2010-30 | 책임연구보고서

경찰교통의 첨단교통관리시스템(ATMS) 차량검지기 설치검지율에 관한 연구

(측정장비평가방법 및 유지관리체계개선을 중심으로)

치안정책연구소
POLICE SCIENCE INSTITUTE

2010-30 | 책임연구보고서

경찰교통의 첨단교통관리시스템(ATMS) 차량검지기 설치검지율에 관한 연구

(측정장비평가방법 및 유지관리체계개선을 중심으로)

치안정책연구소 교통대책연구실

책임연구관 김 남 선

목차

Ⅰ 서론 ····· **1**

Ⅱ 이론적 고찰 및 적용 ····· **3**

1. 자기장 이론 ····· 3
   가. 자기장 형성원리 ····· 3
   나. 루프검지기 이론 ····· 8
2. 신호제어용 루프검지기 적용 ····· 22
   가. 루프검지기 형태 및 설치위치 ····· 22
   나. 루프검지기 설치현황 ····· 24
3. COSMOS 2001 실시간 신호제어시스템 ····· 26

Ⅲ 루프검지기 설치 및 유지관리체계의 문제점 ····· **33**

1. 루프검지기 설치 고장원인 ····· 33
   가. 루프검지기 설치 ····· 33
   나. 루프검지기의 고장 및 기능저하 원인 ····· 34
2. 유지관리체계의 문제점 ····· 35

Ⅳ 루프검지기 신뢰성 조사 ····· **37**

1. 신뢰성 조사 ····· 37
   가. 조사내용 및 방법 ····· 37
   나. 자료수집 ····· 37
2. 자료분석 결과 ····· 44

Ⅴ 측정장비 평가방안 ····· 46

1. 정밀도와 재현성 평가방법 ····· 46

2. 정확성 평가방법 ····· 49

3. 안정성 평가방법 ····· 50

4. 선형성 평가방법 ····· 50

5. 관리방안 ····· 50

Ⅵ 결론 및 향후 연구과제 ····· 52

참 고 문 헌 ····· 55

Ⅰ. 국내문헌 ····· 55

Ⅱ. 외국문헌 ····· 57

Ⅲ. 기타 ····· 57

표 목차

<표 1> 루프와 DC/Low Frequency 저항값 ····· 10
<표 2> 점유/비점유시간 정확도 분석결과 ····· 18
<표 3> 실시간 신호제어용 루프검지기 형태 및 설치위치 ····· 22
<표 4> 서울시 검지기 설치 현황 ····· 24
<표 5> 루프검지기 매설깊이(단위:mm) ····· 24
<표 6> 서울시 루프검지기 가동률 ····· 25
<표 7> 기타도시 루프검지기 설치 현황 ····· 26
<표 8> 실시간 신호제어시스템에 사용되는 교통상황변수 ····· 30
<표 9> 루프검지기 고장 원인별 분류(단위:%) ····· 35
<표 10> 32각 루프검지기의 분석결과1 ····· 38
<표 11> 32각 루프검지기의 분석결과2 ····· 39
<표 12> 8각 루프검지기의 분석결과1 ····· 40
<표 13> 8각 루프검지기의 분석결과2 ····· 41
<표 14> 원형 루프검지기의 분석결과1 ····· 42
<표 15> 원형 루프검지기의 분석결과2 ····· 43
<표 16> 루프검지기의 신뢰성 평가결과 ····· 44
<표 17> 반복회수별 ····· 48
<표 18> 측정자수별 ····· 49
<표 19> 정밀도와 재현성 항목 판정표 ····· 51

그림 목차

<그림 1> 직선도선에 흐르는 자기장 ····· 4
<그림 2> 코일에 흐르는 자기장 ····· 5
<그림 3> 거리 r인 p에서의 자기장의 세기 ····· 5
<그림 4> 점 P에서의 자기장의 세기 ····· 6
<그림 5> 원형 코일 자기장 계산법 ····· 6
<그림 6> 루프검지기 구성 ····· 8
<그림 7> Magnetic Flux around loop ····· 11
<그림 8> Magnetic Flux for solenoid ····· 11
<그림 9> 루프검지기 시스템 구성 ····· 16
<그림 10> 32각 루프검지기 ····· 19
<그림 11> 8각 루프검지기 ····· 20
<그림 12> 원형 루프검지기 ····· 21
<그림 13> 루프 검지기별 규격(단위:mm) ····· 23
<그림 14> 최소제어단위(Sub-Area)의 구성 ····· 27
<그림 15> Sub-Area내의 교차로들의 기능 ····· 28
<그림 16> 중요교차로의 검지기 구성 ····· 29
<그림 17> 준중요교차로와 비중요교차로의 검지기 구성 ····· 30
<그림 18> 신호제어변수 개념도 ····· 32

Ⅰ 서론

루프검지기는 그 역사가 오래되고 교통분야에서 점차 관심을 벗어나고 있지만 아직도 가장 널리 쓰이고 신호제어, 무인단속 등 ITS분야의 중요한 역할을 수행하는 핵심 차량검지기이다. 앞으로 더 신뢰성있는 대체검지기가 출현하기 전 까지는 현재 설치되어 있는 부분을 최대한 잘 운영할 필요가 있다. 현재 우리나라에서는 지능형교통시스템(ITS) 구축사업이 활성화되면서 교통정보의 수집장치로서 차량검지기의 수요가 나날이 증가하고 있다. 검지기의 종류는 루프검지기, 영상검지기, 레이더검지기, 적외선검지기, 초음파검지기 등 매우 다양하지만, 다양한 종류의 검지기에 대한 특성실험 및 현장적용 실험에도 불구하고, 검지기 데이터의 자료속성, 자료신뢰성, 경제성, 작동환경, 기후의 영향도 등을 고려하여 루프검지기가 가장 널리 사용되고 있다.

첨단교통관리시스템에서 교통정보 수집장치인 루프검지기 체계를 용도별로 분류하면 단속류 교통관리용(신호제어용), 연속류 교통관리용(고속도로관리용), 교통정보 수집용, 교통류 분석용으로 나눌 수 있으며, 이와는 별도로 자동무인단속시스템에서 단속용으로 사용하는 루프검지기가 있다. 그리고 특히 유비쿼터스 개념의 U-Transpotation으로 교통시스템의 환경이 변화함으로 인해 점차적으로 설치수량이 증가하는 추세에 있다.

이러한 실시간 신호제어시스템은 대부분 현장에 루프식 차량검지기를 설치하여 현장의 교통상황 정보를 실시간으로 수집하며, 자동으로 신호시간을 산출하고, 신호교차로의 대기시간 최소화를 구현하고 있다. 따라서 실시간 신호제어시스템의 효율적인 운영을 위해서는 현장 교통상황

정보의 정확한 수집을 위해 설치된 루프식 차량검지기의 중요성이 특히 높다고 할 수 있다. 루프식 차량 검지기는 루프선을 해당차로 노면상에 매설하여 차량이 해당 부분을 통과할 때 루프 코일에 발생되는 인덕턴스의 변화를 통하여 차량의 존재 유/무와 점유시간을 측정하는 검지기이다.

이러한 루프식 차량검지기에 대한 연구는 일부 국내에서 수행된 바 있으나, 측정장비평가 및 유지관리체계에 관한 연구가 부족하였다고 판단되어 연구를 진행하게 되었다. 즉, 루프검지기에 관한 연구는 기존에 오랜시간 동안 많은 연구가 이루어졌다. 그 중에서 2003년 경찰청의 “검지기 신뢰도 향상방안 연구”와 2004년 한국ITS학회에서 발표된 “루프검지기 적정 매설깊이 및 휘더선 한계길이 연구” 등에서 범위설정상 누락되거나 미흡한 부분에 대한 연구를 진행하고자 한다. 따라서 본 연구에서는 먼저 설치된 루프검지기의 검지기보드가 안정적으로 차량을 검지하는지에 대한 조사를 수행하고 측정장비에 대한 평가기준을 제시하며 마지막으로 유지관리체계에 대한 요구사항을 정리하여 공학적 실증연구의 기반을 제시하고자 한다.

Ⅱ 이론적 고찰 및 적용

1. 자기장 이론

가. 자기장 형성원리

자기장은 자기장 내에서 도체를 움직이면 도체 내에 기전력(起電力)이 유발된다. 즉, 자극이나 전류에 의해 특수한 성질이 주어지는 공간이다. 전류와 자기장의 이와 같은 상호작용은 전기현상과 자기현상의 밀접한 관계를 나타내는 것으로, 전동기나 발전기를 비롯하여 많은 전기기기에 널리 이용된다.[1)]

자기장의 특징은 자기장 내의 각각의 점이 잠재적으로 지니고 있는 자기력(磁氣力)의 세기이다. 이것을 자기장의 세기(줄여서 자기장이라고도 한다)라고 하며, 단위인 양자하(陽磁荷)를 자기장 내의 한 점에 놓았을 때 이것이 작용하는 자기력의 크기와 방향을 그 점에서의 자기장의 세기로 정한다. 그 단위는 자하의 단위를 CGS전자기단위로 할 때 에르스텟(기호 Oe)을 사용한다. 즉, 1CGS전자기단위인 양자하에 대하여 1dyn의 힘이 미치는 경우에 그 점의 자기장의 세기를 1Oe이라 한다. 또한, 전류의 자기작용에 의해서 정해지는 암페어횟수/미터(AT/m)라는 단위를 사용하기도 한다.[2)]

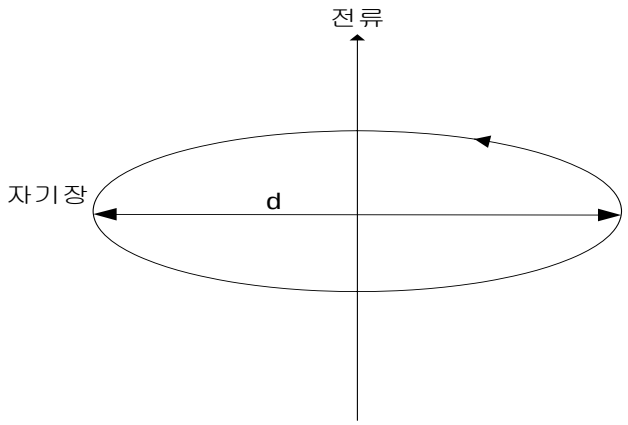
---

1) 대한전자공학회, 전자기학, 청문각, 1998
2) 한득영, 전자기학, 인터비젼, 2000

1) 전류에 의한 자기장

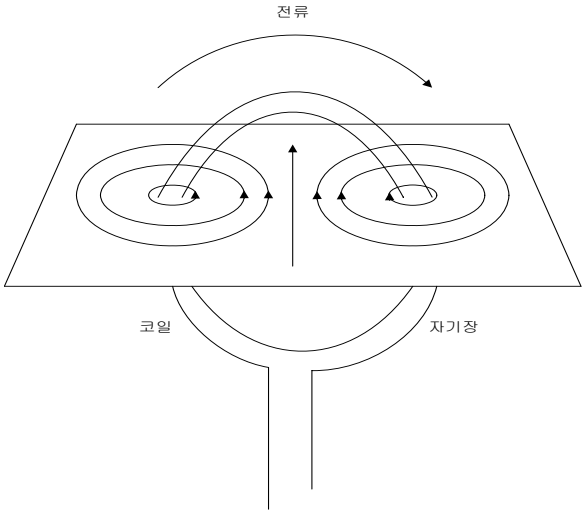
직선으로 된 도선을 흐르는 전류 주위에는 그 도선을 둘러싸는 원형의 자기장이 나타난다. 이 경우 자기장의 방향은 전류의 방향을 오른나사의 진행방향으로 할 때 나사가 도는 방향과 같으며, 도선에 대하여 수직으로 d만큼 떨어진 곳에서는 에르스텟을 단위로 했을 때 0.2i/d라는 세기를 가진다. 또, 코일과 같은 원형회로(圓形回路)에 전류를 통하면, 그 회로를 관통하는 모양의 자기장이 생기는데, 그 방향은 전류의 방향이 오른나사의 회전방향일 때 나사가 나아가는 방향과 같다.(<그림1> 및 <그림2> 참조) 이때 자기장의 세기는 전류의 세기를 i라 하고, 회로의 중심점에서 에르스텟을 단위로 하면 0.2πi/r가 되며, 회로에서 r만큼 떨어진 점의 자기장은 0.2πa2i/r3(a는 회로의 반지름)의 크기를 가진다.[3] (그림 <그림 3> 참조)

<그림 1> 직선도선에 흐르는 자기장

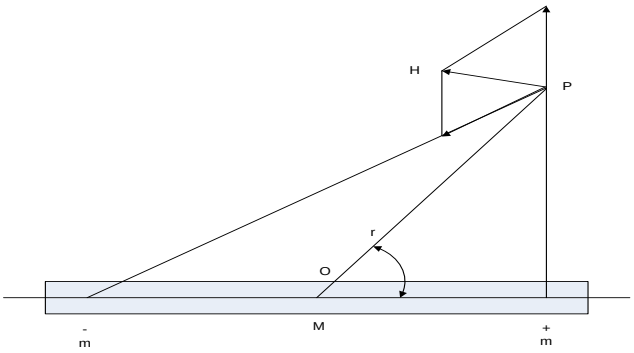


3) 고재귀, 송재만, "자성물리학의 기초와 응용" , 숭실대학교, 1997

<그림 2> 코일에 흐르는 자기장

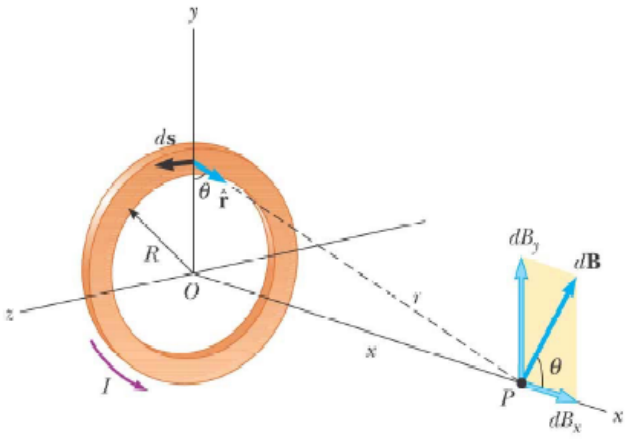


<그림 3> 거리 r인 p에서의 자기장의 세기

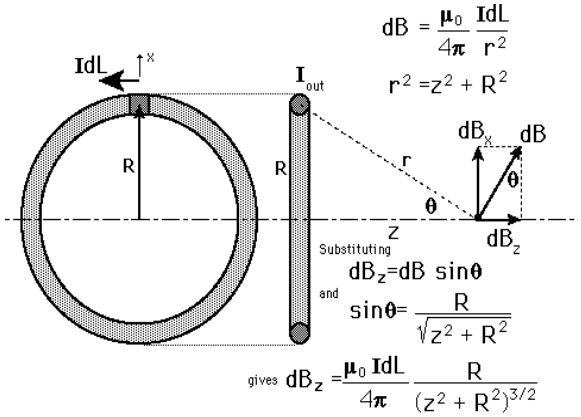


원형 코일 중심의 자기장의 세기는 <그림 4>와 같이 반경 R의 원형 도선에 전류 I가 흐를때, 중심축상의 임의의 점 P에서 자기장의 세기 B를 <그림 5>와 같이 계산 할 수 있다. 도선요소 dl 에 의한 벡터 dB는 비오-사바르(Biot-Savart)의 법칙에 의해 벡터 dl 과 r 은 수직이므로,

<그림 4> 점 P에서의 자기장의 세기



<그림 5> 원형 코일 자기장 계산법



$$dB = \frac{\mu_0 I}{4\pi}\frac{d\vec{l} \times \vec{r}}{r^3}$$

$$dB = \frac{\mu_0 I dl \sin 90^\circ}{4\pi r^2} = \frac{\mu_0 I dl}{4\pi r^2}$$ 이다. (여기서, sin90°=1)

벡터 dB는 dB_x와 dB_y로 성분으로 나눌 수 있고 dB_y 성분은 대칭성으로부터 환선 전체에 대해 합하면 0이 될 것이다. 그러므로 x축 방향의 자기장 성분만 고려하면,

$$B = \int_0^{2\pi} dB_x = \int_0^{2\pi} dB\sin\theta$$

그러므로 이 식에 위의 식 dB를 대입하고 $\sin = R/r$을 대입하면,

$$B(x) = \frac{\mu_0 I R^2}{2\,(R^2 + x^2)^{3/2}}$$

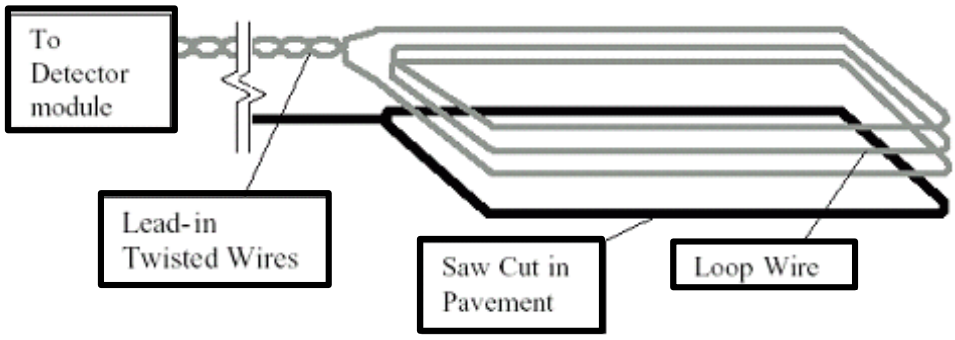
원형도선의 중심과 반지름 만큼의 거리에서 자기장은 다음과 같다.

$$B(0) = \frac{\mu_0 I}{2R} \quad , \quad B(R) = \frac{\mu_0 I}{4\sqrt{2}R}$$

나. 루프검지기 이론

1960년 초반에 루프 검지기가 소개된 후 전자기 유도 현상을 이용하는 루프 검지기는 검지시스템에서 가장 많이 사용하게 되었다. <그림 6>과 같이 루프검지기 시스템을 구성하는 주요 요소로는 도로에 매설한 루프센서, 리드인선(Lead-in Cable), 접속함(pull box)에서 교차로 제어기까지 연결하는 휘더선(Feeder Cable) 그리고 제어기(L/C; Local Controller) 함체안에 있는 각종 전자 장치 등을 들 수 있다.[4)]

<그림 6> 루프검지기 구성



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

4) Adolf D. May, Traffic Flow Fundamentals, 1990

를 판단하게 된다.[5)]

1) 검지원리

대부분의 루프 검지기 시스템에서, 루프선과 리드-인선은 저항 요소와 인덕턴스(Inductance) 그리고 캐패시턴스(Capacitance; 와이어간의 캐패시턴스와 와이어와 지면과의 캐패시턴스) 요소를 가지게 된다. 비록 시각적으로는 루프선만 있는 것처럼 보이지만 루프선 자체가 저항 소자가 될 수 있으며 루프선이 서로 겹쳐 있다면 루프선 사이에 존재하는 캐패시턴스 특성 그리고 노면에 설치될 때 지표면과 루프선간의 캐패시턴스 특성을 가지게 된다.

가) 시스템 저항

루프헤드, 리드-인선 그리고 휘더선은 보통 #12,#14 혹은 #16 AWG를 사용하게 된다. 루프선의 저항은 와이어 지름의 제곱에 반비례하는데 와이어의 지름이 작을수록 저항은 커지게 된다. Volt Ohm Meter(VOM) 장비를 사용하면 저항을 바로 측정할 수 있다. 교류일 경우 와이어의 저항은 주파수에 비례한다. 왜냐하면 와이어 내의 불규칙한 플럭스(Flux; 자속)로 인해 와이어의 대전 영역(conducting area)이 감소하기 때문이다. 그래서 높은 주파수의 저항은 VOM으로 측정하기가 어렵다. 하지만 나중에 설명하게 될 Quality Factor(Q)를 측정하여 저항을 구할 수 있다.[6)]

도로에 매설된 루프는 절단된 도로 안쪽과 지표면 사이에서 발생되는 유도전류로 인해 생기는 유도 저항(지표면에서 발생되는 저항) 성분을 가지게 된다.

---

5) William R. McShane, Roger P. Roess, Elena S. Prassas, Traffic Engineering, Prentice hall, 1998

6) Traffic Detectoer Handbook second edition, ITE, No date

<표 1> 루프와 DC/Low Frequency 저항값

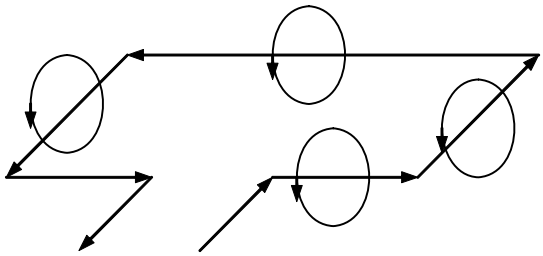
Type Manufacturer's Model	Function L = Loop LI = Lead-in	Gauge #A	DC Resistance Ohms/ft
9438	L	14	0.0025
8718	LI	12	0.0019
8720	LI	14	0.0029
8719	LI	16	0.0045

나) 루프검지기 인덕턴스

전류가 흐르는 모든 도체와 와이어는 전류가 둘러싼 영역에 마그네틱 플럭스(자속)가 발생하게 된다. 자속의 영향으로 발생되는 전기적인 값을 인덕턴스라고 하며 단위는 h(Henrys)가 된다. 와이어의 인덕턴스는 자체 인덕턴스(self inductance)라고도 한다. 전류가 공급되는 어떤 코일에 전류를 변경하게 되면 코일 자체내에서 유도 기전력이 발생하게 된다. 만약 전류가 흐르고 있는 와이어를 다른 와이어에 근접시킬 때 이 결과로 발생되는 인덕턴스를 상호 인덕턴스(mutual inductance)라고 한다. 다음 <그림 7>은 single turn loop 주변에 발생하는 플럭스(자속)를 나타낸 것이다.[7)]

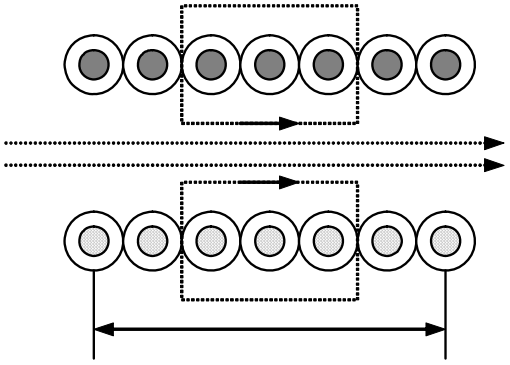
7) 조형기, 아주대학교 대학원, “신경망을 이용한 루프-기반 실시간 차종인식모형 개발”, 1998

<그림 7> Magnetic Flux around loop



여기서 플럭스가 발생하는 방향은 전류가 흐르는 와이어에 수직이며 플럭스의 방향은 오른손 법칙에 따라 결정된다. 즉 오른손을 펼치고 엄지를 뺀 나머지 손가락을 감아주면 엄지손가락은 전류의 방향이 되고 나머지 손가락은 플럭스의 방향이 된다. 와이어내의 플럭스의 방향은 모두 동일하다.

<그림 8> Magnetic Flux for solenoid



마그네틱 플럭스는 양 끝단을 제외하고 코일 내부에서는 모두 동일하다. 여기서 자기장은 다음과 같다. 마그네틱 플럭스는 양 끝단을 제외하고 코일 내부에서는 모두 동일하다. 여기서 자기장은 다음과 같다.

$$H = \frac{NI}{l}$$

여기서,

H = 자기장(Magnetic Field), Ampere turns per m

N = 감은 수(Number of turns)

I = 전류 , Amperes

l = 감긴 코일의 길이 m

코일 내의 마그네틱 플럭스는 일정하므로 플럭스는 다음과 같이 주어진다.

$$\Phi = BA$$

여기서,

Φ = 마그네틱 플럭스, 웨버(Webers)

B = 자속밀도(Magnetic Flux Density), Webers per m2

A = Cross sectional area of coil, m

자속밀도는 자기장과 관련이 있다.

$$B = \mu_r \mu_o H$$

여기서,

μ_r = 물질의 상대 투과상수(Relative permeability of material), 공기중에서는 1

$$\mu_o = 4\pi \times 10^{-7}, \text{ h per}$$

코일의 인덕턴스는 다음과 같이 정의 된다.

$$L = \frac{N\Phi}{I}$$

여기서,

$L =$ 인덕턴스 , h

$N =$ 감은 수

$I =$ 전류 ,

위의 식을 좀더 살펴보면 전류가 흐르는 원형도선에 형성되는 플럭스는 모든 원형도선에 대해 일반적으로 동일하다. 여기서 플럭스와 돌려 감은 원형도선의 수는 유도에 대해서 중요한 특성을 가진 값이 될 수 있다. 이러한 값은 전류(I)와 비례하게 된다. 즉,

$$N\Phi \propto I$$

이 식에서 비례 상수를 사용하여 다시 나타내보면,

$$N\Phi = LI$$

비례 상수 L을 인덕턴스라고 한다.

코일내의 마그네틱 플럭스가 일정하고 코일의 면적(지름)보다 길이가 훨씬 길다고 할 때 코일의 인덕턴스는 다음과 같다.

$$L = \frac{N\mu_r\mu_o HA}{I} = \frac{\mu_r\mu_o N^2 A}{l}$$

위의 식을 보면, 코일의 인덕턴스는 감은 수의 제곱과 코일면적에 비례하며 코일의 길이에 반비례함을 알 수 있다. 비록 위의 인덕턴스 공식을 도로의 루프에 직접 적용할 수는 없지만 루프내의 불규칙한 플럭스

를 고려하여 수정된 식은 사용할 수 있다.

$$L = \frac{\mu_r \mu_o N^2 A F_1}{l}$$

여기서 l은 전류층의 길이(length of the current sheet)를 나타내는 것이다. 이 공식에서 μ_r이 의미하는 것은 1보다 큰μ_r을 가지는 철은 루프 인덕턴스를 증가시킨다는 것이다. 당연히 1보다 작으면 (예를 들어 0.5), 위의 식에서 인덕턴스의 값은 작아지게 된다. 철심(iron core)이 루프를 통과할 때 인덕턴스의 최고값이 발생한다 하더라도 값 자체의 변화량을 고려해보면, 차량의 엔진이나 미션등 부피가 큰 물질이 지나갈 때 루프 인덕턴스는 서서히 증가하게 된다. 이런 효과를 강자성 효과(Ferromagnetic effect)라고 한다.

다) 강자성 효과

강자성 효과(ferromagnetic effect)로 알려진 현상으로 인해 인덕턴스를 발생시키는 것이 차량의 질량(혹은 부피-크기를 고려)이라고 할 수는 없다. 사실 루프내에 철로 만들어진 크고 무거운 엔진이 인덕턴스를 증가 시킨다. 도체 주변에 철심을 놓으면 플럭스 방향에 반대하는 저항을 감소시키게 되며 순수 인덕턴스는 증가하게 된다. 차량을 구성하는 주변 금속들은 역전류(eddy current)로 인한 반대 효과를 가지게 된다.

역전류에 의한 인덕턴스 감소량이 철로 구성된 물질로 인한 증가량보다는 크기 때문에 결과적으로 인덕턴스는 감소하게 된다.

2) 루프검지기 검지방식 및 구성

도로에 매설된 루프검지기 위를 차량이 통과하면 주파수의 변화가 일어나고 이 변화를 감지하여 차량의 유무를 판별, 출력하는 루프 검지기는 크게 아날로그(Analog)방식과 디지털(Digital)방식으로 나눌 수 있다. 루프검지기에서 루프 인덕턴스와 커패시턴스에 의한 공진 주파수의 변화는 온도와 습도 등 환경적 요인의 변화에도 큰 영향을 받으므로 이를 보완하는 기능이 필요하다. 현재 아날로그 방식보다 신뢰성이 있고 안정적이며 정확한 측정과 검지 처리방식이 다양하게 개발되어 있는 디지털 방식이 많이 사용되고 있다. 디지털 방식의 검지기에서 사용하고 있는 대표적인 검지방식은 다음과 같다.[8)]

○ 주파수변화 측정방식(Digital Frequency Shift Detector Unit) : 디지털 프로세서가 차량이 없을 때의 루프 주파수를 카운트하여 그 값을 기준으로 차량이 있을 때의 카운트 값과 비교하여 검지한다.

○ 주파수변화비율 측정방식(Digital Ratioed Frequency Shift Detector Unit) : 기본원리는 주파수변화 측정방식과 비슷하나, 주파수 카운터 값이 상수라는 점에 차이가 있다. 차량의 유무에 따른 주파수의 변화율과 정해진 상수 값을 비교하여 차량을 검지한다. 검지감도는 루프 인덕턴스와 검지기 터미널의 커패시턴스에 독립적이고, 임계값의 설정에 따른다.

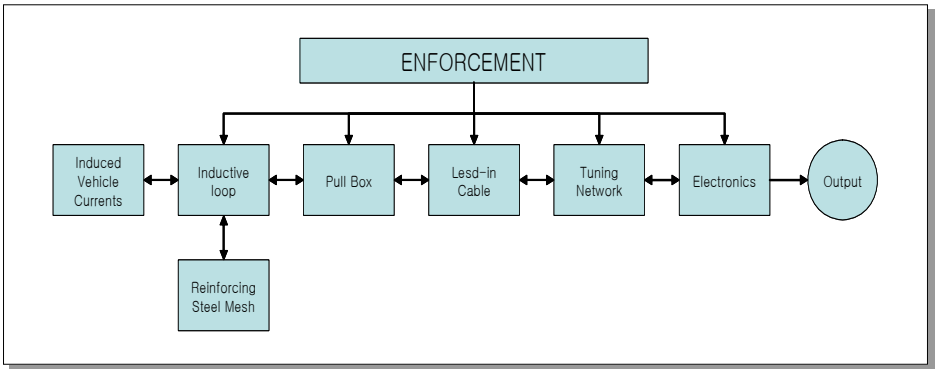
○ 주기변화 측정방식(Digital Period Shift Detector Unit) : 이 방식은 루프 주파수를 주기(Phase)로 환산하여 기준 주파수의 주기와 비교하여 차량을 검지한다. 차량이 루프 영역내에 들어오면 인덕턴

8) 이철기, 대한교통학회지 제13권 제3호, "실시간 교통신호제어를 위한 루프 검지기의 최적 형태결정에 관한 연구", 1995

스가 감소하게 되고 주파수는 증가하며 주기는 짧아진다.

○ 주기변화비율 측정방식(Digital Ratioed Period Shift Detector Unit) : 디지털 프로세서는 차량이 없을 때의 기준 카운트와 차량이 있을 때의 오실레이터의 주기에 비례하는 카운트를 비교한다. 주기측정방식과 차이점은 임계값이 고정되어 있지 않다는 것이다. 감도는 주기 변화 값에 독립적이므로 검지기의 감도는 검지기와 무관하다.

<그림 9> 루프검지기 시스템 구성



<그림 9>와 같이 루프검지기는 루프헤드와 도입케이블로 검지부를 형성하고 있으며 이 검지부를 이루고 있는 소재들의 전기적 특성(저항, 인덕턱스, 커패시턴스)의 상호작용으로 인하여 차량을 검지할 수 있는 전자기적 회로부를 형성한다.

3) 루프검지기 성능

루프검지기의 성능은 차량이 검지영역 위를 통과할 때 존재유무를 나타내는 점유시간과 비점유시간의 정확도를 말한다. 루프검지기로부터 수

집된 점유시간/비점유시간의 정확도는 일반적으로 비디오 프레임분석에 의한 실측치와의 비교를 통하여 평가한다. 루프검지기의 정확도를 판정하는 평가척도는 다음에서 설명하는 RMSE, 등가계수 등이 주로 사용되어 왔다.

○ RMSE(Root Mean Square Error) : 검지기의 검지자료의 실측값에 대한 절대적인 오차값의 크기가 어느 정도인지 분석하기 위하여 사용되어진다. 이 방법에서는 검지기의 자체적인 오차로 인하여 검지기의 절대적인 신뢰도를 측정하지는 못하지만 보정자료에 대한 분석을 통하여 실질적인 오차 크기를 분석할 수 있다.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum(\text{추정치} - \text{실측치})^2}{\text{자료수}}}$$

○ 등가계수(Equality Coefficient) : 측정한 자료의 값들이 기준값에 어느 정도 근접한지 평가하기 위하여 등가계수를 사용한다. 만일 기준값과 측정값이 일치하는 경우에는 1.00 이 된다. 즉, 1.00에 가까울수록 정확도가 뛰어나다는 것을 의미한다.

$$\text{등가계수} = 1 - \frac{\sqrt{\sum(\text{실측치} - \text{추정치})^2}}{\sqrt{\sum \text{기준값}^2} + \sqrt{\sum \text{측정값}^2}}$$

위의 두 가지의 평가척도에 의해 분석된 서울지방청의 루프검지기 종류별 성능분석 결과를 살펴보면 등가계수는 94%이상, RMSE는 0.12초

정도를 나타내는 것으로 알려져 있다.[9][10][11](<표 2> 참조)

<표 2> 점유/비점유시간 정확도 분석결과

검지기 종류	RMSE (초)	등가계수 (%)
32각 검지기	0.087	0.954
8각 검지기	0.079	0.951
원형 검지기(쌍루프)	0.099	0.910
원형 검지기(단루프)	0.196	0.956
평균	0.12	0.94

주) “2000년 신신호시스템 기능개선”, 2000, 1, 4 , 서울지방경찰청

4) 차량용 루프검지기 종류

루프검지기의 종류는 주로 신호제어용에서 사용하는 32각, 8각, 원형 루프검지기가 주류를 이룬다. 이 밖에도 단속용에서는 8각 형태의 변형된 루프검지기가 사용되고 있다. 루프검지기의 종류별 용도, 규격, 설치위치 등의 기준은 다음과 같다.[12][13]

9) 도로교통안전협회, "루프식 검지기 형태별 성능비교 분석", 1994
10) 이철기, 대한교통학회지 제13권 제3호, "실시간 교통신호제어를 위한 루프 검지기의 최적 형태결정에 관한 연구", 1995
11) 이철기, 대한교통학회지 제14권 제3호, "실시간 신호제어를 위한 차량검지기 정보의 신뢰성 비교 평가", 1996
12) 이승환, 조한선, 최기주, 대한교통학회 제14권 제1호, "단일 루프검지기를 이용한 차종분류 알고리즘 개발", 1996
13) 이승환, 이철기, 대한교통학회 제14권 제2호, "실시간 교통신호제어를 위한 루프검지기 체계 연구", 1996

가) 32각 루프검지기

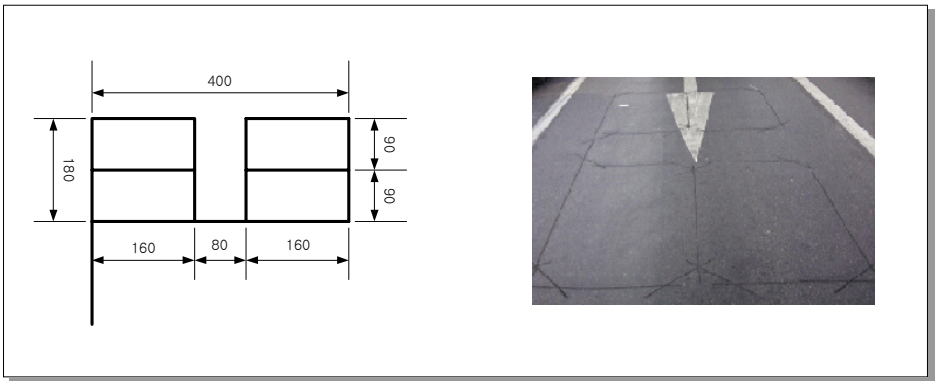
○ 용도 : 신호제어용(정지선검지기)

○ 규격: 4m × 1,8m

○ 설치위치:

- 직 진 : 정지선으로부터 20cm 이내
- 좌회전 : 정지선으로부터 12m 설치하는 것을 기본으로 하되 차량 궤적 확인 후 선정[14)]

<그림 10> 32각 루프검지기



나) 8각 루프검지기

○ 용 도 : 신호제어용(대기길이 및 앞막힘 제어용)

○ 규 격: 1.8m × 1.8m

○ 설치위치

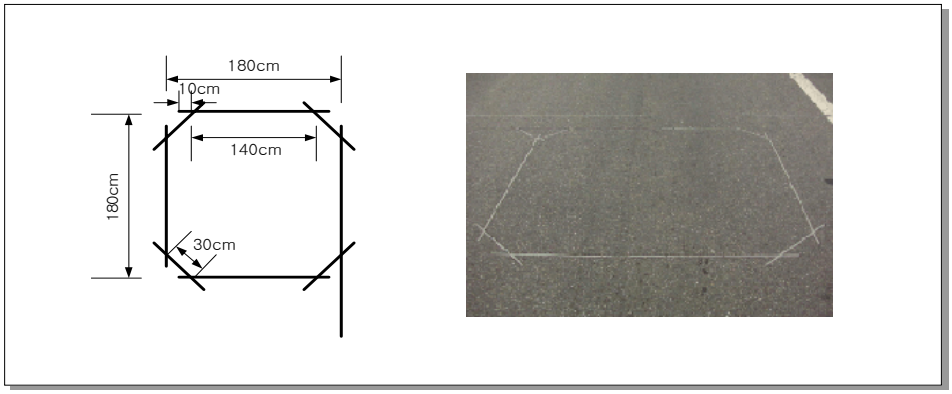
- 대기길이용 : 링크길이에 따라 100, 200, 400m 단위로 설치

14) 오영태, 이철기, 대한교통학회 제13권 제3호, "실시간 교통신호제어를 위한 루프검지기의 최적형태 결정에 관한 연구", 1995

(앞막힘 예방제어용 검지기와 중복되는 경우 생략)[15]

- 앞막힘 제어용 : 상류교차로 유출부로부터 60m 정도에 설치 (대기길이측정 겸용)

<그림 11> 8각 루프검지기



다) 원형 루프검지기

○ 용 도 : 신호제어용(대기길이 및 앞막힘 제어용), 고속도로관리용

○ 규 격: 1.8m × 1.8m

○ 설치위치

- 대기길이용 : 링크길이에 따라 100, 200, 400m 단위로 설치 (앞막힘예방제어용 검지기와 중복되는 경우 생략)
- 앞막힘 제어용 : 상류교차로 유출부로부터 60m 정도에 설치 (대기길이측정 겸용)
- 고속도로관리용 : 500m ~ 2km 간격으로 설치

15) 이대원, 아주대학교 대학원, "상류부검지기 점유특성에 의한 대기행렬 예측모형", 1994

<그림 12> 원형 루프검지기

라) 차량용 루프검지기의 배치원칙

○ 고속도로관리용 : 500m ~ 2km 간격으로 설치

○ 신호제어용 : 신호제어용 루프검지기의 배치는 중요교차로(CI) 또는 비중요교차로(MI)에 따라, 그리고 신호제어 알고리즘에 따라 설치수량과 위치가 다르지만 기본적인 배치형태는 다음과 같다.[16)17)18)]

16) 이승환, 조한선, 최기주, 대한교통학회 제14권 제1호, "단일 루프검지기를 이용한 차종분류 알고리즘 개발", 1996
17) 허낙원, 아주대학교 대학원, "루프검지기를 이용하여 점유시간 수집주기 및 차종을 고려한 대기행렬 길이 예측 알고리즘", 2001
18) 김영찬, 최기주, 김도경, 오기도, 대한교통학회 제15권 제4호, "단일 루프검지기를 이용한 간선도로 실시간 통행속도 추정 방법론", 1997

2. 신호제어용 루프검지기 적용

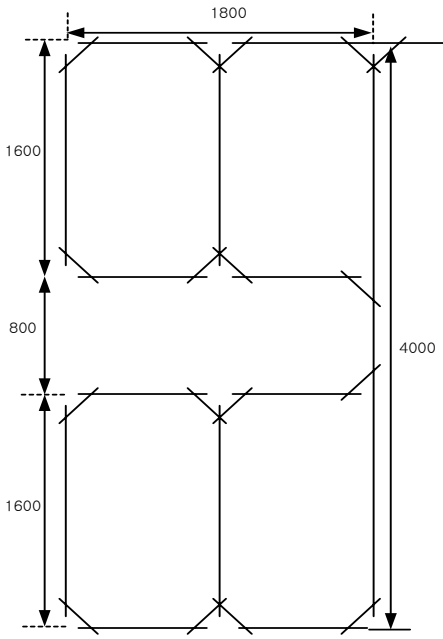
가. 루프검지기 형태 및 설치위치

실시간 신호제어용 루프검지기 형태는 정지선에서 포화도 검지용으로 32각, 대기행렬과 앞막힘 예측용으로 8각 또는 원형루프검지기가 주로 사용된다. 설치위치는 정지선용이 직진차로에서는 차량진행방향을 기준으로 정지선 시작점 이전 20Cm 이내이고 좌회전 차로의 경우는 정지선 시작점에서 12m이내이다. 좌회전의 기준이 직진차로와 다른 이유는 좌회전시 차량의 주행특성이 중앙선의 끝 지점 전에서 미리 회전하는 특성을 갖기 때문이다. 대기행렬용 검지기 설치는 정지선을 기준으로 100m, 200m, 400m, 800m로서 실시간 신호제어시스템의 중요교차로(CI) 및 준중요교차로(SCI)의 검지기 설치기준에 의한 것이다. 앞막힘 예측용 검지기는 교차로 유입부 시작점으로 부터 60m 후방에 설치한다.

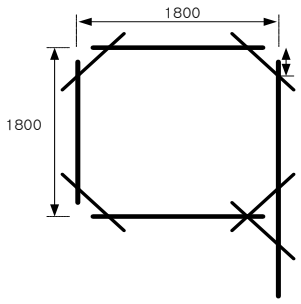
<표 3> 실시간 신호제어용 루프검지기 형태 및 설치위치

<table>
<tr><th>형태</th><th>32각</th><th colspan="2">8각</th><th colspan="2">원형</th></tr>
<tr><td>용도</td><td>포화도 산정</td><td colspan="2">대기행렬 및
앞막힘 예측</td><td colspan="2">대기행렬 및
앞막힘 예측</td></tr>
<tr><td>규격</td><td>4m × 1.8m</td><td colspan="2">1.8m × 1.8m</td><td colspan="2">반경 0.9m</td></tr>
<tr><td rowspan="2">설치
위치</td><td rowspan="2">정지선부근
20cm이내
(좌회전차로는
정지선 12m 이내)</td><td>대 기
행 렬</td><td>정지선 후방
100~800m</td><td>대 기
행 렬</td><td>정지선 후방
100~800m</td></tr>
<tr><td>앞막힘</td><td>교차로
유입부 60m</td><td>앞막힘</td><td>교차로
유출부 60m</td></tr>
</table>

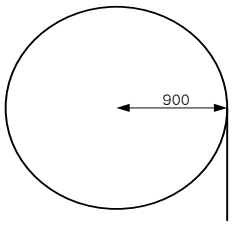
<그림 13> 루프 검지기별 규격(단위:mm)



<A> 32각 루프검지기



<B> 8각 루프검지기



<C> 원형 루프검지기

나. 루프검지기 설치현황

1) 서울시

서울시의 실시간 신호제어용으로 사용되는 루프검지기 형태는 사각형태의 8각 및 32각 루프검지기와 원형형태의 원형 루프검지기가 이용되고 있다.

<표 4> 서울시 검지기 설치 현황

구 분	검지기 수
1차 사업 : 61개 지점	579기 (원형: 51기, 8각: 371기, 32각: 157기)
2차 사업 : 99개 지점	940기(원형: 545기, 32각: 395기)
계	1,519기

<표 5> 루프검지기 매설깊이(단위:mm)

루프검지기 형태	매설깊이	
32각 루프검지기	2002년도 이전	900
	2002년도 이후	1200
8각 루프검지기	900	
원형 루프검지기	1200	

<표 6> 서울시 루프검지기 가동률

평균	2003년			
	1월	2월	3월	4월
94.03%	93.49%	93.25%	93.59%	95.82%

서울시의 경우 <표 6>과 같이 양호한 가동률을 보이고 있으며, 이는 초기 루프검지기 설치시 적절한 매설깊이 확보 및 양호한 유지관리 활동으로 인한 것이다.[19]

2) 기타 도시

기타 도시의 경우 서울시와 동일하게 실시간 신호제어를 위한 차량검지 장치로 루프검지기를 사용하고 있으며, 루프검지기 형태 및 용도별 설치 위치에 대하여 동일하게 적용하고 있다. <표 7>을 살펴보면 기타 도시의 대하여 루프검지기 가동률이 서울시와 대조적으로 매우 좋지 못한 상태를 보이고 있으며, 이는 루프검지기 초기 설치시 부적절한 매설깊이가 주원인으로 볼 수 있다.[20]

19) 서울시 검지기 현황은 도시고속도로 교통관리시스템 검지기를 제외한 것임.
20) 2000년 8월 감사원자료.

<표 7> 기타도시 루프검지기 설치 현황

기관별	검지기형태	매 설 깊 이	고장현황		
			설치갯수	고장갯수	고장율
대구지방경찰청	8각, 32각	5.0cm	850 (대구)	252	29.6%
충남지방경찰청	8각, 32각	5.0cm	415 (대전)	185	44.6%
전북지방경찰청	8각, 32각	7.5cm	117 (전주)	0	0%
청 주 경 찰 서	8각, 32각	5.0cm	30 (청주)	16	53.3%

3. COSMOS 2001 실시간 신호제어시스템

1) 최소제어단위(SA)와 검지기 구성

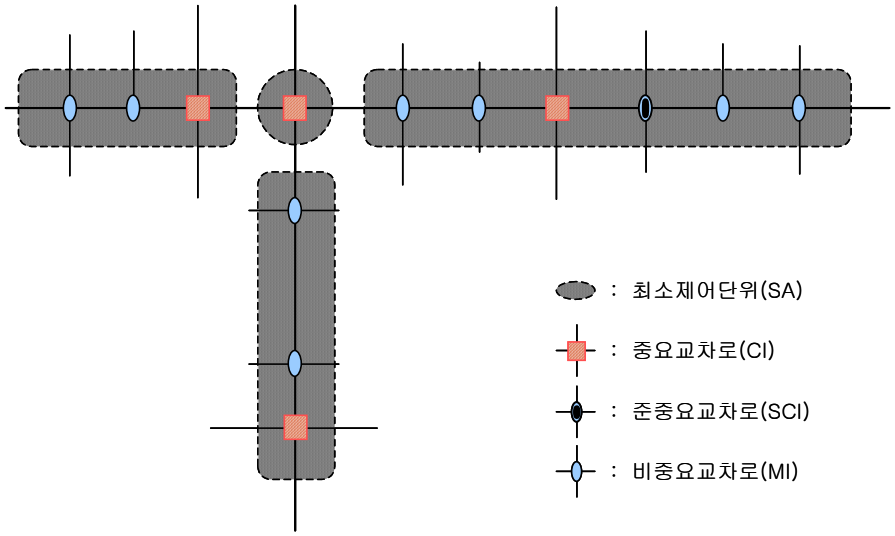
가) 최소제어단위

신호교차로로 구성된 도로체계에서는 인접한 교차로들이 영향을 주고 받기 때문에 각 교차로의 효율적인 신호운영과 더불어 교차로간의 연동제어(교차로간의 신호시작시간 간격을 조정하여 차량들이 여러 개의 교차로를 통과할 때 연속진행이 가능하도록 하여 정지회수를 최소화하는 제어)를 해야만 교통소통을 원활하게 할 수 있다.

그러나 서울시의 교차로를 한꺼번에 연계하여 제어하는 것은 현실적으

로 불가능하므로 여러 개의 그룹으로 나누어서 제어하게 된다. 실시간 신호제어시스템에서는 유사한 교통패턴을 갖는 교차로들을 하나의 그룹으로 구성하고, 이를 최소제어단위(Sub-Area : SA)라고 한다. 하나의 SA에는 최소 1개 교차로에서 10개 교차로로 구성하며 적어도 하나의 중요교차로(CI)가 포함되어 있어야 한다. 다음 <그림 2-1-1>은 최소제어단위의 구성을 나타낸 것이다.

<그림 14> 최소제어단위(Sub-Area)의 구성



나) 구성교차로의 기능

최소제어단위(SA)내의 구성하는 교차로는 중요교차로, 준중요교차로, 비중요교차로가 있으며 교차로 종류에 따라 기능과 설치되는 검지기의 구성이 달라진다.

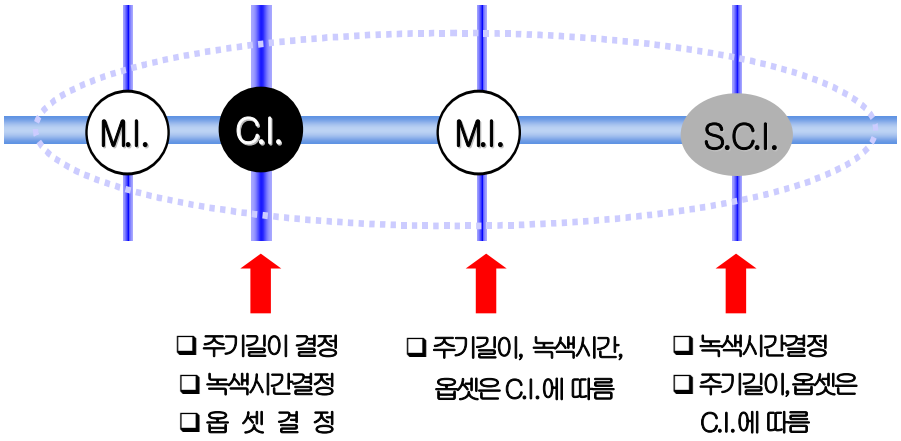
○ 중요교차로(CI : Critical Intersection) : 중요교차로에는 가장 많은 검지기가 설치되며 직전 및 좌회전 정지선 검지기, 대기길이 검지기, 앞막힘 검지기가 설치되어 있어서 최적의 주기와 녹색시

간이 결정되고, 그룹의 옵셋을 결정한다.

○ 준중요교차로(SCI : Semi Critical Intersection) : 준중요교차로에는 직진 및 좌회전 정지선 검지기가 설치되어 있어 최적의 녹색시간을 결정할 수 있으며, 중요교차로가 제 기능을 하지 못할 때 중요 교차로의 역할을 대신 수행할 수 있다.

○ 비중요교차로(MI : Minor Intersection) : 좌회전 정지선 검지기가 설치되어 있어서 좌회전 감응제어 기능을 갖고 있다.

<그림 15> Sub-Area내의 교차로들의 기능



다) 검지기 구성

검지기 구성은 교차로의 종류(중요교차로, 준중요교차로, 비중요교차로)에 따라 달라지며, 교차로의 기하구조나 교통특성에 따라 다르게 설치된다. 또한 검지기의 용도에 따라 설치되는 검지기의 종류 또한 달라진다. <그림 16>은 중요교차로 검지기 설치예를 나타낸 그림이고, <그림 17>은 준중요교차로와 비중요교차로의 검지기 설치예를 나타낸 그림이다.

○ 중요교차로(CI)

◦ 정지선 직진 검지기 : 정지선으로부터 30cm이내 거리에 32각 루프 검지기를 매설

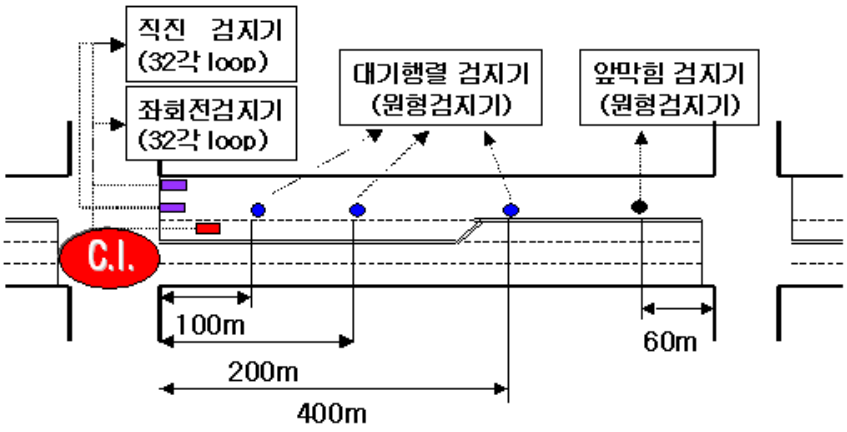
◦ 정지선 좌회전 검지기 : 좌회전 전용차로에 정지선으로부터 12m 후방에 설치

◦ 대기행렬 검지기 : 상류에 100m, 200m, 400m 위치에 원형 루프 검지기 설치

◦ 앞막힘 예방검지기 : 상류부 교차로로부터 60m 위치에 원형 루프 검지기 설치

※ 단, 현장의 특성에 따라 위치가 변경될 수 있음.

<그림 16> 중요교차로의 검지기 구성



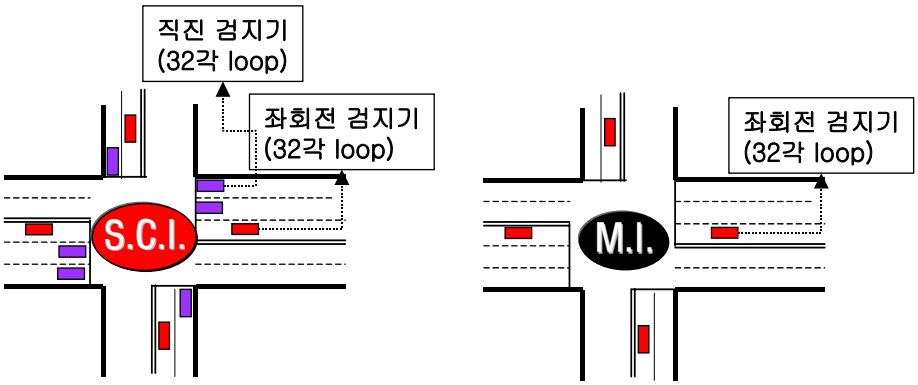
■ 준중요교차로(SCI)

상류부 대기길이 검지기를 제외하고는 중요교차로와 설치방식이 동일.

■ 비중요교차로(MI)

좌회전 감응용 32각 루프 검지기만 정지선으로부터 12m후방에 설치.

<그림 17> 준중요교차로와 비중요교차로의 검지기 구성



2) 변수

가) 교통상황변수

교통상황변수는 현장의 교통상황을 표현하는 값으로서 교차로의 방향별 차량수요와 혼잡상황 등을 표현하는 값이다. 이 값은 신호운영을 위한 변수인 주기, 옵셋, 현시길이 등을 결정하는 기본 자료가 된다. <표 8>의 변수는 실시간 신호제어시스템에서 사용하는 교통상황 변수이다.

<표 8> 실시간 신호제어시스템에 사용되는 교통상황변수

교통상황변수	수집방법
·점유시간 : 차량이 검지기위에 있는 시간 ·비점유시간 : 차량이 검지기위에 없는 시간	차량 검지기로부터 측정하여 지역제어기 1차 정보처리 알고리즘으로 가공
·교통량 : 통과한 차량대수 ·포화도 : 교통혼잡상황을 나타내는 변수 ·포화교통류율 : 포화상태로 통과할 때의 차량수 ·속도 : 차량이 검지기를 통과하는 속도	지역제어기 1차 정보처리 알고리즘으로 가공된 점유시간과 비점유시간을 지역제어기 2차 정보처리 알고리즘으로 재가공
·대기차량길이 : 신호교차로에 대기하고 있는 차량수(길이)	지역제어기에서 산정된 대기행렬검지기의 속도를 기초데이타로 하여 지역컴퓨터에서 산정

나) 신호제어변수

교차로의 신호를 운영하기 위한 제어변수를 신호제어변수라고 하며 현시순서, 주기, 현시율, 옵셋의 4가지로 구성되어 있다. 검지기에서 수집된 교통상황변수를 이용하여 신호제어변수 산정 알고리즘에 의해 교통상황에 맞는 신호제어변수 값을 산정한다.

○ 주기길이(Cycle length) : 현시가 한 번씩 운영되는데 걸리는 시간

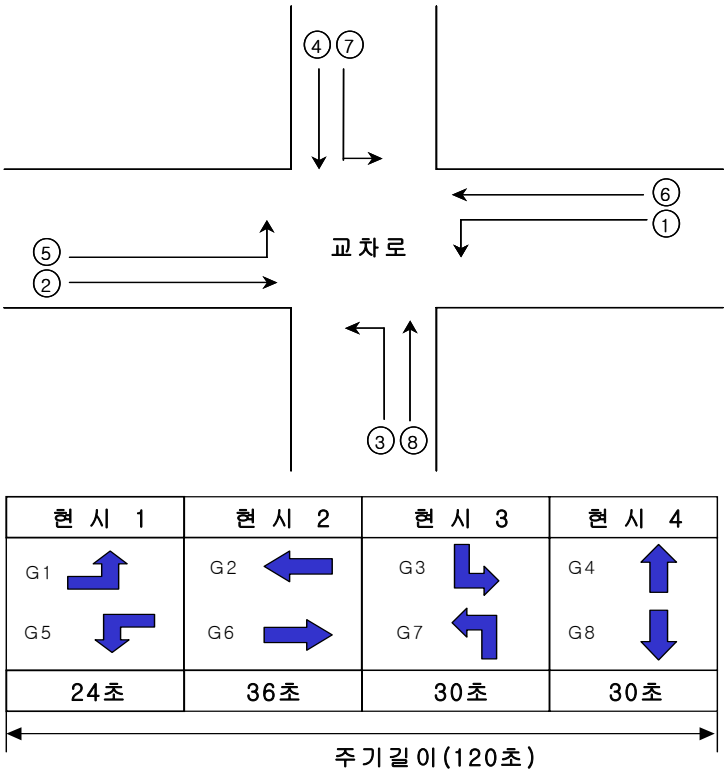
○ 현시순서(Sequence) : 신호등이 켜지는 순서

○ 현시율(Green Split) : 각 방향별 녹색시간 비

○ 옵셋(Offset) : 연동제어를 위한 값으로서 교차로간 신호등이 켜지는 시간의 간격

일반적인 4지 교차로에서는 각 방향의 좌회전과 직진차량을 신호등으로 제어한다. <그림 18>과 같이 신호계획이 되어 있다면 동서좌회전, 동서직진, 남북좌회전, 남북직진 순으로 신호등이 켜지게 된다. 이러한 순서를 현시순서라고 하고, 120초를 주기로 교차로 신호는 반복해서 운영되고, 각 현시의 현시율이 0.2, 0.3, 0.25, 0.25이면, 신호시간은 24초, 36초, 30초, 30초로 운영된다.

<그림 18> 신호제어변수 개념도



Ⅲ 루프검지기 설치 및 유지관리체계의 문제점

1. 루프검지기 설치 고장원인

가. 루프검지기 설치

루프검지기 시공은 설치지점 선정, 아스팔트 컷팅, 루프 헤드 설치, 실런트 주입, 작동상태 점검 등의 절차를 따른다. 루프검지기를 설치할 때는 다음과 같은 사항을 충분히 고려하여야 한다. 첫째, 도로 주변에 맨홀이나 다른 철골구조물로 구성된 도체가 있을 경우 영향을 받아 인덕턴스 값이 변화된다. 둘째, 권선수(회전수)와 크기가 동일한 루프가 인접해 있는 경우 공진주파수가 동일하기 때문에 혼선(Crosstalk)이 일어나 차량이 통과하지 않는 경우에도 차량이 통과하는 것처럼 작동하는 경우가 있다. 셋째, 루프코일과 케이블의 임피던스 값은 최소한 NEMA 기준에서 제시한 값과 유사한 수준으로 표준화되도록 해야 한다.

위의 첫 번째와 두 번째 고려사항은 설치지점 설정시 루프검지기에 영향을 줄 수 있는 장애물을 최소화시켜야 한다는 것이며, 세 번째 고려사항은 검사시 루프검지기의 설치 기준에 따라 정확한 값을 표출하는지 확인해야 한다는 것이다. 그러나, 국내의 루프검지기 설치과정을 살펴보면 아직까지 설치나 유지보수 후 측정장비의 검수와 각 절차의 세부사항에 대한 명확한 표준이나 지침이 없으며, 항목에 대한 기준값이 없는 실정이다. 그리고 시공상의 고려사항과 용도별 시공방법의 차이에 대한 매뉴얼화가 되어 있지 않아서 시공후 검지기별, 업체별로 다른 전기적 특성

을 나타낼 가능성이 매우 높다.

나. 루프검지기의 고장 및 기능저하 원인

루프검지기의 고장 및 기능저하의 주된 원인은 관리부실에 따르는 오차로서 도로파손에 의한 루프코일의 단선 및 실런트의 파손, 그리고 재포장 등이 있다. 예를 들면 루프검지기는 새로운 아스팔트가 덧 씌워지는 경우 루프코일의 감도가 떨어진다. 미국 캘리포니아주의 연구에서는 표준 설치된 루프 위에 추가로 5cm 포장을 덧 씌우면 감도가 12%, 15cm이면 35%, 20cm이면 50% 감소하는 것으로 보고하고 있다.

루프검지기는 도로에 매설되기 때문에 시간의 경과에 따라 파손 및 고장, 그리고 기능저하 등이 발생한다. 1997년도 서울시립대의 루프검지기 작동상태조사에 의하면 서울시에 설치되어 있는 607개소의 루프검지기 작동상태는 불량이 57대(9%)이고, 사용불가가 215대(36%)로 약 45% 가량이 불량 혹은 사용이 부적절한 것으로 나타났다. 이 조사에서 불량의 원인을 부적절한 시공 및 관리부실로 꼽고 있다.

미국 워싱턴주 교통국의 지원으로 워싱턴대학교 토목공학과에서 수행한 연구결과에 의하면, 루프검지기 고장의 주요 원인은 도로포장의 균열, 도로에 시설물 보수 및 설치에 따른 파손, 관리 부주의, 실런트 파손 등의 순으로 나타났다. 루프검지기의 전기적 특성에 의해 발생하는 오차의 원인은 사계절 및 습도의 변화 등이 루프선 및 리드선에 영향을 주기 때문이다. 전기적 특성에 기인한 루프검지기 오류를 감소시키기 위한 방안은 환경의 변화에 따라 자동으로 각종 변수를 조절할 수 있는 검지기를 사용하고, 루프를 습도 등 주위 환경에 잘 견디도록 견고하게 시공하도록 제안하고 있다.[21]

---

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

<표 9> 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

2. 유지관리체계의 문제점

루프검지기가 신호제어 및 고속도로 관리용 기반검지기로서 매우 중요하다는 것은 반론의 여지가 없다. 루프검지기는 교통안전시설물과 더불어 체계적인 관리가 필요하다. 현재 우리나라의 관리주체의 유지관리체계에 대한 실태를 살펴보면 다음과 같다.

1) 현행 관리체계

○ 설치 초기의 루프검지기에 대하여는 설치업체에서 2년간 무상 하자보수 계

약 체결

○ 2년이 지난 루프검지기에 대하여는 1년 단위로 유지보수 관련업체와 루프검지기 유지보수업무 계약 체결

○ 유지보수업체의 주요 업무는 2인 1개조의 점검요원이 일일점검하는 정도이며, 그 내용은 루프검지기와 통신선로 체크, 검지동작 확인, 검지신호 확인.

○ 관제센터에서 이상발생시에는 LCR Meter로 직류저항과 인덕턴스, 그리고 질계수 등의 파라메터를 측정하여 기준값과 비교하여 교체유무를 판단.

○ 루프검지기의 교체비용은 원인제공자 부담 원칙을 따르며, 그 외의 경우에는 선 교체후 제반경비를 일정단위로 청구하는 형태임.

○ 유지보수비용의 산정은 과년도 루프검지기 수량을 기준으로 책정한 금액에 추가 설치된 수량을 고려하여 계약금액을 산정함.

2) 계약업체의 관리실태

○ 유지보수계약을 맺은 용역업체의 담당요원에 의한 단순 고장 점검.

○ 단순고장의 판단은 데이터의 송수신 불가, 이상 데이터의 발생 등에 의한 판단.

○ 루프검지기 성능에 대한 정확한 감도 및 성능 저하에 대해서는 오실로스코트와 LCR Meter를 이용하여 확인하는 정도에 그치고 있을 뿐만 아니라 검사장비에 대한 기준도 없으며, 모든 검사를 인력에 의존함.

○ 고장판단후 조치는 해당 루프의 교체 또는 검지기 보드의 교체 및 수리, 통신 케이블의 교체 및 수리 등임.

Ⅳ 루프검지기 신뢰성 조사

1. 신뢰성 조사

가. 조사내용 및 방법

실험내용 및 방법은 현장의 루프검지기 설치지점의 비디오카메라에서 수집되는 영상을 프레임 분석기로 분석하여 산정한 차량의 길이와 루프검지기 보드의 점유시간을 실검지영역으로 변환한 값을 비교하여 루프검지기의 신뢰도를 판단한다. 조사대상은 32각, 8각, 원형 루프검지기를 대상으로 한다.

나. 자료수집

자료수집은 검사차량의 앞과 뒤쪽 범퍼에 시인성이 좋은 테이프를 부착하고 점유시간의 신뢰도를 검증하기 위하여 통계적으로 유의성을 갖기 위해 반복실험을 실시한다. 조사차량의 검지영역통과 과정을 시간축에 따라 초당 30프래임의 녹화영상을 확보한다. 즉 주행차량의 영상이 검지영역내에서 50프래임이 발견되었다면 50 × 1/30 = 1.667(초)의 점유시간을 가졌다는 것을 의미한다. 이러한 방법으로 각 검지시작시간과 검지종료시간을 추출하여 챠량당 점유시간을 추정하고 차량당 지점속도는 임의구간을 설정하여 차량 범퍼의 도달시간차로 알 수 있으며, 조사차량의 길이를 알고 있으므로 이를 이용하여 차량당 실검지영역의 길이를 추정한다.

<표 10> 32각 루프검지기의 분석결과1

횟수	주행속도 추정값(m/s)	실검지영역 길이 추정값(m)	점유시간 추정값(s)	루프검지기보드의 점유시간(s)
1회	1.61	2.94	4.22	4.02
2회	1.61	2.63	4.16	4.13
3회	1.65	2.62	3.92	3.93
4회	1.57	2.71	4.30	4.26
5회	1.61	2.73	4.44	4.33
6회	1.79	2.83	3.66	3.65
7회	1.58	2.79	4.34	4.27
8회	1.46	2.67	4.44	4.48
9회	1.53	2.48	4.54	4.61
10회	1.59	2.65	4.34	4.19
11회	1.58	2.72	4.52	4.58
12회	1.83	2.70	3.84	3.91
13회	1.69	2.93	4.20	4.10
14회	1.73	2.84	3.96	4.00
15회	1.52	2.66	4.48	4.46
16회	1.57	2.75	4.56	4.53
17회	1.69	2.89	3.90	4.16
18회	1.65	2.65	4.38	4.44
19회	1.48	2.73	4.56	4.50
20회	1.29	3.14	5.22	4.99
21회	1.55	3.01	4.34	4.27
22회	1.79	2.88	3.84	3.72
23회	1.29	2.96	5.18	5.03
24회	1.50	3.49	4.46	4.01
25회	1.62	2.85	4.48	4.20

<표 11> 32각 루프검지기의 분석결과2

횟수	주행속도 추정값(m/s)	실검지영역 길이 추정값(m)	점유시간 추정값(s)	루프검지기보드의 점유시간(s)
26회	1.29	3.28	5.20	4.69
27회	1.49	3.23	4.48	4.08
28회	1.55	2.67	4.48	4.42
29회	1.59	3.06	4.48	4.17
30회	1.50	3.17	4.40	4.11
31회	1.38	3.06	4.82	4.40
32회	1.56	3.38	4.36	4.04
33회	1.38	3.02	5.06	4.82
34회	1.57	2.61	4.50	4.53
35회	1.25	3.48	5.38	4.91
36회	1.25	3.08	5.50	5.19
37회	1.21	3.07	5.84	5.57
38회	1.49	2.95	4.56	4.58
39회	1.62	3.11	4.18	4.04
40회	1.57	3.05	4.32	4.20
41회	1.67	2.79	4.22	4.22
42회	1.53	2.93	4.50	4.58
43회	1.35	2.90	5.50	5.23
44회	1.29	2.67	5.26	5.04
45회	1.61	2.71	4.24	4.00
46회	1.57	2.85	4.38	4.15
47회	1.52	2.74	4.68	4.79
48회	1.29	2.86	5.40	5.51
49회	1.62	2.93	4.08	4.26
50회	1.24	2.66	5.36	5.42

<표 12> 8각 루프검지기의 분석결과1

횟수	주행속도 추정값(m/s)	실검지영역 길이 추정값(m)	점유시간 추정값(s)	루프검지기보드의 점유시간(s)
1회	1.96	2.67	3.54	3.70
2회	1.83	2.64	3.82	3.93
3회	2.04	2.85	3.60	3.85
4회	2.20	2.99	340	3.70
5회	1.95	2.69	3.70	3.93
6회	1.95	2.65	3.64	3.94
7회	1.96	2.55	3.72	3.94
8회	1.93	2.66	3.64	3.81
9회	1.72	2.65	4.08	4.21
10회	1.75	2.76	4.16	4.47
11회	1.69	2.57	4.08	4.40
12회	1.62	2.56	4.36	4.59
13회	1.83	2.46	3.86	4.17
14회	1.80	2.85	3.98	4.21
15회	1.83	2.60	3.80	3.93
16회	1.79	2.68	3.98	4.18
17회	1.67	2.70	4.12	4.29
18회	1.73	2.74	4.02	4.13
19회	1.80	2.63	3.92	4.18
20회	1.71	2.69	4.14	4.18
21회	1.67	2.90	4.24	4.38
22회	1.83	2.93	3.82	3.92
23회	1.77	2.73	3.88	4.06
24회	1.80	2.70	3.88	4.10
25회	1.75	2.79	4.02	4.18

<표 13> 8각 루프검지기의 분석결과2

횟수	주행속도 추정값(m/s)	실검지영역 길이 추정값(m)	점유시간 추정값(s)	루프검지기보드의 점유시간(s)
26회	1.65	2.68	4.26	4.49
27회	1.75	2.76	3.82	4.06
28회	1.82	2.73	3.76	3.89
29회	1.58	2.37	4.44	4.55
30회	1.72	2.65	4.08	4.23
31회	1.82	2.62	3.88	4.12
32회	1.72	2.59	4.08	4.37
33회	1.73	2.43	4.04	4.28
34회	1.69	2.50	4.14	4.33
35회	1.77	2.73	3.92	4.14
36회	1.79	2.47	3.92	4.20
37회	1.62	2.56	4.28	4.38
38회	1.75	2.55	4.08	4.33
39회	1.64	2.59	4.22	4.36
40회	1.65	2.55	4.10	4.39
41회	1.80	2.49	3.90	4.20
42회	1.80	2.60	3.88	4.07
43회	1.98	2.70	3.48	3.63
44회	1.82	2.69	3.64	3.96
45회	1.67	2.63	4.06	4.17
46회	1.90	2.58	3.70	3.75
47회	1.83	2.60	3.88	4.15
48회	1.76	2.60	3.98	4.16
49회	1.41	2.62	4.86	5.00
50회	1.83	2.49	3.84	4.06

<표 14> 원형 루프검지기의 분석결과1

횟수	주행속도 추정값(m/s)	실검지영역 길이 추정값(m)	점유시간 추정값(s)	루프검지기보드의 점유시간(s)
1회	2.06	2.71	3.50	3.53
2회	1.95	2.76	3.58	3.59
3회	1.86	2.68	3.68	3.80
4회	2.06	2.51	3.46	3.45
5회	1.86	2.76	3.80	3.78
6회	1.85	2.55	3.90	3.96
7회	1.96	2.67	3.52	3.61
8회	1.91	2.53	3.80	3.90
9회	1.73	2.63	4.14	4.05
10회	1.71	2.73	4.10	4.04
11회	1.68	2.62	4.26	4.16
12회	1.72	2.68	4.14	4.06
13회	1.93	2.66	3.62	3.54
14회	1.83	2.71	3.84	3.78
15회	1.76	2.78	4.00	3.89
16회	1.90	2.84	3.82	3.76
17회	1.90	2.81	3.74	3.75
18회	1.69	2.84	4.14	4.12
19회	1.82	2.58	3.92	3.82
20회	2.06	2.71	3.32	3.37
21회	1.83	2.57	3.88	3.79
22회	1.86	2.72	3.74	3.65
23회	2.08	2.45	3.46	3.45
24회	1.73	2.63	4.04	4.01
25회	2.14	2.78	3.38	3.27

<표 15> 원형 루프검지기의 분석결과2

횟수	주행속도 추정값(m/s)	실검지영역 길이 추정값(m)	점유시간 추정값(s)	루프검지기보드의 점유시간(s)
26회	1.64	2.63	4.36	4.42
27회	1.80	2.52	3.90	3.80
28회	1.73	2.74	4.08	3.97
29회	1.75	2.51	3.86	3.84
30회	1.80	2.70	3.84	3.81
31회	1.86	2.54	3.92	3.86
32회	1.77	2.55	4.04	3.96
33회	1.79	2.68	3.80	3.86
34회	1.82	2.51	3.78	3.75
35회	1.90	2.54	3.64	3.63
36회	1.68	2.59	4.20	4.25
37회	1.72	2.54	4.10	4.06
38회	1.67	2.43	4.16	4.12
39회	1.61	2.86	4.28	4.31
40회	1.73	2.49	4.04	3.98
41회	1.77	2.52	3.98	3.99
42회	1.83	2.60	3.80	3.83
43회	2.10	2.64	3.38	3.26
44회	2.12	2.71	3.38	3.49
45회	1.86	2.57	3.84	3.86
46회	1.72	2.65	4.04	4.03
47회	1.96	2.51	3.68	3.74
48회	1.95	2.57	3.66	3.67
49회	1.83	2.68	3.88	3.95
50회	1.72	2.61	3.92	3.89

2. 자료분석 결과

각 루프검지기 종류별(32각, 8각, 원형)로 비디오영상과 루프검지기 보드로부터 수집된 점유시간 자료를 비교하였다. 분석은 조사차량 전방과 후방범퍼 검지시작시점과 종료시점을 이용하여 조사차량의 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. 분석자료는 각 검지기별 시행회수를 50회 반복하여 수집한 자료를 대상으로 하였다.

비디오영상 점유시간 추정값과 루프검지기 보드의 점유시간 값에 대하여 Z 통계량(Normal test), 카이제곱 통계량(Chi-square test) 등의 평가척도를 사용하여 구한 평가결과는 다음과 같았다.

<표 16> 루프검지기의 신뢰성 평가결과

구분	32각 검지기	8각 검지기	원형 검지기	통계량	비고
Z 통계량	1.210	3.88	0.35	1.96	유의 수준 : 5%
카이제곱 통계량	0.470	0.580	0.060	70.224	유의 수준 : 5%

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

통계량이 Z값보다 크므로 루프 검지기와 보드 점유시간이 다르다고 할 수 있다. 카이제곱 검정을 통해서 검정할 때는 유의수준 5%일 때 통계량이 70.224(자유도:49)보다 작아야 유의하다고 판정한다. 루프검지기 종류별 카이제곱 통계량이 기준값보다 작으므로 비디오영상의 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 루프검지기의 설치가 비정상적이고 재시공이나 유지보수를 통해서 교정한다면 8각 검지기에서도 32각 및 원형 검지기와 같은 결과를 얻어 낼 수 있을 것이다.

Ⅴ 측정장비 평가방안

측정장비의 평가는 크게 정밀도, 재현성, 정확성, 안정성, 선형성으로 항목을 분류하여 각 항목의 평가순서에 따라 진행한다.

1. 정밀도와 재현성 평가방법

이는 정밀도와 재현성을 분리시켜 평가한는 방법으로 측정 데이터의 수가 많고 계산과정이 복잡하다는 단점이 있기는 하나 측정오차의 원인을 보다 자세히 파악할 수 있다는 장점이 있다. 이 평가법은 측정자수(g), 측정시료수(n), 측정반복횟수(r)에 변화를 줄 수 있으나 일반적으로 g=3, n=10, r=2가 주로 사용되고 있다. 이 경우 평가방법의 순서는 다음과 같다.

(순서 1) 측정자를 A, B, C라 하고 측정시료에 1, 2, 3, ..., 10의 번호를 부여한다. 단, 측정자는 이 번호를 알 수 없도록 한다.

(순서 2) 장비를 측정할 수 있도록 준비한다.

(순서 3) 측정A로 하여금 시료를 랜덤하게 측정하게 하고 그 값을 표의 반복열에 기입한다.

(순서 4) 측정B, C에 대해서도 (순서 3)을 반복한다.

(순서 5) 1차 반복이 끝난 후, 2차 반복에 대해서도 (순서3 ,4)와 같은 방법으로 다시 실시하여 측정치를 기입한다. 필요하다면 3차 반복도 실시한다.

(순서 6) 정밀도, 재현성 그리고 R&R(정밀도와 재현성)을 다음 순서에 따라 구한다.

(순서 7) 측정된 자료에 대하여 각 측정에 대한 데이터의 합과 범위를 구한 후, 각 측정자의 평균치$\overline{X_A}$, $\overline{X_B}$, $\overline{X_C}$와 범위의 평균치 $\overline{R_A}$, $\overline{R_B}$, $\overline{R_C}$를 계산한다.

(순서 8) 장비가 관리상태에 있는지를 다음과 같이 확인한다.

① 총범위의 평균 $\overline{R}$를 계산한다.

$$\overline{R}=\frac{\overline{R_A}+\overline{R_B}+\overline{R}_C}{3}$$

② R관리도의 관리상한선 UCL_R을 계산한다.

$$UCL_R = D_4\overline{R}$$

③ 각 측정자에 대하여 산출한 범위(R)와 UCL_R을 비교하여 측정시스템이 관리상태에 있는지 확인한다. 만일 어떤 범위가 UCL_R보다 큰 값이 얻어졌다면, 일단 측정시스템에 이상이 있다고 판단하고 어디에 문제가 있는지 조사해 볼 필요가 있다. 그리고 이런 경우에는 그 값을 제외하고 (순서 7)과 (순서 8)을 다시 행한다.

(순서 9) 측정자간의 평균치 범위를 다음과 같이 계산하고 그 결과를 기록한다.

$$\overline{X}_{DIFF} = \text{최대평균값} - \text{최소평균값}$$

$$= \overline{X}_C - \overline{X}_B$$

(순서 10) 장비의 정밀도를 나타내는 EV(계측기 변동 : equipment

variation)을 계산한다.

$$EV = \bar{R} \times K_1$$

여기서, $K_1 = \frac{5.15}{d_2}$

d_2는 표에서 시료의 크기 n 대신에 반복횟수 r를 대입시켜 얻어지는 값으로 다음 <표 17>과 같다.

<표 17> 반복회수별 d_2

반복회수(r)	d_2
2	1.128
3	1.693
4	2.059
5	2.326

(순서 11) 재현성을 나타내는 AV(측정자 변동 : appraiser variation)을 계산한다.

$$AV = \sqrt{(\bar{X}_{DIFF} \times K_2)^2 - \frac{(EV)^2}{n \times r}}$$

여기서 $K_2 = \frac{5.15}{d_2^*}$

d_2^*는 표 시료의 크기(n)가 1인 경우 측정자의 수(g)에 따라 얻어지는 값으로 다음 <표 18>과 같다.

<표 18> 측정자수별 d_2^*

측정자수(g)	d_2^*
2	1.41
3	1.91
4	2.24
5	2.48

AV값이 크면 재현성, 즉 측정자간의 오차가 크다고 판단한다.

(순서 12) 정밀도와 재현성을 함께 나타내는 R&R을 계산한다.

$$R\&R=\sqrt{(EV)^2+(AV)^2}$$

(순서 13) 정밀도, 재현성 및 R&R의 공차에 대한 백분비를 계산한다.

%정밀도 = %EV = (EV/공차)×100(%)

%재현성 = %AV = (AV/공차)×100(%)

%R&R = (R&R/공차) × 100(%)

2. 정확성 평가방법

장비의 정확성 여부를 판단하기 위해서는 시료 특성의 참값(true value)을 알아야 한다. 이 참값은 정밀 측정 장비를 이용하여 구할 수 있다. 이렇게 해서 참값을 구한 다음 그 시료를 한 명의 측정자가 평가할 장비를 사용하여 측정한 시료의 평균치를 구함으로서 장비의 정확성을 평가할 수 있다. 그리고 정확성의 백분비는 다음과 같이 계산한다.

$$\%\text{정확성} = \frac{|\text{참값}-\text{시료평균}|}{\text{공차}} \times 100(\%)$$

3. 안정성 평가방법

장비의 안정성은 시간의 변화에 대한 측정치의 변동이므로 안정성은 다음과 같이 구한다. t_1시점에서의 시료평균을 $\overline{X_1}$, t_2시점에서의 시료평균을 $\overline{X_2}$라고 하면 계측기의 안정성의 백분비는 다음과 같다.

$$\%\text{안정성} = \frac{|\overline{X_1}-\overline{X_2}|}{\text{공차}} \times 100(\%)$$

4. 선형성 평가방법

장비의 선형성은 계측기의 정해진 작동범위 내에서 정확성을 비교함으로써 평가할 수 있다. 즉, 정해진 작동범위의 양쪽 한계구간에서 최소한 1회씩 정확성을 검토해서 얻어진 값의 차이가 바로 그 측정기의 선형성이며 양쪽 한계구간에서 각각 여러 번 정확성을 계산하였을 때에는 가장 큰 값에서 가장 작은 값을 뺀 차가 선형성이 된다. 그리고 선형성의 백분비는 다음과 같다.

$$\%\text{선형성} = \frac{|\text{정확성}_{\max}-\text{정확성}_{\min}|}{\text{공차}} \times 100(\%)$$

5. 관리방안

장비의 오차를 줄여 나가고자 할 때에는 일반적으로 다음의 순서에 따라 시행하는 것이 좋다.

① 먼저 장비의 정확성과 안정성에 아무런 문제가 없는지 검토한다. 정확성과 측정방법, 시료의 샘플링방법, 실험방법의 면밀한 검토와 장비의 물리적 상태의 체크 등을 실시하여야 한다. 이 신뢰성이 떨어지면 그 원인을 규명하여 신뢰성을 회복할 수 있도록 조치를 취해야 한다.

② 다음으로 정밀도와 재현성의 평가를 실시한다. 앞에서 소개한 간이평가법이나 분리평가법을 사용하여, 정밀도나 재현성이 공차에 비하여 어느 정도 큰가를 조사하여야 한다. 이때 %R&R의 크기로 평가하면 된다.

③ 측정장비의 만족여부는 일반적으로 측정오차(정확성, 정밀도, 재현성, 안정성, 선형성 등이 복합된 오차)가 제품 공차에 차지하는 비율(%)로써 평가한다. 측정기의 정밀도와 재현성의 판정기준은 다음과 같다.

<표 19> 정밀도와 재현성 항목 판정표

결과 (% R&R)	조 치	판 정
10%미만	장비 관리상태 양호, 현상태 유지	합 격
10~30%	장비의 수리비용, 측정오차의 중요성 등을 고려하여 허용여부 결정	검 토
30%초과	장비 관리상태 불량, 오차원인을 규명하여 해결책 강구	불합격

Ⅵ 결론 및 향후 연구과제

본 연구는 정책연구로서 루프검지기 설치검수와 유지관리체계의 필요성에 대하여 환기시키고 정책적으로 활용하기 위한 것이다. 즉, 기존에 이루어진 2003년 경찰청의 검지기 신뢰도 향상방안 연구와 2004년 한국ITS학회에서 발표된 루프검지기 적정 매설깊이 및 휘더선 한계길이 연구에서 범위설정상 누락되거나 미흡한 부분이 있었던 측정장비평가 및 유지관리체계에 관한 기초적인 연구이다. 따라서 본 연구에서는 일차적으로 설치된 루프검지기의 검지기보드가 안정적으로 차량을 검지하는지에 대한 조사를 수행하였고 이차적으로 측정장비에 대한 평가기준을 제시하였으며 마지막으로 유지관리체계에 대한 기초적인 요구사항을 결론부에 제시하고자 한다.

설치된 루프검지기를 대상으로 실차량 점유시간의 비교를 통한 신뢰성 평가를 실시하였다. 평가지표는 등가계수(Equality Coefficient), 카이스퀘어 검정(Chi-Square Test), Z 검정(Z Test)등 평가척도를 사용하였다. 그 결과 32각 검지기는 각각 0.470, 1.210으로 귀무가설 채택, 귀무가설 채택, 8각 검지기는 각각 0.580, 3.880으로 귀무가설 채택, 귀무가설 기각, 원형 검지기는 각각 0.060, 0.360으로 귀무가설 채택, 귀무가설 채택의 결과를 보였다. 여기서, 카이스퀘어 검정과 Z 검정의 통계적 유의수준은 5%이다.

측정장비의 평가기준에 관해서는 정밀도, 재현성, 정확성, 안정성, 선형성을 항목으로 설정하였으며 그중 정밀도와 재현성의 평가지표인 %R&R을 기준으로 제시하였다.

유지관리체계에 대한 기초적인 요구사항은 본문에서 살펴본 루프검지기의 시공, 고장 및 기능저하 원인, 유지관리체계 등의 현행 설치 및 관리실태 조사에서 나타났듯이 보수유체계의 가장 큰 문제점은 체계적이고 과학적인 유지관리체계가 미흡하다는 것이다. 체계적이고 과학적인 보수유지체계를 마련하기 위해서는 첫째로, 루프검지기의 고장 및 기능저하 원인에 대한 영향정도를 규명하여 관리기준을 마련하는 것이며, 둘째로 현행 보수유지체계의 문제점을 개선하는 할 수 있는 과학적인 유지관리체계의 도입이 절실하다고 판단된다.

향후 과제로는 현재 Q값의 측정장비인 LCR METER, LOOP FINDER 등을 인력에 의존하지 말고 온라인으로 센터에서 지속적으로 자료를 수집하여 관리할 수 있는 체계가 이루어 져야 한다. 그 방법으로는 루프검지기 매설시 측정장비를 함께 매설하여 루프검지기 검지상태정보를 제어기 통신라인을 통하여 센터에 보내는 방안이 있다. 그러나 통신라인확보 및 프로토콜 개선에 시간이 걸린다면 과도기 적으로 현장에서의 측정방법을 개선하여 인력의존도를 낮추는 방안을 모색해 볼 필요가 있다.

따라서 현행 유지보수 및 검수메뉴얼을 과학적인 방법으로 작성하여 효율적으로 개선할 필요가 있다. 유지보수 및 검수메뉴얼을 구비하여야 한다. 개발될 장비가 갖추어야할 기능들은 첫째 고장시 혹은 유지보수기간에만 루프검지기의 상태를 파악하여 조치하는 것에서 매월 혹은 매주 검지기의 현황을 파악하여 기능의 변화를 계속적으로 체크를 할 수 있어야 하고, 둘째, 루프검지기의 성능변화를 지속적으로 체크함으로써 검지기의 교체 또는 수리에 대한 근거 데이터를 제공할 수 있어야 한다.

또한 도로에 매설되는 루프검지기는 도로환경의 변화, 즉 재포장, 실런트 유실 등에 의해 손상되거나, 계절적 요인, 습기의 침투 등의 환경적 요인으로 루프검지기의 전기적 특성이 변화하기 때문에 루프검지기로부터 수집되는 교통변수에 오차가 발생한다. 이러한 한계를 극복하기 위

해서는 루프검지기의 전기적 특성이 환경적 요인이나 재포장 등에 따라 어떻게 변화하는지를 규명하고 이를 근거로 관리기준을 마련하여야 한다.

관리기준은 도로환경(재포장 등)과 환경적 변화(사계절 및 습도변화 등)에 따라 루프검지기의 감도와 케이블의 영향이 어떻게 나타나는지에 규명이 우선되어야 한다. 루프검지기의 감도는 신호제어에 근간이 되는 교통변수인 점유시간과 비점유시간의 측정에 중요한 변수이며, 이 점유시간의 길이는 검지부의 인덕턴스 변화에 비례하는 주파수 변화폭을 그 기초로 삼고 있으므로 기준이 되는 인덕턴스 변화폭을 어떻게 설정하는가에 따라서 출력되는 점유시간의 크기는 달라지기 때문이다. 또한 케이블 길이의 영향은 루프코일의 인덕턴스가 일정한 경우 검지기 입력단 감도(SD)가 루프케이블의 길이에 따라 가감되기 때문이다.

참 고 문 헌

Ⅰ. 국내문헌

대한전자공학회, 전자기학, 청문각, 1998.

한득영, 전자기학, 인터비젼, 2000.

서울지방경찰청, 신신호시스템 기능개선용역, 1999.

서울지방경찰청, 신신호시스템 기능개선용역, 2000.

서울지방경찰청, COSMOS 2001 실시간 신호제어시스템 실무 해설집, 2002.

아주대학교 교통연구센터, 서울특별시 교통신호제어시스템 개발연구용역 수행 2차년도 결과보고서(검지기체계개발연구), 1992.

서울지방경찰청, 교통신호제어시스템 NEMA 규격집, 1994.

서울지방경찰청, 실시간 신호제어시스템 검지기보수공사 공사시방서, 2003.

경찰청, 검지기 신뢰도 향상방안 연구용역, 2003.

송기혁, 오영태, “루프검지기 적정 매설깊이 및 휘더선 한계길이 연구”, 한국ITS학회 2004년도 제3회 정기총회 및 추계학술대회, 한국ITS학회, 2004

도로교통안접협회, 루프식 검지기 형태별 성능비교 분석, 1994.

이용중, 아주대학교 공학석사학위 논문, 실시간 신호제어시스템에서

대기행렬길이 산출 알고리즘 개발, 2003.

이대원, 아주대학교 대학원, "상류부검지기 점유특성에 의한 대기행렬 예측모형", 1994.

이철기, 대한교통학회지 제13권 제3호, "실시간 교통신호제어를 위한 루프 검지기의 최적 형태결정에 관한 연구", 1995.

오영태, 이철기, 대한교통학회 제13권 제3호, "실시간 교통신호제어를 위한 루프검지기의 최적형태 결정에 관한 연구", 1995.

이철기, 대한교통학회지 제14권 제3호, "실시간 신호제어를 위한 차량검지기 정보의 신뢰성 비교 평가", 1996.

이승환, 조한선, 최기주, 대한교통학회 제14권 제1호, "단일 루프검지기를 이용한 차종분류 알고리즘 개발", 1996.

이승환, 이철기, 대한교통학회 제14권 제2호, "실시간 교통신호제어를 위한 루프검지기 체계 연구", 1996.

김영찬, 최기주, 김도경, 오기도, 대한교통학회 제15권 제4호, "단일 루프검지기를 이용한 간선도로 실시간 통행속도 추정 방법론", 1997.

조형기, 아주대학교 대학원, “신경망을 이용한 루프-기반 실시간 차종 인식모형 개발”, 1998.

허낙원, 아주대학교 대학원, "루프검지기를 이용하여 점유시간 수집주기 및 차종을 고려한 대기행렬 길이 예측 알고리즘", 2001.

Ⅱ. 외국문헌

Adolf D. May, Traffic Flow Fundamentals, 1990.

Traffic Detectoer Handbook second edition, ITE, No date.

William R. McShane, Roger P. Roess, Elena S. Prassas, Traffic Engineering, Prentice hall, 1998.

Ⅲ. 기타

미국 reno a&e, http://www.renoae.com/traffic/index.php

서울지방경찰청, http://www.smpa.go.kr

도로교통공단, http://www.rota.or.kr

책임연구보고서 2010-30

경찰교통의 첨단교통관리시스템(ATMS) 차량검지기 설치검지율에 관한 연구

(측정장비평가방법 및 유지관리체계개선을 중심으로)

2010년 12월 30일 발행

발행인 : 김 영 식

발행처 : **치안정책연구소**
경기도 용인시 기흥구 언동1길 29

홈페이지 : www.psi.go.kr

이 책의 무단 복제를 금합니다.

이 책자에 게재된 내용은 연구자 개인의 의견이며
치안정책연구소 공식견해가 아님을 밝혀둡니다.

POLICE SCIENCE INSTITUTE