

레일 연마의 품질보증과 최적 연마 전략

Quality Assurance of Rail grinding and Optimize grinding Strategy

이학규*
Lee, Hak-Kyu

이종수**
Lee, Jong-Su

이기승***
Lee, Ki-seung

조선규****
Cho, Sun-Kyu

ABSTRACT

Rail defects(Corrugation, shelling, etc.) are occurred by the Rail with wheel contact stress. Rail grinding is maintaining of optimal rail profile to use special rail grinding machine to remove rail defect.

The benefits of rail grinding enforcement, improve track safety, improve track steering and rail life, improve ride comfort and reduce noise, etc.

Actually when rail grinding plan apply to field track, we should consider a lot of function before determination, such as grinding method, grinding pass number, removing metal volume, etc. because each track has various characteristics.

Therefore it is important that the determination of rail grinding strategy for optimum and economic before enforcement.

1. 레일 연마의 목적과 잇점

레일은 차륜과의 접촉응력에 의한 자연적 접촉 마모와 더불어 Corrugation, Shelling 등 각종 결함들로 인해 그 수명을 빠른 속도로 저하시키는 결과를 가져오게 된다.

연마작업이란 유지보수 기술의 한 분야로 레일의 마모 관리와 차량의 휠과 레일간의 접촉 피로를 관리하는 기술이라 할 수 있겠다.

이러한 기술을 적용함으로써 마모를 저하시키고 표면의 결함 형상관리 등을 통해 차량의 회전 성능, 동적 안정성 개선, 레일의 수명을 향상시키고 갱환주기를 길게 하여 선로의 안전과 유지보수의 비용절감에 그 목적이 있다.

2. 연마작업의 정의

2-1. 연마 작업

연마작업이란 연마용 스톨로 금속표면을 제거하는 작업으로 작업방식에 따라 왕복식, 회전식,

* 삼표엔지니어링(주) 이사, 비회원

** 서울산업대학교 철도전문대학원 공학석사, 삼표케이알티(주) 상무, 정회원

*** 철도기술공사 전무, 정회원

**** 서울산업대학교 교수

밀링식 등으로 전용장비가 나뉘어 진다.

연마주기는 일반적으로 열차 통과횟수 또는 일정시간으로 결정하나 연마량은 선로 특성에 따른 연마조건, 장비의 종류, 연마석수, 연마압력, 차량속도, 레일의 경도 등에 의해 결정되어지므로 단순히 획일적인 설명은 곤란하다.

회전식 연마장비의 경우 연마석수가 4석~96석까지 다양하며 연마모터 마력은 20~30HP이고 연마석의 직경은 100~250mm로 구성되어 있다. 대개 4석~16석의 소형장비는 경전철, 지하철 등 비교적 선로 연장이 작고 야간 4~5시간 작업으로 연마효과를 기대할 때 적용되어지며 16석~36석은 일반철도 수백km의 선로, 대형장비인 64석 이상의 경우는 주간에 4~5시간의 작업시간이 주어질 수 있는 수천 km이상의 선로작업이 요구될때 사용된다.

2-2. 분기기 연마

당초의 레일 연마는 궤도의 일반구간에서만 실시되어 연마장비도 이러한 조건에 맞도록 제작되었다. 그러나 일반 선로구간에서 얻어진 효과와 실적들은 유사한 고민을 갖고 있는 분기기에서의 적용도 고심하게 되었는데 가드레일과 크로싱 부분은 연마석이 통과할 수 있는 공간이 한정되어 있으므로 대형 연마장비에 의한 작업은 많은 어려움이 있는 실정이다.

이 분기기 연마용 Motor의 마력은 15~30HP이고 연마석 직경은 100~150mm이다

1) 텅레일 연마

텅레일이 열려있는 기본레일의 연마는 일반궤도와 동일하다. 다만 텅레일이 닫혀있는 경우는 다소 복잡해지는데 대부분 포인트가 닫혀져 있는 경우에는 텅레일 연마를 피하고 있으나 연마가 불가능한 것은 아니다.

기본레일과 텅레일 모두 연마가 가능하나 궤간 외측의 field corner는 연마가 불가능하다. 이 부분은 안전상의 이유로 gauge corner -1° ~ -70° 사이만 작업이 이루어진다.

2) 크로싱

고정식 크로싱은 러드레일과 크로싱 본체사이가 떨어져 있으므로 차량의 통과는 용이하나 연마용 지식은 충돌위험이 있어 안전하게 통과할 수 없다. 따라서 통상 크로싱은 육성 용접후 수작업으로 마무리하는 보수가 이루어지고 있다. 대형장비로는 건너뛰는 것이 효율적이다.

※주의

분기기의 연마는 상상 이상으로 어려운 작업이며 대단히 깊은 주위를 필요하므로 면밀한 준비가 필요하다.

3. 레일의 연마관리 전략

레일 연마의 역사는 1930年 유럽에서 시작되었다. 초기 연마의 기능은 단순히 결함부위를 제거하는 수정연마(Corrective grinding)방식으로 1980年까지 운영을 해왔다. 이후 장비의 발전은 그 개념을 변화시켜 레일의 원래 형상을 유지관리 할 수 있는 프로파일 연마를 적용, 유지보수 연마방식(Maintenance grinding)으로 선로를 관리하게 되었는데, 최근 90年代부터는 이 개념을 더욱 향상시켜 레일 접촉으로 인한 피로 균열을 미리 예방하는 예방 연마(Preventive grinding)방식으로 전환, 레일의 수명은 더욱 증가하게 되었다.

따라서 운행중인 선로에서 연마를 처음으로 도입코자 할 때는 어떠한 연마 전략을 택할 것인가가 매우 중요하다. 사전 선로의 상태와 레일의 결함정도를 검측한 후 어떠한 연마전략을 택할 것인지 심사숙고해야 할 것이다.

가장 이상적인 연마전략은 일단 수정연마 방식으로 레일을 관리한 후 점차적으로 유지보수연마로 전환한 후 이후 지속적으로 예방연마를 택하는 것이 가장 바람직하다 할 수 있겠다.

4. 연마시행 규정

연마작업의 시행에 있어 작업사양과 그 규정은 국제적으로 명확히 한 규격은 현재 없다. 다만 유럽의 DB, SNCF, OBB, NS 북미의 CN, UP, NA, BN등은 자체 경험에 의한 사양서와 그 규정들을 운영하고 있는바 각 회사별로 적용 규정이 조금씩 다르다.

4-1. 신설선의 연마시행

1970年 NS에서는 신규로 부설된 모든 레일에 대해 부설 후 초기 6개월이내 레일두부 0.2mm 삭정하는 것을 규정화 하였다. 당시 삭정 이유를 정확히는 몰랐으나 경험에 의해 통과톤수가 늘기 전 삭정된 레일은 파상마모의 생성이 현저히 늦어지는 것을 경험했기 때문이다.

유럽의 ERRI 보고서에 의하면 레일 제작 前 소재의 재가열로 발생하는 탈탄층이 레일 표면에 영향을 끼쳐 표면 0.3mm이내에 연약층인 탈탄층(페라이트)이 Corrugation과 결함을 급격히 증가한다는 것을 발견한 이후 신레일은 부설후 6개월내에 탈탄층을 제거하는 것으로 규정화하게 된 것이다.

※ 신레일의 연마범위

- 궤간내측 두부 모서리 접선각 -70° 에서 외측의 두부 모서리 접선각 5°
- 보통레일 두부 반경 13R, 80R, 300R, 80R 부위
- 일본 동해 신간선 “예”
일반궤도 $-50^{\circ} \sim +6^{\circ}$
신축이음매 $-8^{\circ} \sim +4^{\circ}$

4-2. 운행선의 연마시행

운행선상에서 레일 표면의 결함이 발생한 이후 연마를 시행코자 할 경우 연마를 어떻게 시행할 것인가 하는 것은 앞에 언급한 “레일의 연마관리 전략”에 따라 다년간 일관성 있는 운영정책이 필요하다.

선로의 특성과 운행상태에 따라 결함의 크기, 깊이가 다르기 때문에 선로를 검측하여 결함정도를 파악한 후 크고 깊은 결함들은 육성용접을 한 후 연마를 시행하는 것이 바람직하다.

우선 1단계로 수정연마(Corrective grinding)를 통해 결함을 제거하는 방향으로 연마를 시행하고 2단계로 레일의 원형단면을 유지할 수 있도록 프로파일 연마를 실시한다. 다년간 이러한 유지보수연마(Maintenance grinding)를 채택운영한 후 3단계로 예방연마(Preventive grinding) 전략을 채택 최소량 빠른 속도로 자주 주기적으로 연마를 실시한다.

그 개념과 연마량 연마주기를 다음과 같이 기술한다.

표1. 연마방법에 따른 개념, 연마량, 연마주기

구분	수정연마	유지보수연마	예방연마
개념	표면결함 발생이후 다수의 연마 횟수로 결함을 제거 레일을 교정한다.	결함발생 이전이라도 레일의 프로파일유지가 주목적임	빈번한 연마를 통해 최소의 금속량 제거를 통해 최적의 프로파일을 유지하는 것
연마주기	곡선 : 50~100MGT 직선 : 100MGT	곡선 : 25~35MGT 직선 : 50MGT	곡선 3° 이상 : 5~8MGT 3° 이하 : 10~18MGT 직선 : 15~24MGT
연마량	결함 형태와 깊이에 따라 달라지며 완벽한 결함제거는 연마 비용이 과잉 지출될 우려 있음	원형 프로파일에 근접하게 삭정 (두부상면 0.3mm 이내)	두부상면 : 0.08mm gauge 및 field : 0.3mm

4-3. 비대칭 연마

1985년 오스트리아 알베르그선에서 비대칭 모양에 의한 최초의 곡선 연마를 시험 목적으로 실시 이러한 곡선들을 정기적으로 매년 연마하였는데 양호한 결과가 얻어졌기 때문에 1990년부터 반경 350R이하에는 특수 단면모양을 통상작업으로 실시하는 것으로 결정하였다. 이를 비대칭 연마라 한다.

그 이론적 배경은 곡선구간을 차량이 통과하는 경우 외궤측과 내궤측에서는 주행거리에 차이가 있으므로 차량이 곡선을 통과하면 내륜은 공회전을 또 외륜은 미끄러짐을 일으키게 된다. 경우에 따라서는 외륜의 플랜지가 횡압을 수반하여 외궤레일 측면에 접촉 주행하므로 소음이나 레일 측면 마모 발생의 원인이 되는 등 폐해가 많다.

이를 궤도 측면에서 대응할 목적으로 레일 두부 형상을 다음과 같이 변경하는 방법을 비대칭 연마라 한다.

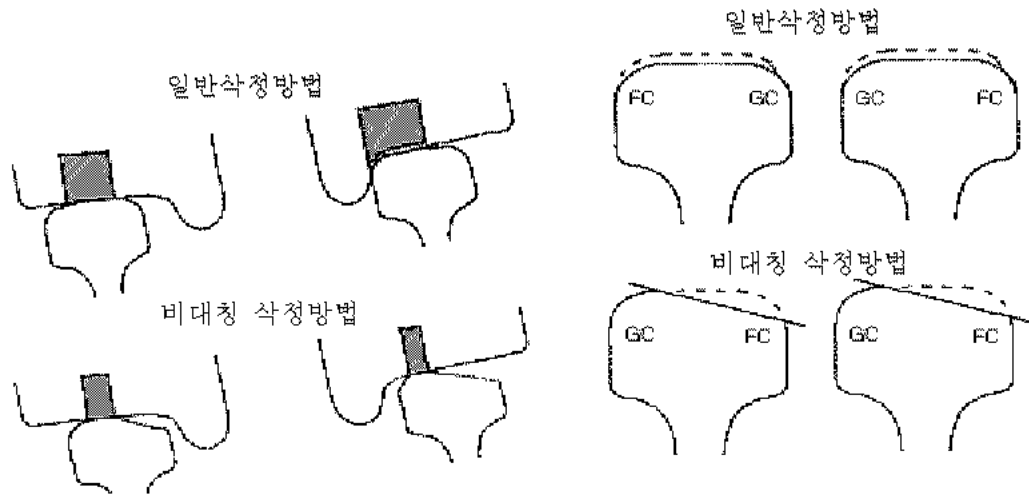


그림 1 형상 이미지 비교

그림 2 삭정방법에 따른 차륜접촉의 차이

표2. 비대칭 연마각도

	숫돌각도
외궤레일	-7°~+13°
내궤레일	-50°~0°

5. 연마의 품질관리

연마의 품질관리 규정에 대하여 세계적으로 인준된 규정은 없다. 다만 유럽의 각 철도회사에서 회사 규격으로 기준들을 규정 관리하고 있고 최근 유럽표준규정을 제정 공식적으로 제안되어 있는 CEN TC 256 "Acceptance of Rail grinding Milling and Planning Work in Track"이라는 규정에 중요시하게 기술하고 있는 부분들을 간략하게 기술한다.

5-1. 종방향 형상 허용기준

표3. Proposed European Corrugation Standard

NO	파장(mm)	10~30	30~100	100~300	300~1000
1	window (m)	0.15	0.5	1.5	5
2	한계 RMS(mm)	0.004	0.004	0.012	0.04
3	한계 Peak to Peak(mm)	0.01	0.01	0.03	0.1
4	1급선 허용초과율(%)	5	5	5	10
5	2급선 허용초과율(%)	None	10	10	None

※ 윈도우(window) : 종방향 형상의 파장을 기록할수 있는 규정된 길이

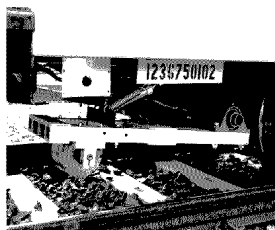


그림 3. 종방향 측정장비(RCA)

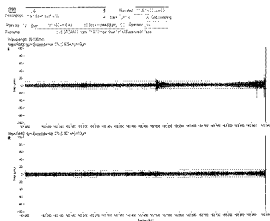


그림 4. 종방향 단파장

5-2. 횡방향 형상 허용 기준

표 4. 명기된 범위내의 검속값 최소비율

편차범위(mm)	0.6	1.0	1.7
CLASS Q	90%	95%	98%
CLASS R	75%	85%	98%
CLASS S	NO	NO	75%

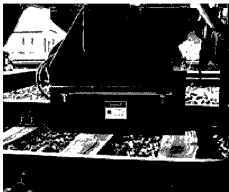


그림 5. 횡방향 측정장비 (KLD)

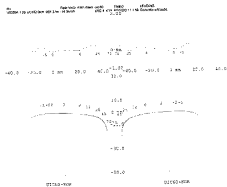


그림 6. 레일 횡단면 비교

5-3. 삭정량

레인두무로부터의 삭정량은 주문자의 요구에 의해 결정되어진다. 이러한 삭정량을 검증하기 위해 레일 두부 깊이는 단면원형 재생 후 전후 0.5m 간격으로 측정되며 깊측은 단면원형재생작업 한달 이내에 이루어져야 한다. 깊측을 보충하기 위해 단면원형재생 작업 전후의 측정 위치는 10mm안에 있도록 표시하여야 한다. 만약 레일에 최초의 Corrugation이 있다면 깊측은 파상마보의 저부인 골 저점에서 시행되어야 한다.

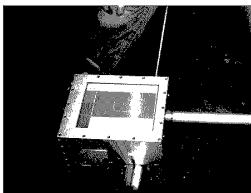


그림 7. 횡단면 측정장비(Techno-Gammar)

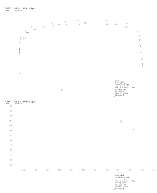


그림 8. 연마 전후 비교

5-4 표면거칠기

기질기는 ISO 3274를 준수하는 측정기구를 이용 측정되어야 한다.

깊측은 단면원형재생 작업 후 레일 Crown의 종방향 측 15mm사이에서 이루어지며 깊은 연마 면상에서 이루어지고 인접한 곳에서 적어도 6개의 깊측이 이루어져야 한다.

ISO 4287에 의거 측정된 기질기는 산술평균 표면기질기(Ra)로 계산되어야 한다. 주문자의 특정 요구가 없다면 측정된 길이의 16%Ra는 10 μ m를 초과하지 않아야 한다.

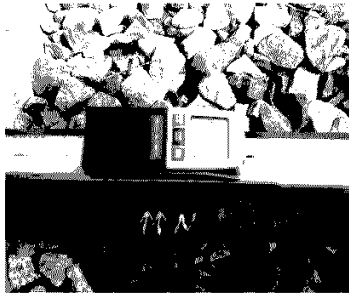


그림 9. 조도계

6. 결론

상기와 같이 개략적으로 연마 이론과 전략, 연마사양, 연마 품질관리 등을 살펴보았다.

그러나 실제 운행중인 선로에서의 적용은 현실적인 저해요인들이 많아 그 품질과 경제성을 최적화하기가 매우 어렵다.

선로의 주기적인 연마를 통해 얻어지는 잇점은 분명 크지만 야간에 이루어지는 짧은 차단시간(2~3HR), 불충분한 유치선으로 인한 이동손실, 짧은 보수시간으로 긴십받는 보선장비, 보선작업들 등으로 인하여 현실적으로 제약을 많이 받고 있다.

그러므로 고가의 연마장비를 단시간내에 최대한 활용하기 위해서는 각 관리하는 선로의 특성과 결합요인들, 보수계획 등을 장기적으로 관리하는 계획을 세워 계획하는 작업구간을 주어진 시간내에 loss를 최대한 방지하는 것이 가장 바람직하다고 하겠다. 따라서 자신이 관리하는 선로의 특성에 가장 알맞도록 작업을 계획하고 지속적으로 가꾸어 나가는 것이 가장 경제적이랄 할 수 있을 것이다.

* 참고문헌

1. 多田嘉典 "新幹線におけるレール削正手法", 新線路 53-8
2. CEN TC 256 "Acceptance of rail grinding, milling and planing work in track"
3. Peter Scroba "Rail Grinding Best Practice", National Research Council of Canada, November 30th, 2003