고속철도 궤도구성품의 손상유형 표준화

The Standardization of Damage Types of Track Components on High Speed Railway

오승재* 성덕룡** 김준형*** 박용걸****

Oh, Seoung-Jae Sung, Deok-Yong Kim, Jun-Hyung Park, Yong-Gul

ABSTRACT

It is estimated that the running of locally-developed next generation High Speed Trains with maximum speed of 400km/h will help to deteriorate track components. It was presented rail defect coding system in UIC 712R includes the definitions of damage types of rail, maintenance procedures, and etc to detect and maintain. It is necessary to make a track maintenance manual determining track maintenance periods using the standardization of damage types of track components such as: sleeper, fastener, elastic pad. In this paper, the damage types of high speed track components are investigated by referring domestic and foreign literatures. And then the damage types of rail given in UIC 712R is reclassified more particularly and classified damage types of track components using internal high speed railway. In conclusion, this paper suggests standardization for damage types of track components on internal high speed railway.

key words : high speed railway(고속철도), track component(궤도구성품), damage type(손상유형), standardization(표준화)

---

1. 서 론

최대속도 400km/h로 주행하는 차세대고속철도의 선로에서는 지금까지의 궤도재료 유지보수와는 다른 개념의 유지보수를 필요로 하며, 차세대고속철도의 주행 안전과 승차감을 확보하기 위하여 요구되는 선로의 기능을 유지하기 위해 궤도재료 유지보수의 최적화를 도모할 필요가 있다. 즉, 궤도재료의 상태를 정확하게 파악할 수 있는 진단과 점검기법이 필요하고 이를 평가하여 처방할 수 있어야 하며, 체계적이고 합리적인 작업 계획을 통해 최소의 비용으로 최적의 선로품질을 유지할 수 있는 기법이 요구된다.

특히, 초고속 대량철도수송이 가능하려면 가장 먼저 이에 적합한 윤연로의 확보가 필요하다. 주행 안정성 및 승차감 확보를 위한 궤도재료 유지보수 중 가장 큰 유지보수비용을 차지하고 있는 것이 레일이며, 레일은 차륜과의 접촉응력에 의한 피로와 자연적 접촉 마모 및 파상마모(Corrugation), 쉘링(Shelling), 헤드체크(Head Check), 파단(Failure) 등 각종 결함들로 인해 그 수명이 빠른 속도로 저하된다. 이러한 레일의 결함관리를 위해서 UIC 712R - Rail defects에서는 레일결함에 대해 분류 및 표준화(code)하여 유럽철도 궤도유지관리에 사용하고 있다.

---

* 서울산업대학교 철도전문대학원 철도건설공학과 석사과정, SK건설(주) 부장, 정회원
E-mail : sjoh@skec.co.kr
TEL : (02)3700-7114
** 서울산업대학교 철도전문대학원 철도건설공학과 박사수료, 정회원
*** 서울산업대학교 철도전문대학원 철도건설공학과 석사과정, 학생회원
**** 서울산업대학교 철도전문대학원 교수, 공학박사, 정회원

따라서 본 연구에서는 국내 고속철도를 구성하고 있는 궤도구성품들과 손상유형을 조사하였고, 국외 UIC 712R - Rail defects에 기초하여 레일, 체결장치, 침목, 콘크리트슬래브를 포함하는 고속철도 궤도구성품의 손상유형을 표준화(code)하여 제안하였다.

2. 국내 고속철도 궤도재료의 구성

2.1 고속선 레일

본 연구에서는 현재 경부고속선에 부설된 UIC 60레일을 대상으로 하였다.

2.2 고속선 체결장치의 구조 및 보수

레일 체결장치는 레일을 침목에 고정시켜 레일에 가해지는 열차하중을 침목에 전달하고 궤간을 확보함과 동시에 하중 및 진동에 저항해야 한다. 국내 고속선(경부고속철도)에서는 자갈도상구간에는 팬드롤 e클립(시험선구간)과 팬드롤 패스트(fast)클립(기타구간), 콘크리트도상구간에는 보슬로 체결장치, 분기기구간에는 팬드롤 e클립을 적용하였다.

1) 팬드롤(e-clip형, fast-clip형) 체결장치의 구조

팬드롤(e-clip형, fast-clip형) 체결장치의 구조적인 특성은 그림 1.과 같으며, 레일패드, 체결구, side post insulator, toe insulator, serrated washer, 볼트, 워셔, 베이스플레이트, 베이스플레이트 패드(comforming pad)로 구성되어 있다.

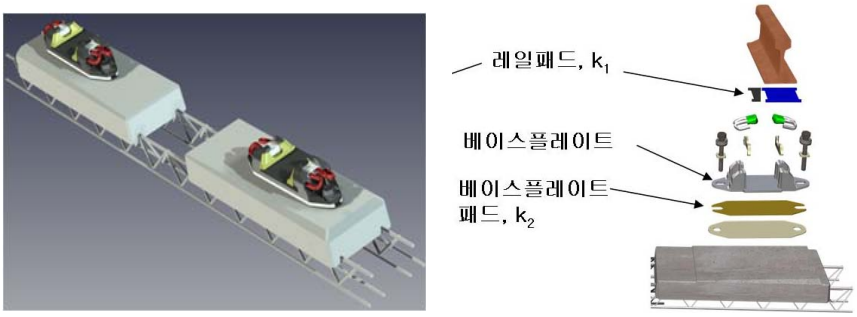


그림 1. 팬드롤(e-clip형, fast-clip형) 체결장치의 구조

2) 보슬로(Vossloh) 체결장치의 구조

보슬로(Vossloh) 체결장치의 구조적인 특성은 그림 2.와 같으며, 텐션클램프, 스파이크나사와 와셔, 가이드플레이트, 레일패드, 매립전, 베이스플레이트, 방진패드, T-head 볼트 너트와 조립와셔, 코일스프링 와셔로 구성되어 있다.

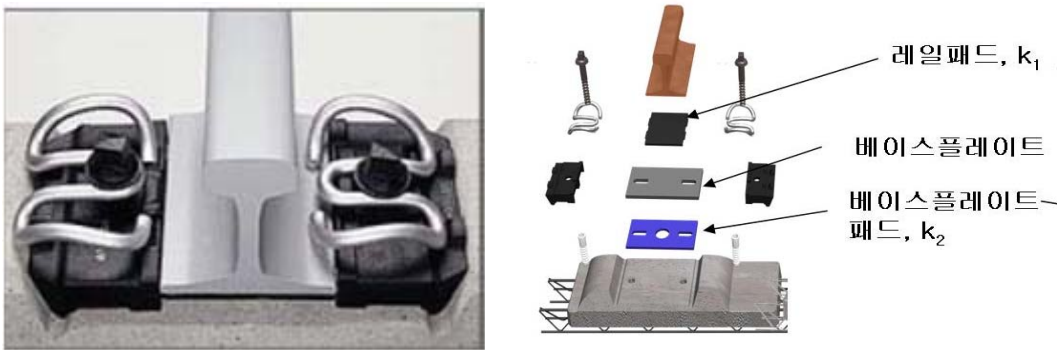


그림 2. 보슬로(Vossloh) 체결장치의 구조

3) 체결장치의 보수

현재 경부고속선에 적용된 체결장치의 손상에 따른 보수방법은 체결장치 종류에 따라 표 1., 표 2. 와 같다.

표 1. 팬드롤 체결장치의 보수

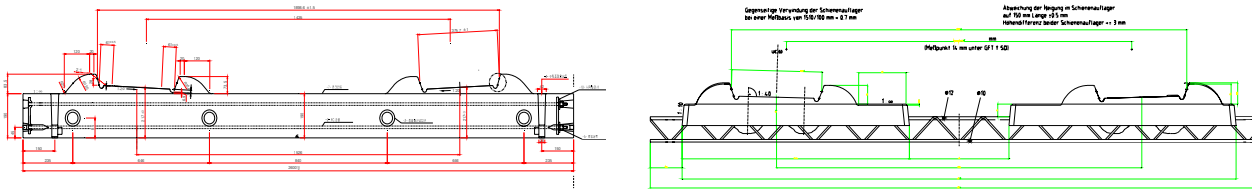
구 분	육안으로 점검할 때 관찰하는 사항	취해야 할 조치
숄더	손상된 숄더 두부	레일이 여전히 횡과 수직으로 구속되어 있는 경우에 숄더 두부가 빠져 있는 경우처럼 처리를 하진 않는다면, 다음의 육안 평가 동안 모니터 한다.
	몹시 부식된 숄더	추가의 부식 방지 코팅을 고려한다.
	숄더 탈락	인접 콘크리트가 손상되지 않았다면 숄더 축(shoulders stem)을 천공하여 새 숄더의 접착을 고려한다.
레일 클립	완전히 체결되지 않은 클립	클립을 완전히 제 위치로 당긴다.
	클립 누락	클립 삽입
	(외력으로) 손상된 클립	클립 교체
	몹시 부식된 클립	부식 보호 코팅을 가진 클립으로의 교체를 고려한다.
	깨어진 클립	클립 교체
유리강화 나일론 절연재	마모된 절연재	절연재의 상부나 측면의 두께가 마모로 인하여 4㎜미만으로 줄었거나 궤간이 영향을 받는다면 교체한다.
	깨어진 절연재	절연재 교체
	탈락된 절연재	절연재 설치
레일 패드	이동된 패드	레일 저부 부분의 75% 이하가 패드에 머물러 있다면 재배치나 교체를 고려한다.
	마모된 패드	패드 두께가 마모로 인하여 7㎜ 미만으로 감소되었다면 교체를 고려한다.
	탈락된 패드	패드 설치

표 2. 보슬로 체결장치의 보수

구 분	육안으로 점검할 때 관찰하는 사항	취해야 할 조치
매립 전	스파이크가 200N·m 이하에서 빠져 나올 때	임시조치로 스파이크에 실을 감아 조인다. 영구 조치는 빠진 매립 전과 같다.
	깨어진 매립 전	PC 침목이 손상되지 않았다면 침목을 천공을 하여 새 매립 전을 접착시키는 것을 고려한다.
	빠진 매립 전	위와 같다.
텐션 클램프	완전히 체결되지 않은 클램프	스파이크를 조인다.
	클램프 누락	클램프 삽입
	(외력으로) 손상된 클램프	클램프 교체
	몹시 부식된 클램프	부식 보호 코팅된 클램프로의 교체를 고려한다.
	깨어진 클램프	클램프 교체
가이드 플레이트	마모된 가이드플레이트	마모가 되어 궤간이 영향을 받는다면 교체를 고려한다.
	깨어진 가이드플레이트	가이드플레이트 교체
	변형된 가이드플레이트	가이드플레이트 교체
베이스 플레이트	궤도의 고저, 또는 수평이 맞지 않을 때	두께에 맞는 베이스플레이트로 교체한다.
	변형된 베이스 플레이트	베이스플레이트 교체
방진 패드	찢겨진 패드	구멍이 찢겨져 제 위치에서 벗어나 있다면 교체한다.
	압축된 패드	패드 두께가 4㎜ 미만으로 감소되었다면 교체한다.
	탈락된 패드	패드 삽입
나사 스파이크	나사산이 부식되었을 때	스파이크 교체
	두부가 부러졌거나 문드러졌을 때	스파이크 교체
	탈락된 스파이크	스파이크 설치

2.3 콘크리트 궤도용 PC침목의 구조 및 보수

본 연구에서는 경부고속선에 적용된 Rhead 콘크리트 궤도용 PC침목을 대상으로 하였으며, 그 형상 및 치수는 그림 4.와 같다.



(a) Rhead-classic (b) Rhead-2000

그림 4. 콘크리트 궤도용 PC침목의 형상 및 치수

PC침목의 기술적 분류를 위한 기준으로는 다음과 같이 허용되는 결함과 허용되지 않는 결함으로 구분되며, 조치방법으로는 합성수지로 강화한 시멘트모르터를 사용하여 보수하거나 교환하여야 한다.

① 허용되는 결함 :

레일 아래의 틈이 없는 가늘고 짧은 균열, 침목 바닥에서 40mm 이상으로 측면에 퍼지지 않은 균열, 단면 전체를 포함하지 않는 침목 중앙부의 횡방향 균열, 체결장치 부근과 레일 좌면의 틈이 없는 아주 가늘고 짧은 균열, 철근이 노출되지 않은 상태의 상부와 측면 깨짐

② 허용되지 않는 결함 :

레일 좌면에 영향을 미치는 깨짐, 클립을 설치하는 자리(recess)나 절연블록 버팀대 부분의 깨짐, 철근을 노출시키는 깨짐, 콘크리트 균열로 인한 깨짐(콘크리트의 파열), 침목의 수평 균열, 길이방향의 수직 균열, 횡단면 전체에 영향을 미치고 허용 결함 한계를 초과하는 횡균열, 레일 좌면의 마모(노출된 강선)

3. 궤도유지관리이력 조사를 통한 궤도구성품의 손상유형

그림 5.는 2004년부터 2006년까지 경부고속선의 연간 궤도보수대상수를 나타낸다. 2005년 이후부터 궤도보수대상이 점차 증가하기 시작하였으며, 하절기와 동절기에 궤도보수대상개소가 급격하게 증가하는 것으로 조사되었다. 이는 그림 6.에 알 수 있듯이 레일용접부 결함 및 레일표면 결함이 많이 발생하였기 때문이다. 레일용접부의 경우에는 테르밋용접과 플래쉬 버트 용접부에서 결함이 발생하였고, 레일표면 결함의 경우에는 대부분이 압좌(스퀴트, squats)와 미세균열(헤드체크, head check)인 것으로 조사되었다.

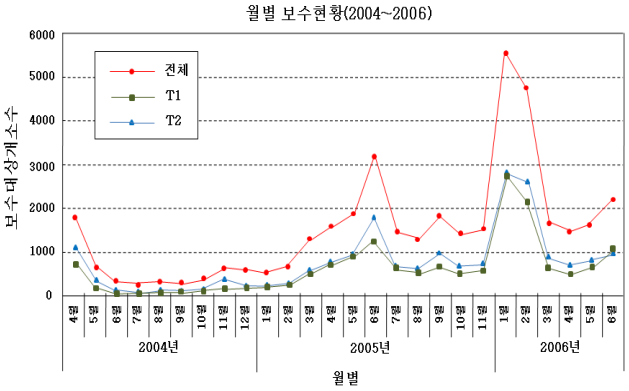


그림 5. 경부고속선의 보수대상개소수(04~06)

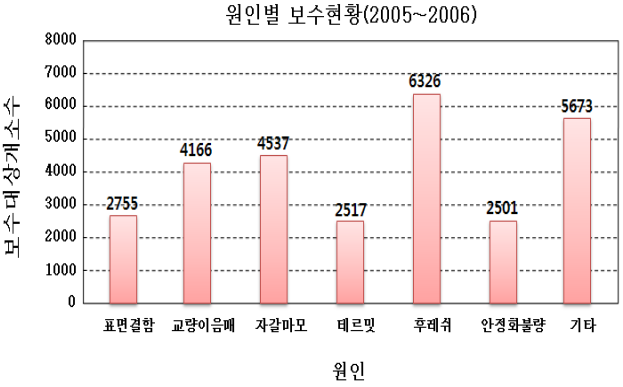


그림 6. 원인별 보수현황(05~06)

또한, 그림 7.~9.와 같이 체결장치에서는 절연블록 파손, 숄더부 파손으로 인한 패스트클립 이탈, 클립파손 및 틀림, 레일패드 열화손상 등이 발생하였으며, 침목의 경우 숄더부 균열 및 파손이 발생하였고, 패드 탄성이 부족한 구간의 경우에서는 콘크리트 슬래브와 침목간의 강성차이로 인한 분리현상 등이 발생하기도 하였다.

(a) 절연블록 파손

(b) 숄더부 파손으로 인한 클립 이탈

(c) 클립 파손 및 틀림

(d) 레일패드 열화손상

그림 7. 체결장치 손상 사례

(a) 숄더부 균열

(b) 숄더부 파손

그림 8. 침목 손상 사례

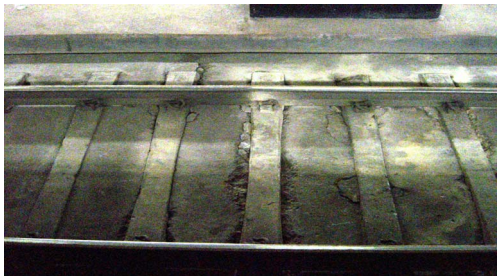


그림 9. 패드탄성 부족으로 인한 콘크리트 슬래브와 침목의 분리현상

4. 국외 레일 손상유형 분류방법(예)

4.1 Olofsson과 Nilsson(2002)에 의한 분류

레일결함에 대하여 Olofsson과 Nilsson(2002)은 레일표면(surface)에서 시작되는 RCF(Rolling Contact Fatigue)에 의한 결함과 표면하층(subsurface)에서 시작되는 결함으로 분류하였다. 표면(surface)에서 시작되는 결함은 통과톤수와 축중에 의해서 주로 형성되며, 헤드체크(head check)와 스쿼트(squats) 등이 있다. 표면하층(subsurface)에서 시작되는 결함은 보통 제작결함에 의한 것으로 쉐링(shelling), Tache Ovale, 종방향 수직결함 등이 있다.

4.2 UIC 712R - Rail defects(2002)

가. 레일결함의 정의

① 손상레일 : 손상레일은 균열이 발생하지도, 파단지지도 않았지만, 일반적으로 레일 표면에 다른 종류의 결함을 보이는 레일을 말한다.

② 균열레일 : 균열레일은 레일 전체 길이의 어느 위치에서든 단면의 위치와 상관없이 균열이 있는 레일을 말한다. 정해진 패턴은 없으며, 외관상 보일 수도, 보이지 않을 수도 있다. 균열의 진전은 레일을 상당히 빨리 파괴시킬 수 있다.

③ 파괴레일 : 파괴레일은 두 개 이상으로 쪼개지거나, 금속 일부가 떨어져 나가, 길이 방향 50mm, 깊이방향 10mm이상의 간격이 생긴 레일을 말한다.

나. 조치방법의 정의

① 지속적 검사 : 현 상태에서는 운행에 위험을 주지 않는 결함이 있는 경우

② 레일교체 : 주기적인 또는 계획적 유지관리에 따른 레일 교체. 운행에 즉각적인 위험을 주지는 않지만, 일정 기간이 지나면 위험할 수 있는 결함이 있는 경우

③ 즉시 레일교체 : 국부적 조건이나 결함의 특성에 따라 규정된 한계 시간 내에 레일을 강제적으로 교체. 이 교체특별보수의 하나이다. 운행에 위험을 줄 수 있는 결함이 존재하지만 적절한 조치를 통해 궤도의 사용은 가능한 경우

④ 운행차단 및 즉시 레일제거 : 어떤 조치가 행해지더라도 더 이상 궤도의 사용이 허용되지 않는 결함이 있는 경우

다. 결함의 상황, 위치 및 유형에 대한 정의

① 이음매부(Rail End) : 이음매 판이 있는 위치에 있는 레일 부분

② 비이음매부(Zone away from rail end) : 이음매부나 용접부에서 떨어진, 거의 모든 길이의 레일

③ 용접부(Welded zone) : 용접이 행해진 곳에서 좌우로 10cm까지의 레일 부분(총 20cm). 용접부에서 발생한 내부 결함도 용접부 결함으로 분류된다. 외부 결함은 그 고유의 코드에 따라 분류된다.

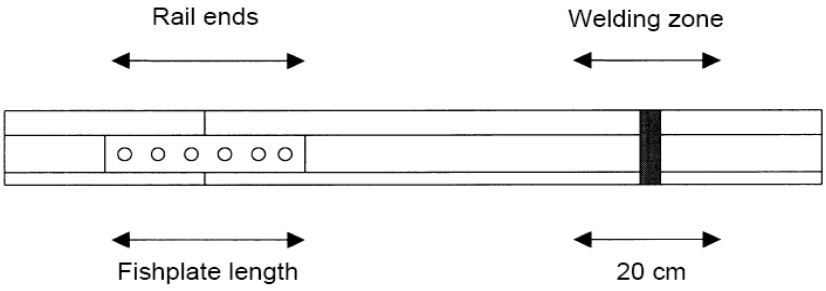


그림 10. 결함의 위치 정의

라. 레일결함 코드 분류

파괴, 균열, 손상레일은 각각 4자리 숫자에 대응되는 코드로 분류된다.

- 첫 번째 자리는
  - 1 : 이음매부의 결함
  - 2 : 비이음매부의 결함
  - 3 : 레일에 가해진 손상으로부터 발생하는 결함
  - 4 : 용접부 결함과 육성용접 결함
- 두 번째 자리는
  - 결함이 시작한 레일 단면의 위치 정보

- 용접부 결함과 육성용접 결함의 경우 용접 방법에 관한 정보
- 세 번째 자리는
  - 파괴 혹은 균열 레일의 경우 결함의 유형 정보
  - 손상 레일의 경우 결함의 특성 정보
  - 손상 레일의 경우 결함의 원인 정부
- 네 번째 자리는 필요시 보다 구체적인 결함의 분류를 가능하게 함

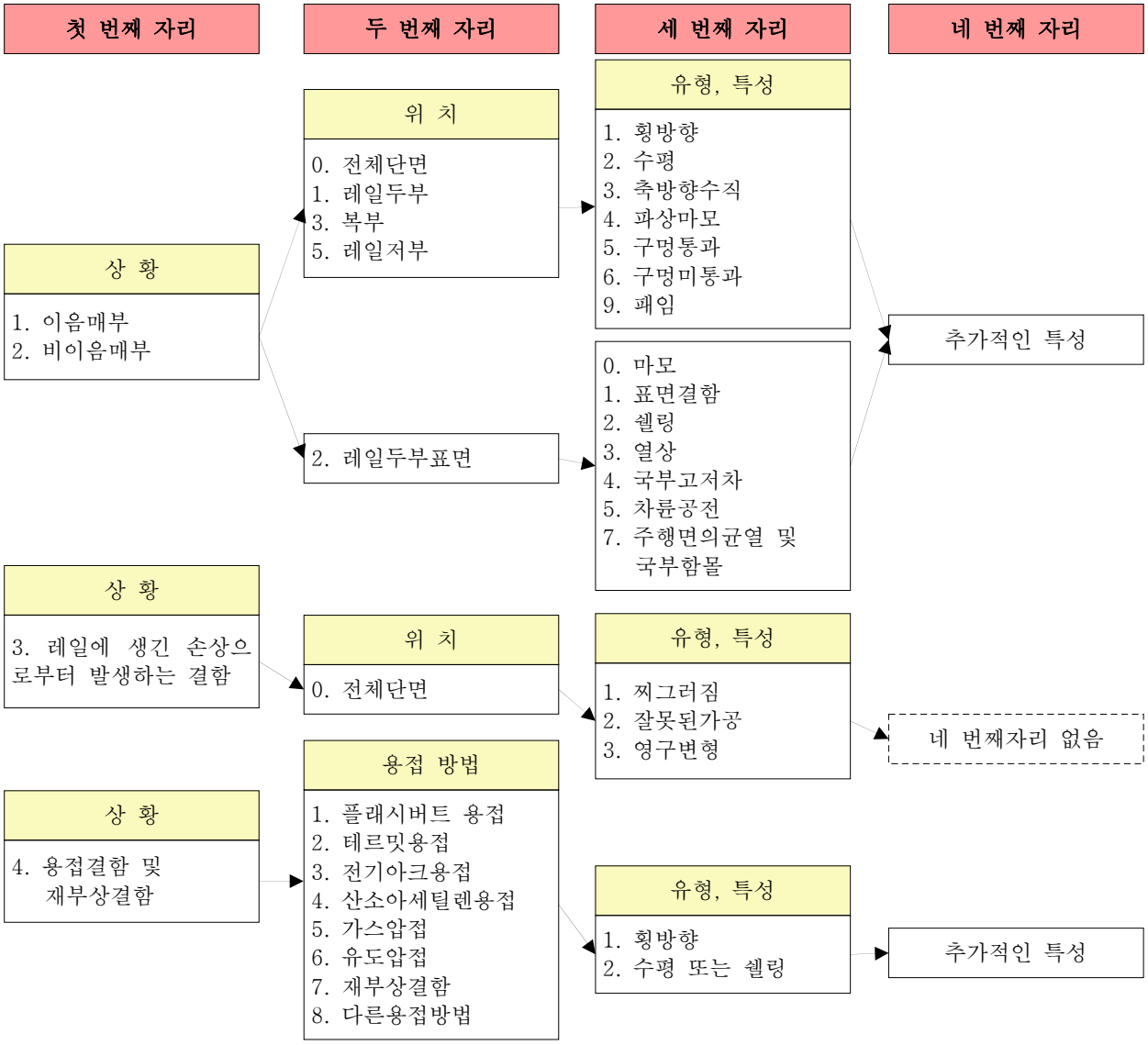


그림 11. 레일결함 분류 코드(UIC712R Rail Defects)

5. 궤도재료 손상유형 표준화(code)

5.1 궤도재료 손상유형 분류 체계

궤도재료의 손상유형을 표준화(code)하는데 있어 UIC 712R Rail Defects(2002)를 기초로 하였으며, 본 연구에서는 UIC 60레일과 팬드롤 체결장치(SFC)와 보슬로 체결장치(System300)를 대상으로 하였고, 침목의 경우에는 RC 및 PC침목을 대상으로 하였다. 또한, 차세대고속철도의 대상인 콘크리트 슬래브궤도에 대해서도 표준화 작업을 수행하였다.

궤도재료 손상유형 code 분류 체계는 표 4.와 같이 4자리로 분류된다.

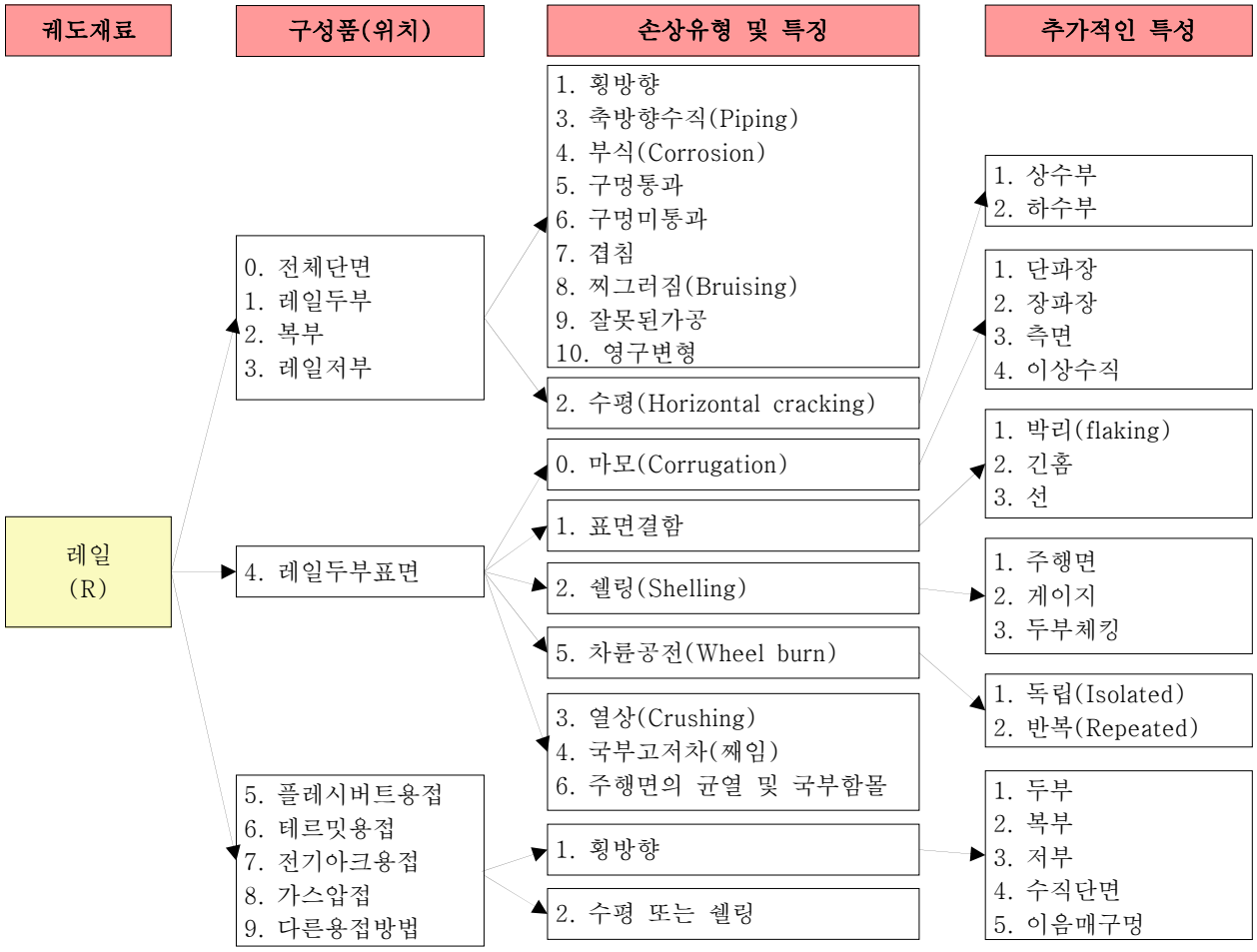
표 4. 궤도재료 손상유형 code분류 체계(예)

코드	W	5	4	1
↓	↓	↓	↓	↓
분류	궤도재료 (문자)	위치 및 구성품 (숫자)	손상유형 (숫자)	추가적인 특성 (숫자)
표기 방법	R: 레일(Rail) W: W형 체결장치 F: SFC 체결장치 S: 침목(Sleeper) C: 콘크리트슬래브 (Concrete slab)	1. 텐션클램프 2. 나사스파이크 3. 레일패드 4. 베이스플레이트 5. 앵글가이드플레이트 6. 방진패드	1. 파손 2. 부식 3. 이탈 4. 마모	1. 마모두께3mm이상 시 2. 마모두께4mm이상 시

- 첫 번째 자리는 궤도재료의 영문 대문자로 표기하였다.
- 두 번째 자리는 각 궤도재료의 위치 및 구성품에 대한 정보를 나타낸다.
- 세 번째 자리는 손상유형에 대한 정보를 나타낸다.
- 네 번째 자리는 필요시 보다 구체적인 결함의 분류를 가능하게 하기 위해 추가적인 특성에 대해 표기하였다.

5.2 궤도재료 손상유형 표준화(안)

궤도재료 손상유형에 대한 표준화(안)는 그림 12.와 같다. UIC 712R의 첫 번째 자리에서 비이음매 부분을 삭제했으며, 두 번째 자리에서는 국내 고속선에서 사용하지 않는 용접방법들에 대해서도 삭제하였다.



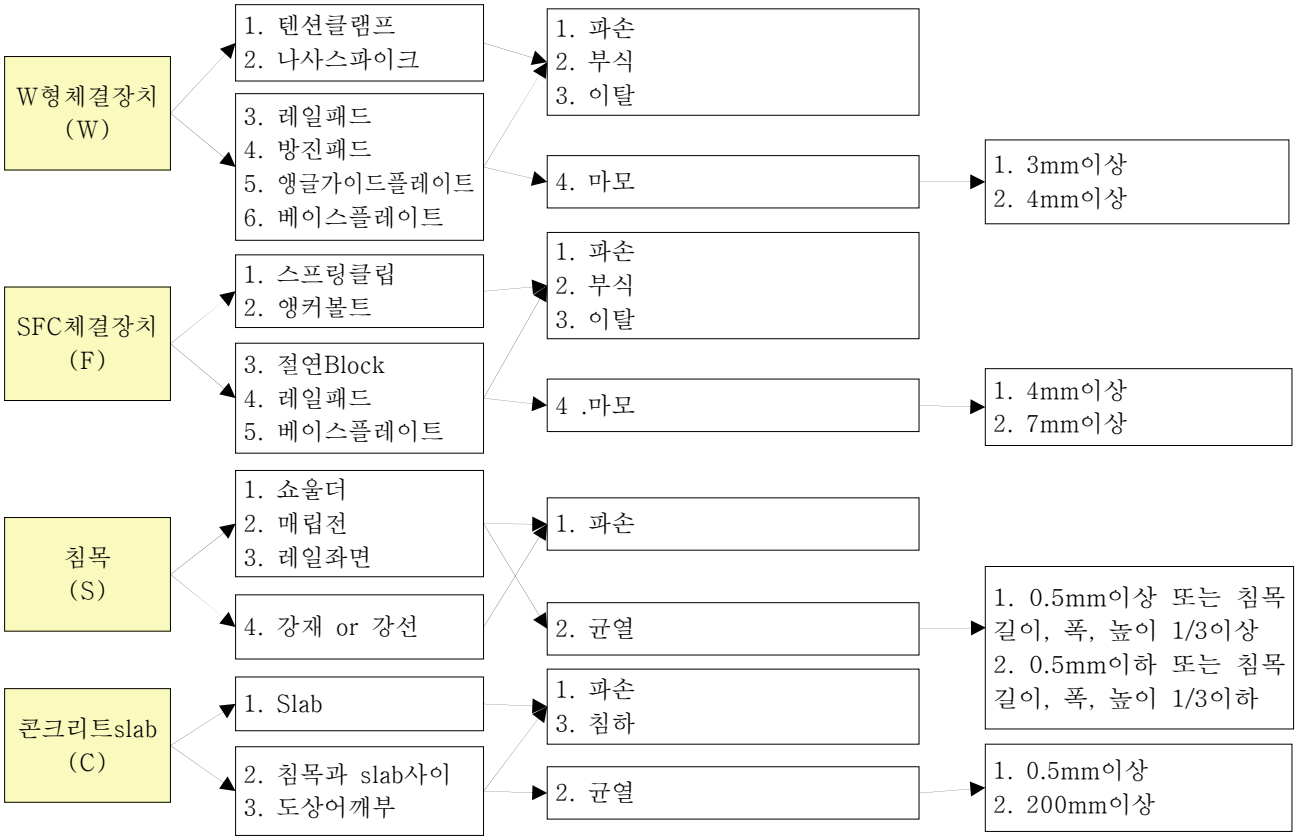


그림 12. 궤도재료 손상유형 표준화(code)(안)

6. 결 론

본 연구에서는 국내 고속선 궤도의 효율적인 유지관리를 위해 국내 고속선에서 사용중인 궤도구성품의 구조와 손상유형을 조사하였고, 레일결함의 표준화(code)를 제시한 UIC 712R Rail Defects(2002)에 기초하여 레일, 체결장치, 침목, 콘크리트슬래브를 포함하는 손상유형 표준화(code)(안)을 개발하였다.

7. 향후연구과제

본 연구에서 제시한 궤도재료 손상유형 표준화(code)(안)의 보수 및 교체를 결정하는 요인들에 대해서는 기존 문헌자료를 바탕으로 제시된 것으로 그 근거가 불명확하기 때문에 과학적인 연구를 통해 향후 수정 · 보완해야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 한국건설교통기술평가원의 “차세대고속철도기술개발사업”에 의해 수행되었으며, 관련자분들에게 감사드립니다.

참고문헌

1. Coenraad Esveld, "Modern Railway Track", MRT-Productions, 2001
2. Dr. Bernhaed Lichtberger, "Track Compendium", Eurail press, 2005
3. UIC 712R Rail Defects, 2002
4. 서울산업대학교 철도전문대학원 뉴레일연구소, "노후레일의 교체주기 산정을 위한 연구보고서", 서울메트로, 2007
5. 한국철도공사, 2004~2006년 궤도보수이력