한국철도학회 철도저널 16권 5호, 2013년 10월, pp. 33-41 ■

철도에서의 검사 · 진단 기술 및 레일축력의 측정과 PC교량 내부의 진단

서 사 범
㈜서현기술단 부사장
공학박사/철도기술사
T.010.6219.1369
suh7484@hanmail.net

Ⅰ. 머리말

안전하고 안정된 철도서비스를 제공하기 위해서는 토목, 궤도, 전력, 신호 등의 대단히 많은 설비 및 차량의 검사와 진단을 계속적이고 적확하게 실시할 필요가 있다. 메인터넌스(maintenance)의 중요성은 점점 더 높게 됨과 함께 설비나 차량의 長수명化나 검사 · 진단 기술의 향상, 효율화 등에 의한 코스트 저감에 대한 요청도 커지고 있다.

한편, 장대레일에는 기온이나 일조의 영향으로 큰 레일축력이 발생되는 일이 있어 유지관리상의 과제로 되어 있다. 그래서 일본에서는 레일의 고유진동수를 바탕으로 레일에 작용하는 절대 축력을 추정하는 기초이론을 구축하여 수치해석으로 축력측정에 유효한 고유진동모드를 추출함과 동시에 이 이론이 올바른지 검증하기 위하여 실(實)궤도의 장대레일 구간에서 레일의 가진 실험을 실시하였다.

PC교량은 비교적 스팬이 긴 철도교에 많이 이용되고 있다. PC교량의 내부에 배치된 PC강재에서 파단이 발생되는 경우가 있지만, 조사결과의 사례에 따르면, PC강재 주위의 그라우트가 시공이나 품질의 영향에 따라 충전 불량으로 되고 그 결과로서 PC강재가 부식된 것이 주된 요인이라고 한다.

본고에서는 토목구조물 등의 현상에 입각하여 검사 · 진단 기술의 과제와 전망을 기술하고 메인터넌스 연구개발의 동향에 대하여 소개한 후에, 해머 타격으로 레일축력을 구하는 방법을 소개하며, 마지막으로 PC교량 내부의 상황을 비파괴검사로 진단하는 방법에 대한 최근의 동향을 소개한다.

Ⅱ. 검사 · 진단 기술의 과제와 전망

1. 사회자본의 고령화 및 연구개발과 기술계승

우리나라는 고도 성장기에 사회자본이 집중적으로 확장 · 정비되었으며, 향후에는 사회자본의 급속한 노후화가 진행될 것으로 예상되고 있다. 미국 도로구조물의 경우에 고령화에 따른 메인터넌스에 예산이 충분히 투입되지 않았기 때문에 1980년대에는 '황폐해지는 미국' 이라고 불리는 등 구조물의 열화대책이 문제로 되었다고 한다. 우리나라도 구조물 중에는 각종 변상 등이 생기고 있는 것도 있어 향후에 적확한 검사 · 진단이 요구되고 있다.

고령화되어 가는 각종 철도설비를 적절하게 메인터넌스하기 위해서는 검사 · 진단에 관한 연구개발과 기술의 계승이 필요하다고 생각된다. ICT기술 등을 활용하여 검사 · 진단 기술의 고도화, 효율화에 이바지하는 연구개발을 진행하는 것과 검사 · 진단에 필요한 데이터항목을 분명하게 하여 축적 · 공유화하여 가는 것도 필요하다고 생각된다. 또한, 정기검사 등으로 판단이 곤란한 변상이 발견된 경우에 고도의 전문기술자에 의한 진단이나 대책법을 지원하는 시스템도 필요하다고 생각된다.

2. 설비 보전의 고려방법

설비 검사 등의 메인터넌스 방법으로서는 일반적으로 예

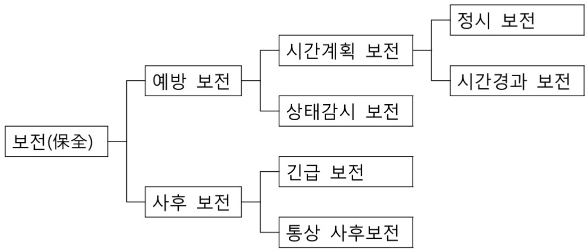


그림 1. 보전(保全)관리상의 분류

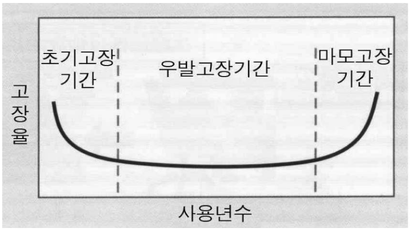


그림 2. 욕조곡선과 고장패턴

방보전, 또는 사후보전으로 분류된다. 보전은 그림 1과 같이 분류할 수 있다. 여기서 말하는 보전이란 설비가 필요 기능을 발휘할 수 있도록 하기 위한 검사, 정비, 갱신을 말한다.

효율적인 메인터넌스를 검토하는 데에는 설비(부재 · 장치)마다의 검사방법과 교체 · 갱신 등의 목표로 하여야 할 햇수(年數)의 판단이 중요하다고 생각된다. 그림 2는 욕조(浴槽, bathtub)곡선과 고장율의 패턴을 나타낸다. 욕조곡선이란 장치 등의 고장율 추이를 개념적으로 나타낸 곡선이다. 초기고장이 발생된 후에 극히 드물게 밖에 고장이 나지 않는 안정기로 되며, 그 후에 마모나 열화로 인해 다시 고장이 다발하는 과정을 나타낸 것이다. 그러나 많은 설비(부재 · 장치)가 그림 2에 나타낸 욕조곡선에 꼭 들어맞는 것은 아니다.

또한, 예를 들어 항공기 분야에서는 종래부터 엔진을 비롯한 많은 장비부품은 상태의 양부에 관계없이 일정한 사용시간에 도달하였다면 기체에서 떼어내어 분해 손질을 해왔다. 그러나 이러한 정기검사에서는 사용시간과 고장 간의 상관관계가 없는 부품도 많이 있어 분해작업에 따라 오히려 초기고장의 발생 가능성을 만들어내는 점, 만족스럽게 작동하고 있는 부품은 그대로 사용하는 쪽이 전체로서의 떼어냄이 작아 경제적이고 고장도 작으며 결과로서 품질이 향상되는 경우가 있는 점 등이 지적되고 있다.

철도의 각종 설비(부재 · 장치)에서도 각각의 열화진행 경향을 파악하는 것이 적절한 메인터넌스 방법을 검토하기 위하여 중요하다고 한다. 또한 결함에 따라 시스템전체에 큰 영향을 미치는 부재 · 장치인 경우에 열화진행 경향의 관리가 가능한 것은 상태감시로 가능한 수명연장化를 도모하고, 경향을 관리할 수 없는 것은 경과연수에 따라서 정기적으로 교체 · 갱신하여 기능에 치명적인 결과가 생기지 못하게 하는 것을 생각해서 행할 필요가 있다. 또한 결함에 따라 시스템전체에 큰 영향을 미치지 않는 非치명적 부재 · 장치인 경우는 가능한 한 계속 사용하여 기능저하나 결함이 발생된 시점에 대응하는 것으로 하여 비용 대 효과를 최대한 이끌어내는 것도 필요하다고 한다.

3. 연구개발의 동향

철도의 메인터넌스에 관한 연구개발은 지금까지 열화 · 손상 메커니즘의 해명, 검사 · 진단 기술의 자동화 · 高정밀도化, 유지관리계획 책정방법, 효율적인 보수 · 교체 기술, 메인터넌스프리(maintenance-free) 구조의 개발과 재료의 長수명化에 관한 것 등, 다기에 걸쳐 수행하여 왔다. 이들의 성과는 검토에서 조치에 이르는 작업의 시스템화나 長수명化 등에 따라 저비용化로 이어지고 있다고 생각된다. 일본에서 지금까지의 연구개발 대상으로서는 구조물이나 궤도의 분야에서는 검사 · 진단 기술이나 구조 · 재료의 내구성 향상 외에 열화 메커니즘이나 보수 · 교체에 관한 것을 많이 실시하여 왔다. 차량분야에서는 열화 메커니즘의 해명과 재료의 長수명化가 많고, 전기분야에서는 특히 전차선에 관한 검사 · 진단 기술이나 구조 · 재료의 내구성 향상이 많았다.

현재는 ICT기술을 이용한 설비의 상태감시방법에 관한 연구개발이나 철도구조물의 효율적인 보수 · 교체 기술의 개발 등에도 몰두하고 있다.

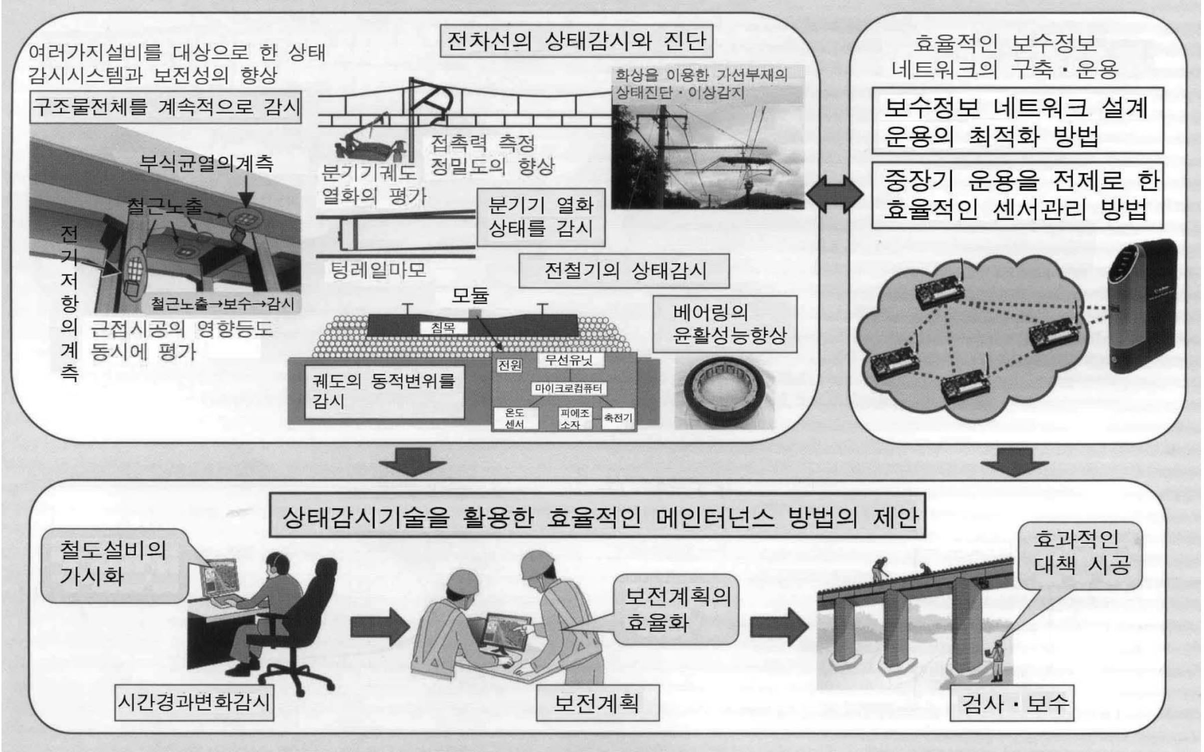


그림 3. 새로운 상태감시 보전기술

4. 새로운 상태감시 보전기술

현재 일본에서 진행하고 있는 '새로운 상태감시 보전기술' 의 연구개발 테마에는 토목구조물, 전차선설비나 궤도 등과 같은 철도설비의 상태변화를 계속적으로 감시하기 위하여 각종 센서의 개발이나 정보네트워크의 활용법, 경년변화 예측법 등을 검토하고 있다(그림 3).

여러 가지 설비를 대상으로 한 상태감시는 대상물의 계측항목, 계측부위, 센서의 측정정밀도에 대한 검토 등, 대상물에 대한 계측기술의 확립이나 계측데이터에 의거한 상태변화 예측법의 구축이 중요하다고 생각하고 있다. 더욱이, 취득된 實데이터에 의거한 이들의 유효성, 타당성의 검증도 필요하다. 또한, 철도설비의 중장기에 걸친 상태변화를 계속적으로 감시하기 위하여 센서의 내구성 향상 및 갱신작업의 용이化를 도모함과 함께 보수정보 네트워크의 설계 · 운용에 대한 최적화 기술의 개발, 더욱이 감시 정밀도의 적정화 등, 효율적인 상태감시방법이 제안되어 오고 있다.

또한, 설비의 검사 · 진단에서 조치에 이르는 장기에 걸친 메인터넌스에서는 팽대한 양의 정보를 어떻게 관리하는가가 중요하다. 열화 · 손상 메커니즘의 해명과 검사 · 진단 데이터의 축적 · 분석에 따라 경년변화의 예측 정밀도의 향상을 가능하게 하고 검사주기의 적정화 및 보수필요 여부의 적절한 판단이 효율적으로 실시하게 됨에 따라 획일적인 검사주기나 보수기준으로부터의 탈각(脫却)으로 이어질 수 있다.

5. 철도구조물의 효율적인 보수 · 교체 기술의 개발

리스크 매니지먼트(risk management)방법을 이용한 철도구조물의 리스크 평가나 보수 · 보강개소 우선순위의 검토, 자산관리(asset management)방법을 이용하여 메인터넌스에 이용되는 자금의 배분계획 등을 검토하는 유지관리 계획법의 연구개발도 필요하다.

열화가 진행된 오래된 구조물에 대해서는 필요에 따라

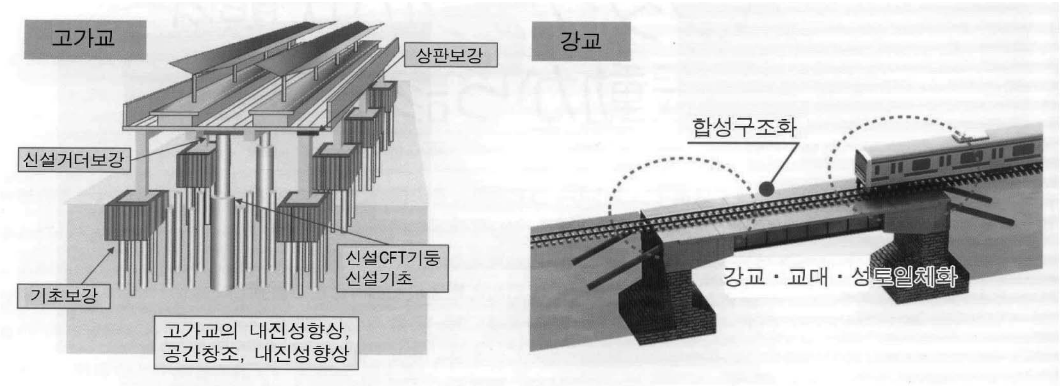


그림 4. 고가구조물의 대규모 리뉴얼 기술의 예

감시나 보수에 의한 수명연장化 처치를 하고, 열화가 더욱 더 진행된 경우에는 기능회복의 관점에서 부분적 보강 등이 시행되어 왔다. 그렇지만, 향후에 필요하게 된다고 생각되는 기존 구조물의 기능이나 성능의 대폭 향상을 목적으로 한 대규모 리뉴얼(renewal) 기술에 대하여도 경제적인 공법을 검토하여가는 것이 중요하다. 일본에서는 기설 토목 구조물의 구조형식을 변경하는 기술이나 프리캐스트 부재나 이종(異種) 부재를 이용한 리뉴얼 기술(그림 4)에 대하여 연구개발에 몰두하고 있다. 한편, 한산선구에 관하여는 안전을 담보하면서 철저한 효율화를 목표로 한 메인터넌스의 연구개발도 필요하다고 생각된다.

Ⅲ. 해머 타격을 이용한 레일축력의 측정

1. 100 톤까지도 도달하는 축력변동

레일온도가 1 ℃ 변동하면, 철의 열팽창계수에 따라 50kgN 레일의 경우에 약 1.63 톤, KS60kg 레일의 경우에 약 1.97 톤의 축력변동이 생긴다. 예를 들어, 여름철 땡볕의 레일온도와 엄동의 온도 간에는 50～60 ℃에 가까운 축력의 변동이 발생하게 된다. 레일에는 수10 톤～100 톤에 가까운 축력의 변동이 발생하게 된다. 100 톤이라고 하면, 자가용차 100대 분의 무게에 상당한다.

축력이 발생될 뿐이라면 그만큼 문제는 없는 것이지만, 예를 들어 여름철 맹서(猛暑)에 따른 큰 압축력의 발생은 궤도좌굴(레일의 장출)의 원인으로 된다. 한편, 동기에 한냉지에서의 인장축력의 발생은 경우에 따라서는 레일파단 등의 트러블을 유발할 수 있다. 따라서 이들을 예방하기 위하여 장대레일에서는 축력의 계속적인 관리가 필요하게 되는 것이다.

2. 종래의 축력 측정법

레일에 발생되는 축력으로 인한 트러블을 방지하기 위해서는 장대레일 궤도에서는 정해진 온도범위 내에서의 부설과 장기에 걸친 축력의 적절한 관리가 불가결하다. 그러나 현상에서는 실용적으로 좋고 유효한 측정법이 없다. 통상은 일정구간마다 설치된 말뚝을 기준으로 하여 레일 상의 표시를 바탕으로 레일의 신축량을 측정하고 복진에 따른 부가축력을 관리하는 방법을 이용하고 있다.

그러나 이 방법에는 오차나 주관(主觀)이 개입될 여지가 다분히 있어 국소적인 축력의 분산도 알 수 없고, 얻어진 값의 결과에 대한 신뢰성도 알 수 없다. 그 때문에 현장에서 레일에 작용하는 절대 축력을 간편하게 파악할 수 있는 비파괴측정법의 개발이 요구되고 있다.

3. 레일축력과 고유진동수의 관계

기타나 바이올린 등의 현악기에서는 현을 인장하면 음이 높게 되고 현을 느슨하게 하면 음이 낮게 된다. 이것과 마찬가지로 레일에 대하여도 축력의 증감에 따라 레일의 고유진동수가 변화한다. 레일도 인장되면 고유진동수가

높게 되고 압축되면 고유진동수가 낮게 된다. 요컨대, 레일에 작용하는 축력과 그 고유진동수의 관계를 이론적으로 밝힐 수가 있으면 레일의 고유진동수를 바탕으로 레일축력의 크기를 추정할 수 있게 된다.

다만, 레일의 경우는 유연하고 세장(細長)인 현의 진동과는 달리 소재 자체의 강성이 있고 단면적도 크며 복잡한 단면형상을 하고 있다. 또한, 상응의 질량도 있다. 그 때문에 축 방향의 신축뿐만 아니라 굽힘, 비틀림, 전단변형, 중심축의 편심 등의 영향도 받는다. 게다가 레일은 침목에 이산(離散)적으로 체결되어 있으므로 이들의 효과에 대하여도 고려하여야만 한다.

레일의 고유진동수를 바탕으로 하여 작용 축력의 크기를 구하기 위해서는 레일의 단면형상과 그 강성 및 복잡한 고정조건을 고려할 수 있는 이론적인 평가가 필요하게 된다. 요컨대, 현에 관한 상기의 설명과는 달리 음의 높이뿐만 아니라 음색을 분석할 필요가 있는 것이다.

레일의 경우에, 음색에 상당하는 것은 고유진동수와 그 때의 레일 변형모드이다. 그 추출에는 컴퓨터를 이용한 수치해석이 필요하게 된다.

4. 축력측정에 유효한 고유진동모드

50kgN 레일과 PC침목으로 구성되는 무한길이의 자갈궤도에 관한 수치해석을 하여 축력을 받으면서 진동하는 자갈궤도에 관한 파동분산 해석으로 축력측정에 유효한 고유진동모드를 추출한 일본의 예를 소개한다.

해석으로 얻어진 축력측정에 적당한 레일의 고유진동모드에 대한 예를 그림 5에 나타낸다. 이 그림은 고유진동모드에 관하여 최대진폭 발생 시에서의 변형의 특징을 나타내고 있다. 양 모드는 침목위치를 마디(節)로 하여 진동하는 모드이며, 레일이 침목에 독립하여 진동하므로 레일체결장치, 침목하면의 스프링정수 및 침목 진동의 영향을 받지 않아 축력측정에 적합하다.

레일축력의 측정에서는 적어도 약 100 kN(약 10 톤) 정도의 측정 정밀도가 필요하다. 그림에는 100 kN의 축력변동에 대한 주파수변동의 크기를 나타낸다. 고유진동수의 측정 정밀도는 측정방법에도 따르지만, 가장 간단한 임펄스 가진(加振)의 경우에 0.1～0.2 Hz이다. 따라서 레일축력의 측정에서는 필요한 분해능이 충분히 실현가능하다고 생각된다.

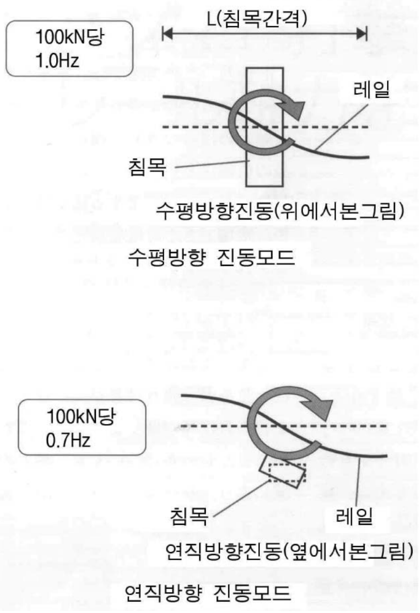


그림 5. 축력측정에 최적인 고유진동모드

5. 임펄스 가진 실험

실(實)궤도의 장대레일 구간에서 기온, 일조에 따른 레일축력 변동을 외력으로 하여 레일축력의 변화와 레일 고유진동수의 관계를 조사한 일본의 예를 소개한다. 실험의 개요를 그림 6에 나타낸다. 가진개소는 인접하는 침목의 중

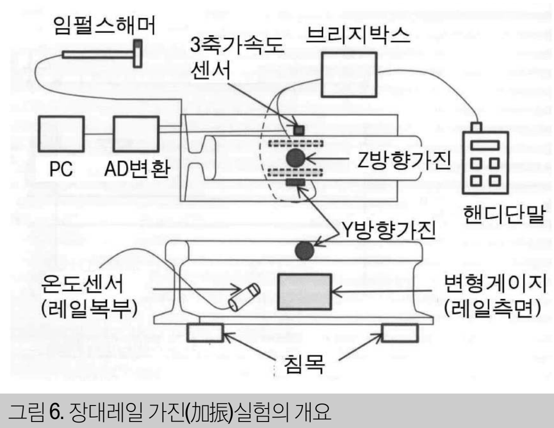


그림 6. 장대레일 가진(加振)실험의 개요

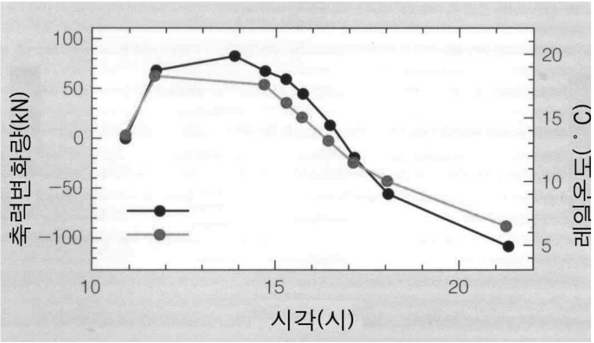


그림 7. 축력과 레일온도(實궤도)

간 지점이다. 가진 지점에 수평방향과 연직방향으로 임펄스 해머로 타격을 가해 가진 개소의 응답파형을 측정하였다. 또한, 개개 가진 파형 특성의 차이에 따른 영향을 배제하기 위하여 가속도 데이터를 가진력으로 나누어 기준화하여 엑셀러런스(Accelerance; = 가속도/가진력)로 변환하였다.

그림 7은 레일축력과 레일온도의 시간경과 변화를 나타낸 것이다. 실험당일의 레일온도 변화는 11.3 ℃이지만, 그 동안에 레일축력에는 177 kN의 변동이 있었다.

6. 축력측정에 적당한 고유진동주파수

가진 실험의 측정 예를 그림 8에 나타낸다. 그림에서 수평 가진에서는 340 Hz 근방에, 연직 가진에서는 730 Hz 근방에 피크가 보인다. 이들은 침목위치를 마디(節), 레일 중간 부분을 배(腹)로 하여 레일이 수평방향과 연직방향으로 진동하는 정재파(定在波)의 고유진동모드이다. 상기의 그림 5에서는 전자가 수평방향 진동모드, 후자가 연직방향 진동모드에 상당한다. 양 그림에서 피크의 형상을 비교

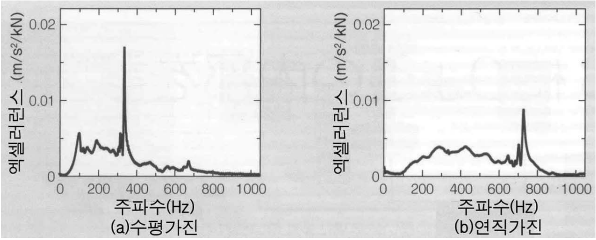
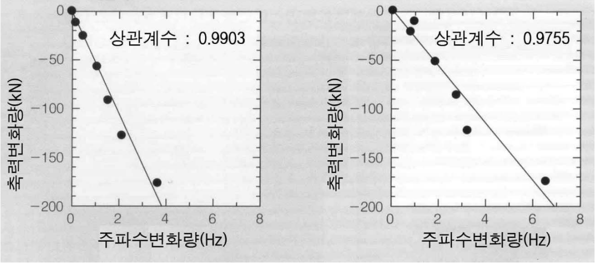


그림 8. 가진(加振)실험 측정의 예(實궤도)



(a) 수평진동모드 (b) 연직진동모드

그림 9. 축력과 레일의 고유진동수(實궤도)

하면, 수평방향 진동모드의 쪽이 날카롭게 뾰족하여 고유진동수를 보다 정확하게 특정할 수 있다. 따라서 수평방향 진동모드의 쪽이 측정에 유리함을 알 수 있다.

7. 레일축력과 고유진동수의 관계

그림 9는 현장측정 결과에서 레일축력과 고유진동수의 관계를 나타낸다. 여기서 레일축력의 변화는 레일에 부착한 변형게이지(그림 6 참조)로 실측한 것이다. 이 실험에서는 177 kN의 레일축력 변동에서 수평방향으로 3.66 Hz, 연직방향으로 6.56 Hz의 고유진동수 변동이 있었다. 고유진동수의 변동 폭은 연직방향의 쪽이 수평방향보다 1.8배만큼 크며, 이것은 대략 고유진동수의 크기에 비례하고 있다. 또한, 그림 중의 직선은 측정치에 근사식을 적용한 것이다. 그림에서 연직방향과 수평방향 양쪽 모두 레일축력 변화량과 고유진동수 변화량에는 명료한 선형성이 있고, 양쪽 모두 높은 상관이 있음을 알 수 있다.

또한, 수평방향 진동모드의 쪽이 상관계수가 크고, 측정치의 분산도 적기 때문에 수평방향 진동모드의 쪽이 측정에 유리하다고 판단할 수 있다.

Ⅳ. PC교량 내부의 진단기술

1. PC교량의 유지관리에서의 문제점

PC교량에서는 PC강재로 프리스트레스를 주지만, PC강재 부식 등의 열화를 방지하기 위하여 쉬스(sheath)와 PC강재의 간극을 그라우트로 충전한다. 그런데, 과거에

건설된 PC교량에서는 그라우트 충전 불량이 생기는 사례가 보인다. PC강재가 부식된지 얼마 안되어 파단될 가능성이 있다. PC강재가 파단되면 PC교량이 내력을 잃어 최악의 경우에 낙교하는 일도 고려된다. 따라서 PC교량을 향후에도 안전하게 계속 사용하기 위해서는 PC교량의 내부를 진단하는 기술이 필요하게 된다.

2. 삭공(削孔) · 육안관측에 의한 진단

PC교량의 진단에서는 쉬스 내부의 그라우트 충전 상황을 파악하는 것이 포인트로 된다. 지금까지의 진단에서는 PC교량에 구멍을 뚫어 직접 육안관측으로 확인하는 삭공(削孔) 조사가 주로 시행되어 왔다. 삭공 조사는 직접 눈으로 보아 판단할 수 있기 때문에 정확한 판정이 가능하지만, 구멍을 뚫은 장소밖에 확인할 수 없는 점이나 구멍을 뚫는 작업으로 교량이 손상될 가능성이 있었다.

3. 비파괴에 의한 진단

PC거더의 내부를 진단할 때에 PC교량을 손상시키는 일이 없이 비파괴로 검사하는 방법(이하, 비파괴검사)이 요구되고 있다. 이하에서는 비파괴검사로 PC교량을 진단하는 방법에 대하여 몇 개의 사례를 소개한다.

(1) X선 투과방법

X선 투과방법에는 그림 10에 나타낸 것처럼 검사 대상으로 하는 PC교량에 방사선(X선)을 일정시간 조사(照射)하여 필름을 감광시킴으로써 공동(空洞)의 유무를 판정하는 방법이다. X선의 투과성은 물질의 밀도에 따라 변화하는 성질이 있다. 요컨대, PC교량의 쉬스 내에 공동이 있는

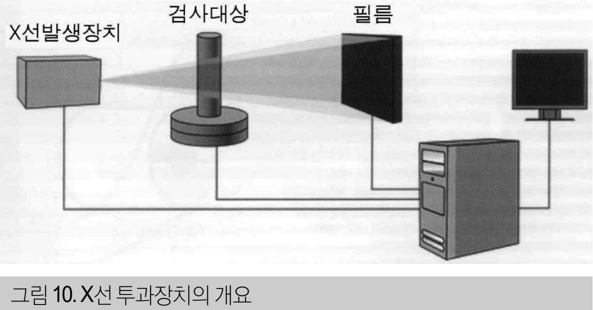


그림 10. X선 투과장치의 개요

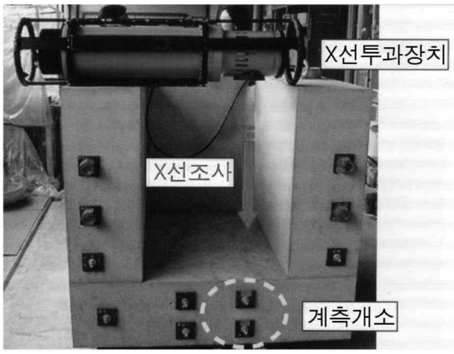


그림 11. X선 투과방법에 의한 측정

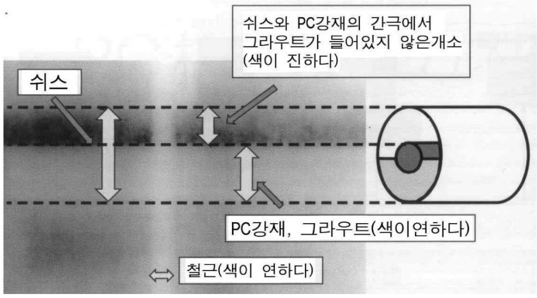


그림 12. X선 투과방법의 실험결과

경우에는 X선이 투과하기 쉽게 된다. 투과도가 높은 부분은 화상이 연해지므로 화상의 농담(濃淡)으로 내부 공동의 유무를 판단하는 방법이다.

그림 11과 같은 시험체로 측정한 경우에 X선이 투과하는 콘크리트의 두께가 300～400 mm 정도이라면 그림 12와 같은 농담(濃淡)이 확인될 수 있지만, 500 mm를 넘어가면 농담의 판별이 어렵게 되는 경우가 있다.

또한, 방사선을 이용하기 때문에 충분한 안전관리가 필요하게 되며, 도로와 교차하는 개소에 있는 PC교량 등에서는 도로의 통행금지 등의 수속이 필요하게 된다.

(2) 임팩트 에코방법

임팩트 에코(impact echo)를 이용한 비파괴검사법은 그림 13, 그림 14와 같이 PC교량의 표면에 가속도센서를 설치하고 그 근처를 강구(鋼球)로 타격하여 반사파를 수신함으로써 탄성파의 반사깊이를 측정한다. 측정결과와 부재두께 및 쉬스위치를 비교함으로써 쉬스내부에 대한 공동의 유

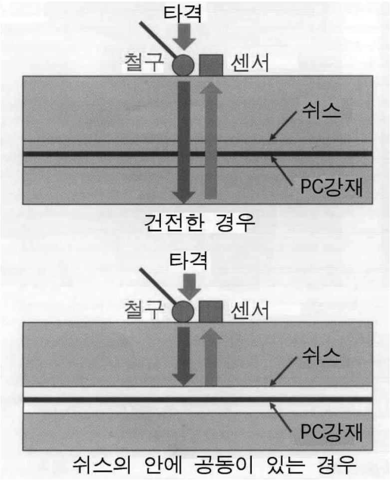


그림 13. 임팩트 에코방법의 개요

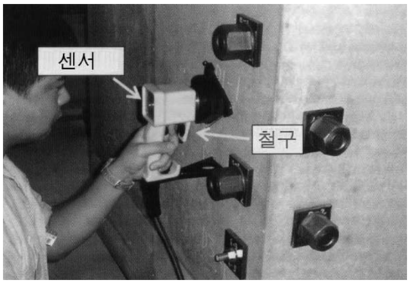


그림 14. 임팩트 에코방법에 의한 측정

무를 판정하는 방법이다.

다만, 쉬스가 철근에 가까운 표면부근에 배치된 경우에 쉬스로 부터의 반사파와 타철근으로부터의 반사파가 겹치어 판정정밀도를 저하시킬 가능성이 있으므로 주의가 필요하다.

(3) **초음파방법**

초음파방법은 그림 15, 그림 16에 나타낸 것처럼 발신측 센서에서 초음파를 입력하여 쉬스에서 얻어진 반사파를 또 한쪽의 수신측 센서로 계측하는 것이며, 이 반사파의 탁월진동수를 이용하여 PC 그라우트의 충전 유무를 판정하는 방법이다(그림 17). 이 방법에서는 측정하는 개소의 두께에 의존하지 않고, 단시간의 측정이 가능하게 된다.

여기서 입력파에 대해 얻어지는 반사파에는 철근이나

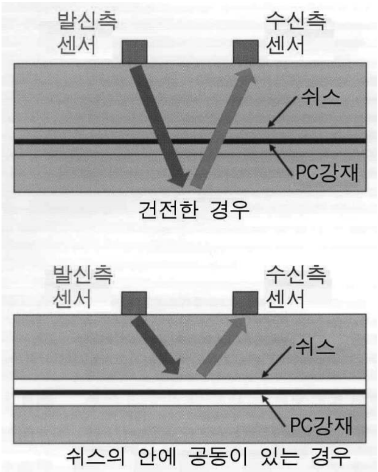


그림 15. 초음파방법의 개요

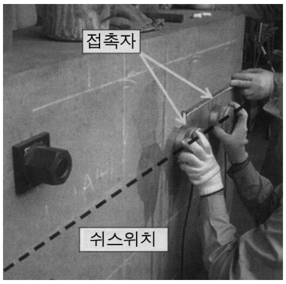


그림 16. 초음파방법에 의한 실험

골재로부터의 반사파나 콘크리트 표면을 타는 파도 포함되어 있기 때문에, 얻어진 반사파에서 쉬스로부터의 반사파만을 추출하는 것이 중요하게 된다.

지금까지의 초음파 방법에서는 측정방법이나 파형 분석의 장면에서 측정자의 경험에 의존한 판정으로 되는 경우

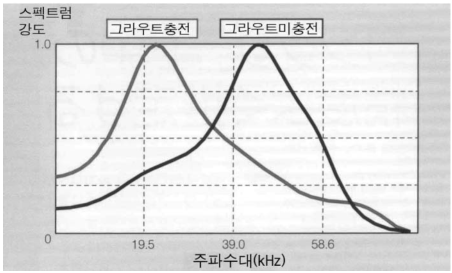


그림 17. 초음파방법의 결과를 이용한 충전의 판정

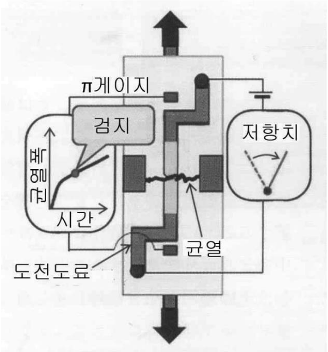


그림 18. 도전도료에 의한 균열검지 실험

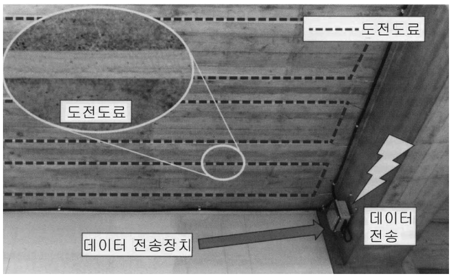


그림 19. 구조물에서 균열 모니터링의 상황

가 많았지만, 최근의 대처에서는 그들의 룰(rule)을 체계화함으로써 계측 정밀도를 향상시킬 수 있었다.

(4) 도전도료를 이용한 방법

도전(導電)도료(塗料)란 통전(通電)이 가능한 도료이며, 그림 18과 같은 실험으로 균열의 유무와 통전의 관계에 대하여 검증하였다.

PC교량은 균열의 발생을 허용하지 않지만, PC강재의 파단 등의 영향으로 프리스트레스가 저하하여 균열이 발생될 가능성이 있다. 도전도료를 PC교량의 표면에 도포함으로써 통전의 유무에 따라 균열의 유무를 검지할 수가 있다.

또한, 상기 (1)~(3)의 방법으로 PC교량의 변상을 진단하는 경우에는 검사한 때의 변상밖에 확인할 수가 없다.

일본에서는 도전도료와 데이터 전송장치를 이용하여 24시간 체제로 구조물의 변상을 확인(모니터링)하는 방법도 개발하고 있다(그림 19).

Ⅴ. 맺음말

철도설비의 메인터넌스에 관해서는 특히 현장의 실태를 잘 이해함과 함께 실태에 입각한 정보에 의거하여 연구개발을 진행하여갈 필요가 있다. 또한, 철도의 메인터넌스에 관한 기술자의 장년에 걸친 경험 · 지식과 데이터의 축적 · 분석의 계승이 메인터넌스 기술의 발전에서 극히 중요하다. 게다가 철도사업자 간에 정보의 공유도 필요하다고 생각된다.

한편, 궤도진동 특성에 의거한 레일축력 측정방법의 가능성에 대해 수치해석과 현장실험으로 검토한 예에서는 수치해석의 결과에서 체결개소를 마디(節)로 하는 레일의 연직방향과 수평방향 정재파의 고유진동모드가 레일체결장치, 침목하면 스프링정수 및 침목 고유진동모드의 영향을 받지 않아 레일축력 측정에 유효함을 알 수 있었다. 또한, 실(實)궤도에서의 가진 실험으로부터 레일축력의 변화량과 고유진동수의 변화량 간에 명료한 선형관계가 있음을 확인하여 온도변화에 따른 레일축력의 변화량을 해머 타격으로 평가할 수 있었다. 향후에는 실(實)궤도에서의 실험과 해석을 고정밀도化하여 실용화할 필요가 있다.

본고의 마지막 부분에서 PC교량의 내부를 진단하는 기술을 소개하였지만, 최근에 PC교량에 한하지 않는 노후화된 철도토목구조물의 유지관리가 주목되고 있다. 철도토목구조물을 장기간 활용하여가기 위해서는 구조물이 어떠한 상태에 있는지를 적절하게 판단할 필요가 있다. 그때에 본고에서 소개한 비파괴에 의한 진단 기술이 활용될 수 있을 것이다.

♣ 참고 문헌

[1] 佐藤 勉, 検査診断技術の課題と展望, http://bunken.rtri.or.jp, 2013.7.
[2] 内田雅夫, 鉄道総研におけるメンテナンスの研究開発の取り組みと展望, http: //bunken. rtri.or.jp, 2008.11
[3] 佐藤 勉, 土屋 隆司, 舘山 勝, メンテナンスの革新,, http://bunken.rtri.or.jp, 2011.1.
[4] 相川 明, ハンマー打撃にレール軸力を求める, http://bunken.rtri.or.jp, 2013.7.
[5] Akira Aikawa, Kazuhisa Ase, Saki Shimizu, Hirotaka Sakai, Feasibility Study on a Measurement Method of Rail Axial Stress Base on the Resonant Frequency of Standing Wave Modes, http://bunken.rtri.or.jp, 2012. 12.
[6] 堀 慎一, 渡辺 健, 田所 敏弥, PC橋りょうの内部を診断する, http://bunken.rtri.or.jp, 2013.7.