

수리모형을 이용한 합류부 접근각도 및 유량비에 따른 하상변화에 관한 연구

Variation of Bed Elevation through Discharge Ratio and Approaching Angle at Channel Junction

김영규¹⁾ · 최계운²⁾ · 정연중³⁾ · 김재구⁴⁾

Young Kyu Kim · Gye Woon Choi · Youn Joong Chung · Jea Gu Kim

요 지

하천은 자연 상태에서 대부분 단일 하천이 아닌 몇 개의 지류가 본류와 만나는 복잡한 하천망을 구성하며 하류로 흘러간다. 이 때 본류와 지류가 만나는 합류부에서는 본류와 지류의 합류각도나 유량에 의해 수리학적 특성이 매우 민감하게 변화한다. 수리학적 특성에서는 수심이나 유속 등의 흐름에 대한 분석이 있을 뿐 아니라, 유사이동에서의 침식이나 퇴적과 같은 하상변동도 중요하게 고려되어야 한다. 그러나, 지금까지 합류점에 대한 연구가 대부분 물의 흐름 해석에 관한 연구이며, 하상변화에 대한 연구가 상당히 부족하다.

본 실험 연구에서는 본류와 지류의 접근각도를 60°, 75°, 90°로 변화시키면서 분석하였으며, 유량비는 1:0.2, 1:0.35, 1:0.5로 변화시키면서 분석하였다. 이때 사용한 모형수로는 본류와 지류의 폭을 1:0.8로 하였으며, 이동상 실험을 위해 입경 1mm인 균일 모래를 이용하여 실험하였다.

그 결과 침식되는 깊이는 유량비 및 접근각도가 증가함에 따라 커지는 경향을 나타내고 있으며, 이는 합류부에서의 하상침식에 대한 개선방향으로 활용될 수 있을 것으로 판단되고 있으며, 또한 접근각도가 증가함에 따라서는 최심경사는 점차 증가하는 것으로 나타났으나, 유량비가 증가함에 따라 감소하는 것으로 나타났다.

핵심용어 : Channel Junction, Approching Angle, Discharge Ratio, Bed Elevation

1. 서 론

하천은 자연 상태에서 대부분 단일 하천이 아닌 몇 개의 지류가 본류와 만나는 복잡한 하천망을 구성하며 하류로 흘러간다. 이 때 본류와 지류가 만나는 합류부에서는 본류와 지류의 합류각도나 유량에 의해 수리학적 특성이 매우 민감하게 변화한다.

지금까지 많은 연구들이 합류부에 관해서 실험이나 수치해석을 통해 그 현상을 규명하고자 노력해 왔으며, 현재도 국내외에서 많이 이루어지고 있고, 대부분의 연구가 고정상 합류부에서의 유속 및 수위를 측정하여 물의 흐름현상에 관한 연구를 중심으로 이루어지고 있다. 그러나, 실제 하천의 경우 하상에서 유사이동에 의해 시시각각으로 하상형상이 변화되고 이로 인해 발생하는 수공구조물의 안전에 대한 영향이 검토되어야 한다. 그러나 이러한 변화를 확인하기 위한 연구는 상당히 부족한 상태이다.

본 실험 연구에서는 유량비 및 접근각도가 하상변화에 어떠한 영향을 주는지 이동상 실험을 통하여 그

1) 정회원 · 인천대학교 토목환경시스템공학과 박사과정 · E-mail : youngkyu@incheon.ac.kr

2) 정회원 · 인천대학교 토목환경시스템공학과 교수 · E-mail : gyewoon@incheon.ac.kr

3) 정회원 · 인천광역시청 수질보전과 · E-mail : chungyj@inpia.net

4) 정회원 · 인천대학교 토목환경시스템공학과 석사과정 · E-mail : 2004_77@hanmail.net

현상을 파악하고자 하였다. 모형수로는 특정 하천 분석을 위한 모형이 아닌 일반 수로내 현상을 규명할 목적으로 제작된 모형수를 이용하였으며, 접근각도 및 합류와 지류의 유량비에 따라 하상변화가 어떻게 일어나는지를 확인하고자 하였다.

2. 연구동향

합류부에 대한 연구는 Taylor(1944)에 의해 시작되었다. Taylor는 합류부의 흐름특성을 모멘트 방정식이론을 적용하여 분석하였으며, 이를 바탕으로 동일한 수로 폭을 가진 합류각도 45°, 135°인 수로에 적용하여 수심 변화에 있어서 이론과 실험의 결과가 상당히 유사하다는 것을 확인하였다.

이 후 Modi et al.(1981)은 본류와 지류의 합류각이 30°, 60°, 90°인 합류점에서의 흐름특성을 연구하였으며, 자유유선(free-streamline) 개념을 사용하여 정체구간(zone of stagnant)을 설명하였고, 이는 합류각이 증가함에 따라 증가한다는 결과를 얻었다.

Best와 Reid(1984)는 합류각도 15°, 45°, 70°, 90°의 수로에서 지류의 유량과 분리지역(separation zone)의 관계를 실험을 통하여 확인하였다. 분리지역의 폭과 길이는 합류각도가 증가함에 따라, 본류와 지류의 유량비가 증가함에 따라 증가하는 것으로 나타났으나, 그 모양은 거의 동일한 것으로 나타났다. 이 후 Hue 등(1998)은 접근각도 90°인 수로에서 본류와 지류의 유량비를 0.1에서부터 0.9까지 변화시키면서 실험하여 유량비에 대한 최대 재순환 폭의 길이(shape index)가 Best와 Reid가 제시한 0.19보다 작은 0.17로 나타나는 것을 확인하였다. Gurram 등(1997)은 30°, 60°, 90° 모형수를 이용하여 분리지역은 본류에 대한 지류의 비 및 Fr number, 합류각도에 따라 변화한다는 결론을 얻었다.

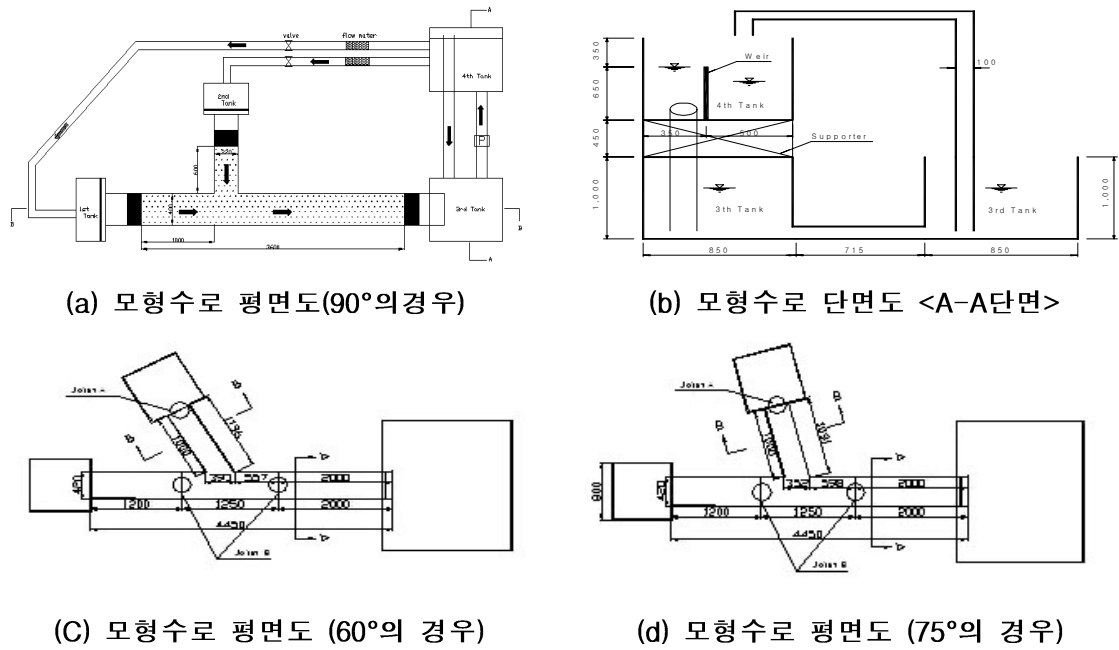
Weber와 Lai(2002)는 합류각도 30°, 45°, 60°, 90°인 합류수로에서 수리실험을 통하여 분리지역은 합류부 바로 하류에 존재하며 합류각도 30°이상인 수로부터 나타나기 시작해서 합류각이 증가함에 따라 같이 증가하는 것을 확인하였다. 또한 수심은 합류부 이전의 본류와 지류의 상류에서 높게 나타나며, 분리지역에서 수위가 감소되며, 합류각도가 증가에 따라 차이가 큰 것으로 나타났다.

이들 대부분의 실험은 본류와 지류의 유량에 따라 합류부의 현상을 유속과 수심을 중심으로 분석한 것이며, 이를 바탕으로 수치해석을 통하여 하상 변화에 대한 예측을 하고 위험성을 판단하고 있다. 그러나, 앞에서 말했듯이 합류부에서의 흐름은 복잡함에도 불구하고 단순히 고정된 하상을 이용하여 하천의 흐름 현상을 해석하려 할 뿐 이동하상에 대한 고려는 전혀 없는 상황이다.

3. 실험장치 및 방법

3.1 실험장치

하상변화를 측정하기 위해 접근각도가 60°, 75°, 90°인 합류부가 있는 수로를 이용하여 측정하였다. 수로의 재원은 본류의 폭 40cm, 지류 폭 32cm로 본류와 지류의 폭 비는 1:0.8인 모형수를 이용하였다. 수로의 길이는 본류 400cm, 지류 100cm이며 수로 시작점부터 120cm 떨어진 곳에 합류부를 설치하였다. 유량공급은 펌프를 이용하여 고수조에 물을 끌어올려 일정 수두를 유지하면서 자연유하되는 물을 밸브 및 유량계를 통하여 본류와 지류로 유입하도록 하였다. 본류와 지류로 유입되는 입구에 정류판을 설치하여 물의 흐름을 정류상태로 만들었으며, 수로의 경사는 수로에 설치된 받침대의 나사를 통하여 수로바닥의 높이를 일정하게 유지시켜 수로의 경사가 수평이 되도록 하였다. 본류 및 지류 수로 유입구에 유량의 유입으로 인한 급격한 하상변화 및 일정높이의 하상을 유지하기 위해 하상의 높이와 같은 높이의 보를 설치하였다. 보의 폭은 수로의 폭과 동일하게 하였으며 실리콘으로 마감하여 물이 수로와 보 사이로 들어오지 않도록 하였으며, 길이는 20cm로 하였고 상단의 경사는 0.1로 하였다. 수조말단에 유사받이를 설치하여 하상변화로 인해 발생하는 부유사를 포집하여 유사가 펌프를 통해 다시 순환하는 것을 방지하였다. 또한, 유사받이 말단부에 웨어를 설치하여 일정수위를 유지할 수 있도록 하였다.



(a) 모형수로 평면도(90°의 경우)

(b) 모형수로 단면도 <A-A단면>

(c) 모형수로 평면도 (60°의 경우)

(d) 모형수로 평면도 (75°의 경우)

그림 1. 모형수로 개략도

3.2. 실험의 경계조건

본 실험은 합류부에서의 수리현상에 의한 하상변화를 확인하여 하천에 대한 일반적인 결과를 나타내기 위한 것으로 실제하천에 대한 상사법칙보다는 수로내 현상을 규명하는 목적에 중점을 두었다.

수로내 하상은 하상 변화를 확인하기 위해 하상재료로 모래를 이용하였다. 입도는 합류점에 의한 현상을 규명하기 위해 균일한 입도를 사용하였으며, 이를 위해 사용한 모래는 상수도 여과용 주문진사를 사용하였고, 1mm로 균일하게 맞추기 위해 표준체 No. 140(0.88mm)과 No. 170(1.05mm) 사이의 모래를 이용하였다. 또한, 하상의 두께는 합류부에 의한 수리현상을 확인할 수 있는 충분한 두께인 15cm로 하여 일정하게 포설하였다.

또한, 유량의 경우 유량비에 따른 하상변화에서 최대 유량은 하상의 한계유량으로 맞췄으며, 합류부에서는 합류 후 방류되는 유량의 한계유량이 되도록 지류와 본류의 유량을 조절하였다. 이때 위의 하상조건을 만족시키는 한계유량은 0.01789CMS (64.4cm³/hr)이다. 모형수로에서 본류와 지류의 유량비는 1:0.2, 1:0.35, 1:0.5 세가지 경우에 대하여 분석하였다.

3.3 실험방법

본 실험에서는 하상을 직경 1mm인 모래를 사용하여 15cm높이를 맞춰 실험을 실시하였으며, 측정지점은 합류에 의한 하상변화가 급격히 일어나는 합류부 구간에 대하여 5cm간격으로 측정하였고, 그 외 구간에 대해서는 10cm간격으로 측정하여 결과를 비교 분석하였다. 또한, 본 연구에서 실험한 실험순서는 다음과 같다.

모든 조건을 동일하게 하기 위해 최초의 하상을 일정한 높이(15cm)로 균일한 모래를 이용하여 포설하였다. 이후 펌프를 이용하여 물을 각 관을 통하여 유입시켰으며, 초기 유입에 의한 하상변화를 최소로 하기 위해 서서히 공급할 수 있도록 밸브를 조절하여 유입시켰으며, 지속적으로 계획유량을 맞추고 오차범위를 초과하지 않도록 밸브를 조절하였다. 시간이 흐름에 따른 하상변화를 지속적으로 측정하였으며, 상류부터 하류까지 유속변화 및 수심변화를 확인하기 위해 유속계와 포인트게이지를 이용하여 일정간격으로 유속과 수심을 측정하였다.

하상변화가 거의 없는 시점(약 5시간)까지 측정 후, 펌프 가동을 중단하고 수조의 물을 흐름에 의해 변화

된 하상에 영향이 없도록 서서히 제거하였다. 수조에서 물이 완전히 방류된 후 포인트게이지를 이용하여 하상의 높이를 측정 한 후 최초 포설된 모래의 높이와 비교하여 침식과 퇴적을 판별하였다.

4. 실험결과

본 연구에서는 합류부에서 침식현상을 확인하기 위해 합류부의 접근각도를 90°, 75°, 60°에 대하여 각각 분류와 지류의 유량비를 1:0.2, 1:0.35, 1:0.5로 하여 분석하였다. 전반적으로 침식이 가장 활발히 일어나는 곳은 지류와 본류가 만나는 합류점으로 나타났으며 그 크기를 측정하여 다음과 같은 결과를 토출하였다.

4.1 침식되는 깊이 변화

합류점에서 발생하는 침식깊이를 접근각도 및 유량비에 따라 분석하였으며 그 결과는 그림 2, 3과 같이 나타났다. 침식깊이는 그림 2에서 보는 바와 같이 유량비가 증가함에 따라 점차 증가하는 경향을 나타내고 있으며, 그림 3에 나타난 것과 같이 접근각도가 증가할수록 최고 침식깊이는 점차 커지는 경향을 나타내고 있다.

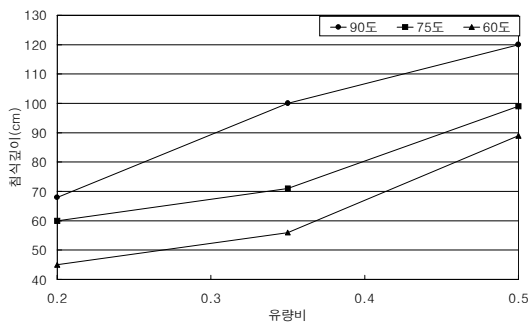


그림 2. 유량비별 침식깊이

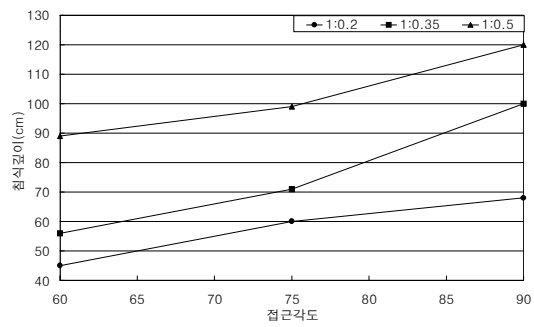


그림 3. 접근각도별 침식깊이

4.2 최심선 경사각도 변화

본 연구에서는 합류부에서 지류에 의해 발생하는 침식면의 최심선을 흐름의 직각 방향을 기준으로 분석하였다. 그림 4에서 보는 바와 같이 유량비가 증가함에 따라 최심경사가 전반적으로 감소하는 추세를 나타내고 있다. 또한, 그림 5에서 보는 바와 같이 접근각도 90°의 유량비 1:0.2를 제외 전반적으로 접근각도가 증가함에 따라 최심경사가 증가하는 경향을 나타내고 있다.

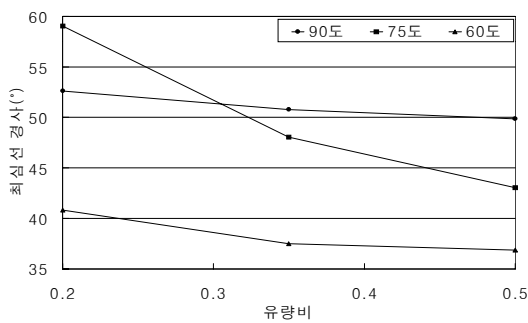


그림 4. 유량에 따른 최심경사 변화

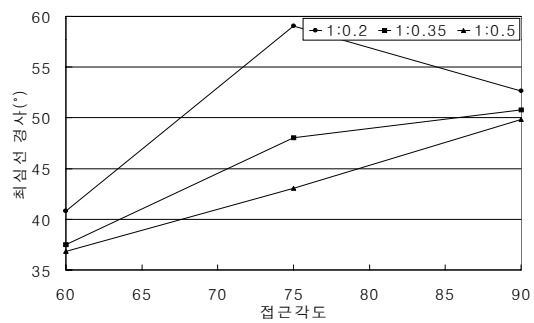


그림 5. 접근각도에 따른 최심경사 변화

5. 결론

본 연구에서는 합류부에서 접근각도 및 유량비에 따른 하상변화를 모형수로 실험을 이용하여 분석하여 다음과 같은 결과를 도출하였다.

첫째, 침식되는 깊이는 유량비 및 접근각도가 증가함에 따라 커지는 경향을 나타내고 있으며, 이는 합류부에서의 하상침식에 대한 개선방향으로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

둘째, 접근각도가 증가함에 따라서는 최심경사는 점차 증가하는 것으로 나타났으나, 유량비가 증가함에 따라 감소하는 것으로 나타났다.

참고문헌

1. 건설교통부(2002) 한국하천일람. 건설교통부, pp. 44~95.
2. 박용섭(2003) 합류부에서 유량 및 접근각도 변화에 따른 수리학적 특성분석. 박사학위논문, 인천대학교
3. 심기오 (1996), “도심 소하천의 합류 및 구조물로 인한 흐름특성의 변화”, 단국대학교 박사학위논문
4. 최계운, 강관원(1993), 합류점에서 합류각도에 따른 흐름해석. 1993년도 학술발표회 논문집, 대한토목학회, pp.127~130
5. 최계운, 김영규, 윤용진(2003), 합류부에서 유량비에 따른 하상변동. 2003년도 학술발표회 논문집, 대한토목학회, pp.
6. 최계운, 박용섭, 한만신(2002) 합류점의 수리특성에 관한 연구. 2002년도 학술발표회 논문집, 한국수자원학회, pp. 494~496.
7. 한건연, 이종태, 이을래, 이재영 (1998), 도시하천 합류부에서의 수리해석, 2002년도 학술발표회 논문집, 한국수자원학회, pp. 309~314.
8. Best, J. L., Reid, I. (1984), "Seperation Zone at Open-Channel Junctions", Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol.110 No.11, pp. 1588~1594.
9. Hauger, W. H. (1987), "Discussion of Seperation Zone at Open-Channel Junctions", Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol.113 No.4, pp. 539~545.
10. Huang, J., Weber, L. J., Lai, Y. G. (2002), "Three-Dimensional Numerical Study of Flows in Open-Channel Junctions", Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol.128 No.3, pp268~280
11. Modi, P. N., Ariel, P. D., Dandekar, M. M. (1981), "Conformal Mapping for Channel Junction Flow", Journal of Hydraulic Division, ASCE, Vol.107 No.HY12, pp1713~1733
12. Schulte, A. M., Chaudhry, M. H.(1987), "Gradually-varied Flow in Open Channel Networks", Journal of Hydraulic Research, ASCE, Vol.25 No.3, pp357~371
13. Taylor, E. H. (1944), "Flow Characteristics at Rectangular Open - Channel Junctions, Proceeding of the American Society of Civil Engineerings, ASCE, Transaction No.109, pp893~912