

경부고속철도 상시계측 설비의 효율적인 유지관리 방안연구

A study on the Effective monitoring system for the high speed rail

민경주*

Min, Kyung-Ju

최영길**

Choi, Young-Gil

오주원***

Oh, Ju-Won

ABSTRACT

To analyze dynamic and long-term behavior of high speed rail system, and seismic measurements been installed at the various locations in the high speed rail system. Among these, 76 measurements were installed Chunan and Deajeon, and 80 measurements between Kwangmyung and Chunan. From these 156 measurements, real time data are continuously corrected and be sent to the main monitoring system to be used further analysis. These two systems were installed by different institution, and so there are not only basic differences in the system itself , but system running methods and data collecting/transferring methodology. There has been systematic difficulties due to these differences.

This study shows the whole steps of high speed rail data monitoring systems include measurement equipment itself and data collecting/transferring system. study will proposed a more effective methods for collecting. This study also discuss the real time analysis method which can be used for future high speed rail monitoring system.

1. 서 론

경부고속철도 노반시설물의 동적 거동과 장기거동에 대한 안전성을 실시간으로 파악하여 고속열차의 주행안전성을 판단하고 향후 건설될 고속철도 노반시설물의 합리적인 설계에 반영하고자 1단계 경부고속철도에는 시험선 구간인 천안~대전 간에 영구처짐계, 지진계 등을 비롯한 76개의 계측기가 설치되었으며, 2004년 광명~천안 간에도 가속도계 등 80개가 설치되어 총 156개의 계측기에서 실시간으로 계측 자료를 수집하고 있다. 이들 계측기들은 열차가 주행할 때를 감지하여 연속적으로 정·동적 자료를 수집하고 현장에서 자료를 1차로 저장하고 이를 다시 중앙 통제실에 전송하고 저장하여 자료분석에 활용할 수 있도록 종합계측 시스템을 구축하고 있다. 2차레에 걸친 계측시스템의 구축은 서로 다른 기관에서 설치하였으므로 계측시스템이나 운용방법에서 차이가 있으며, 자료수집의 방법 또한 다르게 운용되고 있다. 그동안 계측기의 상태점검 및 검교정과 계측자료의 관리를 수행하고 있었으나 계측기의 설치로부터 관리주체 이전 등의 과정을 거치면서 체계적인 관리에 어려움이 있었다.

고속철도 구조물을 공용수명동안 안전하게 관리하는 방법에는 사후관리방법과 예방관리방법이 있으며 전자는 구조물에 문제가 발생한 후에 조치를 취하는 방식이고, 후자는 문제발생 가능성 및 그 원인을 사전에 인지하여 적절한 조치를 미리 취함으로써 문제발생을 예방하는 방식이다. 현재 국내외에서 실시되고 있는 구조물 안전관리는 대부분 안전점검 또는 안전진단개념에 입각한 사후관리 방법에 의해 실시되고 있지만 이로 인해 평가결과가 평가자의 주관과 경험에 의해 좌우되는 경우가 많았으며 이에 소요되는 노력과 비용도 상당하였다. 그러나 최근에는 국내외에서 장기계측시스템을 이용하여 주요대형

* 코레일트랙 선로시설연구소, 정회원

E-mail : kjmin@hanafos.com TEL : (042)257-9489 FAX : (042)257-9488

** KORAIL 기술본부 시설기술단 시설토목팀

*** 한남대학교 토목환경공학과 교수

구조물을 관리하는 예방관리 방식을 채택하고 있다.

고속철도 시설물에도 이러한 국내의 계측관리시스템 구성의 경향과 구조물의 이력을 초기부터 관리하여 계측관리 시스템에서 얻어진 데이터를 바탕으로 초기단계부터 적절한 조치를 취하여 구조물을 항상 건전한 상태로 유지시키고 문제를 조기에 발견하여 해결할 수 있을 것이므로 시설물의 내구연한 증가도 가능하게 할 수 있을 것이다. 고속철도 상시계측 시스템 설치 당시 과업목적을 요약하면 고속철도 설계시방서 및 각종설계기준 검증자료 획득, 예방관리방식에 의한 선로구조물 안전관리, 지진, 강풍 또는 이상현상 감지시 경보시스템 발동, 구조물의 내하력 잔존수명 파악 및 보수·보강시기 조기파악 등 이다.

본 연구는 우선 계측 시스템의 상태를 점검하여 계측기, 계측기로부터 자료수집까지의 과정을 추적하여 정상적인 자료가 수집될 수 있도록 계측시스템의 유지보수와 자료의 효율적인 보전, 수집자료와 계측상태의 실시간 분석을 통하여 실질적인 고속철도 시설물의 유지관리에 활용할 수 있게 하고자 한다.

2. 상시계측 시스템의 구성

2.1 설치 및 관리

고속철도 시설물의 중요성을 고려하여 한국철도기술연구원의 1998년도 G7 한국형 고속철도 연구에서 고속철도의 계측에 관한 연구를 통하여 계측방안이 제시되었으며 한국고속철도건설공단(현 한국철도시설공단)에서 2000년도 시험선구간에 상시계측 시스템을 그림 2.1과 그림 2.2와 같이 구축(현대정보기술/KMTL)하고, 2004년도에는 수도권구간에 설치(KMTL)하였다. 초기치의 획득, 관리기준의 정리 및 검교정을 거치면서 현재는 KORAIL에서 계측관리 및 계측시설 유지관리를 수행하고 있다.

2004년도 본선운행을 앞두고 수도권구간에도 계측시스템을 시험선구간과 유사하게 설치하였으며, 설치시설물은 반월고가, 평택고가, 광명터널(본선), 광명터널(입고선), 송라사면 및 화성사면이다.

2.2 계측시스템

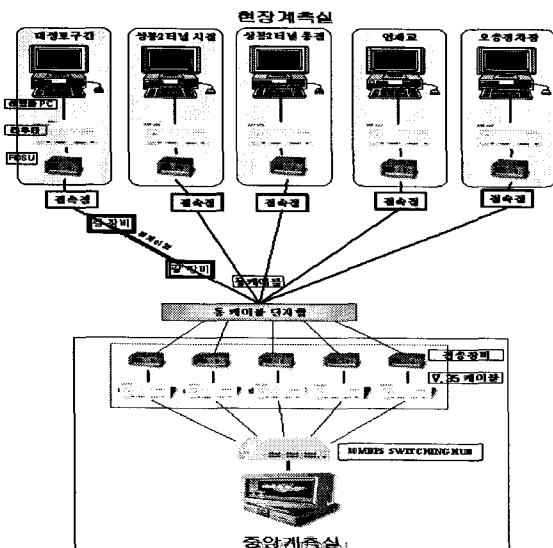


그림 2.1 시험선 구간 시스템구성도

표 2.1 시험선구간 대상구조물 및 계측항목

구분	내용
연세교 오송정차장	<ul style="list-style-type: none"> - 주요부재 응력 및 중립축 위치 파악 - 영구처짐 및 순간처짐 측정 - 최대진동가속도 및 고유진동수 파악 - 주형의 격입각 측정 - 받침 기동여부 파악 - 교량 온도 측정 - 지진의 규모 및 지속시간 파악 - 풍향 및 풍속 측정
상봉2터널	<ul style="list-style-type: none"> - 균열 발생, 성장여부 확인 - 콘크리트 변형 및 터널 종방향경사 - 라이닝의 변형
대성토구간	<ul style="list-style-type: none"> - 지반의 침하 - 성토부의 지중경사 측정

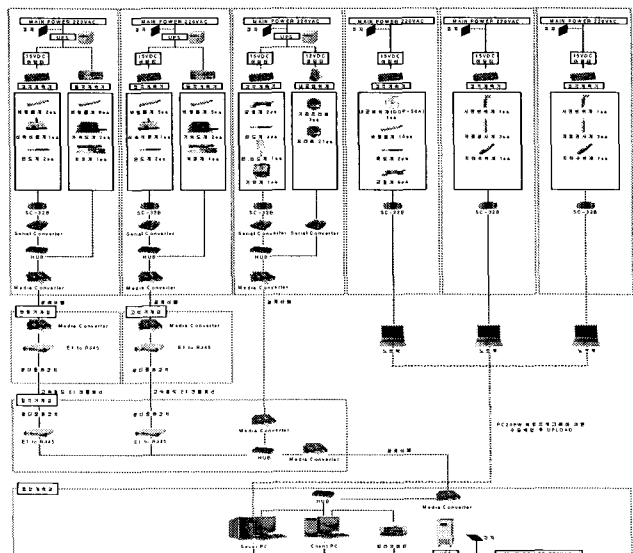


그림 2.2 수도권 구간 시스템구성도

표 2.2 위치별 계측 시스템 및 계측방법 비교

구분	수도권구간 (광명 ~ 천안아산간)	시험선구간 (천안아산 ~ 대전간)	비고
중앙계측실 위치	광명주박기지 1층	오송 업무동 2층	
시스템 구성	CS기반	WEB기반	
설치 구조물	- 교량 : 반월고가, 평택고가 - 터널 : 광명터널, 입고선터널 - 토공 : 토공1(38k970), 토공2(57k007)	- 교량 : 연제교, 오송정차장 - 터널 : 상봉2터널 시·종점 - 토공 : 토공3(116k151)	
현장계측실	없음 (구조물에 소형의 계측제어박스 설치함)	5개소(연제교, 상봉2터널 시·종점, 오송정차장, 토공부(116k151))	
반자동 시스템	3개소(입고선터널, 토공부 2개소(38k970, 57k007))	없음	
계측기 설치수량	총 80개소	총 76개소	
설치업체	(주)KMTL	현대정보기술(주)	
정적측정	- 1회/시간 - 24시간 측정	- 1회/분 - 24시간 측정	
동적측정	- 2회/일 - 상·하행선 각 1회 - 18:00이후 첫 통과열차 감지시 측정 - 1분간 측정	- 30초/측정센서 감지시(열차 통과시) - 24시간 측정	
일 DB 저장 DATA량	약 2MB	약 540MB (열차통과 150회 기준)	
저장방식	정적-digital(ASC File)형식 동적-DMB(daq File)형식	정적-digital(ASC File)형식 동적(ASC File)형식: (연월일-gauge번호-시각-계측치)	
자료처리형식	정적: 실시간 모니터 출력, 시계열그래프 작성 동적: 실시간 모니터 출력	정적: 실시간 모니터 출력, 시계열그래프 작성 동적: 실시간 모니터 출력	

표 2.3 구조물별 계측기 설치 현황

구분	시험선 구간				수도권 구간						정적	동적	총수량	비고
	연제교	오송정차장	상봉2터널	토공	반월고가	평택고가	광명터널	입고선	토공1	토공2				
변형율계	5	5			10	10		10			○	○	40	
온도계	1	1			2	2	4	2			○		12	
처짐계					1	1					○	○	2	
신축이음계					1	1					○		2	
가속도계					2	2						○	4	
속도계					2	2						○	4	
균열계			2				2	6			○		10	
내공변위계			12				1	1			○		14	
지하수위계									1	1	○		2	
지중경사계									3	3	○		6	
중변위계	1	1									○		2	
경사계			16	2								○	18	
동적경사계	3	3										○	6	
영구처짐계	3	3										○	6	
순간처짐계	1	1										○	2	
풍향풍속계	1	1										○	2	
진동계	2	2										○	4	
지진계	3	3										○	6	
침하계				4							○		4	
사면변위계									1	1	○		2	
소계	20	20	30	6	20	20	8	20	6	6			156	

3. 계측결과 분석

3.1 초기 계측

일반적으로 설계도면을 이용한 구조해석 결과는 실측계측데이터와는 다소의 차이가 발생하므로, 계측 시스템 설치 후에는 먼저 초기거동 데이터를 획득하여 이를 수치해석 결과와 비교함으로써 실측치와 해석치의 차이만큼 관리기준을 수정해야한다. 각각의 계측센서 초기치 및 관리기준치는 구조물별로 구분되어 있으며 대표적으로 반월고가의 초기치 및 관리기준치는 다음과 같다.

표 3.1 반월고가 계측 초기치 및 관리기준

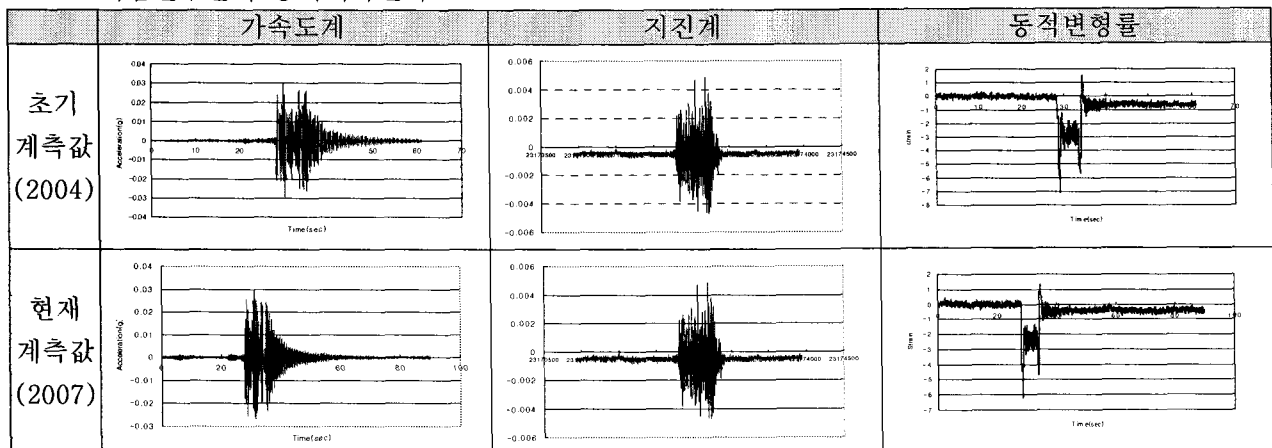
Sensor	Sensor ID	S/N	초기치		Factor	초기치(환산값)		관리기준치				비고
			초기값	단위		초기값	단위	A	B	C	D	
변형률계	BB-B-DG-01	EKD03226	1326.6	με	2.1×10 ⁶	2,785.86	kg/cm ²	55.6	845.0	1208.0	1208.0이상	
	BB-B-DG-02	EKD03227	1068.4	με	2.1×10 ⁶	2,243.64	kg/cm ²	55.6	845.0	1208.0	1208.0이상	
	BB-B-DG-03	EKD03228	-1208.8	με	2.1×10 ⁶	-2,538.48	kg/cm ²	191.4	1000.0	1428.0	1428.0이상	
	BB-B-DG-04	EKD03229	749.2	με	2.1×10 ⁶	1,573.32	kg/cm ²	191.4	1000.0	1428.0	1428.0이상	
	BB-C-SG-01	EKD03230	798	με	2.1×10 ⁶	1,675.8	kg/cm ²	91.8	548.0	783.0	783.0 이상	
	BB-C-SG-02	EKD03231	1278	με	2.1×10 ⁶	2,683.8	kg/cm ²	91.8	548.0	783.0	783.0 이상	
	BB-D-DG-01	EKD03232	223.9	με	2.1×10 ⁶	470.19	kg/cm ²	-	-	-	-	
	BB-D-DG-02	EKD03233	199.1	με	2.1×10 ⁶	418.11	kg/cm ²	-	-	-	-	
온도계	BB-B-TH-01	-	3.995	℃	1	3.995	℃	-	-	-	-	
	BB-B-TH-02	-	3.948	℃	1	3.948	℃	-	-	-	-	
처짐계	BB-B-HDFZ-01	RN017263	2.417	v	50	120.85	mm	-	-	-	-	
	BB-B-HDFZ-02	RN017263	2.419	v	50	120.95	mm	6.63	20.6	29.4	29.4이상	
가속도계	BB-B-AC-01	12660	-0.0072	mV	0.4	-0.00288	g	0.1285	0.2450	0.3500	0.3500이상	
	BB-B-AC-02	12697	-0.0425	mV	0.4	-0.017	g	0.1285	0.2450	0.3500	0.3500이상	
신축변위계	BB-A-VD-01	0603-20487	-378	mV	0.330729	-125.02	mm	14.70	16.90	16.9이상	-	
속도계	BB-D-SM-01	EKD03457	-	με	1	-	με	-	-	-	-	
	BB-D-SM-02	EKD03460	-	με	1	-	με	-	-	-	-	

3.2 중간 단계 계측 및 유지관리

1) 현재 계측과 비교

아래그림은 시험선구간에서 계측된 동적자료의 일부를 나타낸 것이다. 아래에서 보는 바와 같이 동적 계측결과에서는 형상이나 계측치 등에서 큰 차이를 보이고 있지 않음을 알 수 있다. 이들은 일부 양호한 계측자료들이며 상대적으로 비교한 것이다. 따라서 계측치들이 실제의 구조물 거동에 따른 결과치와 비교하여 이들을 보정하는 과정이 필요할 것이다.

표 3.2 시험선구간의 동적계측결과



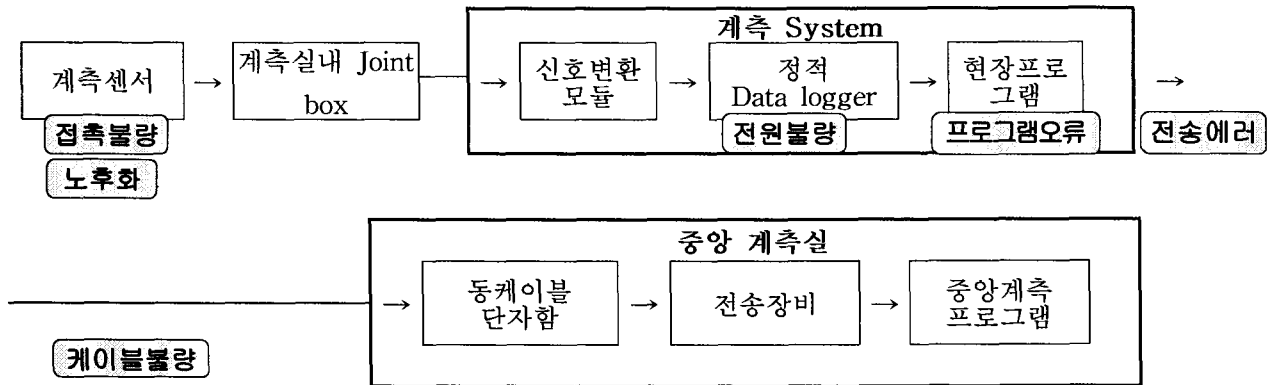
아래그림은 수도권 구간의 동적자료의 일부를 나타낸 것으로 앞의 시험선 구간과 유사한 형태를 나타내고 있음을 알 수 있다.

4. 상시계측의 효율적인 관리

4.1 기존 계측의 문제점

1) 계측시스템 문제

계측 게이지, 선로 및 데이터로거 등 하드웨어 문제는 주로 현장 게이지의 불량 및 노후화, 접촉불량, 선로(케이블)문제 등이 있으며, 현장 계측실 계측 데이터 로거의 토글형 전원스위치형태로써 전원 단전 및 송전에 따른 현장 계측실 스위치의 작동 문제 등 계측기 운용에 문제가 있다.



2) 자료 수집문제

계측프로그램의 오류, 현장 계측실 데이터 전송, 기계적 문제 및 프로그램의 에러로 인해 지속적인 계측이 불가능한 경우에는 수시로 현장 계측실에서 확인하고 점검해야 한다.

3) 자료 처리 및 분석 문제

4) 계측기 및 시스템 유지관리 문제/검교정

4.2 계측시스템의 개선안

앞에서 밝힌 바와 같이 시험선구간 계측 시스템은 구조물에서 계측자료를 수집하여 저장하고 이를 다시 중앙 통제실에 전송하는 구조이다. 이는 1차 자료를 수집 저장하고 다시 중앙에서도 저장함으로써 자료의 안정성이 높으나 현재의 계측기술을 고려한다면 불필요한 노력을 요구하고 있다. 시험선구간에서는 모든 자료가 이와 같은 시스템을 구축하고 있으나 수도권 구간에서는 수동식 계측자료는 현장에서 직접 계측자료를 획득하여야 하는 번거로움이 있다.

본 연구에서는 이러한 문제점을 통합하여 하나의 중앙 통제실에서 실시간으로 전 상시계측 자료들을 수집하고 처리함으로써 초기의 과업 목적에 부합되게 할 수 있는 시스템을 구축하는데 기여하고자 한다. 특히 현재 고속철도에서 본 상시계측 외에도 레일온도계측, 지진감지 시스템 등과 연계하여 통합관리를 할 수 있는 시스템 구축에 기여하고자 한다.

4.3 자료 수집/보관/처리 개선안

자료의 수집과 보관은 1일 487개 file이 발생되고 총 용량은 690Mbyte이다. 상시계측의 특수성을 고려한다면 이들 자료를 모두 보존하여야 할 것이며, 이들을 연구자료 등으로 활용할 수 있게 하여야 할 것이다. 그러나 이러한 방대한 file과 용량은 사실상 그 처리와 활용에서도 어려움이 있을 수밖에 없을 것이다. 따라서 본 연구에서는 이들 자료를 가능한 한 통합하여 이후 자료를 활용하고자하는 연구자들이 접근하기 쉽게 하고자 하며 저장 방법도 자료를 집약시킴으로서 자료의 이해와 처리에 효율을 기하고자 한다. 향후 이용자들을 위하여 자료의 색인과 기본 통계를 제공함으로써 고속철도 시설의 거동을 쉽게 파악할 수 있게 하고자 한다.

정적자료들은 실제 거동을 고찰해보면 온도와외 상관관계가 크게 있음을 그림4.1에서와 같이 알 수 있었다. 따라서 정적자료들을 계측기에서 발생하는 수치들을 그대로 사용하여 구조물의 거동에 의한 시설물의 안전성을 파악하는 자료로 활용한다는 것은 정적 계측자료의 변동 보다는 온도에 의한 변위가

더 클 것임으로 의미가 없는 일일 것이다. 현재 계측은 이들 온도 거동에 따른 보정이 없는 것으로 파악됨으로 이에 대한 보정 방법을 향후에 제시하고자 한다.

본 계측의 목적이 고속철도 시설물의 안전 확보에 관한 정보를 얻는 것이 제일의 목적일 것이다. 현재에는 시방서 기준(설치 당시 보다 엄격한 기준을 제시함)에 의한 안전성을 파악 하도록 되어 있으나 고속철도뿐만 아니라 철도 시설물에서 안전성은 사용성 측면에서 만족되면 기본적으로 확보하는 것이므로 사실상 무의미한 일이다. 실질적인 계측효과를 구현하고자 한다면 실제 거동의 추이를 파악하는 것이 현실적이다. 사면의 안전을 시공중인 사면의 변상에 비교하여 안전성 기준을 선정하는 것은 문제가 있는 것으로 사료 된다. 따라서 향후 연구에서는 이들의 실제 거동의 변화로부터 구조물의 거동 특성을 파악할 수 있는 방안을 제시할 것이다. 특히 현재의 계측 자료 수집은 각기 상이한 특성으로 저장되고 있어 이에 대한 통합도 요구되는 실정이다.

유지관리 주체의 측면에서 고려한다면 이러한 계측은 유효성에 사실상 문제가 있을 수 있다. 안전성이 비교적 상당히 높은 고속철도 구조물에 대하여 안전성 측면의 계측은 필요성이 낮기 때문이다. 즉 높은 안전성을 가지고 있는 구조물에 대하여 안전성을 계측한다는 것은 계측의 오류를 감안하더라도 필요 없는 귀찮은 일이 될 수 있을 것이다. 따라서 현재에서는 전체 항목을 계속 계측해야 하는지에 대한 문제를 심도 있게 논의하여야 할 시점인 것으로 판단하고 있다.

자료 수집 또한 정상적으로 자료가 수집되게 한다면 표 4.1에서 보는바와 같이 현재 연간 약 60만개의 자료 file과 260Gbyte의 용량이 생성되며, 수도권 자료를 시험선 구간과 같은 빈도로 할 경우에는 연간 약 120만개의 자료 file과 440Gbyte의 용량이 생성되게 된다. 다량의 자료 file은 자료수집형태에 문제가 있으며, 용량의 과다는 동적자료 수집시간 및 형태를 변환시키게 되면 크게 감소시킬 수 있을 것임을 알 수 있었다.

4.4 효율적인 유지관리

계측기의 효율적인 유지관리를 위해서는 전체 시스템을 총괄하는 유지관리가 필요할 것이나 계측 시스템은 전술한바와 같이 계측기의 설치시기 및 계측시스템의 구성 방법이 다르므로 이들을 통합하는 것이 우선이며 고속철도의 지진 및 레일 온도 등 기타 계측 및 정보 시스템들과 통합관리하는 것이 고속철도안전을 도모하고자 하는 소기의 목적을 얻을 수 있을 것이다. 이러한 통합관리는 좀더 많은 연구가 필요할 것임으로 본 연구의 범위에서는 논외로 하고자 한다.

본 연구에서는 우선 앞에서 수도권구간 정적계측자료 수집 상태를 나타낸 바와 같이 계측자료가 정상적으로 수집되는가에 대하여 초점을 맞추고자하는 것이고 다음은 계측자료가 정상적인 값인지에 대한 판단일 것이다. 그러나 이는 사실상 계측기의 특성을 완전히 파악하고 현 상태에서 정상 작동되는지에 대하여도 여러 가지 유용한 정보를 가지고 있어야 가능하게 된다. 또한 계측 시스템이 정상 작동되고 있다 하여도 계측 값들이 순간적으로 크게 나타나는(shift) 값들인지 로거의 오작동 또는 노이즈인지 쉽게 파악할 수 없는 일이다. 따라서 본 연구에서는 우선적으로 자료의 통계치로부터 표준편차를 산정하여 표준편차의 3배(약 1/1000 정도의 확률)를 초과하는 자료는 오류로 분류하였다. 이들에 대한 일부 결과를 나타낸 것이 앞에서의 표 3.4 수도권구간 정적계측자료 수집상태이다. 표 3.4에서 모두'O'표인

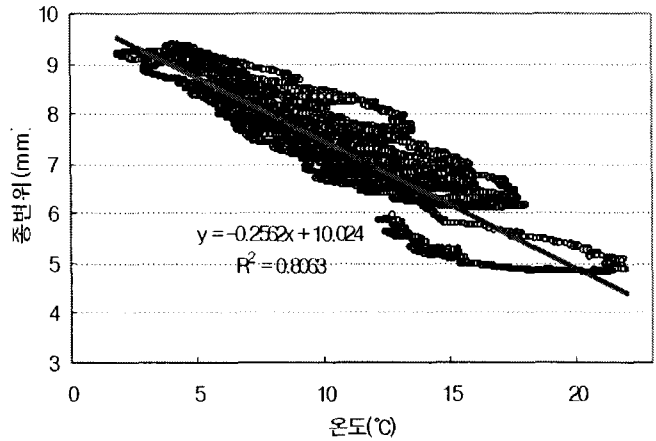


그림 4.1 온도와 변위와의 관계

표 4.1 수집된 자료 용량

구분	용량 KB	횟수/1일		측정 개수	연간 데이터 수집량(GB)		
		현재	개선		현재	개선	
시험선 구간	동적	1700	200	200	2	248.2	248.2
	정적	4	1440	1440	5	10.5	10.5
수도권 구간	동적	886	2	200	2	1.3	129.4
	정적	2	24	1440	50	0.9	52.6
계						260.9	440.6

것은 90% 이상이 정상 작동한 것을 나타내며, 빈칸은 자료습득에 실패한 것을 나타낸다. 'X'는 자료는 습득되나 평균으로부터 일정부분 shift 된 자료를 나타낸 것이다. 이들로부터 계측기의 작동 상태 및 선로의 정상 가동여부 등을 우선적으로 간편하게 파악할 수 있을 것이다.

이외에도 센서의 부착상태, 계측기 자체의 정상여부, 노후화, 1차 통신선로의 유지관리, 현지 data logger 자체의 상태, 교정계수의 검교정, 온도, 습도, UPS 등의 상태, 정전 등 이상시 경고기능 보완, data 저장용량, 2차 통신선로의 유지관리 및 중앙통제실의 정상 가동 등 수 많은 검증 단계를 거쳐야 정상적이고 향후 활용 가능한 귀중한 자료가 될 것이다.

4.5 자료분석을 통한 유지관리

현재 계측시스템은 자료의 수집에 기초를 둔 것으로 비록 일정부분 통계처리 또는 관리 기준을 제시하고 있는 등 소극적인 계측 방식에서 벗어나 이들을 고속철도시설물의 유지관리나 안전에 실질적인 활용을 위해서 구조물의 거동 특성을 분석할 수 있는 방안이 강구되어야 할 것이다.

1차적으로 자료처리는 적절한 filtering을 통하여 열차 통과시간대의 열차속도, 최대, 최소, 평균, 표준편차 등의 기본적인 통계자료를 구하여 이들을 기록하고 있으며 속도와 의 관계, 공용시간과의 관계 및 온도와의 관계 등으로부터 구조물의 거동을 파악하고자 하였다. 순간적으로 값이 크게 나타나는 일부의 원인, 온도와 정적자료들과의 관계, 동적 측정에서 선로별(상하행선)에 주행되는 열차의 하중 위치에 따른 구조물의 거동 특성, 열차의 주행과 구조물의 거동 특성에 따른 열차속도 측정 등도 연구하고 있다.

시계열별 정적자료 및 동적자료의 분석, 열차속도별 구조물 동적거동 특성 규명, 상부 궤도 유지보수 및 트림, 구조물 거동 및 열차속도와 의 상관관계 등에 대해서도 연구할 수 있는 기초 연구를 수행하고 있다. 또한 자료처리를 통한 상시 계측 시스템을 점검할 수 있는 방안을 모색하여 기기의 정상작동 유무의 판단 및 이에 따른 향후 계측기의 유지관리 방안을 제시하고자 한다.

5. 결론

본 연구는 경부고속철도 상시계측 시스템에 대한 2006년도부터 현재까지 종합적인 분석을 통하여 습득된 계측자료들을 활용하여 고속철도 시설물의 안전 확보는 물론 유지관리에 활용하고자 하였다. 현재까지 수집할 수 있는 상시계측 자료는 50만여개 file의 약 500Gbyte의 용량을 분석하였으며 이들로부터 시계열적 고속철도 구조물의 거동특성, 오작동 계측자료의 특성, 순간적으로 높은 계측치를 나타내는 자료의 특성 등을 파악하고 있다. 실시간 자료의 수집여부를 확인할 수 있도록 하였고 통계 확률 처리에 의하여 수집자료의 정상 작동 등에 대하여도 검증할 수 있는 tool을 마련하였다.

향후 고속철도 선로에서 수집되는 상시계측을 포함한 레일 온도 및 지진자료 등을 통합하여 종합적인 고속철도 실시간 안전기준 등을 수립하는데 기여하여 실질적인 고속철도의 안전을 도모하고자 한다.

감사의 글

본 연구는 KORAIL 오송고속철도시설사업소에서 발주한‘경부고속선 광면~대전간 구조물 계측설비 유지관리 및 분석 용역’ 수행에서 얻은 자료를 기초로 연구한 것으로서 그동안 본 연구에 적극 협조해 준 KORAIL 기술본부 시설기술단과 오송고속철도시설사업소에 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

1. 이준석 외(2003), “상시계측시스템을 이용한 토목구조물의 유지관리방안”, 논문집 제5권 제2호, 한국방재학회.
2. 이준석 외(2003), “시험선 구간 안전계측설비 상시계측보고서”, 한국철도기술연구원.
3. 최일윤 외(2001), “고속철도 교량 상시계측시스템 및 동적거동”, 대학토목학회 추계학술발표 논문집.
4. 코레일트랙 (2006), “시험선구간 안전계측 설비 보고서”, 한국철도시설공단.
5. KMTL (2006), “경부고속철도 서울~천안구간 안전계측설비 자료분석 용역”, 한국철도시설공단.
6. 현대정보기술 (2000), “경부고속철도시험선구간 안전계측시스템(계측기)설치용역”, 한국고속철도관리공단.