis of Characteristics for a Dividing Flow in Open Channels." *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation*, KOSHAM, Vol. 9, No. 2, pp. 53-57 (in Korean).
- Park, Y.S. (2003). *The Analysis of Hydraulic Characteristics depending upon the Variation of Discharge and Approaching Angle at Channel Junctions*. Ph. D. dissertation of Incheon University (in Korean).
- Ramamurthy, A. and Zhu, W. (1997). "Combining Flows in 90 Junctions of Rectangular Closed Conduits." *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 123, No. 11, pp. 1012-1019.
- Ribeiro, M.L., Blanckaert, K., Roy, A.G., and Schleiss, A.J. (2012). "Flow and sediment dynamics in channel confluences." *Journal of the Geophysical Research*, Vol. 117, FO1035.
- Taylor, E.H. (1944). "Flow Characteristics at Rectangular Open-Channel Junction." *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 10, No. 6, pp. 893-902.
- Wu, W. (2001). *CCHE2D sediment transport model (version 2.1)*, NCHHE-TR-2001-3, School of Engineering, The University of Mississippi, USA.
- Zhang, Y., Wang, P., Wu, B., and Hou, S. (2015). "An experimental study of fluvial processes at asymmetrical river confluences with hyperconcentrated tributary flows." *Geomorphology*, Vol. 230, pp. 26-36.

paper number : 15-006

Received : 21 January 2015

Revised : 25 May 2015 / 11 June 2015

Accepted : 11 June 2015