

제체내에서 발생하는 Piping 현상의 Monitoring 기법

Monitoring Techniques of Piping Phenomenon in Levee

여운기¹⁾, 고진석¹⁾, 박희윤¹⁾, 지홍기²⁾, 이순탁²⁾

1. 서론

제체는 수두차에 의하여 침투수가 제외지층으로부터 제방단면을 통하여 제내지층 비탈면 및 제내지에 도달하며, 일단 침투가 시작되면 적극적으로 유로가 형성되어 파이핑 현상으로 발전하여 제체의 안정성을 크게 위협하게 되고, 붕괴 현상까지도 유발할 가능성이 높게 된다.

구조물 주변의 제방에서 제체와 구조물이 접하는 면은 불연속면으로서 수리역학적으로는 항상 불안정하여, 구조물 주변의 제방이 항상 약점이 되고 있다. 즉, 흙 구조물인 제방을 횡단하여 설치되는 수문, 통문 등은 제방으로서의 기능을 유지하면서 제내·외지에 유수의 통로 역할을 수행해야 하기 때문에 접속되는 제방을 포함하여 홍수에 대해 약점이 되지 않도록 특별히 배려해야 한다.

이를 위해서는 수문 및 통문이 구조적으로 완벽해야 하지만 동시에 주변 제방의 보호 관점에서 호안과 고수부 보호공의 안전에 대해서 제체로서의 기능을 다해야 한다. 응급대책사업으로서 수행되는 공사에서는 기존의 수문 및 통문에 대해서 완벽한 수준의 제체기능을 확보하도록 각종의 대책을 취해야 한다. 특히, 수문 및 통문은 제체의 재료와 불연속면을 형성하고 있어 중량, 강성 등에 있어서 상이하여 밀착이 어렵다. 지지말뚝 기초의 경우에는 구조물 저판 주변에 공동이 발생하는 사례가 많이 발생되고 있고 누수와 파이핑에 의한 피해사례도 흔히 볼 수 있다. 본 고에서는 구조물 주변 제방의 침투로 인한 구조물 주변의 Piping의 안정성 평가를 위한 Monitoring 기법에 대해 검토하였다.

2. 구조물 주변 제방의 안전성 평가

2.1 안정성 목표

통문 등의 구조물 주변은 제방의 잠재적인 약점이 될 수 있으므로 연속적인 제방과 동등 이상의 안전성을 지니게 할 수 있도록 해야 한다. 즉, 하천제방은 치수방재 구조물로서 그 안전성은 일련의 구간으로 파악해야 할 필요가 있다. 연약지반상에 지지말뚝 기초로 시공된 수문, 통문에서의 공동화는 진생성이라는 것을 인식하여 지속적이고 적절한 모니터링과 필요에 따라 보강대책을 실시하여 통문주변제방이 연속되는 일반 제방보다도 약점이 되지 않게 적절한 조치를 위하는 것이 중요하다. 또한 모니터링을 지속적으로 실시하여 전술한 바와 같이 정기적인 점검을 통해서 평가 및 대책을 설계 및 시공 등에 반영시키는 것도 중요하다.

2.2 안전성의 평가

구조물 주변 제방의 침투에 대한 안전성은 제방 및 구조물의 제원, 재해를 입은 이력, 외관 및 구조물내의 상황, 연통시험결과 및 전문가의 조언 등을 종합적으로 판단하여 평가해야 한다.

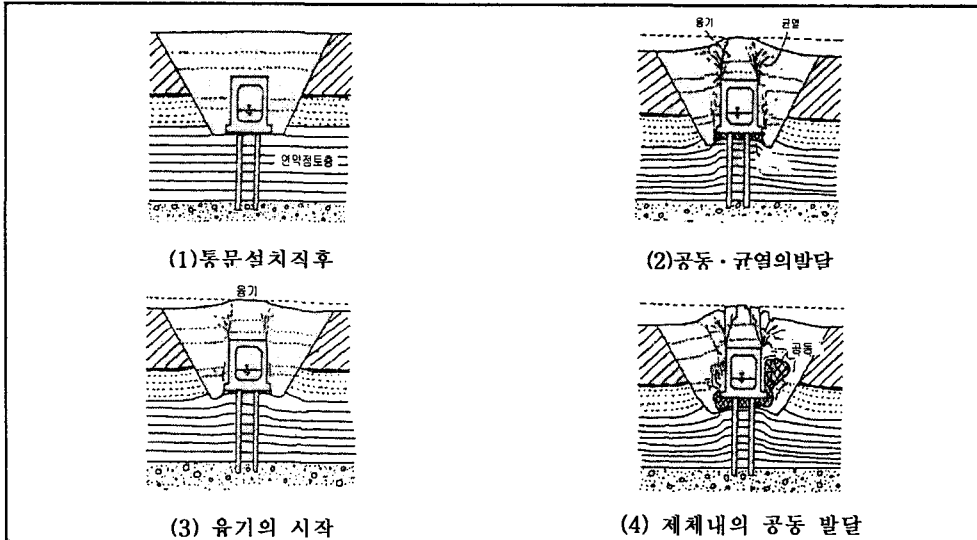
1) 구조물 주변 제방의 변형

구조물 주변 제방에서 변형발생과수로의 형성에는 다양한 요인이 관계되지만 아래와 같은 현상의 진행이 수로를 형성하게 되는 주요요인이 되고 있다.

1) 영남대학교 대학원

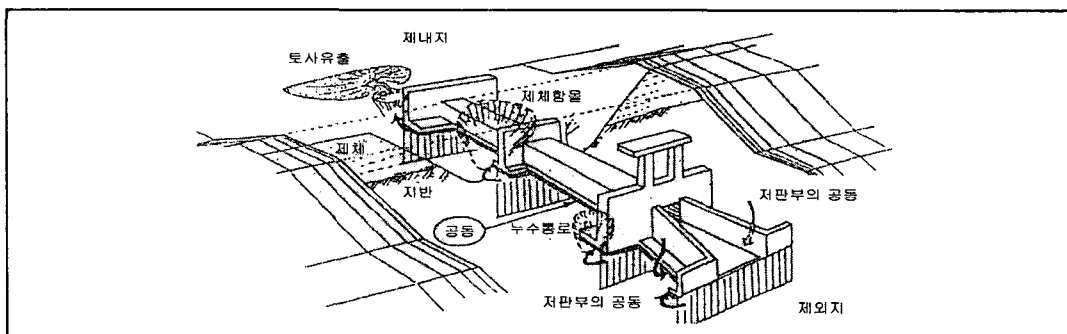
2) 영남대학교 토목도시환경공학부 교수

- 제방하중에 의한 지반의 압밀 및 제방의 침하
- 광역적인 지반함몰에 의한 지반의 침하
- 외수위의 주기 및 비주기적인 변동(고수위의 반복, 감소하천, 댐, 수문하류)
- 축재재료의 불량 또는 열화
- 지진에 의한 지반의 변형 및 구조물의 손상
- 통과하중에 의한 구조물 손상



<그림 2.1> 통문주변의 공동 및 누수진행 과정도

이와 같은 현장 중 <그림 2.1>에 나타난 바와 같이 연약지반 상에 말뚝으로 지지되는 통문에서는 주변 지반의 압밀침하가 수반되어 저판 아래에 공동이 형성되기 쉬워지며, 제체와 성토사이에 균열과 느슨한 지역이 발생하게 된다. 특히 통문을 지지하고 있는 기초파일과 통문구조물 저판 아래의 공동이 수로가 되어 누수가 발생하는 경우에는 저판의 측방을 우회하는 물이 흙을 침식시켜 제체 측면에서도 공동이 생기는 경우가 있다. 이러한 현상이 통문을 따라 연속되면 그림 4.3.2에 표시된 바와 같이 하천 내부에서 하천 외부로 통하는 누수통로가 형성되어 파괴에 도달하는 경우가 많다.



<그림 2.2> 통문주변의 변형과 누수경로의 개념도

2) 침투에 대한 안전성 평가

일반적으로 제체의 침투에 의한 안전성 평가는 매우 어려운 문제이며, 이것은 제방을 통과하는 구조물이 제체 속에 있기 때문에 눈으로 직접 관찰이 곤란한 것도 하나의 요인이 되고 있다. 그러므로 구조물 주변 제방에 있어서는 수리학 및 토질공학에 기인한 공학적 조사기법과 조사기준을 명확하게 하는 것은 현 상태의 기술수준으로는 곤란하기 때문에 경험에 의거한 정성적인 안전성의 평가에 따르고 있다.

제체의 침투에 의한 안전성 평가는 통문 등 구조물의 기초제원, 설치장소의 지형 및 제방의 토질특성, 과거의 재해를 겪은 이력, 제방의 융기 및 호안의 변형 등의 외관상황, 구조물의 변형 및 연결부의 열림 등의 구조물 내 상황으로부터 저판 주변의 공동화의 유무를 판단하는 것이다. 또한 필요에 의해 연통시험을 실시하여 공동의 연속성과 차수판의 기능저하 등을 평가한다. 그리고 경험이 풍부한 전문가에 의해 상기 자료의 해석을 포함한 현지 진단을 실시하여 그 구조물 주변 제방의 침투에 대한 안전성을 평가하고 지속적인 모니터링이 필요하다.

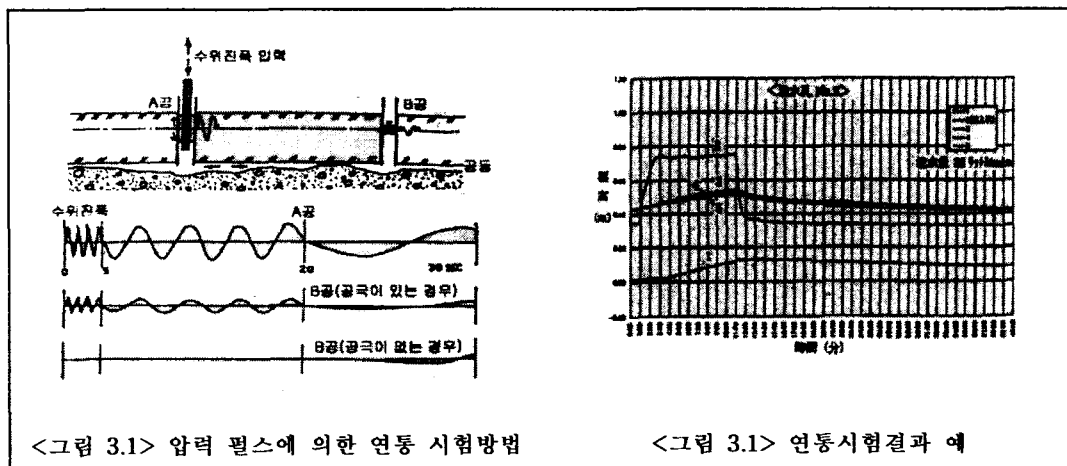
3. 제체와 구조물 주변의 모니터링

3.1 연통시험

구조물 등 제원조사 및 변형조사 결과로부터 구조물 주변 제방의 공동화가 예상될 경우에는 연통시험을 실시한다. 즉, 통문, 통관 등 구조물의 바로 아래에 생긴 공극의 존재 자체는 구조물의 융기 등의 변형 유무와 정도에 의해서 그 가능성을 추정할 수 있지만 공동의 연속성, 특히 차수판을 사이에 두고 세굴된 2공 중에서 1공에 물을 주입하여 그 수압변동이 다른 공에 어떻게 영향을 미치는지를 판정하여 수로로서의 이상여부를 파악하는 연통시험을 시행할 필요가 있다. 연통시험은 시험공의 배치와 주수방법 또는 시험결과 해석에 있어서 충분한 지식과 경험을 필요로 하기 때문에 실험에 있어서는 전문가의 조언을 받는 것이 필요하다.

연통시험은 구조물을 따라 공동의 연속성 및 물에 의한 수압의 전달 또는 흐름이 있음을 확인하는 시험이다. 저판 혹은 저판 주변에 비어 있는 공동을 이용하여 시행한다. 즉, 구조물 주위의 지반 혹은 제체내의 침투류는 물이 토립자의 간극을 이동하기 때문에 일반적으로 극히 완만하게 움직인다. 그러나 공동이 있으면 그 구간내의 수압의 변동은 거의 동시에 일어나거나 혹은 시간지체가 없이 유동을 발생시킨다. 이와 같이 흙의 침투와 상관없이 공동을 통해 연결되는 상태를 「연통」이라고 부른다.

연통시험은 용기에 의한 공동의 존재가 있을 것으로 예상되는 구조물에 대해서 저판 혹은 저판주변의 몇 군데를 천공한 뒤 그 1공을 주수공(물을 주입하는 구멍)으로 하고 다른 공을 「측정공」으로 하여 주수공에 주수를 할 때 그 공동의 수위변동 혹은 수압변동을 측정하여 변동량과 시간지체로부터 공동을 통한 수로의 연속성 상황을 진단하는 것이다.



<그림 3.1> 압력 펄스에 의한 연통 시험방법

<그림 3.1> 연통시험결과 예

3.2 저판 그라우트공을 활용한 조사

이미 그라우트공의 공을 설치한 구조물에서는 그 덮개를 열고 저판 아래의 공동의 상황을 확인하는 것이 가능하다. 저판아래의 그라우트공을 활용한 조사는 비교적 간편하며, 저판아래의 공동상황을 직접적으로 확인할 수가 있기 때문에 적극적으로 활용할 만한 방법이다. 또한 그라우트 공이 설치되어 있지 않은 경우라도 전술한 연통시험공을 이용하여 동일한 방법으로 관찰을 할 수가 있다.

3.3 비파괴시험

구조물 주변 제방의 변형조사에서 비파괴시험이 적용되고 있으며, 대표적인 방법으로서 고밀도 전기탐사, 지하 레이더 탐사, 마이크로 중력탐사가 있다. 이들 방법은 현재 상태의 정성적인 결과가 얻어질 뿐만 아니라, 특히 저판아래의 공동에 대해서는 콘크리트내 철근의 간격이 좁아서 이중으로 배치되어 있는 경우 검출에 한계가 있다.

3.4 개착조사

개착조사는 구조물의 개축과 철거 시에 행하는 것으로서 구조물 저면으로부터 1m 정도 아래까지 관찰하여 구조물의 변형, 기초의 상황, 저판아래의 공동의 확장 등을 직접적으로 파악하는 것이 가능하며, 변형조사로서 유효한 방법이다.

4. 결론

1) 불연속면이 형성되는 시설물 부근에서는 설계 및 시공상의 완벽한 기준을 적용해야 한다. 특히, 시설물 설계에서는 파이프의 원인이 되고 있는 유수의 통로를 차단하기 위한 지수벽 설치 그리고 암거구조물 지지부의 다짐처리 등의 엄격한 시공관리가 필요하다.

2) 기존 제체 주변의 시설물에 대해서는 공동현상 또 구조물의 변형 등에 대한 정기적인 감시와 진단이 실시되고 연통시험이나 감시카메라 등에 의해서 관리하고 그 이력사항을 전산 관리되도록 해야 한다.

참고문헌

- 1) 三木, 藤井, 野口, 佐佐木, (1999), 樋門, 樋管構造物周辺에서 생기는 空洞의 對策工法에 관한 檢討, 第 34回 地盤工學研究發表會.
- 2) 中山, 熊谷, 長瀬, 藤山, (1999), 樋門周辺堤防의 漏水危險度 調査에의 連通試驗法의 適用例, 第34回 地盤工學研究發表會.
- 3) 건설교통부, (2000), 하천시설기준.
- 4) 한건연, 지흥기, 김 승, 김 원, (2000), 낙동강 봉산제 피해원인 조사 및 항구대책 수립, 한국수자원학회 · 한국건설기술연구원.
- 5) 한국수자원공사, (2002), 2002년 홍수피해 종합조사보고서.
- 6) (주)농해, (2002), 하천제방 Piping 현상 방지를 위한 연직 차수벽 설치공법.
- 7) 지흥기, (2002), 낙동강 연안제 현황과 향후 정비방안, 제 2회 방재기술세미나, 한국방재협회.