

나선식 종경사형 유입구 수위-유량 관계 검토

Investigation on the Stage-Discharge Relation in Inclined Spiral Intake

이동섭*, 김창완**

Dong Sop Rhee, Chang Wan Kim

요 지

지하방수로는 도시의 지하에 대규모 수로 터널을 시공하여, 도시 지역에 발생한 집중 호우를 초기에 배제하여 제내지 침수 피해를 줄이는 목적으로 사용되는 대표적인 구조적 홍수 피해 경감 대책이다. 효과적으로 침수 피해를 줄일 수 있을 뿐만 아니라, 특히 지하에 설치되어 토지 수용에 대한 부담이 줄어들기 때문에 일본 등지에서 최근 주요 홍수 방어 대책으로 활용되고 있다. 지하방수로 유입부는 크게 접근수로, 유입구, 수직 갱도(vertical shaft)로 구분되며, 접근 수로를 통하여 유입된 흐름은 유입구를 통하여 가속된 후 수직 갱도로 유입되게 된다. 따라서 지하방수로의 배제 능력을 평가하기 위해서는 유입구에서의 유량 및 흐름 특성을 정확히 평가하는 것이 매우 중요하다. 나선식 종경사형 유입구(inclined spiral intake)는 지하방수로 유입구 중 가장 일반적으로 사용되는 형식으로 나선식 유입구의 한 형태로 유입구의 외측 또는 중앙선을 따라서 일정한 경사를 주어 사류 유입 흐름을 유도함으로써 유량 배제 효율을 높인 형태이다. 나선식 종경사형 유입구도 일반적인 나선식 유입구와 마찬가지로 접근수로 수위를 측정하여 유입량을 예측할 수 있다.

본 연구에서는 수리 모형 실험을 통하여 나선식 종경사형 유입구에 대한 수위-유입량 관계를 검토하였다. 평탄한 입구를 가지는 안내벽이 있는 형식의 유입구 모형을 이용하여 수위-유입량 관계를 검토하였다.

핵심용어 : 나선식 종경사형 유입구, 유입량, 수위-유량 관계

1. 서론

지하방수로는 도시의 지하에 대규모 수로 터널을 시공하여, 도시 지역에 발생한 집중 호우를 초기에 배제하여 제내지 침수 피해를 줄이는 목적으로 사용되는 대표적인 구조적 홍수 피해 경감 대책으로, 유럽 및 미국을 중심으로 연구가 시작되어, 최근에는 일본 및 동아시아 등지에서 효과적으로 침수 피해를 줄일 수 있을 뿐만 아니라, 특히 지하에 설치되어 토지 수용에 대한 부담이 줄어들기 때문에 홍수 방어 대책으로 활용되고 있으며, 지하 공간을 다목적으로 이용하기 위한 수단으로 활용되고 있다. 지하방수로 유입부는 크게 접근수로, 유입구, 수직 갱도(vertical shaft)로 구분되며, 접근 수로를 통하여 유입된 흐름은 유입구를 통하여 가속되어 와류 흐름을 형성하면서 수직 갱도로 유입되게 된다. 따라서 지하방수로의 유량 배제 능력 즉 홍수 방어 능력을 평가하기 위해서는 유입구에서의 유량 및 흐름 특성을 정확히 평가하는 것이 매우 중요하다. 나선식 유입구(spiral intake)는 지하방수로 유입구 중 가장 일반적으로 사용되는 형식으로 초기에 미국 등지에서 활용되었던 원형 유입구(circular intake)을 대신하여 일반적으로 사용되기 시작한 유입구 형태로 형태적인 복잡성에 도 불구하고 형태적 특성으로 인하여 와류(vortex)를 안정적으로 형성시키기 때문에 현재도 사용되고 있다. 지하방수로 유입구는 수직 갱도 및 유입구 구조물에서 수두 및 수위를 정확히 평가하거나 측정하는 것이 어려우므로 일반적으로 접근수로 수위를 측정하여 유입량을 예측하게 된다.

나선식 유입구는 기본적으로 평탄한 유입구(flat invert)를 가지는 형태가 많이 사용되는데, 상류 흐름에 대해서는 일반적으로 안내벽(guiding wall)이 없는 형태가 사용되나, 사류 흐름이 유입되거나 유입 유량이 많아지

* 정회원·한국건설기술연구원 수자원연구부 연구원·E-mail : dsrhee@kict.re.kr

** 정회원·한국건설기술연구원 수자원연구부 책임연구원·E-mail : cwkim@kict.re.kr

는 경우 수직 갱도 내에 공기 공동(air core)을 효과적으로 형성시키기 위하여 안내벽을 설치하게 된다. 이와 더불어 최근에는 사류 흐름을 안정적으로 가속시켜 유입구 내부에서의 도수 현상을 방지하기 위하여 유입구에 일정한 바닥 경사를 도입한 나선식 종경사형 유입구(inclined spiral intake)가 사용되고 있다. 나선식 종경사형 유입구는 지하방수로 유입구 중 최근 가장 일반적으로 사용되는 형식으로 유입구 바닥의 외측 또는 중앙선을 따라서 일정한 경사를 주어 사류 유입 흐름을 안정적으로 유도함으로써 유량 배제 효율을 높인 형태이다. 나선식 종경사형 유입구도 일반적인 나선식 유입구와 마찬가지로 접근수로 수위를 측정하여 유입량을 예측할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 나선식 종경사형 유입구에 대하여 모형을 제작한 후 수리 실험을 통하여 접근수위-유량 관계를 검토하고자 한다.

2. 이론적 배경

와류식 유입구(vortex intake)는 흐름이 수직 갱도(vertical shaft) 벽면을 따라 나선형으로 흐르는 수직 구조물로 벽면의 마찰을 이용하여 흐름의 에너지를 소산시키는 것이 주요 특징으로, 지하 방수로 유입부에 적용되는 형태는 나선식 유입구와 접선식 유입구(tangential-type intake, vertical-slot-type intake)이다. 그 중에서도 나선식 유입구가 일반적으로 많이 이용되고 있다. 이러한 와류식 유입구는 기존의 낙차 구조물과 비교하였을 때 흐름이 안정적이며 수직 갱도에 공기 공동(air core)이 형성되어 공기가 쉽게 외부로 배출되기 때문에 와류식 유입구를 시공하기에 대상 지점의 지형학적, 지질학적 조건이 적당하다면 여수로식 급경사 낙차 구조물이나 일반적인 낙차 구조물에 비해 초과 홍수량 배제에 보다 유리한 것으로 알려져 있다. 와류식 유입구 설계 시에는 기본적으로 유입구(vortex shaft inlet) 제원, 수직 갱도 축을 따라 발달된 흐름의 수리학적 특성, 흐름의 공기 연행(aeration) 특성을 주요 사항으로 고려하여야 하는 것으로 알려져 있으며, 해석상의 어려움으로 인하여 수직 갱도 벽면을 따라 흐르는 흐름의 수리학적 특성과 공기 연행 흐름으로서의 특성은 주로 수리 모형 실험을 통하여 연구되었다(Vischer와 Hager, 1995).

그림 1에 상류(subcritical) 유입 흐름을 가지는 나선식 유입구 유입부의 일반 형태를 표시 하였다(Hager, 1985). 그림 1의 나선식 유입구는 안내벽(guiding wall)이 없는 형태로, 그림에서 h 는 상류 유입수로의 폭이고, a 는 수직 갱도 중앙축과 유입수로 중방향 중심선 사이의 거리이며, R 은 수직 갱도의 반지름이다. 와류 형성부(Vortex Chamber)의 바닥 경사는 접근 수로의 경사와 일반적으로 동일하며, 수로 바닥면에 대한 수두가 일정하므로 유사 등류(pseudo-uniform) 흐름이 발생한다.

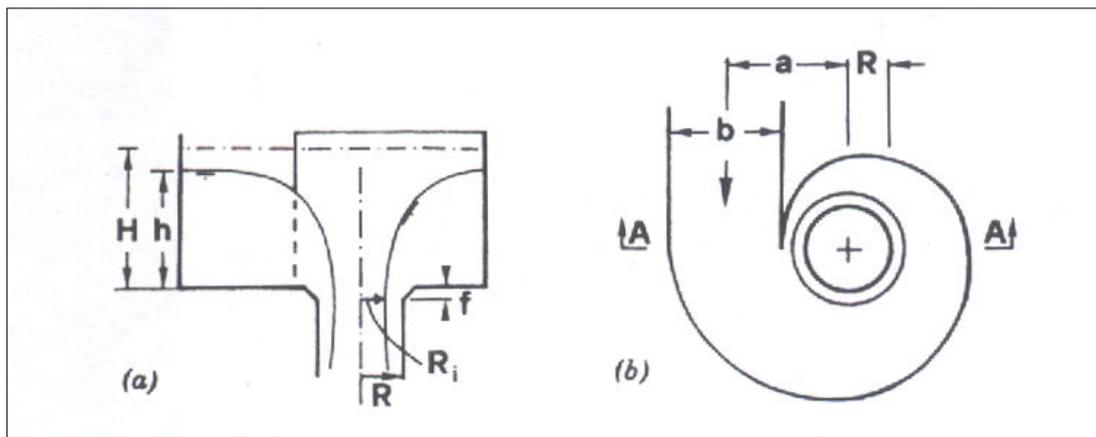


그림 1. 나선식 유입구 개념도(Hager, 1985)

이와 같이 평탄한 유입구를 가지는 나선식 유입구에 대해서는 많이 연구되었으나, 종경사형 유입구는 고려되기 시작한지 일정한 시기가 지났음에도 불구하고 아직 일반적으로 연구되어 있지 않는 것으로 나타나고 있다. 이는 나선식 유입구의 형태적 복잡성으로 인하여 다양한 바닥 경사에 대한 실험 연구가 이루어지기 힘들기 때문인 것으로 생각된다. 따라서 본 연구에서도 단일 바닥경사를 가지는 실험 모형에 대하여 수위-유량 관계를

검토하기 위한 기초 실험을 수행하고자 한다.

3. 실험 시설 및 실험 조건

본 연구에서 사용된 나선식 종경사형 유입구 모형은 그림 2와 같이 안내벽(guiding wall)이 있는 형태로, 이후 실험 모형을 개량하여 안내벽이 없는 상태까지 실험을 수행하고자 한다. 안내벽이 있는 경우 흐름의 회전을 유도하여 수직 갭도 내에서 공기 공동의 형성을 촉진하여 원활한 유량 배분에 도움이 되는 것으로 알려져 있고, 대체로 안정적인 흐름이 형성되기 때문에 본 연구에서는 안내벽이 있는 형태를 기본 모형으로 하여 실험을 수행하였다. 수행된 실험 조건 및 모형 제원은 표 1과 같다.

표 1. 실험 조건 및 모형 제원

실험 변수	실험 조건
유입량 (Q , m^3/s)	0.002 ~ 0.024
접근수로 폭 (b , cm)	20
d (cm)	20
수직 갭도 반경 (R , cm)	10

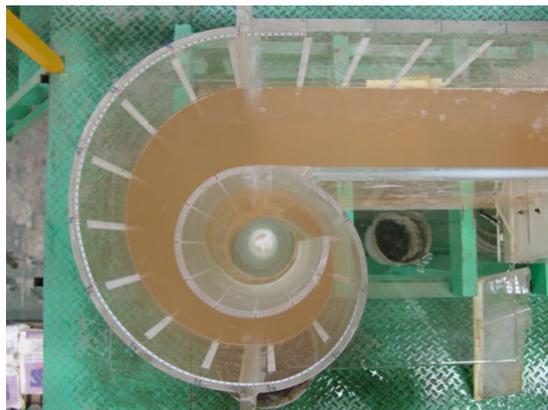


그림 2. 나선식 종경사형 유입구 모형

4. 실험 결과

실험 결과 측정된 유입부 수위를 이용하여 실제 유입량에 대한 수위-유량 관계를 나타내었다. 수위유량 관계를 나타내기 위해서 기존 나선식 유입구에서 이용된 무차원 수위 y 와 무차원 유량 q 를 이용하였다.

$$y = \frac{bh}{aR}, \quad q = \frac{Q\sqrt{b}}{\sqrt{gaR^5}} \quad (5)$$

실험에 사용된 모형의 바닥경사는 외측 기준으로 0.05로 설정하였으며, 총 8가지 유량에 대하여 수위-유량 관계를 측정하였다. 측정결과 수위-유량관계는 평탄한 유입구를 가지는 기본적인 형태의 나선식 유입구와 유사하게 나타나며 무차원 수위 y 가 2.5 이상이 되는 지점부터 거의 선형적으로 수위에 따라 유량이 변화하는 것으로 나타났다. 따라서 현 실험 모형의 설정 경사로는 유입구 바닥 경사 설정으로 인한 수위-유량 관계의 변동이 발생하지 않는 것으로 나타났다.

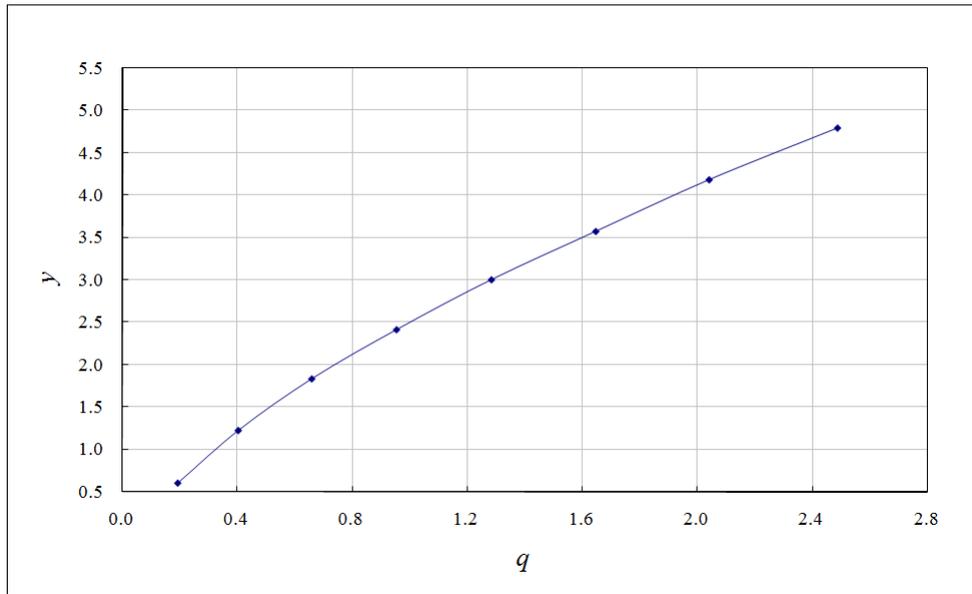


그림 3. 나선식 종경사형 유입구 수위-유량 관계

5. 결론

본 연구에서는 나선식 종경사형 유입구의 수위-유입량 관계를 수리 실험을 통하여 검토하였다. 나선식 종경사형 유입구도 현 모형에서는 바닥 경사 설정으로 인한 수위-유량 관계 변동은 없는 것으로 나타났으며, 수위-유량 관계가 안정적으로 형성되는 것으로 파악되었다 또한 유량 배제 효율은 상대적으로 떨어지지만 갯도 내 질식 현상은 나타나지 않는 것으로 확인되었다. 이후 연구에서는 나선식 종경사형 유입구의 바닥 경사를 다양화하고, 안내벽 설치 각도를 변화시켜 질식 방지 효과 및 유량 배제 효율에 대한 비교 실험이 필요할 것으로 생각된다.

감 사 의 글

본 연구는 국토해양부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행 한 2003년도 건설핵심기술연구개발사업 (03산학연C01-01)에 의한 도시홍수재해관리기술연구사업단의 연구성과입니다.

참 고 문 헌

1. Hager, W.H. (1985). "Head-discharge relation for vortex shaft." *Journal of hydraulic engineering*, ASCE, Vol 111, No 6. pp. 1015-1020.