

## 철도차량 차축 결함 검출을 위한 초음파 탐상 방식 비교 분석

윤정수\*, 정노건\*, 허성범\*\*, 김재문\*  
한국교통대학교\*, (주)메트로텍\*\*

### The Comparative Analysis of Ultrasonic Inspection Methods for The Railway Vehicle Axle's Flaw Detection

Jung Soo Yun\*, No-Gun Jeong\*, Sung Bum Hur\*\*, Jae-Moon Kim\*  
Korean National University of Transportation\*, METROTECH\*\*

**Abstract** - 최근 많은 승객을 수송하는 대중 교통시스템의 안전에 대한 중요성이 더욱 대두되고 있으며, 고속화된 철도차량 또한 이를 피해 갈 수 없다. 현재 철도차량의 사고 방지를 위해 많은 연구가 이루어지고 있으며, 차량기지의 검수설비 및 검수시스템이 자동화되어 많이 발전되었다. 그 중 차축 초음파 탐상은 각 차량기지에 설치된 A-Scan 초음파 방식과 Phased Array 초음파 방식의 두가지 방식의 장비를 이용하여 차축 초음파 탐상이 이루어지고 있다. 본 논문에서는 초음파 방식 중 철도차량 차축 결함 검출을 위한 A-Scan 탐상 방식과 Phased Array 탐상방식에 대하여 비교 분석하였다.

도입하였다. 이후 탐상 시간과 성능에서 월등한 능력이 입증되어 타 기지에서도 교체 또는 신규 설치하여 운용되고 있다.

## 2. 본 론

### 2.1 초음파 탐상

초음파탐상은 비파괴 검사의 일종으로 비파괴 검사란 재료, 제품, 구조물 등 대상물에 손상을 입히지 않고 피시험체의 상태를 검사하는 것을 말한다. 초음파가 물체의 내부를 투과하여 음향임피던스가 다른 경계면에서 반사(Reflection) 또는 굴절(Refraction)하는 성질을 이용하여 내부의 결함 즉 흠(Crack), 기공(Gas Pocket) 등을 검출할 수 있다. 이러한 초음파의 특성을 이용하여 용접부, 주단강품 등의 내부의 결함을 검출할 수 있으며, 재료의 두께, 배관 등의 부식 정도를 판별할 수가 있다. 일반적으로 차축 탐상에서 <그림 1> 처럼 Pulsar/Receiver에서 펄스 전압을 발생시켜 탐촉자(Probe)를 통해 초음파를 발생하여 반사 또는 굴절되어 되돌아오는 신호를 다시 수신하는 펄스 반사식 접촉법을 사용하고 있다.

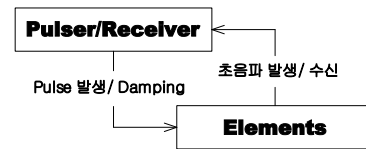
## 1. 서 론

차축 초음파탐상기는 중정비시 차축에서 차륜, 기어박스, 디스크를 분리하지 않은 상태에서 자동화 시스템을 이용하여 차륜삭정 전공정에서 차축 탐상 공정이 이루어지고 있다. 1995년 코레일 분당차량기지에 A-Scan 방식을 시작으로 2015년 코레일 부산정비단 Phased Array(위상배열) 방식에 이르기까지 <표 1>에 보듯이 각 차량기지마다 설치되어 운용되고 있다.

<표 1> 국내 차량기지 차축 초음파탐상기 설치 현황

구분	운영사	차량기지	설치년도	비고
Phased Array 방식	KORAIL	대전정비단	2008년	대전2대 대전1대
		분당기지	2012년	
		부산정비단	2015년	
	서울메트로	지축기지	2006년	
		신경기지	2008년	
		서울도시철도공사	도봉기지	2015년
A-Scan 방식	KORAIL	부산정비단	1997년	
		시흥기지	1998년	
		이문기지	2004년	
		문산기지	2008년	
		제천기지	2012년	
	서울메트로	지축기지	1997년	2대
		군자기지	1998년	
	서울도시철도공사	도봉기지	1995년	
		고덕기지	1995년	
	인천교통공사	굴현기지	2000년	
		인천2호선	2015년	
	부산교통공사	호포기지	1998년	
		노포기지	2003년	
	대구도시철도공사	월배기지	1997년	
	광주도시철도공사	용산기지	2003년	
	대전도시철도공사	관암기지	2007년	
	서울시메트로9호선	개화기지	2009년	
부산-김해경전철	신명기지	2010년		
신분당선	광교기지	2014년		

서울메트로의 경우 1997년 지축차량기지에 A-Scan 방식 2대가 설치되어 운영되어 오다가 2006년 국내 차량기지에서는 최초로 우진산전에서 제작한 Phased Array 방식의 차축 초음파 탐상기를

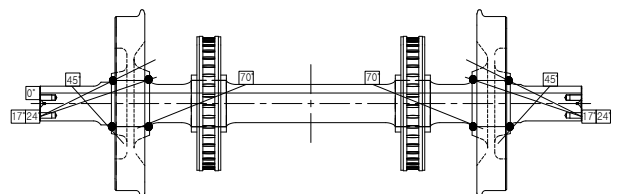


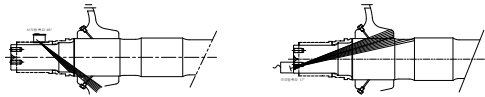
<그림 1> 초음파 발생 원리

초음파의 종류에는 종파(Longitudinal Wave), 횡파(Transverse Wave, Shear Wave), 표면파(Rayleigh Wave, Surface Wave)가 있으며, 차축 탐상에 있어 감쇠도 측정에 종파를 이용하고 사각탐상은 횡파를 이용한다. 또한 초음파는 재료의 밀도가 낮으면 감쇠(damping)가 심하고, 전파의 방향과 평행일수록 둔감하다. 철도차량에서는 이러한 감쇠 성질을 이용하여 차축의 축방향으로 감쇠도를 측정하여 차축의 굽을 정하고 있다. 차축의 감쇠도 측정은 차량 운행에 따른 피로균열 즉 차축 노후화를 판정하는 기준이 된다.

### 2.2 A-Scan 방식의 차축 초음파 탐상

차량기지에서 가장 많이 설치되어 있는 차축 탐상기는 아래 <그림 2>와 같이 수직 탐촉자 2개, 국부 탐촉자 4개, 사각 탐촉자 4개로 총 10개의 탐촉자로 구성되며 차축의 형상에 따라 국부/사각 탐촉자의 빔(Beam)각도는 다를 수 있다. 빔의 각도는 탐촉자가 차축 면에 접촉할 수 있는 위치와 차륜시트(Wheel Seat), 디스크(Disc) 그리고 기어(Dear Seat)등의 위치에 따라 정해진다.





〈그림 2〉 A-Scan 차축 탐상

차축 탐상시 사용되는 탐촉자는 2MHz, 진동자는 수직 : Ø30mm, 국부 : Ø25mm, 사각: 20x20mm의 진동자를 사용하고 있다. 국부 탐촉자의 근거리음장(Near Field)과 지향각(Angle of Beam Spread)의 계산식은 아래 (1), (2)식과 같다.  
진동자 직경( $d$ )=25mm, 주파수( $f$ )=2MHz, 속도( $v$ )=5900m/sec

$$\text{근거리음장}(N) = \frac{d^2}{4\lambda} = \frac{d^2 f}{4v} \quad (1)$$

$$\text{지향각}(\theta) = 70 \times \frac{V}{df} \quad (2)$$

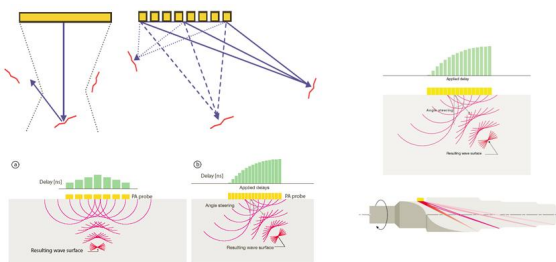
국내 기지에 설치된 탐상 유닛의 대부분은 독일 Krautkramer사의 USD15 Mdel을 사용하였다. 이 제품은 A-Scan 화면을 판독해야하는데 탐촉자 케이블이 길고, 주변 장비의 노이즈를 포함하고 있어 판독에 숙련된 기술과 전문지식이 요구된다. 현재는 <그림 3>에서 보듯이 Pulser/Receiver와 USB Oscilloscope를 사용하여 컴퓨터와의 인터페이스를 통해 판독이 쉽게 프로그램이 구성되어 있다. 파라미터 설정 화면에서 각 탐촉자별로 Gain 값과 Gate를 설정할 수 있으며 엔코더 장치를 통해 차축의 회전 정보를 입력받아 탐상시 A-Scan정보를 이용하여 C-scan 화면을 동시에 볼 수 있다.



〈그림 3〉 A-Scan 차축 탐상 화면

### 2.3 위상 배열(Phased Array) 방식의 차축 초음파 탐상

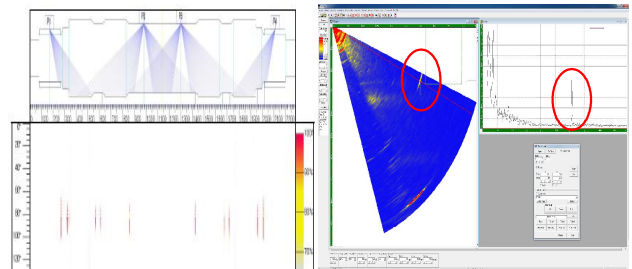
Phased Array Ultrasonic Testing(이하 PAUT)은 <그림 4>에서 보듯이 다수의 압전소자(진동자)를 이용하여 초음파의 방향(각도)과 초점거리를 설정할 수 있어 집중된 빔을 생성할 수 있다. 주사빔(Sweeping Beam)을 초점화하여 A, B, C, D-Scan 기법을 통해 탐상할 수 있는 기술이다.



〈그림 4〉 PAUT 원리

국내 차량기지에서는 운용되는 차축 초음파 탐상기는 일본 KJTD사의 PAL3 제품과 32ch 사각(Angle) 탐촉자 4개를 이용하여 탐상을 하고 있다. 탐상은 자동화 시스템에 의해 자동으로 진행되고 차축이 2회전을 하면 탐상이 완료 된다. <그림 5>에서 탐상 화면 왼쪽은 차축의 입력 각도가 표시되고, 오른쪽은 에코(Echo)의 높이 값에 따라 색상을 다르게 표시하여 쉽게 판독이 가능하다. 판독이 어려운 부분이나 결함으로 의심되는 부분은 별도의 수동탐상 프로그램을 이용하여 B-Scan탐상을 통해 정밀하게 탐상을 할 수 있다. 이때 차축 도면(\*.dwg)을 \*.dxf파일로 변경하

여 저장하면 차축 이미지를 불러와 이미지 Matching을 통해 결함의 위치를 쉽게 알 수 있으며, 축척된 데이터를 기준으로 결함의 크기를 유추할 수 있다. 또한 32개의 진동자중 1개를 선택하여 수직으로 탐상하여 차축 직경의 저면에코(Bottom Echo) B2의 높이를 표시하여 탐상감도(Working Sensitivity)를 통해 차축 표면 상태, 탐촉자 접촉 상태, 매질유 공급 상태 정보를 알 수 있다.



〈그림 5〉 PAUT 차축 탐상 화면

### 2.4 기존 A-Scan 방식과 PAUT 방식의 차축 초음파 탐상 비교

차축 탐상에 있어 PA방식은 A-Scan 방식에 비하여 비싸지만 적은 수량의 탐촉자로 차축 전체 탐상이 가능하고, B, C-Scan과 차축 형상의 이미지화를 통해 쉽게 판독이 가능하며, 탐상시간이 짧아 공정상의 많은 이점이 있다.

〈표 2〉 탐상방식 비교

항목	기존 방식	PA방식
보정	표준시험편을 이용하여 각 탐촉자별로 보정	프로그램을 통해 쉽게 보정
판독	복잡한 구조시 판독이 어려움	복잡한 구조에도 판독이 용이함
탐상영역	A-Scan	A, B, C, D-Scan
탐촉자	1CH, 10개	32CH, 4개
탐상범위	국부	차축 전체
탐상시간	길다(약 25분)	짧다(약 5분)

## 3. 결 론

PAUT 시스템에서 핵심이 되는 탐촉자의 압전소자(Piezoelectric Crystal) 기술이 발달되면서 탐상의 정밀도가 향상 되었고, 디지털 기술과 결합(Fusion)되면서 국내는 물론 국외에서도 응용 범위가 확대되고 있다. 1974년 도시철도 입선용 통근형 전동차 도입이후 고속화된 차량의 안전이 중요시 된다. 노후화된 차축과 저가의 차축이 도입되어 정밀하고 신속한 탐상과 판독의 용이성 그리고 유연성 있는 탐상 영역(Scope)을 가진 PAUT 시스템을 더욱 확대해 나가고, 지속적인 연구와 개발과 결합의 생성 방향에 따라 실험을 통해 많은 Data를 축적하여 탐상기법을 표준화하고 차축 탐상의 질을 향상 시킬 수 있어야 할 것이라 사료된다. 이러한 연구를 지향하고 이를 토대로 철도차량 차축 뿐만 아니라 차륜, 대차 등으로 적용을 확대해 나가야 할 것이다.

### [참 고 문 헌]

- [1] W Hansen, "Ultrasonic testing of railway axles with the phased array technique - experience during operation" Insight: Non-Destructive Testing & Condition Monitoring, vol. 47, no. 6, pp. 358 - 360, 2005.
- [2] Uwe VÖLZ, "New Generation of Test Benches for Ultrasonic Testing of Solid Axles", 11th European Conference on Non-Destructive Testing, 11th, 2014.
- [3] 김희영, "위상배열 초음파 탐상방식에 의한 차축 결함평가용 논리설계", 대한전기학회 전기설비전문위원회 추계학술대회 논문집, pp. 98-105, 2008.