

도시 소하천 합류부 흐름 변화의 실험적 연구

심기오* 이길춘** 전병호*** 유성현****

1. 서 론

도시의 인구집중으로 도시가 발달함에 따라 하천이 정비되어 우수거가 소하천에 합류되므로써 합류부의 흐름에 있어 많은 변화를 가져오게 된다. 우수시 하천의 소통능력을 향상시키기 위하여 하천정비 계획을 수립할때 하도의 지형과 유역의 제약 조건 및 경계성때문에 합류부의 적합설계에 미흡한 실정이다. 실제하천에서의 우수거는 조도계수가 작고 경사가 급하여 일반적으로 소하천의 유속보다 빠르다. 이러한 유속의 빠른 흐름이 유속이 느린 본류하천에 합류될때 합류부 상류에서 균일하게 유하되는 유체입자가 합류의 영향으로 입자는 교란되며 바닥의 낙차로 인한 에너지의 감소, 유속의 불균일, 유황의 불균일, 유량의 많은 차이, 본류와 지류와의 하천 바닥경사 불일치 등으로 인해 합류시 본류하천의 유속감소로 인한 수위의 상승과 지류의 내수배제 불가능으로 인해 저지대 지역 주민에게 많은 재산상의 피해를 유발하기도 한다.

따라서 많은 학자와 기술자들이 하천의 합류로 인한 수위의 상승을 예측하기 위하여 실험연구를 하였으나, 도시 소하천에 적용한다는 것에는 많은 문제점을 야기시킬것으로 판단된다. 그러므로, 본 연구에서는 도시 소하천과 우수거의 합류시 흐름 특성 변화를 지배하는 주요 인자들의 영향을 조사하여 실험에 적용하므로서 연구의 성과를 얻고자 한다.

2. 수리 모형실험

하천의 흐름은 자유수면을 갖는 흐름으로 중력에 의하여 지배된다. 그러므로

* 단국대학교 토목공학과 박사수료

** 단국대학교 공과대학 토목공학과 교수

*** 육군사관학교 토목공학과 교수

**** 건설교통부 건설시험소 수공과

다음과 같이 원형과 모형사이에 Froude의 상사율이 적용된다.

$$F_r = \frac{V_r}{\sqrt{g_r \cdot Y_r}} = 1 \quad \text{-----} \quad (1)$$

여기서, 첨자 r은 원형과 모형의 비를 나타내며 F는 Froude수, V는 유속, g는 중력가속도이고 Y는 수심을 나타내며, 원형과 모형에서의 상사비는 다음과 같다.

$$\text{유 량 축척 비 : } Q_r = X_r Y_r^{3/2} \quad \text{-----} \quad (2)$$

$$\text{하상경사 축척비 : } S_r = Y_r / X_r \quad \text{-----} \quad (3)$$

$$\text{조도계수 축척비 : } n_r = Y_r^{2/3} X_r^{-1/2} \quad \text{-----} \quad (4)$$

3. 모형의 결정

서울시 준용하천의 자료(표 1)를 이용하여 원형의 하폭을 30m, 본류의 경사를 1/500과 1/750로 결정하였으며 본류유량은 대부분의 하천이 50년 빈도를 택하고 있으므로, 200CMS와 350CMS를 택하였다. 지류의 유량과 경사는 본류의 유량과 경사를 고려하여 1/200과 1/400 및 20CMS, 50CMS, 70CMS를 선택하였으며, 직사각형 모양을 갖는 폭 6.25m로 하였다.

실험실의 여건 및 측정의 정확도를 고려하여 모형 하천의 길이를 14m, 지류하천의 길이를 2.4m로 하였으며 원형과 모형과의 축척비를 다음과 같이 결정하였다.

$$L_r = Y_r = 1/25 \quad \text{-----} \quad (5)$$

여기서, L_r은 길이축척비이고 Y_r은 수심축척비이다. 또한, 원형하천 폭(30m)을 식(5)에 대입하면 모형의 본류하천 폭은 1.2m가 되며, 지류하천 폭은 0.25m가 된다. 실험모형은 어느 특정구역의 합류하천을 모형화한 것이 아니라 일반적인 합류부의 흐름특성을 파악하기 위한 것이므로, 본류와 지류의 합류시 사이각은 30°와 60° 및 90°의 3가지 경우를 선택하였다. 본류와 지류의 바닥차는 현지답사를 실시하여 대표할수 있다고 판단되는 일반적인 실제하천 합류부에서 1m를 택하였으며, 이 값을 식(5)에 적용하여 모형에서는 4cm의 낙차를 적용하였다.

하천의 조도에 있어서는 완전히 개수된 직선수로 구간이며 하천의 단면이 균일한 단면을 갖는 이상적인 하천구간으로 가정하였으므로 원형에서의 조도계수를 n=0.021로 가정하였고, 이를 식(4)에 적용하여 모형하천에 이용하였다. 원형과 모형의 관계는 표 1.과 같다.

본류유량은 구형위로부터 지류유량은 유량이 작으므로 삼각형 위로부터 각각 유량을 공급하였다. 합류하천 하류부분에는 일류수문을 설치하여 조작하므로써 수심측정에 만전을 기하였다. 그림 1.에 합류부 하천 모형도와 축점위치(종단축점)를 나타냈다.

표 1. 원형과 모형의 관계

		원형	모형
수로 길이	본류	350 m	14.0 m
	지류	60 m	2.4 m
수로 폭	본류	30 m	1.20 m
	지류	6.25 m	0.25 m
수로 조도		0.021	0.012
본류와 지류 낙차		1.0 m	0.04 m
경사	본류	1/500	1/500
		1/750	1/750
	지류	1/400	1/400
합류사이각		90°	90°
		60°	60°
		30°	30°
유량	본류	200 CMS	64 l/sec
		350 CMS	112 l/sec
	지류	20 CMS	6.4 l/sec
		50 CMS	16 l/sec
		70 CMS	22.4 l/sec

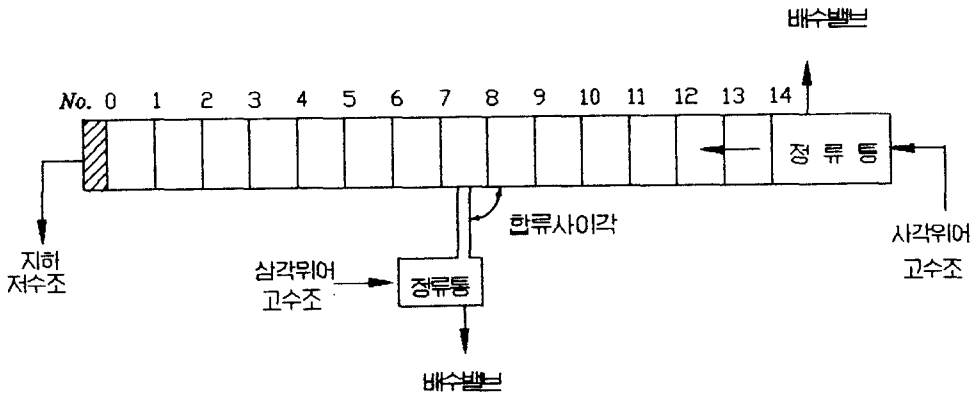


그림 1. 합류부 하천 모형도와 측정위치

4. 실험 내용

본류 및 지류 구간의 유량에 따른 각 측정점의 관측에 있어서 0.01mm의 정도를 갖는 수위계와 0.01cm/sec의 정도를 갖는 유속계를 사용하여 각 관측점에서의 수위와 유속을 관측하였다. 수위의 관측은 횡단 5개 관측점의 수면과 저면(바닥면)의 높이차를 평균하여 종단측점의 평균수위로 하였으며, 유속은 각 관측점에서 1점법($V_m=V_{0.6}$)을 사용하여 수위와 같은 방법으로 평균유속을 구하였다. 합류사이각(3가지), 본류경

사(2가지), 지류경사(2가지), 본류유량(2가지), 지류유량(3가지)에 따른 모형수로에서의 72가지 실험자료(수위, 유속)를 획득하였다. 또한, 지류가 없는 본류의 흐름이 등류일때 각 관측점에서의 수위와 유속을 측정하여 지류의 영향으로 인한 흐름 특성 변화의 기준으로 이용하였다.

5. 분석 및 실험 결과

관측자료를 가지고 각 횡단측점에 대한 수위와 유속의 평균을 종단측점별로 구하여 실험관측자료로 이용하였다. 이러한 평균값(h)을 가지고 지류의 유입이 없는 본류의 하천이 등류일때 수심(H=1.0)을 기준으로 관측점에 대한 수심비(h/H)를 계산하였으며, 각 경우(72가지)의 최고수심비를 표 2.에 나타내었다.

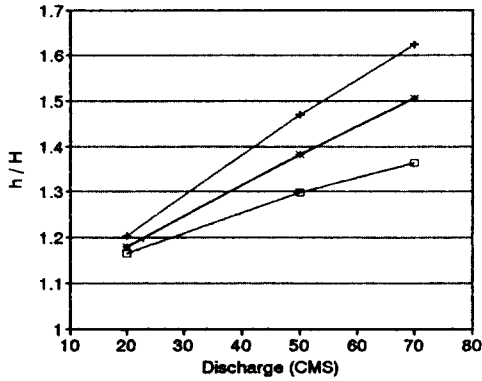
이값을 유량과 경사 및 사이각에 따라 나타내보면 그림 2.와 같다. 그림에서 +는 본류와 지류와의 사이각이 90°, *는 60°, □는 30°를 나타내며, 가로축(X축)은 지류의 유량을 의미한다.

본류의 경사가 1/500이며 본류 유량이 200CMS의 경우에 합류사이각에 대해서는 지류의 유량과 사이각이 증가할수록 수심비의 값이 점차적으로 큰 증가를 나타내고 있다. 본류유량이 350CMS인 경우에도 200CMS때와 그 경향은 같게 나타났으나 증가의 폭은 대단히 둔화되어 나타났다. 본류의 경사가 1/750인 경우에도 수심비(h/H)는 1/500인 경우와 같은 경향으로 나타났으나, 1/500인 경우에 비하여는 다소 작은것으로 나타났다.

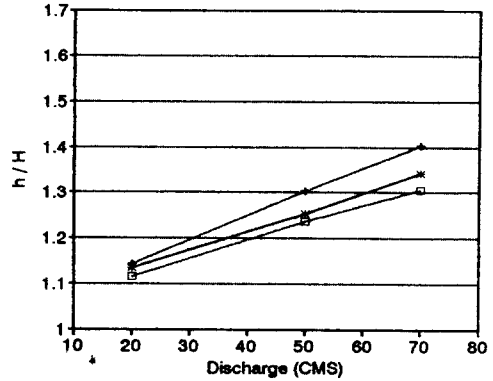
위 결과에서 볼때 본류의 경사와 유량, 지류의 유량 및 합류시의 사이각에 따라서 수위상승비가 변하는것을 알수 있었다. 또한 본류 및 지류의 경사가 작을수록

표 2. 합류부의 최고수심비(h/H)

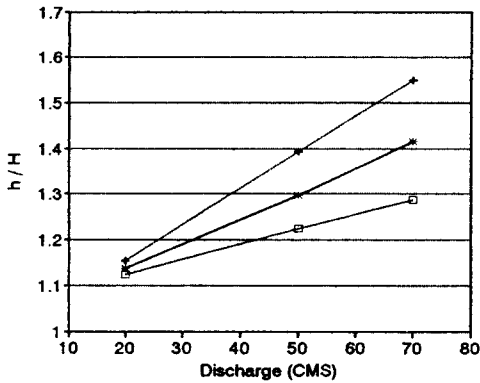
본류		지류		합류 사이각		
경사	유량	경사	유량	90°	60°	30°
1/500	200CMS	1/400	20CMS	1.205	1.180	1.165
			50CMS	1.469	1.382	1.299
			70CMS	1.624	1.505	1.364
	350CMS	1/400	20CMS	1.143	1.135	1.116
			50CMS	1.303	1.254	1.237
			70CMS	1.402	1.342	1.307
1/750	200CMS	1/400	20CMS	1.155	1.137	1.125
			50CMS	1.393	1.298	1.225
			70CMS	1.550	1.415	1.288
	350CMS	1/400	20CMS	1.096	1.077	1.066
			50CMS	1.187	1.169	1.141
			70CMS	1.277	1.226	1.186



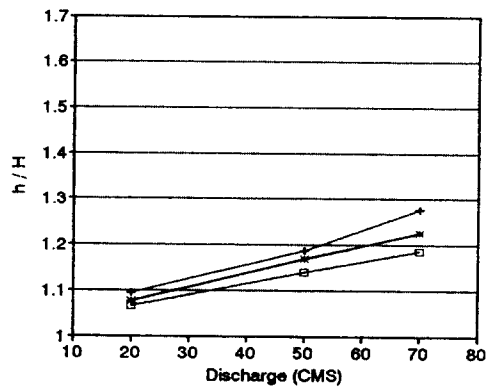
가) 본류 경사 1/500, 유량 200CMS
지류 경사 1/400



나) 본류 경사 1/500, 유량 350CMS
지류 경사 1/400



다) 본류 경사 1/750, 유량 200CMS
지류 경사 1/400



라) 본류 경사 1/750, 유량 350CMS
지류 경사 1/400

그림 2. 사이각에 따른 수심비(h/H)

수심비의 증가는 작게 나타났으며, 본류 유량이 작은 경우에는 지류에 의한 수심비가 크게 나타났고, 본류 유량이 큰 경우에는 상승비가 작게 나타났다. 지류의 경사에 대해서는 상승비의 값은 작은 변화를 나타내었고 지류경사가 작은 경우 영향은 작게 나타났다.

합류각도에 대해서는 지류의 유량이 적은 경우(20CMS)에는 모든 경우가 뚜렷한 변화의 차이는 없었으나 지류 유량의 증가와 더불어 사이각에 따른 수심비의 차이가 합류사이각의 크기에 비례하여 점점 크게 나타났다.

그러므로, 도시 소하천의 우수거의 합류부 설계에 있어 본류 하천의 경사와 유량에 따른 지류의 유량과 경사 및 합류부의 각도를 고려하여 합류시에 본류하천의 흐름소용이 원활하도록 설계하여야 겠다.

6. 결 론

도시 소유역 하천에서 우수거(지류)의 합류로 인한 소하천(본류)의 흐름변화를 실험 관측하였으며, 관측한 결과는 다음과 같다.

1) 본류하천의 경사에 대해서는 경사가 급할수록 수심비가 최대 1.62로 지류가 없을때보다 수심이 62% 증가하는것으로 나타났으며, 본류의 유량에 대해서는 본류유량이 많을수록 수심비는 작게 나타났다.

2) 합류사이각에 대해서는 사이각이 작을수록 수심비가 작은값을 나타내고 있다.

3) 합류부의 흐름특성 요인들 중에서 합류사이각에 따른 수심비를 설계에 고려하여 도류제 등의 구조물을 설치하여 하천의 소통능력을 향상시켜야 하겠다.

참 고 문 헌

- 1) 단대천(수진교~은행교간) 복개공사 기본설계 종합보고서, 성남시, 1991.
- 2) 도시 소유역 강우 처리법 조사연구 (도시하천의 설계강우분포 및 합류부의 흐름특성 실험연구), 건설부 국립건설 시험소, 1993.
- 3) 도시홍수 재해방지를 위한 내수처리 시스템 분석 및 설계기법의 개발, 한국과학재단, 1992.
- 4) 서울시 관내 하천제방 안전도 검토 및 치수 종합대책수립 기본계획 보고서, 서울특별시, 1992.
- 5) Amruthur S. Ramamurthy, Luis B. Carballada, Duc Minh Tran, "Combining Open Channel Flow at Right Angled Junctions", *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol.114, No.12, 1988. pp. 1449-1460.
- 6) James L. Best, Ian Reid, "Separation Zone at Open-Channel Junctions", *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol.110, No.11, 1985. pp. 1588-1594.
- 7) Willi H. Hager, "Transitional Flow in Channel Junctions", *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol.115, No.2, 1989. pp. 243-259.