

고탄성 “Q클립형 레일체결장치”의 현장적용 사례와 효과 분석

A Study on the effect and experience on site of high elasticity Q clip rail fastening system on site

윤병현*, 황광하*, 최흥수*, 김만철**, 이광모***, 김영기****

Byung-Hyun Yun*, Kwang-Ha Hwang*, Heung-Su Choi*, Man-cheol Kim**,
Kwang-MO Lee***, Young-Ki Kim****

Abstract Recently, there is an inclining trend of using elastic pad in railroads as the technological advancement in the chemical engineering allows us to produce elastic pads with excellent durability. There is an international trend to adapt under sleeper pads (USP) at the bottom of the railroad sleepers used at the ballast. Also, there is a trend to replace stiff rail pads with more softer rail pads. This trend of using new technologies at the field allows the track to be highly elastic so that there is a lesser need to maintain the track. The following study conducted the comparative analysis of dynamic movements when stiff rail pad with the elasticity of 200kN/mm over is replaced to soft rail pad with the elasticity of 60kN/mm. Analysis is based on track measurements when there is a change in rail pads. It is expected that when the there is an increase in the elasticity, there would be decrease in the defect at the rail surface. This is because the elastic movement caused from the rail and wheel contact movement.

Keywords : Rail fastening system, Q clip, elasticity rail track, high elasticity track, resilient pad effect, corrugation

초 록 최근 화학공업 기술의 발전으로 우수한 내구성을 지닌 탄성패드 제작이 가능해짐에 따라 철도에도 탄성패드를 적용하는 사례가 지속적으로 증가하고 있는 추세이다. 국제적으로는 자갈도상의 침목 하부에 탄성패드를 부착한 USP 침목(Under Sleeper Pad)을 적용하거나, 하드한 레일패드를 소프트한 레일패드로 교체하여 궤도를 고탄성화 함으로써, 유지보수 인력과 비용을 절감시키는 다양한 실용화 기술이 현장에 적용되고 있다.

본 논문은 “레일패드의 탄성이 200kN/mm 이상인 하드한 레일 패드와 e 클립”을 “60kN/mm의 소프트한 레일패드와 Q 클립”으로 교체하였을 때 교체 전, 후 궤도에 나타나는 역학적 거동을 현장에서 동시에 정밀 측정하고 그 결과를 비교, 분석하였다. 고탄성화시 레일/휠간 접촉거동의 탄성역내 거동을 통해 레일표면 결함이 크게 감소하는 효과를 곡선부 부설을 통하여 확인하였다.

주요어: 큐클립(Q CLIP), 궤도 고탄성화 효과, 고탄성패드, 레일체결장치, 코로게이션

1. 서 론

화학공업 기술의 발전으로 우수한 내구성을 지닌 탄성패드 제작이 가능해짐에 따라 철도에 탄성패드를 적용하는 사례가 지속적으로 증가하고 있는 추세이다. 국제적으로는 자갈도상에서 침목 하부에 탄성패드를 부착한 USP(Under Sleeper Pad) 침목을 적용하거나, 하드한 레일패드를 소프트한 레일패드로 교체하여 궤도를 고탄성화 함으로써 유지보수를 절감시키는 다양한 실용화 기술이 현장에 적용되고 있다. 본 논문은 “레일패드 정적강성이 200kN/mm 이상인 하드한 기준

* 삼포레일웨이(주) 기술연구소

** 한국철도기술연구소 KRRRI

*** 대구도시철도공사 DTRO

**** 공항철도 AREX

레일패드와 e 클립”을 “60kN/mm 의 소프트한 레일패드와 고탄성 Q 클립”으로 교체한 후 두 구간에서 나타나는 역학적 거동을 현장에서 동시에 정밀 측정 및 그 계측 결과를 비교 분석하고 적용 효과를 확인 하였다. 개발 제품은 Q 클립형 레일체결장치로써 2016 년 1 월 철도안전법에 의거한 궤도용품 “품질인증”을 득하였다. 이전 연구 논문(참고 문헌 7)에서는 자갈도상에서 침목거동에 대한 계측결과를 토대로 침목의 진동가속도가 기존 클립 대비 1/10 로 감소함을 통해 궤도틀림 진전을 감소와 도상자갈의 수명 증대 효과를 확인하였다.

Table 1. Sensor installation for data acquisition

Sensor	Wheel load	Vertical disp.(mm)		Stress(Mpa)		Acceleration(g)		channel	Total channel
		rail	PCT	rail	PCT	rail	PCT		
e clip	4	4	4	4	2	4	4	26	52
Q clip	4	4	4	4	2	4	4	26	

Sensor/
measurement


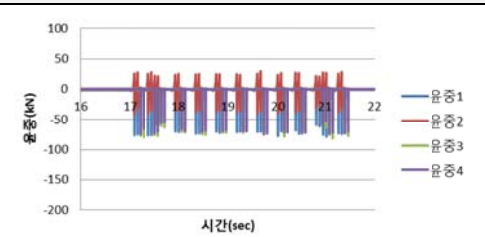
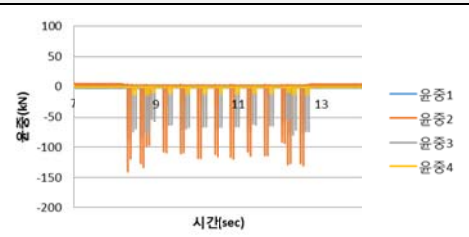
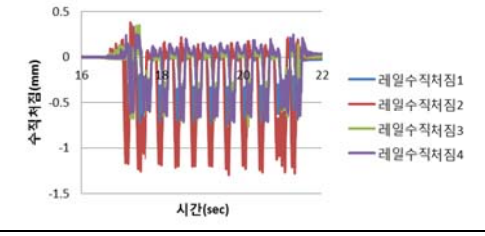
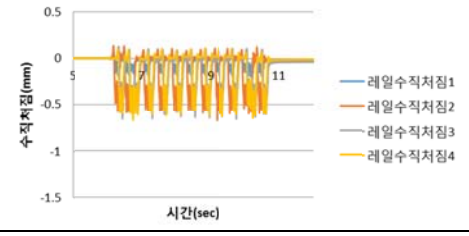
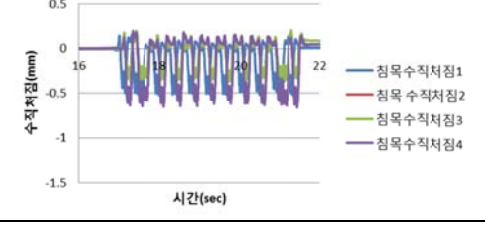
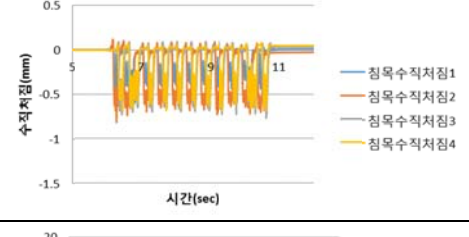
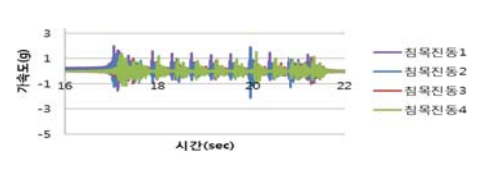
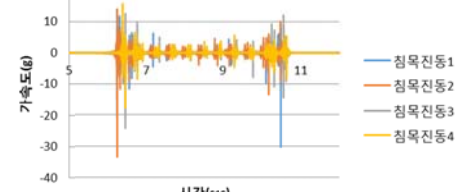


Table 2. The measurement results of rail, PCT behavior (KTX)

Items		Q clip fastening system (after)	E clip fastening system (before)
Wheel load			
Vertical displacement (mm)	rail		
	PCT		
Vibrational Acceleration (g)	PCT		

2. Q클립 레일체결장치의 콘크리트궤도 적용 현황 및 효과

2.1 콘크리트궤도 적용 현황

2.1.1 대구도시철도 1호선 STEDEF궤도

DTRO 1호선은 1997년 개통되어 20년이 경과되었다. 궤도 시스템은 STEDEF로써 방진부츠 내 침목아래 12mm두께의 EPDM 방진패드와 300kN/mm의 저탄성 레일패드, e2007클립, 60kg레일로 구성되었다. 체결시스템의 조립체 강성은 KRS TR0014(15R)레일체결장치 B형식(P.1~34.4kN/mm)에 따른 시험결과 12kN/mm인 것으로 나타났다. Table3에서 보는 바와 같이 도상에 90mm가 묻히며 트윈블럭은 L-형강으로 연결된다. 2014년 12월에 칠성시장역과 신천역간 R=450m(C=148mm, V=80Km/h) 구간에 200m를 시험부설하였으며, 현재까지 2년 5개월이 경과하였고, 궤도는 매우 양호한 상태를 유지하고 있다.

2.1.2 공항철도 LVT궤도

AREX는 2007년 3월 개통되어 10주년을 맞았다. 궤도 시스템은 LVT로써 방진부츠 내 침목아래 12mm두께의 방진패드와 300kN/mm의 저탄성 레일패드, e2007클립, 60kg레일로 구성되었다. 체결시스템의 조립체 강성은 23.5kN/mm(자재구매제작시방서.' 03.02)이다. Table3에서 보는 바와 같이 도상에 200mm가 묻히며 단독 RC블록으로 고정된다. 2016년 11월에 서울역과 공덕역간 R=400m(C=125mm, V=60Km/h) 구간에 300m를 시험부설하였으며, 현재까지 6개월이 경과하였고, 궤도는 매우 양호한 상태를 유지하고 있다.





Table 3. Test installation of Q clip rail fastening system

구분	DTRO(line1) STEDEF	AREX LVT (Low Vibration Track)
Track system	<p>Diagram showing the cross-section of the STEDEF track system. It includes labels for '레일(Rail)', '계심', '체결구(Pedestal)', and '침목(Be)'. Dimensions are provided: 174mm for the rail height, 136mm for the clip height, and 550mm for the total track height. The concrete base is labeled '콘크리트 도상' with a strength of 'σck=300kg/cm²'. Other dimensions include 149mm, 91mm, and 148mm.</p>	<p>Diagram showing the cross-section of the LVT track system. It includes labels for '레일(Rail)', '계심', '체결구(Pedestal)', and '침목(Be)'. Dimensions are provided: 174mm for the rail height, 105mm for the clip height, and 550mm for the total track height. The concrete base is labeled '콘크리트 도상' with a strength of 'σ28: 300kg/cm²'. Other dimensions include 71mm, 200mm, and 148mm.</p>
Test Yard	<p>Photograph showing the test yard for the STEDEF track system, featuring multiple parallel tracks in a tunnel-like environment.</p>	<p>Photograph showing the test yard for the LVT track system, featuring multiple parallel tracks in a tunnel-like environment.</p>
Measurement	<p>Photograph showing measurement equipment (sensors and cables) installed on the STEDEF track system.</p>	<p>Photograph showing measurement equipment (sensors and cables) installed on the LVT track system.</p>
length	200m (R450m) (신천역~칠성시장역)	300m (R400m) (서울역~공덕역)

2.2 적용 효과 분석

부설구간의 공통적인 문제점은 내측레일의 코로게이션과 외측레일의 편마모였다. 이 문제를 해결하기 위하여 Q클립을 적용하였으며, 아래 Table4에서 보는 것처럼 내측레일에 발생하는 코로게이션이 현저하게 감소하였다. 동일 곡선의 1/2 구간에 개발품 Q클립과 기존 e클립을 각각 시험 부설하였으며, 4개월 지난 시점의 사진을 보면 Q클립 구간의 레일은 원래의 형상을 유지한 반면, e클립 구간은 코로게이션이 진행되고 있음을 알 수 있다. 대구도시철도의 경우 기존 e클립 구간은 6개월 주기로 레일연마를 시행하고, Q클립 구간은 18개월 주기로 레일연마를 시행하는 것으로 볼 때 레일연마 횟수가 최소 1/3이상 감소한 것으로 나타났다. 특히 Q클립 구간의 정기적인 레일연마는 코로게이션 제거보다는 웨어링을 예방하는 차원이라고 하므로, 고탄성 Q클립 레일체결장치의 코로게이션 예방효과는 매우 탁월하다고 볼 수 있다

Table 4. Effect of Q clip rail fastening system

구분	Q clip fastening system	e clip fastening system
DTRO		
AREX		

2.3 코로게이션 감소 원인 분석과 향후 연구 계획

방진부츠(Boots)침목 코로게이션의 특징은 80~100mm의 단파장 패턴의 표면 손상이다. 알려진 원인은 댐핑계수가 낮은 탄성패드 침목의 공진주파수가 레일두부에 공진현상을 유발시켜 최대 수직접촉 하중을 발생시키고, 같은 주파수 대역에서 차축의 공진이 발생한다. 이로 인해 레일두부의 궤도틀림에 의한 수직하중의 변화는 같은 주파수에서의 표면 전단력(Traction)을 유발시키며 슬립과 마모의 큰 변화를 유발시키고, 고착-슬립(Stick-Slip)이 반복하여 코로게이션이 발생한다는 것이다. 이런 복잡한 역학적 메커니즘을 이론과 시험을 통해 규명한다는 것은 매우 어려운 문제이다. 금번 논문에서는 코로게이션의 감소 이유를 체결장치의 횡강성 측면에서 접근하고자 한다. 앞에서 언급한 공진과 휠/레일간 접촉시 소성에 이르는 표면 전단력이 결함을 유발한 것으로 가정한다면 공진주파수 대역을 변경하고, 횡강성을 증가시켜 휠이 레일을 소성 변형시킬수 없도록 탄성을 증가시킨다면 소성을 방지할 수 있을 것이다. 이를 확인하기 위해 횡강성 시험을 진행하였다. 횡강성(KH)은 시험규정은 없으나 체결장치 피로시험과 동일한 조립체 조건에서 레일두부를 90도 수평으로 하중을 재하했을 때 회전강성(Km)과 수평 이동량(Kh)의 합으로 나타낼 수 있다.

횡강성 시험 값을 아래 Table5에 나타내었다. 이를 통해 고탄성패드를 사용시 횡강성 값이 하중 15kN일 때 e클립은 40.7kN/mm, Q클립은 30.7kN/mm으로 약 33% 감소함을 확인 할 수 있었다. 이는 계측된 결과에서도 확인할 수 있는데 Q클립 고탄성화 레일패드 적용시 궤도거동 변화 값 중 레일의 수평 변위는 2배 증가하여 어떤 변수보다 가장 큰 변수로 작용하고 있음을 알 수 있다.

Table 5. Horizontal stiffness

횡하중 P (kN)	12.5	15	
Q 횡강성 K_H (kN/mm)	32.5	30.7	
E 횡강성 K_H (kN/mm)	43.2	40.7	

Table 6. The measurement results at DTRO, AREX

Measurement items	DTRO (Line1) STEDEF						AREX LVT (Low Vibration Track)						
	E clip (*동일지점 측정값 없음)			Q clip			E clip			Q clip			
	Inner		Outer	Inner		Outer	Inner		Outer	Inner		Outer	
	VER ↓	VER ↓	HORI ↔	VER ↓	VER ↓	HORI ↔	VER ↓	VER ↓	HORI ↔	VER ↓	VER ↓	HORI ↔	
Displacement (mm)	Rail (between)	-	-	-	2.21	1.96	1.24	0.67	0.65	0.74	0.79	0.78	1.41
	Rail (fastener)	-	-	-	-	-	-	-	0.60	-	-	0.76	-
	sleeper	-	-	-	2.18	1.45	0.8	0.78	0.50	0.16	0.70	0.47	0.20
Acceleration (0.8m/s ² , g)	Rail	-	-	-	43.62	19.86	-	35.76	18.19	-	50.16	25.77	-
	sleeper	-	-	-	-	-	-	100%	100%	-	145%	172%	-
		-	-	-	17.95	11.07	-	7.65	3.68	-	4.75	2.20	-
Stress (MPa)	Rail	-	-	-	64.00	48.05	-	36.0	38.82	-	37.84	36.81	-
		-	-	-	-	-	-	100%	100%	-	106%	96%	-

Table 7. Measuring results graph of vertical accelerations(sleeper)

ITEMS	DTRO (Line 1) STEDEF	AREX LVT
E clip (Before)	N.A	<p>Inner: 7.65g, Outer: 3.68g</p>
Q clip (After)	<p>Inner: 18.0g, Outer: 11.04g</p>	<p>Inner: 4.8g(↓37%), Outer: 2.2g(↓34%)</p>

3. 결 론

본 연구에서는 고탄성 Q클립형 레일체결장치를 콘크리트도상 STEDEF, LVT궤도에 적용하고, 고탄성 Q클립형 레일체결장치 적용구간과 기존 e클립 적용구간의 궤도에 나타나는 거동을 시험을 통해 측정하고 그 결과와 효과를 비교 분석하였다. STEDEF(12kN/mm), LVT(23.5kN/mm)궤도에 Q클립 고탄성패드를 적용했을 때 공통적으로 나타나는 현상은 레일 처짐값과 응력이 약 10% 증가하고, 레일의 진동가속도는 증가한 반면, 침목의 진동가속도는 약 40%정도 감소함을 확인 할 수 있었다. **적용 효과로는 적용곡선 2개소에서 공통으로 나타났던 내측 레일 코로게이션이 대폭 감소한다는 것이다.**

대구도시철도의 경우 기존 e클립 구간은 6개월 주기로 레일연마를 시행하고, Q클립 구간은 18개월 주기로 레일연마를 시행함으로써 유지보수 인력절감과 소음/진동의 감소와 이를 통한 승차감 향상에 크게 기여하고 있다. 이러한 코로게이션 감소의 원인은 궤도 거동분석 결과, 레일 횡변위가 기존 0.74mm에서 Q클립 고탄성패드 적용시 1.41mm로 약 2배가 증가한 것에 기인한 것으로 유추해 볼 수 있다. 방진부츠 궤도는 상하 수직궤도 강성은 상당히 유연하나, 좌우 횡방향 강성은 상당히 경직되어 있다. 이러한 경직성이 휠/레일간 접촉시 표면 전단력이 접촉면을 소성에 이르게 하여 코로게이션으로 진전되는 것으로 예측된다. 고탄성 Q클립형 레일체결장치 적용시에는 횡강성 값이 약 33% 감소하여, 휠/레일간 접촉시 탄성영역내에서 레일을 유연하게 거동하게 함으로써 레일 코로게이션이 감소하는 것으로 판단된다. 향후 지속적인 연구를 통해 고탄성 Q클립 레일체결장치에 대한 최적화와 코로게이션 감소 기제에 대한 연구를 수행할 계획이다.

감사의 글

본 연구는 2015년 철도기술연구사업으로 추진중인 “고속철도용 분기기 국산화 및 성능개량 기술개발(15RTRP-B065498-03)” 과제로 진행되었습니다. 시험부설과 정밀 측측에 협조해주신 대구도시철도공사(DTRO)와 공항철도(AREX)에 감사드립니다.

참고문헌

- [1] 이동욱외2 (2011) “도시철도 궤도구조별 궤도지지강성 평가를 위한 실험적 연구” 제14권 제3호 PP262-270
- [2] 김만철(2014) “간선철도 고속화를 고려한 자갈도상궤도구조 개량방안에 대한 실험적 연구”
- [3] KORAIL(2006) “기존선 속도향상을 위한 궤도재료 개선에 관한 기초 연구” 보고서
- [4] 권선태(2004) “레일패드 소재의 물리적 특성에 관한 비교 연구”
- [5] 최진유(2010) “레일패드의 강성이 자갈궤도 침하에 미치는 영향 연구”
- [6] 한국철도기술연구원 http://1.241.70.112/info/tech/20030621/1_8875.html 철도정보
- [7] 윤병현외3(2015) “자갈도상용 고탄성레일체결장치 현장적용에 관한 연구” 철도학회 추계