

레일용접부 요철 제거의 국부연마 효과 분석

Analysis of Short Grinding Effect on Removing of Surface Irregularities of Rail Welding Joint

우병구† 이승열* 김명수** 이성욱***
Woo, Byoung-koo Lee, Syeung-Yeol Kim, Myung-soo, Lee Sung-uk

ABSTRACT

Rail is one of major track components for train service, it should be provided in the condition of flat and smooth driving aspect. Therefore, it is inevitable that there would be the field welding to integrate on CWR(Continuous Welded Rail) removing rail joint in these days. It is high chance to be some rail surface irregularity due to the limitation on the status of work condition

If a high speed train runs on the rail surface irregularity in the welding part, big impact load comes to pass on that, so track irregularity cycle is reduced, therefore track maintenance cost can be increased. this paper has analyzed wheel load variation according to removing the rail surface irregularity using portable grinding machine in the high speed line. The result measured before and after in the field is decreased about 9.26% on the wheel load variation.

1. 서 론

레일은 열차 주행 시 평탄하고 매끄러운 주행면을 제공하는 것이 사명이며 열차속도가 200km/h이상이므로 운행하는 고속선에서는 이음매를 없애고 용접에 의한 장대레일화가 필수적이다. 이를 위해서는 현장용접이 불가피하다. 현장 용접은 작업조건의 한계로 인해 국부 요철이 남아 있을 확률이 높다.

차륜 주행 레일면이 평탄치 않은 요철부 위를 열차가 고속으로 운행될 경우 상대적 큰 충격량 발생으로 인해 궤도선형에 영향을 줄 수 있으며, 이로 인한 궤도틀림의 주기가 단축되어 궤도 유지보수 비용을 증대시킬 수 있다. 따라서 본 연구는 고속선에서 레일용접부 요철을 제거하기 위하여 휴대 장비에 의한 국부적인 레일연마를 시행할 경우 작업 시행 전·후 KTX 윤중 변화량 분석을 통하여 국부연마의 효과를 분석하였다.

2. 현장 측정 및 분석

레일용접부 요철이 궤도틀림진전에 미치는 영향을 평가하기 위하여 간이 궤도검측기(트랙마스터)를 이용하여 궤도선형을 검측하였으며 이를 통하여 용접부와 비용접부의 선형변화를 분석하였다. 레일요철에 따른 동적 충격량을 분석하기 위하여 테르미트 용접부와 비용접 비교, 도상자갈에 의한 흠집 개소, 육성용접부 등에 대한 동적 윤중을 계측, 연마차에 의한 레일연마 작업 전·후 윤중 변화량 및 휴대 장비에 의한 국부적인 레일연마 작업 전·후 KTX 윤중 변화량을 비교 분석하였다.

2.1 레일용접부에서의 궤도틀림 분석

레일용접부 요철이 궤도틀림에 미치는 영향을 정량적으로 분석하기 위하여 특정구간(1,080m)을 선정하고

† 비회원, 한국철도공사 연구원 차장
E-mail : wbk99@hanmail.net
TEL : (042)615-4705 FAX : (02)316-5842
* 정회원, 한국철도공사 연구원 대리,
** 정회원, 한국철도공사 연구원 기술연구팀장
*** 정회원, 한국철도공사 시설기술단 선로관리팀장

14일 주기로 8회에 걸쳐 궤도선형 검측을 시행하였다. 궤도선형 검측을 위해 일본 가네코社의 트랙마스 터를 사용하였다. 특정구간에 대한 궤도선형 검측결과는 Figure 2와 같다.

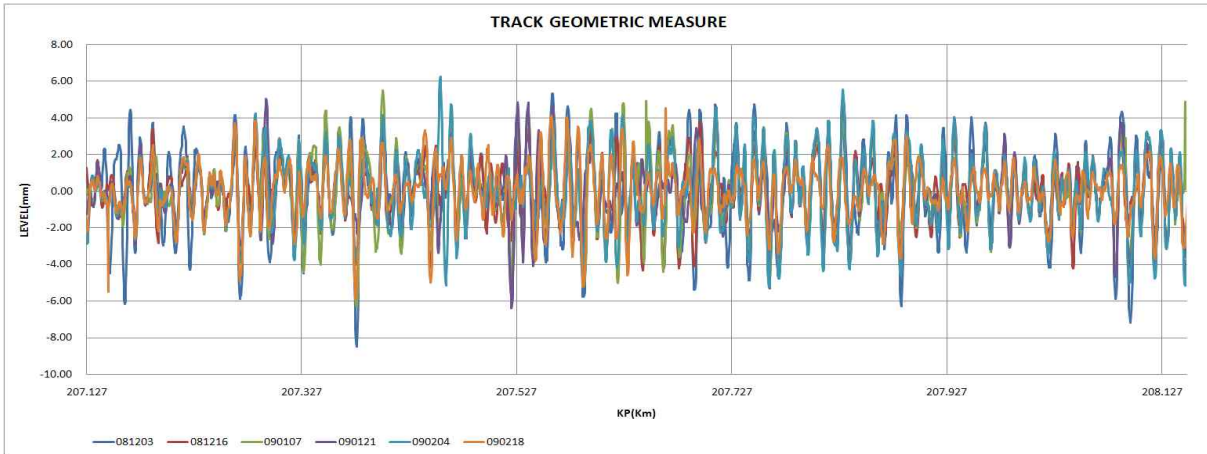


Figure 2. Result of track geometric measure

Figure 5과 Figure 6은 특정구간에 대한 궤도선형 검측결과에서 용접부가 1개소 있는 구간과 연속적으로 존재하는 구간으로 구분하여 궤도틀림량을 분석한 결과이다.

레일용접부 요철의 상태평가는 Figure 3의 ESVELD社의 직진도검사기(RAILPROF, RP4340)에서 제시하는 품질지수(QI, Quality Index)를 이용하여 평가하였다(Figure 4).



Figure 3. RAILPROF(digital straightedge)

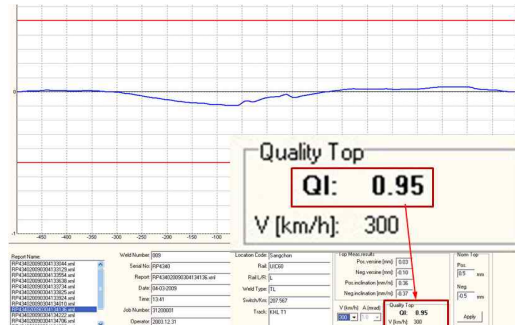


Figure 4. RAILPROF QI

단일 용접부 구간에서 레일용접부 품질지수는 1.8로 나타나 용접부 상태가 좋지 않은 개소이다. 이 구간에 대해 궤도보수작업 이력을 분석한 결과 궤도선형 1회 측정이후 MTT 작업이 있었으며 궤도보수작업으로 궤도선형이 개선되었음을 Figure 5의 궤도선형 검측결과에서도 알 수 있다. 하지만 비용접부와 비교하면 궤도품질이 상당히 떨어지며 궤도보수작업이 수행되어도 궤도선형의 완벽한 복원이 잘 되지 않고 있다. 이와 같이 궤도틀림이 잔존한 상태에서 고속열차가 운행되면 레일용접부 요철에 의해 발생하는 충격 과장이 인접부에도 영향을 미쳐 궤도틀림 영역이 확대되는 악순환이 반복될 수 있다.

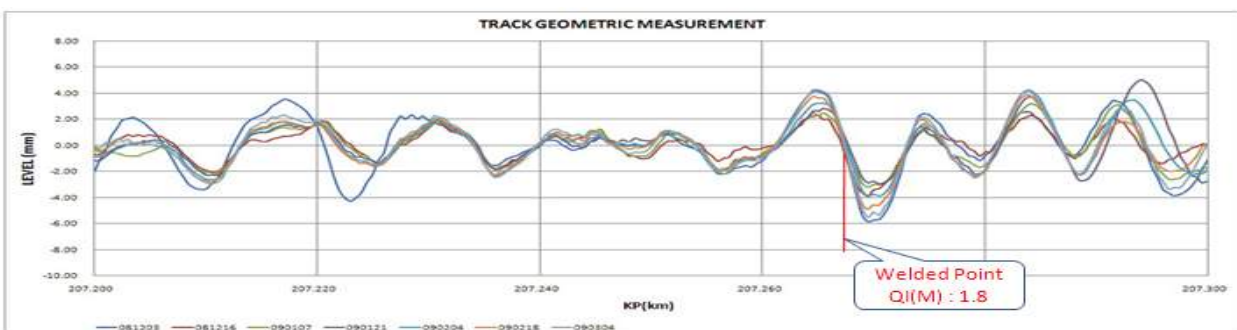


Figure 5 Result of track geometric measurement 1

Figure 6과 같이 레일용접부가 연속(4개소, L=67m)으로 이어지는 구간은 단일 용접부 구간에 비해 상대적으로 취약하며 전구간(70m)에 걸쳐 항상 궤도틀림이 잔존하는 것으로 판단된다. 이로 인해 궤도품질을 적정 수준으로 유지하는데 어려움을 겪는 것으로 여겨진다.

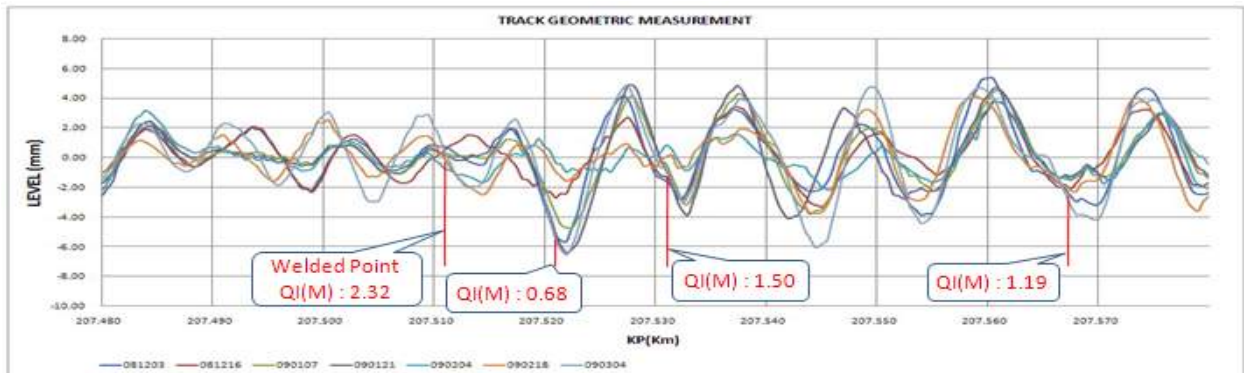


Figure 6 Result of track geometric measurement 2

2.2 레일 요철에 따른 윤중 변화량 분석

상기에서 기술한 것과 같이 테르미트 용접부의 품질과 궤도틀림 진전과는 상당히 밀접한 것으로 판단된다. 따라서 레일 요철에 따른 동적 충격량을 정량화하기 위하여 요철 유형을 고려한 윤중을 비교 분석하고자 테르미트 용접부와 비용접 개소에 대한 윤중을 비교하였으며, 뜯 킴목 개소 및 육성용접부에 대한 동적 윤중은 궤도품질이 양호한 개소와의 상대적 비교로 시행하였다. 또한 레일육성 용접부에 대한 윤중은 레일연마 작업 전·후 윤중 변화량에 측정하여 비교 분석하였다.

2.2.1 테르미트 용접부와 비용접 개소의 상대적 비교분석

레일용접부 상태에 따른 궤도보수작업 횟수 및 궤도틀림 상태를 분석한 결과에서 알 수 있듯이 궤도 시스템 메카니즘에서 레일에 요철이 있는 경우 열차하중과 속도에 의해 큰 충격이 발생하게 되고 그 충격으로 인해 궤도틀림 진전속도는 평탄한 개소 보다 훨씬 빨라 질 수 있다. KTX 운행 시 레일용접부 요철에 의해 발생하는 충격 정도를 알기 위해 대상구간 내 레일용접 개소와 레일용접부에서 10m 떨어진 비용접 개소를 선정해 동적 윤중을 측정하였다(Figure 7). 윤중을 측정하기 위하여 선정한 개소는 직선구간, 하구배 9%, 자갈도상, 패스트크립(fast clip) 체결구, 열차속도 300km/h로 운행되는 구간이다.

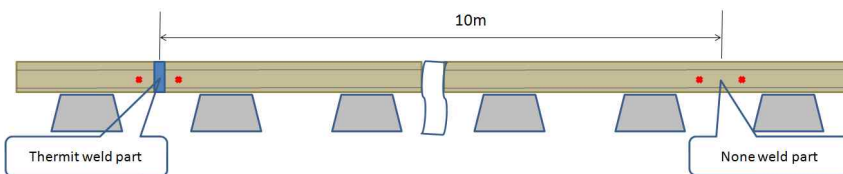


Figure 7. Distance between Thermo weld part and none weld part

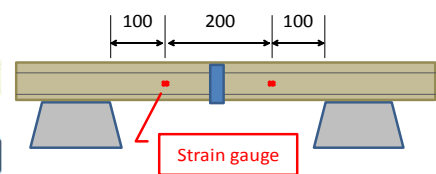


Figure 8. Attachment point

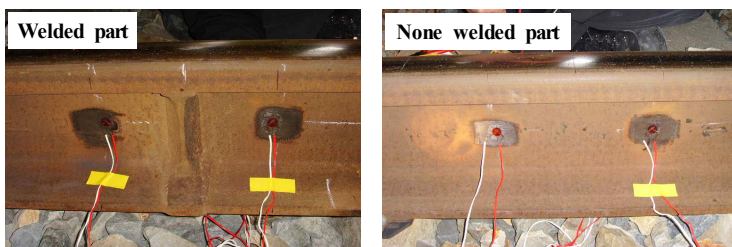


Figure 9. Attachment of wheel load gauges



Figure 10. Wheel load calibration

계측결과 Figure 11과 같이 테르미트 용접부의 상대적 운중 증가량은 최대 1.58배로 나타났다. 테르미트 용접은 현장에서 인력으로 시공하는 작업조건의 한계성 때문에 완벽한 품질 재현을 현실적으로 어렵지만 유지보수에 미치는 영향을 고려하여 시공단계에서도 품질관리를 엄격히 할 필요가 있다.

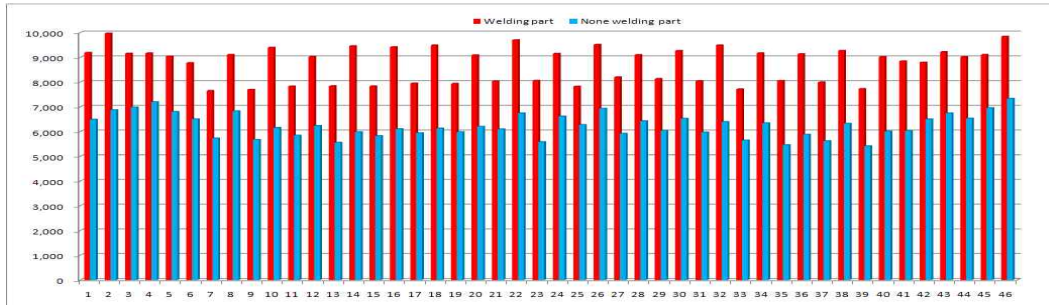


Figure 11 Wheel load

2.2.2 레일육성 용접부와 뜬 침목 개소의 상대적 비교분석

레일육성 용접부와 뜬 침목 개소에서의 궤도 충격량을 분석하기 위하여 궤도품질이 양호한 개소와의 상대적 비교로 시행하였다. 운중을 계측하기 위하여 선정된 개소는 직선, 하구배(9%), 자갈도상, 패스트크립(fast clip) 체결구, 열차속도 300km/h로 운행되는 구간으로 다음과 같이 궤도품질을 평가할 수 있다.

- 1) 테르미트 용접 개소는 용접부 전·후 침목이 다소 유동이 있는 지점으로 Figure 12의 **A**와 같이 운중이 계측되었다.
- 2) 레일육성 용접 개소는 침목의 유동은 거의 없으나 RAILPROF에 의한 레일표면 검사결과 QI 4.34로써 좋지 않았으며 Figure 12의 **B**와 같이 운중이 계측되었다.
- 3) 뜬 침목 개소는 상기 2)의 육성용접부에서 열차 진행방향으로 10m 이격된 지점으로 RAILPROF에 의한 레일표면 검사결과 QI 0.77로써 매우 양호한 상태이나 열차 주행시 침목의 유동이 심했으며, Versine -0.18 로 측정된 고저 불량인 개소로 Figure 12의 **C**와 같이 운중이 계측되었다.
- 4) 궤도품질이 양호한 개소는 2)의 육성용접부에서 열차 진행방향으로 16m 이격된 지점으로 RAILPROF에 의한 레일표면 검사결과 QI 0.53, Versine -0.03으로 열차 주행시 침목의 유동이 거의 없었던 지점이며, Figure 12의 **D**와 같이 운중이 계측되었다.

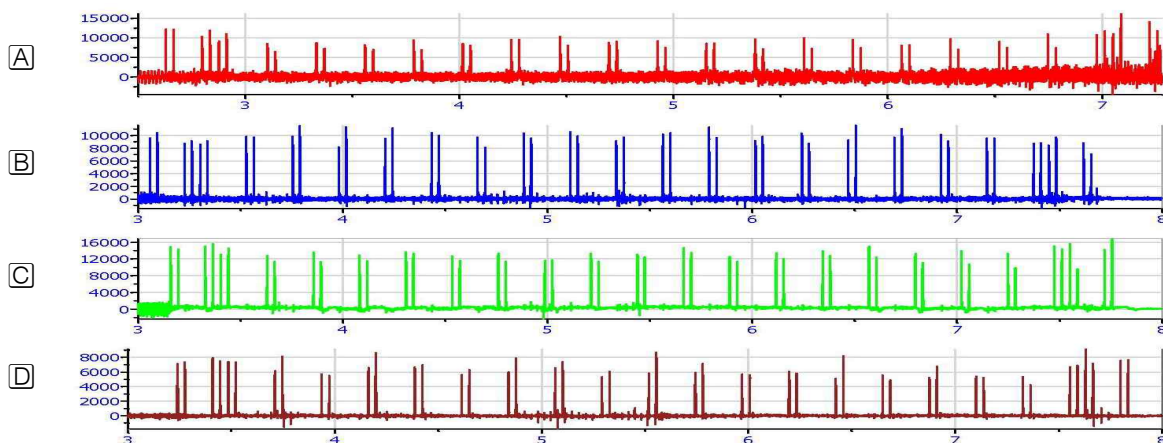


Figure 12 KTX 운중 측정

계측한 운중 데이터를 산술 평균하여 단순 비교할 경우 궤도품질이 양호한 개소(Figure 12, **D**)를

1(6.585ton)로 하면 테르미트 용접부 1.421(9.357ton), 육성용접부 1.475(9.711ton), 뜬침목 개소 1.985(13.074ton)로 분석되었다. 본 연구에서 분석된 결과 고속선 도상자갈 궤도에서 뜬 침목이 발생할 경우 레일에 누적되는 피로도는 다른 요인보다 훨씬 높은 것으로 판단되며, 뜬 침목이 발생하는 주요 요인은 전·후 레일요철 즉 테르미트 용접, 육성 용접부, 흠집 등의 결합에 기인하는 것으로 판단된다. KTX 차축별 측정 개소의 운중 비교는 Figure 13와 같다.

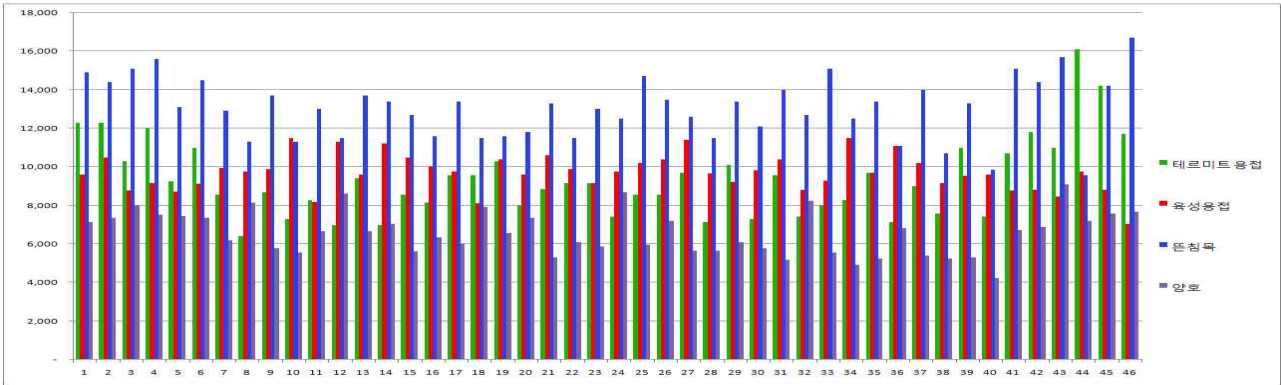


Figure 13 KTX 운중 차축별 비교

2.2.2 육성용접부의 연마 전·후 운중 변화량 분석

레일육성 용접에 따른 품질평가와 더불어 육성용접으로 인해 발생하는 레일표면 결함 정도에 따라 고속으로 주행하는 차륜으로 인해 레일에 큰 충격이 발생할 수 있으며, 이로 인해 궤도틀림이 진전되는 하나의 요인이 될 수 있다는 판단하에 육성용접부에서의 운중 변화량을 레일연마 작업 전·후로 측정하였다.

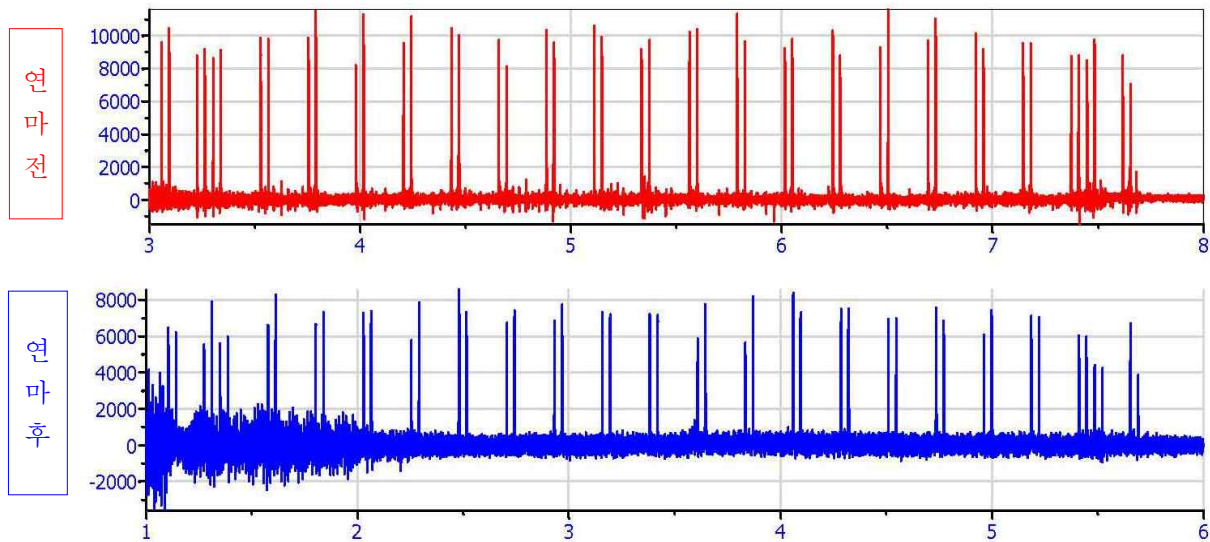


Figure 14 레일육성 용접부에서의 연마 전·후 운중

연마 전·후 운중을 계측하여 산술 평균한 결과 연마 전 운중 9.773ton에 비해 30% 감소한 6.815ton의 연마 후 운중이 계측되었으며, 이는 연마로 인해 레일에 가해지는 충격량이 상당히 감소한 것으로 판단된다. 고속선 레일관리에서 차륜 주행면 관리의 중요성을 보여주고 있다고 할 수 있다.

레일 표면은 여러 요인에 의해 흠집이 발생하는데 흠집이 클 경우 육성용접으로 조치하고 있으나 이 육성용접은 살부치기 후 표면처리를 인력에 의한 연마로 시행하고 있어 0.1mm단위로 정밀 가공을 요하

는 고속선 레일관리에는 적합하지 않은 것으로 사료된다.

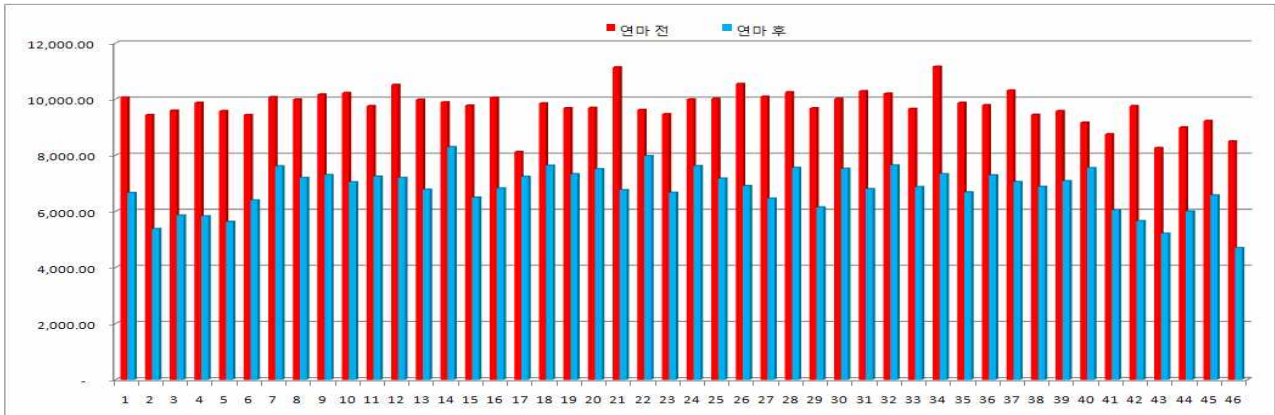


Figure 15 레일육성 용접부에서의 연마 전·후 윤중 분석

2.3. 국부적 레일연마 효과 분석

현장용접인 테르미트 용접 시공시에는 용접부에 캠버 (camber)를 주게 되는데 이 캠버량이 적절치 않을 경우 장기간 운행열차 하중에도 불구하고 요철이 그대로 잔존하게 된다. 불룩하게 튀어 나온 용접부 위를 열차가 고속으로 주행할 경우 그 충격량은 상대적으로 크게 된다. 고속열차 운행시 지속적인 관찰에 의하면 캠버가 잔존한 위를 고속으로 주행할 시 용접부 전방 2~4m부근에 더 큰 충격으로 인해 궤도틀림이 자주 발생되어 선형관리의 어려움을 겪은 바 이를 해소하기 위하여 전자식 레일직진도검사 결과 1m의 중앙중거(Versine)가 0.3mm이상인 개소에 인력에 의한 국부적 연마작업을 시행하고 있는데 이에 대한 효과를 분석하고자 하였다.



Figure 16 인력에 의한 국부적 레일연마

본 국부적 연마작업의 효과를 분석하기 위하여 테르미트 용접부에 가해지는 연마 전·후 KTX 윤중 변화량을 측정하였으며, 또한 전자식 레일직진도검사기를 통하여 연마작업 전·후의 품질을 평가하였다.

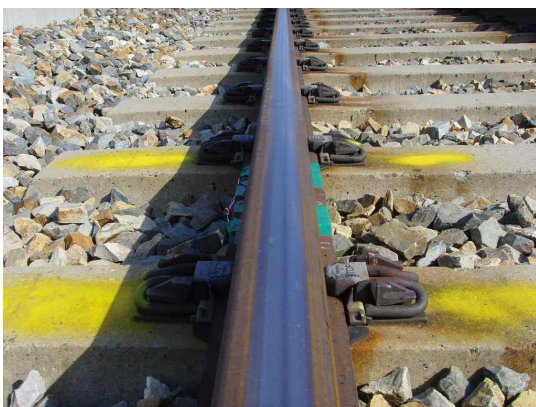


Figure 17 용접부 국부 연마전



Figure 18 용접부 국부 연마 후

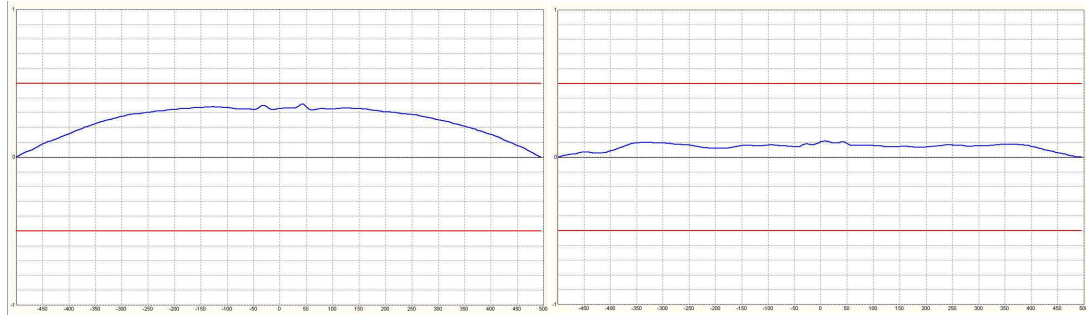


Figure 19 직진도검사 결과_연마 전

Figure 20 직진도검사 결과_ 연마 후

계측 개소의 용접부 전후 궤도상태는 매우 안정적이었으며, 계측 당시 열차속도는 약 240km/h 였다. 레일용접부의 RAILPROF에 의한 레일직진도 검사결과는 연마 전 Versine 0.36mm, 연마 후 Versine 0.11mm로 측정되었다. KTX의 운중을 계측하여 산술 평균한 결과 연마 전 운중 7.635ton에 비해 9.26% 감소한 6.9295ton으로 나타났다.

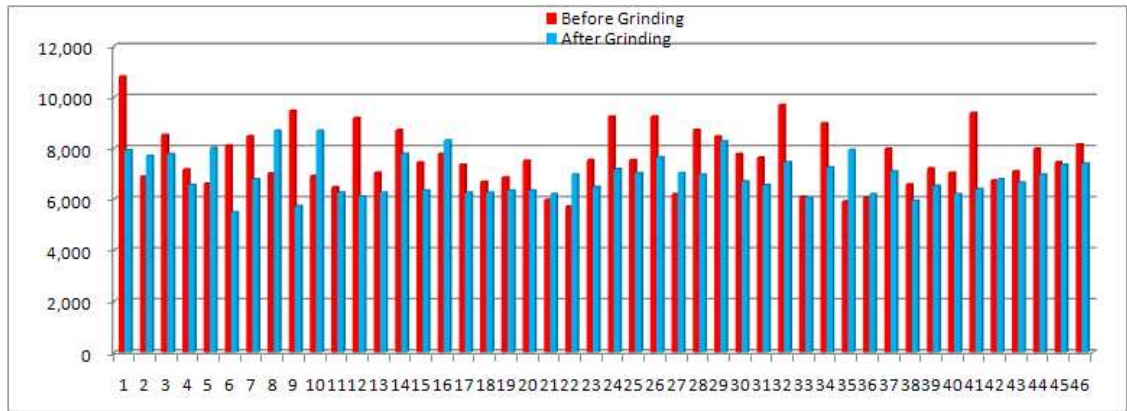


Figure 21 연마 전후 KTX 운중량 비교

3. 결론

본 연구는 현장 계측을 통하여 고속선에서 인력에 의한 국부적 레일연마에 대한 효과를 분석하고자 하였으며 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 레일연마 전·후 KTX 운중을 비교한 결과 평균 감소량이 약 9%로 나타났다. 이는 궤도관리에서 상당한 의미 있는 결과라 할 수 있다.
- (2) 현장용접인 테르미트용접 시공 시 용접부에 캠버(camber)를 주는데 고속선 궤도의 레일용접 시공 시 세심한 주의가 요구된다 할 수 있다.
- (3) 고속선 현장용접 시공시 레일직진도에 대한 검사를 전자식 검사장비(Digital straightedge)를 이용하는 제도적 보완을 논의할 시점이라 판단된다.

4. 향후 연구

인력에 의한 국부적 레일연마 후 궤도보수작업 투입주기를 지속적으로 모니터링하여 변화 추이를 분석하고자 한다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁 시행하고 있는 미래철도기술개발사업(06 고속철도 III-1)의 지원으로 이뤄졌습니다.

참고 문헌

1. 우병구, 김성하, 김남홍, 김명수, 이성욱(2009), “레일 요철에 따른 윤중변화량 분석”, 추계철도학술대회
2. 박용걸, 성덕룡, 박홍기, 공선용(2008), “현장측정을 통한 노후레일의 휨 피로수명 평가”, 한국철도학회 논문집, 제11권 제3호, pp.317-325.
3. C. Esveld, MJMM. Steenbergen(2005), “Force-based assessment of weld geometry”, Safety Environment and Productivity, pp. 51-57.
4. MJMM. Steenbergen, C. Esveld, R. Dollevoet(2005), “New Dutch assessment of rail welding geometry”, European Railway Review, No.11 Issue1, pp.71-79.
5. MJMM. Steenbergen, C. Esveld(2006), “Rail weld geometry and assessment concepts”, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers part f, Journal of Rail and Rapid Transit, Vol.220, pp.257-271.