

# 고속철도 시운전시험 및 평가용 측정시스템 개발(II) - 소프트웨어 (Development of Measuring System for On-Line Test and Evaluation of High Speed Rail(II) - Software)

김석원\*      김진환\*      최강윤\*      박찬경\*      김기환\*  
 Seogwon Kim    Jinhwan Kim    Kangyoun Cho    Chankyoun Park    Kihwan Kim

## ABSTRACT

In this paper, we introduce the software of the measuring system for on-line test and evaluation of high speed rail. This software should set and control the hardware of the measuring system, perform the analysis and calculation of measuring data and interface between users and the measuring system. For this purpose, three programs, such as a measuring program, a monitoring program and post-processing program, have developed.

### 1. 서론

국가의 전략적 사업으로 추진중인 선도기술개발(G7)사업 중의 하나인 고속전철기술개발사업으로 개발된 최고운행속도 350km/h의 한국형 고속전철에 대한 시운전시험이 현재 진행중이며, 시제차의 성능 및 기능을 종합적이고 효율적으로 확인하기 위해 고속철도 시운전시험시 상시 계측시스템이 시제차에 설치하여 운영되고 있다. 상시 계측시스템은 실제로 신호를 계측하는 데 필요한 하드웨어 뿐만 아니라 하드웨어의 설정 및 제어, MMI(Man-machine interface) 등의 소프트웨어가 중요하게 된다. 계측시스템이 아무리 좋은 성능의 하드웨어를 갖고 있어도 소프트웨어의 성능이 만족스럽지 못하면, 전체적인 계측시스템의 성능이 저하되게 된다. 본 연구에서는 상시 계측시스템의 성능을 극대화시키기 위해 National Instruments(NI)의 하드웨어와 소프트웨어(Lab View 6.0i)를 사용하여 계측시스템을 구성하였다.

### 2. 상시 계측시스템의 구성

상시 계측이 필요한 시험항목은 주행성능, 대차주행성능, 제동성능 및 집전성능으로 다른 성능 시험에 비해 상대적으로 중요한 항목으로 시운전운전시에 발생할 수 있는 열차의 안전성과 관련된 중요한 항목이다. 상시 계측에는 총 369개의 측정채널수가 필요하며, 이들 측정채널의 분포는 그림1과 같이 각 차량의 내부 및 외부에 분포되어 있다. 차량 외부에서의 측정이 247개로 전체 측정의 약 67%를 차지하고 있다. 이들 계측 신호는 시제열차 전체에 분포되어 있을 뿐만 아니라 여러 위치에서의 계측신호를 동시에 확인하여야 하는 문제점을 가지고 있다. 따라서 이들 항목의 계측시스템은 계측항목 상호간의 정보공유 및 운행상황에 대한 모니터링을 효과적으로 수행할 수 있도록 다음과 같이 구성하도록 한다.

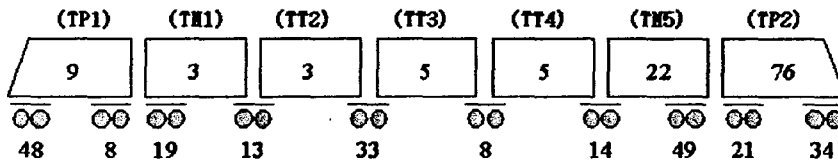


그림1 위치별 측정채널 분포

• 한국철도기술연구원 고속전철기술개발사업단

- ◆ 집전성능을 제외한 상시 계측은 1개의 계측시스템을 사용(집전성능은 별개 계측시스템 사용)
- ◆ 네트워크 기반의 분산시스템을 기반으로 하며, 각 계측모듈 및 중앙 컴퓨터와 필요한 정보를 공유하도록 구성
- ◆ 중앙 컴퓨터(Main computer)와 네트워크 라인을 통해 분산된 측정모듈의 동기화, 제어(계측 및 저장, 모니터링) 및 계측데이터 공유

고속전철 시운전차량에서의 전체적인 계측시스템의 구성도는 그림2와 같으며, 계측모듈은 그림3과 같이 구성되어 있다.

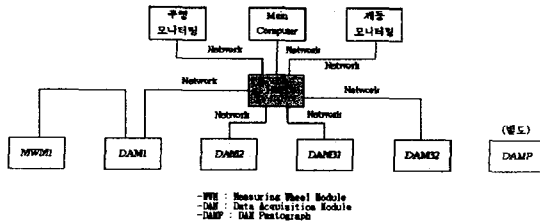


그림2 시험계측시스템 구성

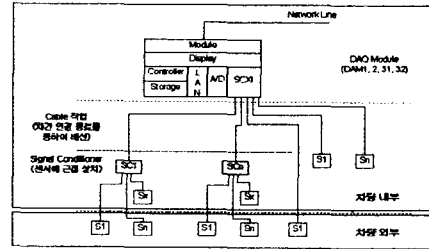


그림3 모듈별 계측시스템 구성 상세도

### 3. 프로그램의 요구사항

상시 계측시스템에 사용되는 프로그램은 모듈별 계측프로그램, 통합 모니터링 프로그램 및 계측데이터의 후처리 프로그램으로 구분되며 이들 각각에 대한 요구사항을 살펴본다.

#### 3.1 모듈별 계측 프로그램

- ◆ 각 모듈에서 계측신호의 수집 및 저장이 가능하도록 작성
- ◆ 동일 프로그램으로 모든 계측모듈(DAMI, DAM2, DAM31 및 DAM32)에 사용할 수 있도록 호환성 부여
- ◆ 프로그램은 계측 물리량의 종류 및 계측 방법에 따라 효과적인 측정이 가능하도록 구성하며, 계측항목의 변경이 있을 경우 이에 대한 손쉬운 변경이 이루어지도록 프로그램 모듈별 재제지향형 프로그램으로 작성
- ◆ 데이터 수집을 위한 초기 설정 단계에서 각 채널별 Configuration이 가능하도록 설계
- ◆ 계측 데이터의 수집이 원활하도록 작성
- ◆ 계측신호의 시그널 콘디셔닝에 대해 사용자가 정의 할 수 있도록 함
- ◆ 측정 데이터 및 연산 결과에 대한 저장이 효과적으로 이루어 져야 하며, 시간, 속도 등의 기준이 되는 파라미터 값들과 각각의 모듈에 대한 신호 데이터가 동시에 기록되도록 하여 분석 시 데이터의 동기화가 가능하도록 시스템 통합 고려하여 설계
- ◆ 모든 계측데이터는 저장파일이 효율적인 관리 저장되도록 함
- ◆ 일부 항목에 대한 시험 계측 과정에서 데이터의 수집, 저장과 디스플레이 되도록 시스템을 구성하고 인터페이스 설계
- ◆ 모든 계측센서에 대해 Calibration이 용이하도록 프로그램 설계
- ◆ 계측센서, 케이블 및 계측모듈에서 발생할 수 있는 이상현상이 모니터링되어야 함

#### 3.2 통합 모니터링 프로그램

- ◆ 동일 프로그램으로 주행 및 제동 모니터링 및 Main computer에 사용할 수 있도록 호환성 부여
- ◆ 각 계측 모듈에 대한 관리 및 모듈간의 신호 공유와 모니터링이 가능하도록 각 통합 모니터링 프로그램을 작성
- ◆ 주행모니터링과 제동모니터링 모듈에서는 주행성능과 제동성능에 관련된 모든 계측신호와 필요에 따라 연산된 결과에 대한 모니터링
- ◆ Main computer의 통합 모니터링 프로그램은 다음과 같은 항목을 포함되어야 함

- 각 계측 모듈 및 각 모니터링 모듈의 네트워크 연결 및 관리
- 각 계측 모듈 및 모니터링 모듈의 동기화(Synchronization) 및 제어
- 안전성능과 관련된 모든 계측신호에 대한 모니터링

### 3.3 후처리 프로그램

- ◆ 계측데이터의 분석 및 연산
- ◆ 시험 분석결과를 일정한 보고서 형태로 출력할 수 있는 기능 포함
- ◆ 계측데이터의 용량이 크기 때문에 큰 용량의 데이터를 조속한 시간 내에 입력, 출력 및 데이터 조작이 가능해야 함
- ◆ 전 시험구간에 대한 측정데이터의 출력이 가능해야 하며, 출력되는 측정 데이터의 수는 최소한 10개 이상이어야 함
- ◆ 일부구간에 대한 측정데이터의 출력 및 처리가 가능해야 함
- ◆ 다른 S/W를 사용하여 측정데이터를 처리할 수 있도록 측정데이터의 일부를 \*.txt 파일로 저장시킬 수 있어야 함

## 4. 프로그램의 구성

### 4.1 모듈별 계측 프로그램

모듈별 계측 프로그램은 Hardware configuration, Software configuration, Diagnosis 및 Test의 4개 중요한 기능으로 분리되며, 동일한 프로그램으로 Hardware/Software configuration을 수정하여 모든 계측모듈(DAM1, DAM2, DAM31 및 DAM32)에서 사용할 수 있도록 하였다.

Hardware configuration은 각 계측모듈에 사용된 NI제품인 Hardware를 정의하는 부분으로 각 모듈에 실제 사용된 chassis no., module no. 및 model no.를 NI에서 제공하는 Driver(MAX program, 그림4)를 이용하여 Hardware의 설정을 행한다.

Software configuration은 Hardware적으로 설정된 채널에 대해 채널의 사용여부 판단, Calibration, 실제 물리량으로의 변환, 최대/최소값 설정, 계측제한범위 설정, 통합 모니터링 모듈로의 전송여부 판단 등을 하는 부분이다. 그림5는 각 계측모듈의 모든 채널 및 특정 1채널(화면 가운데 작은 화면)에 대한 설정상태를 나타낸 것이다. 특히, Software configuration에서는 적절한 최대/최소값의 설정과 Calibration이 중요하다. 최대/최소값이 실제 계측범위보다 작게 설정되면, 계측신호가 큰 경우에 포화상태(saturation)가 되어 버리기 때문에 정상적인 계측이 불가능하게 된다. 최대/최소값이 실제 계측범위보다 너무 크게 설정되면, 계측신호의 분해능(resolution)이 나빠게 된다. 예를 들면, A/D가 12비트의 분해능(NI의 PXI 6040E)을 갖고 최대/최소값이 ±100V로 정의되어 있는 경우의 계측신호의 분해능은 약  $48.8mV (= \frac{200}{2^{12}} \times 1000)$ 가 된다. 이는 계측신호의

계측간격이 48.8mV이며, 이보다 작은 간격의 신호로는 측정이 불가능함을 의미한다. Calibration은 전기적으로 계측된 신호를 물리량으로 변경(계산시 필요한 'Zero'와 'Span'을 결정하는 과정이며, 상시 계측시스템에서 가속도계(ICP, K-beam), Themocouple(J, K, RTD), 스트레인게이지, 압력계, 전압계, 전류계, 경사계, 비접촉 온도센서 등 다양한 종류의 센서를 사용하고 있기 때문에 1개의 Calibration 방법으로는 모든 센서의 Calibration을 수행할 수 없다. 따라서, 그림5의 특정 1채널에 대한 설정화면의 오른쪽에서 볼 수 있듯이 다음과 같이 3개의 Calibration 방법으로 Calibrator나 Calibration sheet를 사용하여 Calibration을 수행하였다.

- ◆ Calibration : 입력에 대해 출력이 일정하게 변하는 경우에 대한 것으로 스트레인게이지(일부), 압력계, 전압계, 전류계, 경사계 등의 대부분 센서 Calibration에 사용
- ◆ Calibration High-Low : 입력에 대해 2개의 기울기를 갖고 변하는 경우에 대한 것으로 올기를 갖는 경우에 대한 Themocouple(RTD) Calibration에 사용
- ◆ Accelometer Calibration : 일정한 진폭과 주파수를 갖는 경우에 대한 것으로 모든 가속도계 Calibration에 사용

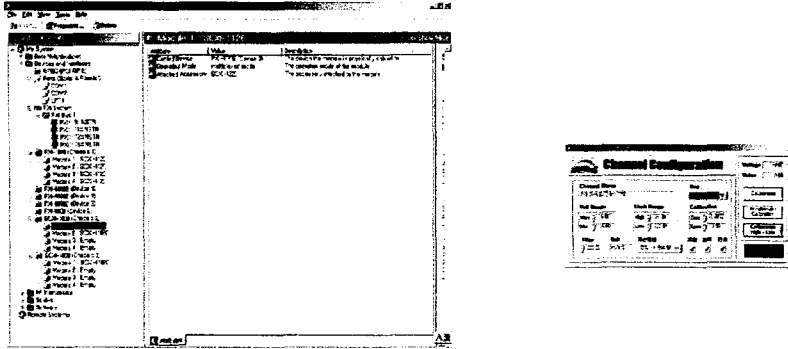


그림4 Hardware configuration(MAX)

CHANNEL CONFIGURATION													
No	Ch	Name	Channel	Unit	Min	Max	Scale	Unit	Min	Max	Unit	Min	Max
1	001	001-001	001-001-001	1.000	-5.000	5.000	1.000	mA	-5.000	5.000	V	-5.000	5.000
2	001	001-002	001-001-002	1.000	-5.000	5.000	1.000	mA	-5.000	5.000	V	-5.000	5.000
3	001	001-003	001-001-003	1.000	-5.000	5.000	1.000	mA	-5.000	5.000	V	-5.000	5.000
4	001	001-004	001-001-004	1.000	-5.000	5.000	1.000	mA	-5.000	5.000	V	-5.000	5.000
5	001	001-005	001-001-005	1.000	-5.000	5.000	1.000	mA	-5.000	5.000	V	-5.000	5.000
6	001	001-006	001-001-006	1.000	-5.000	5.000	1.000	mA	-5.000	5.000	V	-5.000	5.000
7	001	001-007	001-001-007	1.000	-5.000	5.000	1.000	mA	-5.000	5.000	V	-5.000	5.000
8	001	001-008	001-001-008	1.000	-5.000	5.000	1.000	mA	-5.000	5.000	V	-5.000	5.000
9	001	001-009	001-001-009	1.000	-5.000	5.000	1.000	mA	-5.000	5.000	V	-5.000	5.000
10	001	001-010	001-001-010	1.000	-5.000	5.000	1.000	mA	-5.000	5.000	V	-5.000	5.000
11	001	001-011	001-001-011	1.000	-5.000	5.000	1.000	mA	-5.000	5.000	V	-5.000	5.000
12	001	001-012	001-001-012	1.000	-5.000	5.000	1.000	mA	-5.000	5.000	V	-5.000	5.000
13	001	001-013	001-001-013	1.000	-5.000	5.000	1.000	mA	-5.000	5.000	V	-5.000	5.000
14	001	001-014	001-001-014	1.000	-5.000	5.000	1.000	mA	-5.000	5.000	V	-5.000	5.000
15	001	001-015	001-001-015	1.000	-5.000	5.000	1.000	mA	-5.000	5.000	V	-5.000	5.000
16	001	001-016	001-001-016	1.000	-5.000	5.000	1.000	mA	-5.000	5.000	V	-5.000	5.000
17	001	001-017	001-001-017	1.000	-5.000	5.000	1.000	mA	-5.000	5.000	V	-5.000	5.000
18	001	001-018	001-001-018	1.000	-5.000	5.000	1.000	mA	-5.000	5.000	V	-5.000	5.000
19	001	001-019	001-001-019	1.000	-5.000	5.000	1.000	mA	-5.000	5.000	V	-5.000	5.000
20	001	001-020	001-001-020	1.000	-5.000	5.000	1.000	mA	-5.000	5.000	V	-5.000	5.000
21	001	001-021	001-001-021	1.000	-5.000	5.000	1.000	mA	-5.000	5.000	V	-5.000	5.000
22	001	001-022	001-001-022	1.000	-5.000	5.000	1.000	mA	-5.000	5.000	V	-5.000	5.000
23	001	001-023	001-001-023	1.000	-5.000	5.000	1.000	mA	-5.000	5.000	V	-5.000	5.000
24	001	001-024	001-001-024	1.000	-5.000	5.000	1.000	mA	-5.000	5.000	V	-5.000	5.000
25	001	001-025	001-001-025	1.000	-5.000	5.000	1.000	mA	-5.000	5.000	V	-5.000	5.000
26	001	001-026	001-001-026	1.000	-5.000	5.000	1.000	mA	-5.000	5.000	V	-5.000	5.000
27	001	001-027	001-001-027	1.000	-5.000	5.000	1.000	mA	-5.000	5.000	V	-5.000	5.000
28	001	001-028	001-001-028	1.000	-5.000	5.000	1.000	mA	-5.000	5.000	V	-5.000	5.000
29	001	001-029	001-001-029	1.000	-5.000	5.000	1.000	mA	-5.000	5.000	V	-5.000	5.000
30	001	001-030	001-001-030	1.000	-5.000	5.000	1.000	mA	-5.000	5.000	V	-5.000	5.000

그림5 Software configuration 화면

또한, 전기적으로 계측된 신호를 실제 물리량은 대부분의 센서의 경우는 Calibration에서 결정된 'Zero'와 'Span'를 사용하여 계산할 수 있지만 일부센서의 경우는 다른 계산방법을 사용하여 하며 그 계산방법은 다음과 같이 7종류이다.

- ◆ 'Zero'와 'Span'를 이용하여 전압을 물리량으로 변환 : 스트레인게이지(일부), 압력계, 전압계, 전류계, 경사계 등의 대부분 센서전압을 물리량으로 변환
- ◆ 전압과 물리량간의 관계가 교차의 다항식을 갖는 경우에 전압을 물리량으로 변환: 비접촉 온도센서(3종류), Thermocouple(J, K 2종류)
- ◆ 전압과 물리량이 (+), (-)방향에 대해 다른 기울기를 갖는 경우에 전압을 물리량으로 변환 : 스트레인게이지(1종류)

그림6은 Diagnosis 화면을 나타내는 데, 각 계측모듈에서 측정되는 모든 계측신호의 상태를 확인 할 수 있다. 계측신호가 Software configuration에서 입력시킨 계측제한범위를 이탈했는지를 알려주기 때문에 계측채널(계측센서, 케이블 및 계측모듈)의 이상을 확인할 수 있다.

구분	구분명	구분번호	구분단위	구분종류	구분상태	구분비고
1	1.1	1.1.1	1.1.1.1	1.1.1.1.1	1.1.1.1.1	1.1.1.1.1
2	2.1	2.1.1	2.1.1.1	2.1.1.1.1	2.1.1.1.1	2.1.1.1.1
3	3.1	3.1.1	3.1.1.1	3.1.1.1.1	3.1.1.1.1	3.1.1.1.1
4	4.1	4.1.1	4.1.1.1	4.1.1.1.1	4.1.1.1.1	4.1.1.1.1
5	5.1	5.1.1	5.1.1.1	5.1.1.1.1	5.1.1.1.1	5.1.1.1.1
6	6.1	6.1.1	6.1.1.1	6.1.1.1.1	6.1.1.1.1	6.1.1.1.1
7	7.1	7.1.1	7.1.1.1	7.1.1.1.1	7.1.1.1.1	7.1.1.1.1
8	8.1	8.1.1	8.1.1.1	8.1.1.1.1	8.1.1.1.1	8.1.1.1.1
9	9.1	9.1.1	9.1.1.1	9.1.1.1.1	9.1.1.1.1	9.1.1.1.1
10	10.1	10.1.1	10.1.1.1	10.1.1.1.1	10.1.1.1.1	10.1.1.1.1

그림6 Diagnosis 화면

구분	구분명	구분번호	구분단위	구분종류	구분상태	구분비고
1	1.1	1.1.1	1.1.1.1	1.1.1.1.1	1.1.1.1.1	1.1.1.1.1
2	2.1	2.1.1	2.1.1.1	2.1.1.1.1	2.1.1.1.1	2.1.1.1.1
3	3.1	3.1.1	3.1.1.1	3.1.1.1.1	3.1.1.1.1	3.1.1.1.1
4	4.1	4.1.1	4.1.1.1	4.1.1.1.1	4.1.1.1.1	4.1.1.1.1
5	5.1	5.1.1	5.1.1.1	5.1.1.1.1	5.1.1.1.1	5.1.1.1.1
6	6.1	6.1.1	6.1.1.1	6.1.1.1.1	6.1.1.1.1	6.1.1.1.1
7	7.1	7.1.1	7.1.1.1	7.1.1.1.1	7.1.1.1.1	7.1.1.1.1
8	8.1	8.1.1	8.1.1.1	8.1.1.1.1	8.1.1.1.1	8.1.1.1.1
9	9.1	9.1.1	9.1.1.1	9.1.1.1.1	9.1.1.1.1	9.1.1.1.1
10	10.1	10.1.1	10.1.1.1	10.1.1.1.1	10.1.1.1.1	10.1.1.1.1

그림7 Test 화면

Test는 실제로 계측된 신호의 현시, 저장 및 이 신호를 이용하여 계산된 값을 저장하는 것이다. 계측의 시작/끝, 데이터의 저장은 Main computer의 지령에 따라 수행되며, 계측신호는 그림7에서 볼 수 있는 바와 같이 각 모듈의 모든 신호의 현시와 이상여부의 확인이 가능하며, 선택적으로 일부 신호를 그래프로 모니터링할 수도 있도록 되어있다.

4.2 통합 모니터링 프로그램

통합 모니터링 프로그램은 Main computer(안전모니터링 겸용), 주행모니터링 및 제동모니터링의 3종류 있으나, 기본적인 프로그램의 구조는 동일하지만, 각 목적에 따라 추가적인 기능을 가지고 있다. Main computer용 프로그램은 그림8과 같으며, 네트워크를 통해 각 계측모듈과 모니터링모듈의 시간 동기화(Synchronization) 및 제어기능을 갖고 있으며, 안전성능과 관련된 계측신호에 대한 모니터링할 수 있다.

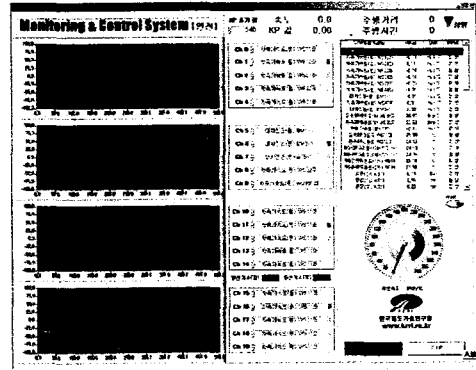
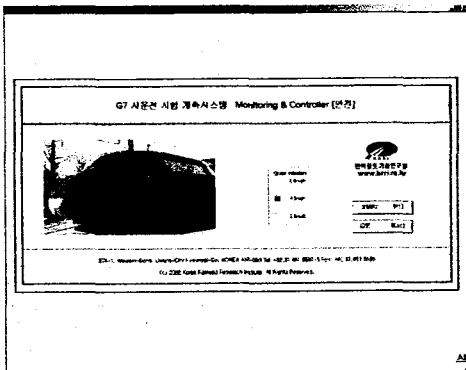


그림8 Main computer 프로그램 화면

Main computer용 프로그램은 각 계측모듈과 모니터링모듈에 내장되어 있는 시간설정을 이용하여 시간의 동기화를 시키며, 이 모듈들과 Main computer의 시간의 차이가 10ms이내가 되어야만 계측을 시작할 수 있는 준비상태가 되도록 되어있다. 또한, 그림8의 좌측화면의 'START'와 'EXIT' button을 선택함에 따라 각 모듈에서 계측과 모니터링되며, 우측화면 'DATASAVE'와 'STOP' button을 선택함에 의해 계측데이터가 각 계측모듈에 저장되게 된다. 주행 및 제동 모니터링용 프로그램은 계측신호와 목적에 따라 계측신호를 이용한 계산값을 동시에 모니터링할 수 있으며, 그림9에 주행모니터링화면을 나타낸다. 그림9에서 우측 하단부가 계산값을 현시해주는 부분이다.

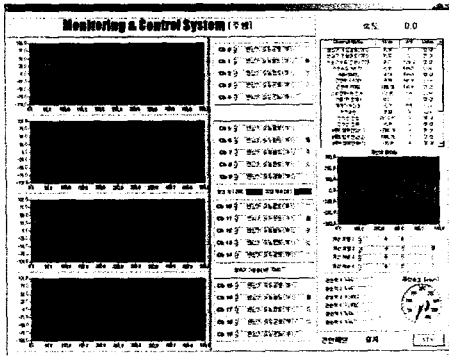


그림9 주행모니터링 화면

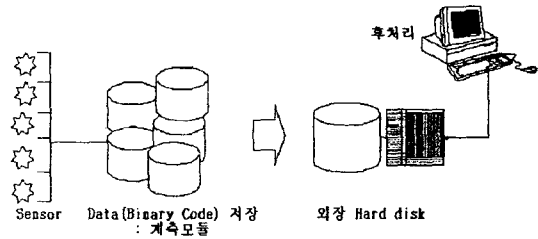


그림10 계측데이터 처리 흐름도

### 4.3 후처리 프로그램

4개의 계측모듈에서 계측된 모든 채널의 데이터를 동기시간과 함께 이진수로 저장을 한다. 시운전시험동안 1시간의 시험을 했을 경우에 약 4.5GB의 용량을 갖으며, 실제 계측은 2시간 이상이 필요한 경우도 많기 때문에 가능하면 데이터의 저장용량을 줄이기 위해 이진수로 저장을 하도록 하였다. 각 모듈에 저장된 데이터는 그림10의 계측데이터 처리 흐름도에서 볼 수 있듯이 외장 Hard Disk에 백업되며, 후처리 프로그램을 통해 시험결과를 분석할 수 있다.

후처리 프로그램은 분리/계산과 분석의 2과정으로 나뉘어진다. 분리/계산과정은 저장된 모든 채널의 데이터를 동기시간에 대하여 각 채널별로 분리시키고 동시에 특정한 목적에 필요한 계산을 수행한다. 이 과정에서 채널별로 분리된 데이터 및 계산데이터는 각 채널이름 및 계산에 사용된 이름으로 각각 저장된다. 예를 들면, 계측채널이 100개이고, 필요 계산값의 종류가 50개이면 150개의 파일이 생성된다. 그림11은 분리/계산과정중 계산을 진행하고 있는 상태를 나타내며, 실제 계측시간이 1시간인 경우에 분리/계산과정은 약 30분 정도가 소요된다.

분석과정은 각 채널별로 분리 및 계산이 완료된 후에 진행된다. 이 과정에서는 전 시험구간 및 특정구간의 계측데이터의 분석, 보고서 양식으로 플롯트 및 특정구간 데이터의 저장 등을 수행할 수 있다. 그림12는 전구간에 대한 결과(보고서 양식)이며, 그림13은 상세한 분석을 위해 전 시험구간의 계측데이터에서 선택된 특정구간의 계측데이터에 대한 결과를 나타낸 것이다. 그림14는 특정구간에 대한 계측데이터를 저장하는 화면을 나타낸 것이며, 계측 및 계산 데이터를 Binary 또는 Text format으로 저장할 수 있다. 이 저장 데이터에는 열차의 속도와 위치에 대한 정보도 함께 저장시킬 수 있도록 되어있다.

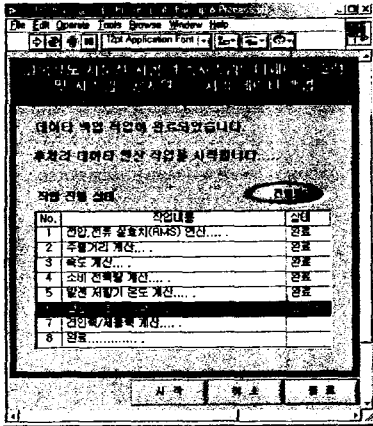


그림11 분리/계산과정중 계산상태

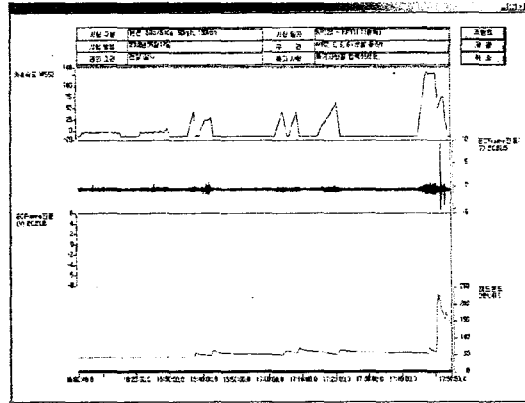


그림12 전구간의 분석결과(보고서 양식)

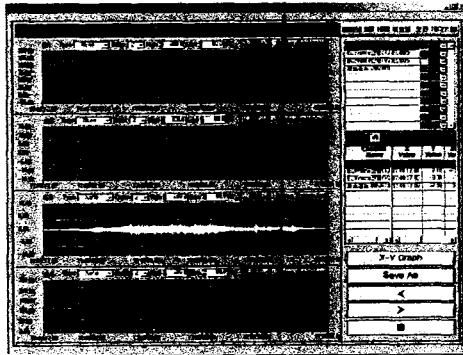


그림13 특정구간의 분석결과

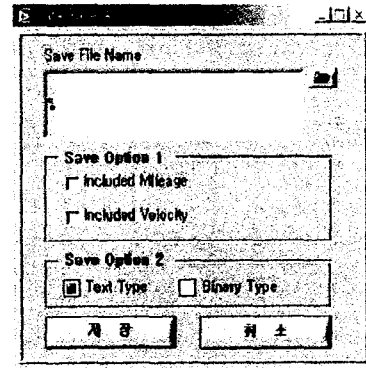


그림14는 데이터 저장 화면

## 9. 맺음말

고속전철기술개발사업으로 개발된 시제차의 종합적인 성능확인을 위한 상시 계측시스템의 하드웨어 개발과 병행하여 하드웨어의 제어, 계측, 분석 및 MMI를 위한 소프트웨어 개발을 완료하여 현재 시제차 시운전시험에 활용하고 있는 중이다. 100년 이상의 철도 역사를 갖고 있지만, 이렇게 체계적이고 종합적인 계측시스템의 구축은 국내에서 처음이라고 판단된다. 이 계측시스템을 활용한 본격적인 시운전시험을 통해 열차 성능을 판단하는 시험기술이 한층 더 향상되리라고 판단되며, 고속전철기술개발에서 구축된 계측시스템과 시험기술에 대한 Know-how는 다른 철도시스템의 개발에도 활용할 수 있다.

## 후기

본 내용은 건설교통부와 산업자원부 및 과학기술부에서 시행한 선도기술개발사업의 기술결과임을 밝힌다.

## 참고문헌

1. 고속전철시스템 기본사양, 1998. 3, 한국철도기술연구원

2. 고속전철 열차시험 및 성능평가 기술개발, 고속전철기술개발사업연차보고서(1998), 건교부, 통산부, 과기처
3. 고속전철 열차시험 및 성능평가 기술개발, 고속전철기술개발사업연차보고서(1999), 건교부, 산자부, 과기처
4. 고속전철 열차시험 및 성능평가 기술개발, 고속전철기술개발사업연차보고서(2000), 건교부, 산자부, 과기처
5. 한국형 고속전철 차량시스템 열차편성 및 기본 설계기준, 1999, 한국생산기술연구원
6. 고속전철기술개발사업 시험평가 종합계획(안), 1999, 한국철도기술연구원
7. The Measurement and Automation catalog, 2001, National Instruments