

레일용접부 요철과 궤도틀림 상관관계 분석

Analysis of Relationship between the Irregularities of Rail Weld Surface and Track Irregularities

우병구* 김용혁** 윤운산*** 김관형**** 이성욱*****
Woo, Byoung-koo Kim, Yong-hyok Yun, Un-san Kim, Kwan-hyung Lee, Sung-uk

ABSTRACT

KTX trains which began passenger service between Seoul and Busan in April 2004 have gained very high evaluation for their safe operation. Track is one of the most important means to keep KTX safety, it has not been a fail of safe structure. The track failure during operation may lead to a severe accident. So, it is to be verified the confidence of track maintenance management on the high speed line. This paper would like to find a track deformation trend through a comparative analysis on actual measurement data at these times. It discusses the effect of cyclic dynamic load at welding part. KTX dynamic impact load was measured in accordance with a rail surface irregularity and analyzed some track irregularities according to the condition of rail profile at welding part in the Gyeongbu high speed line.

1. 개 요

궤도 구성품의 3대 요소인 레일은 열차 주행 시 평탄하고 매끄러운 주행면을 제공하는 것이 사명이며 이를 위해 이음매를 없애고 용접에 의한 장대레일화가 대세이다. 레일용접은 시공성능이 개선되고 있지만 재질이 다른 금속과 접합되어 있고, 또한 열변성부의 존재로 인해 기본적으로 요철은 존재한다. 경부고속선은 플래시버트 용접으로 300m(25m×12) 레일을 만들고 이를 특수화차로 현장에 옮겨 궤도부설 후 다시 300m 마다 테르미트 용접으로 현장 시공하여 전구간을 끊어짐 없는 레일로 선로가 부설되었다. 경부고속선에 적용된 2종류의 용접 중 테르미트 용접은 작업공정이 단순하고 이동이 쉬워 현장에서 주로 사용되고 있지만 작업여건상 기지에서 시공되는 플래시버트 용접에 비해 품질이 다소 떨어진다.

열차를 직접 지지하고 주행 안정성을 확보해야 하는 레일은 다양한 요인에 의해 파상마모, 표면박리, 헤드체크(Head check) 등 각종 결함이 생겨날 수 있으며, 특히 고속선의 경우 고속열차 운행 시 와류현상에 따른 도상자갈(콩자갈) 비산으로 레일흡집이 자주 발생한다. 이에 주기적인 점검을 통한 신속한 대응이 필요하다. 반면 용접부 요철은 시공상의 정밀도가 떨어져 발생하는 게 대부분이며 반복적인 차륜(열차 하중)의 접촉으로 궤도틀림 진전에 악영향을 미친다. 레일면이 평탄하지 않은 요철부 위를 열차가 고속으로 운행될 경우 큰 충격량이 발생하여 궤도틀림 주기가 단축되어 유지보수비용을 증대시킬 수 있다. 따라서 본 연구는 현장측정을 통하여 레일용접부 요철상태가 궤도틀림진전에 미치는 영향을 평가하고자 한다.

2. 현장 측정 및 분석

* 코레일 연구원, 기술연구팀, 차장(Email: wbk99@harmail.net)
** 코레일 연구원, 기술연구팀, 주임연구원
*** 코레일 오송고속철도시설사무소, 대리
**** 코레일 연구원, 기술연구팀, 팀장
***** 코레일 대전지사 시설팀장

레일용접부 요철이 궤도틀림진전에 미치는 영향을 평가하기 위해 경부고속선 T1(하선) 영동-김천간 일부 구간(약 5,000m)을 대상구간으로 하여 레일용접부의 요철상태와 궤도보수작업(tamping) 빈도와와의 상관관계를 분석하였다. 특히, 특정구간(1,080m)에 대해서는 간이궤도검측기(트랙마스터)를 이용하여 궤도선형을 검측하였다. 또한 레일용접부 요철에 따른 동적 충격량을 측정하기 위하여 테르미트 용접 개소와 비용접 개소에 대한 동적 윤중 변화량을 측정하였다.

2.1 레일용접부와 궤도보수작업 상관관계 분석

레일용접부에서 KTX 차륜의 충격으로 인해 궤도틀림이 발생하는 영향 범위를 용접개소 전후 5m 이내로 가정하고 대상구간 내 테르미트 용접부에서 시행한 작업이력을 조사하여 궤도보수작업 횟수를 산출하였다. 궤도보수작업 횟수에 대한 데이터 이력기간은 1년 2개월이며, 작업의 종류는 MTT(Multiple Tie Tamper), Spot탬핑 및 인력탬핑으로 구분하여 산출하였다.

레일용접부 요철의 상태평가는 Figure 1의 ESVELD社의 직진도검사기(RAILPROF, RP4340)에서 제시하는 품질지수(QI, Quality Index)를 이용하여 평가하였다(Figure 2).

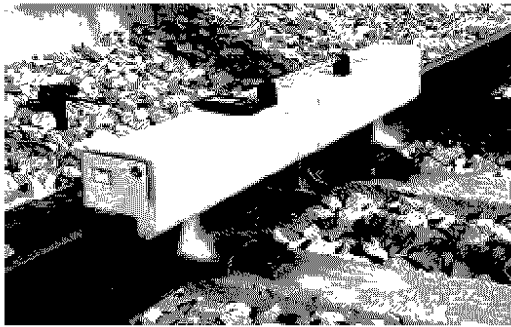


Figure 1. RAILPROF(digital straightedge)

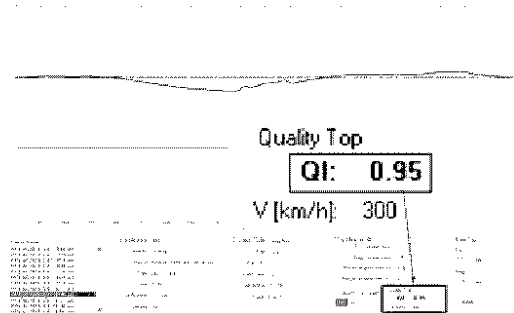


Figure 2. RAILPROF QI

직진도검사기에서 제시하는 품질지수는 Esveld 등의 연구 결과를 기초로 하여 산출된 값으로 직진도검사기 데이터 처리 소프트웨어에서 처리된다. 품질지수는 직진도검사기로 레일표면을 1차 검측한 상태 그래프에서의 미분한 값을 나타내며 x축의 대향 파장 길이는 25mm로 하여 계산한 값의 최고치로 나타낸다. 레일 용접부 요철의 상태평가는 품질지수가 1보다 작으면 양호한 상태라 할 수 있다.

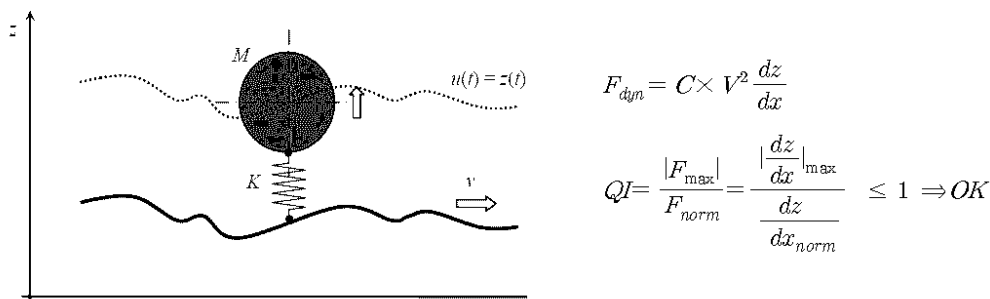


Figure 3. Mass-spring system by rail irregularity

궤도보수작업 횟수와 레일용접부 요철에 대한 품질지수를 산출한 결과는 Table 1과 같다. 이에 대한 경향을 분석한 결과 Figure 4와 같이 레일용접부 요철에 대한 품질지수가 클수록 궤도보수작업횟수도 증가함을 알 수 있다. 이는 레일용접부 요철에 의해 발생하는 KTX 차륜의 동적 충격량이 궤도틀림에

영향을 미치고 있으며, 레일용접부 요철 상태가 악화될수록 궤도틀림이 많이 발생하여 이로 인한 궤도보수작업량이 증가함을 의미한다. 반면 대상구간 내의 비용접부에서는 궤도보수작업이 없거나 1~2회의 인력탬핑이 이루어져 레일용접부에 비해 궤도상태가 매우 안정적이었다.

Table 1. Rail surface QI and track maintenance frequency in the welded part

Welding point No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
QI L	0.66	0.77	0.58	0.83	0.88	0.80	0.95	0.96	1.05	1.10	1.18	0.99	0.95	1.82	1.10	1.27	1.18	2.53	3.06
QI R	0.60	0.50	0.80	0.58	0.66	0.84	0.71	0.97	0.94	0.93	0.86	1.36	1.42	0.60	1.38	1.97	2.32	1.07	2.35
QI Mean	0.63	0.64	0.69	0.71	0.77	0.82	0.83	0.97	1.00	1.02	1.02	1.18	1.19	1.21	1.24	1.62	1.75	1.80	2.71
MTT tamping	5	6	0	1	1	5	6	5	0	8	5	7	7	5	2	5	7	5	8
Spot tamping	3	6	1	1	1	5	5	4	2	4	3	4	4	4	5	5	8	5	7
Manual tamping	4	0	3	1	2	4	2	1	6	2	2	7	6	8	7	11	5	11	7
Work total	12	12	4	3	4	14	13	10	8	14	10	18	17	17	14	21	20	21	22

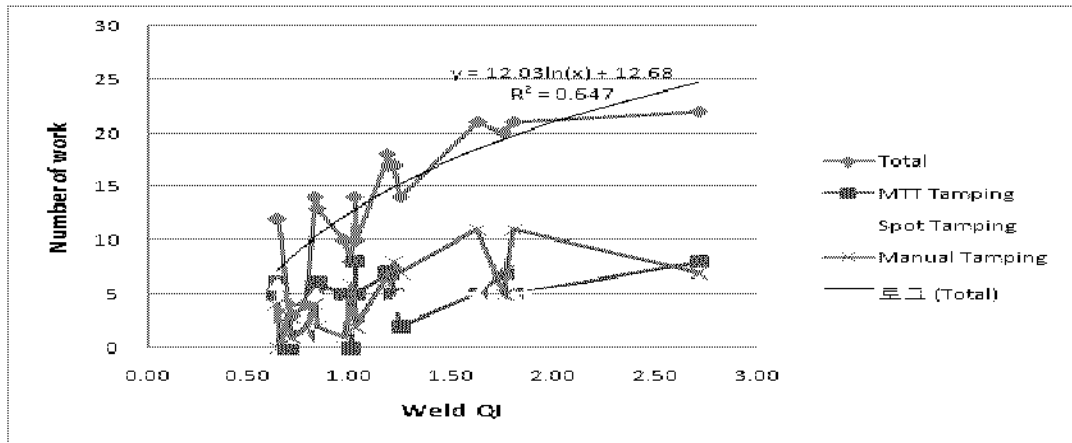


Figure 4. Distribution of worked number to the weld QI

상기의 결과를 살펴보면 RAILPROF에서 제시하는 품질지수(QI)는 신뢰할 만하며 고속선 레일관리에서 상당히 유용할 것으로 판단된다. 이번 연구에서 얻은 부수적인 결과라 사료된다. 코레일에서 시행하는 기존의 레일용접부 검사방법에서는 이상이 없었던 개소도 RAILPROF로 검사한 결과 품질지수(QI)는 기준치에 미달한 경우가 많았다.

2.2 레일용접부에서의 궤도틀림 분석

레일용접부 상태에 따른 궤도보수작업 횟수를 분석하여 레일용접부 요철이 궤도틀림에 영향을 주고 있음을 확인하였다. 이에 추가적으로 레일용접부 요철에 의한 궤도틀림량을 정량적으로 분석하기 위하여 특정구간(1,080m)을 선정하고 14일 주기로 8회에 걸쳐 궤도선형 검측을 시행하였다. 궤도선형 검측을 위해 일본 가네코사의 트랙마스터를 사용하였다 (Figure 5). 특정구간에 대한 궤도선형 검측결과는 Figure 6과 같다.

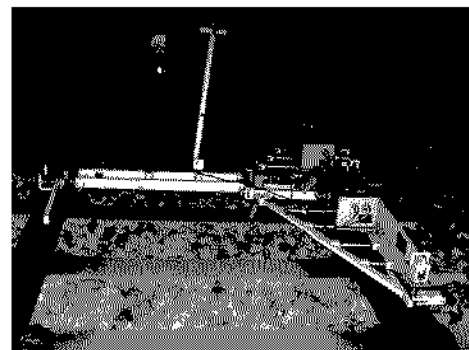


Figure 5. Device of track measurement

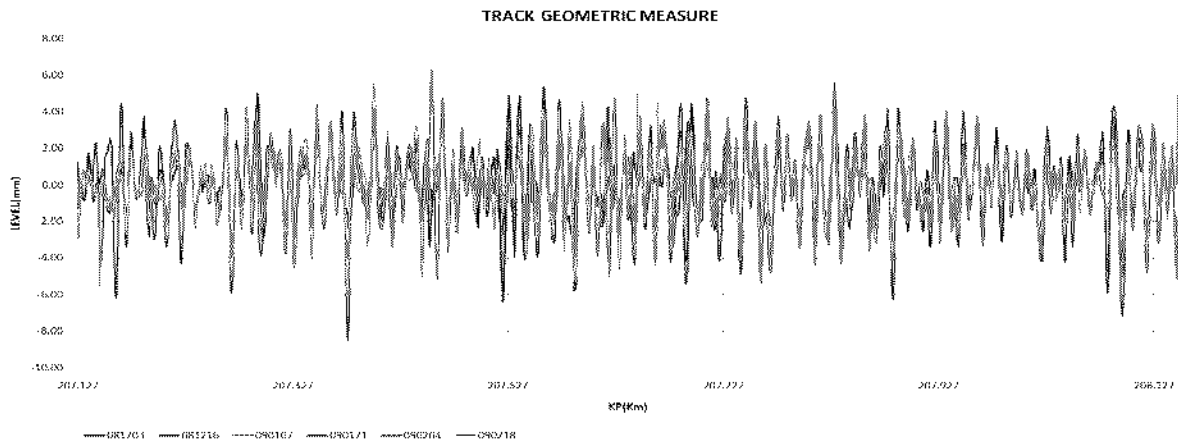


Figure 6. Result of track geometric measure

Figure 7과 Figure 8은 특정구간에 대한 레도선형 검측결과에서 용접부가 1개소 있는 구간과 연속적으로 존재하는 구간으로 구분하여 레도틀림량을 분석한 결과이다.

단일 용접부 구간에서 레일용접부 품질지수는 1.8로 나타나 용접부 상태가 좋지 않은 개소이다. 이 구간에 대해 레도보수작업 이력을 분석한 결과 레도선형 1회 측정이후 MTT 작업이 있었으며 레도보수작업으로 레도선형이 개선되었음을 Figure 7의 레도선형 검측결과에서도 알 수 있다. 하지만 비용접부와 비교하면 레도품질이 상당히 떨어지며 레도보수작업이 수행되어도 레도선형의 완벽한 복원이 잘 되지 않고 있다. 이와 같이 레도틀림이 잔존한 상태에서 고속열차가 운행되면 레일용접부 요철에 의해 발생하는 충격 파장이 인접부에도 영향을 미쳐 레도틀림 영역이 확대되는 악순환이 반복될 수 있다.

Figure 8과 같이 레일용접부가 연속(4개소, L=67m)으로 이어지는 구간은 단일 용접부 구간에 비해 상대적으로 취약하며 전구간(70m)에 걸쳐 항상 레도틀림이 잔존하는 것으로 판단된다. 이로 인해 레도품질을 적정 수준으로 유지하는데 어려움을 겪는 것으로 여겨진다.

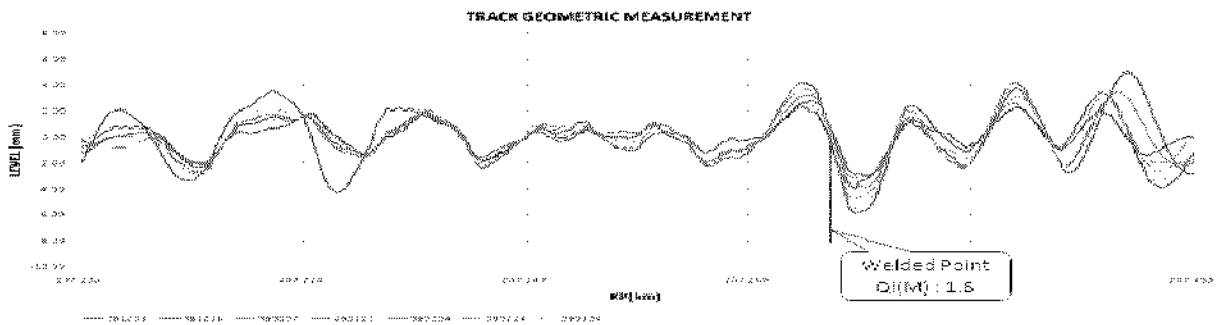


Figure 7 Result of track geometric measurement 1

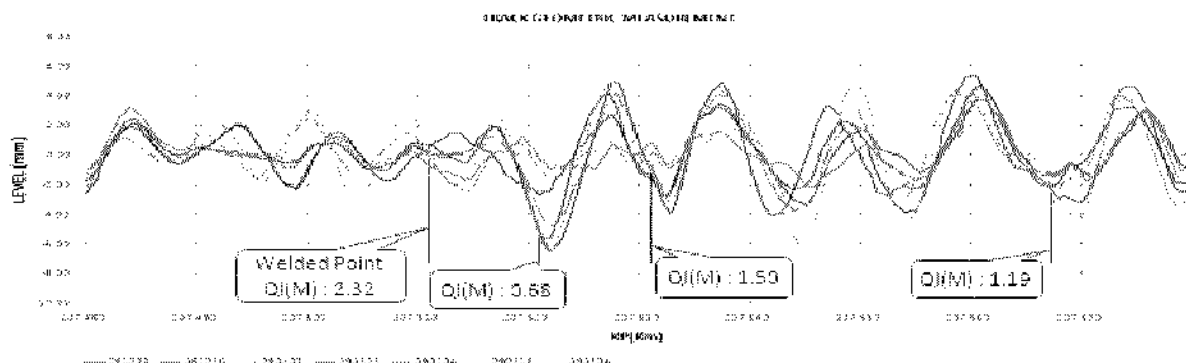


Figure 8 Result of track geometric measurement 2

2.3 레일용접부의 윤중 변화량 분석

본 연구에서 레일용접부 상태에 따른 레도보수작업 횟수 및 레도틀림 상태를 분석한 결과에서 알 수 있듯이 레도시스템 메카니즘에서 레일에 요철이 있는 경우 열차하중과 속도에 의해 큰 충격이 발생하게 되고 그 충격으로 인해 레도틀림 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 9).

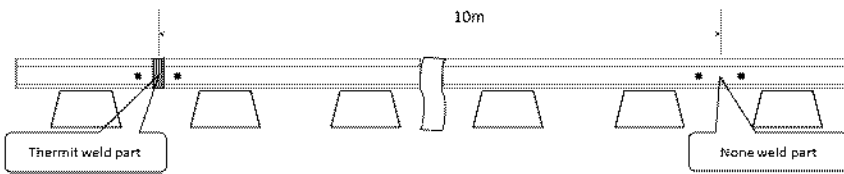


Figure 9. Distance between Thermit weld part and none weld part

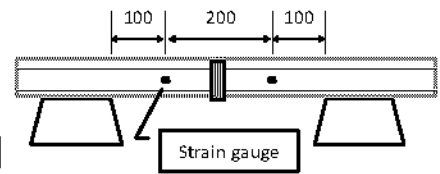


Figure 10. Attachment point

동적 윤중 계측은 Figure 10과 같이 용접부 중심과 침목간 중심에서 좌우로 각각 100mm 떨어진 위치의 레일 내·외측 면 중립축에 45° 각도로 2축 스트레인게이지를 부착하고 Full-bridge 결선을 하여 데이터 수집장비(HBM社, Quantum X)를 통해 측정하였다. 이와 같이 측정된 값은 동적 윤중값에 비례하는 변형률 값으로 이를 실제 작용하는 동적 윤중값으로 환산하기 위해서 윤중 검정을 수행하였다. 윤중을 측정하기 위하여 선정된 개소는 직선구간, 하구배 9%, 자갈도상, 패스트크립(fast clip) 체결구, 열차 속도 300km/h로 운행되는 구간이다.

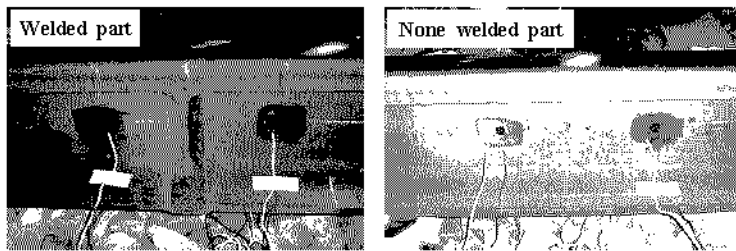


Figure 11. Attachment of wheel load gauges

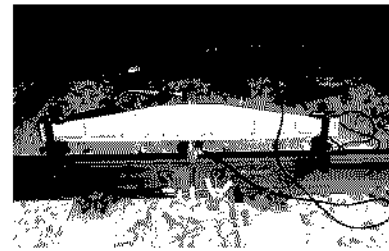


Figure 12. Wheel load calibration

계측결과를 분석한 결과 Figure 13과 같이 테르미트 용접부의 상대적 윤중 증가량은 약 20~40%로 나타났다. 테르미트 용접은 현장에서 인력으로 시공하는 작업조건에 한계성 때문에 완벽한 품질 재현을 현실적으로 어렵지만 유지보수에 미치는 영향을 고려하여 시공단계에서도 품질관리를 엄격히 할 필요가 있다.

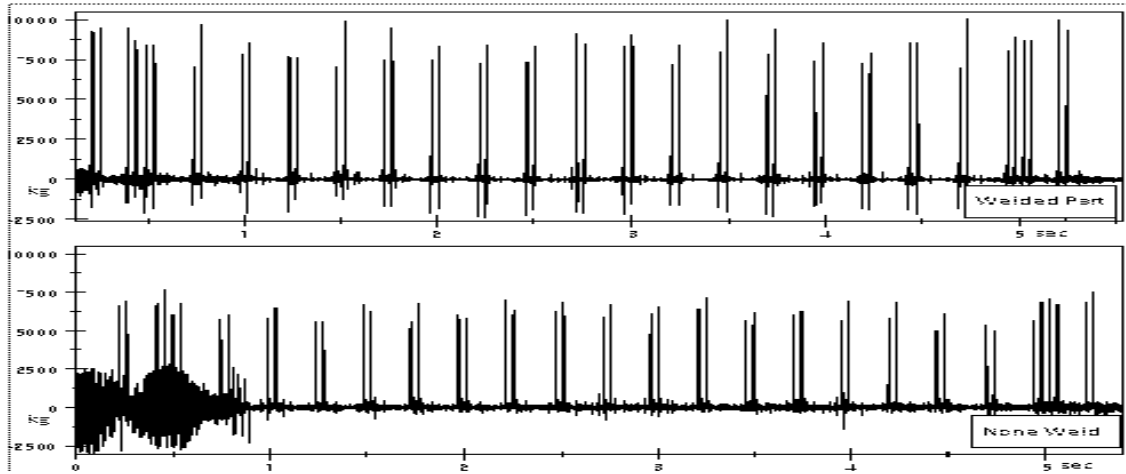


Fig.13 Wheel load

3. 결론

본 연구는 현장 측정을 통하여 레일용접부 요철에 따른 궤도틀림 진전의 상관관계를 분석하고자 하였으며 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 레일용접부 요철 정도에 따라 궤도틀림 진전속도가 빨라지고, 이에 따른 궤도보수작업 빈도도 높은 것으로 분석되었다.
- (2) 경부고속선 레일관리에는 디지털 직진도검사기를 사용하고 있으나, 레일용접 시공검사 기준에는 1m 직선자와 틸트게이지(Mechanics Gauge)를 사용한 측정방법을 채택하고 있어 정밀하게 판별하기에는 한계가 있는 것으로 판단되며, 따라서 레일용접 시공 상태평가 방법에 대한 규정 개정이 필요한 것으로 사료된다.
- (3) 또한 열차운행 속도를 고려한 레일용접 준공검사 기준을 개정할 필요가 있다고 판단된다.
- (4) 품질이 다소 좋지 않은 레일용접부 부근은 MTT작업 후 궤도품질은 개선되나 비용접부와 비교할 때 상대적으로 품질이 떨어지며 완벽한 복원은 잘 되지 않은 것으로 판단된다.
- (5) 레일용접부가 연속으로 이어지는 구간은 상대적으로 더 취약하며 전 구간에 걸쳐 항상 궤도틀림이 잔존하는 것으로 판단된다.

4 향후 연구

레일용접부 상태평가를 정량적으로 제시한 레일직진도검사기(RAILPROF) 품질지수(QI) 정도에 따른 KTX 동적 윤중 변화량을 다수 실측하여 충격하중 변화량에 대한 경향을 분석하고자 한다.

감사의 글

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

참고 문헌

1. 박용걸, 성덕룡, 박흥기, 공선용(2008), “현장측정을 통한 노후레일의 휨 피로수명 평가”, 한국철도학회논문집, 제11권 제3호, pp.317-325.
2. C. Esveld, MJMM. Steenbergen(2005), “Force-based assessment of weld geometry”, Safety Environment and Productivity, pp. 51-57.
3. MJMM. Steenbergen, C. Esveld, R. Dollevoet(2005), “New Dutch assessment of rail welding geometry”, European Railway Review, No.11 Issue1, pp.71-79.
4. 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.