

도심홍수 방어를 위한 최적 수리 성능 대심도터널 원천설계기술 개발

글. 이동섭_복합재난대응연구단 연구위원
박인환_국토보전연구본부 전임연구원
성호제_국토보전연구본부 신진연구원

「극한 도심홍수 방어를 위한 최적 수리 성능 대심도터널(왕복 4차선 이상) 원천설계기술 개발」은 국토교통부와 국토교통과학기술진흥원에서 지원하는 2015년 국토교통기술촉진연구사업의 글로벌기술협력분야 기술선도형 국제공동연구 과제이다. 2015년 6월부터 2018년 10월까지 총 3년 4개월의 연구기간 동안 수재해 예방 목적으로 현재 수도권 등에서 계획 중인 대심도터널의 수리학적 성능 향상을 위한 국내 원천기술을 개발하고, 이를 이용하여 대심도터널 설계 시 국내 기술의 적용성 향상을 목표로 하고 있다.

과업 소개

본 연구는 대심도터널의 유입부 설계 기술과 대심도터널 내 흐름안정화 기술, 대심도터널의 수치해석 기술 등 크게 세 분야로 나누어져 있다. 1세부에서는 유입부 공기 배출을 고려해 통수 능력을 증대시킨 고효율 유입시설 설계 기술개발을 목적으로 하며, 수리실험을 통해 유입부-수직갱-접합부(감세지)의 설계 기술개발을 목표로 한다. 2세부에서는 유입부-터널-유출부 흐름에 대한 예측 기술개발과 대심도터널 적용에 의한 침수 피해 감소 효과 검토를 목표로 한다. 3세부에서는

[그림 1] 총괄 연구개발 모식도



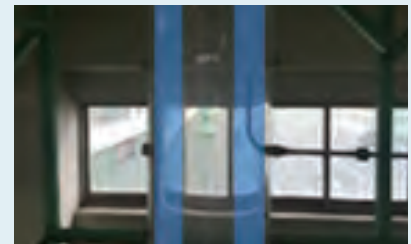
[그림 2] 유입부 흐름 특성 및 수직갱 통수능력 분석 수리실험



(a) 유입부 통수능력 분석



(b) 공기공동(air-core) 형성 분석



(c) 수직갱 내부 흐름 특성 분석

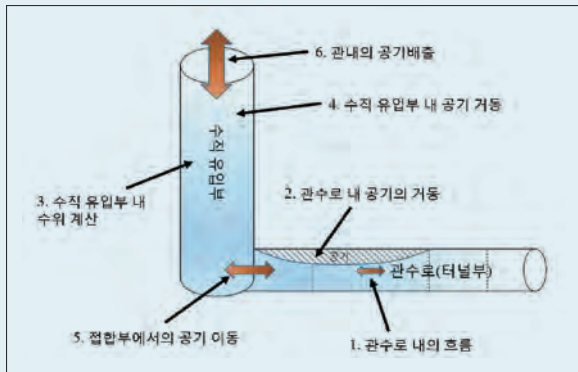
터널 내 공기와 물의 이상류(two-phase flow) 거동 해석을 통해 흐름안정화 기술과 터널 내 수리성능 개선을 위한 효과적인 이상류 제어 방안 개발을 목표로 한다. 그림 1은 세부과제의 연계성과 연구과제의 총괄 연구개발 모식도를 나타낸 것이다.

고효율 지하유입시설에 의한 대심도터널 최적 수리성능 확보 기술

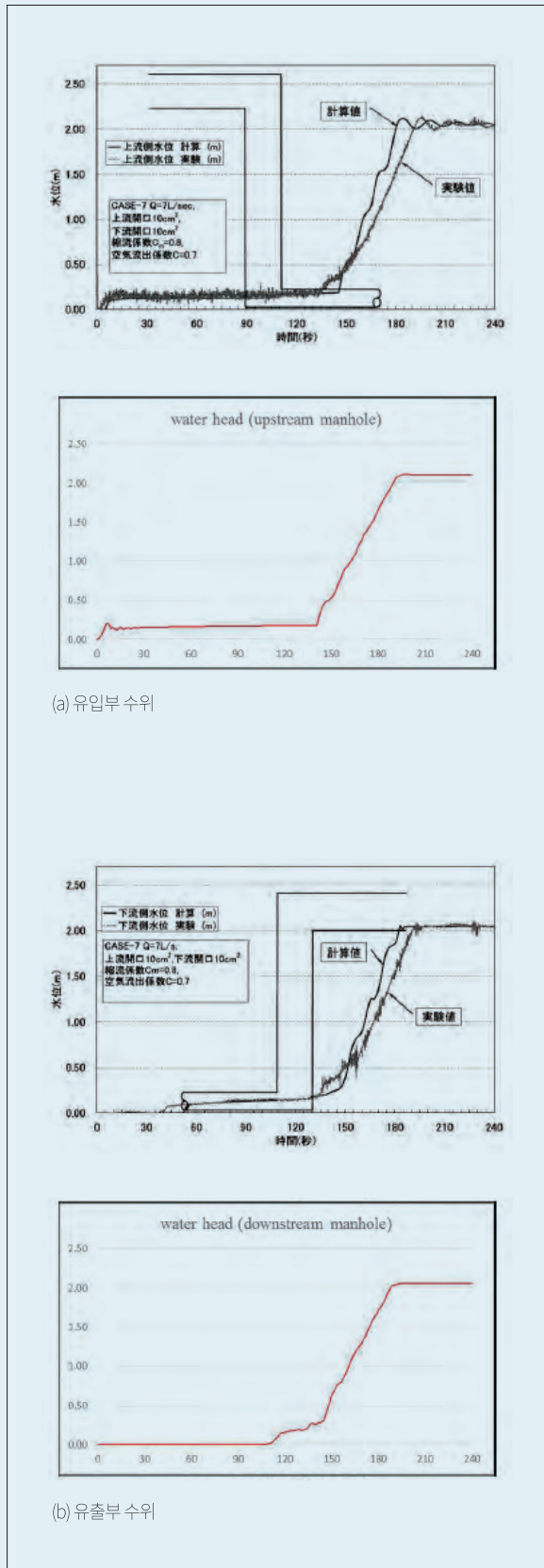
1세부에서는 고용량, 고효율 신형 유입구 설계기술 개발을 연구목표로 한다. 이에 따라 유입부 질식방지 기술과 접합부 흐름손실 최소화, 수충부 구조물 파손 방지 기술을 적용한 신형 유입구 설계기술을 개발하고 있다. 신형 유입구의 형상은 국외 유입구 설계기술 조사결과 및 수리실험 결과를 통해 제안하였으며, 유입구 형태별 수직갱 내부 흐름 특성과 공기공동(air-core) 형성의 변화를 비교하여 신형 유입구의 성능을 검증했다(그림 2). 이후 수직갱 하단 접합부 충격량 특성 평가와 접합부 형상에 따른 충격량 저감 효과를 분석할 예정이다. 나아가 접합부의 공동현상 발생을 검토하고 공동현상 발생 시 구조물 파손을 최소화할 수 있는 감세지 설계 및 구조물 파손 방지 기술을 제안할 계획이다.

1세부 과제의 수리실험 결과는 2세부 과제에서 개발하고 있는 대심도터널 수치해석 모형의 다양한 변수 변화에 의한 모의 결과의 검증자료로 제공함으로써 대심도터널 수치해석 모형의 개선효과를 기대할 수 있다. 나아가 2세부 과제 대심도터널 수치해석 모형과 3세부 과제의 대심도터널 내 흐름안정화 및 수리성능 개선 기술과 융합하여 대심도터널의 침수피해 개선 효과와 유입부-터널-유출부 전체 시스템 운영에 대한 예측 기술개발이 가능하다.

[그림 3] Slot-Model의 흐름해석 구조(Chaudhry, 1979)



[그림 4] 유입부와 유출부 내 수위 비교



(a) 유입부 수위

(b) 유출부 수위

대심도터널의 수리현상과 침수피해 감소효과에 대한 수치모형의 개발과 해석기법

2세부에서는 대심도터널 유동 내부에 발생하는 물-공기에 의한 이상류(two-phase flow) 해석 기술을 개발하는 것을 목표로 한다. 이를 위해 1차원 이상류 수치해석 모형을 개발하였으며, 유입부의 수직관을 통한 공기의 유·출입 현상을 검토하였다. 1차원 이상류 흐름모형 개발을 위해 관내 공기압을 고려한 관수로 흐름과 만관 시의 압력 흐름을 고려하기 위해 연속방정식 및 운동량방정식을 이용하여 수위 및 유량을 계산했다. 만관 시에는 Slot-Model(Chaudhry, 1979)을 이용하여 만수위에 따른 압력 수두를 계산한다(그림 3).

1차원 이상류 흐름모형의 해석결과를 2003년 일본의 퍼시픽 컨설턴트에서 발표한 대심도터널 내 흐름측정결과와 비교했다. 그 결과 그림 4와 같이 전체적으로 지하 터널 유입부와 유출부 내 수위가 일치하는 양상을 보였다. 향후 모형의 정밀도를 증가시키기 위해서는 1세부와 3세부 과제의 수리실험 결과와 연계하여 개발 모형에 대한 검증을 수행하고자 한다.

흐름안정화를 통한 대심도터널 수리성능 개선 기술

3세부에서는 지표수와 함께 유입되는 공기로 인해 대심도터널 내부에서 발생하는 물-공기 이상류 거동특성을 파악하고 효과적인 공기유동 제어기법을 개발함으로써 대심도터널의 수리성능을 개선하고자 한다. 수평관 내의 이상류 거동특성 분석을 위해 그림 5와 같은 실험수로를 제작했다. 실험수로는 유량계측을 위한 전자유량계와 기포 발생을 위한 공기발생장치(air vent)를 연결하였다. 수평관 내부의 기포 분포는 전기전도계를 이용하여 측정하였으며, 측정된 전기신호는 필터링 및 신호처리 과정을 거쳐 기포율로 나타냈다.

실험결과로부터 최대유속이 2m/s를 초과한 경우 기포율이 약 0.5의 값을 가지며, 중심부에서는 기포율이 0.2로 나타났다. 이를 통해 대심도터널 내부의 물-공기 이상류의 거동 특성에 대해 살펴 볼 수 있었으며, 향후 다양한 유량 조건의 실험 및 지상과 연결되는 수직관을 포함한 실험을 통해 터널 내 흐름의 안정화 및 그에 따른 수리성능의 개선을 위한 기초자료로 활용할 수 있을 것으로 기대된다.㉠

참고자료

- Chaudhry, M. H. (1979) Applied Hydraulic Transients. Van Nostrand Reinhold, New York.

[그림 5] 실험 장치 구성 및 세부 장치

