

# 횡유입에 의한 수리특성 분석

## Hydraulic Characteristics Analysis By Lateral Inflow

최흥식\*, 이인아\*\*

Hung Sik Choi, In Ah Lee

### 요 지

횡유입에 의한 합류부에서는 통상 하천에 비해 수위, 유속 등의 수리학적으로 불안정한 수리특성이 나타난다. 이로 인한 합류부의 배수효과는 합류점뿐만 아니라 합류점 상류의 본류와 지류의 수위 및 유속 변화로 홍수나 태풍에 영향을 가중시켜 더 큰 피해를 가져온다. 따라서 합류부의 특성을 정확히 파악하여 하천의 안정적 기능을 유지하여야 한다. 본 논문은 2차원 동수역학 해석모형인 SMS(1999)의 RMA-2를 이용하여 합류부의 특성을 분석하였다. 합류부의 특성을 파악하기 위한 모형수로 실험을 한 박용섭(2003)의 실험자료를 이용하여 같은 조건으로 RMA-2 해석에 적용하였다. 이에 따른 횡유입의 분리구역 현상을 RMA-2의 분석결과로 확인 할 수 있으며 박용섭(2003)의 실험자료와 비교분석 하였다.

**핵심용어 : 합류부, 횡유입, 동수역학 해석모형, 분리구역**

### I. 서 론

자연 상태로 존재하는 하천은 그 규모의 차이는 있으나 단일 하천이 아닌 몇 개의 지류가 본류와 만나는 복잡한 하천망으로 구성되어 있다. 지류와 본류가 합류되는 지점에서 수위, 유량의 변화와 흐름의 방향전환으로 통수능이 저하되는 등 복잡한 수리학적 특성을 나타낸다.

합류부의 특성에 대한 연구는 Taylor(1944)에 의해 시작되어 합류부의 흐름특성을 모멘트방정식 이론을 적용하여 분석하였고, Lin 등(1979)은 본류와 지류를 90도로 연결한 구형수로를 이용한 실험을 통해 에너지 손실을 경계마찰손실과 난류혼합손실로 구분할 수 있으며 전체 유량에 대한 지류의 유량비에 따른 함수로 표현된다고 하였다. Modi 등(1984)은 본류와 지류의 유량비는 하폭과 합류각도와 비례한다는 결과를 내었고 정체점은 지류와 본류가 만나는 곳에서 발생한다고 하였고, Best 등(1984)은 상이한 합류각도에 대한 순환영역의 규모를 실험을 통해서 정체흐름은 합류점과 지류의 유량비가 클수록 잘 나타나고, 분리구역은 각도와 비례하고 유량비가 0.3~0.35 범위에서 최대를 보이는 반면에 15일 때는 45, 60, 75, 90인 경우와 반대의 현상이 나타났다고 하였고, Ramamurthy 등(1998)은 90합류각의 수로에서 실험을 하여 모멘트 변형량과 확장 손실에 의한 수축계수  $C_c$ 를 계산하였고, 직사각형 수로에서의 유량비와 면적비와의 함수인 에너지 손실계수  $K$ 를 구하였다. Gurram 등(1997)은 합류각 30, 60, 90인 경우에 대해서 실험을 하여 합류부의 흐름상태를 Froude 수에 따라 구분하였고 지류의 유입에 따라 생기는 수축부와 최저수심 그리고 상류부의 최고수위를 분석하였고 배수위 영향 등 합류부의 합류각도와 유량비에 따른 연구가 계속되어져 왔다.

국내에서 최근 들어 합류부에 의해 피해가 커지면서 합류부의 특성에 대한 연구가 많이 진행되고 있다. 윤태훈 등(1998)은 2차원 수심적분 수치모형을 이용하여 합류부의 흐름특성을 규명하였고, 최계운 등(2003)은 90합류부 모형수로에서 유량비에 따른 하상변동의 영향을 연구하였고, 박용섭(2003)은 다양한 합류각도와 유량비에 대해 합류부의 수심과 유속에 대해 폭넓은 실험을 하였다.

본 연구에서는 RMA-2를 이용하여 합류부의 수리특성을 분석하였다.

\* 정회원·상지대학교 건설시스템공학과 교수·E-mail : hsikchoi@snagji.ac.kr

\*\* 상지대학교 건설시스템공학과 석사과정·E-mail : inah2833@nate.com

## 2. 연구 자료의 구축

그림 1에서 보는 바와 같이 투명 아크릴을 이용해 합류부 실험장치를 설치하여 모형수로의 합류부에서의 특성변화를 알아보았다. 모형수로의 실험에 적용된 수로의 길이는 445cm, 본류 수로의 폭 40cm, 지류 수로의 폭 32cm, 수로의 높이 40cm로 설치하였다. 합류부는 지류의 합류각이 30도일 때 거리 228cm~295cm에서 지류가 합류되어지고, 합류각이 90도일 때는 263cm~295cm, 합류각 45~75도는 30도와 90도 사이의 거리에서 지류가 합류되어진다(박용섭, 2003).

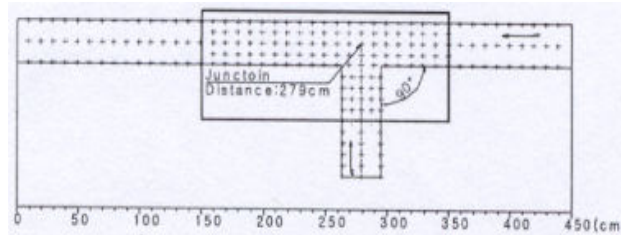


그림 1. 실험 모형에서 수심과 유속의 측정

수심 및 유속은 마그네틱 유속계(ACM 100-D)와 포인트 게이지를 이용하여 본류 수로의 경우 수로의 횡방향은 합류부의 내측과 외측 벽면에서 1cm 떨어진 점과 중앙부분에서 측정하였으며 종방향으로는 본류 수로의 상·하류를 20cm간격으로 측정하고 합류점 근처는 종방향 및 횡방향 10cm간격으로 유속을 측정하였다. 지류가 본류에 합류되어지는 각도는 30도부터 90도까지이고, 본류 유량을  $Q_1$ , 지류유량을  $Q_2$ , 그리고 합류후 유량을  $Q_3(=Q_1+Q_2)$ 일 때 무차원 유량비  $Q_r(=Q_2/Q_3)$ 는 0.17, 0.33, 0.44의 실험결과를 이용하였다(표 1).

표 1. 합류각과 무차원 유량비에 따른 실험조건

합류각(°)	본류 유량 ( $m^3/s$ )	지류 유량 ( $m^3/s$ )	유량비 ( $Q_r = Q_2/Q_3$ )	본류하류 Froude 수( $F_d$ )
30	0.011	0.002	0.17	0.384
45		0.006	0.33	0.411
60		0.009	0.44	0.438
75				
90				

## 3. 유선(Stream Line)의 분석에 합류부 특성

횡유입에 의한 합류부에서의 분리구역의 구분과 그 크기를 분석하기 위하여 유함수를 이용한 유선을 분석하였다. 유속분포를 이용하여 유함수(Stream Function),  $\psi$ 에 의한 유선의 형태를 파악하기 위해 아래와 같은 식을 적용하였다.

$$u = \frac{\partial \psi}{\partial y} \quad (1)$$

$$v = -\frac{\partial \psi}{\partial x} \quad (2)$$

그림 2는 합류부 유선의 특성을 보여준 것으로 분리구역의 특성이 가장 크게 나타난 유량비 0.44, 합류각이 90도 일때의 유선 형태를 표현한 것이다. 본류에 합류하는 지류의 하안지점(e)에서 유함수의 상대적 크기가 영인 선을 분리구역으로 하여 eg 구간을 분리구역의 길이, mn 구간을 분리구역의 폭으로 설정하였다. 아울러 분리구역의 수축계수의 산정은 no 구간의 길이를 mo 구간의 길이로 나눈 값으로 정의 하였다.

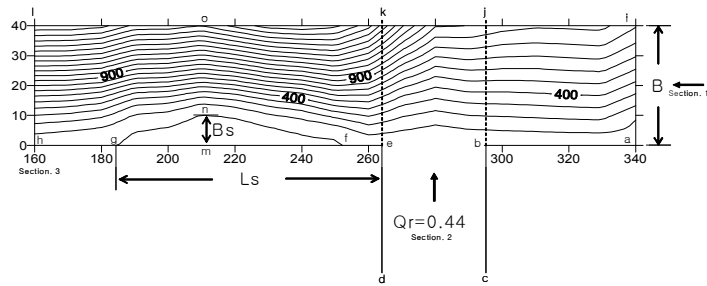


그림 2 유량비 0.44일때 유선에 의한 분리구역( $\theta=90^\circ$ )

## 2. RMA-2에 의한 합류부 수리 특성 분석

### 2.1 RMA-2 모형의 입력 자료 구성

본 연구에서는 합류부의 2차원 동수역학적 해석을 위해서 SMS의 RMA-2 모형을 적용하여 합류부의 분리 구역 특성, 수면변화 양상 그리고 상류로의 배수위 영향등의 수리특성을 규명하였다.

앞서 수리 실험장치에서와 같이 본류 수로의 폭 40cm, 지류수로의 폭 32cm로 주었고 본류의 수로 길이는 160cm~340cm의 구간으로 총 길이는 180cm이다. 이 조건하에 모형의 유한 요소망을 구축하였는데 총 3007의 node와 930개의 element로 구성되었고 유량비 0.44일때, 본류와 지류의 상류 경계 조건으로는 유량값으로 0.011cms와 0.009cms를 주었으며 하류부 수위값으로는 실험장치에서의 거리 160cm에서 수위값과 같은 0.107m를 주었다. 이는 표 2와 그림 3에서와 같다.

표 2 RMA-2 모형의 경계조건

합류각 90도	유량비		
	0.17	0.33	0.44
상류 유량(cms)	0.011	0.011	0.011
지류 유량(cms)	0.002	0.006	0.009
하류 수위(m)	0.091	0.107	0.107

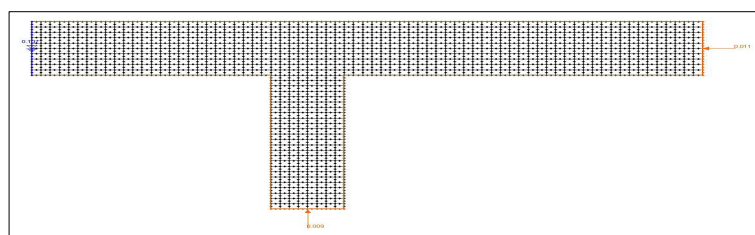


그림 3 RMS-2 모형의 격자망 구성도(유량비 0.44)

### 2.2 RMA-2 모형의 적용

그림 4은 모형실험과 같은 조건으로 SMS의 RMA-2에 적용하여 나온 유속벡터를 나타낸 것이다. 본류의 상류와 지류의 유입은 유량에 비해 유입폭도 비례하기 때문에 비슷한 속도로 유입되어지고 있다. 두개의 수로가 만나는 합류부에서는 급격히 속도가 증가하는 것을 볼 수 있으며 지류가 합류되는 면에서 그 반대편으로 갈수록 유속이 커지고 있다. 이는 합류되어지는 반대편 쪽의 수위저하를 예측할 수 있다. 지류가 합류되어진 직후에는 그림에서와 같이 유속의 방향이 소용돌이치는 분리구역을 볼 수 있는데 이곳의 유속은 거의 0(영)에 가까운 값으로 정체구간에 가깝다. 정체구간으로 인해 실제 흐름단면이 축소되면서 상류쪽의 수

위가 상승하는 배수위 효과도 나타난다. RMA-2를 통해 얻은 유속분포를 통해 그림 5과 같이 유선을 구하였으며 모형 실험을 통해 얻은 합류부의 분리구역과 비교해 보았다.

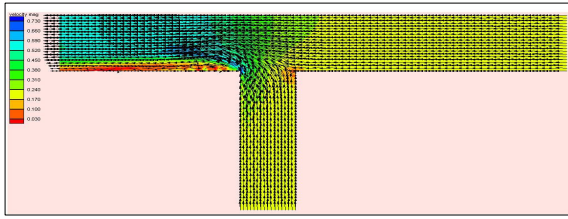


그림 4 RMA-2 모형에 의한 유속 분포도

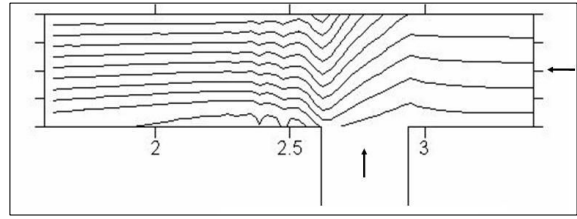


그림 5 유량비 0.44일때 유속분포를 이용한 유선도( $\theta=90^\circ$ )

그림 6는 SMS의 RMA-2를 이용하여 실행한 결과의 수심 분포를 나타낸것이다. 하류부의 수심은 처음 입력자료에서와 같이 0.107m이고 상류부의 수심은 0.125m이다. 합류직후에 생기는 분리구역에서의 최소수심은 0.092이다.

모형에 의한 수리실험에서는 상류부의 수심은 0.124m 합류부직후에 생기는 분리구역의 최소수심은 0.093m로 RMA-2에 의한 값과 거의 동일하게 나왔고 하류부의 수심은 0.107로 일치 하였다.

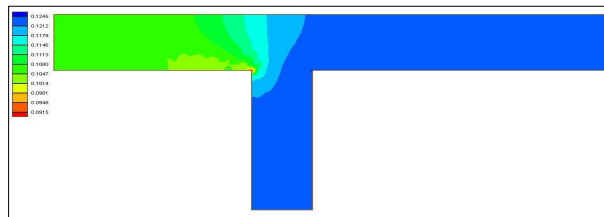


그림 6 유량비 0.44일때의 수심

지류의 합류로 인해 생기는 분리구역의 적절한 재현을 위한 RMA-2 모형에서의 적절한 난류와점성 (turbulent eddy-viscosity)계수를 산정하기 위해서 그림 7과 그림 8에서 보는 것과 같이 모형에 의한 실험값과 난류와점성계수를 달리한 수치 실험결과와 비교분석하였다. 그림에서와 같이 난류와점성계수의 값이 낮아 질수록 분리구역의 길이비가 커지는 것을 볼 수 있었기 때문에 난류와점성계수에 여러 가지 수를 적용하여 이번 실험값의 조건에서는 0.08이 가장 적합한 것으로 나타났고 결과값도 거의 일치하는 것을 볼 수 있었다. 그림 7은 분리구역의 폭을 수로단면 폭으로 나눈 분리구역 비를 나타낸 것으로 유량비가 증가하면서 RMA-2값이 실험값보다 낮게 나오는 것을 볼 수 있다. 이것은 실험구간에서의 난류와점성계수 값이 상류, 하류, 분리구역 등 각 지점마다 차이가 있는데 RMA-2는 일괄적으로 대표값 하나만을 적용시키기 때문인 것으로 분석되었다.

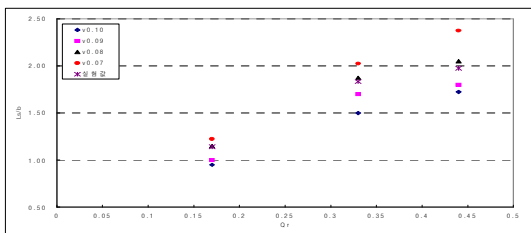


그림 7 실험값과 RMA-2의 분리구역 길이비 비교

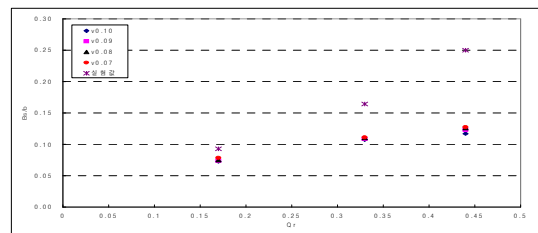


그림 8 실험값과 RMA-2의 분리구역 폭비 비교

### 3. 결 론

본 논문에서는 최근 들어 빈번한 대규모의 홍수 발생시 지류와 본류가 만나는 합류부에 설치된 수공구조물이나 교량이 합류부에 의해 발생된 여러 특성들로 인해 피해가 가중되기에 합류부의 특성을 파악하고 그 피해를 줄이는데 그 목적을 두고 있다. 합류부 모형 수로를 만들어 실험을 하여 나온 합류부의 수위나 유속 같은 값들을 이용하여 유선을 유도해 내었다.

RMA-2를 통해 지류합류로 인해 생기는 분리구역의 길이와 폭을 수로폭으로 나눈 분리구역의 길이비와 폭비를 실험값과 비교해본 결과 분리구역 길이비는 eddy viscosity가 0.08일때 이번 실험조건에서 가장 적합한 것으로 나타났고 그 결과값도 매우 일치하는 것을 볼 수 있었다. 분리구역 폭비는 실험값보다 적게 나왔는데 eddy viscosity의 값이 전구역에 걸쳐 일괄적으로 한개의 대표값이 적용되기 때문인 것으로 분석되었다.

### 감사의 글

본 연구는 지역대학우수과학자 지원연구(R05-2003-000-11015-0)결과로 지원에 감사드립니다.

### 참고문헌

1. 박용섭 (2003) 합류부에서 유량 및 접근각도 변화에 따른 수리학적 특성 분석, 인천대학교 박사논문.
2. 윤태훈, 정의택, 박종석 (1998) 2차원 수치모형에 의한 합류흐름 해석, 대한토목학회논문집, 제 31권, 제 5호, pp. 529~538
3. 최계운, 김영규, 윤용진 (2003) 합류부에서 유량비에 따른 하상변동, 대한토목학회 2003년 정기 학술대회 논문집, pp. 2437~2441.
4. 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.
5. Gurrum, S.K. (1997) Subcritical Junction Flow, Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 123, No. 5, pp. 447~455.
6. Lin, J. D. and Soong, H. H (1979) Junction Losses in Open Channel Flows, Water Resources Research, Vol. 15, No. 2, pp. 414~418.
7. Modi, P. N., Ariel, P. D. and Dandekar, M. M. (1981) Conformal Mapping for Channel Junction Flow, Journal of Hydraulic Division, ASCE, Vol. 107, No. HY12, pp. 1713~1733.
8. Ramamurthy, A.S. (1997) Combining Flows In 90 Junctions of Rectangular Closed Conduits, Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 123, No. 11, pp. 1012~1019.
9. Taylor, E. H. (1944) Flow Characteristics at Rectangular Open-Channel Junction, Transactions, ASCE, No. 109, pp. 893~902