

배수통문 비파괴 조사방법의 현장 적용 사례

이 대 영*, 김 진 만*, 최 봉 혁*, 김 경 민*, 윤 종 열*

1. 서론

배수통문 주변 공동은 홍수로 인한 수위 상승 시 파이핑을 촉진시켜 제방 붕괴를 유발시킴으로 공동 유·무 및 규모를 파악하여 합리적인 대책을 수립하는 것이 중요하다. 특히 배수통문의 안정성 평가를 위한 방안중 비파괴 조사법을 이용한 사례가 증가하고 있음에 따라 본 연구에서는 비파괴 조사방법을 이용하여 배수통문의 현장 적용성 평가를 수행하였다.

조사대상 배수통문은 그림 1에서 보듯이 경남 달성군 현풍면 자모리에 소재한 낙동강 수계의 배수통문으로, 압거 중앙에 일반 그라우팅으로 차수된 심도 25m까지 차수벽이 설치된 곳이다. 또한, 본 배수통문은 낙동강 달성지구 하천개수공사 사업의 일환으로 신설 배수펌프장의 신축이 추진되고 있다. 그

림 2에서는 조사대상 수문의 전경을 보여준다. 또한 본 조사의 목적은 연통시험에 대한 국내 적용실적이 없는 실정에서 시범사업적 성격을 띠고, 표 1과 같이 각 기법의 유효성 및 적용성, 관련 문제점 및 개선방안 등의 확인을 목적으로 수행되었다.

2. 배수통문 조사방법

2.1 지반 조사

지반조사 결과, 본 지역의 지층 구성상태는 매립층에 이어 퇴적층인 실트층, 점토질 모래층, 모래층(협재), 자갈층과 기반암인 연암의 순으로 형성되어 있었다. 제방에서의 매립층 두께는 5.0~14.4m 전후로 확인된다. 시추 조사 시 병행한 표준관입시험결과, N값은 4~7로 나타난다.

퇴적토층은 대체로 상부는 실트나 점토질 모래층, 하부는 모래 및 자갈층으로 구성되어 있는 층으로, 상부의 실트나 점토질 모래층은 표준관입시험결과

*1 한국건설기술연구원, 국토지반연구부, 선임연구원
(dylee@kict.re.kr)

*2 한국건설기술연구원, 국토지반연구부, 수석연구원

*3 한국건설기술연구원, 국토지반연구부, 연구원

*4 한국건설기술연구원, 국토지반연구부, 선임연구원

*5 (주)삼보지오테크, 기술연구소, 이사

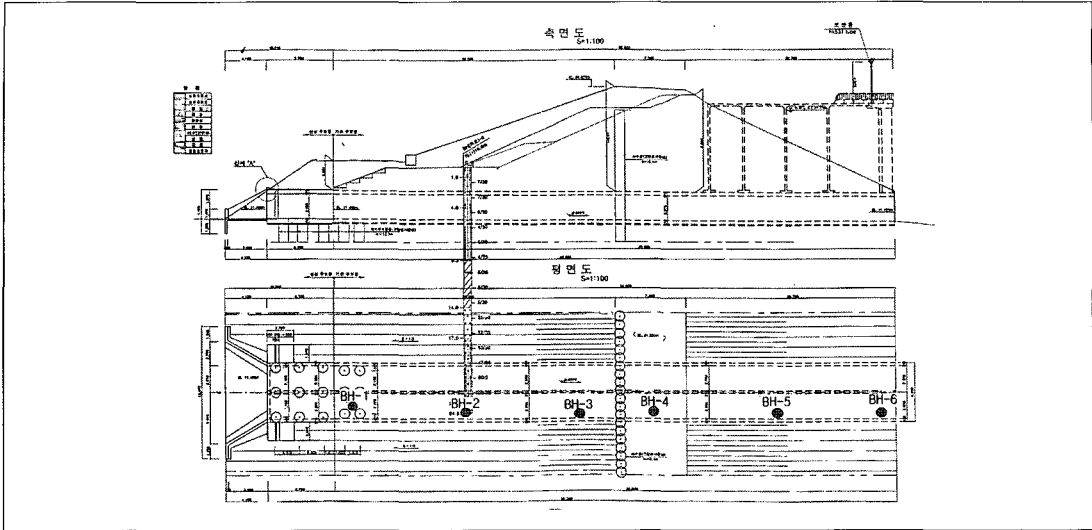


그림 1. 조사대상 수문의 측면도 및 평면도

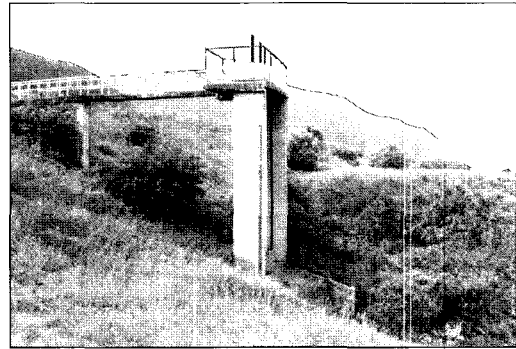


그림 2. 조사대상 수문의 전경

표 1. 배수통문 조사시 시험항목

구분	조사 목적	조사 내용
육안조사 및 레벨측량	• 암거의 종방향 부등침하 평가	• 시각에 의한 암거 균열 조사 • 암거 저면 및 천정부에 대한 1m 간격의 레벨측량
텔레뷰어	• 암거 저면의 공동 확인	• 연통시험의 관측공(No. 3, No. 4번) 주변 2 개소
타음조사	• 암거 저면의 공동 탐사	• 암거 저면을 따라 1m 간격
연통시험	• 암거 저면의 정성적 공동 탐사	• 관측공 6개소 설치 (그림 1 참조)

N=4~5 정도로 연약지반특성을 나타내며, 약 9.5m의 두께로 분포되어 있다. 한편 본 현장은 중간에 3.0m의 두께로 표준관입시험결과 N=25~33 정도

인 모래층이 협재하고 있는 것으로 조사되었다. 협재 모래층의 하부에는 표준관입시험결과 N=50/20~50/2 정도로 매우 조밀한 상태의 자갈층이 6.5m 두

배수통문 비파괴 조사방법의 현장 적용 사례

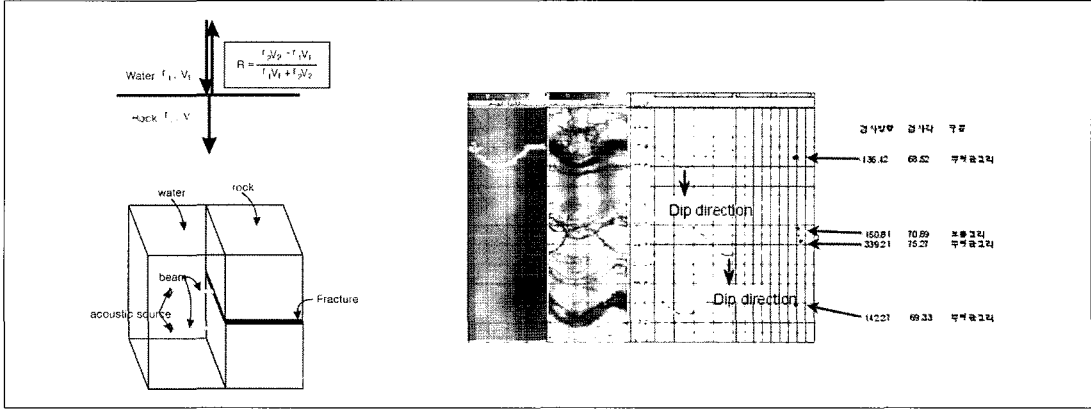


그림 3. 텔레뷰어 탐사의 기본원리 및 탐사결과

개로 분포하고 있다.

연압층은 현 지표면하 23.5m의 지점에서 출현하고 있으며, 지하수위는 배수통문으로 10cm~20cm의 물이 계속 흐르고 있어 GL 0.0m 지점에 분포하는 것으로 추정된다.

2.2. 텔레뷰어 탐사

텔레뷰어 탐사 혹은 초음파 주사 검층법(Borehole

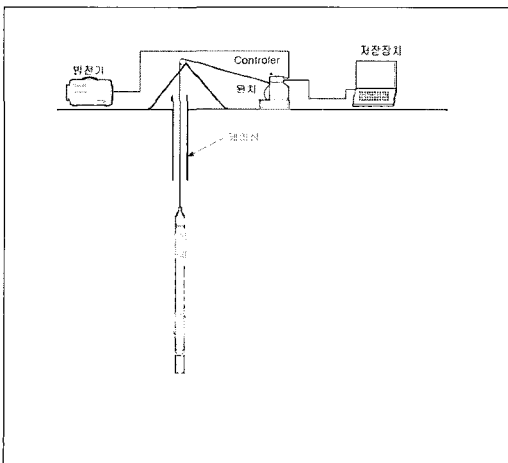


그림 4. 텔레뷰어 탐사 모식도

acoustic scanner)은 초음파(주파수 약 1.4MHz) 빔 (beam)을 시추공 내벽에 주사하여 그로부터 얻게 되는 반사파의 진폭 및 주시를 분석함으로써 절리 및 불연속면의 크기, 경사방향 및 경사각, 암반의 변화 내지 암석의 역학상태를 정확히 규명할 수 있는 시추공 물리검층 기술이다. 그림 3에서는 텔레뷰어 탐사의 기본원리 및 탐사결과를 보여준다. 텔레뷰어는 그림 3에서 보듯이 초음파가 시추공 벽면에 수직으로 입사되면 시추공 벽면에서 반사계수에 따라서 변화하는 반사파가 발생하게 되는데, 이 반사계수 R을 밀도와 탄성파 속도와의 관계로 분석하여 주변 지층 상태를 검층하는 기법이다.

텔레뷰어 측정시 얻게 되는 자료는 초음파 빔이 공벽에 의해 반사되는 반사파의 진폭 및 주시와, 센서의 위치 정보 등이며, 그림 4에서는 텔레뷰어 탐사 모식도를 보여준다.

2.3 타음조사

콘크리트 구조물 배면의 공동을 조사하는 방법으로는 그림 5에서 보듯이 전통적으로 청음조사가 주

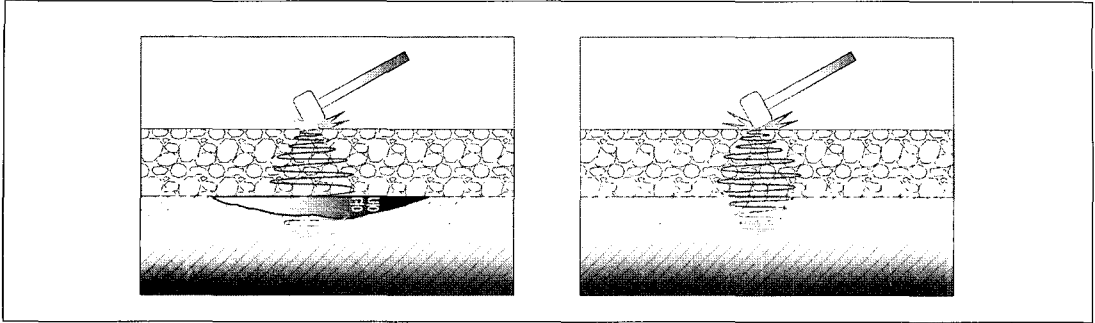


그림 5. 타음조사 모식도

로 시행되었다. 이러한 청음조사는 경제성과 적용성이 우수하여 터널 라이닝 배면조사에 많은 적용이 이루어졌다. 그러나, 청음조사는 그러한 장점에도 불구하고 측정자료의 기록성이 없고 지표평가에 있어 객관성이 부족하다는 단점으로 인해 객관적인 구조물 배면건전도 조사방법으로서의 한계를 지니고 있다.

따라서, 청음조사의 객관성을 높이기 위하여 조사자의 주관적인 감각에 의존하지 않고 보다 객관적인 지표인 타격음의 주파수 분석을 통하여 배면의 건전도를 평가할 수 있는 새로운 기법의 개발이 필요하다고 할 수 있다. 본 조사에서는 수진기를 통해 기록된 타격진동(진행중파)을 푸리에변환(Fourier Transform)하여 주파수에 따른 상대진폭을 분석함

으로써 배수암거 배면의 건전도를 간접적으로 평가하고자 하였다.

타음조사의 가장 중요한 목적은 콘크리트 구조물과 원지반의 밀착도를 주파수 분석을 통해 평가하는 것이다.

이러한 타음조사 기법은 미국의 경우 매설암거분야에서, 일본의 경우 호안 및 배수통문 구조물, 일반건축구조물 분야 등에서 많은 연구가 수행되고 있으며, 그림 6에서는 타음조사 장비 및 현장시험 장면을 보여준다.

2.4 연통시험

일반적으로 제체 침투는 토립자간 물의 침투로 인하여 매우 느린 특성이 있는 반면에, 공동이 있는 배수통문 저면은 물의 침투가 공동 내에서 제약이 없는 관계로 빠른 특성(연통된 상태)이 있다.

연통시험은 그림 7에서 보여주듯이 암거내 콘크리트 저판을 6개소에서 천공하여, 그 중의 1개소를 주수공으로 하여 나머지 5개공(관측공)의 시간에 따른 수위변화를 관측하는 방식으로 주수공을 바꾸어가며 수행하였다. 또한, 연통시험의 결과 분석은 주수공과 관측공의 수위변동량 및 주수에 의한 관측공



그림 6. 타음조사 현장시험 장면

배수통문 비파괴 조사방법의 현장 적용 사례

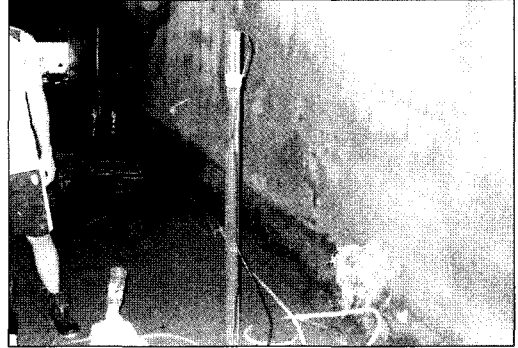
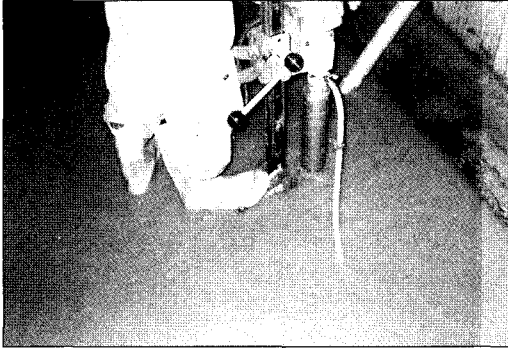


그림 7. 조사대상 현장의 연통시험 장면

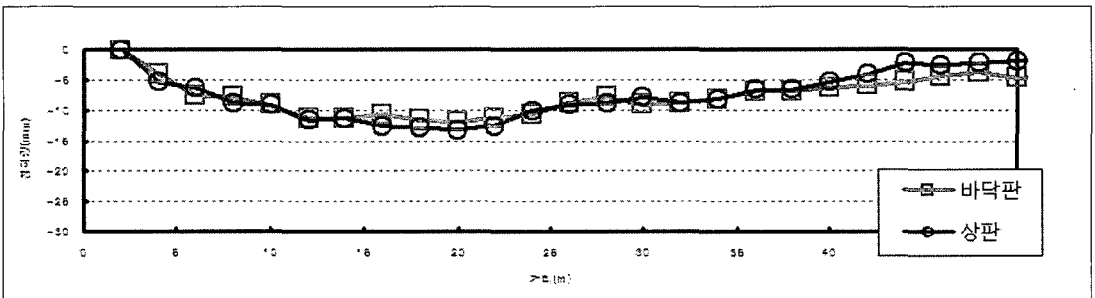


그림 8. 조사대상 배수통문 내부의 거리별 침하량 관계곡선

의 수위가 변화할 때까지의 시간차(지체시간, time lag)로부터 공동 상태를 정성적으로 판정한다.

3. 조사결과

3.1 육안조사 및 레벨측량 결과

본 조사대상 현장은 이미 하천공사에 의한 주변 시공이 완료되지 않은 상태라서 제체, 호안, 흥벽/날개벽 등에 조사가 현실적으로 어려워 암거 내부의 콘크리트 균열, 백태 및 침하특성만을 조사하였으며, 이때 암거에 대한 조사는 사진촬영의 경우 콘크리트의 변형 형태를, 레벨측량의 경우 배수통문 바

닥판과 상판 등을 암거 종방향으로 1m 간격의 측선에 대해 수행하여 상대적 침하량을 산정하였다.

그림 8은 조사대상 배수통문 내부의 거리별 침하량 관계곡선을 보여준다. 조사대상 배수통문의 침하 특성은 최대 침하발생거리의 경우 20m 지점, 최대 침하량의 경우 바닥판 11.9mm, 상판 13.1mm 등으로, 상판 및 바닥판의 침하 경향이 유사한 특성을 나타내었다.

일반적으로 배수통문의 허용침하량은 일본의 강구조/강지지 구조물의 경우 5cm, 연성구조/연성지지의 경우 30cm이다(JICE 1998). 따라서 본 현장은 이러한 침하특성에 비교해 볼 때 안정적인 침하특성을 보이고 있다. 한편, 암거의 콘크리트는 그림 9에서 보듯이 다소의 균열 처리된 벽체에서 백태가 발

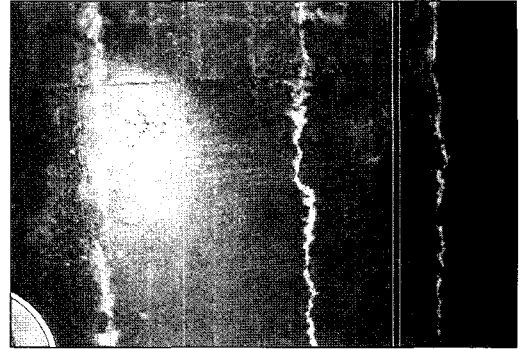
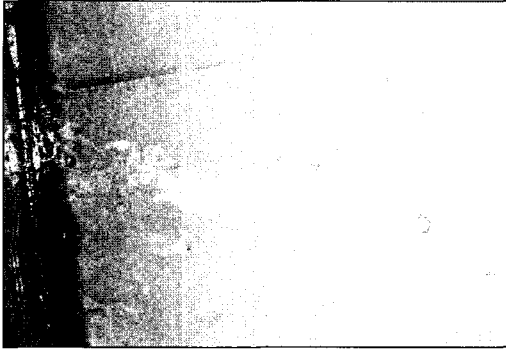


그림 9. 조사대상 암거의 콘크리트 변형 형상

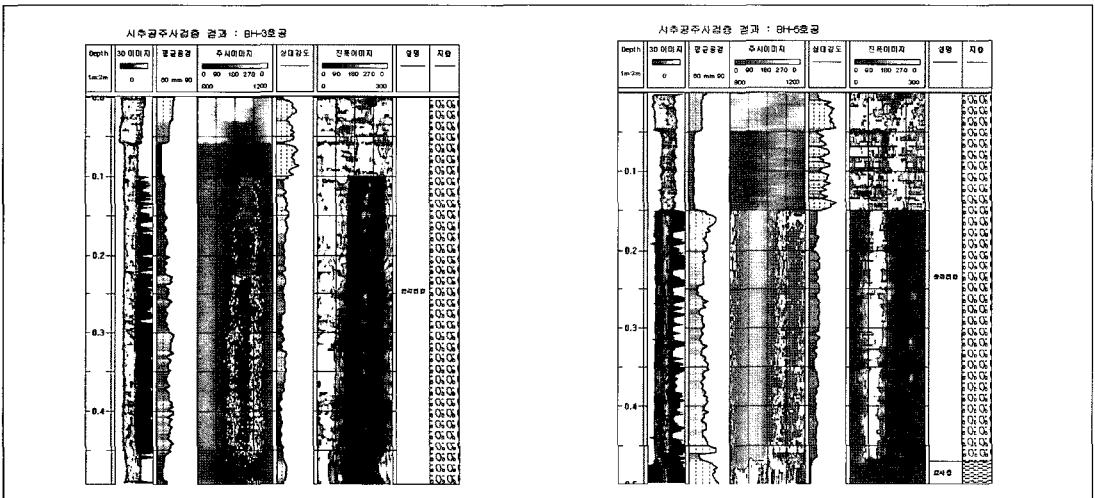


그림 10. 조사대상 암거의 텔레뷰어 결과

견된 정도로 양호한 변형상태를 보였다.

3.2 텔레뷰어 조사 결과

텔레뷰어 조사는 BH-3 및 BH-5 근처의 구조물 하부 50cm 시추공에 대해 초음파 주사검층하는 방식으로 수행되었다. 이때 시추공 깊이 50cm는 지반 교란을 최소화하기 위하여 지반굴착깊이 10cm를 고려한 것이다.

조사결과는 BH-3번공의 경우 전체 시추심도에

걸쳐 콘크리트층이 나타나고, 토사층이 나타나지 않으며, BH-5번공의 경우 탐사심도 47cm까지 콘크리트층이, 그 하부에 토사층이 나타난다. 전체적으로 콘크리트 강도는 600 kgf/cm² 내외로 나타나며 상당히 견고한 상태를 유지하는 것으로 판단된다.

한편, 텔레뷰어 조사는 그림 10에서 보듯이 전체적으로 토사붕괴 등의 요인에 기인하여 토사층 구간에 대해 충분한 시추심도가 확보되지 않으면 의미 있는 분석결과 도출이 어려우며, 향후 토사 구간에 대하여 암거저면 교란이 발생할지라도 다소 깊게 굴

배수통문 비파괴 조사방법의 현장 적용 사례

착하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

3.3 타음조사 결과

타음시험은 각 연통시험공 위치에서 측정한 타격

진동을 주파수영역으로 변환한 후, 주파수대역이 넓어 고주파성분이 우세할수록 큰 값이 나오도록 유도된 상대적인 건전도지수로 공동의 유무를 판정하였다. 조사대상 측정별 건전도지수 및 주파수 분석결과는 표 2 및 그림 11과 같다. 조사대상 측정별 건전

표 2. 조사대상 측정별 건전도지수

측점명	공번	건전도지수	측점명	공번	건전도지수
F1	BH1	12.4	F4	BH4	13.7
F2	BH2	10.3	F5	BH5	15.2
F3	BH3	12.1	F6	BH6	14.1

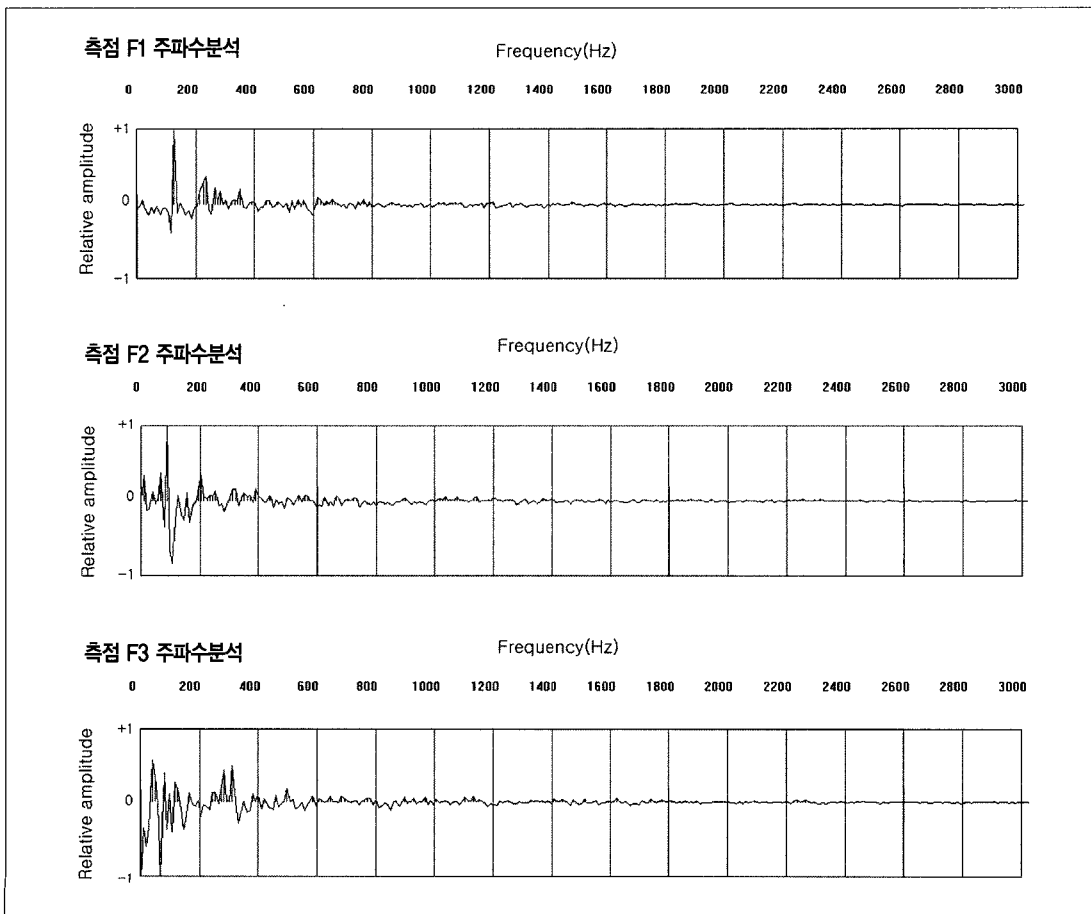
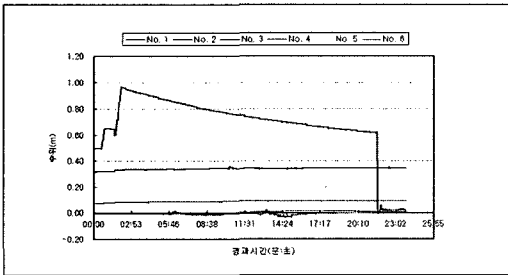


그림 11. 조사대상 측정별 주파수 분석결과

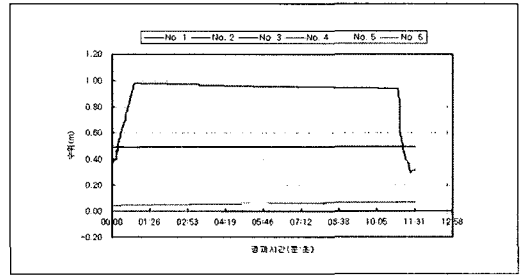
도지수는 10.3~15.2 정도로 상대적으로 6번공 하부의 건전도가 상대적으로 가장 높고 2번공 하부의 건전도가 가장 낮은 것으로 나타났다. 따라서 조사대상 축점은 건전도지수 낮게 나타남으로써 공동이 없는 상태로 평가되었다. 다만, 이러한 건전도 조사법은 탐지하고자하는 공동 상부의 구조물 두께가 약 30cm 이내일 때 적합한 방법이나 본 조사대상 배수 압거의 콘크리트 두께는 50cm 내외이므로 건전도지

수의 차이가 크게 나타나지 않는 것으로 판단된다.

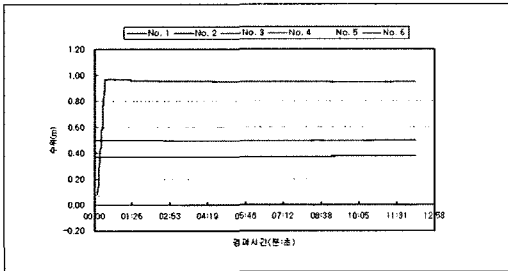
또한, 절단주파수나 주파수영역으로의 이산(discrete)변환기법에 따라 건전도지수를 산출하는 방법이나 그 절대값이 다양하게 변화할 수 있으므로 현장의 특성과 많은 자료의 축적을 통해 효율적인 건전도지수의 산출방법 연구가 추후 필요하다고 판단된다.



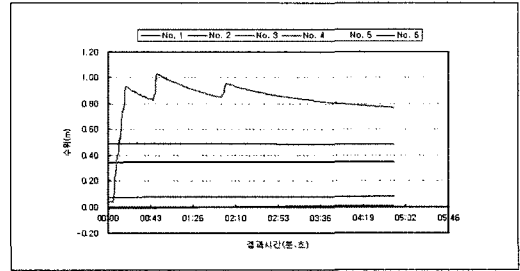
(a) 1공 주수시



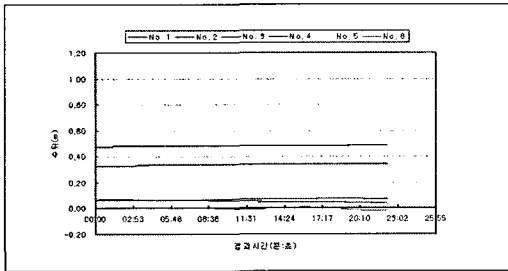
(b) 2공 주수시



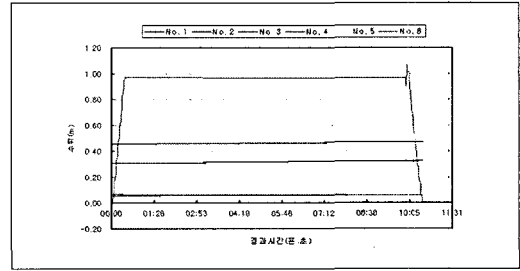
(c) 3공 주수시



(d) 4공 주수시



(e) 5공 주수시



(f) 6공 주수시

그림 12. 연통시험에 의한 각 관측공별 경과시간-수위 관계 곡선

3.4 연통시험 결과

그림 12는 연통시험에 의한 각 관측공별 경과시간-수위 관계 곡선을 보여준다. 시험상 매끄러운 주수가 이루어지지 않은 주수공(그림12-(e))이 있었으나 지반교란을 최소화하기 위하여 각 주수공의 수위 상승량을 1.0m 이하로 주수하였다. 조사대상 연통시험결과는 그림 12에서 보듯이 주수 시 시간경과에 따른 주수공만의 수위상승을 보여 공동이 없는 특성을 보였다. 다만 BH-1공변은 주수가 끝난 후 수위하강이 발견되어 제내지 유입구 바닥 보험공쪽에 다소 공동이나 투수성이 큰 지반이 있을 것으로 판단된다.

4. 결론

본 고에서는 배수통문의 안정성 평가를 위한 점검 방안으로 물리탐사기법 및 연통시험을 통한 비파괴 조사방안에 대해 고찰하고 현장배수통문의 조사를 수행하였다. 시험결과분석을 통해 기존 배수통문의

안전성 평가를 위한 비파괴 안전진단기법인 물리탐사법이 공동의 유·무 판정확인 및 배수통문의 안정성 평가를 위한 조사방법으로 현장 적용 가능성을 확인하였다. 또한 연통시험법의 배수통문 현장에 시험적용함으로써 국내배수통문 안정성 평가 방안으로서 현장 적용성을 평가하였으며, 이러한 비파괴 조사방법의 현장적용성 평가를 통해 추후 하천제방의 안전성 평가 시스템 구축에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

참고 문헌

1. 한국건설기술연구원, 2003. "하천제방 관련 선진기술 개발 - 2차년도 중간 보고서", 한국건설기술연구원.
2. 한국건설기술연구원, (2005), "하천제방 배수통문의 설계 및 안정성 평가기법 연구", 2003건설기반구축사업 최종 보고서, 2005
3. 國土開發 技術研究 Center, 柔構造 通門 設計의 人間 1998. 11,

