

철도 레일 용접부 초음파 탐상의 문제점 및 개선방안

The Problem and Improvement Plan of Ultrasonic Exploration of Weld Zone in Railway Rails

장 석 재*
Jang, Suk-Jae

Abstract

The evaluation standard method of weld zone in rails is not exhibited in case of the domestic and the outside about ultrasonic inspection method. therefore, practical affairs a mans on the ground know very little about evaluation method of pass and failure

This paper discuss about ultrasonic exploration of weld zone in railway rails to know practical affairs a mans that the first, "problem and improvement direction of domestic track construction specifications applied according to a place ordering" and the second, "the method applied of ultrasonic exploration test of weld zone in railway rails"

요 지

레일 용접부에 존재하는 각종 결함을 검출하고 이에 대해 정량적으로 평가하는 것은 구조물 전체의 건전성 및 안정성 측면에서 대단히 중요하다. 현재 용접부 내부 결함 검색을 위하여 널리 사용되고 있는 초음파 검사법은 국내 및 국외의 경우 아직 레일에 대한 뚜렷한 평가기준이 제시되어 있지 않은 상태이다. 따라서 현장에서는 탐상기를 보유하고 있어도 이를 정확하게 사용하지 못하고 탐상 결과에 대해서도 합부를 판단하지 못하는 실무자들이 대부분이다. 이에 본고에서는 실무에 있어 현장 기술자들이 알아야 할 레일 용접부의 초음파 탐상에 대하여 첫째, 현재 발주처별 적용하고 있는 국내 궤도 공사 시방서의 문제점 및 개선방향 둘째, 철도 레일 용접부의 초음파 탐상 시험의 적용 방법에 대하여 논하고자 한다.

Keywords : Ultrasonic Exploration, Weld Zone, Fitness for Service Evaluation

핵심 용어 : 초음파 탐상, 용접부, 사용적정성평가

* 정희원, (재)한국철도기술공사 품질경영실 과장,
토목품질시험기술사

E-mail : sjhan4@hanmail.net 02-2186-1965

•본 논문에 대한 토의를 2004년 12월 31일까지 학회로 보내주
시면 2005년 4월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

1. 서론

현재 시행하고 있는 궤도공사에 있어서 품질에 가장 민감한 영향을 미치는 것은 레일 용접부의 품질이라 하여도 과언은 아니다. 철도용 레일은 과거 전량 수입에만 의존하여 왔던 것을 1978년 이후 철도용 레일의 국산화로 레일을 제조생산하고 있으며, 지금까지 자체 기술개발, 선진기술의 도입 및 제품 품질 향상을 위하여 업체는 부단한 노력을 하고 있다. 따라서 용접에 필요한 적절한 장비와 공장에 대해 인증 된 업체에서 제조된 레일의 성능은 그 유효성이 입증되어 있는 상태이지만, 레일 설치 시 이루어지는 현장 용접의 경우에는 작업자의 숙련도 및 주변 환경, 용접의 작업 절차에 따른 변수에 의하여 레일 용접부에는 많은 결함을 유발시킬 수 있다. 따라서 용접 후 레일 용접부위에 대한 결함을 검출하고 결함에 대하여 평가하는 것은 레일의 건전성 및 안정성 측면에서 대단히 중요한 일이다.

최근의 경우에는 레일을 장대화 시키는 일명 장대 레일로 보다 안락한 철도여행과 고속주행을 가능하게 하고 있다. 철도레일의 주류를 이루는 용접방법은 가스압접과 테르미트 용접이며, 이중 이동성이 우수한 테르미트 용접은 도가니에 테르미트 용제를 넣어 예열이 끝나면 점화제로 용제에 점화시키는 융합 용접의 방법으로 기계적인 작업성과 신뢰성이 높은 가스압접에 비하여 결함이 많이 발생하고, 테르미트 용접부의 결함 중 80%의 결함이 레일 저부에서의 용입 부족, 응결크랙 등의 형태로 대부분 초기 단계에 발생하고 있다.

따라서 용접부에 존재하는 각종 결함에 대한 검출과 이에 대한 정량적 평가는 중요하며, 이에 대해 정량적 평가를 하기 위해 사용되는 체적 검사 방법인 방사선 투과 방법과 초음파 탐상 방법과 같은 비파괴 검사 방법을 들 수 있다.

비파괴 검사 대상은 선체, 강관, 원자력 압력용기, 산업기계 구조물 등으로 안전을 위하여 결함 검출이 필요한 부분에 대해서는 과거 여러 산업 분야에서 가장 폭넓게 사용되는 방사선 투과법에 의한 방법이 이용되었지만, 방사선 산란 등에 의한 분해능의 저하, 결함의 방향성에 의한 영향, 후처리에 의한 결과 파악

의 지연, 피폭 등과 같은 많은 문제점을 내포하고 있어, 요즘에는 방사선 투과 시험보다 이런 문제점에서 보다 경제적이며, 안정적인 초음파 탐상을 선호하고 있는 추세이다. 그러나 이런 초음파 탐상에 의한 비파괴 검사의 보편화 추세에도 불구하고, 현장에서는 탐상기를 보유하고 있어도 이를 정확하게 사용하지 못하고, 탐상 결과에 대해서도 합부를 판단하지 못하는 현장 실무자들이 있다. 따라서 본 고에서는 실무에 있어 현장 기술자들이 알아야 할 레일 용접부의 초음파 탐상에 대하여, 첫째 현재 적용하고 있는 국내 궤도공사 시방서의 문제점 및 개선방향과 국내 궤도업체의 초음파 탐상기 사용 현황, 둘째 철도 레일 용접부의 초음파 탐상 시험의 적용 방법에 대하여 논하고자 한다.

2. 현재 적용하고 있는 국내 궤도 공사 시방서의 내용 및 국내 궤도 업체의 초음파 탐상기 사용 현황

2.1 국내 궤도 공사 시방서 내용의 문제점 및 향후 개선 방향

Table 1은 발주처별로 초음파 탐상에 대한 공사 시방서의 내용을 항목별로 구분하여 비교한 내용이다. 표의 내용을 분석하여 보면 일반철도 및 지하철 운영기관에서는 철도청 레일용접관련규정의 제7장 용접부의 검사와 관련하여 제55조(초음파탐상검사)의 내용으로 “초음파 탐상에 대한 판정시 탐상 결과 유해한 결함이 없어야 한다.” 로 제시되어 있을 뿐이다.

일부 궤도 공사 시방서의 초음파 탐상 검사에 관한 내용이 이 규정에서 제시된 내용 정도로 언급되어 있는 게 사실이다. 따라서 현재 궤도 공사 시방서에서 언급한 비파괴 검사의 시방 내용으로는 현장의 시공자 및 감리원이 비파괴 검사에 대해 작업을 이행하기에는 내용이 미흡하다. 이에 반해 도시철도 공사 시방서의 경우에는 레일용접부 초음파 검사에 대해 적용범위, 탐상기, 탐촉자에 대해서만 규정하고 있다.

고속철도 공사 시방서의 경우에는 적용범위, 탐상기, 탐촉자, 표준시험편, 대비시험편, 접촉매질, 탐상 방법(일탐법, 이탐법), 탐상기록, 결함판정에 대해서

규정하고 있다. 그러나 이 규정에서는 레일 용접부위에 대한 위치별 결함의 종류에 대해서는 언급하고 있지 않다.

따라서 Table 1의 구분 내용을 기본으로 앞으로는 철도 궤도 공사 시방서의 초음파 탐상에 관한 내용을 반영시킴이 필요하며, 또한 결함의 합부를 판정하기 위해서 일탐법 및 이탐법에 따라 규정된 레일 용접부위(두부 및 저부, 복부)의 합부를 판정한 고속철도 궤도의 시방 적용과 이에 덧붙여 결함의 유형에 따라 레일 용접부의 결함 검출 시험편을 만들어 시방에 추가 적용한다면 동일 결함 유형에 대해서 사전에 정보를 파악할 수 있고, 좀더 신뢰성 있는 결함의 합부 판정이 가능할 것으로 판단된다.

Table 1 철도별 적용하고 있는 레일 용접부의 초음파 검사에 관한 공사 시방서 내용 비교

구분	○○ 시 철도 건설기관	○○ 반 철도/○○ 지하철 운영기관	○○ 속 철도 건설기관	철도청 (일용적 관련규정)
적용범위	- 이 방법 - 동주사에 따른 직접 접촉법 - 외 사화는 KS 1117에 따른다	- '정없음'	- 이 방법에 의한 포터블 초음파 탐상기 - 동주사에 따른 직접접촉법 - 외 사화는 KS B 0817에 따른다	- '정없음'
탐상기	- KS B 0896에 규정된 A Score : 시인 펄스 반사식 초음파 탐상기 이용	- '정없음'	- KS B 0817에 규정된 A Score : 시인 펄스 반사식 초음파 탐상기 이용	- '정없음'
탐촉자	- 2MHz 지동자 횡수 10×10, 곡절각 45° 이상 탐촉자 - KS B 0827에 규정하는 초음파 탐상의 표준시험편인 S TB-A1 또는 A3 사용(곡절각 측정)	- '정없음'	- 2MHz 지동자 크기 10×10, 곡절각 45° 이상 탐촉자를 사용. KS B 0817에 따른다 - A1 (1사점, 곡절각 측정) - 이항의 위치를 적밀도 높게 찾기 위해 KS B 0829에 규정하는 초음파 탐상용 표준시험편인 STB	- '정없음'

대비 시험편	- '정없음'	- '정없음'	- (R W1-60) 레일 용접부 탐상용 (JIS E 1101)	- '정없음'	
접촉매질	- '정없음'	- '정없음'	- '거리 세린 이용'	- '정없음'	
탐상준비	- '정없음'	- '정없음'	- '접부 및 탐상면 손질 - 릴렉서 펄스 폭 등 설정 - '가속 조정 - '탐촉자법의 각도 조정 - '탐촉자법의 각도 조정과 거리진폭특성 곡선(DAC 곡선)	- '정없음'	
탐상방법	일탐촉자에 의한 탐상	- '정없음'	- '정없음'	- '상의 범위 - 탐촉자의 주사 - 시간축의 확인 - '상각도의 설정 - '상각도의 변경 - 결함 에코 높이의 영역 구분 - '함 에코의 등급 분류 - '함 위치의 측정	- '정없음'
	이탐촉자에 의한 탐상	- '정없음'	- '정없음'	- '상의 범위 - 탐촉자의 주사 - 시간축의 확인 - 탐상각도 설정 - '함 에코의 등급 분류 - '함 위치의 측정	- '정없음'
탐상기록	탐상기록	- '정없음'	- '정없음'	- '과상검사 시행 개소명, 과상 검사 년월일, 탐상검사 기술자명, 과상기 형식명 이후 탐촉자의 성능, 육점부 번호, 배열의 종류, 육점의 종류, 결함의 위치, 결함의 크기('함 에코 높이, 결함 등급, 탐상감도)	- '정없음'
	결함판정	- '정없음'	- '해한 결함이 없어야 함	- '함불량과 같은 유해한 결함이 없어야 함 - 저부에 따른 유해한 결함의 등급 설정	- '상 결과 유해한 결함이 없어야 함

* : 상기 내용은 특정기간 발주기관별 현장을 대상으로 샘플링한 자료로 일부 조사현장에 한함

2.2 국내 궤도 업체의 초음파 탐상기 사용 현황

궤도 업체에서 일반적으로 구매하고 있는 초음파 탐상기는 저가의 휴대용 탐상기이다.

이 중 업체에서 철도의 레일 탐상에 이용되는 초음파 탐상기를 기종별로 나열하면, AD-3213EX(소형), SM 90R, SM300, SITESCAN130, SM2R, USN50, Epoch 2300(Epoch III), PRD-100A 장비 등을 사용하고 있으며, 특히 AD-3213EX(소형) 휴대용 탐상 장비를 궤도 현장에서는 많이 사용하고 있었다.

3. 철도 레일 용접부의 초음파 탐상 시험 방법의 소개

상기 Table 1에 의하면 고속철도 궤도의 경우를 제외하고는 레일에 대한 시방절차 기준이 없거나, 내용이 미흡한 경우가 대부분이다.

여기서 고속철도 궤도의 레일 용접부 시방 절차를 보면, 초음파 탐상 시험에 대한 절차 및 레일 용접부에 대한 합부 기준은 제시하고 있으나, 레일 용접부의 두부, 복부, 저부에 대한 결함 정보는 제시하고 있지 않다. 따라서 철도 레일 용접부의 초음파 탐상 시험 방법에 대한 개선 안은 기존에 적용된 고속철도 시방 절차를 기준으로 하여, 기존 절차에 미흡한 사항인 장비의 검 교정 관련 내용과 결함에 대한 정보를 사전에 알 수 있게 한 결함 검출용 시험편(초음파센서의 거리진폭특성을 이용한 철도레일 용접부의 용접성 평가, 대한토목학회논문집, 2002년 1월, 윤인식의, P118) 등을 통해 효과적인 균열 검출 및 크기의 측정에 대한 방법을 추가 제시하여, 결함 탐지 능력이 실증되고 더 높은 신뢰성을 갖는 비파괴 검사를 하고자 한다.

여기서 초음파의 신호는 결함의 크기와 형태, 진행한 빔 거리에 따라 에코의 거동이 달라지게 되어, 결함에 대한 검출성에 큰 영향을 미치므로 좀더 용접부의 결함과 유사한 원위치 결함을 만들 수 있는 결함 시험편의 제조법 등 많은 시험에 의한 데이터의 확보로 좀더 정량적인 판단을 할 수 있을 것이다.

다음은 고속철도 궤도의 레일 용접부 초음파 탐상 시험 방법의 절차를 보완하여 제시한 내용이다.

3.1 철도 레일 용접부의 초음파 탐상 시험의 적용 방법

3.1.1 장비의 준비

(1) 탐상기

탐상기는 KSB 0817¹⁹⁹⁶에 규정된 A-Scope 표시의 펄스 반사식 초음파 탐상기를 사용한다.

(2) 탐촉자

주파수 2MHz, 진동자 크기 10×10, 공칭 굴절각 45°의 사각 탐촉자를 사용한다.

(3) 표준시험편

KS B 0831²⁰⁰¹에 규정된 초음파 탐상용 표준 시험편(STB-A1) 준비

(4) 대비 시험편

JIS E 1101¹⁹⁹⁰에 규정된 레일 가공 시험편 준비

가) 대비 시험편 제작

(가) 대비 시험편은 철도 레일의 초음파 탐상에 있어서 장비 및 탐촉자의 교정과 결함 평가를 위한 기준의 설정을 위하여 제작하도록 한다.

(나) 대비 시험편(RW1-60형, 레일 용접부 탐상용)은 JIS E 1101¹⁹⁹⁰에 규정된 60kg 레일을 가공한 것을 사용한다.

(다) 대비 시험편의 가공 크기는 $\phi 4\text{mm}$ 로 한다.

(라) 이하 대비 시험편의 형상 및 크기는 아래와 같다.

(5) 결함 가공 시험편

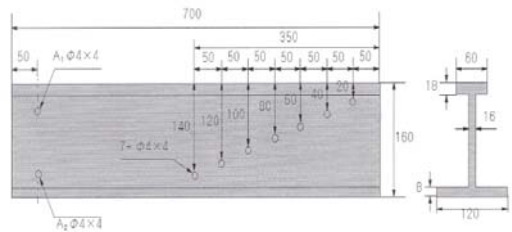


Fig. 1 DAC 커브 작성용 대비 시험

결합검출을 위한 감도 시험편 준비(권고사안임)
 가) 레일 용접부 결합 가공 시험편 제작

(가) 동일 용접 조건의 가공에 의한 철도 레일 또는 유사 재질을 준비한다.

(나) 아래 그림 및 도표와 같이 인공 결합을 레일 시험편에 기계 및 방전 가공으로 제작토록 한다.

(6) 접촉매질

Table 2 레일 용접부의 결합 가공 시험편에 대한 결합 정보

결합 번호	위 치	형 상	크 기
①	저부	횡공	φ3×5
②	저부	슬릿형 크랙	1×5×3
③	복부	횡공	φ3×5
④	두부	횡공	φ3×5
⑤	두부	수직공	1×5×5 (x x)
⑥	복부~1부	횡공()	φ3×10
⑦	복부~1부	횡공()	φ3×10
⑧	두부~1부	횡공()	φ3×10

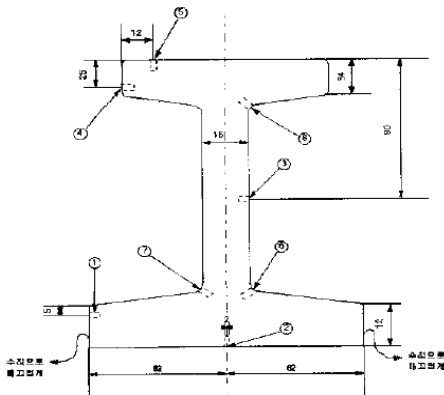


Fig. 2 레일 용접부의 결합 가공 시험편

원칙적으로 농도 75%이상의 글리세린 수용액을 사용한다.

3.1.2 탐상 장비의 점검

- (1) 탐상기 장비의 성능 점검은 구입시 및 12개월 주기마다 교정 실시
- (2) 탐상기의 시간축에 대한 측정범위 및 원점에 대

한 조정은 작업 개시 및 그 후 4시간마다 교정한다.

가) 대비 시험편의 결합 수직 거리(탐상면에서 중심까지의 깊이)가 20mm인 표준 구멍을 직사에 의한 예코가 시간축 눈금 5에, 결합 수직거리 140mm인 표준 구멍을 직사에 의한 시간축 눈금 35에 위치하도록 측정 범위 및 원점을 조정한다.

나) 수직 결합 거리 40mm, 60mm, 80mm, 100mm의 표준 구멍으로부터의 직사에 의한 예코가 각각 시간축 눈금 10, 15, 20, 25가 되는지를 확인한다.

(3) 사각 탐촉자(이하 “탐촉자” 라 한다.)에 대한 점검은 다음과 같다.

가) 입사점의 측정

(가) 아래 그림과 같이 STB-A1 시험편의 100R 곡면을 향하여 초음파를 입사한다. 탐촉자를 전후로 이동(전후 주사)시켜 곡면으로부터의 예코 높이가 최대가 되는 위치에서 고정한다. 이때 100R의 중심을 나타내는 표시(Slit의 곡면측)에 대응시켜 탐촉자 측면의 입사점 눈금을 1.0mm단위로 읽는다. 이 값이 사용 탐촉자의 입사점이다.

(나) 입사점의 교정 빈도는 STB-A1 시험편을 이용하여 작업 개시 및 작업 시간 4시간마다 교정을 실시토록 한다.

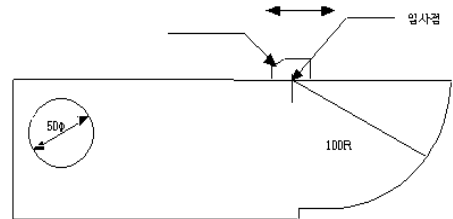


Fig. 3 입사점 측정 방법

나) 굴절각의 측정

(가) STB-A1 시험편을 아래 그림과 같이 놓고 탐촉자를 50φ구멍을 향하여 전후주사하여 예코가 최대가 되는 위치를 구한다. 이때 위 그

림과 같이 입사점 표시 부분과 STB-A1에 각 인된 굴절각 눈금이 일치하는 지점을 0.5° 단위로 읽는다. 이 값이 사용 탐촉자의 실제 굴절각이다.

- (나) 굴절각의 교정 빈도는 STB-A1 시험편을 이용하여 작업 개시 및 작업 시간 4시간마다 교정을 실시토록 한다.

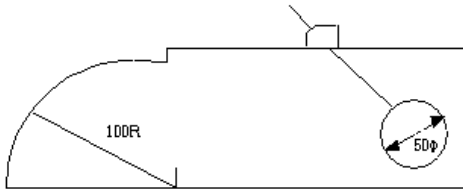


Fig. 4 굴절각 측정 방법

다) 빔 중심축의 치우침

- (가) STB-A1 시험편의 25mm판 두께 방향에서 그 끝면을 1S(굴절각 45°) 또는 0.5S(각 60°, 70°)로 겨누어 안정된 에코를 얻을 수 있는 위치에 탐촉자를 놓고, 목놀림, 그 밖의 주사에 의하여 에코가 최대가 되도록 한다. 이때 탐촉자의 측면과 시험편 끝면의 법선과 이루는 각을 분도기로 측정하여 1° 단위로 읽어 각도가 2°가 초과하여서는 안된다.

- (나) 교정 빈도는 STB-A1 시험편을 이용하여 작업 개시 및 작업 시간 8시간마다 교정을 실시토록 한다.

라) 감도, 접근 한계 길이, 원거리 분해 능력, 불감대 등에 대해서는 구입 시 및 보수를 하였을 때 교정을 실시한다.

마) 규정된 성능에 미치지 못할 경우는 교환토록 한다.

- (4) 이와 관련된 내용은 한국산업규격 KS B 0896¹⁹⁹⁹에 따른다.

3.1.3 탐상 준비

(1) 용접부 및 탐상면의 손질

- 가) 두부 및 저부 측면에 덧살이 잘 제거되었는지

를 확인한다. 용접부 표면에 탐상에 지장을 줄수 있는 단이 존재할 경우는 그 부분을 매끄럽게 마무리한다.

- 나) 테르미트 용접부에 있어서는 특히 저부 측면의 덧살하부에 주의하여야 한다.

- 다) 탐상면이 되는 두부측면(용접부의 양측 약 200mm의 범위), 저부측면(용접부의 양측 약 100mm) 및 저부측면(용접부의 양측 약 150mm)에 대해서는 스패터, 녹, 페인트, 스케일 등을 제거하고, 탐촉자의 안정된 접촉과 주사를 할 수 있도록 평활하게 한다.

(2) 주파수리제션-펄스 폭 등의 설정

주파수는 2MHz, 리제션 및 DAC는 “0” 또는 “OFF”, 펄스폭 및 파형은 보통으로 한다.

(3) 시간축의 조정

실제로 사용하는 탐상기와 탐촉자의 조합에 의해 일탐촉자법으로 조정한다.

- 가) 대비 시험편(RW1-60형)의 결함 수직 거리(탐상면에서 중심까지의 깊이)가 20mm인 표준구멍을 직사에 의한 에코가 시간축 눈금 5에, 결함 수직거리 140mm인 표준구멍을 직사에 의한 시간축 눈금 35에 위치하도록 측정 범위 및 원점을 조정한다.

- 나) 수직결함거리 40mm, 60mm, 80mm, 100mm의 표준 구멍으로부터의 직사에 의한 에코가 각각 시간축 눈금 10, 15, 20, 25 및 30이 되는지를 확인한다.

(4) 일탐촉자법의 감도 조정과 거리진폭특성(DAC) 곡선 작성

- 가) 온도에 민감하지 않고 CRT 모니터 크기에 적합한 PE 필름을 준비한다.(단 DAC곡선의 입력, 저장이 가능한 장비는 예외로 한다.)

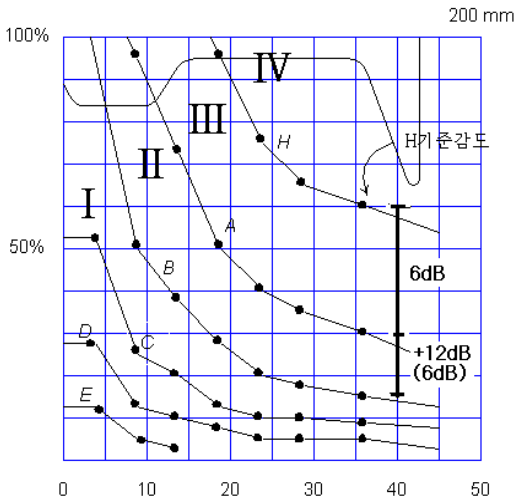
- 나) 결함 수직 거리가 140mm인 표준구멍의 직사에 의한 에코가 최대가 되는 위치에서, 에코 높이가 60%가 되도록 감도를 맞춘다. 이것이 기준 감도이다. (H 기준 감도선은 원칙적으로 그 높이가 40% 이하가 안 되는 선으로 한다.)

- 다) 게인을 조정하여 H 기준감도에서 6dB만큼 감도를 내리고 이때의 에코 높이를 PE 필름

(예:아세테이트)에 플로팅을 한다. 또한 6dB (누적 12dB) 감도를 내려 같은 형태로 플로팅을 한다. 에코 높이가 5%를 넘을 때까지 이를 반복한다.

- 라) 결합 140mm에 대한 플로팅이 완료된 후 다음 결합에 탐촉자를 이동한다.
- 마) 이동 후 위와 같이 감도를 조정하여 플로팅을 한다.
- 바) 각 결합에 대한 플로팅을 완료한 후 각 감도 별로 직선을 연결한다.
- 사) 여기서 H 기준감도의 선을 H선, H선에서 6dB 낮은 선을 A선, A선에서 6dB 낮은 선을 B선, B선에서 6dB 낮은 선을 C선, C선에서 6dB 낮은 선을 D선, D선에서 6dB 낮은 선을 E선으로 한다.
- 아) 이렇게 하여 영역을 설정시킨 거리 진폭 특성 (DAC) 곡선 작성을 마친다.

(5) 이탐촉자법의 감도 조정



- Fig. 5 (DAC) 곡선의 예
- 가) 두부를 탐상할 경우는 대비시험편 두부 상면의 표준구멍(A1)으로 부터의 반사 에코높이가 80%가 되도록 감도 조정을 한다. 이때의 에코 위치는 시간축 눈금 7~8 부근이 된다. 또한 이 감도를 H2 기준 감도라 한다. 또한 저부를 탐상할 경우에도 저부하면의 표준구멍(A2)로

부터의 반사 에코 높이가 80%가 되도록 감도를 조정한다. 이때의 에코 위치는 시간축 눈금 18 부근이 된다. 또한 이 감도를 B2 기준감도로 한다.

- 나) 계인을 조정하여 H2 또는 B2 기준 감도에서 6 dB 만큼 감도를 내려 이때의 에코 높이가 40% 임을 확인한다. 또한 기준감도에서 12dB 내렸을 경우의 에코 높이가 20%, 18dB 내렸을 경우의 에코 높이가 10% 정도임을 확인한다.

3.1.4 탐상 방법

레일 용접부의 초음파 탐상은 일탐촉자법과 이탐촉자법에 의한 사각탐상을 병행하여 용접 부위에 적용토록 한다. (일반적인 방법은 일탐촉자법이며, 현장에서 판단하여 적용할 것)

(1) 일탐촉자법에 의한 탐상(일탐법)

- 가) 탐상의 범위
탐상면은 두정면, 두부 양측면 및 저부 양측면으로 하고 용접부 양측의 0.5skip 거리에 60mm를 가한 범위로 한다.

- 나) 탐촉자의 주사
탐촉자의 주사는 초음파 빔이 직사이며, 전 용접부를 덮도록 다소의 목돌림 및 좌우주사를 병행한 전후주사를 한다.

- 다) 시간축의 확인
측정 범위 및 원점의 위치가 거리 진폭 특성 곡선 작성시와 같게 되도록 대비 시험편의 결합 수직거리 20mm 및 140mm의 표준구멍을 사용하여 시간축을 확인한다.

- 라) 탐상감도의 설정
탐상의 기본감도는 H 기준 감도로 한다. 대비 시험편 표준구멍의 에코높이가 거리진폭특성 곡선의 H선에 맞는지를 확인한다.

- 마) 탐상감도의 변경
라)에서 설정한 기본감도로 탐상하고 검출된 결합 에코높이가 100%를 넘을 경우는 100% 이하가 될 때까지 탐상감도를 6dB 스텝으로 내린다. 기본 감도보다 6dB 내렸을 때의 탐상감도를 A감도, 12dB 내렸을 때의 탐상감도를 B

감도, 12dB 내렸을 때의 탐상감도를 C감도라 한다. A감도에 대한 특성곡선은 A선, B감도에 대한 특성곡선은 B선, C감도에 대한 특성곡선은 C선이다.

바) 결함 에코 높이의 영역구분

탐상감도와 대응하는 특성곡선 보다도 18dB 낮은 곡선을 넘고 12dB 낮은 곡선이하의 범위

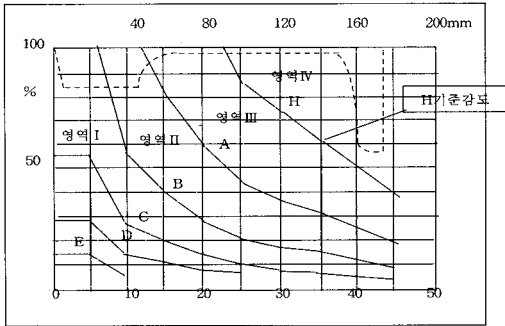


Fig. 6 H 기준 감도에 대한 영역구분

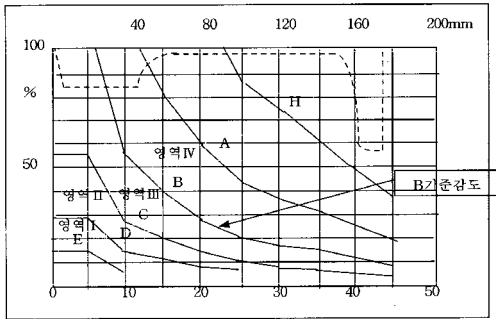


Fig. 7 B 기준 감도에 대한 영역구분

를 영역 I, 6dB 낮은 곡선 이하에서 영역 I을 넘는 범위를 영역 II, 탐상감도곡선에서 영역 II를 넘는 범위를 영역 III, 영역 III(탐상감도의 곡선)을 넘는 범위를 영역 IV로 한다. 기본감도(H 기준감도)로 탐상 하였을 경우 및 B감도로 탐상 하였을 경우의 영역구분을 Fig. 6 및 7에 나타내었다.

사) 결함 에코의 등급 분류

결함 에코는 최대 에코 높이의 출현 영역에 따라 Table 3에 4등급으로 분류한다. 두방향 이

상에서 탐상 하였을 경우에 동일 결함 에코의 등급이 다를 때는 하위의 등급을 적용한다.

아) 결함 위치의 측정

시간축 상에서 에코의 위치, 탐촉자와 용접부 중심의 거리(입사점에서 용접중심까지의 거

Table 3 길탐촉자법에 의한 결함의 등급분류

최대 에코 높이 출현 영역	등 급
영역 I	1 급
영역 II	2 급
영역 III	3 급
영역 IV	4 급

리) 및 굴절각으로부터 결함과 탐상면의 수직 거리 및 결함과 용접부 중심의 거리를 구하여 결함의 위치를 정한다.

자) 결함 가공 시험편에 의한 균열의 종류 및 크기에 대한 평가

(가) Table 2와 Fig. 2의 도표 및 그림과 같이 최소 결함의 한계를 가공을 대상으로 한 경우 $\phi 3\text{mm}$, 슬릿형 균열의 경우는 가로 $1\text{mm} \times$ 세로 $5\text{mm} \times$ 깊이 3mm 를 최소 결함 검출 한계로 한다.

(나) 이에 따라 DAC 곡선에 의한 결함 판정의 보완 방법으로 결함의 방향성(위치) 및 크기에 대한 대략적인 정보를 각각의 두부, 복부, 저부의 위치에 따라 각각의 인공결함에 대한 에코의 강도를 파악하여, 레일의 판정 기준에 반영토록 한다.(단, 이탐법의 경우 두부, 저부에 대해서만 평가)

차) 가공된 결함시험편을 통한 레일 용접부 결함의 종류 및 크기 평가 예(저부의 경우)

Fig. 8은 결함 가공 시험편의 탐상에서 얻은 용접부 저부에 존재하는 슬릿형 크랙 결함(가로 $1 \times$ 세로 $5 \times$ 깊이 3)에 대한 신호로, 저부 147mm 지점에 위치한 인공 결함에 대하여 정량적 결함 검출 기준인 거리진폭특성(DAC) 곡선을 작성하여 검출한 초음파 탐상의 신호이다.

다음의 Fig. 9는 용접한 레일에 대하여 획득

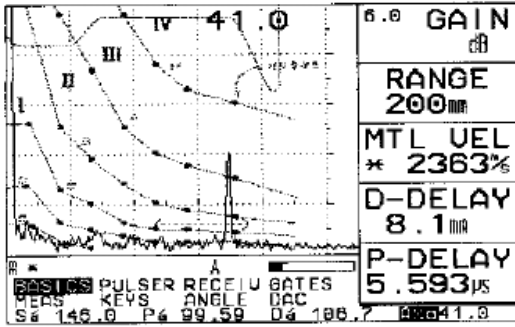


Fig. 8

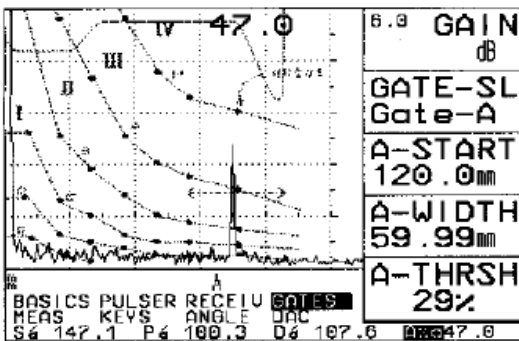


Fig. 9 초음파 장비의 용접부 저부 결함 신호

한 초음파 신호로서 레일 저부에 대한 결함으로, 결함 검출 시편의 초음파 신호와 대비시험편의 초음파 신호 등 정보를 비교 분석하여 판단할 때, 결함은 적어도 가로1mm×세로5mm×깊이3mm이상의 균열로 생각할 수 있다.

(2) 이탐촉자에 의한 탐상(이탐법)

가) 탐상의 범위

탐상면은 두부 및 저부 양측면으로 하고 탐상의 범위는 용접부 양측 0.5skip내로 한다.

나) 탐촉자의 주사

송신용 탐촉자로 부터의 초음파 빔 중심이 직사이며, 용접부의 전체를 덮듯이 다소의 목들림 및 좌우주사를 병행하여 0~0.5 skip 거리의 범위를 레일 길이 방향으로 주사한다. 이때 수신용 탐촉자를 송신용 탐촉자의 이동과 역방향으로 이동시켜 송신파가 용접결합에서 반사되었을 경우에 수신되는 기하학적 위치에

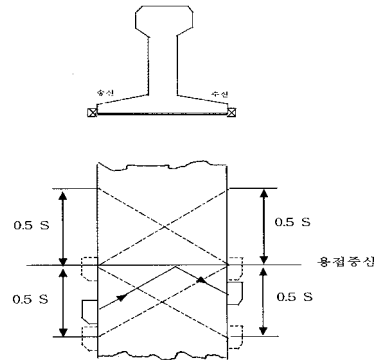


Fig. 10 이탐촉자법에 의한 용접부 저부 탐상

항상 대응시킬 필요가 있다.

다) 시간축의 확인

저부의 용접부를 사이에 두고 송신용 탐촉자와 수신용 탐촉자를 대칭시켜 구해진 투과에코가 나타나는 위치가 60kg의 경우에는 16부근임을 확인한다.

라) 탐상감도의 설정

탐상의 기본감도는 두부를 탐상할 경우는 H2 기준감도, 저부를 탐상할 경우에는 B2 기준감도로 한다. 대비 시험편의 표준구멍(A1 및 A2)의 반사에코 높이가 80%가 되는 감도이다.

마) 결함 에코의 등급분류

결함에코는 최대 에코 높이를 기준으로 Table 4와 같이 4등급으로 분류한다. 용접부의 양측 탐상으로 동일 결함으로부터의 에코를 구하여 그 결함등급이 다를 때에는 하위의 급으로 한다.

바) 결함 위치의 측정

송수신용 탐상면에 대한 탐촉자와 용접부 중

Table 4 이탐촉자법에 의한 결함의 등급분류

최대 에코 높이	등 급
10% ~ 30% 이하	1 급
20% ~ 40% 이하	2 급
40% ~ 80% 이하	3 급
80% 이상	4 급

심의 거리 및 굴절각으로부터 결함과 탐상면의 수직거리 및 결함과 용접부 중심과의 거리를 구하여 결함의 위치를 정한다.

사) 결함 가공 시험편에 의한 균열의 종류 및 크기에 대한 평가

3.1.4 탐상 방법 (1) 일탐촉자법에 의한 탐상
 자) 결함가공시험편에 의한 균열의 종류 및 크기에 대한 평가와 동일하다.

3.1.5 레일 용접부 초음파 탐상에 대한 합부 판정 기준

3.1.6 탐상 기록

검사를 한 후, 다음의 사항을 기록한다.

(1) 공사명 및 검사명

Table 5 레일 결함의 대한 등급 분류

최대예코 획득영역	손상 등급 분류	합, 불합격 기준
I	1 ⁺	합격
II	2 ⁺	합격 또는 불합격
III	3 ⁺	불합격
IV	4 ⁺	불합격

Table 6 , 불합격 판단 기준

대상 부위	불합격 기준	합격 기준
레일 두부, 저부	2, 3, 4 ⁺	1 ⁺
레일 복부	3, 4 ⁺	1, 2 ⁺

- (2) 탐상검사 시행 위치명
- (3) 탐상검사 년 월 일
- (4) 탐상 검사원명 및 감리원명
- (5) 탐상기의 형식 및 장비 관리 번호
- (6) 탐촉자의 성능(입사점, 굴절각, H, B, H2, B2 기준감도)
- (7) 용접부의 번호 또는 기호
- (8) 레일의 종류
- (9) 용접의 종류
- (10) 결함의 위치(y, d, w) 및 크기
- (11) 결함의 합부 판정

4. 결 론

본 고에서는 실무에 있어 현장 기술자들이 알아야 할 철도 레일 용접부의 초음파 탐상에 대하여, 현재 발주처별 적용하고 있는 국내 궤도 공사시방서의 문제점 및 개선방향과 국내 궤도업체의 초음파 탐상기 사용 현황, 철도 레일 용접부의 초음파 탐상 시험의 적용 방법에 대하여 논의하였다.

현재 국내에 궤도 공사시방서의 비파괴 검사 내용이 미흡하여, 향후 궤도 공사시방서의 비파괴 검사 중 철도 레일 용접부의 초음파 탐상에 대한 시방 내용에 있어 작업 절차 및 비파괴 검사자의 자격에 대한 내용 반영이 필요하고, 비파괴 검사의 절대적인 숙련도 및 특수성을 감안하여 아웃소싱을 주는 방법도 고려될 사항이다.

또한 레일 용접부 결함의 정량적 검출을 위한 결함 검출 시험편의 제작 방법에 대하여 용접 방법에 따라 좀 더 구체적인 결함의 가공 방법 등 추가 연구가 필요하며, 향후 결함 데이터의 확보와 역학적 실험을 통해서 더욱 더 정량적인 결함의 파악과 합부 판정의 기준 변경 등을 기대할 수 있을 것이다.

참고문헌

1. 윤인식, 박원규, 정의섭 “초음파센서의 거리진폭특성(DAC)을 이용한 철도레일 용접부의 용접성 평가”, 대한도목학회논문집, 제22권 제1-D호, 2002, 1월, pp.113-120.
2. 박인근, 이승석, 박재규 “강 용접부의 초음파 탐상 시험 방법(KS규격을 중심으로)”, 비파괴검사학회워크샵, 2000, 8월, pp.94-107.
3. 박래운, 박일부 공저, “비파괴검사공학”, 대광서림, 2000. pp.232-355.
4. 한국산업규격, KS B 0534(2000), “초음파 탐상 장치의 성능 측정 방법”
5. 한국산업규격, KS B 0817(1996), “금속재료의 펄스반사법에 따른 초음파 탐상 시험 방법 통칙”
6. 한국산업규격, KS B 0831(2001), “초음파 탐상 시험용 표준시험편”
7. 한국산업규격, KS B 0896(1999), “강용접부의 초음파 탐상 시험 방법”

(접수일자 : 2004년 6월 7일) (급행)