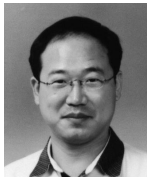


물리 탐사에 의한 제방의 침투 안전도 검사



류 권 규
 동의대학교 토목공학과 교수
 pururumi@deu.ac.kr



이 남 주
 경성대학교 토목공학과 교수
 njlee@ks.ac.kr

1. 서론

제방은 댐과 더불어 하천에 발생하는 홍수를 방어하는 기본적인 방법 중 하나이다. 인류는 오랜 세월 동안 제방을 쌓아가면서 홍수에 대처하여 왔다. 제방이 다른 하천 구조물과 달리 갖는 독특한 특징은 재료가 일반적으로 흙이라는 것과 구조물 제작이 특정 기간에 된 것이 아니라 오랜 세월을 걸쳐 이루어졌다는 두 가지 점을 들 수 있다.

이런 두 가지 특징이 댐, 분수로, 수문 등 다른 하천 구조물과 다른 점이라 할 수 있다. 즉, 대부분의 다른 하천 구조물은 재료가 콘크리트나 강구조인 경우가 많고, 구조물은 전체가 거의 동일 시기에 만들어진다. 이에 반해, 제방은 일반적으로 흙으로 이루어져 있으며, 어떤 제방이든 처음 축조된 이래 오

랜 동안 유지 관리를 위해 개보수, 증고, 확폭 등 다양한 변경이 이루어져 왔다. 이에 따라 제방은 구조물 내부의 물성이 동일하지 않은 비균질 구조를 지니는 경우가 많다. 또한, 흩으로 이루어진 탓에 그 내부를 쉽게 관찰할 수 없다는 문제도 지니고 있다.

이러한 특성들 때문에 제방을 안전도를 검사하거나 유지 관리하는 것도 또한 다른 구조물과는 다른 특성을 지닌다.

2. 제방의 안전도 검사

(1) 현재의 제방 안전도 검사

우리나라의 제방을 포함한 하천 구조물의 안전도 검사는 ‘시설물의 안전관리에 관한 특별법’ 제13조와 같은 법 시행령 제13조에 표 1과 같이 분류 되어

표 1. 1종과 2종 시설물의 구분(한국시설안전공단, 2010)

구분	1종 시설물	2종 시설물
6. 하천		
가. 하구둑	• 하구둑	• 시 안에 있는 국가하천의 수문 및 통문
나. 수문 및 통문	• 특별시, 광역시 안에 있는 국가하천의 수문 및 통문	• 특별시, 광역시 안에 있는 지방하천의 수문 및 통문
다. 제방		• 국가하천의 제방(부속시설인 통관 및 호안을 포함한다.)
라. 보	• 국가 하천에 설치된 높이 5m 이상인 다기능 보	• 1종 시설물에 해당하지 아니하는 보로서 국가하천에 설치된 다기능보

있다.

이처럼 하천 시설물을 1종과 2종 시설물로 분류하여 관리하고 있다. 이에 대해서는 한국시설안전공단(2010)의 '안전점검 및 정밀안전진단 세부지침'의 제8장 제방에 제시되어 있다. 눈여겨 볼 것은 제방은 2종 시설물로 정의되어 있어 일반적인 경우 수문보다 등급이 낮다는 것이다.

그 이유로서는 몇 가지를 들 수 있다.

첫째, 대부분의 시설물에 대한 안전 점검이 콘크리트와 시설물 위주로 되어 있어, 구조 전문가에 의해 수행되며, 수리나 토질 관련 전문가의 참여가 부족하기 때문이다.

둘째, 제방은 점적인 구조물이 아니라 선적인 구조물이기 때문에, 지점별 점검이 아니라 선적으로 연속적인 점검이 필요한데, 이런 연속적 점검에 대한 기술이 부족하기 때문으로 보인다.

셋째, 아울러 이런 점검 기술 부족에 따라, 혹시 제방 붕괴나 결괴 등이 발생했을 때 생기는 안전 검사 결과에 따른 책임 소재도 영향이 있는 것으로 추정된다.

아울러 제방의 안전도 검사에서는 현장 조사도 수행하도록 하고 있다.

현장 조사는 크게 ① 재료 시험과 ② 안전성 평가, ③ 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침에 대한 종합 평가로 이루어져 있다. 이를 통하여 제체, 호안, 하상부, 배수통관으로 구분하여 세부항목별 손상 상태를 확인하도록 하고 있다. 그러나, 하상부에 대한 조사는 생략할 수 있도록 되어 있다. 특히, 수리 수문학적 점검은 '하천정비기본계획' 자료만을 근거로 하여 검토하며, 추가적인 세부 내용 없는 실정이다.

종합적으로 살펴보면 우리나라는 지나치게 정밀 진단 위주로 되어 있다. 여기서 살펴 보면, 통문의 안전도 정밀 진단 내용은 외국에 대해 손색이 없는 것으로 보인다. 그러나, 제방에 대해서는 육안 검사보다 장비와 실내 시험 위주이며, 현장 조사는 수리 수문 분야에서는 과도한 작업이 필요하여 많은 부

분을 생략하고 있다. 또한, 안전 점검이 통문 위주이기 때문에 수리 전문가보다는 구조 전문가에 많이 의존하고 있다.

마지막으로, 제방은 연속적인 검사가 필요함에도 불구하고, 현재는 지점별 검사에 주안을 두고 있으며, 이를 위한 적절한 육안 검사 지침이 부족한 실정이다.

(2) 우리나라에 적합한 제방 검사 기술

먼저, 우리나라 실정에 적합한 제방 침투 안전도 검사 기술은 다음과 같은 성격을 지녀야 할 것이다.

- (1) 경제적 검사 기술: 우리나라의 상황을 고려하여 가급적 적은 인력과 비용으로 충분한 안전성을 확보하는 검사 방법을 제시하여야 한다.
- (2) 시기와 방법 구체화: 구체적으로 점검 시기(비홍수기), 점검 인력(작업 인원 최소화, 중급 수리기술자), 점검 방법(육안 관측 → 상세 조사 등) 등이 정리되어야 할 것이다.
- (3) 전산화: 가급적 모든 평가 항목을 수량화하여 전산처리가 가능하도록 한다.
- (4) 연속 검사: 제방은 연속적인 구조물이므로, 현재의 시추 조사보다는 물리 탐사(일본의 통합물리탐사 개념 도입)로 연속적인 검사가 우선적으로 있어야 한다. 즉, 물리탐사를 이용하여 연속적인 검사를 수행하고 이상 지점을 발견했을 때 그 지점을 시추, 개삭이나 연통 시험 등의 정밀 검사를 수행하여야 한다.
- (5) 제방과 통문의 통합 점검: 현재와 같이 제방과 통문을 구분하지 말고 제방 안에 통문을 포함하여 한 항목으로 점검해야 한다. 이 부분은 앞의 넷째 항목과 결부하여, 구간별이 아닌 어떤 하천의 제방 시스템 전체를 대상으로 하는 방안을 강구하여야 할 것이다.
- (6) 수리 수문학적 및 토질적 점검: 현재의 제방과 수문의 안전 점검은 구조적 점검이라는 면

학술/기술기사

에서는 손색이 없으므로, 여기에 수리 수문학 적 및 토질역학적 항목과 방법을 보다 상세하고 구체적으로 포함시켜야 할 것이다.

3. 물리 탐사를 이용한 제방의 안전도 검사

(1) 하천 제방의 누수 탐사

일본의 경우 제방의 안전도는 크게 ① 월류에 대한 안전, ② 침투에 대한 안전, ③ 침식에 대한 안전, ④ 지진에 대한 안전으로 나눌 수 있다. 이들 중에서 월류에 대한 안전은 홍수위 계산을 통하여 유량에 따른 여유고를 충분히 확보함으로써 해결할 수 있다. 세 번째인 침식에 대한 안전은 대부분 호안, 콘크리트 구조물, 사석 보호공 등을 이용하여 해결하며, 많은 경우 수리학적 문제이다. 마지막의 지진에 대한 안전의 경우는 일본과 같이 지진이 빈발하는 경우에 고민할 문제이며, 지진과 홍수가 겹쳐서 일어나는 경우가 아니라면 사실 그다지 많이 고려할 문제는 아니다.

현재 우리나라 상황에서 가장 미진한 부분이 두 번째 침투에 대한 안전성 검사라 볼 수 있다. 그런데, 제방의 침투는 구성 재료를 명확히 알고 있어야 함에도 불구하고, 제방 자체가 앞서 언급한 것처럼 불균질의 재료로 이루어져 있고, 내부를 쉽게 관찰할 수 없다는 문제 때문에 분석이 매우 어렵다. 그렇다고 기존 하천의 제방을 전부 개삭하여 내부를 조사할 수도 없는 한계가 있다. 이 때문에 하천 제방의 안전 진단 중 침투 및 누수에 관한 안전성은 대부분 비파괴 검사인 물리 탐사에 의존하게 된다.

또한, 하천 제방의 누수현상은 제방 전면에 걸쳐 발생하는 것이 아니라 국부적으로 발생하는 경우가 대부분이며, 증상으로 존재하기보다는 일정한 유로를 따라 발생된다. 제체 내 유로는 평상 시 제방의 안전성에 거의 영향을 미치지 않으나 호우나 장마철 같이 제외지 측의 수위가 급상승할 경우 수압에

의한 관공 현상(piping)을 발생시켜, 대규모 누수 및 제방 파괴를 유발한다. 따라서 이러한 제방 파괴 방지를 위해서는 누수의 원인이 되는 유로를 찾아 적절한 누수 방지 대책을 세우는 것이 무엇보다 중요하다.

제방의 누수대를 확인하는 방법은 현장답사에 의해 육안관측, 색소법에 의한 확인 방법 등과 같은 직접적인 방법과 전기 비저항 탐사법 등과 같은 지구 물리 탐사 방법이 있다. 종래의 제방 누수 확인 방법으로 현지 답사에 의한 육안조사 방법은 전체적인 누수의 이동경로를 확인하기 힘들다. 반면에 근래 적용되고 있는 지구 물리 탐사 방법은 지하 매질의 물리적 성질 차이에 따라 발생하는 다양한 물리 현상을 계측하고, 계측 결과를 해석하여 지하 매질의 구조와 성질을 알아낸다. 그리고 제방 내부의 침투 수위 및 제체의 구조 파악을 위한 계측 방법으로 제방의 누수 탐지 및 안전진단에 있어서 가장 경제적이고 효과적인 계측방법을 제공한다.

(2) 물리 탐사

토층의 물리 탐사(geophysical method)란 지하 매질(암석, 퇴적층, 물, 공동 등)의 물성에 대한 반응을 구하는 것으로 정의할 수 있다(Reynolds, 1997). 그리고 토층의 물리 탐사는 자연적으로 존재하는 중력장과 자기장의 변화를 탐지하는 수동적 탐사(passive method)와 인공적으로 발생시킨 신호가 땅속을 진행할 때 매질의 특성에 따라 변하는 것을 측정하여 해석하는 능동적 탐사(active method)로 나눌 수 있다. 능동적 탐사의 대표적인 예로 탄성과 탐사, 전기 비저항 탐사를 들 수 있다.

토층이나 토질 탐사라는 큰 범주로 보면 수많은 방법이 있다. 이런 물리 탐사에 대해서는 Reynolds (1997)나 일본의 물리탐사학회(物理学会, 1989)의 서적에 자세하게 소개되어 있다. 전자의 경우는 김지수 등(2008) 번역본이 출간되어 있다.

물리탐사의 방법은 또한, 사용하는 물리적 성질

표 2. 물리탐사 방법과 적용분야(Reynolds, 1997)

탐사 방법	이용되는 물성	적용 분야									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
중력탐사	밀도	◎	◎	○	○	○	○	×	×	○	×
자력탐사	대자율	◎	◎	◎	○	×	△	×	◎	◎	×
굴절법 탄성파탐사	탄성계수, 밀도	◎	◎	△	◎	○	○	×	×	×	×
반사법 탄성파탐사	탄성계수, 밀도	◎	◎	△	○	○	△	×	×	×	×
전기 비저항 탐사	전기 비저항	△	△	◎	◎	◎	◎	◎	○	◎	△
자연전위(SP)탐사	전위차	×	×	◎	△	◎	△	△	△	×	×
유도분극(IP)탐사	전기 비저항, 정전용량	△	△	◎	△	○	△	△	△	△	△
전자(EM)탐사	전도도, 유도용량	○	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	△
VLF전자탐사	전도도, 유도용량	△	△	◎	△	○	○	○	△	△	×
GPR탐사	유전율, 전기전도도	×	×	△	◎	◎	◎	○	◎	◎	◎
MT탐사	전기 비저항	○	◎	◎	△	△	×	×	×	×	×

기호 ◎ 1차로 우선 적용, ○ 2차 적용, △ 사용 가능하나 최적의 방법이 될 수 없음, 또는 현 상황에서는 이 분야에 적용하고 있지 못함, × 부적합

적용 분야 1. 탄화수소 탐사(석탄, 석유, 가스), 2. 광역 지질 연구(수백 km² 정도의 넓은 지역), 3. 광물 탐사 및 개발, 4. 토목 및 건설 공사 부지, 5. 수리지질학적 조사, 6. 지하공동 탐지, 7. 침출수 및 오염물질의 오염 범위 파악, 8. 매몰된 금속물의 위치 및 종류 파악, 9. 고고학적 유물 조사, 10. 법과학 분야(예: 범죄 수사 시 매물 시신 및 은닉 증거물 등 탐지)

에 따라 다음과 같이 네 가지로 나눌 수 있다.

- 포텐셜법(중력, 자력)
- 탄성과 탐사법(굴절, 반사)
- 전기탐사법(전기 비저항, 자연 전위, 유도 분극)
- 전자 탐사법(전자 탐사, 레이더 탐사)

그리고 물리탐사의 방법별 적용 분야는 표 2와 같이 요약할 수 있다.

(3) 물리 탐사를 활용한 제방의 침투 분석

그런데, 이런 방법 전체를 망라하는 것은 마치 하천의 유량 측정이라는 주제처럼 매우 광범위하게 된다. 따라서, 수리공학자 및 기술자들의 입장에서 하천 제방의 침투와 누수에 대한 안전성 점검이라는 관점으로 좁혀 보면 적용할 수 있는 방법은 극히 제한적이다.

이에 대해서, 일본 토목연구소의 자료(土木研究所, 2007)는 제방 침투를 분석하기 위한 물리 탐사 방법은 다음의 요건을 만족시켜야 한다고 하였다.

- 1) 비파괴 계측 방법으로 제방의 안전성에 영향을 미치지 않는 것,
- 2) 제방 및 지반의 물성 평가지표로서 S파 속도, 비저항 또는 밀도 분포를 계측 및 해석하는 방법일 것,
- 3) 탐사 심도로서 제체내부 및 지지기반의 깊이 5~20 m 정도까지를 대상으로 하는 얇은 탐사법일 것,
- 4) 이상부를 식별할 수 있는 충분한 구조 분해능을 가질 것,
- 5) 방법론 및 자료 처리, 해석 과정이 객관적일 것,
- 6) 현지 계측의 작업성 및 계측 기기의 조작성이 뛰어나고, 연속적인 영상화가 가능할 것,
- 7) 보급 촉진의 전제가 되는 기술의 개방 및 지적화가 가능할 것

이상의 요건을 기준으로 보면, 우리나라의 현재 상황을 보면 결국 전기 비저항 탐사 및 지중 레이더 탐사(ground penetrating radar; GPR)이 가장 적절한 방법으로 판단된다. 이들 방법은 현재 우리나라의 토질 조사 회사들에서도 실제로 시행하고 있다.

이런 여러 가지 물리 탐사를 제방 조사에 대한 적용성을 요약하면 표 3과 같다.

(4) 일본 토목연구소의 통합물리탐사

그러나, 표 3에 제시된 방법들 중 어느 하나가 전적으로 다른 방법에 비해 우수하다거나, 한 방법으로 제방의 침투를 완벽하게 파악할 수 있지 못하다. 그래서, 일본의 경우는 전기 비저항 탐사와 표면파 탐사법을 결합한 통합 물리 탐사법을 제안하고, 이를 실무적으로 활용하고 있다(土木研究所, 2006; 2007; 2008). 이 방법은 여러 가지 물리탐사를 동시에 실시하고 이 결과를 토대로 제방의 이상부(공동, 침투율이 높은 구조 등)를 파악하는 방법이다. 토목연구소에서는 이를 ‘통합물리탐사’라 부르고

학술/기술기사

표 3. 제방 조사에 대한 물리 탐사의 적용성

탐사법	측정 내용	적용 구분	토질 구분	강도	지하 수위	공동·매설물	탐사 비용	개 요	장단점
고밀도 탄성파 탐사	속도	중형	△	○	×*	△	△	S파(P파)의 전파속도를 측정하고 지반의 S파(P파) 속도 분포를 조사.	얕은곳에서 깊은곳까지 조사 가능. 중형단에 적용 가능. 측정에 약간의 손이 감.
고밀도 표면파 탐사	속도	중	△	○	×	×	○	인공적으로 발생시킨 표면파를 측정하고, 지반의 S파 속도분포를 조사	심도 10 m 정도까지 조사 가능. 속도 역전층 조사 가능. 분해능 떨어짐.
천층 반사법 탐사	경계	중	△	△	×*	△	×	지표에서의 S파(P파)의 반사위치에서 지중의 이상물이나 속도 경계를 조사.	얕은곳에서 깊은곳까지 조사 가능. 측정과 해석에 손이 많이 감.
고밀도 전기 탐사	비저항	중형	○	×	△	△	△	지중에 흘린 직류에서 생긴 전위를 측정하고, 지반의 비저항 분포를 조사.	얕은곳에서 깊은곳까지 조사 가능. 중형단에 적용 가능. 측정에 약간 수작업 필요.
EM(전자) 탐사	비저항	중	○	×	△	△	○	인공적으로 발생시킨 전자장을 측정하여 지반의 비저항 분포를 조사	비교적 신속한 조사 가능. 전선, 송신소, 공장 등에서 전자파가 방해가 됨.
지중 레이더 탐사	경계	중형	×	×	△	○	○	전자파의 반사 위치에서 지중의 공동이나 매설 구조물의 위치를 조사	신속한 조사 가능. 탐사 가능 범위가 알기 때문에 표층부로 적용이 제한됨.

중: 종단 방향의 탐사에 적용 가능, 황: 횡단방향의 탐사에 적용 가능

○: 적용 가능, △: 조건부 적용 가능, ×: 적용 곤란, *: P파에 의한 측정을 병용하면 △

있다.

즉, 단일 탐사 기술로 제공되는 물성 분포는 기본적으로 한 종류이며, 이것만으로 이상부를 정확하게 추출하는 것은 일반적으로 곤란하다. 따라서, 여러 가지 방법을 적절히 조합하여 실시하고, 얻어진 다른 물성 정보에 대해서 통합적인 해석을 추가하면, 이상부의 검출 능력을 비약적으로 향상시킬 수 있다는 것이다.

그런데 제방의 안전성에 관련된 불균질 구조의 공간적 척도는 기반 누수나 체체 침투에서는 수십 ~100 m의 규모, 관공(piping)에서는 수 cm~수 m의 규모로 예측된다. 이들 구조를 단일의 측정 조건에서 검출하는 것은 원리적으로 불가능하며, 일반적으로는 서로 다른 측정 장치와 방법을 이용하든가, 또는 측정 조건을 변경하여 반복하여 측정을 할 필요가 있다. 이와 같이, 통합물리탐사에서는 동일 구간에서 개략 조사에서 정밀 조사로, 정확도 및 분해능을 높이면서 반복 측정을 수행하고 있다.

통합물리탐사에서는 위에서 서술한 것과 같이 여

러 종류 및 다회 측정을 전제로 하고 있다. 따라서, 종래 기술과 마찬가지로 방법과 측정법을 이용하는 한 비용이 대폭 증대되어, 적용이 현실적으로 곤란하게 된다. 그래서, 경제성이 뛰어나고, 제방의 안정성 평가에 필요한 물성 정보를 제공할 수 있는 물리 탐사 수법에 대해서, 현지에서의 적용 실험을 포함한 조사 검토를 추가하였다. 그 결과 토목 연구소에서 개발한 Land Streamer 방식의 고정도 표면파 탐사법과 전극을 이동시키면서 연속적으로 측정 가능한 견인식 비저항 탐사법 또는 주파수 영역 전자 탐사법을 조합한 물리 탐사가 유효하고 경제적인 것이 밝혀졌다. 토목연구소에서 수행한 통합물리탐사의 기본 구성 방법은 표 4와 같다.

표 4. 일본 토목연구소의 통합 물리 탐사 구성 방법 (土木研究所, 2008)

탐사 수법	도 구	계측 물성	탐사 심도
견인식 비저항 탐사	OhmMapper	비저항	< 12 m
고정도 표면파 탐사	Land Streamer	S파 속도	> 15 m
전자 탐사	GEM-2	유전율	< 10 m

물리 탐사에 의한 제방의 침투 안전도 검사

고정도 표면과 탐사는 표면과의 분산 특성에서 표층부의 S파 속도 구조를 재구성하는 방법이며, 토목 연구소에서 개발한 Land Streamer를 활용하여 현장 계측 작업을 고속화하였다. 통상의 물리탐사의 계측에서는 한 번에 계측하는 구간을 제한되어 있으며, 연속적인 탐사를 실시하는 데는 탐침(sensor)류를 측선상에서 이동시켜야 한다. 종래 표면과 탐사에서는 탐침을 지면에 고착시켜서 신호를 취득하기 때문에, 이동에 따라서 탐침류를 재설치하는 수고를 해야만 하며, 작업성에 문제가 있었다. 이에 반해 Land Streamer는 다수의 탐침을 일체화하여 인력

으로 견인이 가능하도록 한 것이다. 이 도구에서는 탐침은 접지판을 통해 지면과 접지되어 있기 때문에, 이동 및 재설치의 수고를 단축할 수 있으며, 작업 효율을 대폭적으로 향상시킬 수 있다.

한편, 견인식 비저항 탐사에서는 토목연구소에서 보유한 축전기 전극 결합형 OhmMapper 도구를 사용하였다. 이 도구는 전극을 견인 이동시키면서 계측이 가능하며, 종래의 전극 설치형 비저항 탐사에 비해 극히 높은 작업성을 기대할 수 있다. 또, 전극 탐사에 이용한 GEM-2 도구는 가반형으로 전체 중량도 5 kg 정도로 경량이기 때문에 소수 인원으로

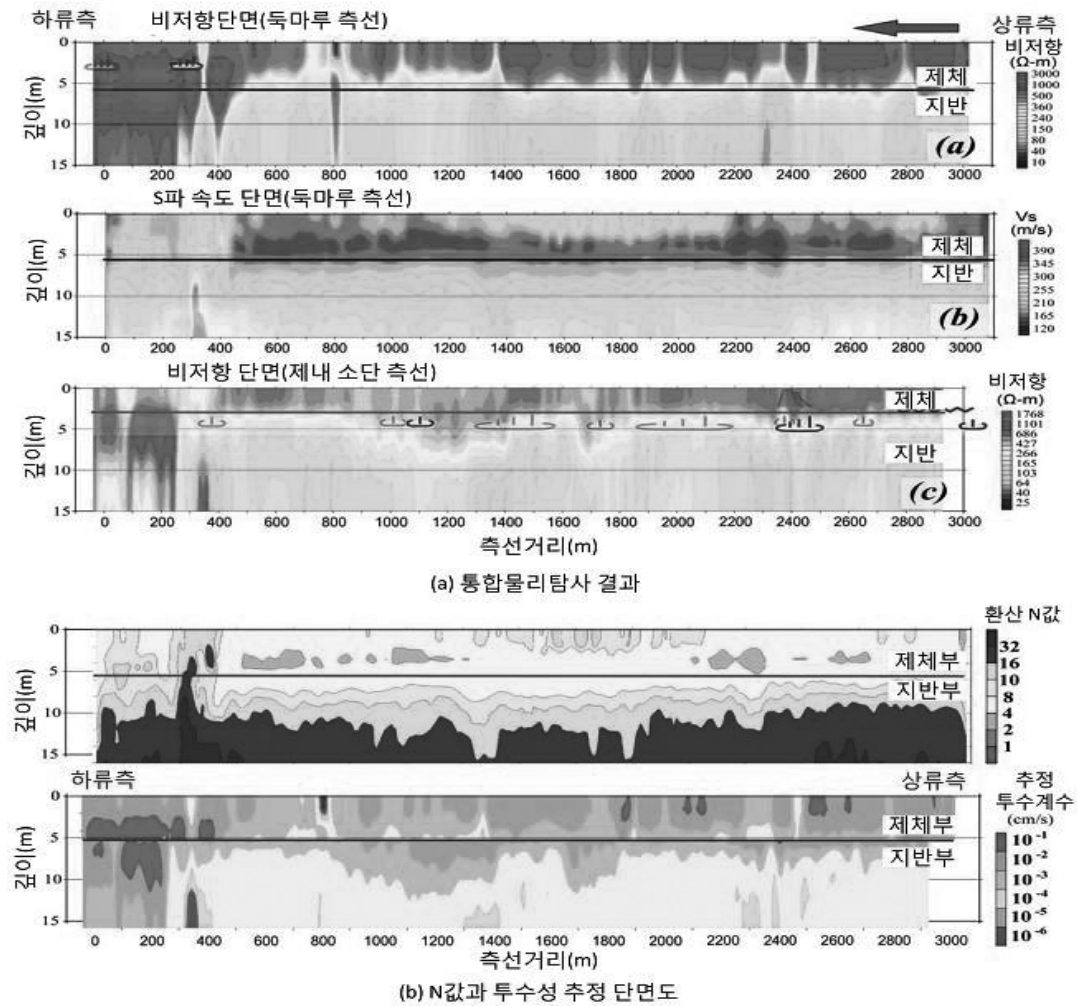


그림 1. 통합물리탐사 결과와 추정된 제방의 N값과 투수성(土木研究所, 2008)

학술/기술기사

로 효율적으로 계측을 실시할 수 있는 이점을 지니고 있다.

그림 1(a)는 치쿠마천(千曲川) 우안 57 km 부근에서의 통합 물리 탐사의 결과로 얻어진 비저항 단면 및 S파 속도 단면이다. 같은 구간에서는 2006년 7월의 장마전선 호우때에 수개소에서 기반 누수나 제체 침투 피해가 발생하였다. 피해 구간에서는 그 후 침투 대책공사가 실시되고 있다. 또, 탐사 측선은 비고 약 5 m의 제방 마루 및 약 2.5 m의 제외 비탈측 소단에 설정하였다. 같은 그림의 비저항 단면에는 과거의 기반 누수나 제체 침투 개소를 표시하였으며, 이들이 기본적으로 높은 비저항부에서 발생하고 있는 것을 알 수 있다. 이것은 비저항값을 지표로 하여 침투성이 높은 위험 개소를 평가할 수 있다는 것을 시사하는 것이다. 지지 지반부에도 $10^{-1} \sim 10^{-2}$ 규모를 보인 부분이 각 지점에서 확인되며, 그 위치는 과거의 누수 발생 구간과 대개 일치하고 있다.

한편, 그림 1(b)에는 통합 물리 탐사 단면을 투수성 및 N값으로 치환하여, 제체 침투 및 기반 누수의 위험도가 높은 개소, 또는 강도가 낮아, 활동이나 지진시의 붕락의 위험성이 높은 부분을 명확히 추출할 수 있음을 보였다.

4. 맺음말

현재 우리나라에서 수행하고 있는 제방의 안전성 검사중에서 가장 취약한 것으로 보이는 제방 침투의 안전성 문제를 살펴 보았다. 또한, 이런 문제점들을 극복할 수 있는 장래의 개선 방안을 모색해 보았다. 개선 방안 중의 하나로 하천 제방의 침투 안전성 분석을 위해 물리 탐사법을 도입하는 것이 가장 현실적인 대안이 될 수 있음을 보였다. 이러한 물리 탐사에 대해 개괄적으로 살펴 보고, 현재 가장 실용적인 것으로 보이는 일본 토목연구소의 통합물리탐사를 살펴 보았다. 이런 기술의 개발이나 도입이 제방의 안전성 검사를 발전시키는 데 도움이 될 수 있을 것이다.

감사의 글

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

참고문헌

1. 김지수, 송영수, 윤왕중, 조인기, 김학수 역 (2008) 물리탐사의 활용, 시그마프레스.
2. 한국시설안전공단(2010)의 '안전점검 및 정밀안전진단 세부지침.
3. 土木研究所 (2007) 治水安全度向上のための河川堤防の質的強化技術の開発.
4. 土木研究所 (2008) 治水安全度向上のための河川堤防の質的強化技術の開発.
5. 物理探査学会(1989) 図解物理探査.
6. Reynolds, J.M. (1997) An introduction to applied and environmental geophysics, John Wiley & Sons.