

GMS-SEEP2D 모형을 사용한 정상상태 하천 제방 침투 해석 Analysis on Steady River Bank Infiltration Flow Using GMS-SEEP2D

이 남 주, 김 혜 림
경성대학교

Nam-Joo Lee, Hyelim Kim
Kyungsung University

요약

일본식 배수공이 설치된 제방의 정상상태의 침투 흐름을 수리모형과 SEEP2D 수치모형을 사용하여 분석하였다. 경상북도 구미시에 위치한 해평천의 현장 재료를 사용하였고 배수공은 굵은 골재와 부직포를 사용하여 수조 내부에 제작하였다. SEEP2D 모형의 매개 변수는 투수계수, 최소압력수두, 최소수리전도도가 있으며, 각 매개변수에 대한 민감도 분석을 수행하였다. 수치모형의 결과는 실험 결과와 비교적 잘 일치함을 알 수 있었다. 제외지에서 제내지로 갈수록 침윤선은 낮아졌고 일본식 배수공이 설치된 부분에서 급격히 낮아져 배수공 내에 침윤선이 위치했다.

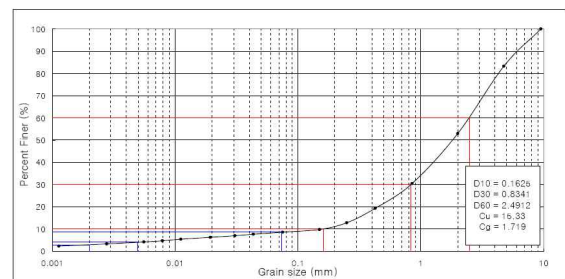
I. 서론

제방이란 유수의 원활한 소통을 유지시키고 제내지를 보호하기 위하여 하천을 따라 흙으로 축조한 공작물을 말하며[2], 배수공은 제방의 제내지 사면 지하수위를 낮추기 위해 설치하여 침투로 인한 제방 손상을 방지하기 위한 시설이다. 국내에서 제방 침투 설계 및 평가기술 붕괴 검토는 수공학 분야에서 중요하게 검토되지 않고 있다[1].

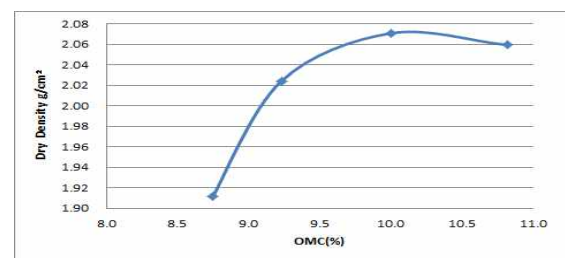
이 연구에서는 배수공을 가지는 제방에 수위를 달리하여 해석을 실시하였으며, 수위 변화에 따른 침윤선 변화를 실험하였다. 제방 축조 현장에서 구한 제체재료를 사용하여 입도분석과 다짐시험, 들밀도시험을 통해 제방 재료의 특성을 알아보았고, 실험실에 제방축소모형을 제작하여 수위별 정상 상태의 침투수위를 측정하였다. SEEP2D 모형[3]과 수리모형실험 결과와 수치해를 비교 분석하였다.

II. 수리모형실험

수리모형실험에 사용할 제방재료는 경상북도 구미시에 위치한 해평천의 제방 건설 현장에서 채취하였다. 제방 재료의 입도분포를 도시하면 그림 1과 같다. 현장재료의 다짐시험 결과를 정리하면 그림 2와 같다. 들밀도시험에 의한 제방모형의 건조단위중량과 다짐도는 각각 2.033 g/cm^3 , 98%로 측정되었다.



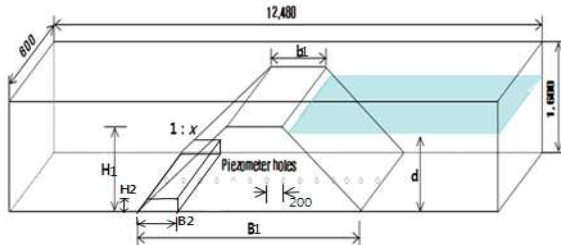
▶▶ 그림 1. 입도분포곡선



▶▶ 그림 2. 현장재료의 다짐곡선

제방모형은 $14.5 \text{ m} \times 0.6 \text{ m} \times 1.6 \text{ m}$ 의 수조 내부에 제작하였다. 제방의 제원은 그림 3과 같이 사면 경사는 1:2, 제방 저면 길이는 2.6 m, 제체 높이는 0.55 m로 하고, 제방 상부의 길이는 0.40 m로 제작하였다. 그리고 일본식배수공은 굵은 골재와 부직포를 사용하였고 $0.3 \text{ m} \times 0.6 \text{ m} \times 0.05 \text{ m}$ 로 설치하였다. 모형제방은 제방축조 방법과 유사하게 다짐을 하기 위해 흙을 쌓으면서 0.20 m 높이마다 다짐을 실시하였다. 다짐방법은 고무망치를 이용한 층다짐을 하였다. 완성된 모형제방은 그림 4와 같으며 침윤선의 수두 측정을 위해 위압계를 0.20 m 간격으로 수조바닥 가운데 설치하였으며, 옆에 줄자를 이용하여 측정할 수 있게 만들었다.

침투 실험은 수위별로 3개의 실험조건에 대하여 수행하였으며 Case-1, 2, 3은 제외지 수심이 0.3, 0.4, 0.5 m인 경우이다. 세 조건 모두 75분 이후부터는 피에조미터의 수두가 안정되어 정상상태에 도달했다.



▶▶ 그림 3. 제방 모형의 형상



▶▶ 그림 4. 완성된 제방모형

III. 수치모델링

GMS에 포함되어 있는 SEEP2D 모형은 연직 이차원 정상류 침투해석 모형으로 사력댐이나 제방의 단면을 통한 침투를 계산하도록 설계된 2차원 유한요소 흐름모형이다. 피압, 부분피압, 비피압 흐름 상태를 모의할 수 있으며 부분피압이나 비피압 흐름 상태에서 포화 및 불포화 흐름 모의가 가능하다. 그리고 모형의 형상이 복잡하거나 토양이 비균질·비등방성인 경우에도 모의가 가능하다. 정상상태 해석, 입력이 용이하고 계산속도가 빠르지만 비정상 조건 해석이 용이하지 않은 한계를 가지고 있다.

흙의 투수계수(hydraulic conductivity)는 제방의 침윤선에 영향을 미치며 안정한 구조물을 설계하기 위해 필요한 인자이다. 이러한 투수계수는 GMS-SEEP2D의 지배방정식에 의해 정의된다. GMS-SEEP2D 모형의 지배방정식은 식 (1)과 식 (2)로 구성된다.

$$\nabla \cdot (K \cdot \nabla h) = 0 \quad (1)$$

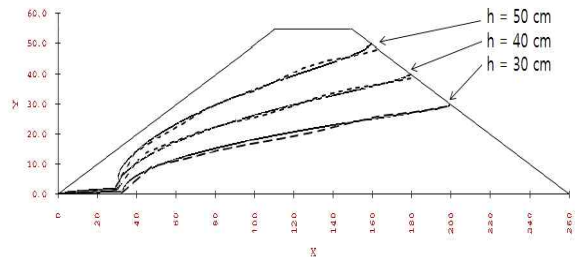
또는

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} + K_y \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} + K_{yx} \frac{\partial h}{\partial x} \right) = 0 \quad (2)$$

여기서 h는 총 수위(높이수두+압력수두), K는 투수계수이다.

수치모델링은 수리모형실험과 실험조건을 동일하게 하

였으며, 수리모형실험에서 사용한 제방재료의 투수계수를 사용하였으며 제방의 투수계수는 0.0086 cm/sec, 배수공의 투수계수는 0.86 cm/sec이다. 수치모형에 사용한 평면 이차원 유한요소망은 삼각형 요소를 사용하였다. 삼각형 요소 크기는 제방 5 cm, 배수공 2 cm이다. case-1에서 사용한 삼각형 유한요소(element)의 개수는 877개이며, 격자점(node)의 수는 500개이다. case-2에서 유한요소와 격자점 개수는 각 892개, 508개이며, case-3에서는 각 875개, 499개이다. 그림 5는 그림 5는 case-1, 2, 3의 정상상태 수치모델링과 수리모형실험 결과이다. 실선은 수치모델링, 점선은 수리모형실험의 침투수위 결과이다. 수치모델링과 수리모형실험의 결과를 비교했을 때 오차는 1.73cm(1.89%)로 낮았으며 제내지 사면쪽에는 다소 수리모형실험의 침윤선이 높았고, 제외지 사면 쪽에는 수리모형실험의 침윤선이 낮았지만 비교적 잘 일치함을 볼 수 있다.



▶▶ 그림 5. 수치모형과 모형실험 결과

IV. 결론

본 연구에서는 제방의 침투 모형실험과 이에 대한 수치모형을 수행하였다. 제방의 침투 모형실험은 많은 비용과 노력이 소요되므로, 실제 현상을 적절히 반영할 수 있는 수치모형은 모형실험 수행에 따른 비용의 절감에 기여할 수 있다.

■ 감사의 글 ■

이 연구는 국토해양부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행한 건설기술혁신사업(08기술혁신F01)에 의한 차세대홍수방어기술개발연구단의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

■ 참고 문헌 ■

- [1] 임동균, 여홍구, 김규호, 강준구 “제방 침투 수치해석 모형의 적합성 분석”, 한국수자원학회논문집, 제39권 제3호, pp. 241-252, 2006
- [2] 한국수자원학회, 건설교통부 승인 하천설계기준·해설, (주)건설교통저널, 2005.
- [3] Engineering Computer Graphics Laboratory (1998) SEEP2D Primer, Brigham Young University.