

합류부의 유량 및 접근각도에 따른 흐름변화

The Change of Flow depending upon the Discharge and Approaching Angle at Channel Junctions

최 계 운* / 박 용 섭** / 한 만 신***

Choi, Gye Woon / Park, Young Suop / Han, Man Shin

Abstract

In this paper, the hydraulic model tests are conducted for the hydraulic characteristics at channel junctions. The experiments are examined through the variation of approaching angle, discharge in the upstream main channel and the discharge ratio between the main channel and the tributary.

The experiments are conducted in the channel model having the length of 450cm, the widths of 40cm and 32cm. Four water tanks and pumps are installed in the experimental channel.

The length of stagnation zone is increased by increasing of approaching angle and the discharge in the upstream channel. The length of stagnation increase with the discharge ratio between the main channel and the tributary. However, the variation of the stagnation zone near the channel junctions is little at the same approaching angles and the discharge ratios between the main channel and tributary. However, the variation of the stagnation zone near the channel junctions is little at the same approaching angles and the discharge ratios between the main channel and tributary. Accelerating zone of the velocity is occurred in the middle of the channel in the small approaching angle. However, the influence zone of the accelerating velocity is increased by increasing the approaching angle.

Keywords : approaching angles, hydraulic characteristics, stagnation zone, accelerating zone, channel junction

요 지

본 논문에서는 수리모형 실험을 통하여 지류와 본류의 합류점의 접근각도, 본류의 유량 및 본류와 지류의 유량비 변화에 따른 합류부의 수리학적 특성을 파악하였다. 실험은 수로길이 450cm의 수로에서 실시하였으며, 본류와 지류의 수로폭은 각각 40cm와 32cm이었으며, 4조의 물탱크와 펌프가 설치되었다.

합류점 부근의 정체 구간의 길이는 접근각도가 증가함에 따라 증가되며, 본류의 유량과 지류와 본류와의 유량비가 증가되는 경우에도 이 경향은 동일하다. 그러나 동일한 합류점 접근각도와 유량비에 있어서 본류 유량 변화에 따른 합류점 부근의 정체구간 변화는 매우 적게 나타나고 있다. 또한 본류와 지류의 유량비가 증가할수록 유속의 정체 구간의 길이가 커져, 유사의 퇴적증가를 유도하는 주요원인이 된다. 합류점 부근의 가속유로는 접근각도가 작을수록

* 인천대학교 공과대학 토목환경시스템공학과 교수

Professor, Dept. of Civil & Environmental System Engineering, Incheon Univ., Incheon, 402-749, Korea

(E-mail : gyewoon@incheon.ac.kr)

** 화신엔지니어링(주) 전무이사, 공학박사

Ph. D, Director, hwashin Engr., Shinsa-Dong, gangnam-Gu, Seoul, 135-120, Korea

(E-mail : sub2627@hanmail.net)

*** 인천대학교 공과대학 토목환경시스템공학과 석사과정

Master's Course, Dept. of Civil & Environmental System Engineering, Incheon Univ., Incheon, 402-749, Korea

(E-mail : 8190hansman@hanmail.net)

수로 내 중앙부에 한정되지만, 접근각도가 증가할수록 영향권이 증가된다.

핵심용어 : 접근각도, 수리학적 특성, 정체구간, 가속유로, 합류점

1. 서론

최근들어 시, 공간적으로 강우패턴의 변화가 커지고 있다. 2002년 여름 영월, 김천 등에 나타난 현상처럼 집중호우 등에 의해 제방이 붕괴되는 사례가 발생되고 있으며, 이러한 집중호우 현상시 합류부에 미치는 영향이 특히 큰 점을 감안해 볼 때, 합류부에 대한 세심한 검토가 요망되고 있다. 그러나, 현재까지도 합류부에 대한 정확한 현상과악이 부족할 뿐만 아니라, 각종 수공 구조물 설계시에 반영할 자료가 부족하여 정확한 합류부 설계에 어려움을 겪고 있다. 특히, 지류와 본류의 유량의 비가 변하거나, 접근 각도가 변화되는 경우 합류점 부근의 유속 변화와 이에 대한 유사 퇴적 등에 관한 연구가 부족한 상태에 있다.

본 연구에서는 이와 같은 점을 감안하여 합류부의 유량 및 접근각도가 변함에 따른 수리학적 특성을 분석하기 위해 각종 실험을 통하여 보다 정확한 합류부 부근의 수리적 현상과악을 실시하고자 하였다.

합류부에서의 수리학적 특성은 크게 합류부 부근에서의 정체구간의 크기 변화와 가속유로구간의 크기 변화로 구분하여 진행하였다. 정체구간과 가속유로 구간은 모두 지류가 합류함에 따라 공간적으로 분포되는 유속의 크기로 구분되어 지는 구간으로서 정체구간은 흐름방향으로 유속이 나타나지 않거나 흐름방향과 반대의 유속이 나타나는 구간으로 결정하였고 본 연구에서 길이로 나타난 정체구간의 크기는 발생하는 구간의 종방향 길이를 사용하였다. 가속유로의 경우는 2개의 지류가 합류한 이후에 유속이 크게 증가한 경우로 측정지점의 각 유속을 평균하여 평균유속을 결정하여 그 이상의 유속을 갖는 구간을 가속유로라고 가정하였다.

정체구간을 통하여 유사의 퇴적되는 구간의 크기와 이에 따른 하상의 변화분포의 크기를 알 수 있으며 가속유로의 변화를 통하여 합류점의 수리학적 조건변화에 따른 유로의 변화상황을 파악하여 합류점 부근 내 하천 유로의 변화를 가늠해 볼 수 있다.

2. 연구동향

하천과 하천이 만나는 합류부에서의 흐름은 일반적으로 합류부를 중심으로 상·하류에 서로 연관된 영향을 주게 되며 현실적으로 어떠한 영향을 받는지 또는 영향

의 범위가 어느 정도 인지에 대해서는 아직까지 명확하게 정립되지 못하였다.

Modi 등(1981)은 본류와 지류의 합류부가 30°, 60°, 90°로 구성된 합류점에 대한 흐름특성을 연구하였으며, 합류후의 하폭과 지류의 하폭에 대한 비가 증가하거나 본류와 지류가 이루는 합류각도의 증가에 따라 합류후의 유량과 지류 유량에 대한 한계유량비(critical discharge ratio)는 증가한다고 하였고, 흐름이 정체되는 정체점(stagnation point)은 지류와 본류가 만나는 측면을 따라 발생한다고 하였다.

Best와 Reid(1984)는 구형단면 수로에서 각 수로별로 독립적인 유량과 수로 경사의 조정을 통해 수심을 같도록 유지하여 합류점 수리특성과 분리지역 등에 대한 실험을 수행하였다.

이들은 합류점에서의 분리지역(zone of separation)은 그 크기가 다양하며, 합류후의 합류점 바로 근처에서 발생하는 활발한 흐름으로 수로의 폭을 결정짓는데 중요한 역할을 한다고 밝히고 있다. 또한 흐름의 형상은 합류점과 지류의 유량비가 클수록 잘 나타나고 분리지역은 합류점의 각도가 45°, 70°, 90°로 갈수록 점차 커지고 수로의 유량비가 0.3~0.35 범위에서 최대를 보이는 반면에 15°일 때는 45°, 70°, 90°인 경우와 반대의 현상이 나타나는 실험 결과를 제시하였다.

Hager(1989)는 사각의 개수로에서 흐름의 상태를 상류에서 하류까지 변화시키면서 결과를 분석하였다. 실험을 통해 지류의 유량이 전체유량의 15%이상이면 합류이후의 물의 흐름에 있어서 천이류(transitional flow)가 나타나는 것을 발견하였다.

Hager(1987)는 Best와 Reid(1984)이 실험한 분리 구역에 관한 실험의 결과를 이용하여 합류부 흐름에서의 에너지 손실에 대하여 베르누이 이론을 적용하여 상류 단면과 합류되는 단면사이에 대한 해석을 실시하였다. 그는 실험을 통하여 측면 유입부에서 유입유량의 방향은 합류각의 방향과 일치하지 않는 것을 확인하였으며, 이러한 현상은 합류각이 클수록 크게 나타나는 것을 증명하였다. 그러나 이러한 연구들은 특정한 접근각도와 본류와 지류의 폭이 같은 상태에서 수행되었다는 한계를 갖고 있다. 자연 상태에서의 접근 각도는 특정한 각도로 고정되어 있지 않으며 하천 폭은 본류와 지류가 서로 다른 폭을 나타낸다. 따라서 하천의 지형적특성과

합류부의 접근 각도는 흐름 특성을 결정짓는 중요한 변수가 된다.

본 연구에서는 접근각도와 유량변화에 따른 합류점의 흐름을 분석하기 위하여 분류와 지류의 접근각도와 유량 및 유량비를 변화시키면서 실험을 수행하였다.

3. 실험장치 및 실험방법

3.1 실험장치

하천의 합류부에서의 수리특성 변화를 알아보기 위한 실험 장치는 수로길이 450cm, 분류의 수로 폭 40cm, 지류의 수로 폭 32cm, 수로 높이 40cm의 개수로 장치를 이용하였다.

그림 1은 개수로 장치의 개략도와 펌프 및 유량계,

수로 등이 설치된 모습이다. 이 장치에서는 수로 전면이 아크릴로 제작하여 물의 흐름 형태를 볼 수 있게 하였다. 3번 수조에서 펌프를 이용하여 4번 수조로 물을 끌어올려 수조 1,2로 흘려보내 물을 공급하고 재순환시킬 수 있게 제작하였다. 유량 조절은 분류 및 지류에 흘러가는 관에 설치된 유량조절 밸브 및 유량계를 통하여 제어할 수 있게 하였다. 수조 1,2에 들어오는 물의 흐름을 정류로 변환하기 위하여 수조 중간에 다공판을 제작하였고 안쪽에 철망을 넣어 물의 흐름을 안정시키도록 하였다. 수조 1,2에서 수로를 통해 나가는 부분에 있어서 수로를 약간 안쪽으로 설치하여 물의 유입에 따른 유속을 줄이고 흐름을 일정하게 하였다. 그림 2는 그림 1의 A-A단면의 모습을 보여주고 있으며, 그림 3은 그림 1의 B-B단면을 나타내고 있다.

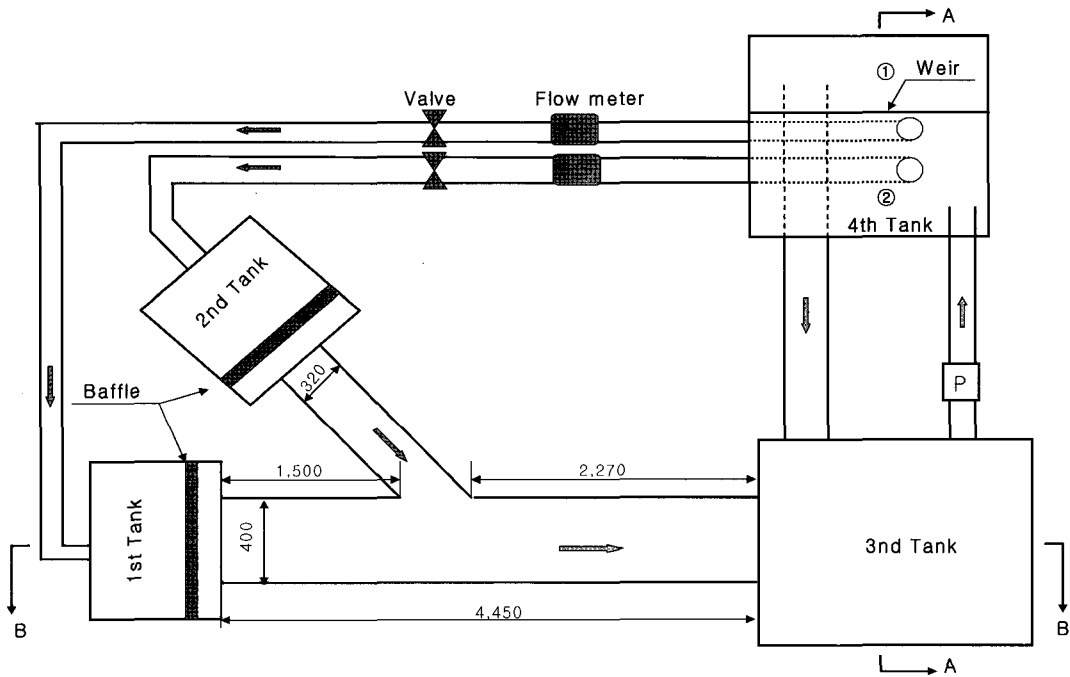


그림 1. 합류점 수로의 평면도 (단위 : mm)

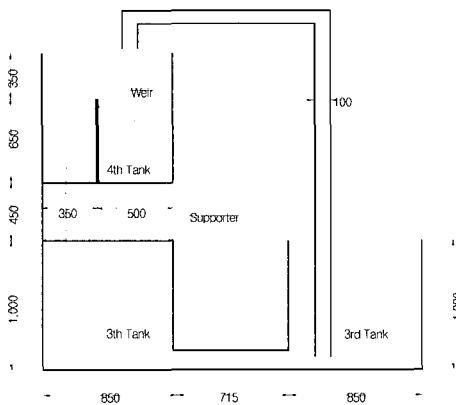


그림 2. A-A 단면 (단위 : mm)

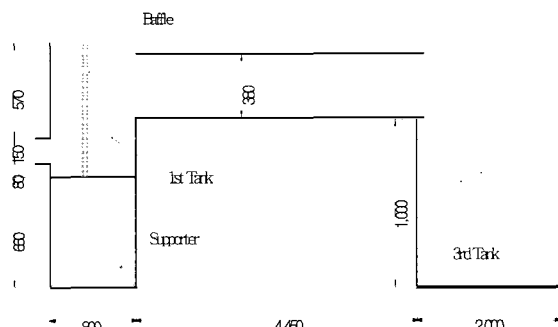


그림 3. B-B 단면 (단위 : mm)

3.2 실험방법

수심 및 유속측정은 그림 4에 나타난 바와 같이 본류 수로의 경우 수로의 횡방향은 양쪽벽면에서 1cm 떨어진 점과 중앙부분에서 측정하였으며 종방향으로는 본류 수로의 상·하류를 20cm간격으로 측정하고 합류부 부근(하류로부터 150cm~350cm)은 종방향 및 횡방향 10cm간격으로 유속을 측정하였다. 수심의 측정은 수로바닥의 높이와 흐름의 표면 높이를 측정한 후 그 차이를 이용하여 수심을 산정하였다. 수심과 유속의 측정지점은 동일한 지점이었다. 본 실험에서는 유속측정은 유속계(ACM 100-D)를 이용하였으며 수심측정은 포인트 게이지를 이용하여 표 1과 같은 실험 조건 하에 실험을 실시하였다.

4. 실험결과 및 분석

4.1 정체구간의 크기변화

그림 5, 6은 본류 유량 변화 및 본류와 지류의 유량비 변화시 접근각도에 따른 정체구간의 크기를 나타내고 있으며 본류의 유량이 변화되는 경우에 유량비를

1:0.5로 사용하였고, 본류와 지류의 유량비가 변화되는 경우는 본류의 유량을 40m³/hr로 사용하여 나타내었다. 그림 5에서 보듯이 본류유량에 상관없이 접근각도가 증가함에 따라 정체구간의 길이가 점차 증가되고 있다. 그러나 접근각도 30°인 경우 정체구간은 모든 경우에서 나타나지 않았다. 또한 그림 6에 나타난 것과 같이 본류와 지류의 유량비에 의한 정체구간에 대한 영향이 크고 접근각도가 증가함에 따라 정체구간이 증가한다.

표 1. 합류점 실험 조건

접근각도 (°)	본류유량 (m ³ /hr)	지류유량 (m ³ /hr)	월류위어 (cm)
30	20	4, 10, 16	4, 6
45		6, 15, 24	
60	30		
75		40	
90	8, 20, 32		

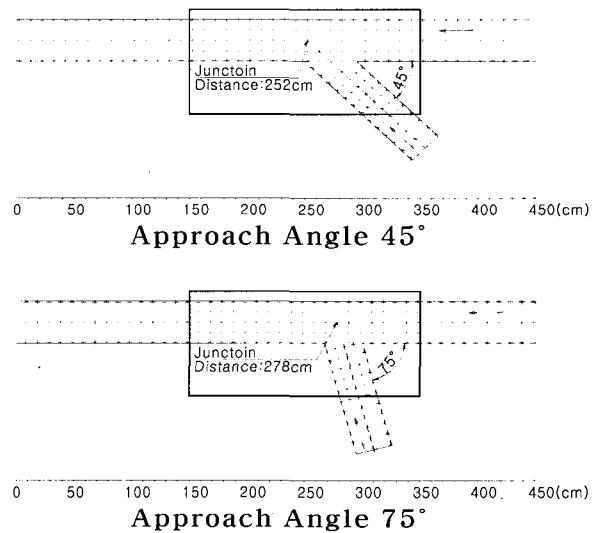
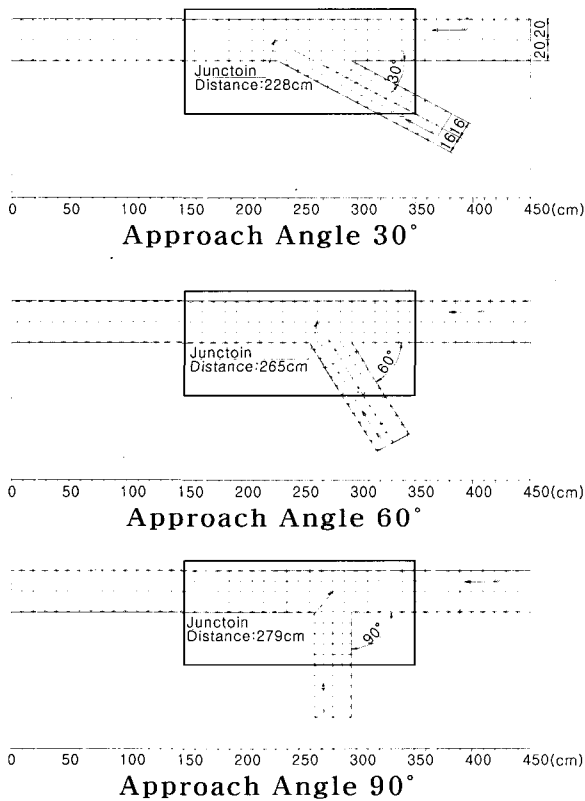


그림 4. 수심과 유속의 측정 위치

사용하였고, 본류와 지류의 유량비가 변화되는 경우에는 접근각도를 90°로 사용하였다.

그림 7에서 보는 바와 같이 본류 유량에 상관없이 접근각도가 증가하면 정체구간이 증가하며 그림 8에서 보는 바와 같이 일정한 접근각도에 있어서 본류의 유량에 따른 정체구간의 변화가 적은 경향을 보이고 있으며, 유량비가 증가함에 따라 정체구간의 길이는 점차 증가한다.

그림 9,10은 접근각도 및 본류유량 변화시 본류와 지

류의 유량비 변화에 따른 정체구간의 크기를 나타내고 있으며 접근각도가 변화되는 경우에 본류의 유량은 40 m³/hr으로 사용하였고, 유량에 의해 변화되는 경우에는 접근각도 90°인 경우를 분석하였다. 전체적으로 본류와 지류의 유량비가 증가할수록 정체구간의 길이는 증가하며, 상류 본류유량이 변화할 때 본류와 지류의 유량비가 증가함에 따라 정체구간 길이는 점차 증가한다.

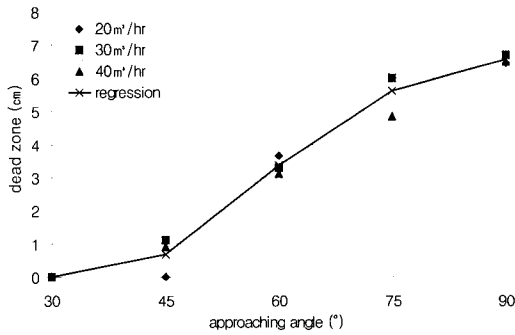


그림 5. 접근각도에 따른 정체구간의 크기변화 (유량변화)

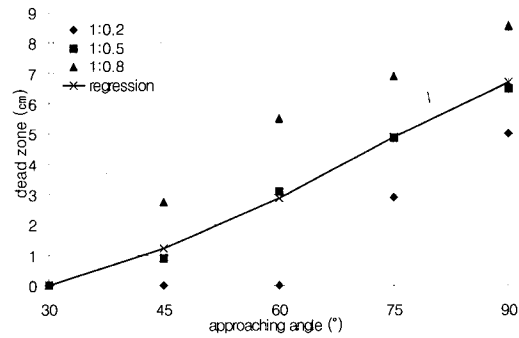


그림 6. 접근각도에 따른 정체구간의 크기변화 (유량비변화)

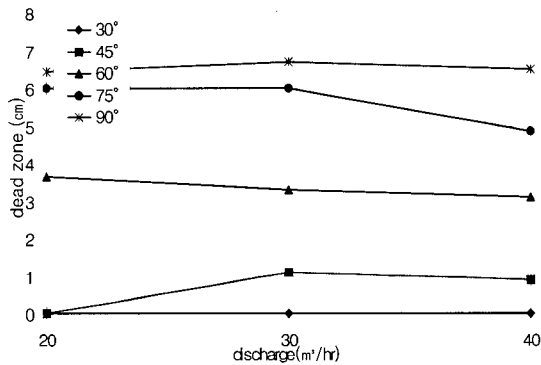


그림 7. 유량에 따른 정체구간의 크기변화 (접근각도변화)

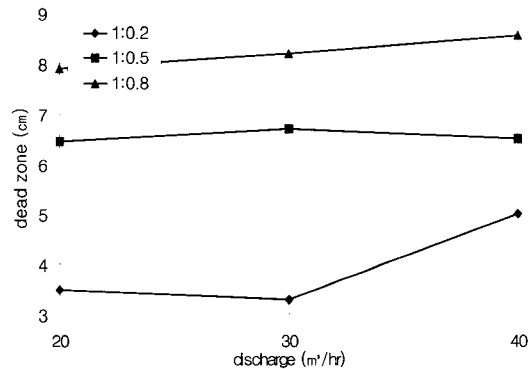


그림 8. 유량에 따른 정체구간의 크기변화 (유량비변화)

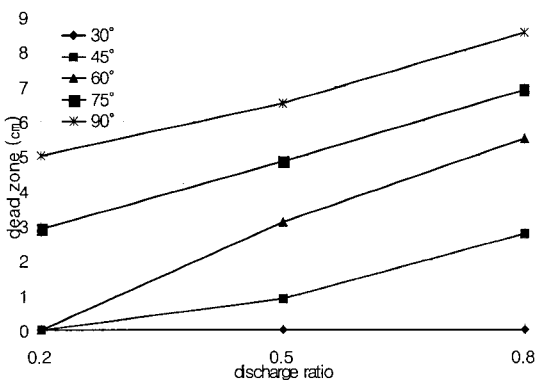


그림 9. 유량비에 따른 정체구간의 크기변화 (접근각도변화)

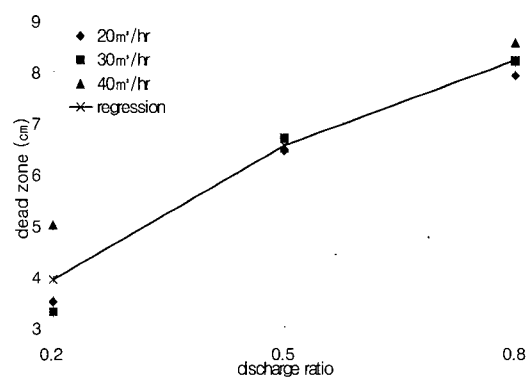


그림 10. 유량비에 따른 정체구간의 크기변화 (유량변화)

4.2 가속유로의 변화

본 실험에서는 평균유속보다 유속이 큰 수로를 가속유로라 정의하여 흐름이 주로 어느 방향으로 흐르는지 검토하였으며 이를 위해 본류유량을 30m³/hr, 유량비를 1:0.5로 하고 월류위어의 높이 4cm의 실험결과를 토대로 분석하였다. 그림 11에서 보는 바와 같이 접근각도가 작을수록 지류보다 본류에 의한 영향이 커서 가속유로가 수로 중앙에 위치하고, 접근각도가 증가함에 따라 횡방향 모우멘트가 증가하여 수로 우안쪽으로 치우치는

것으로 나타났다. 또한 접근각도가 증가함에 따라 가속유로의 면적이 증가하고 있다.

그림 12에서는 유량에 따른 가속유로의 변화를 보여 주고 있으며 본류유량을 20m³/hr, 30m³/hr, 40m³/hr으로 변화시키며 본류와 지류의 유량비를 1:0.2로 하고 월류위어의 높이를 4cm, 접근각도는 30°와 90°로 분석하였다. 각도의 분류에서 알 수 있듯이 30°의 경우 수로의 중앙에 가속유로가 나타나는 반면에 90°에서는 수로 우안쪽에 나타나는 것을 알 수가 있다. 또한 유량이 커질수록 가속유로의 면적이 증가하고 있다.

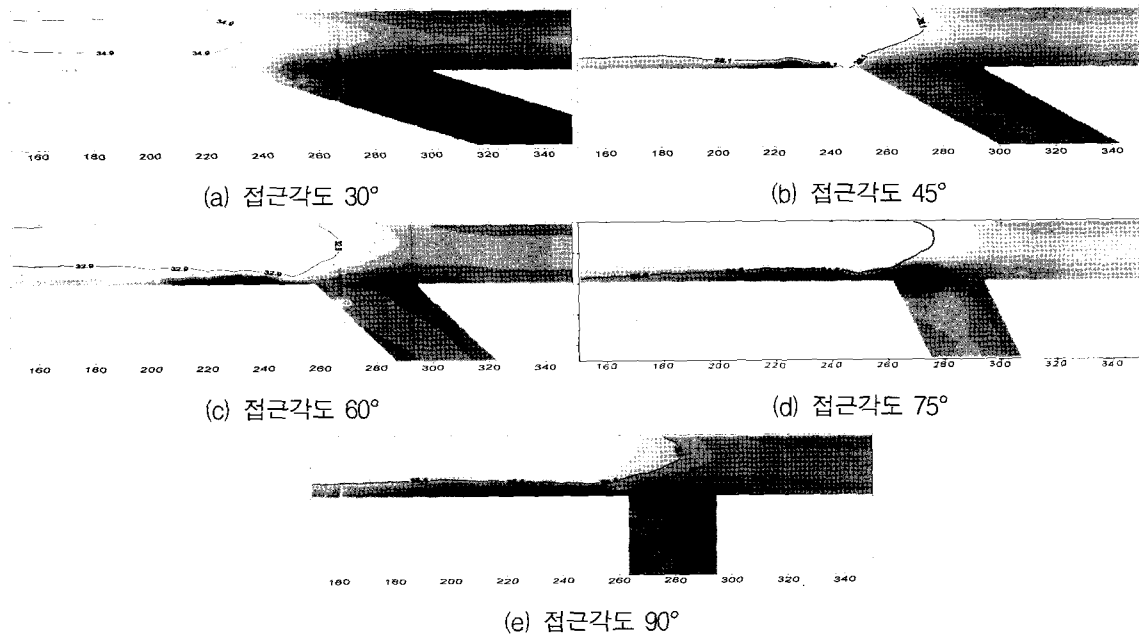


그림 11. 접근각도 변화에 따른 가속유로의 변화

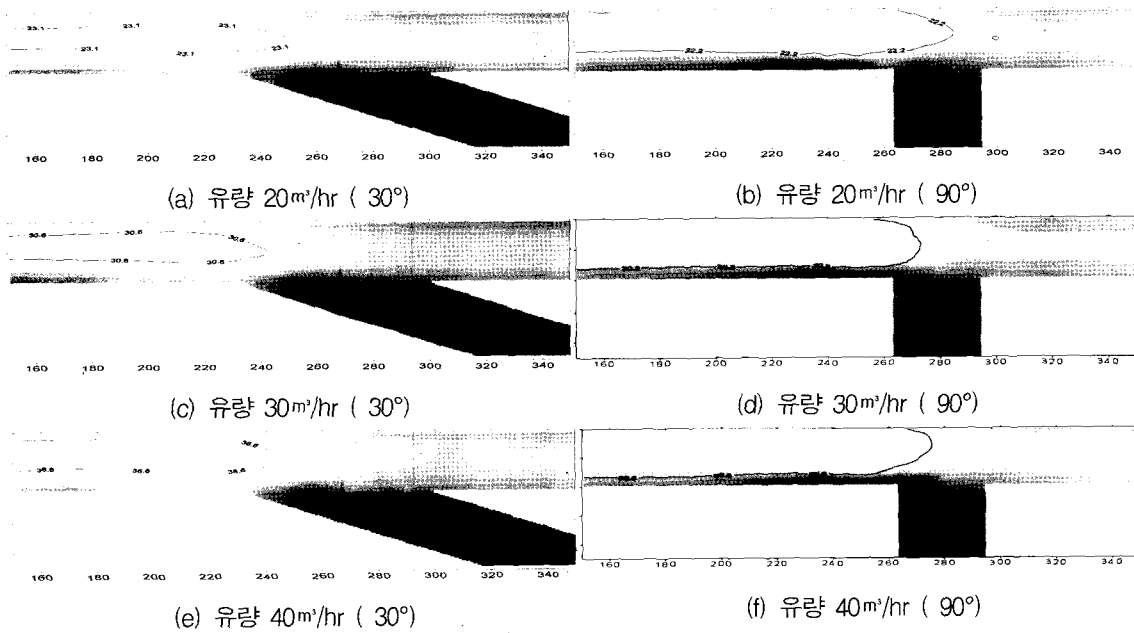


그림 12. 유량 변화에 따른 가속유로의 변화

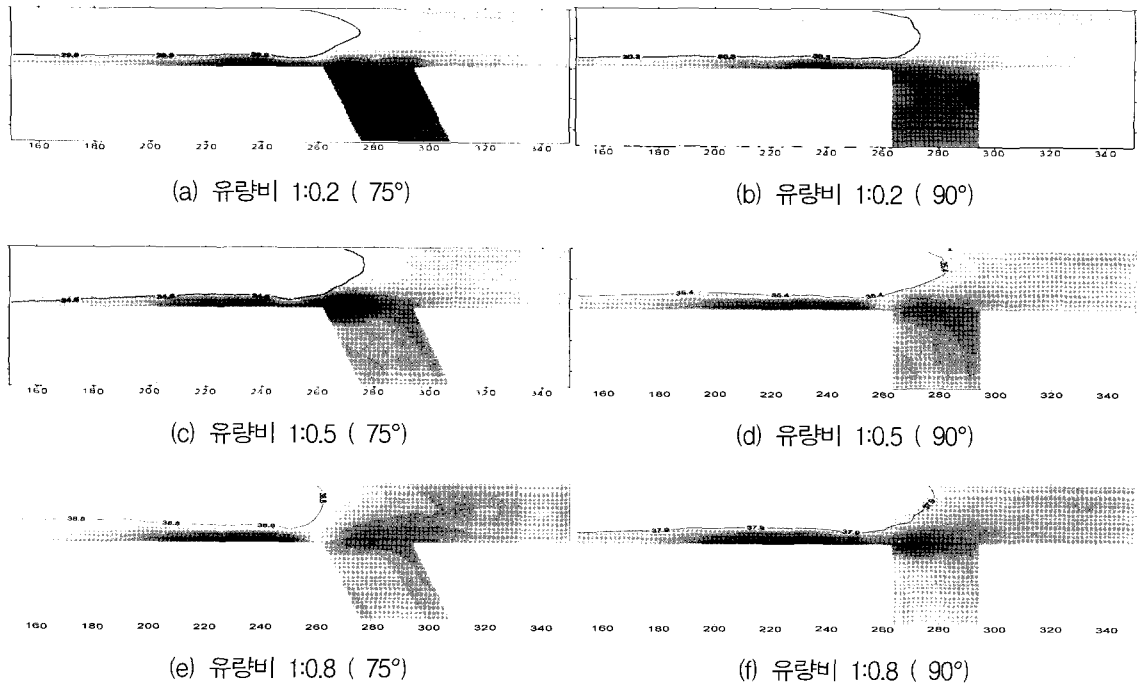


그림 13. 유량비 변화에 따른 가속유로의 변화

그림 13에서는 유량비 변화에 따른 가속유로의 변화를 나타내고 있으며 본류유량 30m³/hr, 월류위어 4cm, 접근각도 75°, 90°에서 분석하였다. 유량비를 1:0.2, 1:0.5, 1:0.8로 변화시켰을 때 접근각도 75°와 90° 모두 수로의 좌안쪽에 0이하의 유속이 발생하는 정체구간이 생기며 지류의 유량이 커질수록 본류의 유속이 감소하게 되고 이로 인해 유속이 0 이하인 구간이 많이 발생하여 가속유로의 폭이 작아진다. 따라서 유량비가 커질수록 가속유로의 면적은 좁아지는 것을 알 수가 있다.

5. 결론

본 논문에서는 합류부의 유량 및 접근각도에 따른 흐름변화를 규명하기 위한 수리모형 실험을 실시하였다. 본류와 지류의 접근각도를 30°, 45°, 60°, 75°, 90°로 설정하였으며 20m³/hr, 30m³/hr, 40m³/hr의 3종류의 본류 유량을 사용하였다. 또한 본류와 지류의 유량비를 1:0.2, 1:0.5, 1:0.8로 결정하였으며 하류경계조건인 월류위어의 높이를 4cm와 6cm로 하여 실험하였고, 이에 대한 결과를 다음과 같이 도출하였다.

1. 합류점 부근의 정체 구간은 접근각도, 상류부 유량 및 본류와 지류간 유량비가 증가할수록 정체 구간이 증가한다. 이와 같이 여러조건에 따라 정체 구간이 증가할수록 상류로부터 이동된 유사가

합류점 부근에서 퇴적되는 현상이 증가할 것으로 판단된다.

2. 동일한 합류점 접근각도, 본류와 지류의 유량비에 있어서 본류의 유량변화에 따른 합류점부근의 정체구간의 변화가 매우 적게 나타나고 있어 적은 유량변화시 얻은 결론을 큰 유량에 대하여도 적용이 가능한 것으로 판단된다.
3. 합류점 부근의 평균유속 이상의 흐름이 나타나는 가속유로는 접근각도가 작을수록 수로 내 중앙부에 한정되지만, 접근각도가 증가할수록 영향권이 증가된다. 그러나, 유량이나 유량비가 증가함에 따른 영향은 매우 작게 나타난다.
4. 가속유로는 접근각도가 감소할수록 합류점으로 거리가 증가하여 합류부의 공간적 크기가 증가하는 경향을 보인다.

감사의 글

본 논문은 2003년도 인천대학교 연구비 지원으로 이루어졌으며, 연구비 지원에 감사드립니다.

참고 문헌

1. 박용섭(2003). "합류부에서 유량 및 접근각도 변화에 따른 수리학적 특성 분석", 박사학위논문, 인천대학교

2. 최계운(1994). “수지형 하천에서의 부정류 흐름의 해석 알고리즘”, **대한토목학회 논문집**, Vol 14, No. 4, pp. 839-846.
3. 최계운, 박용섭, 김동욱(1999). “NC Net을 이용한 경인운하내 합류점 수리해석”, **한국 수자원학회 1999년 학술발표회 논문집**, pp. 529-534.
4. 최계운, 강관원(1993). “합류점에서 합류각도에 따른 흐름해석”, **대한토목학회 1993년 학술발표회 논문집**, pp. 127-130.
5. 최계운, 김건홍, 안상진(1991). “하천 합류점을 통한 오염물질 유입에 관한 연구”, **한국 수자원학회 수공학논문집**, 제33권, pp. 247-252.
6. Best, J. L. and Reid, I.(1984). "Separation Zone at Open Channel Junctions", *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 110, No. 11, pp. 1588~1593.
7. Best, J. L. and Reid, I.(1987). Closure by of "Separation Zone at Open-Channel Junctions", *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 113, No. 4, pp. 545-548.
8. Hager, W. H. and Volkart, P. U.(1986). "Distribution Channels", *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 112, pp. 935-952.
9. Hager, W. H.(1987). Discussion of "Separation Zone at Open-Channel Junctions", by Best, J. L. and Reid, I., *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 113, No. 4, pp. 539-543.
10. Hager, W. H.(1989a). "Transitional Flow in Channel Junctions", *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 115, No. 2, pp. 243-259.
11. Hager, W. H.(1989b). "Supercritical Flow in Channel Junction", *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 115, No. 5, pp. 595-616.
12. Modi, P. N., Ariel, P. D., and Dandekar, M. M.(1981). "Conformal Mapping for Channel Junction Flow", *Journal of the Hydraulic Division*, ASCE, Vol. 107, No. HY12, pp. 1713~1733.

(논문번호:04-33/접수:2004.03.23/심사완료:2004.07.12)