

무차원 홍수파형을 이용한 침투해석 연구

A Study of Seepage Analysis Using Design Dimensionless Flood Wave

조창대*, 조정석**, 김경훈, 윤종수, 이재운, 이재관***

Chang-dae Cho, Jung-suk Cho, Gyeong-hoon Kim

Jong-Su Yoon, Jae-woon Lee, Jae-kwan Lee

요 지

최근 홍수로 제체누수 및 지반누수에 의해 제방이 피해를 입는 사례가 증가하였다. 특히 2000년대부터 Piping 현상으로 제방이 붕괴되는 일들이 다수 발생하고 있어 기존 제방의 안정성 검토와 신설 제방 설계의 필요성이 제기되고 있다. 우리나라의 제방 침투해석은 2차원 비정상 침투해석을 하고 있으나 이 경우 외력 조건으로 외수위에 대한 하천의 홍수파형이 필요하다.

본 연구에서는 설계 홍수파형 유도를 위하여 금호강 상류지점인 금호 수위관측소에서 설계 홍수위 및 시간별 홍수위 등을 조사하여 과거 홍수사상의 시간별 수위곡선을 분석하였다. 수위곡선은 Huff의 4분위법에 따라 무차원화 시키기 위하여 각 홍수위의 누가지속시간과 누가 홍수위를 구하고 Weibull분포의 도시위치 공식을 적용하여 10~90% 무차원 누가곡선을 도시하였다.

일반적으로 통계 해석상 중앙값을 나타내는 50% 무차원 누가곡선을 사용하기 때문에 본 연구에서도 50% 무차원 누가곡선을 사용하여 무차원 설계 홍수파형을 유도하였다. 새로이 유도한 무차원 설계 홍수파형을 외력 조건으로 하고, 금호강 유역의 인근 제방을 모형으로 하여 SEEP/W 프로그램으로 2차원 침투해석을 실시함으로써 그동안 외수위를 계획 제방고까지 인위적으로 연장시켜 사용하는 문제점을 해결하고 우리나라의 실정에 맞는 설계 홍수파형을 유도하여 하천제방 설계 및 기존 제방의 안정성 검토에 활용될 수 있는 연구를 수행하고자 한다.

핵심용어 : 하천제방, 침투해석, 홍수파형, 수위

1. 서 론

대규모 하천인 미국과 유럽 등에서는 댐에서와 같이 정상 침투해석을 하고 있으나, 우리나라의 경우 유역 면적이 좁고, 발원지의 고도가 높기 때문에 구배가 급하여 하천의 홍수지속시간이 짧다. 따라서 설계 홍수파형을 정상상태로 해석할 경우에는 과대한 외력조건으로 과대 설계될 우려가 있어 시간에 따른 수위 변화를 고려한 비정상 침투해석을 해야 한다. 비정상 침투해석의 경우 외력 조건으로 외수위에 대한 하천의 홍수파형이 필요하나 국내에서는 홍수위와 지속시간 등 수위분포에 관한 명확한 기준이 없기 때문에 실무에서는 해석하고자 하는 지점의 계획 홍수위와 홍수지속시간을 가지고 홍수파형을 유도하여 적용하고 있다.

따라서, 본 연구에서는 설계 홍수량과 과거 홍수사상의 시간별 수위곡선을 분석하여 우리나라 실정에 맞는 설계 홍수파형을 제시함으로써 새로운 하천제방 설계 및 기존제방의 안정성 검토에 기여하고자 한다.

* 정회원 · 국립환경과학원 낙동강물환경연구소 유역환경연구과 연구원 E-mail : ship44@korea.kr

** 정회원 · 대구대학교 토목공학과 교수 E-mail : jscho@daegu.ac.kr

*** 정회원 · 국립환경과학원 낙동강물환경연구소 E-mail : dahong@korea.kr, yoon4318@korea.kr, leejaew@korea.kr, jkleenier@me.go.kr

2. 홍수파형 결정

과거 국내 기준과 국외 기준에서는 홍수지속시간이 길다는 가정아래 제방설계에 필요한 외력인 하천 수위를 계획 홍수위로 설정하여 정상 상태로 모의하는 방법을 취하였다. 그러나 국내 하천은 홍수지속시간이 짧으므로 정상 상태의 하천 수위를 적용할 경우 과도한 외력을 줄 수 있다. 따라서 원칙적으로 하천 수위는 비정상 상태를 적용하여 제방의 안정성을 평가해야 한다. 하천설계기준(한국수자원학회, 2005)에서도 하천 수위 조건은 비정상 상태를 적용하도록 되어 있다.

2.1 홍수파형 설정방법

기본 홍수파형 방법은 설계홍수에 대한 다수의 계획 홍수 수문곡선을 이용하여 홍수파형을 설정하는 방법이다. 홍수파형은 유역 특성에 따라 다양하며 동일 유역 또는 하천에 있어서도 상·하류 및 대상지역마다 상이하므로, 대상 구간의 수리 및 수문특성을 대표 할 수 있는 인근 관측소 자료를 활용하도록 하는 것이 원칙이다. 그림1은 기본 홍수파형 설정방법을 나타낸 것이다.

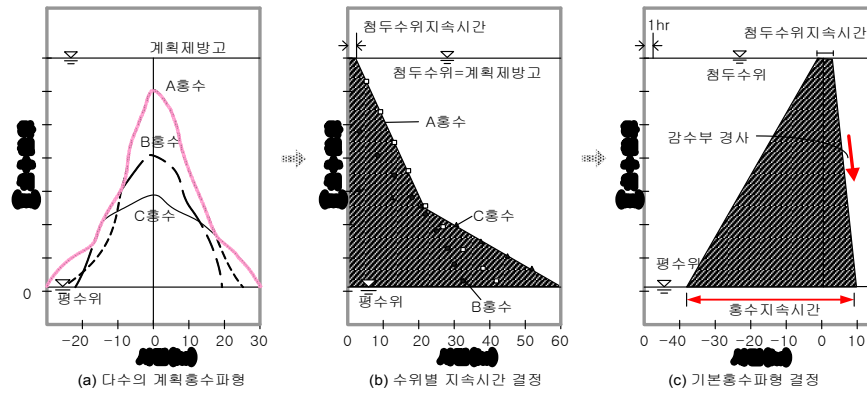


그림 1. 기본 홍수파형 설정방법(건설교통부, 2007)

합성 홍수파형 방법은 계획 홍수 및 과거 홍수사상의 수문곡선을 이용하여 홍수파형을 설정하는 방법이다. 대상지점 인근에 수위표가 있고, 과거의 홍수사상에 대한 수문곡선 자료가 확보되었을 때 적용한다. 계획 홍수량을 산정할 때 선택된 수문곡선을 기본으로 하고 과거 홍수자료를 추가하여 안전 측의 설계 홍수파형을 설정한다.

계획 홍수파형 방법은 계획 홍수 수문곡선을 이용하여 홍수파형을 설정하는 방법이다. 대상지점 인근에 수위표가 없고 과거의 홍수사상에 대한 수문곡선자료의 확보가 곤란할 때 수위파형, 지속시간, 감수부 경사,의 결정에 따라서 최종 수위파형을 설정한다.

2.2 시간분포 방법

시간분포를 위하여 Huff의 4분위법과 Weibull분포의 도시위치공식을 이용하였다. 먼저 Huff(1967)는 미국 일리노이주의 강우기록을 통계학적으로 분석하여 강우량의 시간적분포를 나타내는 무차원 시간분포 곡선을 제시하였다. 각각의 무차원 시간분포 곡선을 작성하고, 최대 누가우량이 발생하는 구간의 무차원 시간분포 곡선을 선정하여 강우를 분포시키는 방법이다. 강우를 시간적으로 무차원화 시키기 위하여 각각의 강우누가지속기간과 누가강우를 아래의 식 (5), 식 (6)과 같이 백분율로 표시하였다.

각 홍수사상들을 무차원 누가곡선을 이용하여 분석하게 된다. 이때, 각 확률누가곡선은 Weibull분포의 도

시위치공식을 이용한 10%의 확률간격으로 10~90% 무차원 누가곡선을 도시하고, 일반적으로 통계 해석상 중앙값을 나타내는 50% 무차원 누가곡선을 사용한다.

$$PR(i) = \frac{R(i)}{R_0} \times 100\% \quad (5)$$

$$PT(i) = \frac{T(i)}{T_0} \times 100\% \quad (6)$$

3. 홍수과형 결정

설계 홍수과형을 유도하기 위하여 과거 신뢰성 있는 자료가 많이 보유하고 있는 금호 수위관측소 지점을 선정하여 1990~2009년까지의 시간별 수위에 대한 자료를 조사한 결과 지정 홍수위 이상의 홍수사상 26회 중 2회 이상의 침투를 갖는 다봉형 홍수사상이 18회(69.23%)로 복잡한 침투양상을 나타내며, 이는 홍수지속시간을 연장시키기 때문에 제방침투에 악영향을 줄 것으로 예상된다. 표1~표5는 홍수과형 설계를 위한 자료를 정리한 것이고, 그림2~그림5는 홍수과형을 설계한 과정을 나타낸 것이다.

표 1. 수위관측소 현황(국토해양부, 2008)

하천명	수계	관측소명	위 치	합류점/ 하구에서 거리(km)	종별	유역 면적 (km ²)	유로 연장 (km)	조석 / 배수	영점 표고 (EL.m)
금호강	낙동강	금호	경상북도 영천시 금호읍 덕성리 금창교	56.5 / 168.49	T/M	2,087	114.6	무/유	52.674

표 2. 금호 관측소 주의보 및 경보 수위(건설교통부, 2006)

하천명	관측소명	지정 홍수위	주의보 수위	경보 수위	계획 홍수위	평수위
금호강	금호	1.50	2.89	3.70	4.52	0.44

표 3. 계획 홍수위 기준의 홍수위 산정(건설교통부, 2006)

하천명	관측소명	계획 홍수위(1)	평균 저수위(2)	(3)= (1)-(2)	(4)= (3)*0.6	(5) =(3)*0.8	계획 홍수위의 60%(2)+(4)	계획 홍수위의 80%(2)+(5)
금호강	금호	4.52	0.44	4.08	2.448	3.264	2.89	3.70

표 4. 금호 관측소 홍수위 현황

하천명	관측소명	홍수사상(회)		계획 홍수위 (m)	기왕 홍수위(m)				홍수 지속시간(hr)		
		총 발생	선정		최고	최저	평균	평균 저수위	최고	최저	평균
금호강	금호	166	26	4.52	5.00	2.09	3.37	0.44	495	102	268

표 5. 침투 홍수 발생구간 및 발생시간

하천명	관측소명	전체 홍수 (회)	다봉 홍수 (회)	침투 홍수 발생구간(회)				침투 홍수 발생시간(hr)		
				1/4 구간	2/4 구간	3/4 구간	4/4 구간	최소	최대	평균
금호강	금호	26	18	12	5	8	1	8	379	101

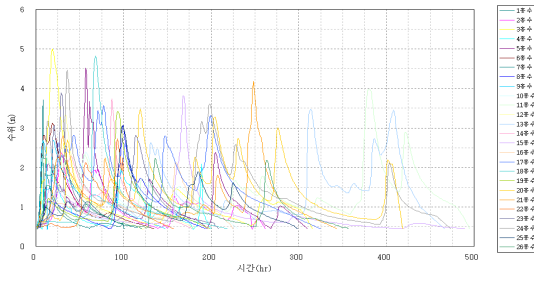


그림 2. 원 홍수파형

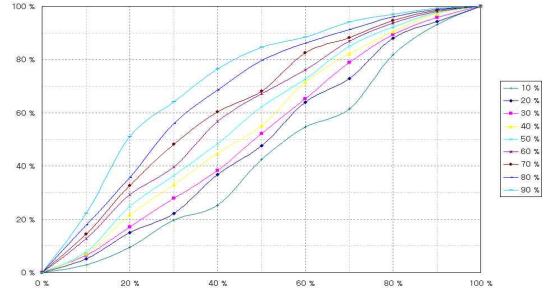


그림 3. 확률별 무차원 누가곡선

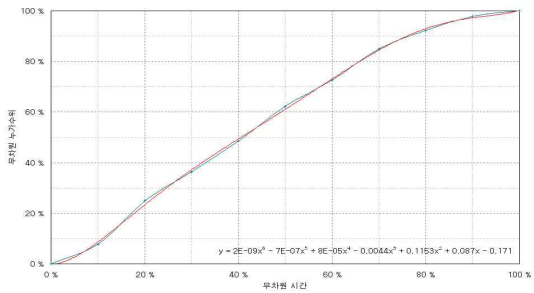


그림 4. 50% 무차원 수위곡선

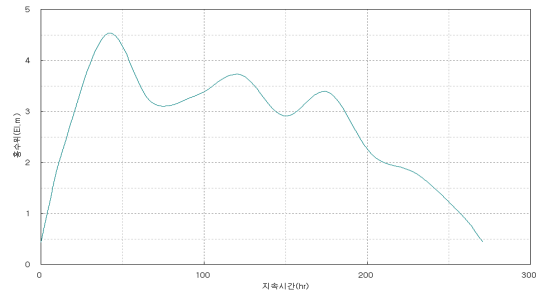


그림 5. 무차원 설계 홍수파형

4. 침투해석 모델링

새로이 유도한 무차원 설계 홍수파형을 외수위로 하여 하천설계기준(한국수자원학회, 2005)에서 제시하고 있는 홍수량에 따른 여유고 및 둑 마루 등의 기준을 적용하여 SEEP/W 수치모형으로 침투해석을 실시하였다. 침투해석 결과 그림7과 같이 50시간이 지난 후 100시간까지는 침윤선이 발달하였으며, 동수경사와 한계 유속은 정상 침투에 가까운 수치를 나타내었다. 또한, 그림8과 같이 150시간 이후에는 하천수위가 지속적으로 감소함에 따라 제내지 측의 비탈사면 끝에서 침투가 거의 발생하지 않았다.

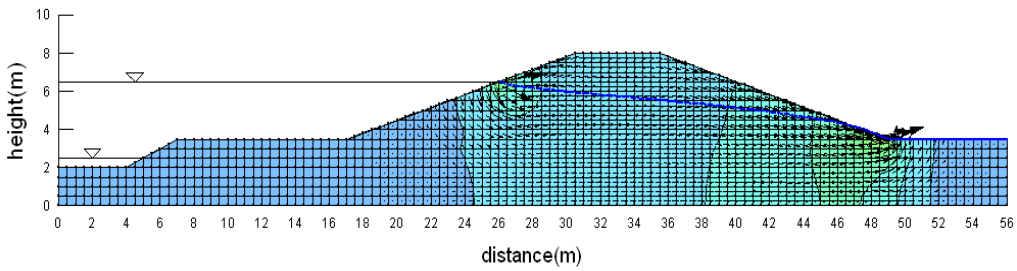


그림 6. 정상 침투해석

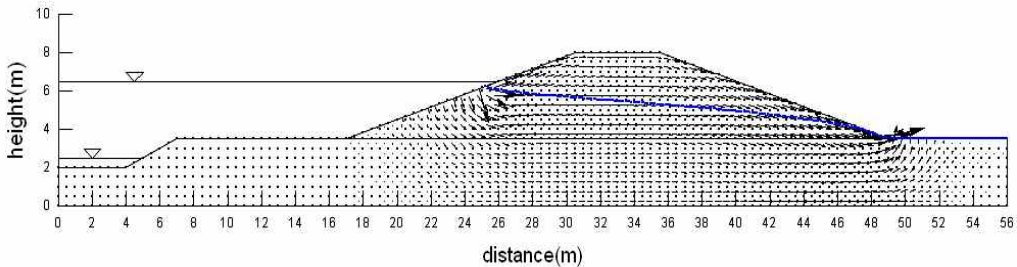


그림 7. 비정상 침투해석(50시간)

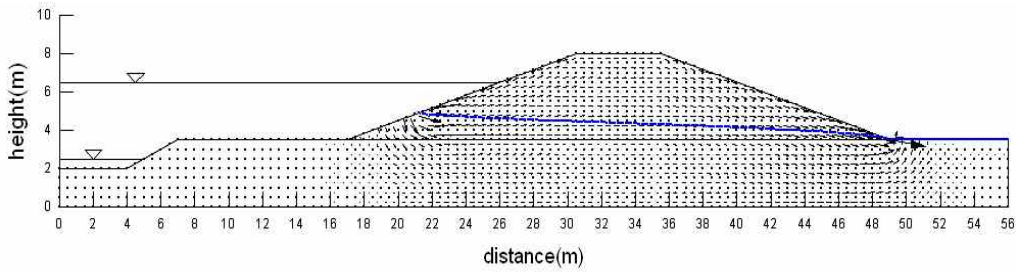


그림 8. 비정상 침투해석(150시간)

5. 결 론

우리나라 하천제방에서 침투해석을 할 경우 홍수지속시간이 짧은 특성으로 인하여 정상 침투해석보다는 시간에 따른 수위변화를 고려한 비정상 침투해석을 하는 것이 옳을 것으로 판단되며 이 경우 홍수파형이 필요하다. 본 연구에서는 금호강 수계의 상류에 있는 금호 지점의 과거발생(1990~2009년)한 주요 홍수사상에서 지정 홍수위 이상의 홍수사상을 추출하여 무차원 설계 홍수파형을 유도하여 침투해석을 한 결과 아래와 같은 결과를 얻었다.

새로이 유도한 무차원 홍수파형은 기존 기본 수위파형이 갖고 있는 홍수 지속시간이 반영되지 않은 것에 대해 과거 실제 홍수사상에서 지속 시간별 홍수위 자료를 이용하여 홍수파형을 유도함으로써 해결하였고, 침투해석을 통하여 정상 침투해석을 할 경우 과도한 외력을 줌으로써 과대 설계될 수 있어 비정상 침투해석을 해야 한다는 기존의 이론을 확인하였다. 또한, 비정상 침투해석을 할 경우 경제적인 설계는 가능하나 안정성 측면에서 매우 위험하기 때문에 충분한 홍수 지속시간을 가져야 한다. 본 연구에서는 대략 150시간이 지나면서 제내지 측의 부분에서 침투가 약해지는 것을 확인할 수 있었다.

침투해석 시 홍수파형은 충분한 홍수 지속시간을 가져야하며, 현장여건에 맞게 합리적으로 설정되어야 한다. 우리나라 하천에서는 정상 침투해석은 과도한 외력을 주게 되므로 시간에 따른 수위 변화를 고려한 비정상 침투해석을 하여야 한다는 기존의 연구 결과를 확인할 수 있었다. 본 연구에서는 외수위에 대한 홍수파형만을 고려하였으나 실질적으로 제방침투에 영향을 미치는 외력으로는 강우와 홍수파형 등이 있으며 추후 홍수파형 유도 또는 제방 침투해석 시에는 복합적인 침투 양상에 대한 검토가 필요할 것으로 판단된다.