한국방재학회논문집
제6권 4호 2006년 12월
pp. 49 ~ 56

하천 합류부 주변내 하수관거 방류조건에 따른 수위 및 유속 영향분석

Analysis of Water Depth and Velocity through Discharge Condition from Sewerage Outlet at Near Channel Junction

정 연 중* / 최 계 운** / 김 영 규*** / 조 상 욱****
Chung, Yeon-Jung / Choi, Gye-Woon / Kim, Young-Kyu / Cho, Sang-Wook

Abstract

The rainfall runoff is drained through sewerage outlet at urban area. But, there is no guideline or standard to install sewerage outlet, so the sewerage outlet are designed or installed by discretion of engineers or constructors. In this paper, for the sake of supporting basic data to design, it would be suggested a guideline for less influenced to flow at the channel flow condition through hydraulic experiment by variation of lateral inflow discharge, sewerage outlet projecting part, sewerage outlet direction and position. Through 10 cases of experiments, it would be less influenced two sewerage outlet at up and down stream than one installed at up or down stream even though the same discharge. And installed conditions which are installed angle and protecting part will be influenced to increase water depth and to decrease velocity at upstream. So when sewerage outlet is installed , it would be try to find a installing way to be less influence with more careful.

key words : Install Sewerage Outlet, Channel Junction, Discharge of Rainfall Runoff

요 지

도시지역의 우수를 배제하기 위한 방법으로 토구를 이용하여 하천으로 방류하고 있다. 그러나 이러한 토구를 설치 할 때 국내설계기준에는 어떠한 기준이나 제안이 없이 설계자나 시공자의 임의로 만들어 지고 있는 실정이다. 본 연구에서는 토구를 설치하는 방법에 대한 기초적인 자료를 제공하기 위하여 토구 방류 유량에 따른 흐름 변화 및 설치 각도, 돌출정도, 그리고 설치 위치에 따른 흐름변화를 실험을 통하여 분석함으로써 흐름에 보다 영향을 적게 미치는 토구설치 방법을 제안하였다. 총 10가지 경우에 대한 실험을 통하여, 같은 유량을 방류함에 있어서 한 곳으로의 방류보다는 상·하류 등으로 분리하여 방류하는 것이 흐름에 영향을 적게 미치는 것으로 나타났으며, 설치 각도 및 돌출에 따라 상류지역의 수위 상승 및 유속 감소 등의 현상이 나타나 토구 설치 시 보다 신중하고 흐름에 방해가 되지 않는 방향으로 설치할 수 있는 방안을 강구해야 한다.

핵심용어 : 토구설치, 합류 하천, 우수 방류

* 인천대학교 공과대학 토목환경시스템공학과 박사과정 (e-mail: chungyj@incheon.go.kr)
** 정회원 · 인천대학교 공과대학 토목환경시스템공학과 교수
*** 인천대학교 공과대학 토목환경시스템공학과 박사과정
**** 인천대학교 공과대학 토목환경시스템공학과 석사과정

1. 서 론

인구가 증가하고 도시가 발달함에 따라 삶의 질을 향상시키기 위해 기존의 도시를 정비하거나 새로운 도시를 개발하고 있다. 낙후된 도시를 정비 시 또는 새로운 도시를 개발할 때, 도심내 우수를 배재하기 위한 방법으로 펌프장 및 우수관을 통해 하천으로 방류하는 방식을 많이 사용하고 있다. 그러나 현재까지는 이러한 우수를 하천으로 배재하기 위해 우수토구설치 시 일정한 기준이나 가이드라인이 없이 공사 설계자나 시공자의 임의 판단에 따라 설치를 해왔다. 또한, 주변지역의 지속적인 도시화에 따른 도시의 불투수층 증가는 유역의 유출계수의 증가로 나타나고 이로 인하여 유달시간이 감소 및 우천시 토구를 통하여 다량의 빗물이 하천으로 유입되어 하천흐름에 큰 영향을 미치게 된다.

지금까지 연구에서도 도시 소하천에서의 하천 구조물이나 우수관거가 흐름 변화에 영향을 유발시키기 때문에 이에 대한 대책을 수립하도록 지속적으로 연구, 조사되었다. 전병호(1992)는 하천의 수위 상승에 의한 피해를 예방하기 위해 합류부 흐름특성을 연구하고 이를 근간으로 하천정비계획을 수립해야 한다고 하였으며, 심기오(1996)는 우수관거와 하천구조물을 이용하여 우수관거의 유량비 및 경사에 따른 흐름변화를 분석하였다. 그러나 이러한 연구들은 합류부에 대한 문제점을 제시하였을 뿐 아직까지 해결책을 제시하고 있지 않다. 또한 토구 설계에 대한 어떠한 가이드 라인이나 설계지침은 하천에 관한 설계 기준이 되는 하천설계기준(2005, 한국수자원학회)이나 하수관 설계에 기본이 되는 하수도시설기준(2005, 한국수도협회)에서 전혀 제시되고 있지 않은 실정이며, 설계자 임의의 판단에 의해 시공되면서 홍수 유발의 한 가지 원인이 되고 있다. 일본의 경우도 국내와 비슷하게 하수도법, 하수도법 시행령 및 시행규칙 등으로 구성되어 있으나 수질에 대한 언급이 있을 뿐 토구설치에 관한 사항은 언급되어 있지 않다.

따라서 본 연구는 도시하천에서 횡방향으로 유입되는 시설인 토구의 유입조건 및 위치에 따른 흐름변화에 관한 분석을 위하여 본류와 지류가 만나는 합류부를 가진 수로를 구성하고 토구설치의 위치, 돌출정도 및 방향 등에 따른 수리특성 변화를 분석하였다. 특히 합류부 상, 하류 및 토구설치 맞은편 제방부분의 수위와 유속변화를 분석하여 실제 적용시 유입조건 및 위치가 하천의 본래의 흐름에서 수위에 어떠한 영향을 미치는지 실험을 통하여 분석하고자 한다.

그림 1. 돌출로 인한 흐름방해

그림 2. 과다설계로 인한 흐름방해

2. 토구모형실험장치 구성 및 실험방법

2.1 실험장치의 개요

다양한 토구 설치 형태에 따른 분석을 위하여 실험장치는 크게 유량유입수조, 상류부 수로, 토구, 합류부, 하류부 수로 등의 5단계로 제작되었으며, 10㎜ 투명아크릴을 사용하여 흐름 상태를 파악할 수 있도록 하였다. 전체 수로폭은 100㎝로 하였으며, 하도 폭은 40㎝, 제방은 1:1 경사의 사면을 지닌 사다리꼴 단면으로 구성하였으며, 합류부를 구성하는 본류와 지류의 합류되는 각은 120° 로 고정하였다. 본 실험장치의 총 연장은 약 14m이며, 실험 시 편의상 좌측상류를 본류로 설정하였고 우측상류는 지류로 설정하였다. 그림 3은 모형실험장치의 전체 모형도와 제원을 나타내고 있다.

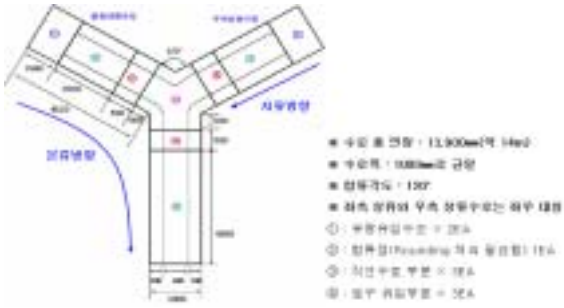


그림 3. 모형실험 장치 모형도

2.2 실험 수로

실험 수로의 안정적 설치를 위하여 앵글을 이용하여 바닥을 구성하였으며 이때 하도경사는 없는 것으로 하여 실험시 에너지 경사에 의해 물이 하류로 흘러 갈 수 있도록 하였다.

본 실험에 사용된 수로는 총 8개로 구성되어 있으며 그림 4에서 보는 바와 같이 각 수로의 연결부분에는 단차가 생기지 않도록 수로 외부에서 볼트를 이용한 접합방식을 채택하였고 내부에는 셀로판테이프를 사용하여 미세한 단차에서 물이 부드럽게 흐를 수 있도록 하였다. 또한 합류부는 실제 하천과 유사하게 재현하기 위해 라운딩처리하여 급격한 꺽임에 의한 흐름의 변화를 최소화하였다.

수로 전체에서 유속 측정을 위한 필요수심인 10㎝ 이상을 유지하기 위하여 수로 말단에 5㎝ 높이의 위어를 설치하여 충분한 수심이 나오도록 하였으며 이로 인해 발생되는 영향을 최소화하기 위하여 토구 설치 후 수로길이를 4.8m로 구성하였다. 그림 5는 수로전체의 모습을 나타내고 있다.

유량유입수조 제작은 KS B6302(펌프 토출량 측정방법)에 따라 제작되어졌으며 설치된 모습은 그림 6과 같다. 측정 가능 유량은 0.0035~0.0916㎥/sec이며 실험공간의 부족으로 인하여 수로 상단에 설치하였으며 낙차후 발생하는 난류를 최소화하도록 정류판을 이용하여 물을 공급하였다.

2.3 토구

본 연구에서는 그림 7에서 보는 바와 같이 수로 내 토구설치에 따른 영향을 파악하기 위해서 합류부 상, 하류에 각각 토구를 설치할 수 있는 보조 수로를 설치하였으며 이 보조수로를 이용하여 토구의 돌출 정도 및 돌출각도 등을 변형시킬 수 있게 하였다. 토구설치시 최대한 조도계수가 변하지 않게 주의하였으며 개수로 상태의 흐름을 유지하기 위하여 따로 유량유입수조를 구성하였다. 유량조절은 순간측정 유량계와 Ball형 밸브를 통해 유량조절을 하도록 구성하였다.

토구는 10㎝ 원형관의 형태로 결정하였으며 실험수로의 제방 중간위치에 설치하였다. 또한 토구의 재질을 투명아크릴로 제작하여 토구내의 흐름을 육안으로 확인할 수 있도록 구성하였다.

2.4 실험 방법

실험에서 사용된 유량은 본류와 지류 유량비를 1:1 동일 유량으로 공급하였으며 하류 5㎝ 위어를 설치하여 토구가 잠기는 수위까지 유량을 공급하였으며 이때의 유량은 본류와 지류 각 62.5㎥/hr(0.0174CMS)이다. 토구 유량의 경우 합류 후 유량의 4%에 해당하는 5㎥/hr을 공급하였으며 두 개의 토구로 유량을 공급할 경우 각 2.5㎥/hr의 유량을 공급하였다.

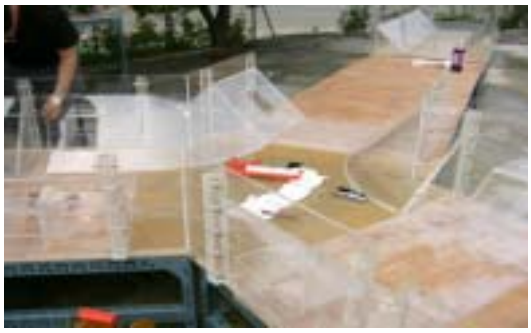


그림 4. 수로 합류부 모습

그림 5. 실험 수로 전경

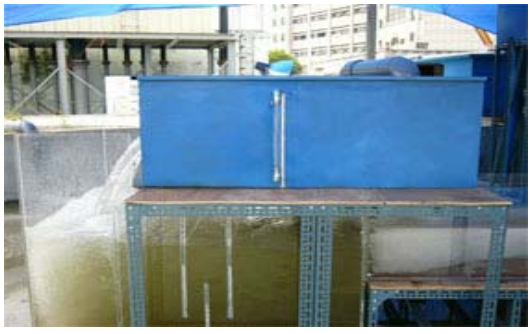


그림 6. 유량 유입 수조 모습

그림 7. 수로에 설치된 토구 모습

토구설치에 따른 흐름분석을 위해 설치전의 흐름현상을 분석하기 위한 합류부 본류 좌안쪽으로 신도시가 건설될 경우 우수배출을 위해 토구가 설치하는 것으로 가정하여 실험 경우의 수를 분석하였으며 토구유입이 없는 경우를 제외하고 실험 가정을 총 12가지로 하여 진행하였다. 각 실험 경우에 대한 내용은 표 1과 같다.

그림 8은 모형실험장치의 실제 구성모습과 유속 및 수심을 측정한 측점위치를 도시한 그림이다. 측점단면 구성은 본류 21개 단면, 지류 10개 단면, 합류 9개 단면 총 40개 단면에 대하여 유속과 수심을 측정하였으며 각 단면에서 일정한 간격으로 수로바닥부분 5개 지점, 양 제방부분 각 2개 지점의 9개의 측점을 배분하여 총 274개의 동일한 지점에서의 수심과 유속을 측정하였다. 흐름특성에 큰 변화가 없을 것으로 예측되는 본류 및 지류상류 부분과 본류 하류부분의 직선구간에서는 측점단면의 간격을 넓게 결정하고 토구유입부분과 합류부분에 측점을 세분화하여 토구설치부분과 합류부에서의 국부적인 현상을 자세히 측정할 수 있도록 하였다.

3. 실험 결과 및 분석

3.1 토구 유입 유량 변화에 따른 흐름 변화

상류의 유량을 고정시키고 합류부 하류에 설치된 토구를 통하여 유량을 변화시키면서 토구의 유입유량이 수로흐름에 어떠한 영향을 미치는 지에 대하여 분석하였다. 본 연구를 위하여 토구 유입유량을 본류와 지류에서 내려오는 유량인 125㎥/hr의 2%인 2.5㎥/hr씩 증가시키면서 2%, 4%, 6% 토구유입유량일 때의 흐름변화를 분석하였다.

토구유입유량이 없을 경우는 합류 전후 모두 일정한 수위를 나타내고 있으며 유속 또한 수로의 중앙부가 가장 빠르게 나타나는 일반적인 흐름 현상을 나타내고 있었다.

토구를 통하여 유입되는 유량이 2%, 4%, 6%로 증가할 때 마다 토구 설치 상류의 평균 수위는 토구설치전에 비하여 0.9%, 1.9%, 2.8%로 각각 증가하는 것으로 나타났다. 그러나 토구 설치 하류에서는 급격한 수위 저하로 인하여 각 유입 유량에 대하여 미 설치시의 평균 수위에 비하여 1%, 1.5%, 2.5% 씩 국부적인 수위 감소가 나타나는 것으로 측정되었다. 즉, 토구설치 상 하류간의 수위차이는 1.9%, 3.4%, 6.3%로 유입유량이 증가함에 따라 수위차가 크게 발생하는 것으로 나타났다(그림 9참조).

이러한 변화는 유속 분포에서 더욱 확연히 나타나고 있다. 그림 10에서와 같이 토구의 유입 유량이 증가함에 따라 토구에서 유입되는 유량이 흐름을 간섭하여 토구가 설치된 곳에서의 상류지점은 점차 유속이 감소되는 것으로 나타났으며 하류에서는 토구에서 방류될 때의 유속과 상류에서 내려오는 물의 유속이 합해져서 점차 빨라져 6% 토구유입이 있을 경우 평균 17.2%, 최대 44.9%까지 유속이 증가하였으며, 그림 11에서 보는 바와 같이 최대 유속이 나타나는 지점의

표 1. 실험 경우의 수

토구 설치	유 량 (㎥/hr)		유 량 (㎥/hr)		비 고
	본류	지류	상류	하류	
토구 유량 변화	62.5	62.5	–	–	
	62.5	62.5	–	2.5	
	62.5	62.5	–	5.0	
	62.5	62.5	–	7.5	
돌출 정도 변화	62.5	62.5	–	5.0	돌출 5㎝
	62.5	62.5	–	5.0	돌출 10㎝
설치 각도 변화	62.5	62.5	–	5.0	상류 15°
	62.5	62.5	–	5.0	하류 15°
설치 위치 변화	62.5	62.5	5.0	–	
	62.5	62.5	2.5	2.5	
	62.5	62.5	–	5.0	

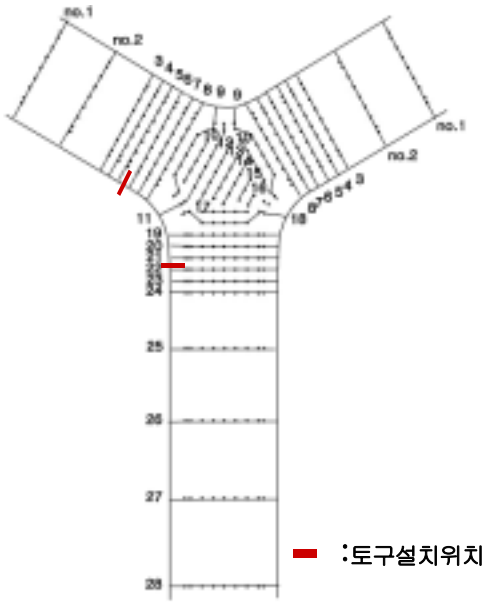


그림 8. 수위 및 유속측정 지점

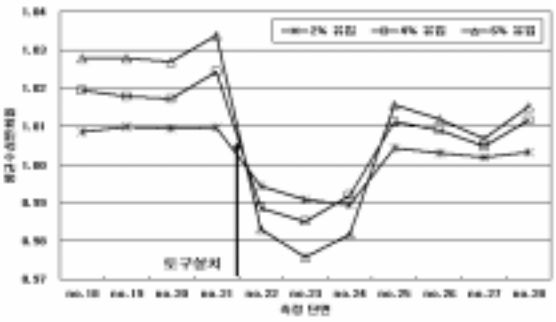


그림 9. 토구유입유량에 따른 평균수심변화

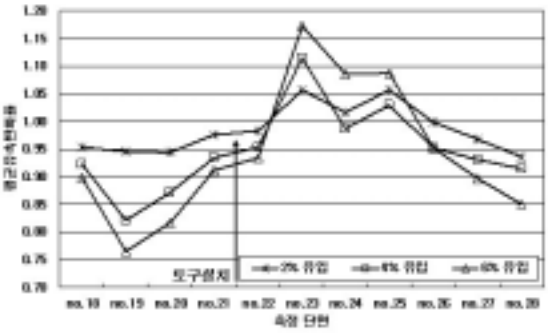
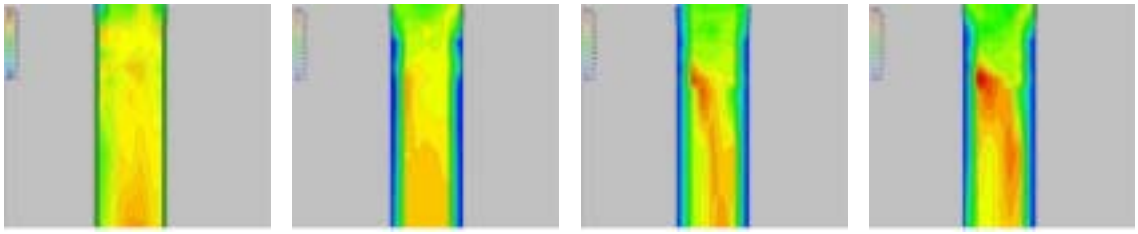


그림 10. 토구유입유량에 따른 평균유속변화



(a) 토구유입없음 (b) 토구유입2.5㎥/hr (c) 토구유입5.0㎥/hr (d) 토구유입7.5㎥/hr

그림 11. 토구유입유량별 유속변화

경우도 중앙부에서 토구가 설치된 반대방향으로 이동되는 것으로 나타나 과도한 유량이 유입될 경우 반대쪽 제방의 안정에 크게 영향을 미칠 것으로 판단된다.

3.2 토구 돌출 정도에 따른 흐름 변화

실제 하천에서 토구가 설치된 사례를 보면 제작된 일정 길이의 토구를 그대로 이용하다보니 일부 하천에서 토구가 일부 돌출 되는 경우가 종종 발생한다. 이러한 경우 어떤 영향을 미치는 지에 대하여 분석하기 위하여 하폭의 제방끝단에 설치된 경우를 기준으로 제방끝단으로부터 하도폭의 12.5%, 25% 돌출한 경우에 대하여 분석하였다. 토구의 설치는 하류부에 1개의 토구를 설치하였으며 토구방류유량은 5.0㎥/hr로 일정하게 하여 실험을 하였다.

토구가 돌출됨에 따라 상류부분과 합류부분에서는 하류토구의 흐름방해로 인해 수심이 상승되었다가 하류부에 토구가 설치된 부분부터는 다시 수심이 낮아지는 흐름특성을 보이고 있으나 단면 최대 수심이나 평균 수심이 25% 돌출 시 토구설치 직하류 단면을 제외하고 차이가 ±1%를 넘지 않는 것으로 측정되었으며 수위최대 변화 또한 모든 경우에서 4% 내외의 증가율이 나타나 수위에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다(그림 12참조).

유속의 경우 토구 설치 상류부에는 특별한 영향을 나타내고 있지 않으나 직하류의 경우 25% 돌출시 0% 돌출에 비하여 24% 유속 증가율을 나타내고 있

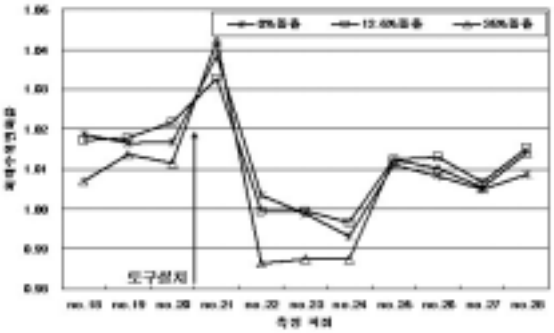


그림 12. 토구돌출에 따른 최대 수심변화

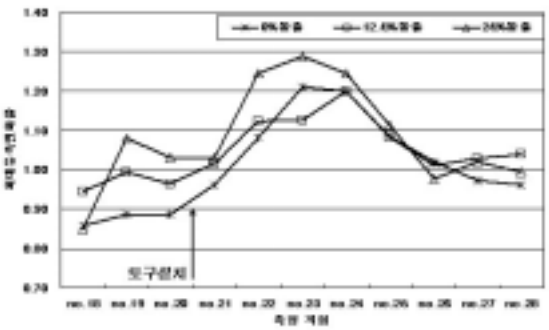
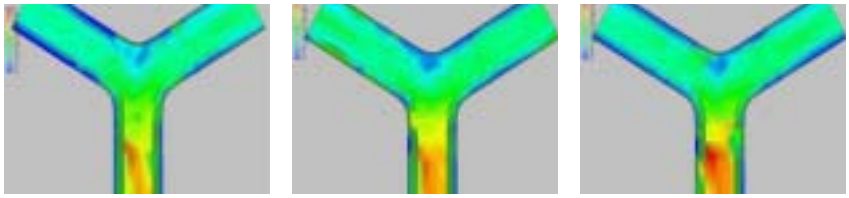


그림 13. 토구돌출에 따른 최대 유속변화



(a) 0% 돌출시 유속 (b) 12.5% 돌출시 유속 (c) 25% 돌출시 유속

그림 14. 토구 돌출정도에 따른 흐름특성

으며 12.5%에 비해서도 12%의 유속증가율을 나타내고 있다. 그러나 그림 14에서 보는 바와 같이 돌출될 경우 돌출의 길이가 증가함에 따라 수로 단면에서 유속이 가장 빠른 구간이 하도 중앙에서 토구가 설치된 반대쪽 제방쪽으로 이동하는 것을 볼 수 있다. 빠른 유속으로 인하여 반대쪽 제방에 세굴을 발생시키는 등의 영향이 나타날 것으로 사료되며, 평균적인 수위 변화나 유속변화에 큰 영향이 없지만 가급적 토구 돌출을 지향해야 될 것으로 판단된다.

3.3 토구 설치 각도에 따른 흐름 변화

토구가 설치되는 각도에 따른 하천 흐름 변화를 분석하기 위하여 하천 흐름에 직각되는 방향을 0° 로 하였으며 이것을 기준으로 상류측으로 15° , 하류측으로 15° 방류될 수 있도록 실험 장치를 구성하였다.

그림 16과 17은 토구를 설치하지 않은 경우에 대하여 토구 설치 방향을 다르게 한 경우 수위 및 유속 변화율을 나타내고 있다.

평균 수심의 경우 직각방향으로 설치된 경우와 토구를 15° 상류방향으로 방류되도록 설치된 경우 모두 토구 미설치시에 비하여 3% 내외의 수위 변화를 나타내고 있으나 두 경우 모두 비슷한 수위변화를 나타내고 있다. 그러나 그림 15에서 보듯이 토구를 15° 하류방향으로 설치한 경우 직각이나 상류방향으로 설치되는 경우에 비하여 측정단면에서 약 1% 내외의 수위 저감 효과를 나타내고 있다.

또한 유속의 경우 15° 상류방향으로 방류되는 경우 미설치시에 비하여 상류측으로 25%까지의 유속 감소

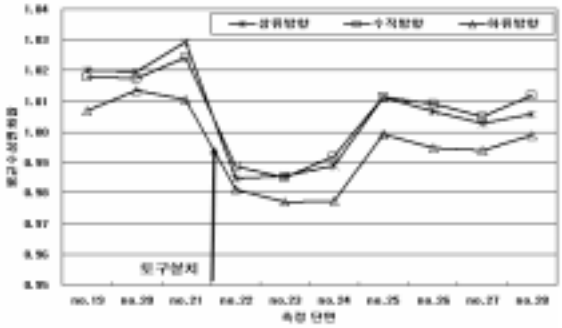


그림 15. 토구설치각도에 따른 평균수심변화

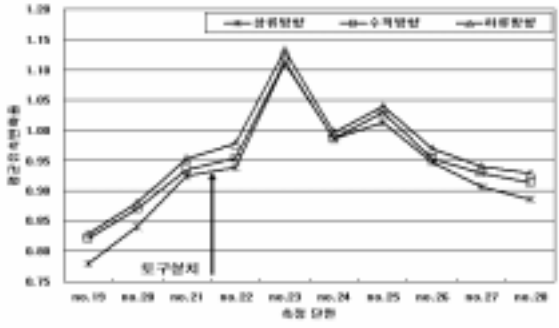


그림 16. 토구설치각도에 따른 평균 유속변화

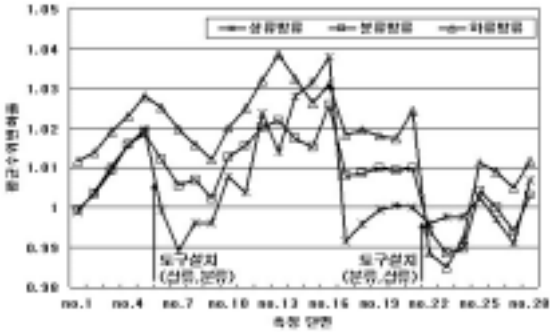


그림 17. 토구설치위치에 따른 수위변화율

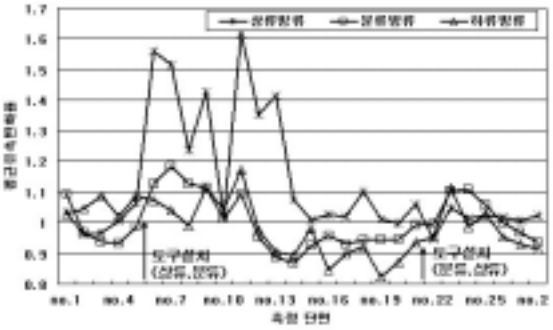


그림 18. 토구설치위치에 따른 유속변화율

현상이 나타나고 있으며 하류 또한 약 11% 유속감소 효과가 나타나고 있다. 그러나 수직방향이나 15° 하류방향으로 토구를 설치 할 경우 두 경우 모두 비슷한 유속 변화율을 나타내고 있으며 토구 미 설치시에 비하여 상류측에서 20%정도의 유속 감소 현상이 나타나고 하류의 경우 8% 유속 감소효과가 나타나고 있다. 즉 하류방향으로 설치할 경우 다른 경우에 비하여 유속증가현상도 크게 나타나지 않는 반면 토구 설치 상 하류로 수위 저감효과가 나타날 수 있는 것으로 사료된다.

3.4 토구 설치 위치에 따른 흐름 변화

토구의 설치위치에 따른 수심변화를 측정하기 위해 토구의 위치를 본류상류에만 설치 한 경우, 본류상류/본류하류에 분산설치 한 경우, 본류하류에만 설치 한 경우 등으로 나누어 실험을 실시하였다. 앞의 실험과 동일하게 본류와 지류의 유입유량은 각각 62.5㎥/hr로 고정하였으며, 토구 유입 총유량은 5.0㎥/hr로 하여, 2개 분산 설치시 각각 2.5㎥/hr씩 유입시켜 실험을 진행하였다.

상류에 1개의 토구를 이용하여 5.0㎥/hr의 유량을 방류할 경우 유입되는 유량에 비해 상대적으로 많은 유량이 유입되기 때문에 토구가 설치되는 지점에서 갑작스런 수위 및 유속 변화를 나타내고 있으며, 특히 유속의 경우 토구가 설치된 직하류 단면에서 50%이상의 유속증가를 나타내고 있다. 하류에 1개의 토구를 설치하여 5.0㎥/hr 유량을 방류할 경우 다른 경우에 비하여 상류 전체 구간에 약 1% 이상의 수위 상승효과를 나타내고 있으나 평균 유속의 경우 큰 영향이 나타나고 있지 않다. 그러나 같은 유량을 상류와 하류에 분할하여 방류할 경우 다른 경우에 비하여 적은 수위 변화를 나타내고 있으며 유속의 경우 또한 다른 경우와 달리 변화폭이 크지 않은 것으로 나타났다. 이와 같은 수위 및 유속 변화를 분석할 때 같은 유량을 방류할 경우 하나의 토구를 이용하여 하천에 방류하는 것보다 가급적 유량을 분리하여 방류하는 것이 하천 흐름에 많은 영향을 미치지 않는 것으로 사료된다.

4. 결 론

본 연구는 토구설치에 따른 수로의 흐름 변화를 분석하기 위하여 토구의 방류 유량변화 및 돌출정도, 설치각도 및 위치를 변화시키면서 수리실험을 실시하였으며 실험의 결과로부터 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 토구의 유입유량이 증가함에 따라 토구 설치 상류의 수위가 높아지고 하류의 유속은 빨라지는 것으로 나타났으며, 유입유량이 증가함에 따라 최대 유속이 나타나는 지점이 점차 반대쪽 제방으로 이동되는 것으로 나타났다.
2. 토구 돌출 비율이 점차 증가됨에 따라 토구유입부분에서 통수단면적 감소로 인한 유속증가 현상이 일어나며 토구를 통해 방류되는 방류수는 맞은편 제방부분까지 직 간접적인 영향을 미치는 것으로 판단할 수 있다.
3. 토구를 하류방향으로 설치 할 경우 흐름에 직각방향 또는 상류방향으로 설치하는 것 보다 유속은 약 15% 감소 또는 5% 증가하였고 수심은 1% 내외의 증가 또는 감소하는 것으로 나타나 토구설치시 흐름방향을 고려해서 설치해야 할 것으로 판단된다.
4. 제방에 토구를 설치 할 경우 상류 또는 하류에만 토구를 설치하였을 경우 토구가 설치된 직하류의 유속변화에 크게 영향을 미치고 있으며 특히 하류 토구를 설치 시 상류의 수위를 전체적으로 상승시키는 경향을 나타내고 있다. 따라서 합류부에 토구를 설치 시 가급적 상, 하류로 분리하여 설치하는 것이 수위 및 유속에 적은 영향을 미치며, 1개소만 설치가 가능한 경우 합류부 수위상승 부분에서 하류 쪽에 토구를 설치하는 것보다는 상류 쪽에 설치하는 것이 보다 흐름에 영향을 덜 미치는 곳으로 제안할 수 있다.

감사의 글

본 연구는 인천지역환경기술개발센터의 2006년도 연구개발사업지원(06-1-30-33)에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

건설교통부 (2005). 하천설계기준·해설.

산업표준심의회 (1996). KS B 6302 펌프 토출량 측정 방법.

심기오, 이길춘 (1995). 도시 소하천 합류부 수심변화에 대한 실험연구, 한국수자원학회 논문집, , 한국수자원학회, 제 28권 제 3호, pp. 197~204

심기오 (1996). 도시 소하천의 합류 및 구조물로 인한 흐름특성의 변화, 단국대학교 박사학위논문

전병호 (1992). 도시유역의 홍수유출배제를 위한 우

수관거 설계와 흐름해석에 관한 연구, 한국과학재단, KOSEF 90-0700-05
최계운, 김영규, 정연중, 한현준 (2006). 합류하천내 토구설치에 따른 하도 수심상승 효과분석. 한국방재학회 학술발표회 논문집, 한국방재학회, pp. 253~258
최계운, 김영규, 한현준 (2005). 합류하천에서 토구설치에 따른 유속 및 수심 변화에 때한 연구. 인천대학교 논문집, 인천대학교, 제31집, pp. 419~430
한국상하수도협회 (2005). 하수도시설기준.
환경부 (1999). 하수도법.
환경부 (1999). 하수도법 시행규칙.
日本國土交通生 (2005). 下水道法
日本國土交通生 (2004). 下水道法施行令
日本國土交通生 (2004). 下水道法施行規則

◎ 논문접수일 : 2006년 09월 06일
◎ 심사의뢰일 : 2006년 09월 06일
◎ 심사완료일 : 2006년 10월 23일