

해외철도동향

## 철도구조물 비파괴검사 기술 동향



김영우  
한국철도기술연구원

### 1. 서론

영국의 철도산업계는 국영철도의 민영화이후 큰 변화의 시기를 맞고 있다. 이런 가운데 레일 절손에 의해 발생한 2000년 핫필드(Hatfield)에서의 열차 탈선 사고는 철도분야의 투자 위축과 고속철도 건설 계획의 지연을 가져오기도 하였다. 이 사고 후 시작된 대대적인 선로 교체 및 개량 사업은 6개월동안 극심한 철도 운행 정지 상황을 가져오기도 하였다. 그 후 런던 북쪽의 포터스 바(Potter's Bar)에서 또 다른 철도 사고가 발생하였고 이런 대형 철도사고 후 레일 및 철도 시설물의 진단과 검사를 위한 새로운 기술의 필요성이 현저히 증가하였다.

현장에서 요구되는 기술이 가져야 할 가장 중요한 특성은 열차의 운행에 지장을 주지 않아야 된다는 점이다. 철도 현장에서 이루어지는 모든 진단 및 검사의 중요한 제약 조건은 제한된 시간 안에 모든 작업을 마쳐야 한다는 점이다. 이러한 상황 때문에 대부분의 작업은 야간에 이루어지고 있다. 이런 점에서 철도분야에서는 철도의 운행에 지장을 주지

않는 신속하고 경제적인 검사방법이 요구되고 있다. 이런 요구사항은 결국 여러 다양한 비파괴검사 방법중에서 철도현장에서 요구되는 특성을 만족시킬 수 있는 적절한 방법을 찾아내어 타당성 및 신뢰성을 평가하는 단계가 필요함을 보여준다.

본고에서는 선진국에서 연구중인 철도 구조물분야에 적용가능한 비파괴 검사 기술에 대해서 소개하고자 한다.

### 2. 본론

#### 2.1. 외국의 NDE 분야 연구 동향

공학분야의 오랜 역사와 전통을 가지고 있는 선진국들은 과학기술 발전과 함께 발전해온 비파괴검사(NDE, Non-Destructive Evaluation)에 대한 연구와 투자의 역사도 매우 길다. 이런 NDE 분야의 오랜 연구 전통과 발전 역사는 거의 모든 선진국에서 살펴볼 수 있다. 비파괴 검사는 일반적으로 재료나 제품의 원형과 기능에 변화를 주지 않는 검사를 말하지만, 좀더 확대하면 재료나 제품에 물리적 현

상을 이용한 특수한 방법으로 제품을 분해하거나, 파괴하지 않고, 즉 대상물의 원형과 기능을 전혀 변화시키지 않고, 그것의 성질, 상태, 내부구조 등을 알아내는 모든 검사방법을 말한다. 영국을 예로 들면 NDE분야의 발전 역사가 오래된 만큼 관련된 기업 및 학교 연구단체등의 역사도 길고 다수의 단체들이 활동을 하고 있는 것을 알 수 있다. 영국의 NDE 연구를 대표하는 기관으로는 BINDT(The British Institute of Non-Destructive Testing, <http://www.bindt.org/>)가 있다. BINDT는 NDT 분야와 진단분야(Condition Monitoring)에 종사하는 전문가들의 학회로 회원의 교육 훈련과 인증 그리고 NDE분야의 기술 발전에 관련하여 활발한 활동이 이 학회를 중심으로 이루어지고 있다. BINDT의 회원들에 대한 정보는 BINDT 홈페이지에서 찾아볼 수 있는데 회원들의 수를 보면 NDT 분야의 시장이 상당한 규모인 것을 알 수 있다. 이 회원들은 (1) 장비 및 부품, 소모품 납품업체, (2) 검사 용역 업체, (3) 진단 장비 공급 업체, (4) 진단 용역 업체, (5) 교육훈련 기관 (6) 연구단체 (7) 기술 자문 기관 등으로 분류될 수 있다.

NDE관련분야는 오랜 역사와 함께 시장에서의 경쟁도 치열하여 신기술 분야에서 먼저 선도적인 위치를 점하려는 노력과 함께 활발한 연구 활동이 이루어지고 있다.

최근에 들어 영국정부는 선도적 위치에 있는 NDE분야의 기술 수준을 유지하고 치열한 국제 시장에서 경쟁력을 유지시키기 위하여 신기술 개발을 지원하고 있다. 정부 기관인 EPSRC(Engineering and Physical Sciences Research Council) 와 DTI(Department of Trade and Industry)를 중심으로 연구 개발 투자가 이루어지고 있는데 특히 다음과 같은 분야에 대한 연구를 적극 지원하고 있다.

- 최근에 발전된 첨단 기술을 NDE분야에 접목시킨 신기술 분야
- 산업체의 현장의 요구를 해결해 줄 수 있는 실용적 기술 분야
- NDE분야 고급 인적자원의 안정적 공급을 위한 교육 훈련 프로그램

특히 이런 목적을 달성하기 위하여 대학과 산업체간 연구 교류를 증진하고 NDE분야 연구 기획 및 조정 역할을 담당하는 연구 센터(RCNDE, RESEARCH CENTER IN NDE)를 설립하였다. 이 연구센터는 정부, 교육기관, 산업체의 전문가들이 회원으로 참석하고 있으며 영국내의 NDE

분야 연구방향과 투자계획은 대부분 RCNDE에서 관리를 하고 있다. 철도분야에 적용가능한 비파괴검사 기술의 경우도 이러한 구도안에서 활발히 연구되고 있고 철도 운영기관 및 철도 시설공단, 그리고 철도시설 유지보수 관리 엔지니어링 업체등과 활발한 협력을 통해 현장 적용성 및 신뢰성을 검토하고 있다.

## 2.2. 시설물 안전진단 기술

토목구조물이나 시설물의 비파괴검사에 사용되는 기술들은 대부분 지구물리학자들이 건설공사에 앞서 수행하는 지질 탐사나 지반 이상 검사 등에 쓰는 방법과 동일하다. 예를 들어 지구물리학적 지반 환경 검사에 활용되는 GPR(Ground Penetrating Radar)법은 석조교량이나 콘크리트 교량의 검사에 효과적으로 사용될 수 있다. 교량 검사에 사용되는 기술들을 표 1에 소개하였다. 이와 같이 다양한 방법들이 시설물 진단에 사용될 수 있다.

비파괴검사방법을 현장에 적용 할 때에 만족스럽지 못한

표 1. 교량의 비파괴검사방법

검사 방법	측정 변수	장점	단점	비용
육안검사	겉보기 상태	- 신속함. - 일반적인 숙련기술 충분	파상적 방법	적음
임계하중 측정	임계 하중	정량적	- 속도가 느림 - 위험할 수 있음	매우 높음
코어링(Coring)	내부 치수	정량적 치수	- 1 point 측정 - 교량 손상	약간 높음
진동 시험	진동 모우드/진동 신호	현상태의 간접적 측정	- 결과의 정량화 어려움 - 석조교량과 같이 뎀핑이 큰 경우 응답의 크기가 작다	높음
임팩트 시험	진동 모우드/진동 신호	현상태의 간접적 측정	- 결과의 정량화 어려움 - 석조교량과 같이 뎀핑이 큰 경우 응답의 크기가 작다	중간
초음파법	파동전파 속도	상대적으로 빠름	신호감쇠로 측정범위가 작음	중간
음향법	파동전파 속도 단면 이미지	- 약간 느림 - 검사 영역이 넓음	신호처리 기술 필요	약간 높음
전도도(Conductivity)	Relative Conductivity	- 빠름 - 최대 1.5m까지 측정가능	1.5m 이상 깊이 측정 곤란	적음
레이더(Radar)	전자파 속도	- 빠름 - 투과 깊이가 큼 - 내부구조물의 이미지정보	- 진흙이나 소금성분 포함시 투과 깊이 작음 - 데이터 분석을 위해 기술 필요	약간 높음



결과를 얻을 때가 있다. 이런 경우는 보통 검사에 필요한 정밀도를 만족시키지 못하거나 또는 해결하려고 하는 문제에 적절하지 못한 방법을 사용했을 경우가 많다. 따라서 때로는 검사방법을 적용하기 전에 전문가의 자문을 구하여 효과적인 검사방법을 택할 필요가 있다. 때로는 대상 구조물의 상태가 초기에 예측한 것 보다 더 복잡한 상태하에 있어 검사 결과의 분석이 어려울 수도 있다. 따라서 새로운 검사방법을 적용하고자 할 때는 예비 타당성 검토 연구단계를 거치는 것이 바람직하다. 예를 들어 교량의 검사시 일반적으로 적용하는 절차를 보면 아래와 같다.

- 1단계: 육안검사
- 2단계: 하중시험
- 3단계: 추가검사 필요성 검토. 추가검사가 필요하면 4단계로 진행
- 4단계: 교량의 이력 검토
- 5단계: 적절한 검사방법 설정을 위한 예비 검토 연구, 직접적 측정이 어렵거나 고가인 경우 그리고 좀더 심도있는 물리적 특성 검토가 필요한 경우는 비파괴검사방법을 적용한다.

비파괴검사방법은 현재 현장에서 효과적으로 사용되는 방법과 개발이 진행중인 최신기술의 경우로 나눌 수 있는데 최신 기술의 경우는 충분한 경험이 축적될 때까지는 개발자의 협조나 주의가 필요하다.

일반적으로 검사방법의 선택시 다음과 같은 특성들을 검토하여야 한다.

- 필요한 신호의 투과 깊이
- 측정대상을 고려한 수직방향, 횡방향 분해능
- 측정대상과 주변 물체에서 얻어지는 신호의 변별력
- 구조물에서 측정된 신호의 S/N 비
- 건설시 사용된 방법을 포함한 구조물의 이력

여러 가지 다양한 방법들중에서 위에 열거한 특성들을 고려하여 검사대상에 적당한 방법을 찾게 된다. 보통 실험실에서 얻어진 특성들이 실제 시험에서는 현장의 환경이나 재료의 특성에 따라 다를 수 있으므로 환경요인 변화에 따라 물리적인 법칙에 지배받는 시험 결과가 어떻게 변화될 수 있는지에 대한 검토가 필요하다. 예를 들어 보통 검사가능한 결함의 최소크기는 검사시 얻어진 시그널의 파장이  $\lambda$ 라고 하면  $\lambda/4$ 로 생각한다. Radar를 이용한 경우에는 표면으로부터  $\lambda/3$  깊이까지는 측정이 어렵고 구조물내부에서 측정

가능한 결함의 최소 크기는  $\lambda/2$ 라고 본다. 물론  $\lambda$ 는 사용된 시그널의 주파수와 관련된다. 보통 고주파수의 파장은 짧고 투과 깊이가 작으며 저주파수의 파장은 길고 투과 깊이가 크다고 보면 된다. 따라서 이런 특성에 따라 적절한 주파수대의 신호를 선택하여 사용하게 된다.

### 2.3. 음파 및 초음파 응용 기술

초음파법은 토목구조물의 검사에 오랜동안 사용되어왔던 방법이다. 이 방법은 음파나 초음파 대역의 응력파가 검사대상체를 통해 전달되면서 발생하는 투과파와 반사파의 특성을 이용하여 구조물 내부의 결함을 찾거나 특성을 평가하는 방법이다. 아래에 일반적으로 사용되고 있는 방법들을 소개하였다.

#### - Sonic transmission method

500 Hz - 10 kHz 대역의 압축파의 전파 속도의 변화를 측정하여 구조물내의 결함이나 이물질, 공동등을 탐지해 내는 방법이다. 그림 1(a)에서와 같이 보통 임팩트 해머가 압축파 발생방법으로 쓰이며 가속도계가 신호검출 센서로 사용된다. 때에 따라서 그림 1(b), (c)에서와 같이 다양한 위치에서 신호를 측정하여 Tomographic 방법을 통하여 구조물 내부의 구체적인 이미지를 얻을 수도 있다. 그러나 보통은 직접법을 통하여 재료의 비균질성, 공동, 크랙의 깊이, 재료의 강도 측정 등을 수행한다.

#### - Sonic/seismic tomography

토모그래피법은 다양한 방향에서 측정된 신호를 이용하여 물체의 단층 이미지 정보를 재구성하는 방법을 말한다. 병원에서 쓰는 컴퓨터 단층 촬영이나 MRI등에 사용되고 있는 이미지 처리 방법과 같은 방법이 사용된다. 따라서 직접투과방법에서와 같이 단일 경로를 통해 측정된 신호가 아니라 보통 여러개의 센서와 신호 발생기가 사용되며 얻어진

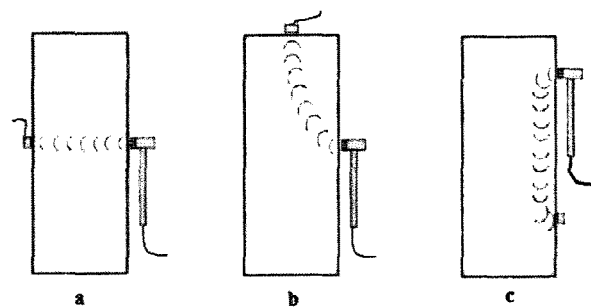


그림 1. 음파의 전달 특성을 이용한 검사 기법

신호를 처리하여 3차원 이미지를 재생하는 기술이 핵심 기술이다. 이를 통해 구조물안의 결함이나 이상의 특성을 정확한 3차원 위치정보와 함께 파악할 수 있게 된다. 현재 3차

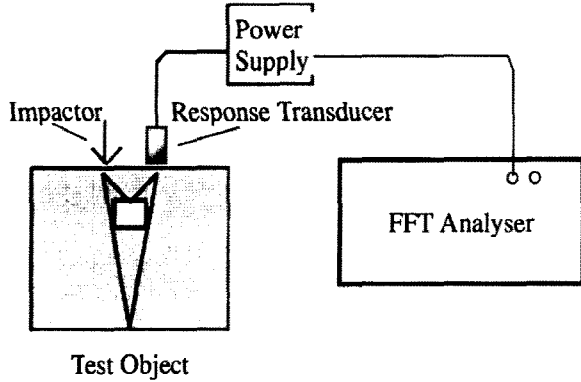
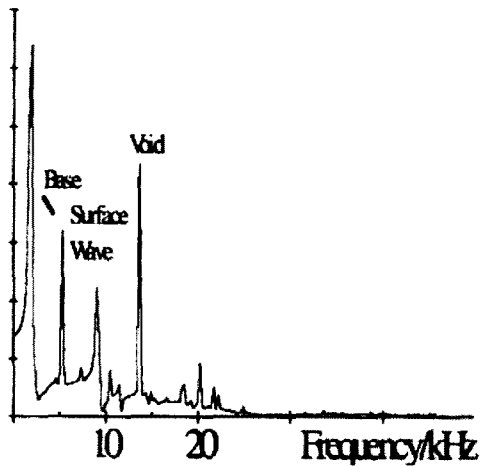
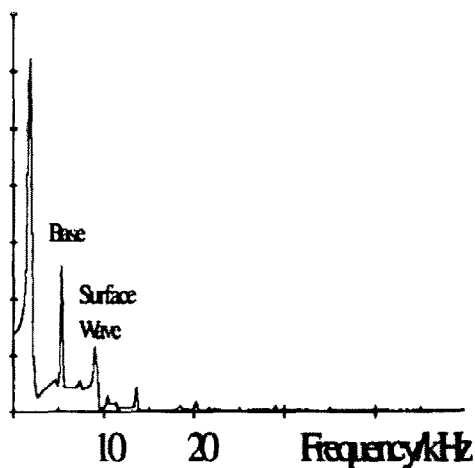


그림 2. Impact-echo 시험장치



(a) 내부에 큰 공간이 있는 경우



(b) 일반적인 경우

그림 3. 벽면을 임팩트 햄머로 가진시 얻어진 신호의 주파수 특성

원 정보 재생을 위한 많은 알고리즘 등이 적용되고 있다. 이 방법의 정밀도는 적절히 설계된 센서의 위치와 숫자, 이미 지 처리 기술, 그리고 발생된 신호의 제어 기술 및 발생된 파동의 구조물내 전파 거동에 대한 이해도 등에 의존한다.

### - Sonic/seismic reflection method

이 방법은 신호의 발생과 수신이 동일한 표면에서 이루어 지는 방법으로 수신된 신호는 내부의 결함이나 반대쪽 표면에서 반사되어 온다. 이방법은 내부의 결함의 크기나 모양, 내부의 이물질의 특성이나 형태, 공동의 상태, 내부의 크랙 등을 탐지하는데 사용될 수 있다. Seismic reflection법의 경우 도로의 검사, 석조 교량 검사, 방조제 벽등의 검사등에 사용되기도 하였으나 현재는 저주파 신호의 분해능이 떨어지고 반사파 신호와 표면파와의 구분이 어려워 잘 사용되지 않고 있다.

### - Impact-echo method

임팩트-에코 법은 본래 콘크리트의 두께 측정 및 건전성 평가를 위해 개발되었다. 이 방법은 임팩트 햄머로 가진 시 발생하는 신호를 임팩트 근처에 위치한 가속도계로 측정하여 분석한후 내부의 공동이나 결함 유무를 판단한다. 보통 그림 3에서와 같이 FFT 처리하여 얻어진 주파수 특성을 분석하여 이상 유무를 판단한다. 구조물내에 결함이 발생하면 그림 3에서와 같이 주파수 특성이 바뀌어 이상이 발생할것을 알 수 있다.

### - Ultrasonic reflection method

PZT 센서로 발생시킨 20 kHz 이상의 초음파는 보통 석조 구조물안에서 50-100 mm의 파장을 보인다. 초음파는 금속 재료 등에서 성공적으로 활용되고 있으나 석재나 콘크리트 구조물의 검사를 위해서는 해결해야 할 문제들이 있다. 첫째는 감쇠가 커서 충분한 투과 깊이를 얻기가 어렵고 또한 물체내부에 존재하는 경계면에서 많은 산란이 발생하여 반사된 신호를 분석하기 어렵다. 이런 이유에서 보통 저주파 대역의 초음파가 사용된다. 하지만 특정한 결함이나 공동을 찾아내기 위해서 효과적으로 사용되기도 한다. 또 다른 어려움은 이방법을 현장에 적용하기 위해서는 초음파 신호를 입사시키기 위하여 물체의 표면에 센서를 안정적으로 취부하는 방법의 연구가 필요하다. 현재 초음파를 효과적으로 적용하기 위한 연구들이 진행중이고 위에 열거한 문제들이 해결될 경우 미래에 좀더 신뢰성 있고 간편한 방법들이

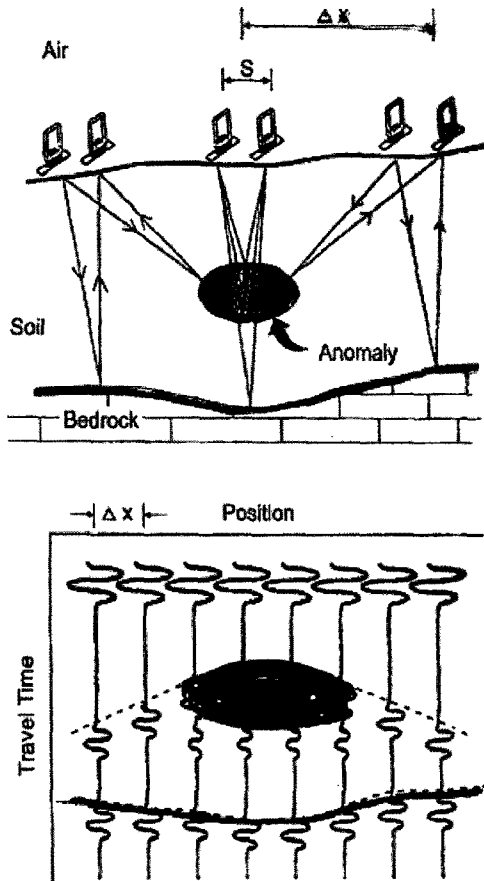


그림 4. GPR법의 기본 개념

등장하게 될 것이다.

- Tap test

이 방법은 임펄스 에코우법의 또 다른 적용으로 주로 터널 라이닝 뒤에 존재하는 공동이나 결함, 벽면뒤의 공동, 타일의 분리 등을 찾아내기 위하여 적용되고 있다. 가벼운 햄머로 두드려서 벽면뒤에 존재하는 공동이나 결함에 의하여 발생하는 소리의 주파수 특성의 변화를 측정하여 이상 유무를 판단하게 된다. 때로는 소리를 듣고 이상 유무를 판단하기도 한다.

2.4. 전자기파 응용법

- Impulse Radar

Impulse Radar법은 GPR법에서 사용하는 장비와 동일한 장비가 사용되며 때로는 GPR법으로 불리기도 한다. 그림 4는 레이더법의 기본 법칙을 보여준다. 이 방법은 좀더 작은 분해능을 얻기 위하여 1GHz 이상의 안테나가 필요하다. 때로는 좀더 큰 투과 깊이를 얻기 위하여 100-500 MHz대의 저

주파가 사용되기도 한다. 이 기법은 최근에 많은 연구개발 투자가 이루어지고 있고 석조 아취구조물이나 콘크리트 교량의 검사를 위해 사용되고 있다. 최근 토모그래피 기술이 적용되어 해상도가 충분할 경우 때로는 콘크리트 구조물 내부에 사용되는 철근의 이상 유무를 판단하기에 충분한 이미지도 제공하고 있다.

- Conductivity

전기전도도는 전기장이 가해졌을 때 전류를 흐르게 할 수 있는 물질의 능력이다. 콘크리트나 석조구조물에 포함되어 있는 수분의 양과 재료의 전기적 특성에 영향을 받는다. 전기장이 구조물내에 형성된후 전도도의 변화를 감시하고 기록하여 내부의 상태를 평가하고 이상을 진단할 수 있다. 최근에는 비접촉 장비가 개발되어 손 쉽게 전도도의 변화를 측정할 수 있게 되었다. 구조물내의 수분이나 염분의 존재는 구조물의 손상이나 열화에 큰 영향을 미친다. 따라서 이런 성분을 비파괴적으로 구할 수 있는 방법들이 현장에서 요구되고 있다. 이 방법이 적용되는 예는 다음과 같다.

- 석조구조물내의 수분 함량
- 석조구조물내의 수분 및 염분 함량
- 구조물내의 모세관 현상으로 흡수된 물의 높이
- 석조 벽의 두께
- 석조물의 재질 특성
- 벽내부에 존재하는 이물질이나 공동
- 금속 강화물, 파이프, 배수구의 존재 유무 판단

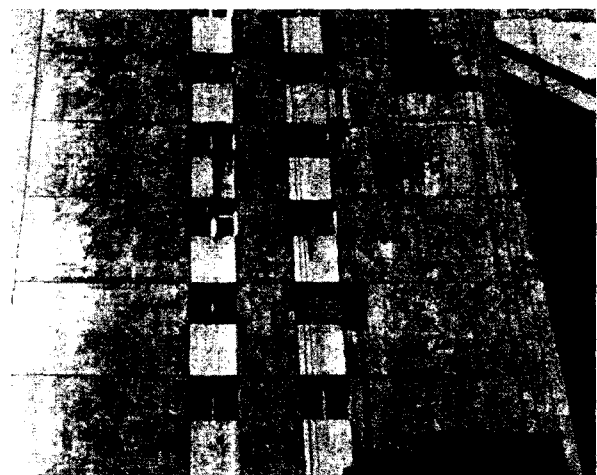


그림 5. 표면에 이상이 발생한 빌딩의 적외선 열화상(왼쪽의 밝은 부분이 이상 부위이고 오른쪽의 어두운 부분은 수리된 부분)

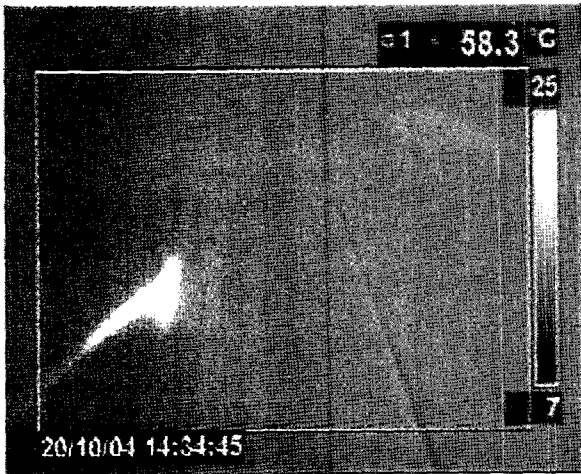


그림 6. 선로에서 적외선 카메라로 발견된 이상 고온 지점

### - Covermeter

전자기적 방법은 콘크리트 철근위에 덮인 콘크리트의 두께 측정이나 철근의 직경의 측정에 사용되기도 한다. 이런 용도로 개발된 제품의 이름이 Covermeter이다. 최근에 콘크리트 구조물내의 염분의 양에 따라 바뀌는 전도도의 영향으로 Covermeter의 출력이 바뀔 수 있다는 연구결과도 있지만 현장에서 콘크리트 구조물내의 Re-bar 등의 특성 파악에 적용한 예도 찾아볼 수 있다.

### 2.5. Infra-red thermography

적외선 열화상법은 적외선 카메라를 적용하여 얻어진 온도장 이미지를 활용하여 구조물의 이상을 진단하는 비파괴 검사방법이다. 이 방법은 최근 대형 구조물 및 빌딩 등의 외벽에서 벽면이상이나 타일의 분리등이 발생하여 태양 빛의 방사 특성이 바뀌는 현상을 이용한 구조물 이상 진단 방법

으로 활용되고 있다. 콘크리트 구조물내에 이상이 없을 때에는 온도분포가 균일하지만 구조물내에 이상이 있을 때에는 자연광 아래에서 국부적으로 온도증가가 신속하게 이뤄지고 이 상태는 열화상에서 고온영역으로 나타나게 된다. 이런 부위는 위치가 파악되어 차후 좀더 심도있게 이상 유무를 검사하게 된다. 이 방법은 대형 빌딩의 검사시 신속하고 간편한 검사 방법을 제공하고 특히 고층빌딩의 경우 효과적으로 적용될 수 있다.

최근에 적외선 카메라를 이용한 검사 기술이 여러 분야에 적용되고 있다. 레일 분야에서도 적외선 온도 측정시스템을 활용한 연구와 검사 시스템 개발이 증가하고 있다. 유럽에서는 이미 시스템들이 90년대 초부터 현장에 적용되어져 오고 있고 현재 신뢰성과 효율성을 높이기 위한 연구 검토가 이루어지고 있다. 특히 예측 정비(Predictive Maintenance) 기술 개발에 온도분포 측정 데이터가 사용되어지기 시작하면서 이 기술의 적용 영역이 확대되고 있다.

철도 분야에 적용된 적외선 카메라의 현장 적용 경험과 데이터 분석 기술이 축적되면서 엔지니어링 노하우가 증가되었고 적용 효과도 증대되고 있다. 현재는 선로변 전력선, 신호선 그리고 터널구간의 시설물 검사에 가장 효과적으로 적용되고 있다. 초기에 9개의 선로에서 차량에 탑재된 적외선 카메라를 이용한 선로 검사와 차량 선로간 인터페이스 연구가 이루어져 왔다.

시험 중 카메라는 열차의 선두차량에 설치되어 상업운행 속도에서 검사가 이루어졌고 성공적인 결과를 얻었다. 일단 얻어진 온도화상 데이터는 전력선 전문가나 각 시설 전문가들에 의해 검토되었다. 특히 고전압 상태 하에 있는 시설물이나 인슐레이터 그리고 분기기 박스 등에 대해서 집중적으로 검토되었고 현재는 이런 화상들을 자동으로 분석하여 이상을 검지하는 소프트웨어를 개발중이다. 차량전문가, 궤도전문가, 전력전문가들 사이의 상호 협조를 통하여 중요한 요소들에 대한 임계온도값들이 결정되었고 이 임계값들이 각 요소들의 안전도 평가의 기준으로 활용되었다. 특히 현장 전문가들과 운영처의 요구에 의해 이러한 임계치들이 적절하게 현장에 적용 될 때에 사고 발생시 발생할 수 있는 경제적 손실을 크게 줄일 수 있다. 실제로 런던 지하철의 경우 운행지연 사고를 통해 현재 손해배상을 통해 엄청난 손실이 발생하고 있기 때문에 런던 지하철에서는 임계치를 낮추어 적용하고 있다. 따라서 적외선 검사 시스템의 효

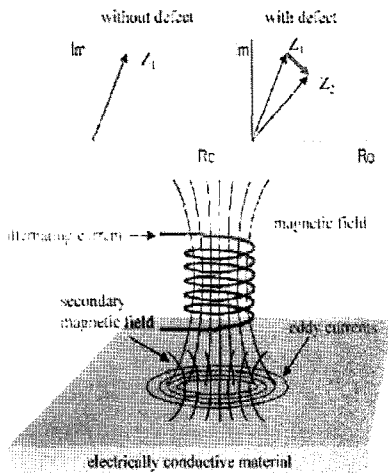
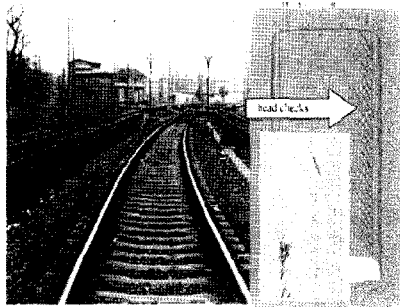
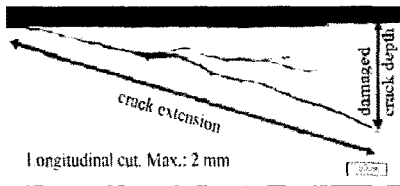


그림 7. 와전류법의 원리



(a)



(b)

그림 8. 레일 게이지 코너부 헤드첵(Head Check)

올과 신뢰성을 높이기 위해서는 선로 특성에 맞는 적절한 임계치의 결정이 중요하므로 이 분야의 연구와 시험을 통한 시스템 성능 향상 연구가 이루어져오고 있다.

선로 뿐만 아니라 적외선 카메라를 이용한 차량의 이상 감지를 위한 연구도 진행 중이다. 현장의 선로 변에 카메라를 설치하여 차량의 하부 주요 장치의 검사 및 차량 내부의 주요 전기장치 및 기계장

를 이용한 광범위 검사방법등도 연구되고 있다. 그러나 최근에 레일의 표면 크랙 특히 헤드첵에 의한 레일 파손의 사례가 증가하면서 표면의 크랙 검출과 크기 결정이 가능한 검사방법의 필요성이 증가 되었다. 또한 검사차에 적용시 검사차량 이동속도의 향상이 요구되었다. 이에 따라 와전류 검사 방법에 대한 관심이 높아지고 있다. 와전류법은 헤드첵 크랙간의 간격이 수mm 이내일 때도 적용가능한 해상도를 가지고 있다. 와전류법은 특히 표면에 분포하는 결함의 검출에 있어서 우수한 성능이 있음이 알려져 있다. 따라서 와전류법은 레일 검사에 있어서 초음파 법의 단점을 보완할 수 있는 추가적인 검사법을 제공함으로써 검사의 신뢰성을 높일 수 있다. 그림 6은 와전류법의 원리를 보여준다. 도체 표면에 형성된 와전류 분포는 표면에 존재하는 크랙과 같은 불연속 결함과 상호 작용을 한다. 표면에 결함이 존재할 때 전기적 임피던스는 변하게 된다. 이 물리적 성질이 와전류법에서 결함 검출에 사용된다.

과거에는 레일의 표면마모가 심하여 열차 통과시 표면 크랙을 제거하는 효과가 있었다. 최근에는 레일의 품질이 향상되면서 표면 마모에 대한 저항성이 향상되어 마모로 인한 표면 크랙 제거 효과가 감소하였다. 레일 표면 크랙 중에서도 그림 7(a)에서와 같은 게이지 코너부위에 발생하는 헤드첵은 심각한 사고를 유발할 수 있다. 헤드첵은 초기에는 그림 7(b)에서와 같이 15도~30도 경사로 전파한다. 크랙간 간격은 보통 2mm~7mm이나 운행중 0.5mm까지 줄어들고 레일 표면은 경화가 된다. 헤드첵이 레일 삭정과 같은 방법으로 효과적으로 제거 되지 않으면 결국 쉐어링현상이 일어난다. 와전류법은 이런 결함 측정을 위하여 고안된 와전류 탐촉자와 프로그램으로 구성되며 검사차량에 초음파 검사 장치와 함께 설치되어 시험을 수행한다.

치의 검사에 적외선 카메라를 적용하는 기술들이 연구되고 있다. 실제로 지상에 설치되어 운행되는 적외선 검사 시스템의 경우 차량의 운행에 방해가 되지 않고 정상 운행상태에서 측정되기 때문에 적용성도 높다.

### 2.6 레일 게이지코너 검사를 위한 와전류법

과거에는 레일 검사를 위하여 주로 초음파가 활용되었다. 초음파를 이용한 검사방법은 주로 레일 부피단위로 크랙의 존재 여부 검출에 사용되었다. 레일의 단면 검사를 위해서는 전단파나 종파가 이용되어져 왔고 최근에는 유도초음파

### 3. 미래연구동향 및 시사점

앞에서 소개한 검사방법들과 관련하여 미래에 중점적으로 필요한 NDT 연구분야는 아래와 같다.

- 재료의 물성에 대한 이해
- 복잡한 구조물의 진단 검사 방법
- 토모그래픽 이미지 처리 기술
- 비파괴검사방법의 모델링 기법 개발



- NDT 기술의 정밀도 향상 및 실용성 증진
- 센서 네트워크 기술을 적용한 실시간 건전성 평가 기술 (Structural Health Monitoring)

국내에서도 연구기관 및 학교를 중심으로 새로운 NDT 기술에 대한 연구가 있었고 현재도 진행 중이다. 그러나 국내의 산업계에서는 신뢰성 측면과 바로 기술을 수입하여 현장에 적용할 수 있다는 장점 때문에 연구개발에 투자하여 고유 기술을 확보하기보다는 선진국의 NDT 장비를 수입해서 사용하고 있는 실정이다. 철도계에서도 이런 분위기가 지배적인 것이 현실이다. 하지만 최근의 NDE 분야 기술 발전의 특징 중 하나는 학제간 융합에 의한 신기술 개발에 있기 때문에 IT 분야 등 현재 한국내에서 앞서있는 기술 분야들을 융합하여 새로운 NDE 기술이 창출 될 수 있도록 하는 분위기와 시스템을 만들어 주면 현장의 애로사항을 해결하고 철도분야 안전을 증가시키는데 크게 기여 할 수 있으리라 생각된다. 특히 한국적 철도 환경에 적합한 검사방법이나 시스템의 개발과 함께 이미 개발된 선진기술들이 철도현장에 신속히 적용될 수 있도록 하는 시스템도 필요하다고 생각 된다.

## 4. 결론

선진국의 구조물 비파괴검사 기술 동향을 요약하면 다음과 같다.

- 새롭게 등장하는 다양한 비파괴검사 기법을 활용하여 구조물의 파괴로 인한 대형사고를 줄이고자 하는 노력이 이루어지고 있고 이런 차원에서 활발한 연구활동이 이루어지고 있다.
- GPR 법은 콘크리트와 석조 구조물의 검사에 효과적으로 사용될 수 있다.
- GPR은 금속이나 소금물등과 같은 전도체를 투과하지 못하며 공기가 차있는 공간을 통과하지만 매우 복잡한 반사 신호를 줄 수 있다.
- Radar를 이용한 경우에는 표면으로부터  $\lambda/3$  깊이까지는 측정이 어려우며 Radar를 이용한 경우 구조물내부에서 측정가능한 결함의 최소 크기는  $\lambda/2$ 이다.
- 구조물의 비파괴 검사방법과 관련한 표준의 제정이 필요하다. ☺

### ♣ 참고 자료

1. Forde MC, McCann DM. Draft advisory note to highways agency on NDT of masonry arch bridges. Edinburgh: University of Edinburgh, 1997.
2. Das PC, Hardy MSA, McCann DN, Forde MC. Specifications for competitive tendering of NDT inspection of bridges. In: Ryall MJ, Parke GAR, Harding JE, editors. Bridge management four, Telford: Thomas, 2000. p. 568-76.
3. Colla C, Das PC, McCann DM, Forde MC. Sonic, electromagnetic and impulse radar investigation of stone masonry bridges. NDTE Int 1997;30(4):249-54.
4. Forde MC. Lecture notes on radar testing of structures. MIT Summer School, July 1999.
5. Carino NJ, Sansalone M, Hsu NN. A point source-point receiver pulse-echo technique for flaw detection in concrete. ACI J1986;83(2):199-208.
6. Daniels DJ. Surface-penetrating radar. London: The Institution of Electrical Engineers, 1996. p. 296.
7. Colla C, Forde MC, Das PC, McCann DM, Batchelor AJ. Radar[22] Stanley CC, Balendran RV. Developments in assessing the structural integrity of applied surfaces to concrete buildings and structures using infra-red thermography. Proceedings of the International Conference on Structural Faults & Repair-95, London, July 1995, vol. 3. Engineering Technics Press, 1995. p. 39-44.
8. Metronet chooses infrared cameras with the potential to grow', The Journal of The British Institute of Non-Destructive Testing, pp 326, June 2005
9. Rainer Pohl, A. Erhard et al, "NDT techniques for railroad wheel and gauge corner inspection", NDT&E INTERNATIONAL, VOL37, 2004, pp89-94