

도시 하천 장애물에 의한 흐름특성 변화에 관한 실험적 연구

심 기오¹⁾, 김 규춘²⁾, 이 길춘³⁾, 오 경두⁴⁾, 전 병호⁴⁾

요 지 : 도시가 발달함에 따라 늘어나는 교통량과 주차공간 등의 부족을 해소하기 위해 하천에 교량을 증설하거나 복개를 하는 경우가 많아지고 있다. 이와 같은 현상은 수리학적으로 바람직한 현상이 아니므로 과연 하천에 장애물을 설치할 경우 이들 장애물에 의하여 하천 흐름이 어떻게 영향을 받는지를 실험적으로 분석해 보았다. 모형은 중랑천과 한천로상의 교량 형태를 점검하고 이들을 7개의 형태로 분류 1/50의 축척을 사용하여 제작하였다. 실험장치는 국립 건설시험소에 있는 직선 개수로를 이용하였으며 실험을 위하여 하천의 경사는 1/500, 1/750과 1/1000을 그리고, 하천 유량은 200, 350, 500 CMS를 각각 선택하였다. 하천에 교량의 장애물 설치시 구조물 형태에 따라 6~30%의 수위 상승 효과가 있었으며 표면 유속은 7~23%의 감소 효과가 있었다.

1. 서 론

도시 유역은 유역의 지역의 대부분이 불투수 지역이며 포장된 수로나 관로와 우수지 등을 포함하고 있다는 점이 일반적으로 자연 유역과 다르다. 즉, 기본적인 유출과정은 자연 상태의 유역과 도시유역이 동일하나, 도시 지역은 불투수 면적이 크므로 투수 지역이 대부분인 자연 상태의 지역과는 다소 그 특성이 다르다.

도시화가 진행되어 가면서 증가하는 불투수지역은 침투에 의한 손실량을 작게 만들뿐만아니라 지표면 조도를 감소시키게 되고, 수로망은 정비되어 유로에서의 유속을 증가시키는 결과를 초래하게 된다. 이에 따라 동일 강우의 경우에도 침투유량과 유출 용적이 증가하게 되며, 유출 속도가 증가하여 침투 유량 발생 시간이 감소하고, 기저시간이 감소하는 등 유출 수문 곡선이 현저하게 변화하게 된다.

1) 정회원, 단국대학교 토목공학과 박사과정

2) 건설부 국립 건설 시험소 수공과

3) 정회원, 단국대학교 토목공학과 교수

4) 정회원, 육군사관학교 토목공학과 교수

도시 소유역에서의 강우 유출 관계를 구명하기 위한 도시수문 연구는 주로 실제 유역의 수문 관측 자료를 토대로 컴퓨터 Simulation 모형을 만들어 해결하려는 노력이 대부분이다. 대개의 모형은 연속된 복개 구간에 대하여는 적용하기 부적합할 뿐만 아니라 교량 등의 영향을 고려하는 모형의 적용 상태도 정확한 것으로 판단되지 않는다. 특히 도시 지역에서는 주로 하천의 폭이 좁은 지역에 교량이 놓여지게 되므로 교량, 교각의 연속에 의한 영향은 현재 개발된 모형들로는 정확히 해석하는데 무리가 있다. 한편, 이들 모의 모형을 만드는 데는 일반화된 흐름 특성을 이해하는 것이 무엇보다 중요하며, 이같은 이해는 수리 모형 실험을 통하여 비교적 쉽게 얻어질 수 있다고 판단된다. 도시 소유역에 대한 수리 모형 실험은 매우 다양하게 실시될 수 있을 것이나, 본 논문에서는 연속되는 교량의 교각들에 의한 영향과 하천 복개로 나타나는 수리학적인 변화를 검토해 보기 위한 기초 작업으로, 실험실 개수로 내에 여러가지 장애물을 설치한 후에 수리 모형 실험을 실시하여 흐름에 대한 이해와 해석에 도움을 주고, 더 나아가 도시유역에서 하천 복개가 이루어진 지역에 대한 치수대책 및 내수 피해가 없는 쾌적한 수공간을 제공하기 위한 노력에 기여하고자 한다.

2. 하천복개 현황

서울 시내에는 31개 준용하천이 있으며 총 유출연장은 158.865 km이고, 이 중에서 복개가 이루어진 구간은 46.984 km로 약 30%에 달하는 하천구간이 복개되어 있다.

복개하는데 소요되는 경비는 복개하고자 하는 위치와 복개 방법에 따라 달라지지만 통상 1 m² 복개하는데 평균 30만원 정도가 소요되는 것으로 추산된다. 각 구청에서는 주차장 확보 및 도로 확충을 위해 여러 곳에서 복개를 계획, 실시중에 있는 실정이다. 이같은 하천복개는 홍수시 수위 상승으로 인한 추가 침수지역이 발생할 우려가 있고, 수경공간의 상실로 자연환경을 훼손하게 되며, 자연 채광 불량으로 생태계의 변화가 우려되고, 복개지역 내부의 유지 관리가 곤란한 점들이 있다. 그러므로 복개구간에 대하여는 이전보다 훨씬 더 많은 관심과 노력을 기울여야 할 것이다.

본 연구에서는 최근에 복개되었거나 복개중에 있는 몇개 지역(사당천 유역 하천복개, 석계역 앞 환승 주차장)을 택하여 복개형태, 교량 형태, 교량 간격, 하천경사와 하천유량 등을 검토하고 이들 자료를 토대로 장애물 모형과 하천경사 및 하천유량을 결정하고 실험에 적용하였다.

3. 실험내용 및 방법

3.1 모형 실험 상사율

주로 중력이 지배적인 힘이되는 개수로에서 원형과 모형의 두 흐름계가 수리학적으
로 상사성을 이루기 위하여는 Froude 모형법칙(Froude model laws)을 적용하게 되며 다
음 식으로 표시된다

$$Fr = V_r / \sqrt{g_r y_r} = 1 \quad (1)$$

여기서, 첨자 r은 원형과 모형의 비를 나타낸다.

원형과 모형에서의 유량비 Q_r 은 다음과 같이 주어진다.

$$Q_r = A_r V_r = X_r Y_r^{3/2} \quad (2)$$

모형 실험의 단순화를 위하여 하천의 복개 구간이 직선구간이며 일정한 폭을 갖는
이상적인 수로 구간으로 가정하여 실험하였으며, 현재 건설부 국립 건설 시험소에 있는
길이 20m, 폭 60cm, 높이 1m 되는 가변 경사 개수로를 이용하였다. 실제 하천의 폭과 길
이를 고려하여 원형과 모형의 축척비를 다음과 같이 선택하였다.

$$X_r = Y_r = 1 / 50 \quad (3)$$

그러므로, 식(3)를 식(2)에 대입하면 원형과 모형의 유량비 Q_r 은 다음과 같다.

$$Q_r = A_r V_r = 1/17678 \quad (4)$$

하천 복개 지역은 토사동의 영향을 고려하여 대개 Manning의 조도계수는 0.015~
0.020을 사용하고 있으며, 실험수로의 조도계수는 0.009~0.013 정도가 되므로, 본 실험
에서 실제의 조도계수를 0.019로 보면 모형에서의 조도계수는 0.010 이 되므로 실험수로
의 매끈한 단면을 사용하였다.

3.2 모형 실험 구조물 형태

도시 하천 복개 구간에서 많이 사용되는 복개 형태를 본 실험에서는 다음과 같은
여러종류의 모형을 고려하였다.

- ① 사각 기둥 복개
- ② 긴 박스 기둥 복개
- ③ 원형 기둥 교량
- ④ 타원형 기둥 교량
- ⑤ 박스 기둥 교량
- ⑥ 긴 박스 기둥 교량

⑦ 긴 박스 기둥에 원형 기둥이 있는 교량

3.3 유량 및 경사 결정

서울의 경우 하천 수공구조물의 설계를 위하여 수문 설계 빈도는 50년 또는 100년이 고려되고 있으며, 이에따른 해당 소하천의 유량은 통상 200~500 m³/sec 정도가 되겠다. 이와 같은 실정을 고려하여 실험에서 사용할 유량으로는 200 m³/sec, 350 m³/sec와 500 m³/sec의 3가지를 선택하였다. 실제 유량을 식 (4)를 이용하여 모형에서의 유량으로 변환하면 각각 11.3ℓ/sec, 19.8ℓ/sec 와 28.3ℓ/sec가 된다. 하천 경사는 1/500, 1/750과 1/1000의 3가지를 선택하여 실험하였다.

3.4 모형 장애물 배치 결정

모형 배치에 있어서 사각 기둥의 복개 및 긴 박스 기둥 복개는 연속으로 하였으며, 원형교량, 타원형 교량 및 박스 기둥은 교량간의 거리를 각각 200m, 250m, 300m의 3종류로 교량을 각각 배치하고, 긴박스와 긴박스에 원형 기둥이 있는 경우는 단일 모형을 배치하였고, 흐름의 효과를 검토하기 위해 각각 수위와 유속을 측정 하였다.

4. 실험 결과 및 분석

4.1 모형 구조물 형태에 따른 수위 변화

1) 사각 기둥 복개

사각 기둥에 의한 전단면 복개로써 미복개시의 하천 수위에 비해서 복개후에는 30~60%의 수위 상승 효과를 가져 왔으며, 수로 경사가 1/500일때 50~60%, 1/750일 때 40~50%, 1/1000일때 33~42%로 수로 경사가 급할 수록, 유량이 많을수록 수위 상승효과가 크게 나타났다.

2) 긴 박스 기둥 복개

긴 박스 기둥에 의한 전단면 복개로써 미복개시의 하천 수위에 비해서 복개후에는 23~39%의 수위 상승 효과를 가져 왔으며, 수로 경사가 1/500일때 31~39%, 1/750일 때 25~35%, 1/1000일때 23~26%로 수로 경사가 급할 수록, 유량이 많을수록 수위 상승효과가 크게 나타났다.

3) 원형 기둥 교량

교량과 교량사이의 거리가 200m, 250m, 300m 되는 3가지 경우를 고려하였다. 교량의 수는 실험실 수로의 길이를 고려하여 각각 3개씩 교량을 배치하였다.

원형기둥 교량에 의한 영향은 교량이 없을 때에 비하여 16~30%의 수위상승 효과가 나타났으며 유량이 많을수록, 경사가 급할수록, 교량간의 거리가 짧을수록 교량으로 인한 수위의 상승효과는 크게 나타났다.

4) 타원형 기둥 교량

타원형 기둥 교각을 갖는 교량은 특히 철교의 경우에 많이 볼 수 있으며 실험 방법은 원형기둥과 동일한 방법으로 하였다. 타원형 기둥 교량에 의한 교각 상류에서의 수위 상승효과는 8~20%가 되는것으로 나타났다.

5) 박스 기둥 교량

박스 기둥 교량은 흔히 나타나는 형태이며 실험 방법은 원형기둥과 동일한 방법을 적용하였다. 박스 기둥 교량에 의한 교각 상류에서의 수위 상승 효과는 6~19%가 되는 것으로 나타났다.

6) 긴 박스기둥 교량

실제에서의 박스기둥의 길이가 30.5m인 단일교량을 실험하였다. 긴 박스 기둥 교량에 의한 상류에서의 수위 상승 효과는 7~10%가 되는 것으로 나타났다.

7) 긴 박스기둥 교량에 원형 기둥이 있는 교량

앞에서 살펴본 긴 박스기둥 교량에 원형 기둥이 추가된 경우이며 교량이 가설된 후에 고가차도 등을 설치하기 위해 원형 기둥이 들어선 경우이다.

유량이 200 m³/sec 에서는 13%, 350 m³/sec 에서는 18%, 500 m³/sec 에서는 17% 정도의 수위상승 효과가 있었으며, 앞에서 실험한 긴 박스기둥 교량의 경우보다 원형기둥으로 인하여 6~8%의 수위 상승효과를 가져온 것으로 나타났다.

4.2 모형 장애물 형태에 따른 표면 유속의 변화

수리 실험실에서 표면 유속이 장애 구조물 형태에 따라 어떻게 달라지는가를 검토하기 위하여 수로 경사 1/1000을 대상으로 하였다. 수로내에 장애물이 없는 경우는 실제 하천의 유량이 200 m³/sec에서 하천의 유속은 3.46 m/sec, 350 m³/sec이면 4.47 m/sec,

500 m³/sec이면 5.04 m/sec로 유량이 많아짐에 따라 유속이 증가할 것으로 나타났다.

장애물 설치시에는 사각기둥 복개시의 유속이 가장 심하게 감소하여 200 m³/sec에서는 25%, 350 m³/sec에서는 31%, 500m³/sec에서는 34% 감소하는 것으로 나타났다. 그리고 원형기둥은 17~23%, 타원형은 11~20%, 박스기둥 교량은 7~17% 정도의 유속이 감소하는 것으로 나타났으며, 교량 모형 장애물중 박스기둥 교량에 의한 표면 유속이 가장 적게 영향을 받는 것으로 나타났다.

5. 결 론

도시화가 진행됨에 따라 유출계수의 증대로 인한 유출용적의 증가 및 첨두유량의 증가와 지체시간의 감소 등으로 인하여 내수에 의한 피해가 늘고 있다. 최근 우리나라 도시하천에서의 증가하는 하천 복개는 수리학적 관점에서 볼때 매우 불합리한 현상이 아닐 수 없다. 이에 본 연구에서는 도시하천의 교량 및 복개 구조물이 수로 흐름에 미치는 영향을 판단하기 위하여 수리 모형 실험을 하였다.

모형장애물 형태에 따른 수위 변화를 분석해 본 결과 사각기둥 복개시에 수위 상승이 현저하여, 구조물이 없는 자연 상태일 때의 수위보다 45%의 수위가 상승되었고, 긴 박스기둥 복개시에는 31%, 원형 교각에서는 23%, 타원형 교각에서는 14%, 박스 교각에서는 13%의 수위가 상승되는 것으로 나타났다. 또한 복개된 하천 단면에 추가적인 장애물이 들어서는 경우 그 장애물로 인하여 하천의 기능에 큰 문제를 일으킬 수도 있는것으로 판단되므로, 복개 단면에 추가되는 장애물에 대해서 수리적인 검토가 반드시 이루어져야 하겠다.

도시하천에 부득이하게 교량 설치 및 복개를 하고자 할 경우에는 박스 모양을 갖는 구조물이 수리적인 측면에서 양호한 것으로 판단된다.

이상에서 살펴본 바와같이 하천 구조물들이 수로 흐름에 크게 지장을 준다는 것은 명백한 사실이며, 이 때문에 도시하천에 구조물을 설치하고자 할 때에는 필수적으로 수리적인 영향 평가를 위해 신빙성있는 수리 모형 실험이나, 하천 구조물의 영향을 예측할 수 있는 컴퓨터 모형에 의한 수리 계산이 선행되어야 하겠다.

감사의 글

실험을 가능토록 지원해준 건설부 국립 건설시험소에 심심한 사의를 표합니다.

참 고 문 헌

1. 사당천 유역 저지대 침수 방지 실시 설계 보고서, 서울특별시, 1988.
2. 석계역 앞 주차장 조성공사 기본계획 및 실시설계 보고서, 노원구청, 1991.
3. 정릉천 하천 복개 주차장 실시설계 종합보고서, (주)미도파, 1992.
4. 구로공단역 환승 주차장 시설공사 종합보고서, 서울 특별시, 1991.
5. 도시 소유역 강우 유출 조사실험 연구, 국립 건설 시험소, 1991.
6. 도시 소유역 강우 처리법 조사 연구 (도시하천 흐름특성 변화의 실험적 연구), 국립 건설 시험소, 1992.
7. 도시하천의 치수 대책 및 관리방안 연구 - 서울시를 중심으로 -, 국토개발 연구원, 1991.
8. 埼玉縣 南部河川 改修 事務所, 株式會社, 建設技術 研究所, 都市河川 改修工事, 1975
9. 竹石和夫, 都市における 雨水排水對策の 現状と 課題, 新都市, 第41卷 9月號, 1987.
10. 建設廳大都市圏整備局, 都市内 水系周邊地域の 整備に 關する調査, 首都 改造計劃策定調査 研究資料, 1977.
11. Hydraulic Design Criteria, U.S. Army Corps of Engineers, 1988.
12. Chow, V.T., Open channel Hydraulics, Mcgraw-Hill, 1959.
13. Henderson, F.M., Open channel Flow, Macmillan Publishing Co., 1966.
14. Katopodes, N.D., "Two-dimensional Surges and Shocks in Open Channels", J. of Hydraulic Engineering Vol.110, No. 6, 1984, pp. 794-812
15. Katopodes, N.D., "A Dissipative Galerkin Scheme for Open-Channel Flow", J. of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 110, No.4, Apr. 1984, pp.450-466