

유지 보수의 입장에서 본 궤도 기술의 현상과 과제



서사범
한국고속철도건설공단 궤도처장/
공학박사 · 철도기술사

1. 머리말

궤도의 역할은 열차 하중을 지지하고, 이것을 분산시켜 구조물에 전달함과 동시에 열차의 주행을 위한 원활한 (안전하고 승차감이 좋은) 안내로를 제공하는 것이다. 그러나, 궤도는 열차의 반복 주행에 의하여 구성 재료의 열화·손상이나 궤도 틀림의 진행이 부득이하므로 일상적인 궤도정비 작업이나 재료교환 작업을 피할 수 없기 때문에 될 수 있는 한 적은 보수비로 열차 주행에 필요한 궤도 품질을 실현하는 기술의 확립이 궤도 기술에 관한 연구 개발의 최대 사명이다. 궤도 보수에 관계하는 비용은 크게 세 가지로, 즉 궤도 재료의 교환·보수 작업, 궤도 틀림의 정비 작업, 각종 검사나 유간 정정 등의 기타 작업으로 대별할 수 있다.

본고에서는 (1) 궤도에서 가장 중요한 부재인 레일의 열화·손상에 관한 메커니즘의 규명과 억제책, (2) 유도상 궤도에서의 궤도 틀림 진행의 억제책과 생력화 궤도 구조의 개발, (3) 안전과 승차감을 확보하기 위한

궤도 상태의 평가와 보수 방법이라고 하는 세 가지의 주제를 선정하여 보수의 입장에서 본 궤도 기술의 현상과 앞으로의 과제에 대하여 전망한다.

2. 차륜/레일의 접촉 문제와 레일의 보수

2.1 차량/궤도의 상호 작용과 차륜/레일의 접촉 역학

레일의 보수에 관하여는 레일 웨어링, 레일 용접부의 휨 피로, 급곡선 내궤 측의 마모, 차륜의 공전·활주상 등이 현시점의 중요한 과제이다. 그리고, 레일에서 제조 품질상의 문제가 거의 없게 된 현재는 차량/궤도의 상호 작용(dynamics)과 차륜/레일의 접촉 역학(contact mechanics)의 입장에서 상기의 현상을 이해함과 동시에 효과적인 대책을 검토할 필요가 있다.

궤도와 차량의 동역학(dynamics)을 검토하는 모델의 정밀도가 현저하게 향상되어 레일 요철의 형상·궤도의 지지 스프링·튼 침목 등의 여러 조건을 기초로

하여 상하계(2차원) 모델에 의한 윤중 변동이나 레일의 휨 응력의 해석을 자유롭게 하게 되었다. 앞으로는 곡선 주행 시를 상징한 상하·좌우계(3차원) 해석 모델의 구축을 목표로 하는 단계에 있다.

접촉 역학에서는 이상적으로 원활한 접촉면을 전제로 하는 Hertz 이론에 의한 해석 방법에서 2점 접촉이나 비균일 곡률을 대상으로 한 FEM 해석, 미소한 표면 요철을 고려한 조도(거칠기) 접촉 이론에 의한 소성 해석으로 발전하려고 하고 있다.

2.2 레일 웨어링의 발생 메커니즘과 억제책

전동 접촉 피로 손상인 레일 웨어링은 통과 톤수 1~3억 톤 정도에서 발생하는 경우가 많고 통과 톤수에 기초하여 정기 교환 주기의 반분 정도로 수명이 단축되는 상태에 있다. 웨어링의 균열에는 차륜과의 접촉면의 표층에서 피로 피해의 축적(소성 변형이나 결정면의 불일치 등)에 의하여 발생하는 균열과 활주·공전 등의 비정상적인 전동에 의한 열 영향으로 형성되는 마르텐사이트 조직을 기점으로 하여 발생하는 균열의 2종류가 있다. 이들은 모두 초기의 미소 균열이 차륜의 진행 방향으로 향하는 수평열로서 성장하고 어느 지점에서 횡렬로 분기하여 파단에 이른다. 소성 영역에 이르는 높은 응력이 레일의 표층 부근에 발생하는 것은 조도 접촉 이론 등에 의하여 이해할 수 있다. 수평열이나 횡렬의 진전 메커니즘에 대하여도 경계 요소법을 이용한 해석 모델이 제안되어 있고, 고속 주행 시의 윤중 변동이나 표면에 개재하는 물의 영향 등도 포함하여 정성적인 메커니즘의 이해가 거의 가능하게 되었다고 생각된다. 그러나, 실무적인 문제로서는 균열의 검출과 진전 속도의 예측에 관한 기술의 심도화, 효과적인 웨어링 발생의 방지·억제책의 확립이 중요한 과제로서 남아 있다.

레일 삭정에 의한 전동 피로 층의 정기적인 제거가

유효한 웨어링 대책인 것은 서서히 실증되어가고 있지만, 삭정 비용 저감의 견지에서 레일 삭정량·주기 등의 적정화를 도모할 여지가 아직 남아 있다. 한편, 재질 개선에 의한 내(耐)웨어링 레일 개발의 시도는 외국에서 1980년대부터 반복되고 있지만 당초의 파괴 강도 상승이라고 하는 개념 대신에 마모에 의한 전동 피로 층의 자기 제거라고 하는 발상에 의하여 베이나이트강 레일의 개발·시험 부설이 계속되고 있다. 베이나이트강은 보통 레일강과 결정 구조가 다르고 금속 피로 층이 생기기 어려우며 피로 강도도 높은 재질로서, 마모 속도가 약간 빠르기는 하나 레일 삭정 체제의 정비가 곤란한 재래선에서의 적용을 목표로 하고 있다.

2.3 레일 용접부의 윤중 변동과 피로 수명 예측

장대레일의 정기 교환은 용접부의 휨 피로 수명을 고려하여 통과 톤수를 단위로 한 기준이 설정되어 있다. 용접부의 휨 피로 수명은 열차 하중에 의한 레일 응력의 누적과 용접부의 휨 피로 특성(S-N 곡선)에 의하여 결정된다. 검토 대상으로 하는 선구의 수송 조건과 궤도 조건이나 레일요철 조건에 기초한 궤도의 동적 응답 해석에 의하여 레일의 발생 응력을 추정하고, 레일 요철의 진전 특성이나 레일 삭정에 의한 평활화 등의 조건을 고려하면서 휨 피로 특성에 대조하여 어떤 파괴 확률을 전제로 하여 수명을 추정할 수 있는 방법이 개발되고 있다. 이 방법에 의하여 종래의 통과 톤수에 의한 교환 주기를 대폭으로 확대할 가능성이 기대되지만, 입력 조건의 신뢰성 향상이나 경년에 의한 부식으로 고려한 휨 피로 특성의 설정 등이 정밀도 향상을 위한 과제라고 생각된다.

2.4 급곡선 내궤 측의 레일 파상 마모

급곡선 내궤 측의 레일 두부 상면에 발생하는 레일

의 파상 마모는 파장 10~20 cm(속도로 환산하면 주파수 200 Hz 전후에 대응)의 것이 많고, 차량/궤도 각부의 진동이나 소음의 증가 등을 초래하지만, 근년에 대도시 통근 선구에서 현저하게 되어 발생 메커니즘의 규명과 대책의 확립이 급선무로 되고 있다. 지금까지의 검토에서 차량의 경량화·편성의 균질화와 더불어 대차의 곡선 통과 성능이나 궤도의 상하·좌우 방향의 동특성 등이 복잡하게 결합된 현상으로 이해되고 특히 곡선 전향 횡압과 이음매 충격에 의하여 여기되는 윤중 변동이 크게 영향을 주는 것으로 고려되고 있다.

대책으로서는 곡선 전향 횡압을 저감하기 위한 내궤측 레일의 두부 상면에 대한 도유 등에 의한 마찰 계수의 저하 및 원호 답면의 차륜이나 자기 조타 대차 등의 채용, 윤중 변동의 억제를 위한 이음매부의 정정이나 급곡선의 레일 장대화 등이 고려된다. 당연하지만, 대증(對症) 요법으로서의 레일의 삭정도 필요하다. 앞으로, 진동의 공진·전파의 견지에서 차량/궤도의 진동 특성을 해석하고 상세한 메커니즘의 해명과 새로운 대책의 모색도 필요하다.

2.5 급곡선 외궤 측의 측마모

급곡선 외궤 측의 레일 측 마모의 경감책에 관한 검토는 형상·재질의 양면에서의 검토가 필요하다. 전술의 접촉 응력 해석을 이용하여 접촉 응력을 경감시키는 차륜/레일 형상의 조합을 선택하는 방법도 시도되고 있지만 쌍방의 접촉 위치나 레일의 변칙 경사 등, 영향을 주는 요소가 수많이 있으며 해석 결과가 실용적 성과로 이어지기까지는 시간을 요하는 상황에 있다. 재질면에서는 차륜강과 레일강의 경합에서 일전(一轉)하여 상대측의 마모 경감도 기대한 조합을 탐구하려는 움직임도 생기고 있다. 예를 들어, 베이나이트강을 이용한 차륜과 레일의 조합은 지금까지의 재질의 조합보다도 마모량을 크게 경감시킬 수 있다고 하는

실내 실험의 결과도 발표되고 있다.

3. 유도상 궤도의 침하 억제 대책과 생력화 궤도 구조

3.1 유도상 궤도의 침하 메커니즘의 해명

레일, 침목, 도상 자갈, 흙 노반의 조합에 의한 극히 간소한 구조를 가진 유도상 궤도는 철도 궤도의 기본 구조로서 철도의 여명기 이래 변하지 않고 있다. 그 대상(代償)으로서 열차의 통과에 따른 궤도 틀림의 진행과 그 복원·정정 작업을 부득이 하게 시행하고 있다. 궤도 틀림의 성장 속도와 정정 작업량의 예측은 근대적 궤도 역학의 기본 과제이며, 완전히 해명되지 않은 영원의 과제이다.

이 분야의 연구는 일본의 경우에 도상 침하량이 레일 압력과 도상 진동가속도의 곱에 비례한다고 하는 이론에 기초하여 부설비와 보수비의 합을 최소화하여 궤도 구조를 결정한다고 하는 1950년대의 궤도파괴이론 I의 제안에서 시작하여 고주파 윤중변동이나 노반의 침하 등을 고려한 1970년대의 궤도파괴이론 II, 차량 스프링하 질량의 영향 등을 도입한 1980년대의 궤도파괴이론 III으로 이어졌다. 더욱이 1990년대에는 초기 침하 종료 후의 점진적인 침하 과정에서는 소성 침하가 진행하지 않는 하중 강도의 상한이 존재하는 점이나 도상 두께와 도상 진동가속도의 관계를 고려한 도상 침하식이 제안되어 유도상궤도 설계표준에 도입되었다.

현재에는 지지 노반의 소성 변형이 클수록 도상부의 전단 변형이 증가하는 점, 수10 Hz 정도 이상의 진동 가속도가 자갈입자간 마찰력을 감소시키는 점, 도상의 입자 형상이 침하 특성에 영향을 주는 점 등에 착안한 연구가 외국에서 진행되고 있다. 또한, 이들의 과정에서는 유한 요소법, 경계 요소법, 이산화 해석방법 등의

각종 해석법에 의한 도상 침하 시뮬레이션의 시도도 행하여지고 있지만, 새로운 침하식의 구성 및 실험결과나 궤도틀림 진행의 실측 결과와의 조합(照合)에 의한 충분한 검증까지는 이르지 않고 있다.

3.2 기설선 유도상 궤도의 침하 억제책

기설선 유도상 궤도의 구조 강화책의 주류가 레일의 중량화·장대화, 침목의 PC화인 것은 현재에도 변하지 않고 있지만, 기타의 선택 방법으로서 탄성 부여, 강성 향상, 도상 강화 등이 가해지고 있다. 탄성 부여의 대표적인 것은 유도상 탄성 침목이다. 탄성 향상의 대표로서는 큰 침목을 이용한 포장 궤도의 유형과 중 침목의 이점을 이용한 방법이 있다. 도상 강화의 대표는 전충재를 주입하여 자갈을 고화시켜 유동을 억제하는 전충 도상 궤도이다.

3.3 레일 이음매부의 구조 해석과 침하 억제책

궤도의 최대 약점인 레일 이음매부의 침하 억제책을 검토하기 위해서는 이음매부에 발생하는 충격 하중과 그 분산 상황 및 소성 변형의 정량화가 전제로 된다. 그러나, 이음매부의 동적 거동에 관한 구조 해석과 실측은 의외로 어렵다. 레일에 비교하여 휨 강성이 작은 이음매판(레일의 3할 정도)이 있는 이음매 구조의 동적 해석 방법이나 응력·변위 등의 실측 기술의 개

발·심도화가 당면의 중요 과제이다.

레일의 이음매부에는 뜬 침목의 상태가 불가피하게 발생하여 성장한다. 뜬 침목의 방지책은 전철에서 기술한 강화책 외에 뜬 침목의 공극을 자갈 이외의 재료로 채우는 공법도 검토할 가치가 있다. 침목 아래에 깎콩 자갈을 전충하는 스톤 블로잉(stone blowing) 공법 대신에 침목 아래에 급결성 시멘트 아스팔트 그라우트를 주입하는 방법 등이 모색되고 있다.

레일 이음매부의 충격 하중을 억제하기 위한 대책으로서 레일 요철 형상의 개선과 탄성 부여가 열거된다. 전자에는 이형 이음매판이나 유압 잭에 의한 레일의 교정, 육성 용접이나 삭정에 의한 평활화 등이 있고, 후자에는 탄성 침목이나 자갈 내에 고무 튜브를 혼입시키는 방법 등이 열거된다. 이들의 정량적 평가 및 표준화 등이 앞으로의 과제이다.

3.4 신설선 생력화 궤도

현행 철도 궤도의 대부분이 여전히 재래 유도상 유형의 궤도이지만, 최근에는 점점 무-도상 궤도를 적용하고 있는 경향이 있다. 슬래브 궤도의 주요 장점은 낮은 보수, 높은 유용성, 낮은 구조 높이 및 낮은 중량 등이다. 더욱이, 최근의 라이프사이클 연구에 의하면, 비용의 관점에서 슬래브 궤도는 대단히 경쟁적일 수 있다.

일본의 슬래브 궤도는 1960년대부터 본격적으로 연구 개발되어 그 구조가 거의 확립되었지만 흙 노반으로

〈표 1〉 무도상 궤도의 건설 방법에 관한 기능성의 개관

슬래브 궤도 시스템					
단속 레일 지지				연속 레일 지지	
침목 또는 블록이 있음		침목이 없음			
콘크리트에 매립된 침목 또는 블록	아스팔트-콘크리트 기층 위의 침목	사전 제작 콘크리트 슬래브	단일체의 현장 슬래브 (토목 구조물 위)	매립 레일	고정되고 연속적으로 지지된 레일
Rheda Rheda 2000 Zblin LVT	ATD	일본 신칸센 Bgl	포장-내 궤도 토목 구조물 위	포장-내 궤도 경철도 건설목 Deck Track	Cocon Track ERI Vanguard KES

의 적용 영역의 확대, 소음 저감, 건설비 저감 등이 과제로 남아있다. 독일 철도에서 개발된 아스팔트 포장 노반을 이용한 직결 궤도가 실용 영역에 도달하고 있다.

외국에서 슬래브 궤도는 일반적으로 고속 선로, 경철도 및 토목 구조물에 주로 사용되어 왔다. 아래의 표 1에서는 현존하는 상부구조의 여러 유형에 대한 개요를 나타낸다.

4. 궤도 틀림 관리의 효율화와 고품질화

4.1 올라탐 탈선과 궤도틀림 관리

급곡선 저속 주행 시의 올라 탐 탈선의 경우에는 차량 제원(축중, 윤중 불균형, 축스포링·받침 스프링의 경도), 곡선 제원(곡률·켄트, 켄트체감 배율)과 궤도틀림(줄, 평면성), 게다가 속도나 차륜/레일간의 마찰계수 등, 차량·궤도의 여러 요인이 복합하여 발생하는 일이다. 종전부터 실측 또는 계산되는 탈선계수와 Nadal의 식에 의한 한도치를 비교하는 안전성의 평가가 행하여져 왔지만, 전술의 인자를 입력 조건으로 하여 탈선계수를 설계 레벨에서 간이하게 산출할 수 있는 "윤중 횡압 추정식"을 이용하는 일도 있다. 앞으로는 더욱 많은 조건에 대응할 수 있도록 추정식의 심도화를 도모하여 차량 제원을 고려한 곡선 제원이나 궤도틀림 정비기준치의 적정화에 활용할 필요가 있다.

특히 현재의 궤도틀림 정비기준치는 그 성립 경위를 보면 반드시 탈선계수를 평가지표로 한 것이 아니기 때문에 급곡선부의 궤도틀림 정비기준치에 대하여는 상기의 방법을 활용한 합리적인 개선이 급선무이다. 이 경우에 대차 고정 축거 및 대차 중심 간격의 장단 2종의 기준 길이에 의한 평면성 틀림의 관리, 이음매부의 각 꺾임 형상의 평가법, 평면성 틀림과 줄 틀림의 복합 관리 등이 구체적인 과제이다.

4.2 궤도틀림의 정비

승차감에서 본 궤도틀림의 관리 대상 파장은 고속화에 대응하여 길게 되며, 270 km/h 대역에서 50~80 m, 130 km/h 대역에서 25~40 m이다. 그런데, 멀티플 타이 탬퍼의 상대 기준 정정에서는 파장 30 m 이상의 파장 대역에 대한 정정 효과는 극단적으로 낮기 때문에 절대 기준 정정의 필요성이 높아지고 있다.

따라서, 궤도 검측 데이터에서 "해석 시스템"을 이용하여 전술의 장파장 대역을 커버하는 복원 원파형을 산출하여 측량 데이터 대신에 정정량 산출에 활용하는 방법도 있다.

현재의 궤도 보수에서는 레벨(면, 고저), 켄트(수평) 및 줄(방향)을 정정하는 멀티플 타이 탬퍼만을 거의 독점적으로 사용하고 있다. 20 내지 30 m에 이르기까지의 궤도 선형의 틀림은 자체 측정 시스템을 기초로 하여 자동적으로 평탄하게 된다. 장파장을 정정하기 위해서는 레이저를 사용한다. 곡선에서는 외부 켄트롤 데이터가 필요하다. 이 이유 때문에 차상 컴퓨터 AIC와 같은 설비와 특수 궤도 선형 측정 기계를 이용할 수 있다.

어떤 상황하에서는 영국에서 개발된 공압 자갈 삽입기(인젝터) 또는 "켄 콩자갈 취입기(stone blower)"와 같은 특수 시스템이 사용된다.

4.3 궤도 검측 기술

철도 기반시설 모니터링(RIM)은 자산 관리 시스템(AMS)의 가장 중요한 부분의 하나이다. AMS의 총체적인 관리 능력은 이용할 수 있는 시스템의 품질에 크게 좌우될 것이다.

검측차는 다음과 같은 형태로 존재한다.

- 자체 추진 또는 견인되는 철도 차량
- 비접촉 측정 또는 측정 차축 원리
- 관성(절대) 또는 현 측정 시스템

- 궤도만의 검측, 또는 궤도 검측, 레일 검사 및 전차선 검측의 결합

- 30과 250 km/h 사이의 검측 속도

많은 철도가 자체 궤도 검측차를 개발함에 따라 궤도 검측차에는 다양한 형이 있지만, 전문 회사가 검측차를 판매하고 있다. 측정 원리에는 기본적으로 두 가지, 즉 기계적 변환기에 의한 것과 관성 시스템에 의한 비접촉이 있다.

단파장 레일 선형의 측정에 대하여는 다양성이 훨씬 더 좁지만, 변위를 직접 측정하는 검측차를 임대하는 회사도 있다. 높은 검측 속도에서 잘 적용될 수 있는 매력에 있는 대안은 축상 가속도 측정으로 구성된다.

비디오 검사 시스템은 주행 중뿐만 아니라 나중에 궤도 구간을 시각으로 관리할 수 있다. 해상도가 높은 새로운 시스템은 자동 결합 인식도 또한 가능하다.

4.4 궤도보수 관리 시스템

궤도의 구조 강화나 재료의 장기 수명화뿐만 아니라 효율적인 보수작업 계획의 책정에서도 비용의 절감

이 가능하다. 궤도틀림이나 궤도재료 열화에 관한 기존의 데이터나 이론 모델 등을 활용한 시간 추이 예측을 하여 총비용 최소화의 견지에서 궤도틀림 정비나 궤도재료 교환작업 등의 계획을 책정하기 위한 의사결정 지원 시스템의 개발이 여러 외국에서 급피치로 진행되고 있다. 표 2에서는 그 예를 나타낸다.

컴퓨터 지원의 궤도 유지 관리 시스템(TMMS)은 자산 관리 시스템(AMS)의 구성적인 부분을 논리적으로 나타낸다. 그러나, AMS가 충분히 개발되어가고 개념으로서 충분히 받아들일 때까지 TMMS는 격리된 시스템으로서 더 존재할 것이다. 만일 적당하게 설계된다면 격리된 시스템으로서조차 그들은 어떠한 궤도 및/또는 기반시설 관리자에게도 매우 귀중한 도구를 나타낸다.

합리적인 궤도 관리를 위하여 ECOTRACK이 개발되었다. UIC(Union International des Chemins de Fer)는 ERRI(European Rail Research Institute)에게 최적의 방법으로 궤도 보수와 갱신(M & R)을 관리하기 위한 상기의 결정 지원 시스템을 개발하도록 과업을 주었다. 그 목표는 선로의 생산성을 증가시키는 것이었다. 시

〈표 2〉 세계 각국의 궤도관리 시스템

철도사업자	시스템	특징·가동 상황 등
독일 국철	SYSTEM DYNAMICS에 기초를 둔 전략구축 지원 시스템	효율적 계획, IC망 전용, 자원(resource)은 무한으로 가정, 궤도 이외에도 적용 고려, 시험시행 중
영국 국철	미니 MARPAS, MARPAS: 보수 및 갱신계획 지원 시스템 탈선 위험성을 포함	RRNPV: 레일 교환계획틀림 진행의 수치·통계 분석, 환경오염 고려 분할 의식, 차종별 계산, 승차감 악화 고려 실시 시기별 경비,
벨링턴 노던	TMS: 궤도보수 시스템 REPOMAN: 레일 교환계획	궤도틀림 관리, 레일, 침목의 3 시스템으로 구성, OK, MAY, SHOULD, MUST의 4단계를 출력
JR 그룹	SMIS: 신간선 정보관리 시스템	'75년 이후 가동 중, 계속적으로 기능 향상 중
스위스 국철	GEV: 궤도보수 관리궤도틀림 관리, 보수실행	결정지원, 시험시행 중
네덜란드 국철	BINCO: 보수계획 지원 시스템	단파장 데이터에 의한 레일삭정 계획 포함
폴란드 국철	DONG: 전반 보수에 관한 결정 KOMPLAN: 컴퓨터 지원 작업계획	서행 결정, 열차간 시공, 축중 제한의 결정 면(고저)·줄·수평 및 궤간 틀림에 관하여 판별
프랑스 국철 헝가리 국철 ERRI	GOP: 노상을 포함한 보수 시스템 PATER: 보수/갱신계획 지원 시스템 ECOTRACK: 경제적 궤도관리 시스템	도상+중간중 = 노상계수 정의, '83 이후 가동 중 궤도틀림의 평가, 작업 프로그램의 작성 궤도상태관리, 보수작업계획, 갱신작업계획 작성

시스템은 엔지니어링(궤도 구간의 분석, 선형 및 장비)과 중기와 장기 관리(이용할 수 있는 자원 배치의 계획 수립과 최적화)를 위한 전문가 시스템을 포함하는 현대적 진단 방법에 기초한다고 가정한다.

또한, 효율적인 작업 계획의 책정(종별, 위치, 시기 등의 결정)은 대규모인 선형 계획 문제이며, 최적 해에 가까운 근사 해를 단시간에 구하는 방법의 개발·적용(예를 들어, 유전(遺傳)적 알고리즘(GA)의 활용 등)이 바람직하다. 더욱이 그 평가 함수로서는 열차 운행 저해의 경비화를 포함한 운영 코스트나 궤도 품질이 열거된다.

5. 맺음말

이상으로 보수의 입장에서 레일, 궤도 구조, 궤도 관리의 분야에 있어 궤도 기술의 현상과 앞으로의 과제에 대하여 개설하였다. 앞으로의 연구 개발의 추진에 있어서는 형상을 이해하고 시뮬레이션 기술이나 계측 기술의 심도화, 차량이나 토목 구조물 등의 인접 분야와의 제휴가 중요하다고 생각된다.

참고 문헌

- [1] 서사범 : 철도공학의 이해(Railway Engineering), 도서 출판 (주) 열과 알, 2000. 4.
- [2] 서사범 : 선로공학(線路工學) 개정판, 도서 출판 (주) 열과 알, 2002. 2.
- [3] 서사범 : 궤도 장비와 선로 관리(Mechanized Track Maintenance), 도서 출판 (주) 열과 알, 2000. 12.
- [4] 徐士範 : 軌道施工學 개정판, 도서 출판 (주) 열과 알, 2001. 3.
- [5] 徐士範, "향후 교통의 전망과 철도기술 개발의 방향", 鐵道線路 No. 37~38, 2001.