

도상 및 노반상태 평가를 통한 궤도유지보수작업의 적정성 연구

Study on the Appropriateness of Track Maintenance Works through the Evaluation of Trackbed Conditions

김대상[†] · 권순섭* · 이수형** · 황선근*** · 박태순****

Dae-Sang Kim · Soon-Sup Kwon · Su-Hyung Lee · Seon-Keun Hwang · Tae-Soon Park

Abstract Ballast track needs maintenance works because it is supported by the compressible trackbed and subgrade layers. Maintenance works are essential to secure riding comfort and extend the life cycle of it. The necessities of maintenance works are determined from track irregularities measured by EM120. Track irregularities is the results of the track deformation. Therefore, it is natural to evaluate the cause of it. This paper focuses on the points the track irregularities come from the trackbed and the subgrade. Nondestructive techniques, such as Ground Penetrating Radar (GPR) and Portable Falling Weight Deflectometer (PFWD) are applied to evaluate the trackbed conditions, ballast layer thickness and vertical track stiffness, in the test section 500m long of Gyungbu line. The trackbed investigation results are compared with the track irregularities measured by EM120 and maintenance works. Conclusively, it was found that some maintenance works were unnecessary on the test section.

Keywords : Track irregularities, Maintenance works, Trackbed, Evaluation of Conditions, Riding comfort

요 지 자갈궤도는 압축성 재료인 자갈과 흙을 기초로 하여 건설되므로 공용 기간 중 승차감을 확보하고 수명연장을 위해서는 유지보수작업이 필수적이다. 현재 수행되고 있는 자갈궤도에 대한 유지보수 작업은 EM120검측차를 이용한 궤도틀림 측정 결과로부터 결정된다. 궤도틀림은 궤도에 변형이 발생된 결과를 측정하는 것으로, 궤도틀림을 유발시키는 근본적인 원인을 평가해 볼 필요가 있다. 본 연구에서는 궤도틀림의 원인이 궤도를 지지하는 도상과 노반에 있다고 판단하고, 도상 및 노반의 상태를 평가할 수 있는 비파괴탐사법(GPR과 PFWD)을 개발하고 이를 경부선 500m구간에 적용하였다. 개발 적용된 방법은 층 두께 평가법과 궤도수직강성 평가법 및 도상 노반 시추법이다. 도상 및 노반 상태평가 결과를 기 수행된 궤도틀림 검측결과 및 유지보수작업과 비교함으로써 불필요한 유지보수작업 구간을 평가하였다.

주요어 : 궤도틀림, 유지보수, 도상 및 노반, 상태평가, 승차감

1. 서론

자갈궤도는 그림 1과 같이 레일 및 침목의 상부구조와 도상 및 노반의 하부구조로 구성되어 있다. 자갈궤도의 기초에 해당하는 도상 및 노반이 건전한 상태를 유지하고 있는가, 그렇지 못한가는 상부구조인 궤도를 경제적이고 효율적

으로 사용하는 측면에서 매우 중요하다. 특정시점에서의 기초의 건전도 평가는 상부구조의 안정성 확보, 유지보수 필요성 측면에서 중요하기 때문이다[3].

자갈궤도의 공용기간 중 발생하는 침하를 지속적인 유지보수작업을 요구한다. 증가하는 유지보수작업은 국민생활 수준의 향상과 함께 증가하는 인건비 부담으로 돌아온다. 따라서 공용 기간 중 궤도틀림을 최소화하여 유지보수 비용을 줄이는 것은 중 철도의 전체 생애주기비용을 줄일 수 있는 지름길이다.

본 연구에서는 궤도틀림의 근본원인을 제공하는 것으로 판단되는 도상층과 노반층의 상태를 평가하기 위하여 경부하 1선의 시험구간에 대한 현장시험을 실시하였다. 이를

[†] 책임저자 : 정회원, 한국철도기술연구원, 궤도토목연구본부 선임연구원
E-mail : kds@krii.re.kr

TEL : (031)460-5305 FAX : (031)460-5319

* 정회원, 남광토건, 토목사업본부 상무

** 정회원, 한국철도기술연구원, 궤도토목연구본부 선임연구원

*** 정회원, 한국철도기술연구원, 궤도토목연구본부 책임연구원

**** 정회원, 서울산업대학교, 토목공학과 교수

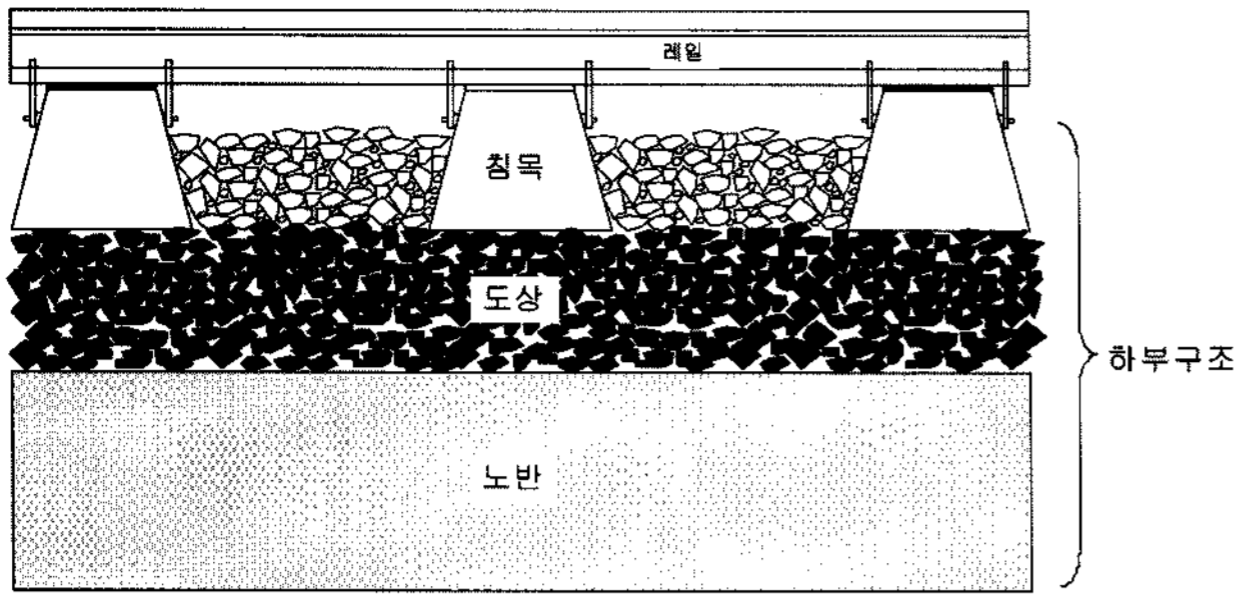


그림 1. 자갈궤도시스템

통하여 도상 및 노반의 상태가 궤도틀림에 미치는 영향을 평가함으로써 기 수행된 유지보수 작업의 적정성을 확인하였다.

2. 현장조건 및 시험방법

2.1 현장조건

현장시험은 경부선 OO역에서 OO역 사이 500m 구간에서 실시하였다. 표 1은 시험구간에 대한 요약이다. 시험구간은 사전 현장조사를 통하여 분니와 뜬 침목이 빈번하게 발생한 유지보수작업이 필요한 구간으로 선정하였다. 사진 1은 시험구간의 시점에서 바라 본 시험구간 전경이다.

표 1. 시험구간 요약

선명	역명	구간	구간 거리
경부선	A역~B역	07k600m~08k100m	500m



사진 1. 시험구간(경부선)

시험구간은 경부선 하행 1선 직선구간으로, 새마을호, 무궁화호 및 화물열차가 통과하는 2급선 구간이다. 시험구간 중 07k675m~07k685m 사이의 10m 구간은 신축이음매가 설치된 목 침목 구간으로, 구간의 종 구배는 하향 8%이다.

사용 레일 중량은 50kg/m이며, 침목은 PC침목과 목침목이 혼용되고 있다.

2.2 시험방법

현장의 도상 및 노반 상태를 평가하기 위하여 도보 및 육안조사, GPR(Ground Penetrating Radar), PFWD (Portable Falling Weight Deflectometer), PBS(Portable Ballast Sampler)시험을 수행하였다. GPR법은 전자기파를 이용한 비파괴탐사법으로 층 두께 평가를 위하여, PFWD는 탄성론에 기초하여 대상 매질의 탄성계수를 결정하는 시험법으로 본 연구에서는 재하하중/처짐 비를 측정하여 궤도 수직강성을 평가하였다. PBS는 도상 자갈층과 노반 상층을 시추할 수 있도록 설계된 회전 및 타격 시추기로, 본 연구에서는 대표구간에 대한 1.15m의 시추를 통하여 층 두께를 직접 확인할 수 있었다. 표 2는 현장에서 수행한 전체 시험내용을 정리하였다.

표 2. 시험내용

	GPR	PFWD	PBS
경부선	1회(2004. 6. 30)	50m간격 (11개소)	5공(궤간중앙)
	1회(2005. 6. 21)	34m(33개소), 103m(90개소)	2공(레일부근)
	1회(2005. 10. 18)	320m(543개소)	-

3. 현장시험 결과

3.1 층 두께 평가

그림 2는 07k600m부터 08k100m까지 500m 구간에 대한 GPR시험을 실시한 개요이다. 시험은 열차 진행방향과 진행 직각방향에 대하여 실시하였다. 열차 진행방향의 경우 궤간 중앙(측선 7), 중앙에서 좌우 25cm(측선 1과 2), 50cm(측선 3과 4), 105cm(측선 5과 6)지점의 7개 단면에 대하여 시험을 실시하였다. 2004년 6월 30일 시험은 궤간 중앙(측선 7)단면에 대하여 실시하였고, 2005년 6월 21일 시험은 궤간 중앙(측선 7) 및 좌우 레일 외측(측선 5, 6)과 5개 횡단면(50m, 150m, 250m, 350m, 450m)에 대하여 실시하였다. 2005년 10월 18일 시험은 종측선 7개 단면 전체에 대하여 실시하였다.

그림 3은 2004년 6월 30일 수행한 시험 결과로, 도상층과 관입층 경계, 관입층과 노반면 경계를 점선으로 표시하였다. 50m, 150m, 250m, 350m, 450m 지점에서 PBS를 이용하여 시추한 결과도 함께 나타내었다. 구간별 시험 분석 결과는 다음과 같다.

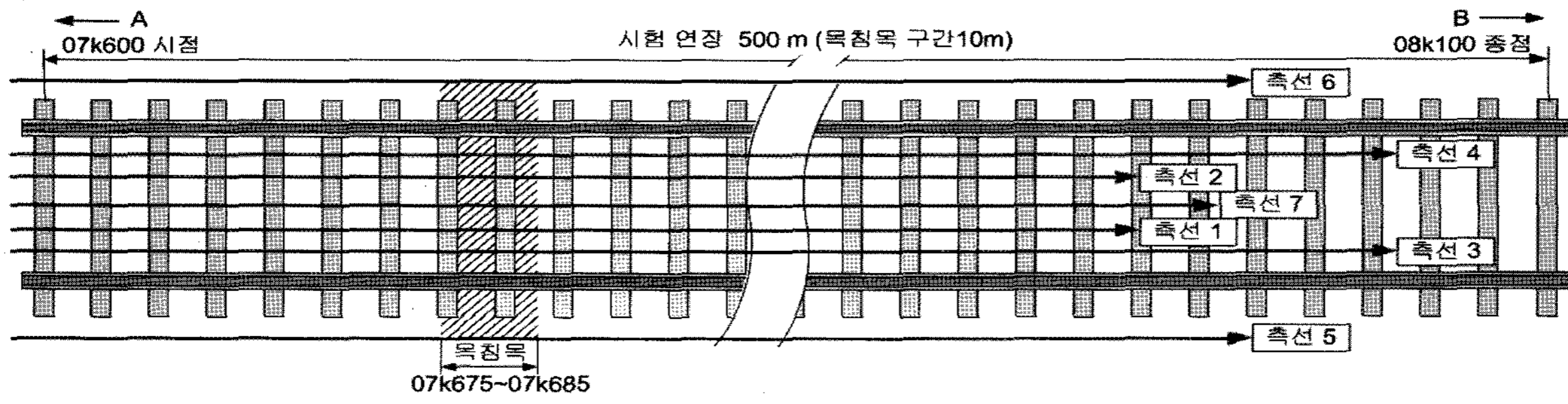
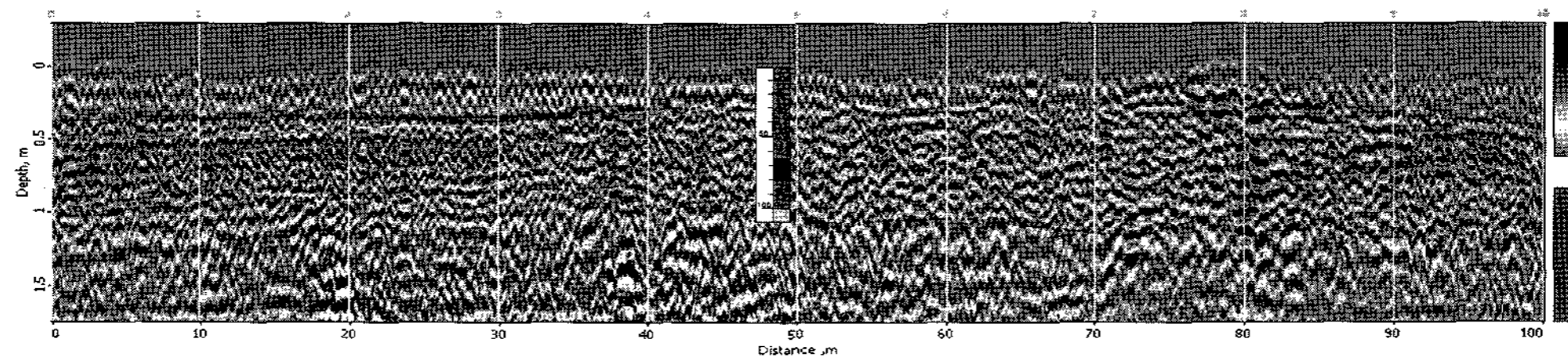
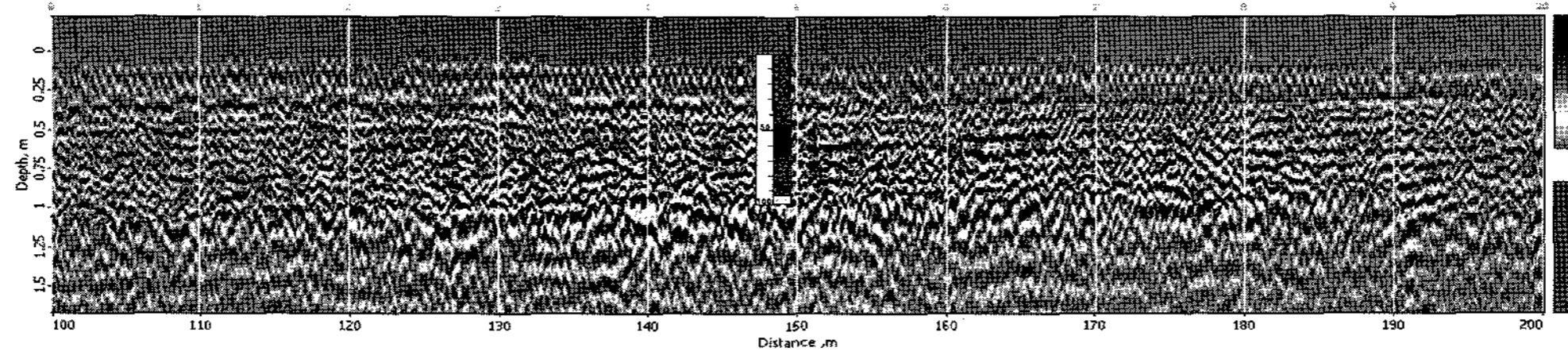


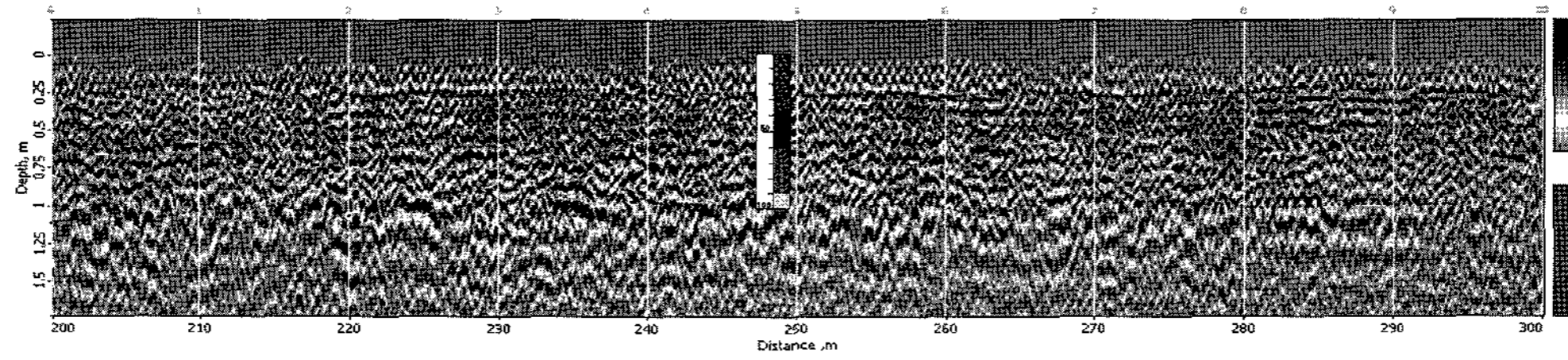
그림 2. GPR 시험개요



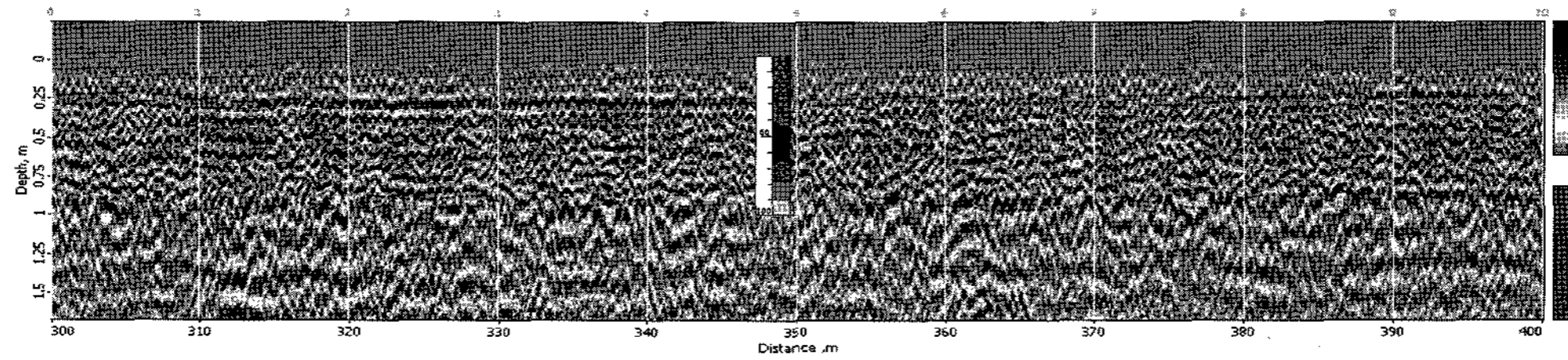
a. 0~100m(07k600~07k700)구간



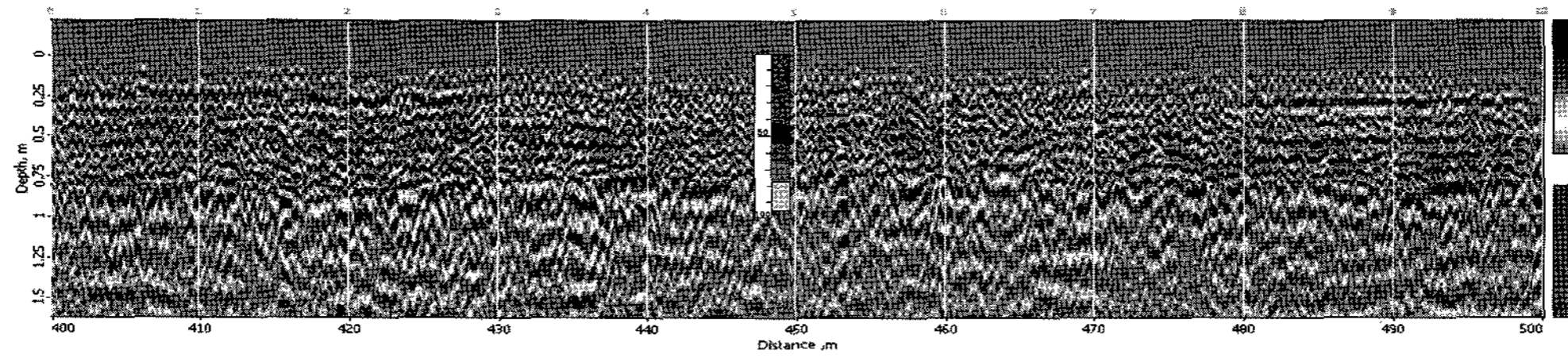
b. 100~200m(07k700~07k800)구간



c. 200~300m(07k800~07k900)구간



d. 300~400m(07k900~08k000)구간



e. 400~500m(08k000~08k100)구간

그림 3. GPR 시험결과(2004년 6월 30일)

1) 0~100m 구간 : 0~45m 구간은 도상층 두께가 일정 수준(30~40cm) 확보되어 있으나, 45~90m 구간은 도상층 두께가 부족하였다. 동 구간은 노반분리 발생구간으로, 노반분리 발생으로 세립분이 도상층으로 이동하여 도상층 두께가 감소한 것으로 확인되었다. 또한 45~90m 구간은 시험구간 중 관입층이 가장 두껍게 발생(50m 지점, 90cm)하였고, 층 두께 변화가 큰 것으로 확인되었다.

2) 100~200m 구간 : 도상층 두께는 30cm 전후로 균등하였으며, 150m 지점에서 33cm였다. 관입층 두께는 150m 지점에서 59cm로 약간 감소하였으나, 두께 변화는 크지 않았다. 도상층을 포함한 관입층 두께는 1m정도였다.

3) 200~300m 구간 : 도상층 두께는 균등하였으나, 100~200m 구간보다 층 두께가 전반적으로 부족하였다. 250m 지점의 도상층 두께는 26cm였고, 관입층은 두껍게 발달하였다.

4) 300~400m 구간 : 25~30cm의 비교적 평탄하며 충분한 도상 두께를 확보하고 있는 구간으로, 관입층 두께는 350m 지점에서 49cm로 두껍지 않았다.

5) 400~500m 구간 : 도상층 두께는 25~30cm 범위에 있었으나, 층 두께 변화가 있었고 450m 지점의 도상층 두께는 24cm로 약간 부족하였다. 관입층 두께는 가장 얇았고, 450m지점에서 40cm였다.

전체적으로 볼 때, 시험구간의 도상층 두께는 10~40cm로 변화하고, 관입층 두께는 40~90cm로 변화하였다. 도상층 두께 부족구간은 45~90m 구간으로 확인되었고, 관입층은 0~300m 구간에서 두껍게 발생하였으며, 300~500m 구간에서는 상대적으로 두께가 얇았다. 노반분리가 발생한 45~90m 구간에서 관입층이 가장 두꺼운 것을 확인할 수 있었다. 그림 4는 2005년 6월 21일 350m 지점에서 측정된 횡단면 층 두께 평가결과이다.

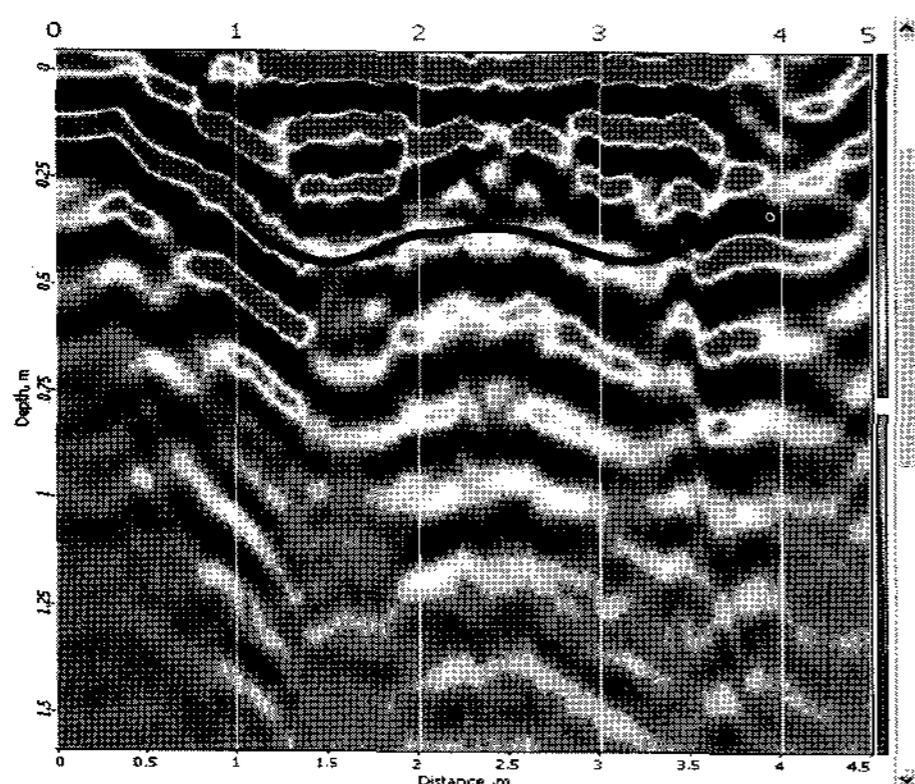


그림 4. 횡단면 시험결과(350m, 2005년 6월 21일)

횡단면 시험현장은 4.5m로, 그림에서의 실선은 도상과 노

반 경계면이다. 도상 노반 경계면 형상이 “W”자형으로 레일이 위치한 지점 하부에서 열차하중의 영향으로 도상 관입이 크게 발생한 것을 알 수 있다. PBS를 이용하여 채취한 샘플에 대한 물성시험 결과는 표 3과 같다. 입도분석 결과 도상층은 GW와 GP로, 관입층은 GW-GM로, 노반층은 SM, SC로 분류되었다. 50m지점의 관입층에 대한 #200체 통과량(11.9%)이 가장 높은 것을 확인할 수 있었다. 현장 함수비는 개소에 따라 편차가 크며 대략 20% 이하였다.

표 3. 물성시험 결과

구분	비중 (G _s)	# 200체 통과량	Atterberg Limit			통일 분류	현장 함수비 (%)
			LL	PL	PI		
No.1 (50m)	도상					GW	
	관입	11.9	NP	NP	NP	GW-GM	
	노반	2.63	41.5	29.0	24.2	4.8	SM
No.2 (150m)	도상					GP	
	관입	6.6	NP	NP	NP	GW-GM	
	노반	2.66	31.4	29.2	22.5	6.7	SM-SC
No.3 (250m)	도상					GP	
	관입	5.8	NP	NP	NP	GW-GM	
	노반	2.65	31.5	30.1	24.9	5.2	SM
No.4 (350m)	도상					GP	
	관입	6.4	NP	NP	NP	GW-GM	
	노반	2.62	14.2	27.2	20.0	7.2	SC
						SM	
No.5 (450m)	도상					GP	
	관입	9.00	NP	NP	NP	GW-GM	
	노반	2.63	17.0	27.6	19.9	7.7	SC
						SM	

3.2 궤도수직강성 평가

궤도수직강성은 궤도에 작용하는 운중에 대한 처짐비로 정의되나, 이를 실험적으로 평가하는 것은 쉽지 않다. 본 연구에서는 레일 상 체결장치(사진 2)를 개발하여 레일 상

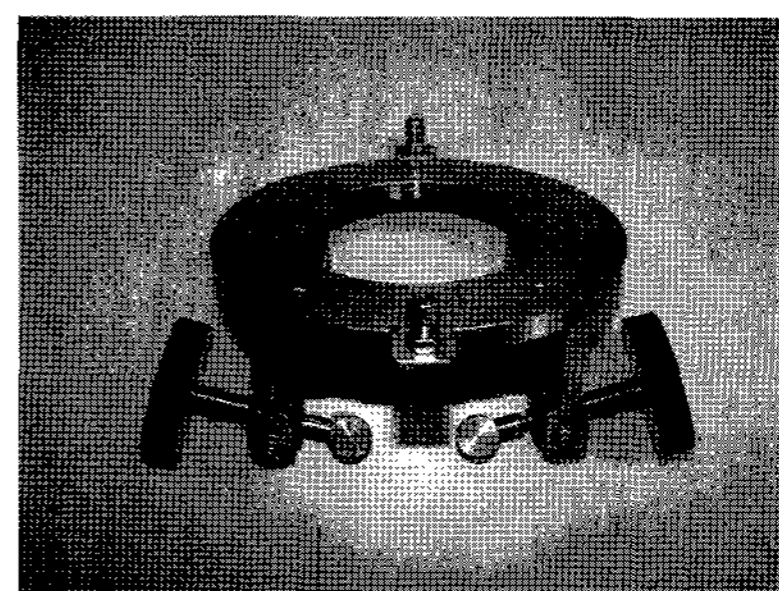


사진 2. 궤도 상 체결장치

하중재하시험도 실시하였으나, 궤도수직강성 평가를 위하여 시험이 용이한 침목 상에 충격하중을 가한 후 침목에서 발생하는 침하량으로부터 궤도수직강성을 평가하였다.

엄밀하게 말하면, 침목을 지지하는 유효단면적을 고려하여 도상계수(Coefficient of Ballast)형태로 지지강성을 표현하는 것이 적절하나, 유효단면적 결정의 불확실성으로 침목에 작용하는 하중/처짐의 비로 궤도수직강성을 평가하였다. 그림 5는 강성평가를 위한 PFWD 시험개요이다. 시험은 열차 진행 방향의 우측레일의 내 외측 침목 상면에서 실시하였다. 현장여건 상 혹은 시험 시 충격하중으로 인하여 침목 파손이 우려되는 개소의 경우 내측 혹은 외측으로 시험지점을 변경하였다. 재하 시 적용하중은 20kgf였다.

07k600m에서 07k675m 구간의 강성은 CL(Cleaner) 작업 실시(2005년 4월 26일) 2개월 경과(2005년 6월 21일) 시점에서는 평균 68.4MN/m이었으나, 6개월경과(2005년 10월 18일) 시점에서는 평균 24.6MN/m로, CL작업 후 불과 6개월 만에 강성이 절반 이하로 감소한 것을 알 수 있었다. 신축이음매 구간(07k675m부터 07k685m까지 10m 구간)은 목 침목 구간으로 기계 유지보수 작업이 가능하지 않은 구간으로, 강성이 낮은 상태로 유지되고 있었다. 07k685 이

후 구간의 경우 궤도수직강성은 평균 80MN/m에서 50MN/m로 점진적으로 감소하는 경향을 보여 주었다.

그림 6은 시험구간의 궤도수직강성 변화도이다. 2005년 6월 21일과 10월 18일 2회 실시한 시험결과이다. 2005년 6월 21일 시험 시 최대 궤도수직강성은 119.2MN/m였고, 최소강성은 12.3MN/m였다. 07k685 이후 구간의 강성은 양호하였으나, 이전 구간의 강성은 불량하였다. 궤도수직강성이 낮은 개소는 10~30MN/m의 강성을, 지지강성이 높은 개소는 60~100MN/m의 강성을 갖는 것으로 평가되었다.

4. 궤도틀림 및 유지보수 작업분석

도상 및 노반상태 평가를 통한 궤도유지보수 작업의 적정성을 평가하기 위하여 검측차(EM120)로 측정한 궤도틀림 자료 및 유지보수 작업내용을 분석하였다.

4.1 궤도틀림 분석

현행 국철의 유지보수작업은 궤도틀림 최대값을 사용하여 결정된다. 본 연구에서는 궤도틀림의 진행 상태를 분석하기 위하여 궤도틀림 표준편차를 평가하였다.

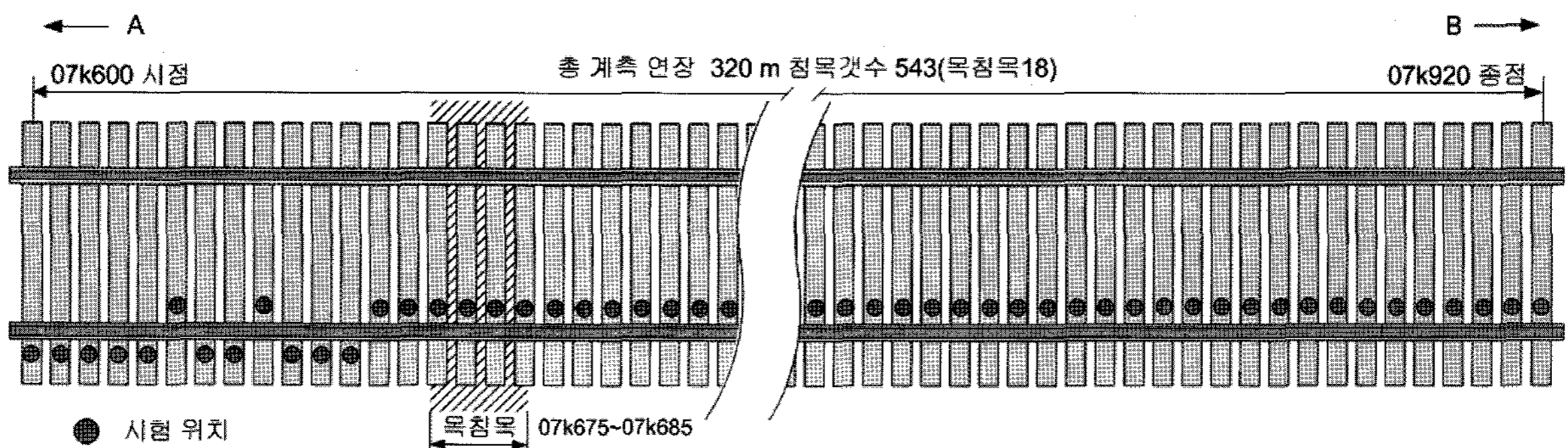


그림 5. PFWD 시험개요

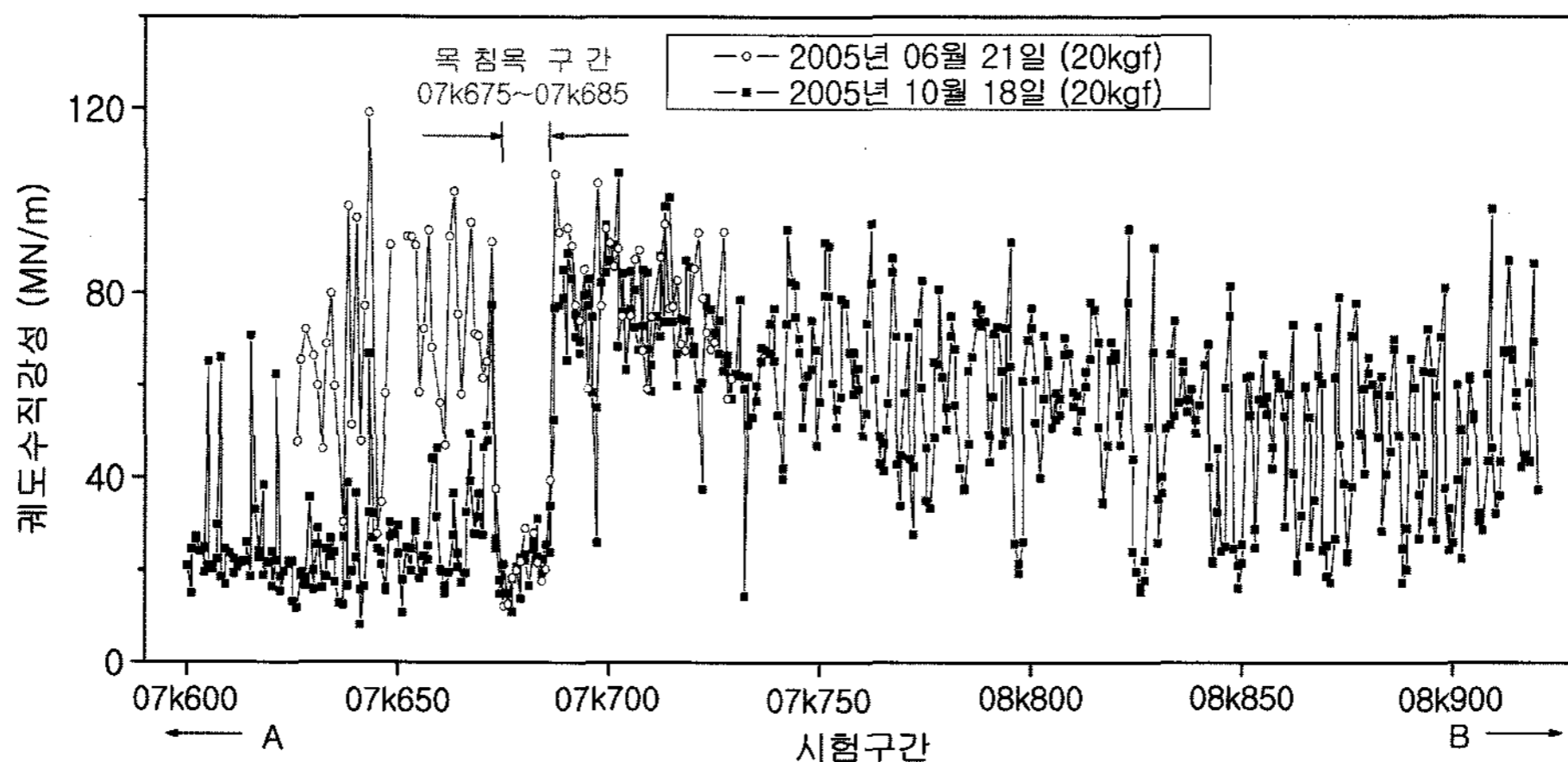


그림 6. 궤도수직강성

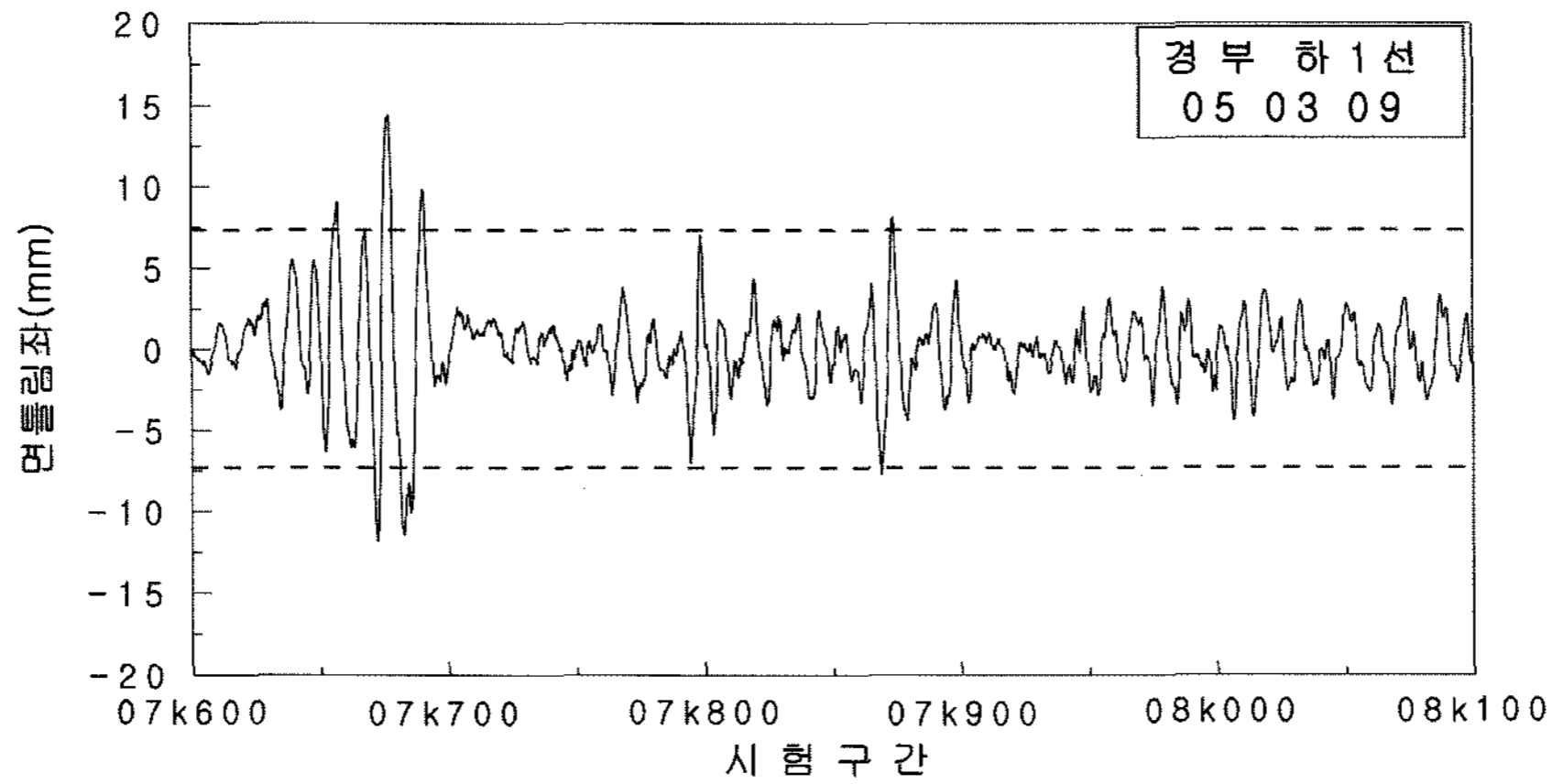


그림 7. 면틀림좌

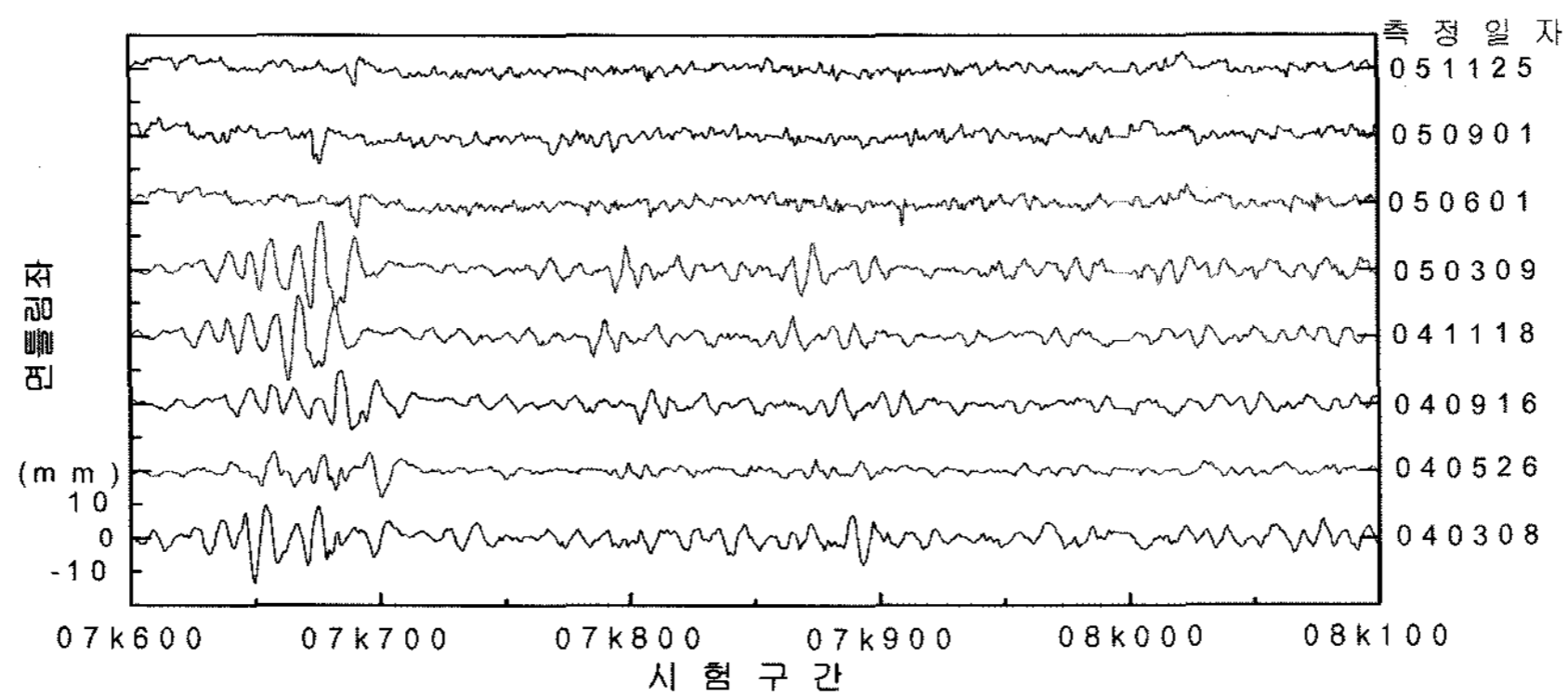


그림 8. 면틀림좌 (측정 일자별)

그림 7은 2005년 3월 9일에 실시한 궤도틀림 계측결과로, 07k650m에서 07k700m구간에서 궤도 정비기준인 7mm를 초과하는 것을 알 수 있다.

그림 8은 면틀림좌 성분에 대한 궤도틀림 측정 일자별 변화도로, CL작업을 수행한 2005년 4월 25일 이후 면틀림좌는 크게 개선된 것을 알 수 있다.

그림 9는 07k600m~07k700m 100m구간의 면틀림좌에 대한 2년간의 표준편차 변화와 유지보수 작업과의 상관성을 분석한 결과이다. 동 구간에서의 면틀림좌에 대한 표준편차는 2005년 3월 9일 가장 크며, 0.0095mm/day의 속도로 증가한 것을 알 수 있다. CL 작업 후 표준편차 복원량은 3mm였다.

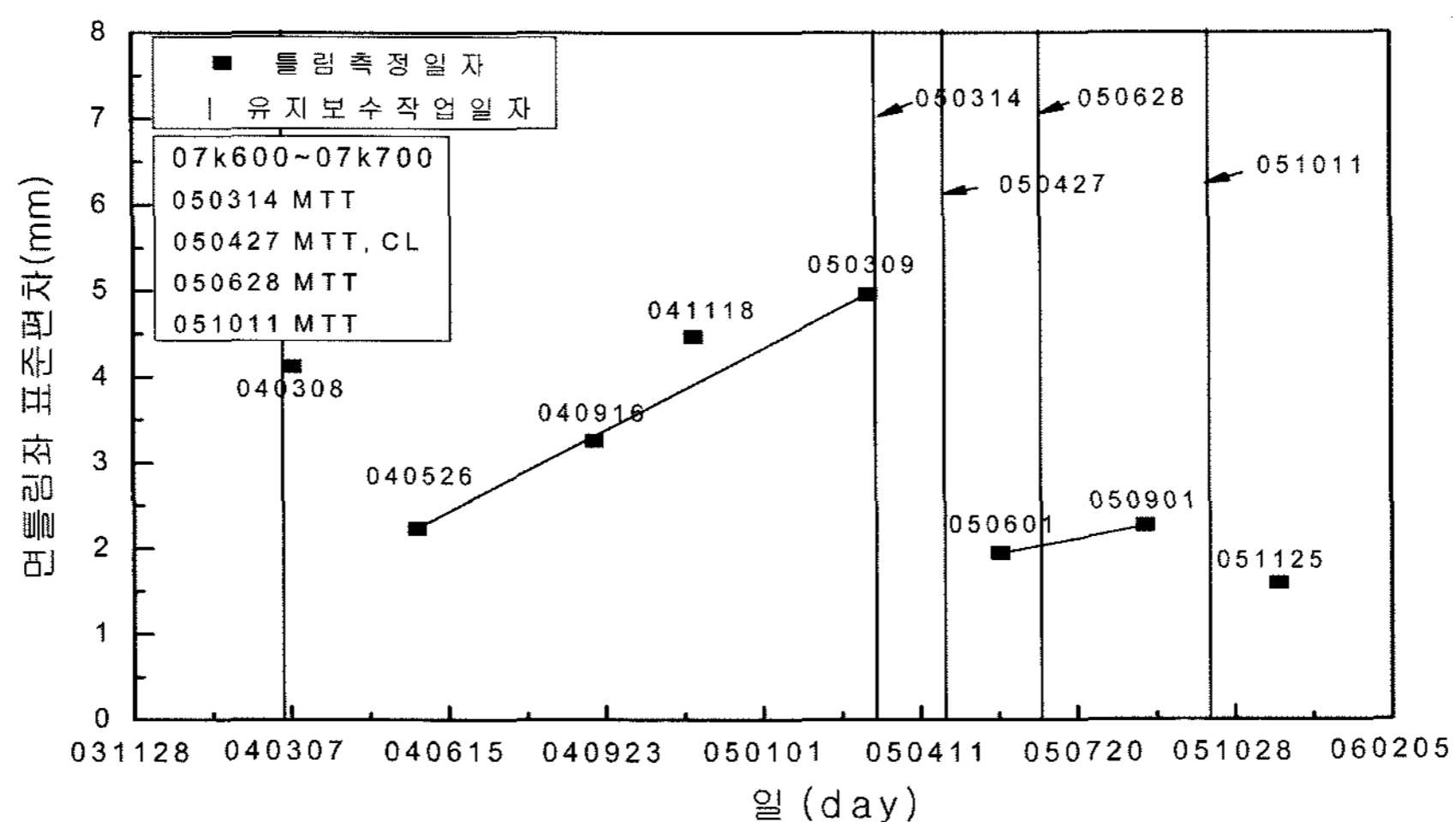


그림 9. 면틀림좌 표준편차 변화(07k600~07k700)

2005년 4월 27일의 CL작업으로 면틀림이 큰 쪽으로 정정 되었으나, 2005년 6월 28일에 실시한 MTT작업은 궤도 틀림 정정 효과가 거의 없었던 것으로 평가되었다.

4.2 유지보수작업 분석

표 4는 2005년도에 실시한 경부 하1선 시험구간의 유지 보수 내용이다. 2005년도 기계작업 내용을 살펴보면, 시험 구간 중 07k650m에서 07k750m 구간의 연간 MTT횟수는 6회로 타 구간과 비교하여 상대적으로 많았다<그림 10>. 시험구간의 MTT작업은 5회 수행되었으며, CL작업은 1회 실시되었다. CL작업은 07k660m에서 07k840m 사이의 180m 구간에 대하여 실시되었다. 도상 및 노반에 대한 층 두께 및 궤도수직강성 평가결과 CL작업이 필요한 구간은

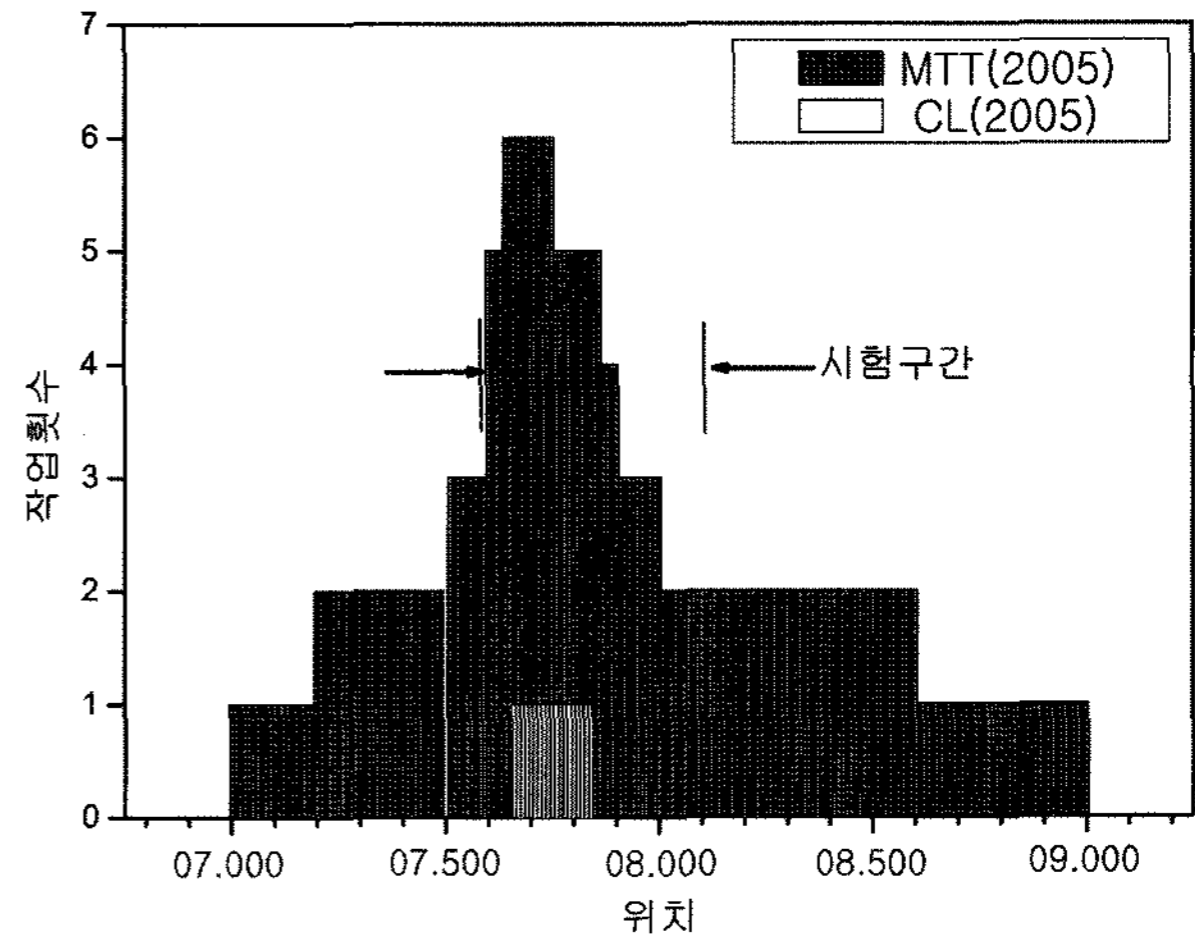


그림 10. 유지보수 기계 작업횟수(2005년도)

표 4. 경부 하1선(07k600~08k100) 유지보수작업(2005년)

보수작업		시험구간	07K600 ~ 08K100										작업 실적
			07K600	07K700	07K800	07K900	08K	08K100					
2 0 0 5	0314	MTT	[Bar]										07.600-08.600
		STT	[Bar]										04.500-08.600
		CO	[Bar]										07.600-08.600
	0425	MTT	[Bar]										07.600-07.750
		RE	[Bar]										07.600-07.750
		DTS	[Bar]										07.600-07.750
		CL	[Bar]										07.660-07.740
	0426	MTT	[Bar]										07.640-07.860
		RE	[Bar]										07.640-07.860
		DTS	[Bar]										07.640-07.860
		CL	[Bar]										07.740-07.840
	0427	STT	[Bar]										07.600-08.600
		MTT	[Bar]										07.500-07.900
		RE	[Bar]										07.500-08.700
		DTS	[Bar]										07.500-08.700
	0628	STT	[Bar]										07.200-08.800
		MTT	[Bar]										07.000-08.000
		CO	[Bar]										07.000-08.000
	1011	MTT	[Bar]										07.200-09.000
		CO	[Bar]										07.200-09.000
RE		[Bar]										07.200-09.000	

(MTT : Multiple Tie Tamper, STT : Switch Tie Tamper, Co : Ballast Compactor, RE : Ballast Regulator, CL : Ballast Cleaner, DTS : Dynamic Track Stabilizer)

07k645m에서 07k690m 사이의 45m 구간으로, 07k645m에서 07k660m 사이의 구간은 작업이 수행되지 않았고, 07k690m에서 07k840m 사이의 150m 구간은 불필요한 잉여 작업이 수행된 것으로 판단된다.

5. 결론

경부선 07k600m에서 08k100m의 500m 구간에서 GPR을 이용한 도상 층 두께 평가, PFWD를 이용한 궤도수직강성 평가, 궤도틀림 및 유지보수 작업 분석을 실시하였다. 이와 같은 도상 및 노반의 상태평가를 통하여 궤도유지보수작업의 적정성을 평가하였다.

1. 도상 자갈층으로 인하여 상태평가가 어려웠던 도상 및 노반에 대한 상태평가를 위하여 GPR기법(층 두께 평가)과 PFWD기법(궤도수직강성 평가)을 철도에 적용하였고, PBS를 개발하여 도상 및 노반을 동시에 그리고 제한된 시간 내에 성공적으로 시추함으로써 철도노반의 상태평가 체계를 구축할 수 있었다.
2. 시험대상구간에 대한 GPR시험 결과 도상층 두께는 10~30cm로 변화하였고, 도상층과 노반층 사이의 도상자갈과 노반흙이 혼재한 관입층은 40~90cm 두께로 존재하였다. 노반분리가 발생한 구간인 45~90m 구간은 도상층 두께가 부족하였고, 관입층이 두껍게 발달하였다. 열차진행 직각방향인 횡단면상의 도상 노반 경계면 형상은 “W”자형으로 확인되어, 열차하중의 영향으로 레일 위치 지점에서의 도상자갈의 노반으로의 관입이 크게 발생하고 있는 것을 확인할 수 있었다.
3. PFWD를 이용한 궤도수직강성을 평가한 결과, 궤도수직강성이 낮은 개소는 10~30MN/m의 강성을, 지지강성이 높은 개소는 60~100MN/m의 강성을 갖는 것으로 평가되었다. 07k600m에서 07k675m 구간의 궤도수직강성은 CL작업 실시 후 6개월경과 시점에서 평균 24.6MN/m

로, 작업 후 양호했던 초기 강성의 절반이하로 감소한 것을 확인할 수 있었다.

4. 궤도틀림 및 유지보수 작업을 분석한 결과, CL작업으로 면틀림은 크게 정정 되었으나, 일부 MTT작업은 정정 효과가 거의 없었던 것으로 평가되었다. 또한 CL작업이 필요한 구간은 07k645m에서 07k690m 사이의 45m구간으로, 07k645m에서 07k660m 사이의 구간은 작업이 수행되지 않았고, 07k690m에서 07k840m 사이의 150m 구간은 불필요한 잉여 작업이 수행된 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구 내용 중 현장 제공에 협조해 주신 한국철도공사 수원 보선 관계자 여러분과 GPR 시험 시 협조를 해주신 지오글로버스(주)의 손강희 사장님께 감사의 뜻을 전합니다.

참고 문헌

1. 철도청 (1999), 철도설계기준(철도교편).
2. 철도청 (1998), 철도도상 개량을 위한 기초연구, 한국철도기술연구원.
3. 박희문, 홍재청 (2003), 비파괴검사를 이용한 도로포장 상태분석, 건설기술정보 2003년 11월호, pp 29-32.
4. J. P. Hyslip, E. T. Selig, S. S. Smith, and G. R. Olhoeft (2004), “Ground Penetrating Radar for Railway Substructure Condition Assessment”, Railway Engineering.
5. M. Burrow and M. Madelin (2004), “Track sub-base monitoring and performance”, Railway Engineering.
6. M. Brough, A. Stirling, G. Ghataora, and K. Madelin (2003), “Evaluation of railway trackbed and formation : a case study”, pp.145-156.

접수일(2008년 3월 10일), 수정일(2008년 6월 23일), 게재확정일(2008년 6월 23일)