

■ 論 文 ■

자기장을 이용한 루프검지기 자동진단시스템 개발

Development of an Automatic Comprehensive Condition Diagnosis System for Inductive Loop Detector Using Magnetic Field

김 남 선

(아주대학교 교통연구센터 수석연구원)

이 승 환

(아주대학교 환경건설교통공학부 교수)

오 영 태

(아주대학교 환경건설교통공학부 교수)

이 철 기

(아주대학교 ITS대학원 교통연구센터 부센터장)

강 증 식

(유틸정보(주) 이사)

목 차

- I. 서론
 - 1. 연구의 목적
 - 2. 연구의 내용
 - 3. 이론적 고찰
- II. 설치현황 및 문제점 분석
 - 1. 설치현황
 - 2. 문제점 분석
- III. 루프검지기 자동진단시스템 개발
- IV. 시스템 개발 및 현장실험
 - 1. 시스템 개발
 - 2. 현장실험
- V. 결론
- 참고문헌

Key Words : 자동진단시스템, 루프검지기, 자기장, 주파수, 검지영역, 속도, 점유시간, 유지보수

요 약

본 연구는 기존의 루프검지기의 설치 및 유지보수를 위한 성능평가 방법으로서 사용해왔던 L-R-C(Inductance-Resistance-Capacitance) Test에 의한 Q Factor(질 계수)방법을 대체/보완할 수 있는 새로운 방법에 대한 연구이다.

기존의 Q Factor방법은 크게 세 가지 문제점을 수반하고 있다. 첫째, 현장의 루프검지기의 전기적 특성인 L-R-C값을 Q Factor를 기준으로 루프검지기의 현재 성능을 평가함으로써 인력에 의존하는 효율성에 문제를 안고 있으며 둘째, 루프검지시스템의 전체를 대상으로 하지 않고 일부의 측정치만으로 전체시스템을 추론하고 있다는 점과 셋째, 기존의 방법으로는 루프검지기의 검지영역, 즉 높이별 검지영역을 알 수 없다는 것이다.

따라서 본 연구에서는 이러한 문제점을 보완할 수 있는 방법으로서 루프검지기헤드에서 발생하는 자기장을 측정하여 루프검지기 전체시스템의 현재상태를 파악하고자 하였다. 이를 위하여 루프검지기에서 생성되는 자기장을 검출할 수 있는 센서와 자료수집방법, 분석방법 및 진단방법 등을 개발하였다.

This research aims at developing a new method which can replace the existing method, known as the quality factor(Q factor) method by an L-R-C test for use in the performance test of inductive loop detectors(ILD) being installed and maintained.

In this study, a sensor to detect a magnetic field in terms of frequency and intensity, a method to collect field data, the method of analysis, and the method of diagnosis were developed. An automatic diagnosis system which was developed to overcome those drawbacks has the following features : First, field data is collected automatically by a test vehicle equipped with magnetic field sensors that is running can be said to along the roadway and, thus, the new system completely overcome the roadway and, thus, the new system can be said to completely overcome the inefficiency of the existing method second, since the magnetic field generated from the ILD is the final output of the whole system of ILD, the existing problem has been solved. third, since each of the detection area by height is collected by the magnetic sensors installed by height, a basic for the identification of the vehicle types to be detectable and the setting of adjustment factors has been made. For the automatic diagnosis system developed during in this study, a reliability test was carried out by comparing vehicle times of ILD installed ideally.

1. 서론

1. 연구의 목적

지능형교통체계(ITS : Intelligent Transport Systems)의 성패를 결정짓는 것이 교통정보 수집부문이며, 이의 핵심장비가 바로 차량검지기란 점은 이론의 여지가 없다. 교통정보의 수집 및 처리는 첨단교통관리시스템(ATMS) 본연의 목표달성을 위한 필수적인 기능일 뿐만 아니라 여기에서 형성된 데이터베이스는 기타 지능형교통시스템(ITS)의 제공서비스를 가능하게 하는 근간이 된다. 현재 우리나라에서는 지능형교통시스템(ITS) 구축사업이 활성화되면서 교통정보의 수집장치로서 차량검지기의 수요가 나날이 증가하고 있다. 검지기의 종류는 매우 다양하지만, 다양한 종류의 검지기에 대한 특성실험 및 현장적용실험에도 불구하고, 검지기의 데이터 신뢰성, 기후 영향, 경제성 등을 고려하여 루프검지기가 가장 널리 사용되고 있다.

루프검지기의 고장 및 기능저하의 주요 원인은 도로 포장, 재포장, 실런트 손실, 루프코일의 노출 등의 원인에 의한 것과 관리부실에 따른 기능저하(시간경과에 따른 기능저하 및 고장 발생)가 주요 원인으로 판단된다. 더불어 과학적인 관리시스템의 부재도 요인의 하나로 지적되고 있다. 현재 우리나라의 루프검지기 관리체계는 관제센터에서 데이터가 수신이 되지 않는 경우나, 오류 데이터로 판단되는 해당 루프검지기에 대하여 보수유지계약을 맺은 업체의 관리담당요원이 현장에 출동하여 점검하는 인력에 의존하는 방식을 따르고 있다. 그래서 지능형교통체계의 근간이 되는 교통정보 수집장치의 중요성과 교통관리시스템 확장에 따른 수요의 급증과 원시적인 점검에 그치는 현 보수유지체계의 한계점을 극복하기 위해서는 보다 과학적이고 효율적인 검사장비의 개발과 보수유지체계의 확립이 시급히 요구된다. 따라서 본 연구의 목적은 일차적으로 기존의 인력에 의존한 비체계적인 진단체계를 획기적으로 바꿀 수 있는 과학적인 루프검지기 자기장 측정알고리즘과 진단 알고리즘을 개발하여 이를 기반으로 한 효율적인 관리체계를 구축하는 것이다.

2. 연구의 내용

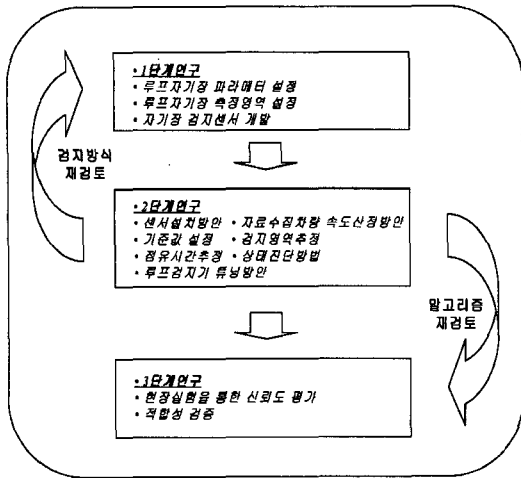
본 논문은 현재 루프검지기의 신규 설치상태 및 유지

보수시 상태진단을 위한 성능평가 방법으로서 사용해진 L-R-C(Inductance-Resistance-Capacitance) Test에 의한 Q Factor(질 계수)방식을 대체/보완할 수 있는 새로운 방법에 대한 연구이다.

기존의 Q Factor방식은 크게 세 가지 문제점을 수반하고 있다. 첫째, 현장의 루프검지기의 전기적 특성인 L-R-C값을 Q Factor를 기준으로 루프검지기의 현재 성능을 평가해 왔다. 그러나 이 값은 자료수집시 일일이 현장의 루프선을 찾아 측정기기인 L-R-C Meter를 이용하여 직접 측정하는 방식으로 효율성에 문제를 안고 있으며 더불어 인력에 의존할 수밖에 없다. 이런 문제로 인하여 실제로는 현장의 L-R-C Test에 의한 Q Factor산출은 이루어지지 않고 교통관리센터(TMC : Traffic Management Center)에서 파악가능한 자료인 단선 및 통신두절시 점검을 하고 있는 상태이다. 둘째, 루프검지기는 루프헤드, 리드인, 휘더선, Pull Box, 검지기 보드(Board)로 구성되는데 기존의 방법은 루프헤드, 리드인, 휘더선 등 루프선에 한해서 Q Factor를 산출한다는 점이다. 이는 루프검지시스템의 전체를 대상으로 하지 않고 일부만으로 전체시스템의 상태를 추론하고 있다는 것을 의미한다. 셋째, 기존의 방법으로는 루프검지기의 검지영역, 즉 높이별 검지영역을 알 수 없다는 것이다. 높이별 검지영역을 모르면 검지가능차종과 차종별 실 점유시간을 추정할 수가 없다. 이는 연속류인 고속도로 교통관리시스템(FTMS)의 교통류 관리시스템과 돌발상황 관리시스템 등의 루프검지기 점유시간/점유율 자료수집시 오류를 수반할 수 있다. 또한 단속류인 한국의 신신호시스템 등 통과차량에 대한 비점유시간 혹은 점유시간으로 신호제어 및 속도 산출에 이용하는 시스템에도 그 영향을 줄 수 있다.

따라서 본 연구에서는 이러한 문제점을 보완/극복할 수 있는 방법으로서 루프검지기헤드에서 발생하는 자기장을 측정하여 루프검지기 전체시스템의 현재상태를 파악하고자 한다.

루프검지기 자기장 형성상태를 파악하기 위하여 자기장 측정장치와 측정방법 및 분석/진단 알고리즘을 개발하였다. 이때, 측정장치는 루프검지기 헤드에서 형성되는 자기장의 주파수와 세기를 대상으로 높이별로 검지영역의 단면에 대하여 개발된 센서를 차량에 탑재하여 주행함으로써 자료를 수집한다. 그리고 수집된 측정 자료를 대상으로 루프검지기의 현재상태분석을 실시하며 이를 토대로 현재 루프검지기의 상태를 진단하고 그



〈그림 1〉 연구의 내용

진단결과에 따른 조치를 취하기 위하여 분석 및 진단 알고리즘을 개발하였다. 구체적으로 자기장을 이용한 자동진단시스템을 구현하기 위해 자기장 센서 설치방안 수립, 자기장 기준값 설정, 자료수집차량 속도산정 알고리즘, 검지영역 추정 알고리즘, 점유시간 추정 알고리즘, 상태진단 방법, 루프검지기 튜닝방안 등을 제시하였다.

이상의 연구의 결과로 개발되는 자동진단시스템에 대하여 이상적으로 설치된 루프검지기를 대상으로 실차량 점유시간의 비교를 통한 신뢰성 평가를 실시하였다.

3. 이론적 고찰

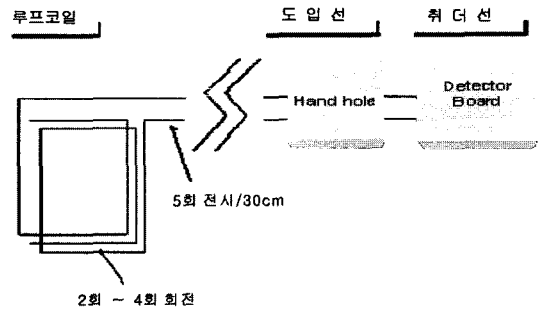
1) 자기장

자기장은 자기장내에서 도체가 움직이면 도체 내부에 기전력이 유발된다. 즉, 자극이나 전류에 의해 특수한 성질이 주어지는 공간이다. 자기장의 특징은 자기장 내의 각각의 점이 잠재적으로 지니고 있는 자기력의 세기이다. 이것을 자기장의 세기라고 하며, 단위인 양자하를 자기장 내의 한 점에 놓았을 때 이것이 작용하는 자기력의 크기와 방향을 그 점에서의 자기장의 세기로 정한다. 그 단위는 자하의 단위를 CGS전자기단위로 할 때 에르스텝(기호 Oe)을 사용하며, 1CGS 전자기 단위인 양자하에 대하여 1dyn의 힘이 미치는 경우에 그 점의 자기장의 세기를 1Oe이라 하며 전류의 경우, 자기작용에 의해서 정해지는 암페어헷수/미터(AT/m)라는 단위를 사용한다.

2) 루프검지기

1960년 초반에 루프 검지기가 소개된 후 전자기 유도 현상을 이용하는 루프 검지기는 검지시스템에서 가장 많이 사용하게 되었다. 〈그림 2〉과 같이 루프검지기 시스템을 구성하는 주요 요소로는 도로에 매설한 루프 센서, 리드인선(Lead-in Cable), 접속함(pull box)에서 교차로 제어기까지 연결하는 휘더선(Feeder Cable) 그리고 제어기(L/C : Local Controller) 함체 안에 있는 각종 전자 장치 등을 들 수 있다.

루프 검지기 시스템의 구동 방식을 간략히 말한다면, 루프 코일에 10Khz에서 200KHz의 주파수를 가지는 에너지(전기)를 주게 되면 루프 와이어(도선)는 전기회로내의 전기적인 특성을 지닌 하나의 유도체가 된다. 그래서 차량이 루프내에 정지하거나 루프 위를 통과하게 되면 루프의 인덕턴스가 변하게 된다. 인덕턴스의 물리적인 변화량은 전기적인 신호 형태(펄스)로 바뀌어 차량이 루프를 통과했는지 혹은 정지해 있는지 를 판단하게 된다.



〈그림 2〉 루프검지기 구성

II. 설치현황 및 문제점 분석

1. 설치현황

국내 루프검지기 설치는 초창기 서울시에서 미국 Eagle사 신호제어시스템이 도입되면서 기본형태인 8각 루프검지기의 설계·시공이 최초였으며, 그 용도는 주요 구간의 교통상황 파악이었다. 그 후, 루프검지기가 확충 정비되었으나 계속된 지하철 공사 등으로 인한 노면굴착공사가 빈번해지면서 정상기능이 어렵게 되었고, 점차적으로 감소하여 현재는 전자신호제어시스템 구축 당시 설치되었던 루프검지기는 전량 폐기되었다.

루프검지기가 본격적으로 설치하게 된 것은 1993년

〈표 1〉 루프검지기 설치현황(2001년 기준)

구분	서울	대전	전주	제주	원주	기타	계
신호제어	2,589	858	371	308	162	5,014	9,302
과속단속 ¹⁾	708	1,216	420	284	352	4,076	7,056
신호위반 ²⁾	306	114	108	30	90	1,032	1,680
고속도로	12,560						12,560
총계	30,598 (개)						

주 : 1) 과속단속용은 2차로 설치기준
 2) 신호위반은 2차로 설치기준

개발된 실시간신호시스템에서 신호제어를 위하여 32과
 과 8과 루프검지기를 기반검지기로 채택하면서 서울시
 강남지역을 중심으로 설치되었으며, 매년 확장사업에
 따라 설치수량이 증가하고 있다. 최근들어 신호제어용
 루프검지기는 ITS 모델도시 구축사업(대전, 전주, 제
 주), 지방도시ITS사업(수원, 울산, 원주), 서울시 도시
 고속도로 ITS 사업 등의 대단위 ITS사업으로 루프검
 지기의 수요는 기하급수적으로 늘어나고 있다. 그리고
 고속도로관리용과 단속용 루프검지기는 고속도로 구간
 의 확장과 단속용 무인장비의 증가로 계속 증가할 전망
 이다. 지금까지 설치된 루프검지기의 설치현황을 정리
 하면 〈표 1〉과 같다.

2. 문제점 분석

1) 고장 및 기능저하의 원인

루프검지기의 고장 및 기능저하의 주된 원인은 관리
 부실에 따르는 오차로서 도로파손에 의한 루프코일의
 단선 및 실런트의 파손, 그리고 재포장 등이 있다. 예
 를 들면 루프검지기는 새로운 아스팔트가 덧 씌워지는
 경우 루프코일의 감도가 떨어진다. 미국 캘리포니아주
 의 연구에서는 표준 설치된 루프 위에 추가로 5cm 포
 장을 덧 씌우면 감도가 12%, 15cm이면 35%, 20cm
 이면 50% 감소하는 것으로 보고하고 있다. 루프검지
 기는 도로에 매설되기 때문에 시간의 경과에 따라 파손
 및 고장, 그리고 기능저하 등이 발생한다. 1997년도
 서울시립대의 루프검지기 작동상태조사에 의하면 서울
 시에 설치되어 있는 607개소의 루프검지기 작동상태는
 불량이 57대(9%)이고, 사용불가가 215대(36%)로 약
 45% 가량이 불량 혹은 사용이 부적절한 것으로 나타
 났다. 이 조사에서 불량인 원인을 부적절한 시공 및 관
 리부실로 꼽고 있다. 미국 워싱턴주 교통국의 지원으로
 워싱턴대학교 토목공학과에서 수행한 연구결과에 의하

〈표 2〉 루프검지기 고장 원인별 분류 (단위 : %)

구분	아스팔트	콘크리트+아스팔트	콘크리트	
포장표면 균열	심함	18	20	2
	일부	29	40	20
	없음	53	40	78
포장면 융기	관측	10	0	0
	비관측	90	100	100
재포장	유	14	20	9
	무	86	80	91
실런트 손실	부분	35	10	11
	전체	23	30	38
	없음	42	60	51
루프선 노출	노출	39	35	38
	비노출	6	65	62
루프선 파손	파손	88	25	29
	판단불가	78	75	71

주 : 조사대상 불량루프 개수 - 아스팔트 : 275개, 콘크리트+아스팔
 트 : 20개, 콘크리트 : 45개(ITE, Traffic Detector Handbook,
 1991)

면, 루프검지기 고장의 주요 원인은 도로포장의 균열,
 도로에 시설물 보수 및 설치에 따른 파손, 관리 부족
 의, 실런트 파손 등의 순으로 나타났다. 루프검지기의
 전기적 특성에 의해 발생하는 오차의 원인은 사계절 및
 습도의 변화 등이 루프선 및 리드선에 영향을 주기 때
 문이다. 전기적 특성에 기인한 루프검지기 오류를 감소
 시키기 위한 방안은 환경의 변화에 따라 자동으로 각종
 변수를 조절할 수 있는 검지기를 사용하고, 루프를 습
 도 등 주위 환경에 잘 견디도록 견고하게 시공하도록
 제안하고 있다(〈표 2〉 참조).

III. 루프검지기 자동진단시스템 개발

1. 측정 파라미터 선정

루프검지기는 차량이 검지기를 통과할 때 인덕턴스의
 변화를 측정함으로써 교통정보를 수집한다. 이 인덕턴스
 의 변화량은 루프헤드를 구성하고 있는 도선에 전류를
 인가함으로써 형성되는 자기장을 차량이 주행하면서 변
 화시키는 정도를 말한다. 현재 루프검지기의 성능검사는
 검지기 보드의 상태와 전원공급의 안정성여부, 도로에
 매설된 헤드와 리드인(Lead-in)의 전선상태(L,C,R값)
 를 측정하여 산정한 품질계수(Q : Quality)를 이용하고
 있다. 그러나 이러한 H/W의 검사만으로는 루프검지기의
 상태를 정확히 파악하기 어렵다. 그리고 모든 검지기의
 상태를 이렇게 검사하여 유지보수 한다는 것은 정확한 상태

파악은 물론 시간과 비용측면에서도 많은 애로를 수반한다. 따라서 본 논문에서는 루프헤드와 리드인, 검지기 보드, 날씨, 루프선과 도로와의 관계 등 모든 변수가 종합하여 영향을 준 결과로서 루프검지기 헤드에 형성된 주파수와 자기장을 3차원 입체자료를 수집하여 형성상태를 분석대상으로 한다.

루프헤드에 형성된 자기장의 형태는 도선을 중심으로 방사형으로 나타난다. 이 자기장의 상태를 파악하기 위한 파라미터로는 임의의 지점에서 자기장의 세기와 방향, 루프검지기 보드에서 인가한 주파수의 크기이다. 차량의 검지는 자기장이 변화하는 것이고 그 결과로서 인덕턴스의 변화가 발생한다. 그리고 자기장은 검지기 보드의 주파수에 의하여 일정한 주기(Cycle)를 내포하고 있다. 따라서, 주파수의 존재여부는 자기장의 존재여부와 결부되어 이를 증명하는 것이다.

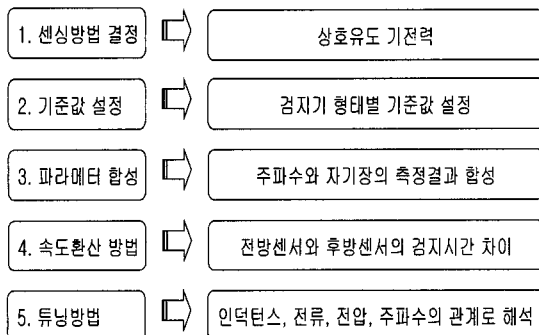
이에 본 논문에서는 자기장의 주파수와 세기를 루프검지기의 상태를 파악하기 위한 파라미터로 선정하였다. 자기장의 주파수와 세기에 대한 정의는 다음과 같다.

- 자기장 주파수 : 루프센서, 리드인, 휘더선을 포함한 R-L-C회로의 최종 출력 주파수(단위:Hz)
- 자기장 세기 : R-L-C회로에 인가된 전류, 전압에 의해 발생한 자기장의 세기(단위:A/m)

2. 기준값 산정방법

파라미터 기준값은 센서로부터 측정된 값을 비교하기 위한 표준값으로 이용된다. 기준값을 도출하기 위해서는 다음과 같은 과정을 거친다.

- 첫째, 상호유도 기전력에 대한 자기장 센싱방법결정
- 둘째, 검지기 형태별 기준값 설정
- 셋째, 파라미터의 합성기준



(그림 3) 기준값 산정과정

넷째, 측정된 자료의 속도를 고려한 실제 루프검지기 검지영역으로 환산방법

다섯째, 인덕턴스, 주파수, 전류, 전압의 관계에 의한 튜닝방법

위와 같이 5단계의 과정을 거쳐서 기준값이 도출된다(그림 3) 참조.

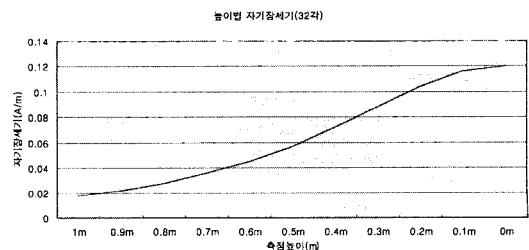
이론적 기준값의 산출시 입력전류는 NEMA에서 규정하고 있는 0.05amp로 동일하게 계산하였으며 측정 높이는 지면에서부터 1m까지, 루프검지기 헤드의 권선 간격은 실제로는 "루프검지기 설치시방서"에 따라야 하나 편의상 AWG 규격선외의 공간없이 0.0045로 산정하였다. 회전수는 국내에서 일반적으로 사용하는 3회로 설정하였으며 자기장의 세기는 A/m로 계산하였다.

32각 루프검지기의 경우, 자기장의 세기는 지면에서 0.120A/m에서부터 측정높이를 증가시키면서 0.5m에서는 0.045A/m로 나타났으며 1m 높이에서는 0.018A/m로 나타났다. 자기장의 세기는 측정거리가 길수록 적게 나타났다. 이를 그래프로 표현하면 (그림 4)과 같다.

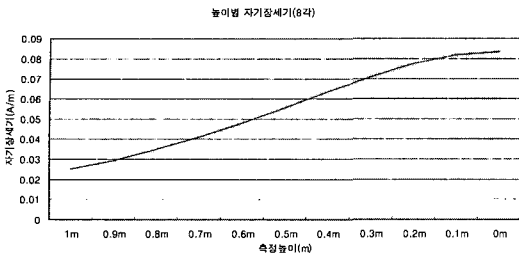
8각 루프검지기의 경우, 자기장의 세기는 지면에서 0.083A/m에서부터 측정높이를 증가시키면서 0.5m에서는 0.046A/m로 나타났으며 1m 높이에서는 0.029A/m로 나타났다. 자기장의 세기는 측정거리가 길수록 적게 나타났다. 이를 그래프로 표현하면 (그림 5)와 같다.

원형 루프검지기의 경우, 자기장의 세기는 지면에서 0.083A/m에서부터 측정높이를 증가시키면서 0.5m에서는 0.056A/m로 나타났으며 1m 높이에서는 0.029A/m로 나타났다. 자기장의 세기는 측정거리가 길수록 적게 나타났다. 이를 그래프로 표현하면 (그림 6)와 같다.

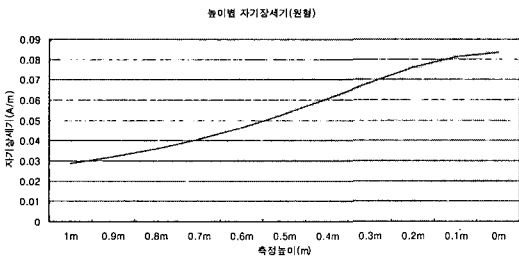
기준값의 산정결과 8각과 원형루프검지기는 지면에서 0.08정도의 자기장의 세기가 나타났지만 32각 루프검지기는 0.12의 높은 자기장의 세기를 보였다. 이는 루프헤드를 구성하는 폐회로의 반경이 작기 때문이다. 또한 1m에서는 8각과 원형 루프검지기가 0.03정도의 자기장



(그림 4) 높이별 자기장 세기(32각)



〈그림 5〉 높이별 자기장세기(8각)



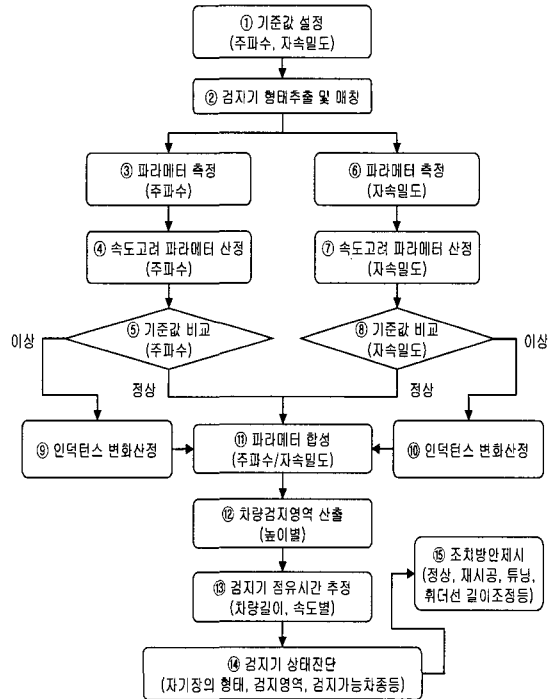
〈그림 6〉 높이별 자기장세기(원형)

의 세기를 가지고 있는 반면에 32각 루프검지기는 0.02 정도로 낮게 나타났다. 이는 차고의 높이가 낮은 차량은 32각 루프검지기가 보다 안정적인 반면, 높은 차고의 차량을 검지하기 위해서는 32각 보다 8각과 원형루프검지기가 유리하다는 것을 보여주고 있다.

3. 개발시스템 알고리즘

개발시스템의 알고리즘 흐름은 기준값이 설정되면 검지기 형태정보를 가지고 실제 도로를 주행하면서 파라미터(주파수, 자속밀도)를 측정하고 이를 속도를 고려한 추정치로 변환하여 설정되어 있는 기준값과 비교한다. 그 결과 정상인 경우, 파라미터를 합성하여 차량 검지영역과 차량길이별 점유시간을 추정한다.

그리고 주파수와 자기장의 측정결과를 두 가지 파라미터 모두가 기준값과 비교하여 그 이상일 때 합성하고, 측정결과치의 추출은 이동평균법(Moving Average Method)의 이동 블럭수(Moving Block) 즉, 평균을 산출할 때 사용하는 자료의 수에 의한 기율기 기준의 정보들을 종합하여 자기장의 형태, 검지영역, 검지가능 차종 등을 진단한다. 기준값 비교결과 이상으로 판명되면 인덕턴스 증감분을 산정하여 조치방안을 제시한다. 조치방안으로는 재시공, 튜닝방법, 휘더선 길이조정, 휘더선 연결부의 증폭 여부 등이다(〈그림 7〉 참조).



〈그림 7〉 개발시스템 알고리즘

IV. 시스템 개발 및 현장실험

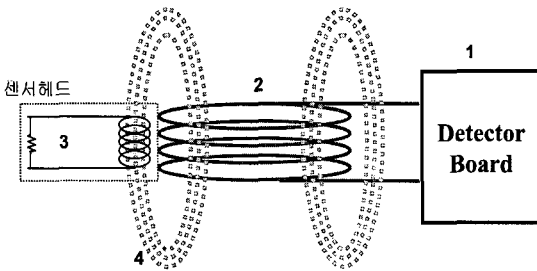
1. 시스템 개발

1) 측정 알고리즘

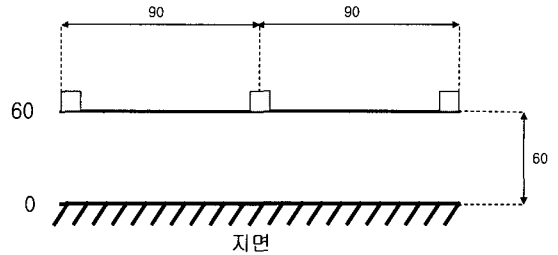
루프검지기 센서부에서 발생되고 있는 자기장의 측정은 자기장의 상호유도에 의하여 이루어진다. 루프검지기에서 형성된 자기장에 자기장센서를 근접시키면 자기장의 세기와 이 자기장에 실려 있는 주파수의 진동수가 검지된다. 자기장의 세기와 주파수의 진동수는 루프검지기에서 일정거리에서 기본 Base값을 유지하다가 자기장의 영향권에 들어가면서 증가하기 시작하여 루프검지기를 빠져나오면 감소한다.

〈그림 8〉은 자기장 센서가 루프검지기에서 형성된 자기장의 검지하는 과정을 도시한 것으로 루프검지기에서 형성된 자기장을 일정거리에서 단위 면적만큼 자속밀도를 센싱하고 있다. 이를 전류값으로 환산하여 측정자료로 이용한다. 그림상의 "1"은 루프검지기 보드, "2"는 루프헤드, "3"는 자기장센서회로, "4"는 형성된 자기장이다.

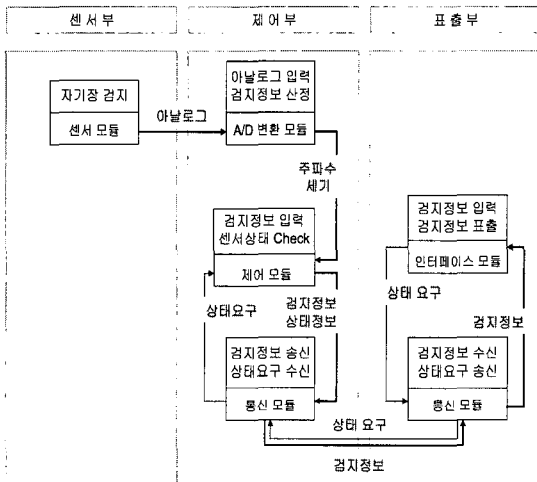
〈그림 9〉는 자동진단시스템의 정보흐름을 설명하고



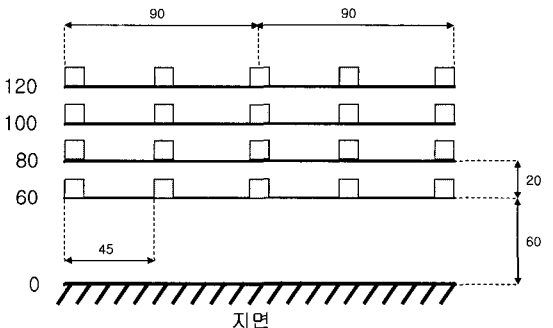
〈그림 8〉 자기장의 측정방법



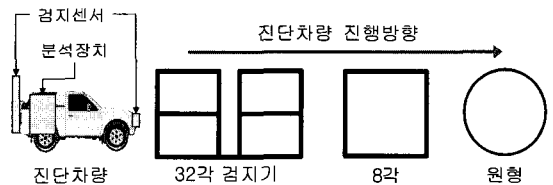
〈그림 11〉 전면부 센서장착 규격(단위 : cm)



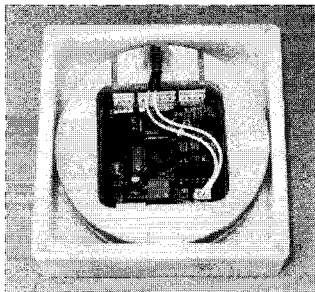
〈그림 9〉 자동진단시스템의 정보흐름도



〈그림 12〉 후면부 센서장착 규격(단위 : cm)



〈그림 13〉 자기장 측정방법



〈그림 10〉 검지부 센서헤드

있으며 크게 센서부, 제어부, 표출부로 나뉜다. 센서부에서는 센서모듈에 의해 자기장이 검지되며, 이를 아날로그 신호로 제어부에 전달한다. 제어부에서는 입력된 아날로그 신호를 A/D변환을 통하여 디지털 신호로 변환하며, 자기장의 세기와 주파수를 검출하여 검지정보를 산정한다. 이 과정을 A/D변환 모듈에서 처리한다. 제어모듈에서는 검지정보와 센서의 상태를 통신모듈로 전달한다. 통신모듈에서는 표출부로 정보를 전달하며 이는 인터페이스 모듈에서 처리한다.

센서보드는 개발장비 자체의 데이터 형식과 센서헤

드의 Scanning Time에 따라 일정 단위의 데이터를 제어부에 전송하는 기능을 수행한다. 일차적으로 센서헤드와 센서보드가 일체형으로 개발되었으며, 그 형태와 크기는 〈그림 10〉과 같다.

개발된 자기장 센서의 조사차량 장착규격은 전면이 3개와 후면에 15개로 나누어 설치된다. 설치규격은 전면부가 지면으로부터 60cm지점에 90cm간격으로 3개가 설치되며, 후면부는 60cm, 80cm, 100cm, 120cm높이에 45cm간격으로 각각 높이별 5개씩 설치된다. 각각의 자기장 센서의 규격은 15cm×15cm×5cm(가로×세로×높이)이다. 센서의 설치높이는 지면으로부터 60cm부터 설치하였으며 이는 승용차 범퍼높이를 기준으로 하였으며 승용차를 시작으로 승합차, 버스, 트럭, 대형차량 등의 안정적 검지를 위하여 20cm의 등간격으로 설치하였다. 센서간 설치간격은 45cm간격으로 루프검지기의 폭 1.8m를 고려하여 중앙으로 주행할 때 최소한 2개의 센서가 자료를 수집할수 있도

록 설계하였으며 중앙의 센서는 루프검지기의 중앙을 통과함으로써 기준값의 비교에 있어 용이하도록 설계하였다(〈그림 11〉 및 〈그림 12〉 참조).

이렇게 측정장비가 장착된 특수차량에 자기장센서를 설치하고 도로에 매설된 루프검지기 센서부를 차로중심을 주행하여 통과함으로써 측정할 수 있다. 자기장센서는 차량 앞 범퍼와 뒷 범퍼에 설치하여 자기장과 주파수를 동시에 측정하며 측정자료를 차량에 함께 탑재된 분석장치에 프레임별로 파일을 생성하여 저장한다(〈그림 13〉 참조).

2) 분석 알고리즘

(1) 점유시간 추정방법

점유시간은 차량이 루프검지기를 통과할 때 점유한 시간이다. 점유시간 추정에 이용되는 주파수 파형변화는 루프검지기 종류별 특성실험 결과에서 나타났듯이 자동진단시스템의 검지센서가 검출한 주파수 파형변화를 어떻게 분석하는가에 따라 달라질 수 있다. 또한 점유시간은 검사차량의 속도 등의 외적 변수에 영향을 받음으로 본 실험의 진행방법은 다음과 같다.

[단계 1] 검사차량이 동일한 진행방향과 높이의 전후방 범퍼에 장착된 센서가 루프검지기를 일정한 속도로 통과할 때 검출되는 주파수 변화파형을 수집한다.

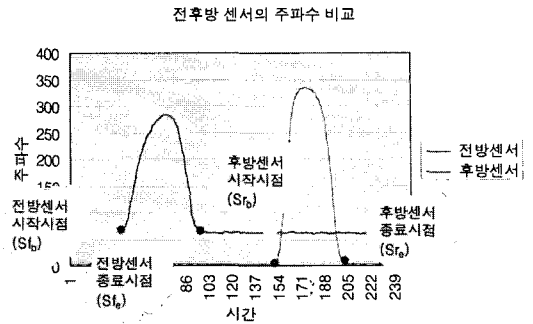
[단계 2] 루프검지기 종류별로 차별하여 전방 검지센서의 주파수 변화시작 시점과 후방 검지센서의 변화 끝 시점을 다음과 같이 검출된다.

- 8각과 원형 루프검지기는 전방 검지센서에서 주파수 파형변화를 나타내는 시작 시점과 후방 검지센서의 주파수 파형변화 끝 시점을 추출(〈그림 14〉 참조)
- 32각 루프검지기는 전방 검지센서의 주파수 변화가 검출되어 최고점에 이르는 시점과 후방 검지센서가 최고점에 도달했다 다시 떨어지는 끝 시점을 추출(〈그림 15〉 참조)

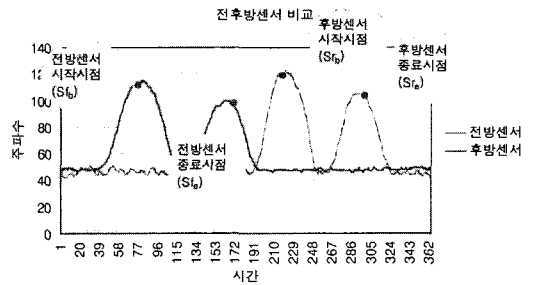
[단계 3] 검지센서로부터 20ms 단위로 수집되는 자료의 누적 수를 점유시간으로 추정한다.

$$\text{점유시간} = (\text{Sre} - \text{Sfs}) \times 0.02\text{초} \quad (1)$$

Sre : 수집된 파형에서 나타나는 후방센서의 센



〈그림 14〉 주파수 변화파형 검출시점(8각, 원형)



〈그림 15〉 주파수 변화파형 검출시점(32각)

싱 종료 시점 (End point of Sensor in the Rear)

Sfs : 수집된 파형에서 나타나는 전방센서의 센싱 시작 시점 (Start point of Sensor in the Front)

0.02초 : 진단장치의 데이터 수집단위 (Scanning Time : 50Hz)

(2) 루프검지기의 실검지영역 추정방법

실검지영역 추정은 루프검지기가 고유의 자기장 형성영역이 결정되어 있고, 차량이 루프검지기를 통과할 때 나타내는 주파수 변화도 일정할 것이라는 가정에서 출발한다. 다시 말해 동일한 차량이 특정 루프검지기를 동일한 속도로 주행할 때 나타나는 점유시간은 동일할 것이라는 가정이다. 따라서 본 실험에서는 다음과 같은 방법으로 루프검지기의 실검지영역 길이를 추정한다.

[단계 1] 차량의 주행속도를 산정하기 위하여 검사차량의 전후방에 설치된 기준센서로부터 주파수 변화 파형을 수집하고, 점유시간 추정방법에서와 동일한 방법으로 주파수 변화를 나타내는 시종점을 검출한다.

[단계 2] 차량의 주행속도를 산정한다.

$$V = \frac{S_d}{(S_{r_s} - S_{f_s}) \times 0.02} \quad (2)$$

- V : 진단차량의 주행속도 (m/s)
- S_d : 전후방 센서간의 거리 (4.47m)
- S_{r_s} : 후방센서의 주파수 변화시점 (Start point of Sensor in the Rear)
- S_{f_s} : 전방센서의 주파수 변화시점 (Start point of Sensor in the Front)
- 0.02초 : 검지센서의 데이터 수집단위 (Scanning Time : 50Hz)

[단계 3] 루프검지기의 실검지영역 길이를 추정한다.

$$L_r = V \times (S_e - S_s) \times 0.02 \quad (3)$$

- L_r : 실검지영역 길이 (m)
- V : 진단차량의 주행속도 (m/s)
- S_s : 후방센서의 주파수 변화 시작점 (Start point of Sensor)
- S_e : 후방센서의 주파수 변화 종료점 (End point of Sensor)

3) 진단 알고리즘

(1) 자기장 세기 측정값에 대한 튜닝방안

루프 시스템의 민감도는 검지기 끝 부분(터미널)에서 측정되는 인덕턴스의 아주 작은 변화량으로 정의된다. 이 민감도는 검지기 임계치보다 크거나 같아야 한다. NEMA에서 언급하고 있는 차량이 존재하지 않을 때와 존재할 때의 인덕턴스 변화량은 3.0microhenries(L)이다. 그리고 검지기는 인덕턴스의 변화량이 0.02 % (약 0.02 μh)일 경우에도 반응을 해야 함으로 인덕턴스(L) 0.02마이크로 헨리를 증가시키기 위한 전류량을 계산함으로써 측정된 루프검지기의 자속밀도를 분석 및 진단한다. 인덕턴스(L) 0.02마이크로 헨리를 증가시키기 위한 전류량의 계산은 다음과 같다.

$$I = \frac{V}{X_L} \quad (4)$$

$$= \frac{V}{2\pi f L}$$

$$= \frac{12}{2 \times 3.14 \times 300 \times 10^3 \times 0.02 \mu h \times 10^6}$$

$$= 1.2572^{-4} A/m$$

- 여기서, I : 전류량
- V : 전압
- f : 주파수
- L : 인덕턴스

(L/C Controller의 Detector Board의 조건 : 전원 12V, 주파수 300Khz)

주 : 4) 차량이 존재할 때와 존재하지 않을 때의 인덕턴스 변화량은 3.2Percent(L/L) 또는 3.0 μH(L)가 기준이다.

(Traffic Detector Handbook, Institute of Transportation Engineers, p.234)

2. 현장실험

1) 현장실험 및 자료분석

실험현장은 왕복 2차로 아스팔트 도로로서 도로폭은 2.6m이고 도로변은 주차공간으로 1.3m씩 양쪽으로 할당된 구조이다(〈그림 16〉 참조).

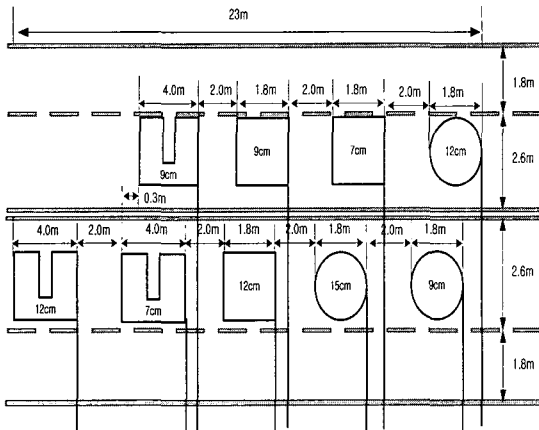
여기에 루프검지기를 종류별로 3개씩 설치하여 실험 환경을 구성하였다(〈그림 17〉 참조).

현장실험은 검지센서로부터 수집되는 주파수 파형변화를 분석하여 점유시간을 추정한다. 검지센서로부터 추정한 점유시간과 루프검지기 보드로부터 수집된 점유시간과 비교 분석한다. 실험대상은 32각, 8각, 원형 루프검지기로 하였다.

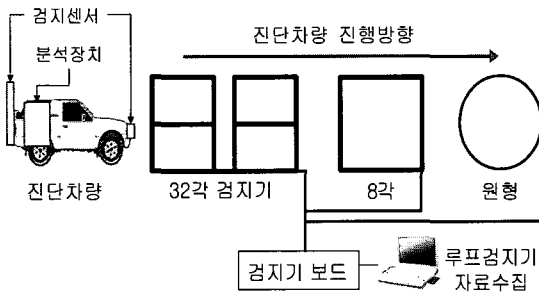
자료수집은 검사차량의 앞과 뒤쪽 범퍼에 장착한 전방센서와 후방센서로부터 수집된 자기장과 주파수 파형 변화값을 수집한다. 실험횟수는 루프검지기로부터 수집



〈그림 16〉 실험현장



〈그림 17〉 루프검지기 설치도



〈그림 18〉 현장실험 방법

된 점유시간과 주파수변화 파형으로부터 추정된 점유시간의 신뢰도를 검증하기 위하여 루프검지기의 형태별로 50회 반복하여 실험을 실시하였다(〈그림18〉 참조).

자료분석은 “IV. 2) 분석알고리즘”에서 제시한 방법으로 실시하였다. 즉, 각 루프검지기 종류별(32각, 8각, 원형)로 전방과 후방에 설치한 검지센서의 검출 시작시점과 종료시점을 이용하여 센서장착차량의 주행속도 추정값(m/s), 현장에 설치된 루프검지기의 실검지영역 길이 추정값(m) 및 점유시간 추정값(s)을 도출하여 루프검지기보드에서 산출된 점유시간(s)과 비교하여 분석결과를 도출하였다.

2) 실험결과

현장실험에서 수집된 자기장센서의 점유시간 추정값과 이상적으로 설치된 루프검지시스템의 검지기보드에서 추출한 점유시간 값을 비교함으로써 개발된 장비가 현재 사용하고 있는 루프검지시스템을 얼마나 잘 파악할 수 있는가를 평가하였다. 자료의 분석은 통계적 방법으로 정규분포를 이용한 Z 통계량(Normal test)과 카이제곱 통계량(Chi-square test), 등가계수(Equality

〈표 3〉 자동진단시스템의 신뢰성 평가결과

구분	32각	8각	원형	비고
Z 통계량	1.210	3.88	0.35	유의 수준 5% 통계량 1.96
카이제곱 통계량	0.470	0.580	0.060	유의 수준 5% 통계량 70.224
등가계수	0.977	0.974	0.991	-

Coefficient : EC)를 평가척도를 사용하였다. 그 결과는 다음의 〈표 3〉과 같다.

Z 통계량은 유의 수준 5%일 때 Z값이 1.96보다 작은 경우에 유의하다고 판정한다. 따라서 32각과 원형 루프검지기의 경우는 Z 통계량이 Z값 보다 작으므로 자동진단시스템의 점유시간과 루프검지기 보드 점유시간 값이 다르다는 근거가 없다고 할 수 있다. 하지만, 8각 검지기의 경우 Z 통계량이 Z값보다 크므로 루프검지기와 보드 점유시간이 다르다고 할 수 있다.

카이제곱 검정을 통해서 검정할 때는 유의수준 5% 일 때 통계량이 70.224(자유도는 49)보다 작아야 유의하다고 판정한다. 루프검지기 종류별 카이제곱 통계량이 기준값보다 작으므로 자동진단시스템의 점유시간과 루프검지기 보드 점유시간이 유의 수준 5%에서 유의한 것으로 나타났다. Z 검정과 카이제곱 검정을 통해서 32각 검지기와 원형 검지기에 대해서는 정확한 점유시간을 산출하고 있지만, 8각 검지기의 경우 카이제곱 통계량만 만족함을 확인하였다. 이는 장비의 정밀도를 더 높이고 알고리즘 개선의 필요성이 있음을 의미한다.

검지기 평가에 많이 사용하는 등가계수의 경우에는 유형별 루프검지기 모두 97% 이상의 값을 얻어내어 진단장비가 검지기의 점유시간 및 검지영역을 정확히 검출하고 있음을 확인할 수 있다.

V. 결론

본 연구는 기존의 루프검지기의 설치 및 유지보수를 위한 성능평가 방법으로서 사용해왔던 L-R-C Test에 의한 Q Factor(질 계수)방법을 대체/보완할 수 있는 새로운 방법에 대한 연구이다.

그 방법으로서 자기장을 이용한 자동진단시스템을 구현하였으며, 이를 위하여 다음과 같은 내용의 연구를 진행하였다.

1. 자기장 센서 설치방안수립
2. 자기장 기준값 설정

3. 자료수집차량 속도산정 알고리즘
4. 검지영역 추정 알고리즘
5. 점유시간 추정 알고리즘
6. 상태진단 방법
7. 루프검지기 튜닝방안

개발된 자동진단시스템에 대하여 이상적으로 설치된 루프검지기를 대상으로 실차량 점유시간의 비교를 통한 신뢰성 평가를 실시하였다.

본 연구에서 개발된 자동진단시스템의 의의는 첫째, 자기장센서를 차량에 부착하여 주행함으로써 자료수집이 가능하므로 인력에 의존한 효율성 문제를 극복하였다. 둘째, 루프검지기에 형성된 자기장은 루프검지기 전체시스템의 최종산출물이므로 루프선의 상태를 측정하는 기존시스템의 문제를 극복하였다. 셋째, 자기장센서를 높이별로 설치하여 각 높이별로 검지영역에 대한 단면자료를 수집함으로써 연속류와 단속류를 포함한 교통관리시스템 운영시 검지가능차종 및 보정계수설정의 기반을 마련하였다.

결론적으로 "자기장을 이용한 루프검지기 자동진단시스템"의 개발에 대한 활용성을 요약하여 정리하면 다음과 같다.

1. 루프검지기 유지보수시 교통류의 흐름을 방해하지 않음.
2. 유지보수체계의 자동화 가능.
3. 교통변수(점유시간, 실검지영역 길이, 검지높이 등)의 참값을 제공.
4. 루프검지기 작동상태에 대한 과학적인 근거제시와 분석가능.
5. 현행 유지보수체계 대비 비용절감효과.

향후연구과제로서는 다음과 같은 연구의 추가진행이 필요하다. 첫째, 루프검지기 보드부의 검증을 동시에 병행하기 위하여 기 설치된 Board와 동일한 기능의 정밀 보드(Board)를 설치하여 동시에 자료를 수집/비교하여 현재 가동중인 검지기보드(Detector Board)를 검증할 수 있는 방안을 강구하는 것이다. 둘째, 이상 검지기의 원인별 진단결과와 정확도에 대한 연구가 필요하다. 셋째, 본 연구는 아스팔트도로를 대상으로 자기장의 기준이 설정되었으나 향후 콘크리트도로 및 기타 특수구조의 도로형태의 연구가 순차적으로 이루어져야 하겠다. 넷

째, 주행중에 루프검지기의 종류를 보다 정확히 자동으로 파악할 수 있는 방안의 연구가 필요하다.

참고문헌

1. 이승환·이철기 (1996), "실시간 교통신호제어를 위한 루프검지기 체계 연구", 대한교통학회지, 제 14권 제2호, 대한교통학회, pp.59~88.
2. 대한전자공학회 (1998), "전자기학", 청문각,
3. 한득영, (2000), "전자기학", 인터비전,
4. 도로교통안전협회, (1994), "루프식 검지기 형태별 성능비교 분석",
5. 서울지방경찰청, "교통신호제어시스템 NEMA 규격집",
6. 서울지방경찰청, (2000), 도로교통안전관리공단, "서울특별시 2000년도 신신호시스템 설치공사 실시계획서",
7. 서울지방경찰청, (2003), "실시간 신호 제어시스템 검지기보수공사 공사시방서",
8. 경찰청, (2003), "루프검지기 신뢰도 향상방안 연구",
9. 경찰청, (2003), "루프검지기 표준시방서",
10. James L. Pline, (2001), "Traffic Control Device Handbook", ITE.
11. "Traffic Detector Handbook" second edition, Institute of Transportation Engineers.
12. Lawrence A. Klein, (2001), "Sensor Technologies and Data Requirements for ITS",
13. NEMA Standard, (1989), "TS 1",
14. <http://www.renoae.com>.
15. <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/magnetic/biosav.html>.
16. <http://www.magsen.com/>.
17. D. Middleton and R. Parker, (2001), "Initial Evaluation of Selected Detectors to Replace Inductive Loops on Free-ways" FHWA/TX-00/1439-7(College Station, TX: Texas Transportation Institute).
18. Troy, Michigan, JPL Pub. D-15779(CA: California Institute of Technology, Jet Propulsion Laboratory), (1998), "Traffic Surveillance and Detection Technology Development: Phase 2 and 3 Test Results".
19. Springfield, IL: Illinois Department of

Transportation, District 6, (1988), "Traffic Signal Detector Loop Location Design Installation".

20. James M. Giblin and Walter H. Kraft, (2000),

"Traffic Control Systems Operations Installation Management, and Maintenance", Washington DC, Institute of Transportation Engineers.

✻ 주 작 성 자 : 김남선

✻ 논문투고일 : 2005. 6. 18

논문심사일 : 2005. 7. 15 (1차)

2005. 8. 17 (2차)

심사판정일 : 2005. 8. 17

✻ 반론접수기한 : 2005. 12. 31