

<http://dx.doi.org/10.17703/JCCT.2024.10.6.771>

JCCT 2024-11-95

안내레일을 이용한 고무차륜 AGT 주행로의 연마효과 분석

Evaluation of Grinding Effect of Concrete Bed for AGT System with Rubber Tired using Guide Rails

최정열* 윤현석**

Jung-Youl Choi*, Hyun-Seog Yun**

요약 본 연구는 안내레일을 이용한 고무차륜 AGT 궤도의 주행로 연마 효과분석으로서 주행로 연마 전, 후의 고저, 수준, 평탄성, 평면성 및 차량진동가속도의 변화 값을 비교 분석하여 안내레일을 이용한 주행로 연마의 효과를 실험적으로 입증하였다. 안내레일을 이용한 주행로 연마 전, 후의 고저, 평탄성, 수준 측정결과, 주행로 연마 전, 후 곡선구간은 약 50%, 직선구간은 약 33% 개선효과가 나타난 것으로 분석되었으며, 고저 측정결과, 곡선구간에서 71%, 직선구간에서 약 43%의 개선효과가 있는 것으로 분석되었다. 또한 평면성 측정결과, 곡선구간은 약 57%, 직선구간은 약 33% 개선효과가 나타난 것으로 분석되었다. 수준(레벨기)측량 결과를 이용한 연마 효과 분석결과, 직선구간에서도 곡선구간에서 주행로 연마 시 효과가 탁월한 것으로 분석되었다. 주행로 연마 시 차량 진동가속도 분석결과, 차량의 속도가 높을수록 주행로 연마 효과가 더욱 커지는 것으로 분석되었다. 그러나 본 연구는 곡선구간 주행로에 따른 횡단 경사량이 미포함되어 횡단 경사량을 포함하는 곡선부 주행로 연마 및 방법에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

주요어 : 안내레일, 고무차륜, 주행로, 연마, 현장측정

Abstract This study analyzed the effect of running path grinding on a rubber-wheeled AGT track using a guide rail, and experimentally verified the effect of running path grinding using a guide rail by comparing and analyzing the changes in vertical, level, flatness, twist and vehicle vibration acceleration before and after running path grinding. The results of measuring vertical, flatness, and level before and after track grinding using guide rails showed that the curved sections showed approximately 50% improvement effects and the straight sections showed approximately 33% improvement effects before and after track grinding. The results of measuring vertical showed that the curved sections showed approximately 71% improvement effects and the straight sections showed approximately 43% improvement effects. In addition, the results of measuring flatness showed that the curved sections showed approximately 57% improvement effects and the straight sections showed approximately 33% improvement effects. The results of analyzing the grinding effect using the results of level measurement showed that the track grinding was more effective on curved sections than on straight sections. The results of the vehicle vibration acceleration analysis during the driving path grinding showed that the higher the vehicle speed, the greater the driving path grinding effect. But, this study does not include the cross-slope according to the curved section driving path. It is judged that additional research is needed on the polishing and method of curved section driving paths including the cross-slope.

Key words : Guide Rail, Rubber Wheel, Running Track, Grinding, Field Measurement

*정회원, 동양대학교 건설공학과 교수 (제1저자)
**정회원, 화성종합엔지니어링(주), 대표이사 (교신저자)
접수일: 2024년 9월 1일, 수정완료일: 2024년 9월 29일
게재확정일: 2024년 11월 1일

Received: September 1 2024 / Revised: September 29, 2024
Accepted: November 1, 2024
**Corresponding Author: kingking0422@naver.com
HWASUNG TOTAL ENGINEERING Co. Ltd, Korea

1. 서 론

1. 고무차륜 AGT 궤도

고무차륜 AGT(Automated Guideway Transit) 궤도는 콘크리트 주행로 위로 고무차륜이 측방 안내레일에 의해 유도되어 운행되는 무인 자동운전시스템으로서 곡선주행과 등판능력 성능이 우수하고 소음 및 진동 적어 중·단거리 노선에 적합하다. 국내에 고무차륜 AGT 궤도가 도입된 지 10여년 경과되었으나 콘크리트 주행로 및 주행성능에 관한 연구가 미흡한 실정이다. 국내 고무차륜 AGT 차량 및 궤도는 그림 1과 같다.



(a) Rubber-Wheeled AGT vehicle

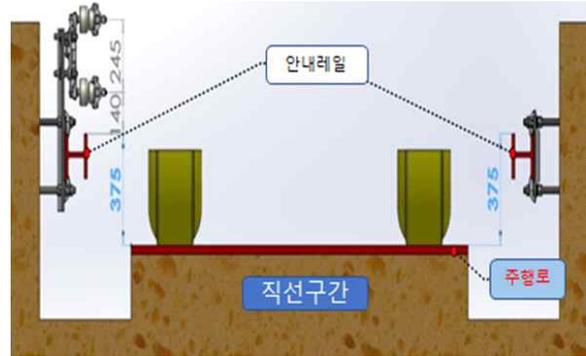


(b) Rubber-Wheeled AGT track

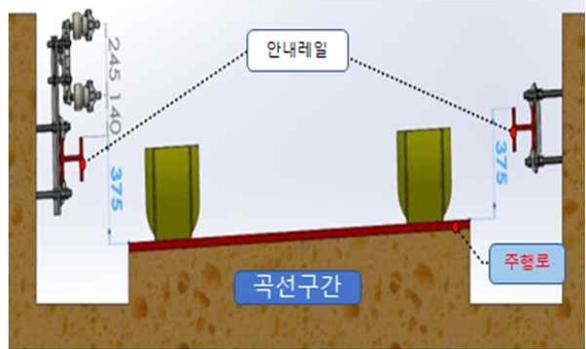
그림 1. 고무차륜 AGT 차량 및 궤도
Figure 1. Rubber-Wheeled AGT vehicles and tracks

고무차륜 AGT 궤도는 그림 1(b)과 같이 고가구간에 교량의 사하중 감소 및 동절기 우천 또는 눈으로 인한 주행로의 동결을 빠르게 융해시키기 위하여 대부분 분리형 주행로로 건설되며, 지하구간의 경우 비상 시 승객 대피 및 구급차의 접근을 위해 일체형 주행로로 건설된다. 주행로는 철제차륜의 레일과 같은 역할을 하며, 안내레일(Guide Rail)은 차량의 횡방향 하중에 의하여 발생하는

곡선부 탈선방지 및 차량을 유도하는 기능을 한다. 주행로는 일반적으로 콘크리트로 제작되며, 승차감은 고무바퀴가 접촉되는 주행로의 평탄성(Flatness) 및 선형(Linear)에 직접적인 영향을 받는다. 고무차륜 AGT 주행로 안내레일 상단 높이차 예시는 그림 2와 같다.



(a) Straight section



(b) Curved section

그림 2. 고무차륜 AGT 궤도 안내레일 상단 높이차
Figure 2. Rubber wheel AGT track guide rail top height difference

고무차륜 AGT 궤도 안내레일 상단 높이차는 그림 2와 같으며 콘크리트 주행로와 안내레일 상면은 직·곡선에 관계없이 항상 일정한 높이차(375±5mm)를 유지해야 한다. 이에 본 연구에서는 궤도 선형에 맞춰 안내레일을 정밀 조정하여 안내레일을 기준으로 일정한 높이를 유지하도록 주행로의 표면 연마작업을 시행함으로써 주행로의 고저(Vertical), 수준(Level), 평탄성(Flatness), 평면성(Twist) 개선효과를 실험적으로 분석하였다.

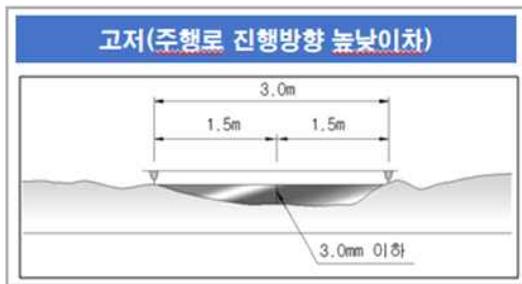
주행로 연마는 고무차륜 AGT 궤도 건설 시 마지막 공정으로 주행로의 연마 품질에 따라 평탄성 및 마찰력 값이 변화된다. 또한 철근의 최소 피복두께를 확보하여야 하며, 주행로 연마를 지속적으로 할 수 없으므로 주행로 연마에 매우 신경 써야한다. 이에 주행로 연마 전 검측차로 주행로 고저, 수준, 평탄성, 평면성을 검측하여 주

행로 연마량을 산정하고 안내레일을 이용한 주행로 연마를 시행한다. 고무차륜 AGT 궤도 주행로 연마기 전경은 그림 3과 같다.

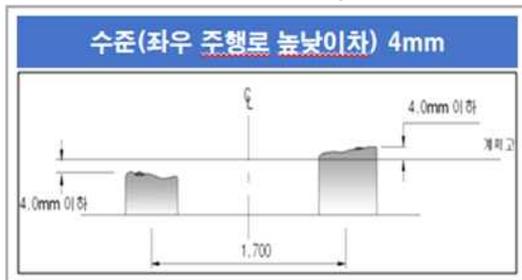


그림 3. 고무차륜 AGT 궤도 주행로 연마기
 Figure 3. Rubber wheel AGT track grinder

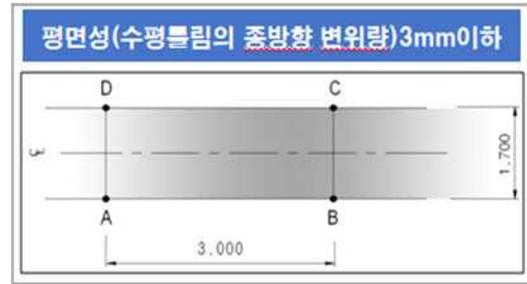
주행로 연마기 전경은 그림 3과 같으며, 연마기에는 총 2개의 연삭기가 설치되어 있다. 앞쪽의 연삭기는 센서를 이용하여 안내레일과 주행로 높이차를 이용해 1차 연삭을 시행하며, 뒤쪽 연삭기는 안내레일 상부를 이동하면서 세밀한 2차 연마를 시행한다. 주행로 연마 후에는 검측차로 재 검측을 진행하여 주행로의 고저, 수준, 평탄성, 평면성 값이 기준값을 만족하는지를 확인하고 기준치를 미달한 곳은 재연마를 통해 기준치를 만족할 수 있도록 수행한다. 고무차륜 AGT 궤도 마감기준은 그림 4와 같다.



(a) AGT Vertical Closing Criteria



(b) AGT level Closing Criteria



(c) AGT Twist Closing Criteria

그림 4. 고무차륜 AGT 궤도 마감기준
 Figure 4. Rubber-wheeled AGT track finish criteria

고무차륜 AGT 궤도 마감기준은 그림 4와 같이 열차 주행에 가장 직접적인 영향을 주는 구성요소로 주행로 상부표면에 정밀한 평탄성이 요구된다. 일반적으로 상부 표면의 정밀도는 그림 4(a)와 같이 고저는 3m 당 3mm 이내이며, 수준은 그림 4(b)와 같이 $\pm 4\text{mm}$, 평면성은 그림 4(c)와 같이 3m 당 3mm 이내이다. 미끄럼 저항치 (SR)는 45~65를 기준으로 평가하며, 평탄성 기준치는 $\sigma = 1.2\text{mm}$ 이하로 3m Profiler로 측정한다. 하지만 인력타설만으로 기준치 만족 및 정밀도를 확보하는 것이 매우 어렵기 때문에 국내에서는 안내레일을 이용한 주행로 면고르기 기계를 개발하였으며, 일본에서는 일체형 주행로 거꾸집 상부를 시공 기준선으로 하여 콘크리트 레벨러와 피니셔를 통해 면고르기 작업을 시행하고 있다.

일본의 주행로 마찰력 기준은 마찰계수 0.3 이상을 요구한다. 주행로 마찰계수 0.3은 차량 고장 및 열차사고 등 구급차량이 고장 차량을 이동 또는 견인할 수 있을 정도의 마찰력을 의미하며, 우천 시 4% 이상의 구배에서 차량이 출발할 경우 미끄러지지 않고 주행할 수 있는 마찰력을 의미한다. 일본에서는 표 1과 같이 주행로 마찰력과 평탄성 기준 만족을 위해 표면처리 기법을 적용한다.

표 1. 일본의 고무차륜 AGT 궤도 주행로 표면처리 기법

Table 1. Japanese rubber-wheeled AGT track surface treatment technique

Components	Grinding	Thin layer treatment	Heat treatment
Yukarikaoka Line	○	○	○
Tokyo Yurikamome Line	○	○	○
Yokohama Seaside Line	○	○	○
Hiroshima Astram Line	○	○	×
Kobe Port Island	×	○	×
Nagoya Guideway Bus	×	×	×
Chiba Urban Monorail	×	○	×
Osaka Monorail	×	×	×

고무차륜 AGT 궤도 주행로의 표면처리방법은 주행로 연마와 노면 박층처리로 구분된다. 국내 고무차륜 AGT 궤도의 주행로 평탄성을 확보하기 위해 주행로 면을 기준으로 연삭과 평삭형태로 시행하고 있다. 그러나 연삭과 평삭형태의 연마 시 기준선이 없어 주행로에 요구되는 평탄성을 구현하기에는 매우 어려운 실정이다. 이에 본 연구에서는 안내레일을 주행로 연마 기준으로 설정하여 연마 전, 후의 주행로 고저, 수준, 평탄성, 평면성 및 차량 진동가속도의 변위 값을 비교, 분석하여 그 효과를 실험적으로 분석하였다.

국내 안내레일은 H-beam을 사용하고 있으며, 직선구간은 15m, 곡선구간은 양 끝단 600mm를 제외한 13.8m의 H-beam을 사용하고 있다. 하지만 국내에는 15m H-beam을 한 번에 도급할 수 있는 용용 도급로가 부족하고 현장에서 설치 및 이동에 어려움이 많아 직선구간은 12m, 곡선구간은 10.8m를 사용하고 있다. 안내레일 설치 전경 예시는 그림 5와 같다.



(a) Installing the joint plate



(b) Guide rail fine adjustment

그림 5. 안내레일 설치 전경
Figure 5. Overview of the guide rail installation

안내레일 설치 전경예시는 그림 5와 같으며, 안내레일을 연결하는 이음매부의 이음매판은 그림 5(a)와 같이 단차가 없도록 설치한다. 안내레일의 정밀한 시공을 위하

여 그림 5(b)와 같이 3차원 측량기를 이용하여 안내레일의 고저 및 수평 정정작업을 시행한다.

2. 고무차륜 AGT 궤도 주행로의 요구 성능

고무차륜 AGT 궤도의 주행로는 차륜의 레일과 같은 역할을 하며, 승차감은 고무바퀴가 접촉되는 주행로의 평탄성 및 선형에 직접적인 영향을 받는다. 따라서 주행로의 평탄성, 내구성, 마찰성능 등과 같은 요구 성능이 매우 중요하다. 평탄성은 차량이 주행하는 종방향 표면에 요철을 말하며, 콘크리트 주행로 타설 후 면고르기를 시행하여 표면을 정밀 시공하더라도 양생과정에서 수분이 증발하여 주행로 노면에 엠보싱과 같은 요철을 형성한다. 평탄성이 떨어지면 승차감 저하, 전차선의 집전 효율 저하, 전차선의 집진 슈의 손상 등을 유발한다.

고무차륜 AGT 궤도의 주행로는 고무바퀴가 직접 궤도를 지지하면서 운행되므로 콘크리트 주행로의 강도는 30MPa를 요구하며, 콘크리트 주행로 표면의 균열이나 박락 및 박리 등을 최소화 하여야 한다. 일본에서는 대부분의 콘크리트 주행로는 고가구간이나 지상의 토공구간에 건설되어 콘크리트 타설 시 펌프카 타설 및 직접타설이 가능하여 낮은 슬럼프로 시공되는 경우가 많다. 국내에서는 상대적으로 높은 슬럼프로 시공되어지는 고무차륜 AGT가 지하구간 및 도심지에 상당부분 건설되어지는 실정이다. 콘크리트 주행로 시공시에는 높은 슬럼프로 인해 섬유보강제 첨가 등 품질관리에 비중을 뒤야 한다.

II. 현장측정

본 연구에서는 안내레일을 통한 고무차륜 AGT 궤도 주행로 연마 효과 분석을 위하여 안내레일 수준 정정작업을 시행하였다[1]. 또한 연마 전, 후 주행로와 안내레일의 높이차는 수준측량, 주행로

고저, 수준, 평탄성, 평면성 및 차량 진동가속도 등은 주행로 검측차로 측정하였다[1]. 현장측정은 경상북도 경산 고무차륜 AGT 시험선에서 시행하였으며, 안내레일 수준 및 고저 정정작업은 체결구 기준으로 3m 간격으로 측정하였으며, 직선 100m, 곡선 100m를 정정하였다. 안내레일 고저 및 수준정정작업은 그림 6과 같다[1].



그림 6. 안내레일 수준 및 고저 정정작업
 Figure 6. Guide rail level and elevation correction

안내레일 수준 및 고저 정정작업은 그림 6과 같이 체결구가 위치한 지점을 기준으로 3m 간격으로 측정하여 직선 100m, 곡선 100m를 정정하였다[1]. 안내레일 정정작업 시행한 후 주행로와 안내레일의 높이차를 측정하였다[1]. 안내레일 높이차 측정결과, 직선구간에서는 $375\pm 5\text{mm}$ 를 초과한 개소가 다수 있어 연마 기준값 $380\pm 5\text{mm}$ 를 기준으로 연마를 시행하였으며, 곡선구간은 $375\pm 5\text{mm}$ 를 기준으로 연마를 시행한 후 각각의 높이차를 측정하였다[1].



(a) Flatness measurement concept



(b) Flatness measurement car

그림 7. 평탄성 측정 개념도 및 측정차 전경
 Figure 7. Flatness measurement concept and measurement vehicle overview

직, 곡선구간 최대 연마량은 각각 14mm, 16mm이며, 직선구간 주행로 연마 후 안내레일과의 높이차 측정결과, 목표값 380mm를 기준으로 $\pm 2\text{mm}$ 이내가 되는 것으로 측정되었으며. 곡선구간의 경우, 목표값 375mm를 기준으로 $\pm 2\text{mm}$ 이내가 되는 것으로 측정되었다[1]. 안내레일을 이용한 주행로 연마효과 분석을 위하여 연마 전, 후 주행로의 평탄성을 측정하였으며 측정 개념도 및 측정차 전경은 그림 7과 같다. 평탄성 측정은 3m Profile Meter를 이용하여 100m구간 데이터의 편차 값을 그래프로 표시하였으며, 측정 기준치는 표준편차 1.2mm 이내이다[1].

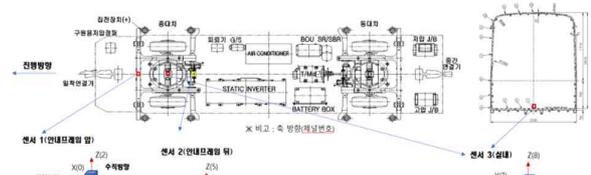


그림 8. 차량 진동센서 부착위치
 Figure 8. Vehicle vibration sensor attachment location

안내레일을 이용한 주행로 연마효과 분석을 위하여 연마 전, 후 차량의 진동가속도를 측정하였으며, 차량 진동센서 부착위치는 그림 8과 같다. 대차의 수직, 수평, 진행방향의 진동가속도를 측정하였다[1]. 차량 진동센서는 총 3개를 설치하였으며, 안내프레임 앞, 뒤, 실내에 설치하였다[1]. 측정구간은 직, 곡선구간으로 구분되며 부산에서 서울 방향은 상선, 서울에서 부산 방향을 하선으로 표기하였다[1]. 측정방법은 10km/h, 30km/h, 50km/h, 60km/h로 왕복 주행하여 속도별 진동가속도를 측정하였다[1]. 안내레일을 이용한 주행로 연마효과 분석을 위하여 연마 전, 후 주행로의 미끄럼 저항치(BPT)를 측정하였으며, 측정 전경은 그림 9와 같다[1].



그림 9. BPT 측정
 Figure 9. BPT Measurement

미끄럼 저항치 측정은 그림 9와 같이 BPT(British Pendulum Tester) 장비를 사용하였으며, 측정 전에 주행로 바닥을 습윤상태로 유지시키고 총 4회 측정하여 평균 BPN(British Pendulum Number)을 구한다. 측정된 BPN은 표준온도 20℃의 마찰지수로 보정한 후 사용한다[1].

III. 측정결과 및 분석

1. 고저 분석결과

본 연구에서는 주행로 검측차를 이용하여 주행로의 고저를 측정하였다. 주행로 연마 전, 후 고저 측정결과는 그림 10과 같다.

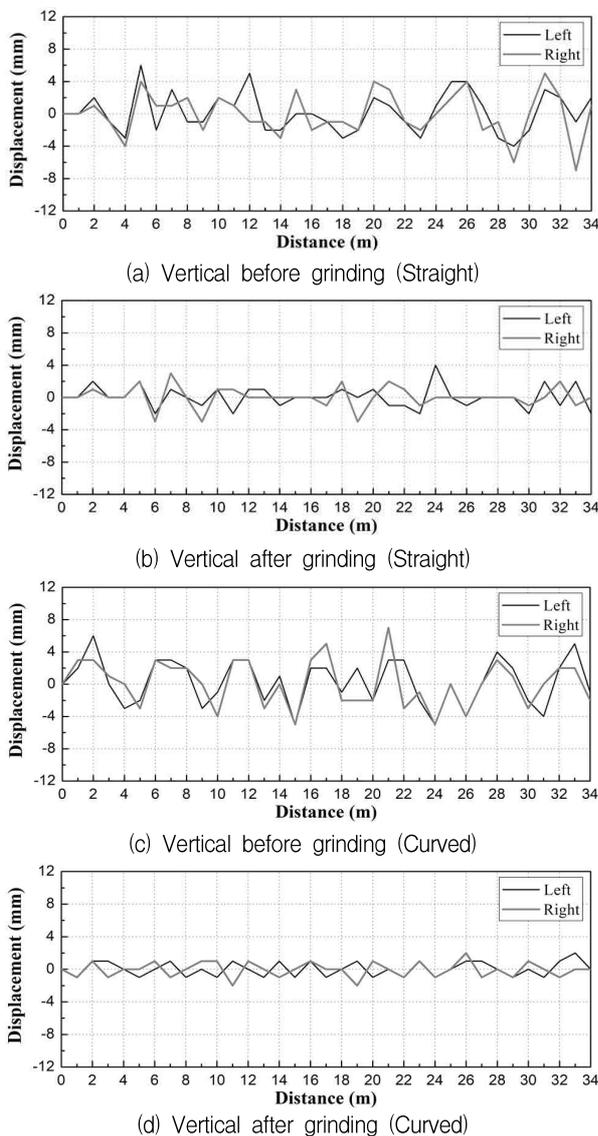


그림 10. 주행로 검측차 고저 측정
Figure 10. Vertical measurement of driving track inspection vehicle

주행로 연마 전, 후 직선구간의 고저 측정결과, 그림 10(a)와 같이 연마 전 12개 개소에서 고저 기준치(3m에 3mm이내)를 벗어난 것으로 측정되었으나, 연마 후 그림 10(b)와 같이 모든 개소에서 고저 기준치를 만족하는 것으로 측정되었다. 또한 직선구간 수준 측정결과, 연마 전 4개 개소에서 수준 기준치($\pm 4\text{mm}$)를 벗어난 것으로 측정되었으나, 연마 후 모든 개소에서 수준 기준치를 만족하는 것으로 측정되었다.

주행로 연마 전, 후 곡선구간의 고저 측정결과, 그림 10(c)와 같이 연마 전 13개 개소에서 고저 기준치(3m에 3mm이내)를 벗어난 것으로 측정되었으나, 연마 후 그림 10(d)와 같이 모든 개소에서 고저 기준치를 만족하는 것으로 측정되었다. 또한 곡선구간 수준 측정결과, 연마 전 8개 개소에서 수준 기준치($\pm 4\text{mm}$)를 벗어난 것으로 측정되었으나, 연마 후 모든 개소에서 수준 기준치를 만족하는 것으로 측정되었다. 주행로 연마 전, 후 고저 측정결과를 바탕으로 피크 값 비교 분석결과는 표 2와 같다.

표 2. 주행로 연마 전, 후 고저 피크 값 비교

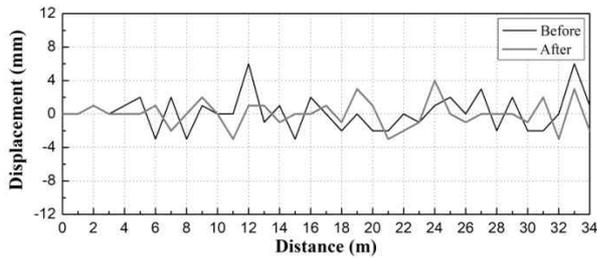
Table 2. Comparison of peak vertical before and after driving path grinding

Components	(A) Before grinding displacement(mm)	(B) After grinding displacement(mm)	A:B(%)		
Straight	6.0	-7.0	4.00	-3.00	42.86
Curved	7.0	-5.0	2.00	-2.00	71.43

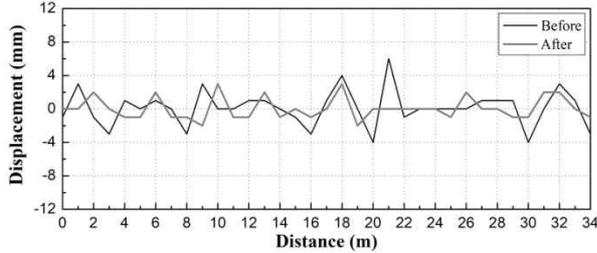
주행로 연마 전, 후 고저 피크 값 비교 분석결과, 표 2와 같이 직선구간의 경우 연마 전 최대 +6mm~-7mm에서 연마 후 +4mm~-3mm로 약 42% 향상된 것으로 분석되었다. 곡선구간의 경우, 연마 전 최대 +7mm~-5mm에서 연마 후 +2mm~-2mm로 약 71% 향상된 것으로 분석되었다. 따라서 안내레일을 이용한 주행로 연마효과 분석결과, 직선보다 곡선구간에서 우수한 효과를 나타내는 것으로 분석되었다.

2. 수준 분석결과

본 연구에서는 주행로 검측차를 이용하여 주행로의 수준을 측정하였다. 주행로 연마 전, 후 수준 측정결과는 그림 11과 같다.



(a) Measuring the level before and after grinding (Straight)



(b) Measuring the level before and after grinding (Curved)

그림 11. 주행로 검측차 수준 측정
 Figure 11. Measuring the level of driving track inspection vehicle

주행로 연마 전, 후 수준 측정결과, 그림 11과 같이 직선 및 곡선구간에서 기준치(3m에 $\pm 4\text{mm}$)를 초과하는 개소가 측정되었으나, 주행로 연마 후 모두 수준 기준치를 만족하는 것으로 측정되었다. 주행로 연마 전, 후 수준 측정결과를 바탕으로 피크 값 비교 분석결과는 표 3과 같다.

표 3. 주행로 연마 전, 후 수준 피크 값 비교

Table 3. Comparison of peak levels before and after driving path grinding

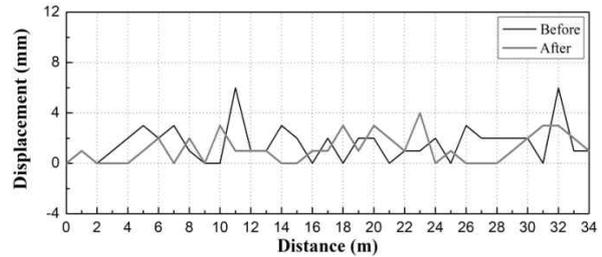
Components	(A) Before grinding displacement(mm)		(B) After grinding displacement(mm)		A:B(%)
	Max	Min	Max	Min	
Straight	6.0	-4.0	4.00	-3.00	33.33
Curved	6.0	-4.0	3.00	-2.00	50.00

주행로 연마 전, 후 수준 피크 값 측정결과, 표 3과 같이 직선구간의 경우 연마 전 최대 $+6\text{mm} \sim -4\text{mm}$ 에서 연마 후 $+4\text{mm} \sim -3\text{mm}$ 로 약 33% 향상된 것으로 분석되었다. 곡선구간의 경우 연마 전 최대 $+6\text{mm} \sim -4\text{mm}$ 에서 연마 후 $+3\text{mm} \sim -2\text{mm}$ 로 약 50% 향상된 것으로 분석되었다. 따라서 안내레일을 이용한 주행로 연마효과 분석결과, 직선보다 곡선구간에서의 연마효과가 다소 큰 것으로 분석되었다.

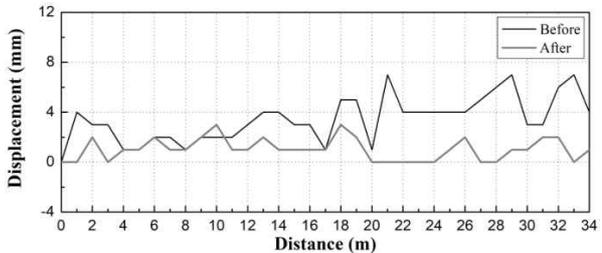
3. 평면성 분석결과

본 연구에서는 주행로 검측차를 이용하여 주행로의

평면성을 측정하였다. 주행로 연마 전, 후 평면성 측정결과는 그림 12와 같다.



(a) Measuring the twist before and after grinding (Straight)



(b) Measuring the twist before and after grinding (Curved)

그림 12. 주행로 연마 전, 후 평면성 변화 값
 Figure 12. Changes in twist before and after driving pathgrinding

주행로 연마 전, 후 직선구간의 평면성 측정결과, 그림 12(a)와 같이 연마 전 2개 개소에서 평면성 기준치(3m에 3mm 이내)를 벗어난 것으로 측정되었으나, 연마 후 1개 개소에서 평면성 기준치를 벗어난 것으로 측정되었다.

주행로 연마 전, 후 곡선구간의 평면성 측정결과, 그림 12(b)와 같이 연마 전 17개 개소에서 평면성 기준치(3m에 3mm 이내)를 벗어난 것으로 측정되었지만, 연마 후 모든 개소에서 기준치를 만족한 것으로 측정되었다. 주행로 연마 전, 후 평면성 측정결과를 바탕으로 피크 값 비교 분석결과는 표 3과 같다.

표 4. 주행로 연마 전·후 평면성 피크 값 비교

Table 4. Comparison of peak twist before and after driving path grinding

Components	(A) Before grinding displacement(mm)		(B) After grinding displacement(mm)		A:B(%)
	Max	Min	Max	Min	
Straight	6.0	-3.0	4.00	-3.00	33.33
Curved	7.0	-4.0	3.00	-2.00	57.14

주행로 연마 전, 후 평면성 피크 값 측정결과, 표 4와 같이 직선구간의 경우 연마 전 최대 $+6\text{mm} \sim -3\text{mm}$ 에서 연마 후 $+4\text{mm} \sim -3\text{mm}$ 로 약 33% 향상된 것으로 분석되

었다. 곡선구간의 경우, 연마 전 최대 +7mm~-4mm에서 연마 후 +3mm~-2mm로 약 57% 향상된 것으로 분석되었다. 따라서 안내레일을 이용한 주행로 연마효과 분석 결과, 직선보다 곡선구간에서의 연마효과가 뚜렷한 것으로 분석되었다.

4. 주행로 검측차 분석결과

안내레일을 이용한 주행로 연마효과 분석을 위하여 주행로 검측차로 연마 전, 후의 평탄성 변화값을 분석하였다.

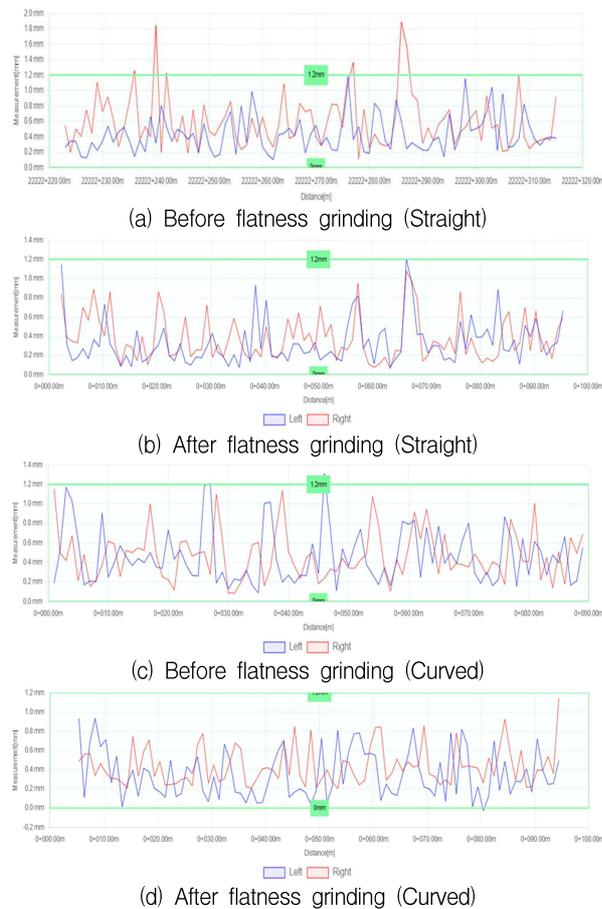


그림 13. 주행로 검측차 평탄성 측정
Figure 13. Measuring the flatness of the driving track inspection vehicle

직선구간의 평탄성 측정결과, 그림 13(a)와 같이 연마 전 기준치인 $\sigma=1.2$ 를 벗어난 구간이 측정되었지만, 평균적인 피크치가 1mm내외로 나타났다. 반면, 연마 후 기준치인 $\sigma=1.2$ mm를 모두 만족하였으며, 평균적인 피크치도 0.8mm로 개선된 것으로 분석되었다. 곡선구간의 평탄성 측정결과, 그림 13(c)와 같이 연마 전 대부분 평탄성 기준

치를 만족하였지만, 일부개소에서 기준치를 벗어난 것으로 측정되었다. 그러나 연마 후 모든 개소에서 평탄성 기준치를 만족하였으며, 평균적인 피크치도 크게 개선된 것으로 분석되었다. 주행로 평탄성 측정결과, 주행로 연마 전 직, 곡선구간에서 기준치를 초과하는 개소가 일부 측정되었으나, 주행로 연마 후 모두 기준치를 만족하였으며 전체적인 변위 값도 낮아진 것으로 측정되었다.

5. 차상시험 분석결과(진동가속도 분석결과)

안내레일을 이용한 주행로 연마효과 분석을 위하여 연마 전, 후 차량의 진동가속도를 측정하였다. 측정구간은 경산 시험선에서 진행하였으며, 측정방법은 10km/h, 30km/h, 50km/h, 60km/h로 왕복 주행하여 속도별 진동가속도를 측정하였다. 연마 전, 후 차량진동가속도 측정 결과에서는 그림 14와 같다.

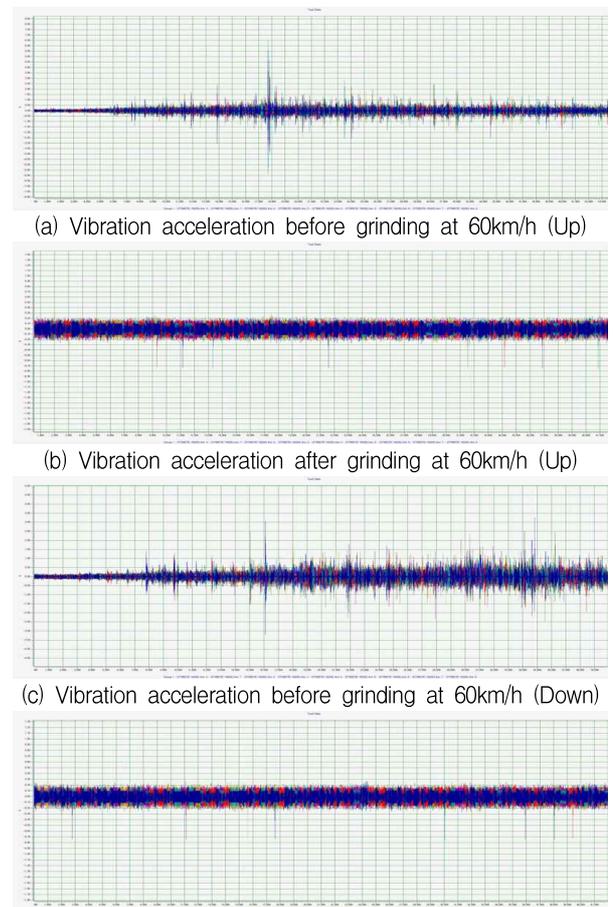


그림 14. 연마 전, 후 차량진동가속도 측정결과 예시(60km/h)
Figure 14. Example of vehicle vibration acceleration measurement results before and after grinding (60 km/h)

측정방법으로는 각 속도대별 구간 진동가속도의 최대 진폭(Peak-Peak)을 측정하였으며, 진동가속도 최대진폭은 중력가속도 단위인 g로 한다. 측정구간에서의 차량 진동가속도 측정결과는 표 5와 같다.

표 5. 차량 진동가속도 측정결과

Table 5. Vehicle vibration acceleration measurement results

Speed	Before grinding(mm)		After grinding(mm)		Up		Down	
	Up	Down	Up	Down	Up	Down	Up	Down
10km/h	0.8	-1.1	1.50	-3.40	0.25	-0.80	0.25	-0.80
30km/h	2.25	-2.2	2.00	-1.60	0.25	-0.80	0.30	-0.80
50km/h	4.8	-4.0	2.60	-2.75	0.25	-0.78	0.25	-0.80
60km/h	6.5	-6.0	3.25	-3.20	0.30	-0.78	0.28	-0.75

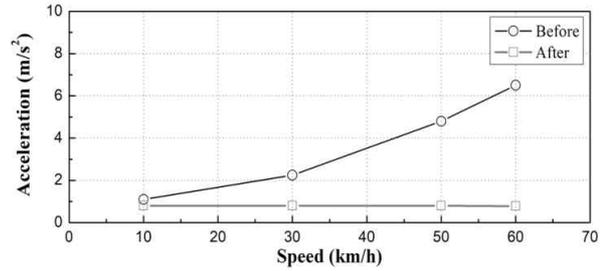
주행로 연마 전, 후 차량 진동가속도 측정결과, 표 5와 같이 상선구간에서는 연마 전 차량속도가 증가할수록 진동가속도가 증가하였으나, 연마 후 차량속도가 증가함에도 불구하고 진동가속도가 0.8g로 일정하게 나타난 것으로 분석되었다. 하선구간의 경우, 연마 전 차량속도가 증가함에 따라 진동가속도도 증가하였지만, 특이하게 10km/h구간에서 큰 진동가속도가 발생하였다. 연마 후에는 상선과 동일하게 차량속도가 증가함에 따라 진동가속도가 0.8g로 일정하게 나타난 것으로 분석되었다.

표 6. 차량 진동가속도 최대 피크치 비교

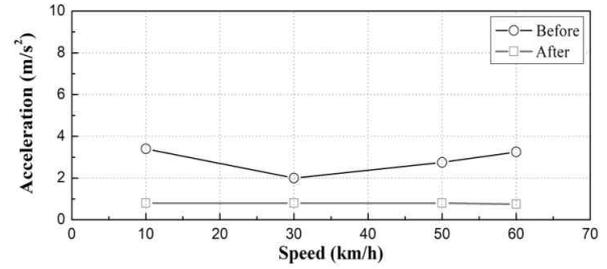
Table 6. Comparison of maximum peak vehicle vibration acceleration

Components	Speed	Maximum amplitude(m/s ²)		A:B(%)
		Before grinding	After grinding	
Up	10km/h	1.10	0.80	27.3
	30km/h	2.25	0.80	64.4
	50km/h	4.80	0.80	83.3
	60km/h	6.50	0.78	88.0
Down	10km/h	3.40	0.80	76.5
	30km/h	2.00	0.80	60.0
	50km/h	2.75	0.80	70.9
	60km/h	3.25	0.75	76.9

안내레일을 이용한 상, 하선 차량 진동가속도 분석결과, 표 6과 같이 연마 전 대비 연마 후 최대진폭이 크게 감소되었으며, 연마 전 대비 최소 27%에서 최대 88%까지 연마 효과가 개선된 것으로 분석되었다. 또한 열차속도가 증가함에도 불구하고 일정한 수준으로 나타난 것으로 분석되었다.



(a) Up section



(b) Down section

그림 15. 차량 진동 가속도 변화

Figure 15. Vehicle vibration acceleration changes

6. 미끄럼 저항치 분석결과

주행로 연마 전, 후 미끄럼 저항치 측정결과, 연마 전 미끄럼 저항측정치는 73으로 측정되었으나, 연마 후 미끄럼 저항치는 60으로 측정되었다. 미끄럼 허용 저항치는 SR=45~65(WET)으로 연마 후 미끄럼 저항치가 개선된 것으로 분석되었다.

V. 결론

본 연구는 고무차륜 AGT 궤도의 안내레일을 이용한 주행로 연마효과 분석으로서 주행로 연마 전, 후의 고저 수준, 검침차 측정, 차량 진동가속도 측정 등을 바탕으로 안내레일을 이용한 주행로 연마효과를 실험적으로 입증하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

(1) 안내레일을 이용한 주행로 연마 후 수준, 고저, 평면성 측정결과, 수준은 직선구간에서 약 33%, 곡선구간에서는 약 50%의 개선효과가 있는 것으로 나타났으며, 고저는 직선구간에서 약 43% 곡선구간에서 약 71%의 개선효과가 있는 것으로 분석되었다. 또한 평면성은 직선구간에서 33% 곡선구간에서 57% 개선되는 것으로 분석되었다. 직선보다 곡선구간에서 주행로 연마의 효과가 더욱 우수한 것으로 분석되었으며, 이는 주행로 시공이 어려운 곡선구간의 초기 시공 품질의 영향으로 인해 곡선구간에서 연마효과가 상대적으로 높게 나타난

것으로 분석되었다.

(2) 주행로 검측차를 통한 평탄성 측정결과, 연마 전 기준치를 벗어나던 수치 들이 연마 후 모두 기준치를 만족하는 것으로 분석되었다.

(3) 차량 진동가속도 분석을 통한 주행로 연마효과 분석결과, 차량속도가 높을수록 주행로 연마효과가 높게 나타났다. 상선구간에서는 속도대별로 약 최소 27%~최대 88%의 개선효과가 나타났으며, 하선구간에서는 최소 60%~최대 77%의 개선효과가 나타나는 것으로 분석되었다. 특히 주행로 연마 후 차량속도와 무관하게 유사한 수준의 진동가속도가 측정되어 안내레일을 이용한 주행로 연마를 통해 균일한 주행로 품질을 확보할 수 있는 것으로 분석되었다.

(4) 본 연구에서는, 곡선구간에서의 주행로에 따른 횡단 경사량이 미포함 되어 향후 횡단 경사량을 포함한 곡선부 주행로 연마의 방법 및 효과 분석을 위한 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

Excavation on Serviced Railway Line”, The Journal of the Convergence on Culture Technology (JCCT), Vol. 5, No. 4, pp. 401-406, 2019. <https://doi.org/10.17703/JCCT.2019.5.4.401>

- [7] J.Y, Choi, “Qualitative Analysis for Dynamic Behavior of Railway Ballasted track”, Technical University of Berlin, Ph.D dissertation, 2014.
- [8] S.K, Hwang, “A Study on Application of Force-based Track Irregularity Analysis Method”, Master thesis, Dongyang University, 2021.
- [9] S.H, Lee, “Evaluation of Track Impact Factor and Train Running Stability Using Track Geometry Measurement Data”, Master thesis, Dongyang University, 2023.
- [10] J.W, Park, “Optimum quality index by rail grinding based on rail surface degradation and dynamic wheel-rail force”, Ph.D dissertation, Seoul National University of Science and Technology, 2017.

References

- [1] H.S. Yun, “Evaluation of Grinding Effect of Concrete Bed for AGT System with Rubber Tired using Guide Rails”, Master thesis, Dongyang University, 2024.
- [2] S.K. Choi, “A Experimental Study on the Impact of AGT Bridge by the Prominence of Railway Surface”, Master’s thesis, Seoul National University of Technology, 2008.
- [3] J.R. Jung, “A Study on the Decrease of Lateral Acceleration depending on Speed-up of Rubber Tired AGT Vehicle”, Master’s thesis, Seoul National University of Science and Technology, 2013.
- [4] N.H. Kang, A.H. Lee, I.W. Lee and C.H. Kim, “Method for Constructing a Railway by using a Guide-way for a Rubber-wheeled automated Transit System”, The Journal of the Korean Society for Railway, Vol. 2011, No. 5, pp. 1793-1798, 2011.
- [5] J.R. Shin, S.H. Lee, K.J. Yu and K.S. Kyung, “Study on the Impact Factor of Elevated-guideway Structures for Rubber-tired Light Rail Transit”, Journal of Korean Society for Urban Railway, Vol. 9, No. 1, pp. 847-856, 2021.
- [6] J.S. Chung, J.Y. Choi and D.R. Park, “Evaluation of Track Irregularity Effect due to Adjacent