서울도시철도공사 터널모니터링 시스템의 운영성과와 과제

Achievements and Tasks of the SMRT Tunnel Monitoring System(TMS)

박종현* · 김만화 · 박기환

Jong Hun Park · Ki Hwan Park · Man Hwa Kim

Abstract This paper is aimed to analyze the achievements of the Tunnel Monitoring System(TMS), implemented in Seoul subway L5~L8, and to find out improved methods. By introducing the TMS, it is possible to inspect tunnel facilities for 24 hours a day while trains are operated. The inspection capability could be expanded, the accuracy was improved, and the cycle was shortened. The efficiency of manpower was improved and the surplus manpower could be used for other tasks of facilities maintenance. As a result, by introduction of the TMS, the amount of tunnel maintenance was increased by 225% and the train service troubles caused by facility problems were decreased by 53%.

Keywords : Subway, TMS, Inspection, Maintenance, Vision, Sensor

초 록 본 논문에서는 서울지하철 5~8호선에 운영 중인 터널모니터링 시스템의 운영성과를 분석·평가하고 개선방안을 제시하였다. 터널모니터링 시스템 도입으로 종래에는 열차운행이 끝나야만 가능했던 터널 내 시설물 점검이 주간에 가능해졌다. TMS 도입으로 전에 비해 점검능력이 확대되었고, 정확성도 향상되었으며, 점검주기가 단축되었다. 인력활용 효율이 향상되어 중요 시설물에 대한 점검과 유지보수에 인력을 추가로 배치할 수 있게 되었다. 그 결과 예방정비 건수는 225% 증가하였고, 열차운행 장애는 53% 감소하였다.

주요어 : 원고작성 지하철, 터널모니터링, 검사, 유지보수, 비전, 센서

1. 서 론

2011년 현재 서울에는 지하철 9개 노선 316.9km가 건설되어 운영 중에 있다. 서울의 주요 상업지역과 주거지역을 정시에 연결하는 지하철은 하루 평균 670만 명이 이용하고 있다. 이용객 증가와 시민들의 활동 시간대 다양화로 지하철 운행시간이 05:30부터 익일 01:30까지 하루 20시간 가까이 되고 있다.

도시철도는 대부분 지하에 건설되므로 토목구조물과 궤도 시설, 급전시설, 신호 및 통신시설이 지하터널에 설치되어 있다. 이러한 시설들에 대한 점검과 유지보수는 열차운행이 종료되고 전차선이 단전된 후에 시작되므로 심야에 3시간 정도만 가능하다.

터널 내 시설물에 대한 점검은 대부분 교대근무에 의한 육안점검 위주로 수행되고 있다[1]. 인력에 의한 점검은 경험과 직관력, 종합적 판단력 측면에서는 우수하나, 어둡고 긴 터널에서는 점검범위와 점검능력에 일부 한계가 있을 수 있다. 점검인원 부족으로 인해 점검주기가 길어질 경우 전조증상을 인지하여 장애를 예방할 수 있는 확률이 줄어들게 되므로 장애발생 가능성이 증가할 수 있다. 또한 육안점검 위주의 시설물 유지보수체계는 작업결과에 대한 평가와 관리

가 용이하지 않아 작업품질의 저하나 조치지연이 발생할 수 있다[2].

교대근무에 의한 점검은 주간작업에 비해 많은 인력을 필요로 하며 인력활용 효율도 떨어진다. 교대근무는 업무의 연속성 감소로 조치를 다음 교대자에게 미룰 수 있으며, 같은 전조증상에 대해 교대자마다 느끼는 정도가 달라 장애를 적기에 조치하지 못할 수 있다[3].

인력점검의 한계를 극복하기 위하여 분기별로 탐상차량과 검측차량을 운행하여 레일의 균열과 틀림 등을 점검하고 있으며[1], 최근에는 고속카메라를 이용하여 전차선 마모를 측정하는 연구[4] 등이 이루어지고 있다. 그러나 탐상차량이나 검측차량을 이용한 검사는 점검대상과 항목이 매우 제한적이며, 장비가 고가여서 보유대수가 적고, 심야에만 운행할 수 있어 검사주기가 길어지는 문제점이 있다.

서울도시철도공사에서는 운행 중인 전동차에 고성능 카메라와 소음·진동 센서를 설치하여 열차운행 중에 터널 내 상황과 열차 내 소음 및 진동을 측정하여 점검하는 터널모니터링 시스템 TMS(Tunnel Monitoring System)를 개발하여 서울지하철 5~8호선에서 운영하고 있다[5].

TMS에 의한 점검이 추가로 실시되면서 육안점검만 하던 전년도에 비해 터널 내 시설물 예방보수 건수가 6개월 동안 225% 증가하였으며, 열차운행 장애도 53% 감소하였다. 이러한 결과는 TMS 도입으로 점검범위가 확대되고, 정확성이 향상되었기 때문인 것으로 분석되었다.

본 논문은 TMS 운영효과에 대한 분석과 평가를 목적으

*Corresponding author

Tel.: +82-54-630-1292, E-mail : jhpark348@yahoo.co.kr

©The Korean Society for Railway 2012

<http://dx.doi.org/10.7782/JKSR.2012.15.4.381>

Fig. 1 The configuration of TMS

로 하였다. 본 논문은 5장으로 구성되어 있다. 1장 서론에 이어 2장에서는 TMS 구축현황과 운영현황을 기술하였다. 3장에서는 TMS 운영효과에 대한 분석과 평가를 실시하였고, 4장에서는 TMS 운영경과와 개선할 점을 분석하였으며, 5장에서 결론을 맺었다.

2. 터널모니터링시스템(TMS) 운영현황 및 평가기준

2.1 TMS 구축 및 운영 현황

TMS는 차상시스템과 운영시스템으로 구성되어 있다. 호선 별로 각각 한 개 편성에 설치되는 차상시스템은 여러 대의 카메라와 소음센서, 진동센서, 위치센서 등으로 구성되어 있다.

운영시스템은 데이터 서버와 영상 및 센서 데이터를 조회하고 분석하는 컴퓨터로 구성되어 있다. 차상시스템에서 수집한 영상과 센서 데이터는 분야별 전문가들이 매일 분석하여 터널을 점검하고 있다.

2.1.1 TMS 차상시스템

TMS 차상시스템은 Fig. 1과 같이 0호차 앞부분에 터널 내 토목구조물과 환경을 점검하기 위한 카메라 2대, 내측과 외측 레일의 표면, 체결구, 침목 등을 점검하기 위한 카메라 2대, 터널 전방을 전체적으로 점검하기 위한 동영상 웹 카메라 1대가 설치되어 있다. 1호차 상부에는 전차선과 급전 설비를 점검하기 위한 카메라 2대가 설치되어 있다. TMS에서 사용된 카메라는 Table 1과 같이 130만 화소의 흑백 디지털 CCD 카메라로 속도는 초당 20프레임이다.

0호차 하부에는 차량의 위치를 감지하기 위하여 RFID 리더와 타코미터가 설치되어 있다. 전동차의 절대위치는 궤도에 설치된 900Mhz RFID 태그를 읽어 감지하고, RFID 태그 사이의 상대위치는 타코미터를 이용하여 감지한다. 0호차 객실 내부에는 승객이 느끼는 소음과 진동을 측정하기 위

Table 1 Specification of TMS sensors and DVR

구분	사양
카메라	Flea2 IEEE-1394 Digital CCD Camera 1.3 Mega-Pixel(1288×964), Mono, 20FPS
소음 센서	마이크로폰(Gras 40AE): 50mV/Pa, 3.15Hz-20kHz(±2.0dB) 프리앰프(Gras 26CA): 2Hz-100kHz(±0.2dB)
진동 센서	InoACCM1 측정범위: 3축, ±1.7g/축, 응답도: 1mg/60Hz, 주파수 범위: 02.5kHz
RFID 리더	Mercury4 902~928MHz 인식거리 3m
DVR	6CH DIR(Digital Image Recorder) Intel i7, 1394B Card, e-SATA PCI, SSD

하여 무지향성 소음계 1대와 3축 진동계 1대가 설치되어 있다.

전방주시 웹 카메라의 동영상은 Wibro 망을 통하여 기술 관제에 실시간으로 전송된다. 이를 제외한 6대 카메라에서 촬영된 영상자료와 센서에서 측정된 소음·진동·위치 데이터는 크기가 초당 20Mbyte나 되므로 차량 별로 나누어 각각의 녹화장치(DVR)에 기록한다. 차량이 기지에 도착하면 측정자료가 저장된 DVR 메모리를 회수하여 저장장치(서버)에 업로드 한다.

2.1.2 TMS 운영시스템

영상과 소음·진동 데이터 분석을 위하여 사용되는 TMS 운영시스템은 PC를 기반으로 한다. 운영시스템의 모니터는 Fig. 2(a)와 같이 2개의 이미지 프레임과 소음·진동 프레임, 위치정보 프레임, 제어 프레임으로 구성되어 있다. 제어 프레임에 있는 여러 버튼을 이용하여 영상과 센서데이터의 재생 및 되돌리기 속도가 제어되고, 화면의 밝기와 확대 등이 제어된다. TMS 운영시스템의 모니터에 표시되는 각각의 영상과 소음·진동 정보는 모두 시각과 위치가 같게 동기 되

Fig. 2 Examples of an optional noise analysis in TMS

Fig. 3 Defects to be detected by TMS

어 있으므로 열차운행상황과 동일하게 점검할 수 있다.
소음·진동 레벨이 관리기준을 초과하는 구간이 있을 경우 해당구간에 대해서는 운영시스템의 영상분석과 소노그램, 주파수 분석 툴을 이용하여 입체적으로 발생원인을 분석한다. Fig. 3은 서울지하철 7호선 고숙터미널역에서 반포역 방면 258m 지점에 자체 소음관리 기준인 1초 단위의 등가소음이 80dB를 초과하는 구간에 대한 분석으로, 소음발생 원인이 오른쪽 레일의 파상마모임을 소노그램과 주파수분석, 영상분석을 통하여 찾은 결과다.

2.1.3 TMS운영

TMS 차상시스템이 설치된 전동차는 다른 전동차들과 동일하게 운행된다. 다만 전동차 운행계획을 세울 때 TMS 차상시스템이 설치된 전동차는 가급적 이른 시간에 출발되도록 하고, 하루에 1회 이상 운행되도록 다이아(Dia)를 조정하고 있다.

TMS 영상자료와 센서데이터는 사내전산망을 통하여 기술

관제, 기술관리소, 승무관리소, 차량관리소 등 여러 부서에서 활용되고 있다. 특히, 기술관제에서는 영상자료 판독과 센서 데이터 분석의 전문성을 높이기 위하여 별도로 분석센터를 운영하고 있다.

분석센터에서는 주간에 전기, 토목, 궤도, 설비 등의 분야별 전문가들이 레일, 전차선, 구조물 영상자료를 판독하여 외형상의 문제점이나 잠재적 위험성을 찾아내고, 소음과 진동 레벨이 관리기준을 초과하는 구간을 찾아낸다. 상세점검이 필요하거나 예방보수가 필요할 경우 이상개소에 대한 위치와 상태, 분석조건 등을 기록한 의견서를 Fig. 3과 같이 작성하여 관할 기술관리소에 전달한다.

기술관리소에서는 관할구간의 TMS 자료에 대한 자체분석과 함께 분석센터의 의견서를 확인한 다음, 이상개소에 대한 현장 확인과 유지보수를 실시하고, 다음 날 TMS를 통하여 작업결과를 확인함으로써 현장작업의 완성도를 높이고 있다.

2.2 TMS 평가기준 및 평가항목

각 도시철도 운영기관에서는 시설물 장애나 사고를 예방하기 위하여 점검과 유지보수에 많은 인력을 투입하고 있다. TMS는 도시철도 터널에 대한 인력점검의 한계와 문제점을 개선하기 위하여 개발되었다. 따라서 본 논문에서는 TMS가 장애예방에 기여한 부분과 점검 및 유지보수 효율을 높이는 데 기여한 부분을 기준으로 평가하였다.

운영조건이 같을 경우 점검주기가 짧아질수록, 예방정비량이 증가할수록 장애예방 가능성이 높아지므로 터널시설의 장애예방 효과에 대한 평가항목으로는 점검주기의 단축과 예방정비량의 증가로 정하였다. 점검 및 유지보수 효율에 대한 평가항목으로는 투입된 총 인원과 시간 대비 장애예방 실적을 나타내는 장애예방 효율로 정하였다.

설비는 대부분 외부로부터의 급격한 충격이나 온도변화, 사용시간 증가 등으로 부품의 열화나 마모, 부식, 피로누적 등이 발생하고, 심해질 경우 이상증상을 보이다가 장애로 발전되며, 더 심해질 경우 장애가 확산되어 사고로 이어지게 된다.

지하철 운영기관에서는 장애예방을 위하여 시설을 주기적으로 점검하고 있다. 그러나 점검주기가 길어져 장애전조증상 발현시간이 점검주기보다 커지게 될 경우 전조증상을 인지하여 조치하는 것을 놓칠 수 있으므로 장애예방 가능성은 감소한다. 주기적인 점검으로 장애를 예방하기 위해서는 식 (1)과 같이 점검주기가 장애전조증상 발현시간보다 짧도록 하여야 한다.

$$p = \begin{cases} t/T, & \text{if } t < T \\ 1, & \text{else} \end{cases} \quad (1)$$

여기서 $\begin{cases} p = \text{장애전조증상인지확률} \\ t = \text{장애전조증상발현시간} \\ T = \text{점검주기} \end{cases}$

장애 전조증상 발현시간 t 에 따른 장애발생 분포를 $q(t)$ 라 할 때, 전체 장애전조증상 발생량 Q 는 식 (2)와 같다.

$$Q = \int_0^{\infty} q(t)dt \quad (2)$$

Q 가 일정할 경우 식 (3)과 같이 점검주기 T 가 짧을수록 정기점검 시 인지 가능한 장애전조증상 발생량 M 이 증가하므로 장애예방 가능성은 증가한다.

$$M = \int_0^{\infty} q(t)dt = Q - \int_0^T q(t)dt \quad (3)$$

각 도시철도 운영기관은 인력에 의한 점검, 계측기에 의한 점검, 검측차에 의한 점검, 열차첨승에 의한 점검과 같이 다양한 형태의 점검을 실시하고 있다. 다소 중첩되는 다양한 형태의 점검들을 통하여 점검범위와 점검능력을 확대 시킴으로써 장애예방 가능성을 높이고 있다.

$$N = \sum_{i \in \forall \text{설비}} n(\bigcup_{j \in \forall \text{점검방법}} I_{ij}), \quad (4)$$

여기서 $\begin{cases} I = \text{점검활동} \\ n = \text{장애전조증상검지량} \end{cases}$

터널 내 모든 설비에 대한 운영조건과 장애전조증상 발생량 M 이 같다고 가정할 경우, 장애예방 가능성은 장애전조증상을 인지하여 조치한 예방정비량 N 에 따라 증가한다. 따라서 점검과 유지보수 활동을 통하여 장애를 예방할 수 있는 가능성은 식 (5)와 같이 장애전조증상 인지확률 p 가 클수록, 예방정비율 N/M 이 높을수록 증가한다.

$$\text{장애예방가능성} = pN/M \quad (5)$$

많은 경우 장애예방 실적은 예방정비 건수로 나타나므로 장애예방 효율은 식 (6)과 같이 장애예방을 위해 투입한 인력과 시간 대비 장애예방 실적의 비율로 정하였다. 장애예방 효율이 높아질수록 같은 인력과 시간을 투입하더라도 장애예방 실적이 증가하므로 장애예방 가능성은 높아진다.

$$\text{장애예방효율} = \text{장애예방실적} / (\text{인원수} \times \text{시간}) \quad (6)$$

3. TMS 운영성과 평가 및 분석

3.1 점검주기 측면

터널 내 시설물 점검은 법에서 정한 규정과 운영기관에서 정한 규정에 따라 Table 2와 같이 다양한 형태와 주기로 운영되고 있다[1]. 일부 분야에서는 매일 열차에 첨승하여 장애나 위험 가능성을 점검하고 있다. 1~2주에 한 번은 현장을 도보나 모터카로 순회하면서 점검하고, 3개월에 한 번은 궤도 검측차와 소음계를 이용하여 계측점검을 하고 있다.

TMS 도입으로 열차 첨승점검은 불필요하게 되었다. 터널

Fig. 4 Steps raising faults of tunnel facilities

Table 2 Changes in inspection cycles by facilitating TMS in Seoul subway L5L8

분야	주요 점검내용	점검주기					
		TMS도입전		TMS도입후			
		육안	검측	TMS	육안	검측	
궤도 시설	분기기 상태	1주		1일	2주		
	용접부 마모/손상	1주		1일	2주		
	레일 균열/틀림		3월	1일		3월	
	체결구 탈락/이완	1주		1일	2주		
	도유기 동작상태	1주		1일	2주		
	침목파손	1주		1일	2주		
구조물	배수정체	6월		1일	6월		
	구조물 누수	6월		1일	6월		
	박리, 박락	6월		1일	6월		
전기 시설	아크발생	1주		1일	2주		
	애자 파손/오염	1주		1일	2주		
	지지철 파손/오염	1주		1일	2주		
	전차선 상부 누수	1주		1일	2주		
	T-Bar 파손/오염	1주		1일	2주		
터널 환경	적치물, 잔재물	발생시		1일	발생시		
	시설물 장애/이완	6일		1일	6일		
	시설물 오염	2주		1일	2주		
	배수로 이물질	6월		1일	6월		
	배수로 덮개	2주		1일	2주		
	통풍구 이완	"		1일	2주		
	연결송수관 누수	1월		1일	1월		
	소음		3월	1일		필요시	
	진동, 충격		필요시	1일		필요시	

을 순회하면서 하던 일상점검도 대부분 카메라와 센서에 의한 분석점검으로 가능하게 되었으며, 점검주기도 하루에 1회 이상으로 짧아져 연간 점검횟수가 683회에서 7,300회로 증가하였다. 점검주기가 평균 10.7일에서 1일 이내로 단축되면서 장애전조증상 발현시간이 짧은 장애까지도 예방할 수 있게 되었다. 예를 들어 장애전조증상 발현시간이 시간에 따라 일정하게 분포된다고 가정 할 경우 장애예방 가능성은 TMS 도입으로 10.7배 증가하게 된다.

3.2 예방정비 측면

TMS 도입을 전후하여 각각 6개월간(도입 전: 2010년 1월~6월, 도입 후: 2011년 1월~6월) 터널 내 예방정비 건수를 비교하였다. 터널에서의 예방정비 건수는 Table 3에서와 같이 육안점검만 시행하던 2010년에 비해 TMS점검과 육안점검을 함께 시행한 2011년에 225% 증가하여 장애예방 가능성이 높아졌다.

분야별로는 전기시설 분야의 예방정비 건수가 6개월간 36

Table 3 Increase in maintenance volume by facilitating TMS in Seoul subway L5L8 during 6 months

구분	TMS도입전('10.1~6)		TMS도입후('11.1~6)		증가율
	TMS점검	육안점검	TMS점검	육안점검	
토목구조	-	29	102	-	351%
궤도시설	-	571	625	356	172%
전기시설	-	36	183	-	508%
환경 등	-	38	253	-	665%
합 계	-	674	1,163	356	225%

건에서 183건으로 508% 증가하였으며, 가장 적게 증가한 궤도시설물 분야도 6개월간 571건에서 981건으로 172% 증가하여 모든 분야에서 예방정비 건수가 증가한 것으로 분석되었다.

3.3 장애발생 측면

TMS 도입을 전후하여 각각 6개월 동안 열차운행에 지장을 준 시설물 장애건수를 비교하였다. TMS 도입에 따른 점검주기 단축과 예방정비 증가 등으로 열차운행 장애가 Table 4에서와 같이 6개월간 30건에서 14건으로 53% 감소하였다.

3.4 장애예방효율 측면

TMS 도입에 따른 열차 침승점검 폐지로 이 업무에 투입되었던 135명을 재배치할 수 있게 되었다. 1~2주마다 실시하던 일상점검은 대부분 TMS에 의한 점검으로 대체가 가능하므로 주기가 2주로 늘어났다. 그 결과 점검 및 유지보

Table 4 Decrease in train operation problems by facilitating TMS in Seoul subway L5L8 during 6 months

구분	TMS도입 전 (2010.1~6)	TMS도입 후 (2011.1~6)	감소율
전기	11	7	36%
설비	2	0	100%
신호	15	4	73%
PSD	0	1	-
통신	1	0	100%
시설	1	1	0%
기타	0	1	-
합계	30	14	53%

Table 5 Changes in tunnel maintenance by facilitating TMS in Seoul subway L5L8 during 6 months

구분	TMS 도입 전	TMS 도입 후	증가율
점검 인원	156	21	-87%
유지보수 인원	303	447	48%
총 예방정비 건수	674	1,519	125%
1인당 예방정비 건수	1.5	3.2	113%

수 인력을 주요시설에 대한 집중관리와 테마점검 등에 배치하여 관리를 강화할 수 있게 되면서 1인당 예방정비 건수가 Table 5에서와 같이 6개월간 1.5건에서 3.2건으로 증가하여 예방정비 효율이 113% 향상되었다.

4. TMS 운영경과와 개선과제

4.1 TMS의 점검한계

TMS 도입으로 그 동안 전차선 상부 누수, 통풍구 이완과 같이 중요하지만 점검이 어려웠던 항목들도 빠짐없이 점검할 수 있게 되었다. 육안점검에서 간과되기 쉬웠던 체결구 풀림, 침목손상, 애자오염 등은 TMS를 통해서 상세한 점검이 가능하게 되었다. 그 결과 Table 3에서와 같이 대부분의 분야에서 예방정비 건수가 증가하였다.

그러나 카메라 해상도의 한계로 Fig. 2(a)에서와 같이 레일의 파상마모 진행상태를 정확하게 확인하는 데 어려움이 있었으며, 카메라 음영지역으로 인하여 Fig. 5와 같이 레일 하부에 발생하는 균열을 발견하는 것이 불가능하였다. 카메라의 해상도를 높이고 측정각도를 조정할 경우 레일두부의 손상과 마모는 점검할 수 있으나, 레일하부 균열과 같이 TMS로 점검할 수 없는 부분들에 대해서는 탐상차나 검측차를 이용한 점검을 병행하여 실시하는 것이 필요하다.

카메라와 센서에 의한 점검은 검지범위와 능력이 정해져 있으므로 제한된 범위와 항목에 대해서만 점검이 가능하다. 경험에 의한 직관력과 현장상황을 종합적으로 파악하는 능력은 사람만이 가질 수 있으므로 점검주기를 조정하더라도 TMS에 의한 점검과 함께 기술자가 현장을 직접 확인하는 점검을 병행하는 것이 필요하다.

Fig. 5 The rail crack detected by an ultrasonic inspector

4.2 TMS의 운영효율

터널점검을 위하여 분석센터에서는 전문가들이 매일 방대한 양의 영상 및 센서 자료를 수작업으로 분석하고 있으나, 이는 매우 지루하고 힘든 일로 자칫 분석자의 집중력 감소로 점검능력이 떨어질 수 있다. TMS 자료에 대한 점검방법과 패턴이 정형화되고 나면, 자동화가 가능한 점검항목에 대해서는 영상자료와 센서자료 분석을 통하여 이상개소를 찾

아내는 알고리즘을 개발하여 자동화하는 것이 필요하다. 특히, 방대한 양의 영상자료 판독을 필요로 하는 시계열 분석을 자동화할 경우 장애 발생시점과 진행속도를 보다 효율적으로 파악할 수 있으므로 이에 대한 개발이 우선적으로 요구된다.

현재는 TMS에 의한 점검으로 열차침승점검과 일상점검 대부분을 대체할 수 있어 열차침승점검은 중지하고 일상점검은 주기를 1~2주에서 2주로 늘려 시행하고 있으나, TMS 도입에 따른 일상점검 내용과 주기 조정을 최적화하는 연구가 필요하다. 또한 레일의 균열, 마모량, 변형 등을 측정하기 위하여 탐상차와 검측차를 운행하고 있으나, TMS 기능보장을 통하여 이들을 대체할 수 있는 연구가 이루어질 경우 안전성 향상은 물론 비용절감과 환경개선을 동시에 달성할 수 있으며 인력효율도 높일 수 있다.

5. 결 론

도시철도 노선은 대부분 구간이 터널로 건설되어 있어 주요 시설들이 터널에 존재한다. 도시철도 운영기관은 열차운행의 정시성 향상과 시설물 장애와 사고를 예방하기 위하여 예방점검과 유지보수를 시설별로, 구간별로 나눠 실시하고 있다. 그러나 열차 운행 중에는 터널에 접근할 수 없으므로 열차운행이 끝난 심야시간(3시간)에만 터널 점검과 유지보수가 가능하였다.

터널 내 일상점검은 작업자가 심야에 도보나 모터카로 순회하면서 하는 육안점검이 대부분이었다. 그러나 심야에 하는 육안점검은 정확성과 효율성이 떨어질 수 있고, 교대근무에 의해 수행되므로 많은 인력을 필요로 한다. 인원이 줄거나 시설량이 증가하여 일상점검 주기가 길어질 경우 장애 발생 가능성이 증가될 수 있다.

서울지하철 5~8호선에서는 기존 육안점검의 문제점을 개선하고자 각 호선마다 1개 편성 전동차에 여러 대의 고성능 카메라와 소음·진동 센서를 설치한 터널모니터링 시스템(TMS: Tunnel Monitoring System)을 개발하여 2011년 1월부터 운영하고 있다. TMS가 설치된 전동차가 운행될 때마다 터널 내 시설물의 상태와 소음·진동이 자동으로 측정되므로 주간에 터널점검이 가능하게 되었다.

TMS 도입으로 점검주기가 1~2주에서 1일 이내로 짧아졌고, 인력으로는 찾기 어려웠던 부분까지 자세하게 점검할 수 있게 되면서 인력증가 없이도 예방정비 건수가 6개월 동안 225% 늘어났다. 시계열 분석을 통하여 장애 진행속도도 파악할 수 있게 되었다. 그 결과 장애예방 능력이 향상되었고 장애예방 활동이 늘어나면서 터널시설로 인한 열차운행 장애가 53% 감소하였다.

서울도시철도공사는 TMS의 카메라 음영지역을 줄이고 해상도를 높이기 위한 작업과 위치검지의 정확성을 높이고 운영시스템의 이용 편리성을 향상시키는 개선작업을 진행 중에 있다. 앞으로 영상분석 작업 자동화와 같은 TMS 운영효율을 높이기 위한 추가적인 연구들이 이루어질 경우 장애예방 능력과 운영효율이 더욱 향상될 것이다.

참고문헌

- [1] Seoul Metropolitan Rapid Transit (2010) Maintenance Manuals of Tunnel Facilities.
- [2] D.S. Moon, B.C Chang, J.K. Koo, T.S. Lee (2008) A Improvement Plan Inspection Method about the Urban Railway Facilities and Cycle, *2008 Spring Conference of the Korean Society for Railway*, pp. 241-246.
- [3] S.C. Yun, J.H. park, S.C. Kim, S.J. Eum (2010) The Analysis on the Effects of the Failure Reduction Strategies of the Railway Facilities, *Journal of the Korean Society for Railway*, 13(6), pp. 608-616.
- [4] Y. Park, Y.H. Cho, C. Cho, and W. Kim (2010) Development of a Technique for Detection of Contact Wire Wear using High-Speed Camera, *J. KIEEME*, 23(8), pp. 632-637.
- [5] Seoul Metropolitan Rapid Transit (2010) The Final Report on the Development of Tunnel Monitoring System.
- [6] J.R. Shin, W.D. Lee, G.D. Kim, S.Y. Park (2004) Development of the Database System for Maintenance of Track System in Urban Transit, *2004 Spring Conference of the Korean Society for Railway*, pp. 9-15.
- [7] K.J. Park, T.K. Ahn, J.R. Shin (2005) A Study on the Standard and Information System for Urban Transit Maintenance, *Journal of the Korean Society for Railway*, 9(5), pp. 539-543.
- [8] J.R. Shin, K.J. Park, T.K. Ahn, H.Y. Lee, G.D. Kim (2004) A Study on the Computerized System for Maintenance of Urban Rail Transit Infrastructure, *2004 Spring Conference of the Korean Society for Railway*, pp. 182-187.
- [9] K.H. Moon, W.H. You, J.C. Kim (2003) A Study on the Squeal Noise for Subway, *Journal of the Korean Society for Railway*, 6(3), pp. 209-214.
- [10] C.H. Lee, W.S. Lee, J.T. Kim, W.S. Yoo (2003) Review of Comparative Test Results of Ride Evaluation for Railway Vehicle, *2003 Autumn Conference of the Korean Society for Railway*, pp. 28-35.

접수일(2011년 11월 22일), 수정일(2012년 2월 6일),
게재확정일(2012년 6월 7일)

Jong Hun Park : jhpark348@yahoo.co.kr

Department of Railroad Drive and Control, Dongyang University,
#145 Dongyangdaero, Punggi, Yeongju, Gyeongbuk, 750-711, Korea

Man Hwa Kim : kim2701@smrt.co.kr

Department of Tunnel Facilities Management, SMRT,
405 SeokGwan-Dong SeongBuk-Gu, Seoul, 136-150, Korea

Ki Hwan Park : 1950563@smrt.co.kr

Department of Technical Team 1, SMRT, 286 Itaewonro,
Hannam-Dong, Yongsan-Gu, Seoul, 140-884, Korea