

지능형 도로정보체계의 유지관리 지식기반 구축을 위한 온라인 고장검출 시스템 연구

류승기, 최도혁, 최대순, 문학룡, 김영춘, 홍규장  
 한국건설기술연구원 토목연구부 첨단도로시스템연구그룹

A Study on the Online Fault Detection System to construct the knowledge based Maintenance System of Intelligent Highway Information System

Seung-Ki Ryu, Do-Hyuk Choi, Dae-Soon Choi, Hak-Yong Moon, Young-Chun, Gyu-Jang Hong  
 Korea Institute of Construction Technology Civil Advanced Highway system Research Group

**Abstract** This paper introduces a implementation of fault detection for national highway line 3. Fault detection system was installed and operated on national highway line 3, environmental elements caused by abnormal status or faults has often happened. Therefore, the function of fault detection system is to speedy notify fault site, cause as well as scale of fault to manager. Though the fault detection and diagnosis system has been imported in the field of process of water and electric power, it is just beginning step in the field of ITS(Intelligent Transportation Systems). In general, Maintenance system is performed the online/offline process of detection, diagnosis and measure. This paper is studied online detection process, which is realtime remote detection.

이중에서 온라인 고장검출 시스템을 중심으로 연구하며, 시스템의 구성형태, 실증실험 및 검증, 활용방법 등에 대해서 분석한다. 고장검출 시스템은 고장데이터를 실시간으로 원격 검출할 수 있는 방법을 제안하며, 이를 통해 유지관리 지식기반 체계를 구성하고, 이의 적용성과 효용성을 분석한다.

1. 서 론

급속한 경제성장과 함께 80년 중반 이후부터 차량은 매년 약 20% 이상 증가하는 반면, 도로용량은 약 10% 미만의 구축에 머무르고 있어 이러한 성장 불균형으로 도로혼잡, 환경과피, 물류비 증가 등 사회·경제적인 문제가 증가하고 있다. 이에, 국가적인 차원에서 지능형 교통 시스템(ITS)을 추진하고 있으며, 정보 흐름 측면에서 보면, 일차적으로 차량의 감지를 통해 필요한 교통 정보를 검출하는 검지프로세스, 축정한 자료를 취합하여 도로 이용자에게 필요한 정보를 제공하기 위한 정보 가공·분석프로세스 그리고, 정보·가공 분석에 의해 결정된 정보를 도로 이용자에게 시각적으로 제공하는 정보 표시 프로세스 등으로 표현할 수 있다. 이러한 시스템들은 정보 제공의 효율성과 정보 처리에 대한 전략에 초점을 맞추었으며, 운영상에 필수적인 유지보수 및 고장진단을 위한 유지관리 지식기반 시스템의 구축은 개념 단계에 머무르고 있는 상태이다.

일반적으로 유지관리 시스템은 먼저 고장정보의 검출 프로세스를 수행하고, 여기서 다중으로 발생하는 고장정보를 신속히 처리하는 진단프로세스 그리고, 진단결과에 따라 온라인 또는 오프라인으로 고장 수습처리를 실시하는 일련의 과정으로 수행한다. 그림 1은 유지관리 지원 체계의 업무 흐름도이다.

2. 다중정보의 고장처리

도로정보체계에서 시스템의 고장, 관리자의 조작실수, 센서의 고장, 제어 시스템의 고장 등으로 인하여 발생하는 시스템의 비정상 상태(abnormal state)를 관리자에게 알려주는 고장정보는 시스템의 운전상태 파악에 있어서 매우 중요한 신호이다. 고장정보는 이상상태를 표출하여 시스템의 운영 지원하는 것을 목적으로 하나, 여러 개의 정보가 동시에 발생할 경우에는 관리자에게 시스템의 상태를 파악하는데 인지부담(cognitive load)을 주게된다. 이러한 고장정보는 일반적으로 하나의 고장에 의해서 파급되어 다중으로 고장정보를 발생하는 경우가 대부분이다. 따라서, 다중으로 발생하는 고장정보에 대해서 발생원인과 이에 대한 신속한 조치방법을 관리자에게 제공하는 것이 요구된다.

일례로, 차량검지시스템은 22가지의 고장정보를 검출하여 고장특성을 파악하도록 하고 있으나, 고장정보를 발생하는 형태는 하나의 고장원인에 의해 다른 고장정보에 영향을 주기도 한다. 실제로, 국도 3호선에 설치된 차량검지 시스템에서 발생하는 정보의 수는 더욱 많아지고 복잡하게 된다. 따라서, 차량검지 시스템에서의 고장정보는 검출특성, 기능별로 분류하여 고장원인의 해석에 도움을 주고자 하였다. 22가지의 검출되는 고장정보들은 전원부, 접점신호부, 합체환경부, 제어 신호부로 분류하여 고장원인을 신속하게 탐색할 수 있도록 고장정보를 분류하였다. 이와 같은 과정으로 국도 3호선의 고장진단을 위한 고장처리방법을 제안하였다.

본 연구에서는 도로정보체계의 관리를 위해서 현장에 발생하는 고장정보를 검출하고, 유용한 정보로 이용하기 위해 지식베이스화하는 방안을 제시하였다. 검출정보의 지식베이스로부터 고장진단을 수행하는 단계는 본 연구에서는 생략하였으며, 고장진단 단계는 다음과 같은 프로세스를 수행한다.

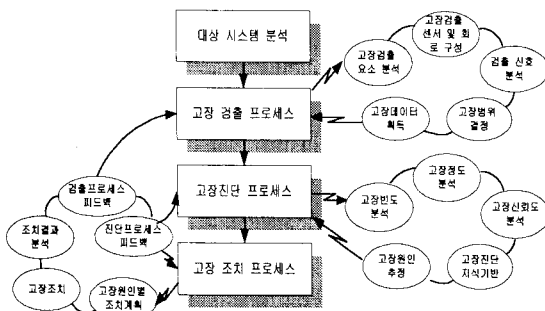


Fig. 1 Work flow of Maintenance System.

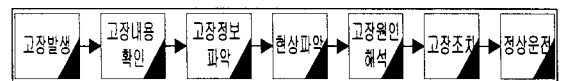


Fig. 2 General flow of fault diagnosis.

여기서는 고장검출 방법과 검출정보의 지식화하는 방식에 대해서 연구하였다. 다중으로 발생하는 고장에 대해 현상을 파악하고 원인을 분석하여 적절한 대책을 마련하는 고장진단 방법은 고장모드, 현상파악, 원인분석 등을 수행한다. 고장모드는 시스템 부품의 불량으로 인한 고장, 설계상의 불량으로 인한 고장, 관리상의 불량

으로 인한 고장 등으로 분류된다. 시스템 부품불량으로 인한 고장은 부품, 모듈의 외형 손상, 기능불량, 특성불량 및 열화 등과 구조, 기능, 회로 및 시스템 등의 설계 불량으로 인한 고장을 들 수 있다. 고장현상은 시스템의 이상 및 고장상태가 계속 발생하는 고장과 돌발적이고 단속적으로 발생하는 단발고장으로 분류할 수 있다. 단발고장은 환경요인(온도, 습도, 먼지, 진동, 충격), 써지, 전원 정전, 전압 변동, 부하 측의 단락, 접지 등에 의해 고장현상을 발생하며, 이를 근거로 고장진단을 하게 된다. 이러한 고장진단과정에서 발생하는 문제는 고장현상의 다중발생으로 인하여 관리자에게 원인규명을 하는데 방해를 주게되거나, 정확한 고장해석을 불가능하게 한다. 즉, 고장진단은 현상을 정확하게 파악하는 것이 선결되어야 하며, 일반적으로 고장 발생 시 정상적인 운전상태와의 차이, 즉 전원이나 부하의 변동, 이상 소음발생, 진동이나 충격 등으로 인한 고장현상을 파악하여야 한다. 이러한 고장현상의 분석으로 통한 고장진단은 시스템의 상태를 판단하기 위해 진단 규칙, 고장현상 자료가 요구된다. 진단규칙은 시스템에 따라 계속신호를 토대로 비교하여 고장진단을 수행한다.

이러한 과정을 토대로 국도 3호선에 설치한 시설물에 대한 고장검출 방법과 수집데이터의 분석방법을 다루었다.

### 3. 고장데이터의 검출과 분석

#### 3.1 고장데이터 검출

대상시스템에서 고장정보를 발생시키는 지역시스템은 현장부의 차량 검지시스템, 가변정보 시스템(VMS), 지역관계 시스템, 중앙관계 시스템 등으로 구분하며, 감시되는 현상 및 센터 시스템의 요소 기기의 작동상태, 고장상태, 계측치, 원격제어에 대한 정보를 상시 표시하도록 하였다. 고장정보 전송의 흐름을 논리적으로 표현한 것이다. 그림 3은 대상 시스템의 고장진단을 위해 구현하는 지능형 고장 진단 시스템에서의 정보 전송은 다양한 정보의 흐름이 지속적으로 수행한다.

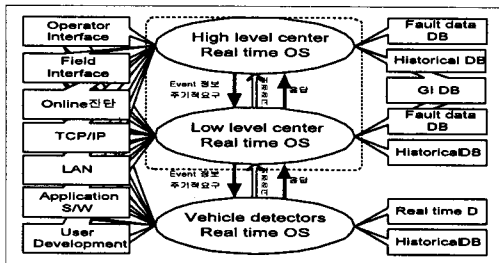


Fig. 3. Logic of data translation for system.

지능형 고장진단 시스템의 구축형태는 중단부에 속하는 현장부문과 센터부문에 속하는 상위계층 및 하위계층이 있다. 여기서, 중단부는 현장의 차량 검지시스템과 가변정보 시스템을 의미하며, 여기서 발생하는 정보는 센터부문에 전달되고, 센터에서의 제어정보는 중단부로 전달되도록 하였다. 센터부문은 지역관계 개념의 하위센터와 중앙관계 개념의 상위센터로 구분하였고, 본 시스템의 상위 및 하위 센터는 위치적 또는 기능적으로 구분되어 있다.

본 시스템의 감시 대상 설비 중에서 감시사항을 정리하면, 설비상태정보, 계측정보, 써지(surge)정보 그리고 원격제어정보로 분류하였다. 분류된 정보에 대해서는 다음절에서 구체적으로 언급하였으며, 본 절에서는 이러한 정보를 감시하는 방법에 대해서 다루었다. 여기서서는 현장 검지기 및 가변정보 시스템의 감시방법을 요약하며, 좀더 구체적으로는 전원 입력단의 누전시 전원을 차단할

수 있는 누전회로(ELD), 낙뢰로부터 보호하기 위한 lightning arrester(surge protector)와 lightning counter, noise filter 등의 보호회로에서 감시점을 추출한다. 그리고, 현장의 환경여건에 따른 감시설비의 동작상태를 파악하기 위해 방법, 방재, 내외부 온도, 습도 등에 대한 감시정보를 추출하여 센터에 전송하도록 하였다. 그림 4는 현장에 설치된 차량검지 시스템(VDS)을 고장진단하기 위한 고장정보 검출회로도이다.

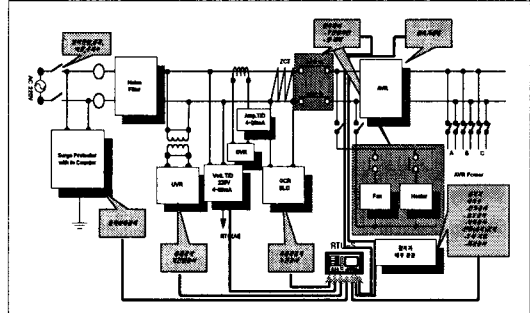


Fig. 4 Fault detection diagram of VDS.

본 차량검지 시스템의 고장검출회로는 국도 3호선의 9개소에 설치하였으며, 여기서 발생하는 검출정보의 형태는 22가지의 정보가 있고, 이들 정보들은 고장시 상호 연동적으로 고장정보를 발생시키기도 한다. 따라서, 본 연구에서는 전처리과정으로 고장발생시 영향을 주로 주는 발생부위 및 특징별로 4개 그룹핑을 하였다. 즉, 인입 전원의 전압, 전류, 역률, 주파수와 같이 공급전원의 상태에 따라 고장발생이 연동될 수 있는 항목을 그룹핑하여 전원상태 정보로 하였으며, 합체 내외부의 환경요소인 진동, 내외부 온도, 습도 등은 환경상태정보로 그룹핑하였다. 또한 제어기에 설치한 릴레이 기기들은 점접상태정보로 구분하였고, 차당기의 원격제어 및 팬의 원격제어에 대해서는 제어신호부로 그룹핑하였다. 이처럼, 차량검지 시스템에 대해서 4가지로 그룹핑하여 발생할 수 있는 고장정보의 신속한 원인 규명에 목적으로 두고 있다.

#### 3.2 고장 검출 데이터 분석

지능형 고장진단 시스템에서 중점적으로 고장정보를 검출하고 정보를 관리하고자 하는 대상 시스템의 진단 대상과 기능이 설정되어야 한다. 표 1은 대상시스템의 고장진단 목적과 기능을 정리한 것이다. 여기서는 현장의 차량검지 시스템과 가변정보 시스템 그리고 지역 및 중앙 관계 시스템에 대한 일반적인 진단 사항을 정리하였다.

Table 1. Fault-diagnosis target and function of system

진단대상	기능
검지기지원설비 전원공급및보호설비 통신모호및지원설비 VMS보호및지원설비 지락및낙뢰감시 방재, 방범설비 공조설비 출입, 통제감시	하위레벨(현장부) 방범-분전반 상태 감사-전원(상용 및 비상) -환경:온도 습도 등 제어-환경:환풍설비 통신-전송선로 최선상태
주요전산장비상태감시 진동(충격)감시	상위레벨(중앙부) 검지기-전원상태, 동작상태 방재· 방범-화재, Door감시 감시 -전원감시 지역관계 시스템 -환경감시: 온도 습도 등 중앙관계 시스템 제어-환경: 환온· 환습제어 통신-전송선로 최선상태

고장 진단 시스템의 대상은 위계상 현장 지역시스템과 중앙의 시스템으로 구분하였고, 각 서브 시스템에서 공통적으로 고장 검출하고자 하는 대상설비와 기능을 정리한 것이다. 시스템의 고장정보 처리를 위한 고장정보

분석용 입출력 리스트는 표 2와 같다. 입출력 리스트는 고장정보의 요소 분석을 정리한 것으로 현장영역의 중단 제어부와 중앙처리 영역의 지역 및 중앙 관제부의 시스템 설비에 대해서 각 고장진단 제어기(RMCU)의 입출력 정보를 분석하였다. RMCU는 고장진단 및 검출을 위한 장치로서 정보처리용 CPU모듈, 정보전송을 위한 통신모듈, 고장검출정보의 인터페이스를 위한 I/O모듈, 정보를 일시적으로 저장할 수 있는 메모리모듈, 그리고 전원부 및 보호장치 등으로 구성되어 있다. RMCU는 16비트 메인 프로세스를 가진 입출력 제어모듈이고, 고장정보 처리를 위해 각 위계에서 발생하는 고장정보의 내용과 형태를 분석하였고 이로부터 고장해석을 수행하기 위해 신경회로망의 입출력 관계로 분석하였다. 고장정보는 RMCU에 의해 감시·제어되며, 이러한 정보는 광케이블을 통해 56Kbps급으로 중앙처리영역에 전송된다. 아울러, RMCU와 검지장치 간은 RS-232C 통신방식을 사용하였다. 고장정보 처리를 위해, 입출력 리스트를 기준으로 작성된 계통 모델의 데이터베이스에서는 발생된 검지정보들의 분류와 각종 설비내역 및 작동 스위치의 기능 분석을 수행하며, 각 계통에 관련된 전문가들의 경험적 지식을 프레임 형태로 구현한다. 각 프레임은 연속적으로 입력되는 신호 중에서 발생한 고장정보를 데이터베이스에 저장하고, 고장정보 및 상태정보들을 표준화된 데이터포맷으로 저장하며, 표준화된 데이터포맷은 본 시스템에서 결정한 프로토콜 패키지에 의해 정보를 처리하도록 한다. 또한, 데이터베이스의 고장정보를 기반으로 신경회로망과 연계하여 고장해석을 추론하도록 한다. 지역시스템에서 발생하는 고장정보들은 상태정보, 점점정보 그리고 제어정보 등으로 구분하며, 상태정보에는 전원부의 입력전압, 전류, 주파수, 역률 등을 포함하며, 점점정보는 이상발생 시 보호회로레이 등의 점점정보를 발생하며, 누전, 지락, 낙뢰, 썬지 등이며, 제어정보는 팬 또는 히터의 원격제어정보이다. 이와 같은 정보는 아날로그 또는 디지털형태의 입력신호가 고장진단을 위한 신경회로망의 지식 또는 학습데이터로 사용하기 위해서 디지털 형태로 변환하여 지식을 표현하였다. 표 2는 차량검지 시스템의 검출 고장정보의 형태와 학습데이터로 사용하기 위해 정리한 것이다.

Table 2 I/O list of fault detection data(VDS:RMCU-S)

분류	I/O Contents	I/O Type	Unit	Bound Condition		입·출력	
				Zero	Full	내 용	출력
차량검지 시스템	검지기 입력 전원 전압	AI	V	220±13 범위 내	220±13 범위 외	상태감시	I1
	검지기 입력 전원 전류	AI	A	500내	500이상	상태감시	I2
	역률	AI	PF	0.90이상	0.90내	상태감시	I3
	주파수	AI	Hz	60±1% 범위 내	60±1% 범위 외	상태감시	I4
	검지기 누전 정보	D	알람	복귀	알람	상태감시	I5
	지락검출(ELD)	D	알람	복귀	알람	상태감시	I6
	검지기 낙뢰 발생	D	알람	복귀	알람	상태감시	I7
	검지기 AVR	D	알람	Off	On	상태감시	I8
	검지기 저전압(AVR)	D	알람	Off	On	상태감시	I9
	검지기 동적통신상태	D	상태	Off	On	상태감시	I10
	검지기 Surge Anestor 이상	D	알람	Off	On	상태감시	I11
03	검지기 제어할 내부 온도	AI	°C	-20~45 범위 내	-20~45 범위 외	상태감시	I12
	검지기 제어할 외부 온도	AI	°C	-20~45 범위 내	-20~45 범위 외	상태감시	I13
	검지기 제어할 내부 습도	AI	%	5~95 범위 내	5~95 범위 외	상태감시	I14
	검지기 제어할 외부 습도	AI	%	5~95 범위 내	5~95 범위 외	상태감시	I15
	검지기 제어할 진동(충격)	D	알람	복귀	알람	상태감시	I16
04	도어 개방	D	이벤트	닫힘	열림	상태감시	I17
	화재감지	D	알람	정상	알람	상태감시	I18
	합계내부 동 작동 상태	D	상태	Off	On	상태감시	I19
	검지기 히터 동작상태	D	상태	Off	on	상태감시	I20
	검지기 전원 원격제어/차단	Do	차단	Off	On	제어감시	I21
	검지기 제어할 원격제어	Do	상태	Off	On	제어감시	I22

고장정보 처리를 위해, 상기 표2의 입출력 리스트를 기준으로 작성된 계통 모델의 데이터베이스에서는 발생된 검지정보들의 분류와 각종 설비내역 및 작동 스위치

의 기능 분석을 수행하며, 각 계통에 관련된 전문가들의 경험적 지식을 프레임 형태로 구현한다. 각 프레임은 연속적으로 입력되는 신호 중에서 발생한 고장정보를 데이터베이스에 저장하도록 구성하며, 저장된 데이터 베이스를 통하여 감시 대상에 대한 노화 정도와 운영관리 형태를 진단할 수 있으며, 발생된 정보는 고장 원인 및 진단 관계를 이용하여 보수진단 규칙을 형성하고 그 결과를 화면에 제공하여 관리자가 이들 정보를 유지보수에 활용할 수 있도록 지원한다.

고장검출 정보 중에서 아날로그 데이터는 5분 주기로 검출하고, 디지털 데이터는 2초 단위로 검출한다. 그림 5는 1999년 4월 1일 00시부터 12시까지 검지기 RMCU 1개소에서 검출하는 아날로그 정보 중에서 전압정보의 수집결과이다. 그리고 그림 6은 그림 5와 같은 장소에서의 1999년 4월 한달 간의 검출 결과이다.

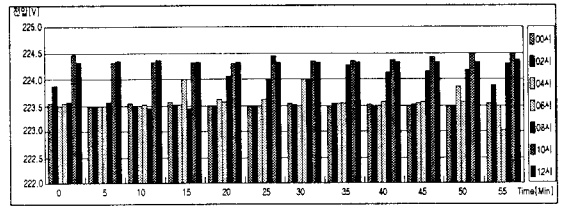


Fig. 5 Detection Data of RMCU(one day).

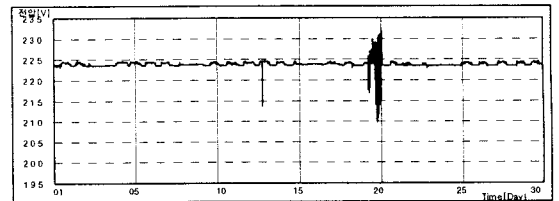


Fig. 6 Detection Data of RMCU(one month).

### 3. 결론

본 연구에서는 국가 인프라 구축기술인 지능형 교통시스템의 유지관리 및 고장진단을 합리적으로 수행하기 위한 고장검출 시스템에 대해서 연구하였다. 먼저, 대상시스템의 분석을 통해 유지관리를 위한 고장정보 검출시스템의 구조적 해석을 수행하였다. 고장검출은 지역시스템에서 발생하는 고장상황을 정확히 계속하는 것이 선행되며, 이를 위해 현장의 지역시스템에 고장정보를 검출할 수 있는 회로와 장치를 설계하여 구성하였다. 그리고, 검출정보로부터 데이터의 정보를 분석하여 이를 고장해석에 이용하였다. 검출된 고장정보는 고장진단에 사용하기에 유효한 데이터로 검출되며, 그림 5, 6에 보였듯이 검출데이터의 정확도는 98% 이상이며, 이들 수집정보로부터 고장범위를 설정하여 고장 정보를 생성하였다. 이러한 데이터의 신뢰성은 현재 구축되어 있는 유지관리 시스템을 운영한 결과, 검출정보를 활용하여 진단 및 유지관리 업무에 적극 활용할 수 있다.

#### 참고문헌

- (1) 건설교통부, 한국건설기술연구원, "수도권국도 교통관리체계 시범구간 구축 및 평가, 1998.
- (2) 한국 건설 기술연구원, "전기설비 고장사고 예방 및 진단 기법에 관한 연구, 1996.
- (3) 류승기, "신경회로망에 의한 도로정보시스템의 고장정보처리 알고리즘구현및적용", 조명전기설비학회, 198-201, 1998.
- (4) M.Toyoda, "Supervisory Control System for Expressways", Fuji Elec. Jour. Vol. 62 No.12 pp.772-776, 1989.
- (5) S.K.Ryu, "A study on the multi-hierarchical maintenance system of electrical demand facilities for building intelligent", Proc. of 36th SICE Annual Conf. pp.1057-1060, 1997.