

선제적 선로장애 예방을 위한 레일결함 탐상 및 상태평가 기술 개발 연구

Development of Rail-damage Detection Inspection and Monitoring
System for Advanced Prevention Railway Obstruction



권세곤



서종민



박상준

서론

궤도의 구성요소의 하나인 레일은 차량과 궤도를 연결하는 가장 중요한 인터페이스로써 철도 레일에 발생한 결함은 열차 통과 시의 부하 등으로 인해 계속 진전하여 사전에 발견하여 적절한 조치를 취하지 않으면 레일절손 등으로 이어지게 되며, 이는 철도 탈선 사고를 야기하여 철도 안전을 심각하게 저해하게 된다. 국내의 경우 레일절손으로 인한 대형 철도사고가 다행히 발생되지 않았지만, 국외의 경우 2000년 이후 레일 결함으로 인해 중대한 철도사고가 발생한 사례를 볼 수 있다. 따라서 철도운영기관별 레일결함에 의한 선로장애를 사전에 예방하기 위하여 초음파 탐상, 이음매 해체점검 등 사전점검 및 예방보수를 매년 시행하고 있다.

그러나 최근 철도 운송 수요 증대로 인한 철도

총연장 증가와 고속화, 통과톤수 증가 등 환경적인 원인과 레일결함 발견을 위해 사용중인 레일탐상 검측장비의 성능한계로 레일절손은 매년 지속적으로 발생되고 있는 실정이다. 또한 레일결함 발생시 적용중인 레일 유지관리 기준의 경우 국내 철도 현황을 반영하지 못한 국외 지침 적용과 일반철도 유지관리 기준 부재로 레일절손 예방에 한계를 가지고 있다.

따라서 레일결함에 의한 선로장애를 선제적으로 예방하기 위하여 기존 장비와 차별화되고 성능이 향상된 레일결함 탐상 검측시스템 국산화 개발을 진행하고 있으며, 기술개발 완료 후 탐상장비 노후(초음파 탐상 한계, 수입의존 등)에 따른 레일결함 관리 문제(예방보수 지연, 결함진전 예측 불가 등)를 해소하고 국내 철도환경에 적합한 레일 유지관리기준을 개발하고자 한다.

권세곤 : 한국철도공사 기술연구처 레일진단시스템연구단, tibobkr@korail.com, Phone: 042-615-4708, Fax: 02-361-8542
 서종민 : 한국철도공사 기술연구처 레일진단시스템연구단, sjm4439@korail.com, Phone: 042-615-4736, Fax: 02-361-8542
 박상준 : 한국철도공사 기술연구처 레일진단시스템연구단, parksj@korail.com, Phone: 042-615-4737, Fax: 02-361-8542

레일결함의 정의 및 유형, 점검방법

1. 레일결함의 정의

일반적으로 레일결함이란 열차에 반복하중에 의한 피로손상, 구름접촉에 의한 손상, 파상마모, 충격에 의한 레일이음매부 손상, 피로균열, 엔진화손, 용접부패임 등을 의미한다(UIC 712R RAIL DEFECTS, 2002).

2. 레일결함의 유형

궤도 구성품 중 하나인 레일에서 발견되는 결함의 유형으로는 크게 세분류로 나눌 수 있다.

첫째로 손상된 레일(Damage rail), 손상된 레일이란 레일 위에 다른 결함을 포함하고 있고 절단되거나 사용할 수 없게 되는 유형이다.

두 번째로 금간 레일(Creacked rail), 금간레일이란 상당히 빠른 속도로 파손될 수 있으며 이로 인해 레일 파손의 패턴을 식별할 수 없는 유형이다.

마지막으로 깨진 레일(Broken rail), 깨진 레일이란 운행면 100mm 이상과 50mm 이상 깊이의 길이 격차에 의해 분리된 금속조각인 레일의 형식 또는 두 개 이상의 조각을 갖는 유형이다(UIC 712R RAIL DEFECTS, 2002).

3. 레일결함의 점검방법

위와 같은 레일의 결함이 절손(파손)으로 진전되어 열차탈선사고 등 열차운행에 방해가 되는 위험요인을 사전에 발견하여 보수 또는 교체를 통해 열차사고를 예방하는 것이 중요하다 국내 선로유지관리지침에 명시되어 있는 결함의 발견 및 관리를 위하여 점검하는 방법은 크게 세가지로 외관점검과 해체점검 및 초음파 탐상 점검으로 나눌 수 있으며, 외관점검의 경우 일반철도 부설레일은 연 1회 이상 손상, 마모 및 부식 등의 상태와 제작년도별로 점검, 다만 궤도검측차 및 선로점검차 불량

개소는 추가로 점검하여 확인하도록 되어있다.

해체점검의 경우 일반철도 본선부설 레일 이음매는 연 1회이상 해체하여 훼손유무 및 그 상태를 세밀히 점검, 장대터널 및 레일의 피로가 심한 구간으로서 소관부서의 장이 지정한 구간은 연 2회 이상 점검하도록 되어있다.

마지막으로 초음파 탐상 점검의 경우 레일탐상차 점검과 휴대용 탐상기 점검으로 나눌 수 있으며, 레일탐상차 점검의 경우 본선에 대하여 고속철도는 분기별 1회, 일반철도는 연 1회 시행, 역구내 부분선, 분기기부근, 장대레일의 신축이음매부근 등 필요개소에 대하여는 레일탐상기로 정밀점검을 시행한다. 다만 중요한 본선은 필요에 따라 추가 시행하도록 되어 있다.

휴대용 탐상기 점검의 경우 일반철도는 주요본선의 경우 연1회 이상 시행하고, 고속철도는 레일탐상차 불량개소 및 역구내 부분선, 분기기 부근, 장대레일의 신축이음매부근, 접촉식 절연레일, 용접지역 등 필요개소에 대하여 시행하도록 되어 있다.

점검사항으로는 레일의 마모 측정, 레일표면상태, 레일의 연마상태, 선형상태, 돌려놓기 또는 바뀌놓기 필요의 유무, 불량레일에 대한 점검표시 유무, 가공레일의 가공상태 적부에 대해 점검한다(선로유지관리지침, 2015).

국내·외 유지관리 기준

1. UIC 712R Rail Defects

국제적으로 UIC CODE (UIC 712R RAIL DEFECTS, 2002)에서 레일 결함에 대한 관리기준을 제시하고 있다. KRS 및 EN규격에서는 레일의 제작과 관련된 기준은 제시하고 있으나 결함의 관리에 대한 기준은 없는 실정이다.

미국 연방철도국에 따르면 레일결함 진전은 결함의 유형, 원인, 결함진전 방향에 따라 결정된다고 하며 레일두부를 관통할 때까지 육안으로 확인할 수 없다고 서술하고 있다. UIC 725R에서는

표 1. UIC 결함 등급 및 결함관리기준

등급	등급설명 및 조치방안	결함 종류			
		두부 횡방향 균열	종방향 수직균열	종방향 수직균열	볼트구멍 주위 균열
등급0	-열차 운행금지 및 레일교체 필요 -다 이상의 결함은 없음 -일반적으로 판단된 레일을 포함	파손	파손	파손	파손
등급1	-추진적인 레일 교체 필요 -연계라도 레일 파단이 일어날 수 있음 -수주 이내에 조치 필요 (이동매만 체결 용의 강화 조치가 있는 경우는 6주 이내에 조치)	$H > 25\text{mm}$	$L \geq 200\text{mm}$	육안 확인가능	$L > 100\text{mm}$
등급2	-레일교체 필요 -열차 운행에 추진적인 위험은 없으나 잠재적인 위험이 있음 -12개월 이내에 조치 필요 (이동매만 체결 용의 강화조치시 등급1로 상향할 때까지 사용 가능)	$10\text{mm} < H \leq 25\text{mm}$	$80\text{mm} < L \leq 200\text{mm}$	$L > 50\text{mm}$, 육안확인 불가능	$40\text{mm} < L \leq 100\text{mm}$
등급3	-건설중인 레일 -열차운행에 위험을 주지 않는 결함의 경우 -이러한 결함은 보수를 필요로 하지는 않지만 상태 모니터링과 기록 유지	$H \leq 10\text{mm}$	$L \leq 80\text{mm}$	$L \leq 50\text{mm}$	$L < 40\text{mm}$
상세도					

출처: UIC 712R RAIL DEFECTS, 2002.

결함관리기준을 표 1과 같이 결함종류별 4단계로 나누어 관리하고 있다.

2. 국내 선로유지관리지침

국내 선로유지관리지침의 레일검사 기준은 표 2와 같으며, 레일두부와 용접부 관리에 대해서만 제시하고 있다. 또한 균열 높이와 균열 깊이를 별도로 관리하도록 규정하고 실제 레일탐상시 이를

표 2. 고속철도 레일검사 기준

일련번호 Serial No	검사시점 항목 Check Item	적용/합부 판정 기준 Acceptable Criteria		등급 Class	
		균열높이 Crack height	균열깊이 Crack depth D		
1	레일두부 Rail head	횡방향 균열 Transversal Crack	$\leq 5\text{mm}$	-	비분류
			$> 5\text{mm}$	$D \leq 15\text{mm}$ $15 < D \leq 25\text{mm}$ $D > 25\text{mm}$	
2	수평균열(단부제외) Horizontal Crack (without Balland)	균열길이 Crack length L	-	-	
		$L \leq 100\text{mm}$ $100 < L \leq 200\text{mm}$ $L > 200\text{mm}$	-	o X_1 X_2	
3	횡방향 균열이 포함된 수평균열 Horizontal Crack with Transversal Component	균열높이 Crack height	균열깊이 Crack depth D	-	
		$\leq 5\text{mm}$	-	비분류	
4	레일두부 Rail head	종방향 수직균열 Longitudinal Vertical Crack	균열길이 Crack length L	-	비분류
			$L \leq 50\text{mm}$ $50 < L \leq 100\text{mm}$ $L > 100\text{mm}$	-	
5	용접부 Welded Section	플래시버트 용접부 Flash-butt Welded Transversal Crack	균열높이 Crack height	균열깊이 Crack depth D	-
			$\leq 5\text{mm}$	-	비분류
6	테르민 용접부 Thermit Welded	수평균열 Horizontal Crack of the Web	균열길이 Crack length L	-	비분류
			$L \leq 100\text{mm}$ $100 < L \leq 200\text{mm}$ $L > 200\text{mm}$	-	

출처: 선로유지관리지침, 2015.

찾아내기는 쉽지 않다. 표 2에서 레일 두부의 횡방향 균열과 용접부 플래시버트 횡방향 균열의 관리기준이 같음을 알 수 있고 수평균열도 마찬가지로 같은 기준 값을 사용하고 있음을 알 수 있다.

3. 국내 유지관리기준의 문제점

UIC 712R Rail Defects에서는 레일 손상유형을 표준화(CODE)하여 제시하고 있으며, 손상유형별 유지보수방법을 제시하여 선제적 레일관리를 시행하고 있으나, 국내 선로유지관리지침 제21조 및 별표 8에서는 국외 지침을 바탕으로 고속철도 레일결함에 대한 관리 기준만을 제시하고 있으며 일반철도에 대한 기준은 없는 실정이다. 따라서 국내 고속철도에서 적용하고 있는 레일결함 관리기준에 대한 국내 적용의 적합성을 판단하고, 일반철도에서도 적용 가능한 레일결함 관리 기준을 과학적으로 산정할 필요성이 요구된다.

레일결함 탐상 검측시스템 개발

1. 레일결함 탐상 시스템의 종류

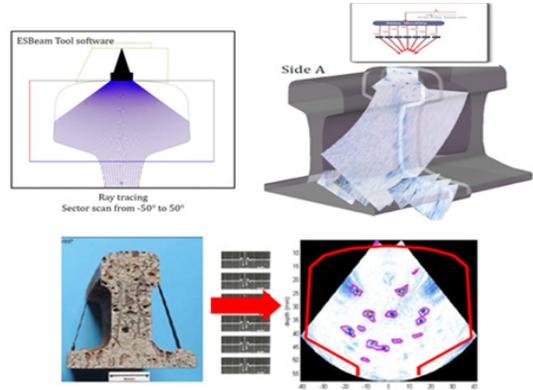
2000년 10월 영국 Hatfield에서 발생한 레일결함으로 인한 탈선사고가 발생하여 이 사고 이후 레일손상에 대한 탐상 기술 발전에 주요한 역할을 하게 되어 최근에 매우 각광을 받고 있는 분야이다.

레일결함 탐상 시스템의 종류로는 내부결함을 검사할 수 있는 초음파 탐상 방법과 레일표면 결함을 검사할 수 있는 와전류 탐상으로 나누어진다.

초음파 탐상은 기본적으로 초음파를 레일에 보내어 그 반사되는 파형으로 레일결함을 탐지하는 기술이며, 변환기에 따라 각도 조절에 의해 어떤 파형의 진폭은 레일의 건전성을 알려줄 수 있다.

와전류 탐상은 높은 전류량을 레일에 보내어 전류가 결함과 만나게 되면 그 전류가 결함주위에 맴돌게 되는데 전류흐름의 변형에 의하여 자기장의 형성으로 결함을 검출할 수 있는 원리이다.

과거에는 레일에 대하여 초음파 기술만이 적용되어 레일의 전단방향과 길이 방향으로만 검사가 가능하였으나 표면과 표면직하 결함의 증가로 Head Check 과 같은 결함을 기존의 검사기술만으로는 그 요구에 부응할 수 없게 되어 과거의 적용 기술보다 발생되고 있는 결함을 보다 정확하고 형상을 알 수 있는 기술이 필요하게 되었으며 검사 차량의 속도 또한 주요한 고려 대상이 되어 위와 같은 해결책에 가장 근접한 기술로 평가 받고 있는 것이 와전류 방식을 통한 레일표면검사 기법을 개발하여 운영 중에 있다.



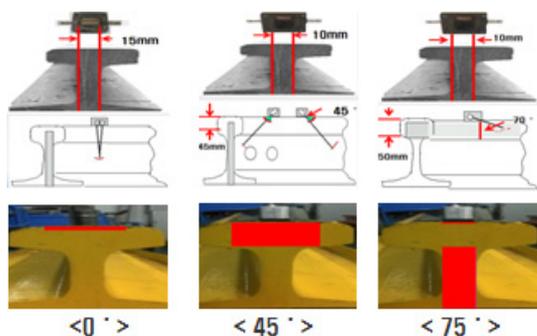
출처: 철도기술연구사업 연구개발계획서, 2016.
그림 2. 개발중인 초음파 탐상 검측기술

2. 레일탐상 시스템 개발의 필요성

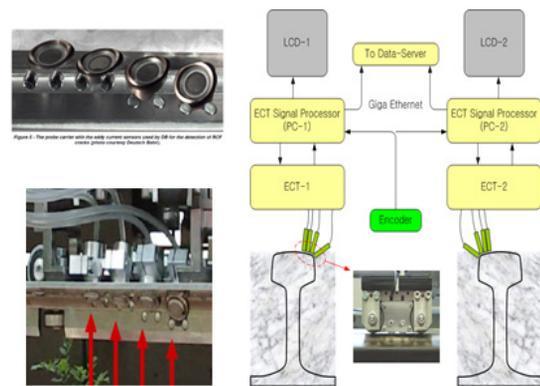
초음파 레일결함 탐상은 그림 1과 같이 탐촉자의 크기에 따른 측정범위 제한으로 상대적으로 면적이 넓은 레일저부, 표면결함은 측정 곤란(사각지대 발생)하며, 초음파 레일탐상차 운용(60km)시 레일 표면 밀착상태로 검측을 시행하므로 레일 상태에 따른 탐촉자 수시 조정이 필요하다.

국외에서는 레일절손의 원인으로 레일내부 및 표면직하부 결함이 복합적으로 작용하여 발생한다고 판단하여 초음파와 와전류를 혼합한 레일결함 검측시스템을 개발, 결함탐상의 사각지대를 해소하여 선제적 안전관리를 시행하고 있다.

위와 같은 단점을 보완하여 연구단에서는 그림 2와 같이 배열소자 구동에 따른 넓은 범위의 검사



출처: 철도기술연구사업 연구개발계획서, 2016.
그림 1. 초음파 탐상시 불감대 영역의 존재



출처: 철도기술연구사업 연구개발계획서, 2016.
그림 3. 개발중인 와전류 탐상 검측기술

를 가능하도록 하여 결함의 영상화로 비숙련자도 쉽게 검출 가능하도록 하고 결함검출 불감대 및 사각지대를 해소할 수 있는 초음파 탐상기를 개발중에 있다.

기존 와전류 검사의 경우 개별 코일 구동을 이용하여 구조 및 신호처리 회로가 간단한 장점이 있는 반면 한 개의 파형만 얻어지므로 검출 정확도가 저하되고 검사자의 숙련도가 요구되며 레일 표면의 형상 변화에 따른 결함검출 불감대 및 사각지대가 존재하였다.

따라서 연구단에서는 다채널 코일 구동을 이용하여 그림 3과 같이 배열센서 구동에 따른 넓은 범위의 검사가 가능하도록 하고 결함의 2차원 검출로 비숙련자도 쉽게 검출가능하며 레일 표면의 굴

곡면 적응구조 개발이므로 검사구간의 불감대 및 사각지대가 없도록 설계하여 개발 중에 있다.

결론

한국철도공사 연구원 레일진단시스템 연구단에 서 진행하고 있는 레일 결합탐상 시스템 개발은 기존 초음파 및 와전류 탐상의 단점을 보완하고 이에 알맞은 국내 선로유지관리지침 개정에 있다.

레일결합 탐상기술 및 레일유지관리기준이 성공적으로 마무리 된다면 기술적, 경제적, 사회적 측면의 다양한 기대효과를 가져올 수 있다.

기술적 기대효과로는 고정밀 레일 내·외부 탐상 검측기술 개발을 통한 고정밀 탐상으로 레일결합 발견을 향상 및 선제적 선로장애 예방이 가능하고 국산화에 성공하면 해외수입의 의존도를 탈피하고 철도시설물 유지보수를 위한 검측 기술이 확립되어 고가의 외산장비를 대체하여 외화절감 및 해외 의존도 감소로 이어질 것으로 기대된다.

또한 하이브리드 탐상 검측시스템 기반 현장 적용이 가능한 결합유형별 세분화된 레일유지보수 의사결정 기술 확보 및 국내 철도환경에 적합한 레일유지관리기준 개발로 선제적 선로장애 예방이 가능할 것으로 기대된다.

경제적 효과로는 레일 상태평가 검측시스템의 국산화로 구매비용 절감, 기존 제품 구매비용 대비 약 30%가 절감되며 자체 기술력 확보로 수리비용 최소화 및 검측중간 기간 단축이 가능하며 세계 최고 수준 이상의 검측시스템 기술 개발로 해외시장 진출도 가능할 것으로 기대된다.

마지막으로 사회적 효과로는 선제적 예방보수를 통한 철도차량 운행의 안전성 확보 및 정시운행으로 교통복지 실현과 철도운영기관 개발기술 적용을 통한 시설물 관리에 대한 대국민 신뢰도 향상을 가져올 것으로 기대된다.

감사의 글

이 논문은 국토부의 재원으로 국토교통과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구사업입니다 (16RTRP-B113566-01).

참고문헌

- 선로유지관리지침(2015), 한국철도시설공단.
 철도기술연구사업 연구개발계획서(2016), 선제적 선로장애 예방을 위한 레일결합 탐상 및 상태평가 기술개발, 국토교통과학기술진흥원.
 UIC 712R RAIL DEFECTS(2002), UIC CODE.