

레일유지관리 효율화를 위한 경부 고속선 레일 연마 기준(안)

Rail Grinding Criteria of Kyeong-Bu High-Speed Line for Effective Rail Maintenance

김만철[†] · 강태구^{*}

Man-Cheol Kim · Tae-Ku Kang

Abstract The importance of maintenance of rail surface defects is increasing more according to the KTX operation. That is because during high speed operation of rolling stock, rail surface defects may cause shortened fatigue life of rail, acceleration of track degradation and reduced ride comfort. The paper was intended to study the establishment of rail grinding criteria of high-speed railway lines considering the KTX operation circumstances. For this, the specimens of UIC 60 rail on Kyeong-Bu high-speed operation lines were collected and they were tested for metallographic structure and measured for the hardness. As the factors affecting RCF causing the defects of rail surface, passing tonnage, running speed and track condition are considered.

Keywords : Rail grinding, De-carbonized layer, RCF, Rail surface defects

요 지 레일 표면 결함에 대한 유지보수의 중요성이 KTX의 운행에 따라 더욱 증대되고 있다. 이는 고속 운행시 레일 표면 결함은 레일의 피로수명 단축과 궤도의 열화 증속 및 승차감 저하를 유발하기 때문이다. 본 연구는 KTX의 운행현황을 고려하여 경부 고속선의 레일 연마 기준을 제안하였다. 이를 위해서 경부 고속선에서 UIC 60 레일 시편을 채취하여, 현미경에 의한 미세 조직을 조사하고 경도를 측정하였다. 레일 표면 결함을 유발하는 RCF에 영향을 미치는 인자들로 통과 톤수, 주행속도 및 궤도상태를 고려하였다.

주요어 : 레일 연마, 탈탄층, 구름접촉피로, 레일표면결함

1. 서론

레일 연마에 대한 개념은 20세기 초반에 도입되었다. 이는 레일 두부 표면 결함을 제거하므로써 많은 비용이 필요한 레일 교환을 피하기 위함이었다. 이후 레일 연마는 50여 년 동안 레일 두부 표면을 제거하기 위한 제한적인 방법으로 적용되어 왔다. 이후 1980년대부터 서부 호주 광산에서부터 기 발생된 레일 두부 표면 결함의 제거뿐만 아니라 레일과 차륜의 접촉에 의한 결함 발생을 제어 및 예방하기 위한 개념이 적용되었다[1,2]. 레일 두부 표면 결함은 헤드체크(head checks), 스폐링(spalling), 스퀴트(squats), 파상마모(corrugation), 셸링(shelling) 및

차륜공전(wheel burn) 등이 있다[3]. 이러한 레일 두부 표면 결함은 신재의 경우 탈탄층과 사용재의 경우 구름접촉피로(RCF, rolling contact fatigue)에 의한 가공경화층에서 쉽게 발생된다. 탈탄층은 레일 제조시 탄소가 가열로 속의 산소와 결합하므로써 경도가 낮고 산화되기 쉬운 금속조직이다. 가공경화층은 반복 하중에 의한 피로층으로 탈탄층과는 달리 경도가 높아서 내마모성이 약화되고 취성 성질을 가지고 있다. 두 층 모두 균열이 쉽게 발생하게 된다.

레일 두부 표면 결함에 의해 차량 주행시 충격이 크게 발생하고, 이로 인하여 레일의 내구성 및 피로 수명 단축, 궤도 열화 및 소음 증대, 승차감 저하 등을 유발한다. 이러한 현상은 차량이 고속화 되면서 더욱더 크게 증가하게 되기 때문에 레일 수명을 연장하고 유지보수 비용을 절감하기 위하여 현재에는 레일 연마가 적극 활용되고 있다.

[†] 책임저자 : 정회원, 한국철도기술연구원, 철도시스템연구센터, 책임연구원
E-mail : kimmc@krti.re.kr

TEL : (031)460-5321 FAX : (031)460-5814

^{*} 정회원, 한국철도공사, 시설기술단, 부장

레일 연마는 초기연마(preparative grinding), 예방연마(preventive grinding) 및 보수연마(corrective grinding)로 구분할 수 있다. 초기연마는 레일 제작당시 또는 부설 작업시의 결함 및 탈탄층을 제거하기 위함이다. 예방연마는 결함제거 정도는 낮으나 주기적인 연마를 통하여 가공경화층을 제거함으로써 결함의 발생 및 진전을 방지하고, 횡단면 및 종단면의 형상을 유지함으로써 승차감 향상, 레일 및 윤축의 내구연한 연장을 목적으로 하고 있다. 보수연마는 레일 표면 결함의 진전을 제거하기 위한 목적으로 실시한다.

본 논문에서는 KTX 운영현황을 고려한 고속선의 초기연마 및 예방연마 기준을 제시하였다. 이를 위하여 국외의 연마 기준을 검토하였으며, 신품 레일과 사용재에 대해서 현미경을 이용하여 레일 두부 상면과, 게이지 코너 및 측면에 대한 미세조직을 관찰하여 탈탄층 및 가공경화층의 두께를 측정하였다. 또한 레일 두부 표면부터 심부방향으로 깊이별 경도를 측정하여 양호한 레일 조직인 심부의 경도에 대한 변화율을 분석하였다.

2. 국내 · 외 레일 연마 기준

2.1 국외 레일 연마 기준

2.1.1 일본

RTRI에서는 레일 연마 기준정립을 위하여 차륜/레일 RCF 시험을 실시하였다[4]. 시험결과에 따르면 레일 연마를 0.1mm/50백만톤으로 실시하였을 경우에 레일의 교환주기인 8억톤 이상에 걸쳐 RCF 결함 없이 레일을 사용할 수 있는 것으로 제시되었다(Fig. 1).

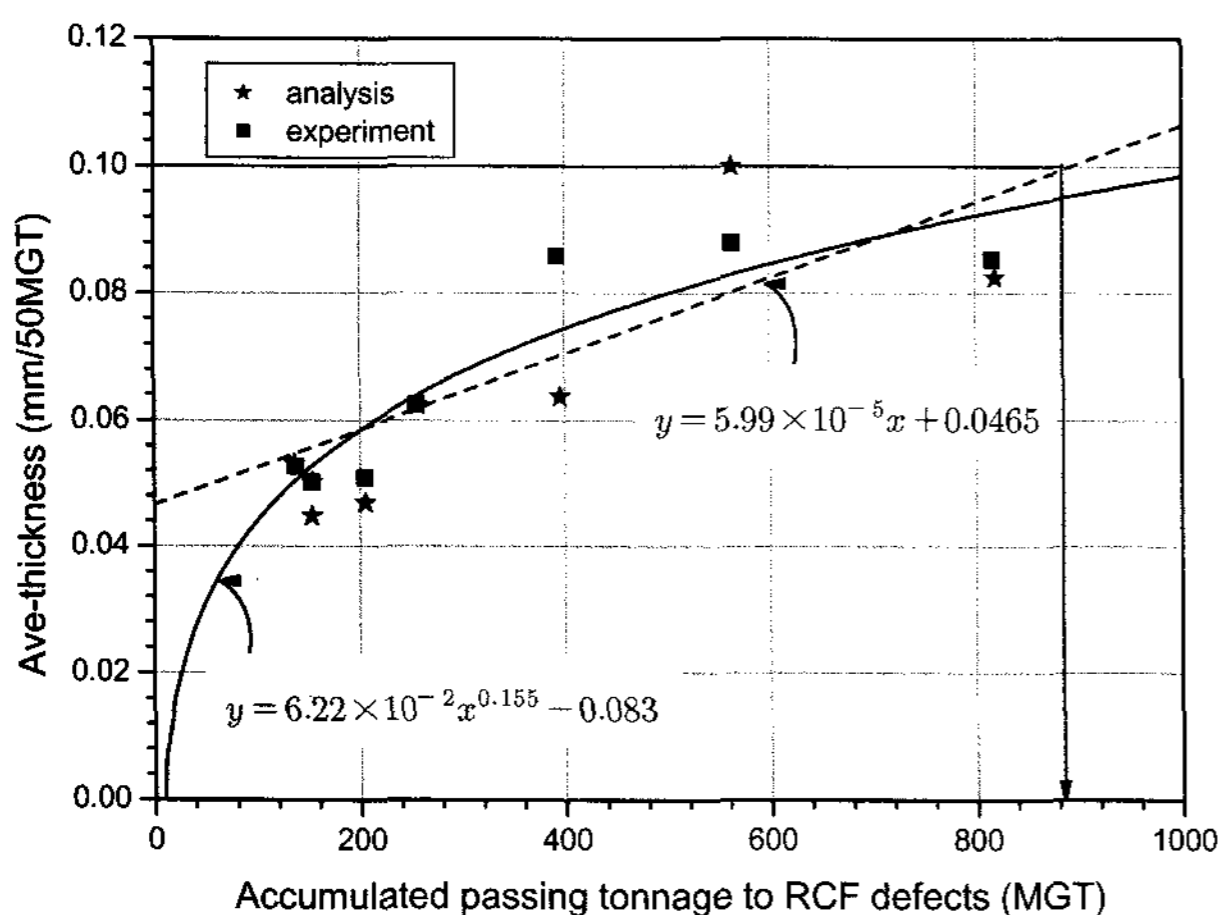


Fig. 1. Results of Wheel/Rail RCF tested by RTRI

일본의 각 운영회사에서는 위의 시험결과를 각각의 운

영 환경에 맞게 조정하여 Table 1과 같이 레일 연마 기준을 적용하고 있다.

Table 1. Rail grinding standard of Japan HS line

구분	연마 주기
JR East [5]	• 통과톤수 ≥ 30백만톤/년 이상 : 2회/년 • 통과톤수 ≥ 20백만톤/년 이상 : 1회/년 • 기타 : 1회/2~3년
JR Tokai [6]	• 밀집 주거지역 : 2회/년 • 군집 주거지역 : 1회/년 • 기타지역 : 통과톤수 40백만톤 마다 1회
JR West [7]	• 통과톤수 50백만톤 마다 1회

2.1.2 프랑스[8]

프랑스 철도는 오래 동안 레일 연마를 실시해 왔으나, 주로 80년대 고속선 신설과 더불어 이와 관련한 유지보수 방법이 개발되었다. 현재는 고속선 뿐만 아니라 프랑스 철도의 대부분의 본선에서도 레일 연마는 일상적인 유지보수 과정이 되었다. 2006년까지는 3년에 1회를 실시하였으나, 2007년 하반기부터 년 1회로 변경하여 시행하고 있다. 통과톤수 및 속도에 따라 레일에 미치는 영향이 다르며, 별선별로 통과톤수 차이가 나지만 이에 따라 다르게 시행할 수 없으므로 유지보수 작업 효율화를 위하여 1년 주기로 전 노선이 연마가 되도록 한 것이다. 2006년까지 3년에 1회 실시할 때에는 레일 두부에서 평균 0.30mm 깊이로 연마를 시행하였으나 년 1회로 변경한 후에는 평균 0.2mm의 연마를 시행하고 있다.

2.2 경부 고속선 레일 연마 기준

철도청(현 철도공사)에서는 경부 고속철도 개통과 함께 프랑스에서 적용하고 있던 레일 연마 기준을 검토하여 Table 2와 같이 고속철도선로정비지침(제정 2004. 12. 30, 철도시설과-1616호)을 규정하여 적용하고 있다. 그러나 제정된 레일연마 기준은 연마 주기에 따른 연마 깊이가 명확하게 규정되어 있지 않은 상황이다.

Table 2. Rail grinding standard of Kyeong-Bu HS line

제37조 (레일 연마) 레일 연마는 예방연마와 보수연마로 구분하여 실시하여야 한다. 예방연마는 다음 각 호에 해당하는 경우 시행하여야 한다.

- ① 탈탄층 제거를 위한 경우 : 선로 신설 및 레일 교환 후 1회 (통과톤수 500,000톤 이내 시행)
 - ② 주기적인 연마 : 3년마다 1회
2. 보수연마는 다음 각 호에 해당하는 경우 시행하여야 한다.
- ① 궤도검측 결과 레일 표면 결함이 발견된 경우
 - ② 자갈비산 등 이물질의 충격으로 레일 표면결함 및 파상마모가 발생한 경우

3. 시험 및 측정

3.1 일반사항

본 연구에서는 신재에 대해서 유효탈탄층 깊이 및 사용재에 대해 가공경화층 깊이를 측정하기 위하여 현미경에 의한 조직검사와 경도시험을 병행하여 실시하였다.

3.2 시험체 제작

본 연구에서는 신재에 대해 유효탈탄층 측정시 적용하고 있는 시편 가공 방법을 적용하여 미세조직 및 경도시험을 위한 시편을 제작하였다. 시편의 가공 방법은 다음과 같다 [9,10].

- ① 시편 절단 : 조직 관찰을 위한 시편 제작을 위해 레일 헤드부에서 10mm 길이 방향으로 시편 절단
- ② 시편 고정 : 에폭시 수지와 고정제를 이용한 cold mounting 기법으로 시편 고정
- ③ 시편 연마 : 샌드페이퍼 gr.2000으로 1차 연마 후, alumina 0.1um powder를 이용하여 최종 연마 실시
- ④ 표면 부식 : Nital (질산+메탄올) 5% 용액으로 5초간 표면 부식
- ⑤ 조직 관찰 : Optical microscope×100 장비를 이용하여 100배율 조직 관찰
- ⑥ 조직 관찰 위치
 - 현미경에 의한 조직검사 : 상면, 게이지코너와 측면에 대해서 각 4회 조직검사 실시
 - 경도시험 : 상면, 게이지코너와 측면에 대해서 최초 100um부터 2,000um까지 9포인트 측정하고, 각 포인트별 3회 실시하여 평균값을 적용(Fig. 2)

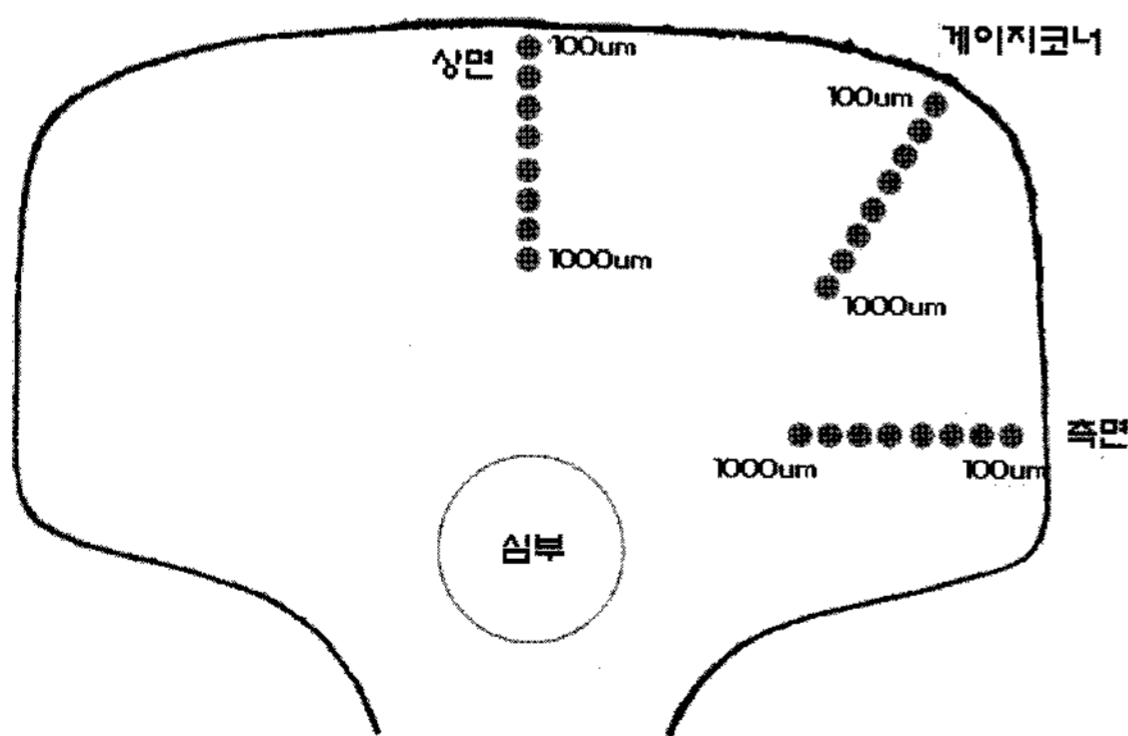


Fig. 2. Schematic diagram of hardness measurement points

경부 고속선 UIC60 레일의 연마 기준을 정립하기 위하여 Table 3과 같이 연마 후 운행개월에 따라 총 16개의 시편을 이용하였다.

Table 3. UIC60 rail specimen

구분	위치(km)	연마후 운행개월(M)	주행속도 (km/h)	궤도상태	비고
#1	-	0			신재
#2	193.521	3	300		
#3	193.521	3	300		
#4	195.409	3	300		
#5	195.409	3	300		
#6	101,940	4	300		
#7	87,348	4	300	불량	신휴고가
#8	133,744	5	280		
#9	89.475	10	230		
#10	89.475	10	230		
#11	193.159	10	300		
#12	193.159	10	300		
#13	195,260	15	300	불량	설계교
#14	132,000	29	270		
#15	89.467	33	230		
#16	89.467	33	230		

3.3 시험방법

현미경에 의한 조직검사에 적용한 시편 가공 및 측정배율은 레일 생산 후 현미경에 의한 미세 조직을 통하여 유효탈탄층 깊이를 측정하는 방법을 준용하였다[9,10]. 그러나 유효탈탄층 및 가공경화층 깊이를 측정하기 위한 분율이 명확히 제시되어 있지 않아 현장에서 일반적으로 적용하고 있는 분율 50~70%까지를 유효탈탄층 및 가공경화층 깊이로 고려하였다.

유효탈탄층 및 가공경화층 깊이를 측정하기 위하여 경도시험법을 적용하였다[9,10]. 심부 경도 비가 95% 이하와 110% 이상 되는 층을 각각 유효탈탄층 및 가공경화층으로 고려하였다. 이는 레일 연마에 의해 신재의 경우 탈탄층에 의한 경도 저화와 사용재의 경우 가공경화층에 의한 경도 강화 한계를 95~110%로 유지하도록 하기 위함이다.

3.4 측정결과 및 분석

3.4.1 현미경에 의한 측정결과

신재의 레일 시편에 대한 현미경에 의한 조직검사 결과 Fig. 3과 같이 레일 두부 상면, 게이지 코너 및 레일 두부 측면 전체에 걸쳐 유효탈탄층이 명확히 측정되었다. 그러나 사용재의 경우에는 Fig. 4와 같이 가공경화층이 명확하게 나타나지 않았다.

3.4.2 경도 시험에 의한 측정 결과

UIC60 레일에 대한 경도 시험 측정 결과 신재의 경우에

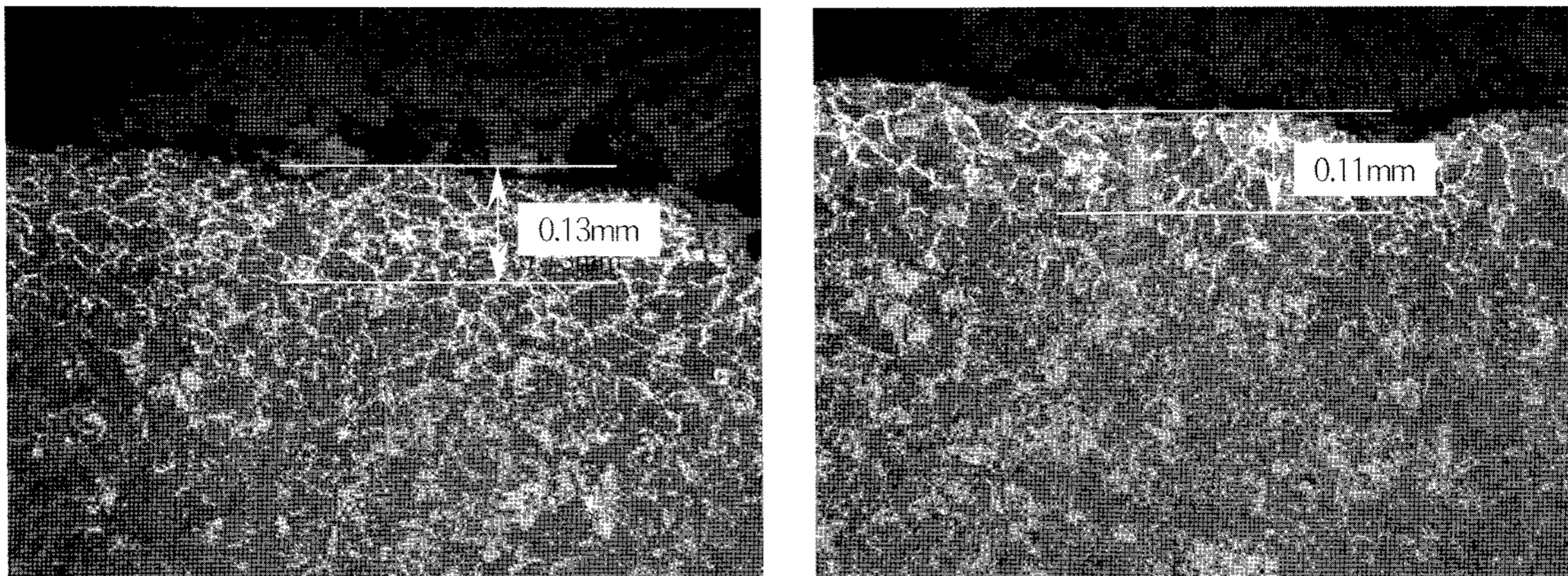


Fig. 3. Metallographic structure at top surface of new rail head

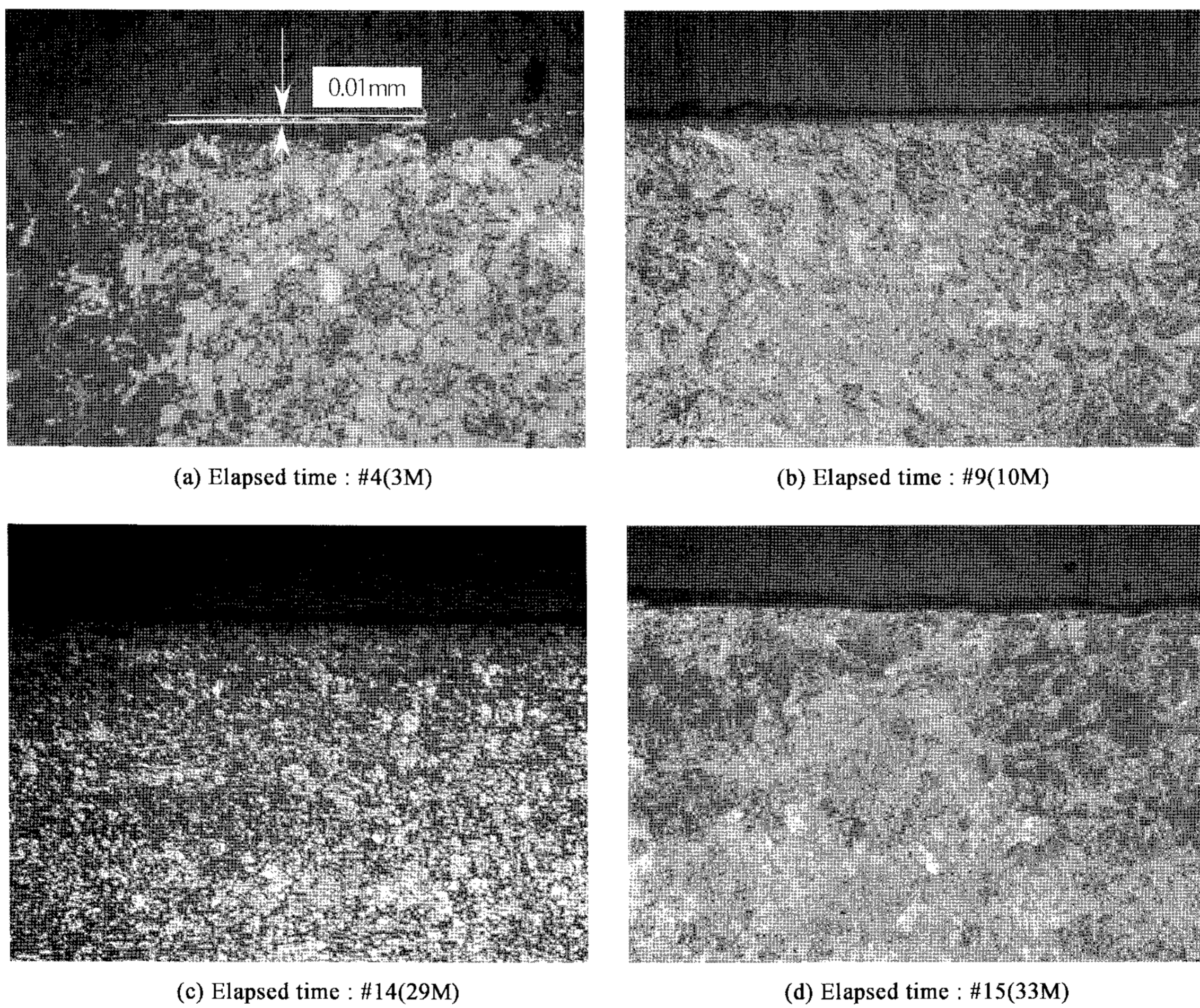


Fig. 4. Metallographic structure at top surface of used rail head

는 레일 두부 상면, 게이지 코너 및 레일 두부 측면 모두 유효탈탄층에 의해서 심부 대비 경도가 저하된 것으로 나타났다(Fig. 5).

사용재의 경우에는 차륜과 접촉이 이루어지는 레일 두부 상면에서의 경도가 가공경화에 의해서 가장 크게 나타났으

며, 게이지 코너에서도 경도가 증가된 것으로 나타나고 있다(Fig. 6). 그러나 차륜과 접촉이 이루어지지 않는 측면의 경우에는 신재와 유사하게 경도가 낮게 나타났다. 따라서 사용재의 가공경화층 깊이로 경도비가 가장 크게 나타난 레일 두부 상면의 값을 기준으로 하였다. Table 4는 경

Table 4. Hardness measured at top surface of rail head

측정위치 (um)	Micro Vickers Hardness (Hv)								
	#1(신재)	#4(3M)	#6(4M)	#7(4M)	#91(10M)	#12(10M)	#13(15M)	#14(29M)	#15(33M)
100	272.3	341.2	331.7	334.8	352.1	359.7	362.2	344.7	351.8
200	283.4	325.6	319.2	325.1	344.2	331.6	348.6	330.2	336.9
300	299.4	321.1	318.2	320.5	326.3	326.1	341.2	335.7	342.1
400	305.2	309.8	309.8	317.5	321.1	318.9	319.6	319.6	315.8
500	308.2	306.2	312.9	304.2	309.8	315.2	324.8	313.4	321.6
600	315.6	309.7	313.1	304.9	316.4	311.4	316.1	315.6	302.6
800	311.3	314.2	304.8	310.7	315.5	308.9	311.5	308.2	309.8
1000	307	311.1	309.6	309.5	311.7	314.7	304.6	303.4	314.5
심부	310.3	312.8	312.2	311.6	314.2	313.9	306.1	305.5	301.8

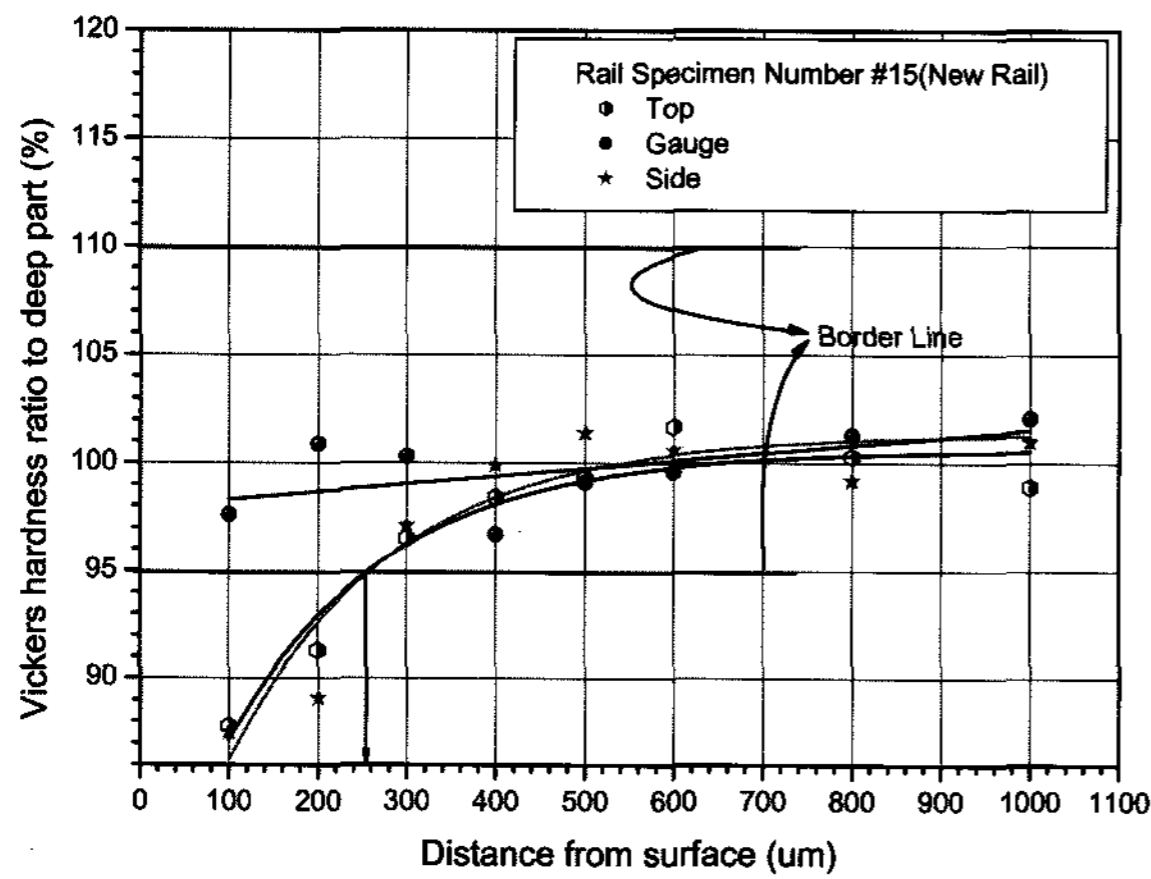


Fig. 5. Hardness ratio of new rail

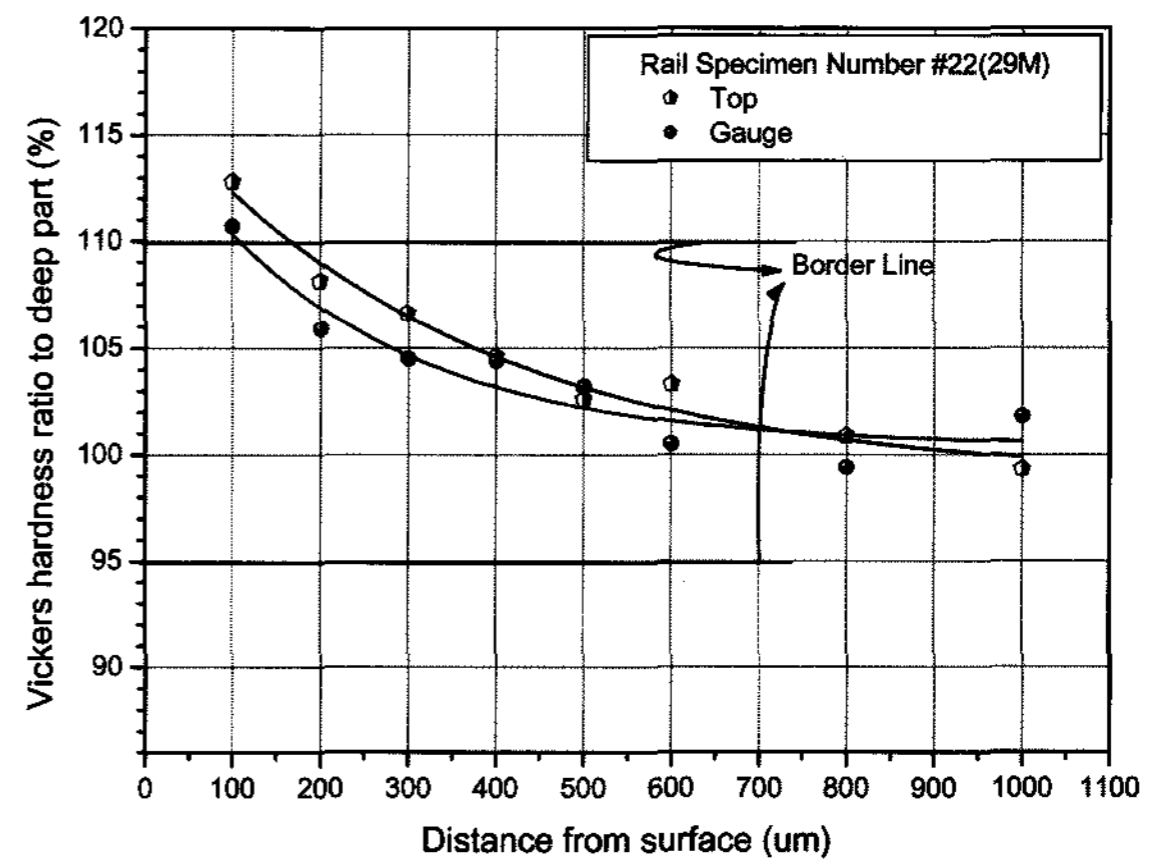
도비가 가장 큰 레일 두부 상면의 경도 측정 결과를 정리한 것이다.

사용재의 가공경화층에 영향을 주는 요인으로 누적통과톤수 및 주행속도, 레도 상태를 고려하여 그 영향을 분석하였다.

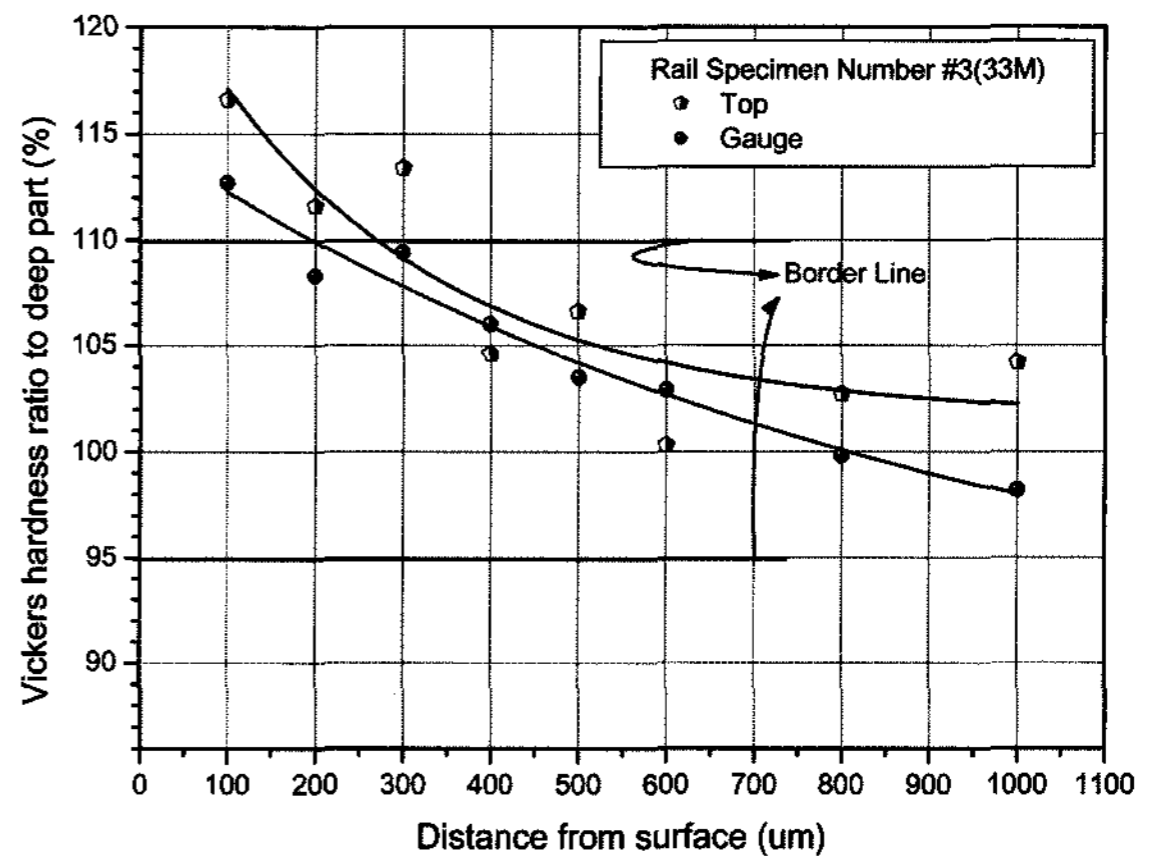
① 누적통과톤수 및 속도 영향 검토

누적통과톤수 및 속도에 대한 영향을 검토하기 위하여 레도상태가 비슷하고 연마 후 사용 기간이 10개월로 같지만 누적통과톤수와 속도가 다른 시편 #9(광명~대전 구간)과 시편 #12(대전~동대구 구간)에 대해 레일 두부 상면의 각 포인트에서 측정된 심부 대비 경도비를 Fig. 7에 비교하였다. 시편 #9(광명~대전 구간)의 주행속도는 230km/h이고 시편 #12(대전~동대구 구간)의 주행속도는 300km/h로 200km/h 이상의 고속주행구간이지만 70km/h의 속도차이가 있다. 광명~대전 구간 및 대전~동대구 구간의 10개월에 대한 통과톤수는 Table 5와 같다.

Fig. 7에서 속도가 크지만 누적통과톤수가 작은 시편 #9



(a) Specimen Num : #14(29M)



(b) Specimen Num : #15(33M)

Fig. 6. Comparison of hardness measured at each point of used rail

과 속도가 작지만 누적통과톤수가 큰 시편 #12의 심부 대비 경도비가 비슷하게 나타나고 있다. 이는 속도 및 누적통과톤수 모두 가공경화층 형성에 주요 인자임을 의미하는 것이다.

Table 5. Passing tonnage for 10 months of Kyeong-Bu HS line

구 분	통과톤수(백만톤)	1일운행횟수(회)	축중(톤)
광명~대전	16.42	70	17
대전~동대구	11.73	50	

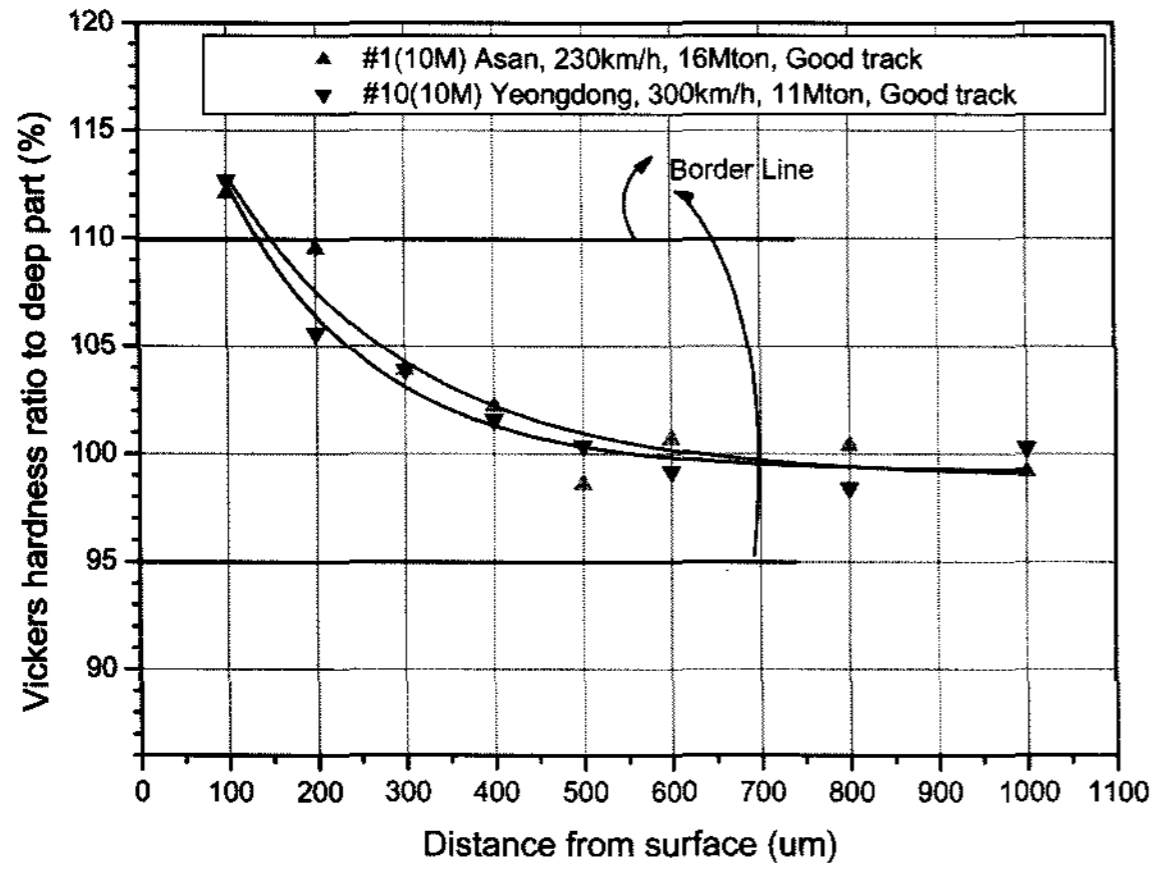


Fig. 7. Variation of hardness ratio due to running velocity and passing tonnage

② 궤도상태에 대한 영향 검토

궤도상태에 대한 영향을 검토하기 위하여 주행속도가 230km/h이고 연마 후 사용 기간이 4개월로 같지만 궤도상태가 다른 구간에서 채취한 시편 #6과 #7(광명~대전 구간)에 대해 레일 두부 상면의 각 포인트에서 측정된 심부 대비 경도비를 Fig. 8에 비교하였다. 시편 #6은 시편 #7에 비해 궤도상태가 양호한 것으로 나타났다. Fig. 8에서 궤도상태가 불량한 곳의 시편 #7의 상부 경도가 상대적으로 양호한 구간에서 채취한 시편 #6의 경도에 비하여 표면에 가까울수록 경도비가 큰 것으로 나타났다. 이는 궤도상태 불량에 따라 충격량이 크게 발생되어 가공경화를 유발한 것으로 판단되며, 이러한 현상은 사용 개월이 늘어남에 따라

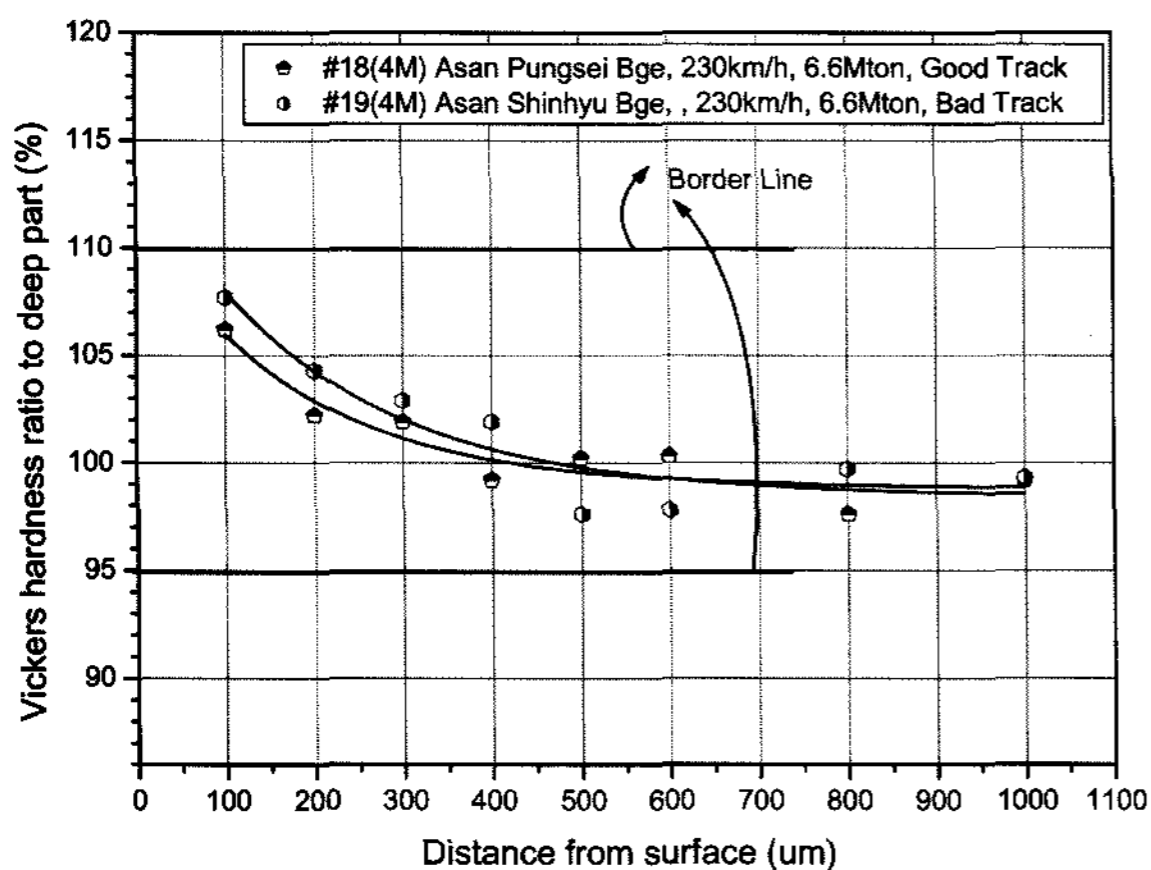


Fig. 8. Variation of hardness ratio due to track condition

더욱 가속화 될 것으로 예측된다.

③ 고속선 레일 연마 기준 정립 방안

상기에서 분석한 것처럼 고속선에서 레일 두부의 가공경화층 형성에 영향을 미치는 주요 인자로 누적통과톤수, 주행속도와 궤도상태 등을 고려할 수 있다. 따라서 레일 연마 기준을 단순히 누적통과톤수로만 기준으로 하는 것은 불충분하며, 가공경화층 형성에 영향을 미치는 주요 요인들을 포함한 기준이 정립되어야 할 것이다. 그러나 현실적으로 많은 요인들에 대한 영향을 정량적으로 분석하여 유지관리 기준을 정립하는 것은 어려우므로 유지관리 효율화를 위해서 사용 개월 수를 기준으로 하는 것도 적절한 것으로 판단된다.

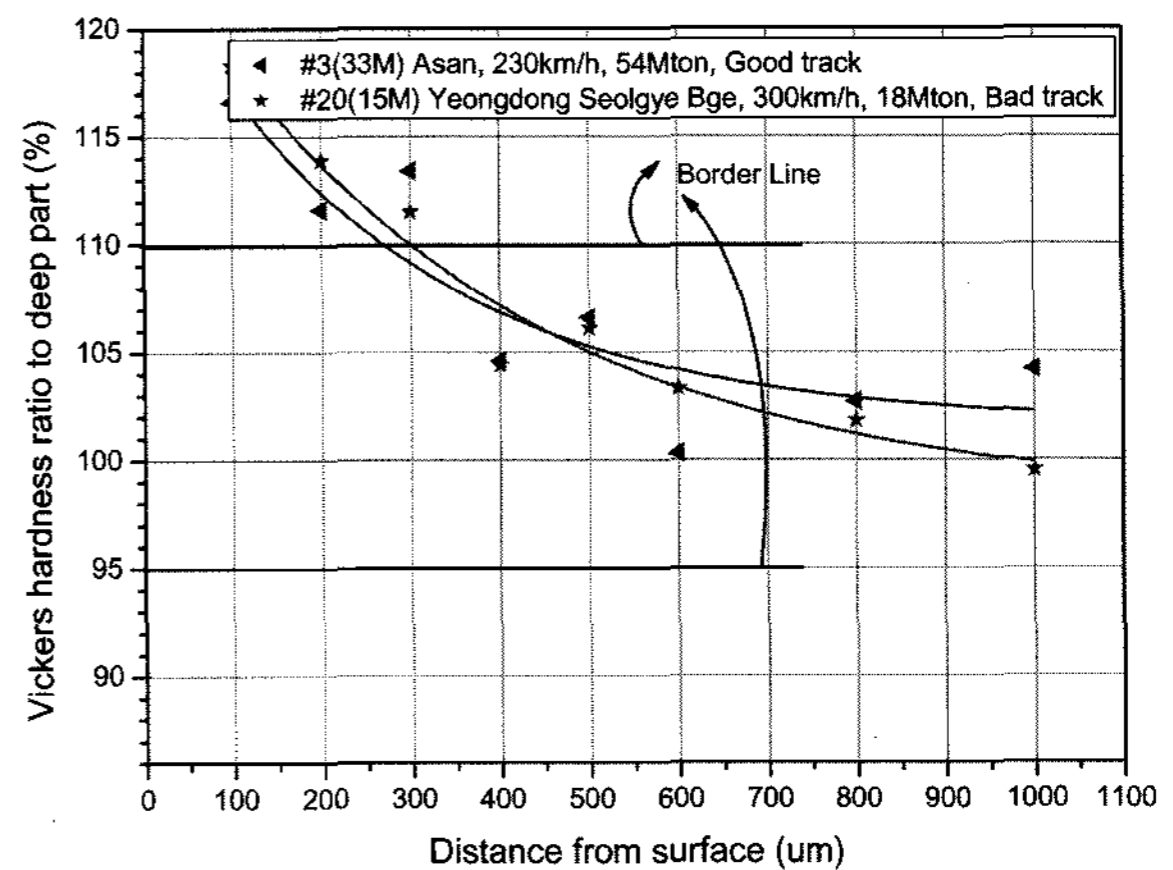


Fig. 9. Variation of hardness ratio due to elapsed time and running velocity

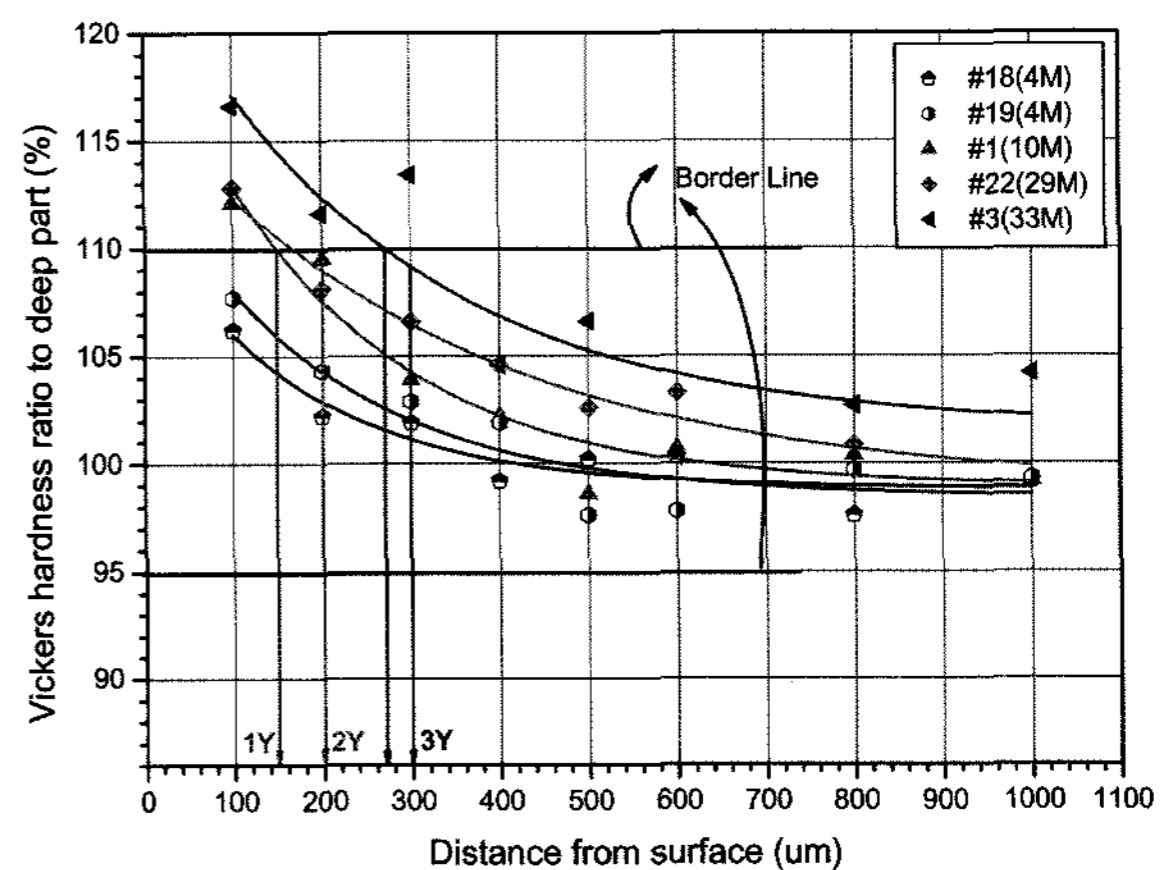


Fig. 10. Variation of hardness ratio due to elapsed time

Fig. 9는 사용 개월이 15개월로 KTX 운행빈도가 적고 궤도상태가 불량하지만 주행속도가 300km/h 구간에서 채취한 시편 #13(15M, 대전~동대구 구간)과 사용 개월이 33개월로 KTX 운행빈도가 많고 궤도상태가 양호하지만 주행

속도가 230km/h 개소에서 채취한 시편 #15(33M, 광명~대전 구간)에 대해 심부 대비 각 포인트에서 측정된 경도를 비교한 결과 거의 유사하게 나타났다. 이러한 결과는 상기에서 분석한 것처럼 누적통과톤수, 주행속도와 궤도상태에 영향을 받으므로 각 요인들에 대한 정량적 분석을 수행하기 어려운 경우 유지관리 효율화를 위하여 사용 개월 수로 레일 연마 기준을 정립하는 것도 타당하다는 것을 다시 한번 보여주는 것이다.

따라서 현재의 고속선 현장조건에서는 레일 두부 가공경화층 형성에 영향을 미치는 인자들에 대한 정량적 분석이 어려우므로 본 연구에서는 누적통과톤수가 일정한 시편들만을 고려하여 사용 개월 수로 심부대비 경도비를 분석하여 적정 경도를 유지할 수 있도록 레일 연마 타당성 검토 및 기준을 정립하고자 하였다. Fig. 10은 통과톤수가 일정한 광명~대전 구간에서 채취한 시편에 대해 심부 대비 각 포인트에서 측정된 경도비를 비교한 것이다. 신재의 경우에는 유효탈탄층에 의해서 레일 표면에 가까울수록 경도가 저하되는 것으로 나타났으며, 사용재의 경우에는 연마 후 사용 개월이 경과할수록 심부 대비 경도가 증가하는 것으로 나타났다.

4. 고속선의 초기연마 및 예방연마 기준(안)

신재의 경우에는 현미경에 의한 유효탈탄층 깊이와 경도 시험 결과를 기초하여 초기연마 기준을 정립하였으며, 사용재의 경우에는 현미경에 의한 가공경화층의 분석이 용이하지 않아 경도시험 결과에 기초하여 예방연마 기준을 정립하였다. 예방연마 기준 정립 목표로 신재의 경우 탈탄층에 의한 경도저하 한계를 심부 경도 대비 95% 이상, 사용재의 경우 가공경화층에 의한 경도증가 한계를 심부 경도 대비 110% 이하로 유지하므로써 레일의 RCF 결합 발생을 억제하는 것으로 하였다.

4.1 초기연마 : 신재

미세조직 검사에 따르면 최대 0.13mm(Fig. 3), 경도시험 결과에 따르면 0.25mm(Fig. 5) 정도로 유효탈탄층 깊이가 측정되나, 초기연마의 경우에는 레일 제작시 또는 부설시 발생한 결함 제거를 목적으로 하고 있으므로 이러한 결함의 정도를 고려하여 연마깊이를 0.3mm로 하는 것이 적절하다고 판단된다. 프랑스의 경우에서도 초기연마로 0.3mm를 시행하고 있다.

4.2 예방연마 : 사용재

가공경화에 의한 경도 증가를 심부 대비 110% 이하를

유지하도록 레일 예방연마 기준을 설정하였다(Fig. 10). Table 6은 이에 기초한 연마 기준(안)이며, 이는 프랑스에서 적용하고 있는 연마기준과 매우 유사하게 제시되었으나, RTRI(일본)의 시험결과와는 다소 차이가 있는 것으로 나타났다.

Table 6. Proposed rail grinding criteria of Kyeong-Bu HS line

연마깊이(mm)		
경부 고속선(안)	프랑스	RTRI(일본)
0.30mm/3년	0.3mm/3년	0.1mm/2.5년
0.20mm/2년	-	
0.15mm/1년	0.2mm/1년	

¹⁾RTRI의 레일 연마 시험결과는 0.1mm/50백만톤으로, 이를 경부 고속철도 연간 통과톤수 20백만톤으로 환산하여 제시

5. 결론

경부 고속선(UIC60 레일)에 대해 초기연마 및 예방연마로 구분하여 레일 연마 기준을 제안하였다. 이를 위하여 신 품 레일과 사용재에 대해 현미경을 이용하여 레일두부 상면과, 게이지 코너 및 측면에 대한 조직을 관찰하였으며 경도 측정 또한 병행하였다.

고속선(UIC60) 레일의 신재 및 사용재의 경우 경도가 유효탈탄층 및 가공경화에 의해 저하되거나 강화되는 것으로 나타났으며, 이러한 경도 변화가 발생한 조직에서 쉽게 레일결함이 유발되므로 적정 값으로 경도를 유지하는 것이 필요하다. 이는 고속선의 경우 레일 결함은 큰 충격을 유발하기 때문이다.

현미경에 의한 조직검사 결과는 신재의 경우에 레일 두부 상면, 게이지 코너 및 레일 두부 측면 전체에 걸쳐 유효탈탄층이 측정되었지만, 사용재의 경우에는 가공경화층이 뚜렷하게 구분되지 않는 것으로 나타났다.

본 연구에서는 신재의 경우 탈탄층에 의한 경도저하 한계를 심부 경도 대비 95%이상, 사용재의 경우 가공경화층에 의한 경도증가 한계를 심부 경도 대비 110% 이하로 유지하므로써 레일의 RCF 결합 발생을 억제하도록 경부 고속선에서의 초기연마 및 예방연마의 적정 깊이 및 주기를 설정하여 제안하였다.

참고 문헌

1. A. M. Zarembski (2005), *The art and science of rail grinding*, Simmons-Boardman Book, Inc.
2. S. Kumar (2006), *A study of the rail degradation process to predict rail breaks*, Lulea University of Technology.

3. UIC 712 R (2002), *Rail defects*.
 4. M. Ishida (1999), Experimental study on the effect of preventive grinding on RCF defects of Shinkansen rails, *IHHA'99 STS-Conference*, pp.511~516.
 5. 佐々 博明, 레일削正效果と레일削正시스템의開發, 新線路, 第55卷, 11月號, pp.10~12.
 6. 多田 嘉典, 新幹線におけるレール削正手法, 新線路, 第53卷, 8月號, pp.4~7
 7. 半田 眞一, 千代 誠, 新幹線レール削正の考え方, 日本鐵道施設協會誌, pp.33-12.
 8. 최강윤 등 (2004), 고속철도 운영을 위한 철도시설정비사업 및 기존선 전철화 사업 기술자문(3단계)-시설분야, 한국철도기술연구원.
 9. KS D 0216 : 강의 탈탄층 깊이 측정 방법.
 10. KRS TR 0001-06, 한국철도표준규격, 레일.
- 접수일(2008년 4월 15일), 수정일(2008년 6월 24일), 게재확정일(2008년 6월 24일)