

□ 論 文 □

實時間 交通信號制御를 爲한 루프 檢知器의 最適形態決定에 關한 研究

The Decision of the Optimal Shape of Inductive Loop
for Real-Time Traffic Signal Control

吳 榮 泰

(아주대학교 교통공학과 교수)

李 鐵 基

(아주대학교 교통연구소 선임연구원)

— 목 차 —

- I. 序 論
 - 1. 研究背景 및 目的
 - 2. 研究範圍 및 方法
- II. 檢知器의 理論的 考察 및 適用性
 - 1. 檢知原理 및 體系構成
 - 2. 루프檢知器의 特性
 - 3. 檢知情報의 種類 및 適用性
- III. 루프 檢知器의 實驗概要 및 環境
 - 1. 實驗 概要
 - 2. 實驗 節次
 - 3. 實驗 環境
- IV. 루프檢知器의 基礎 特性實驗
 - 1. 實驗 方法
 - 2. 實驗 結果
- V. 루프 檢知器의 最適形態 決定實驗
 - 1. 實驗 方法
 - 2. 實驗 結果
 - 3. 最適 루프形態 決定
- VI. 結論 및 向後 研究課題

— ABSTRACT —

It requires the detector system which can collect highly reliable traffic data in order to perform the real-time traffic signal control. This study is to decide the optimal shape of inductive loop for the real-time traffic signal control. This loop is located at the stopline in the signalized intersection for DS(Degree of Saturation) control.

In order to find out the optimal shape of loop, 6 types of experiments were performed. The results of the basic experiments of loops are as follows;

- the optimal number of turns for loop is 3 turns,
- the impedance values of the loop detectors are similar to that of NEMA standards.
- the 1.8×4.5M loop is excellent for sensitivity in actual detection range of car length comparing to other shape of inductive loops.

At the experiments of establishments of the optimal loop shape, it found that 1.8 4.5M loop has the highest values of ΔL comparing to other types of loops, It means that the range of Lead-in cable length of this loop. And this loop is highly reliable in occupancy time. Conclusively, the 1.8×4.5M inductive loop is the optimal solution as a stop line loop detector for real-time traffic signal control.

I. 서론

1. 연구 배경 및 목적

우리나라 대부분의 신호체계는 신호제어용 검지기체계 없이 사전에 계획된 신호시간 즉 신호주기, 녹색시간, 연동값등에 의해 운영되고 있다. 이는 교통량 변화가 심한지역에서는 비효율적인 신호체계가 되고 자동으로 데이터를 수집하지 못하기 때문에 새로운 신호시간계획에 필요한 데이터 베이스를 구축하는데 많은시간과 노력이 필요하다. 선진 외국에서는 이와같은 문제점을 해결하기 위해서 1980년 초반 부터 교통량 변화에 적극적으로 대응할 수 있는 실시간 교통신호제어시스템을 운영하고 있고 현재 많은 지역으로 확대되고 있다.

그러므로 이와같은 실시간 교통신호제어 시스템을 개발함에 있어 필수적으로 갖추어야 할 요소 중의 하나가 신호교차로에서의 교통변화에 따른 교통상태를 실시간각으로 정확히 판별해 낼 수 있는 능력인데, 교통상태가 정확히 판별되면 교차로 혼잡해소 및 소통을 촉진시킬수 있는 최신의 교통제어이론의 구현이 가능해 진다. 따라서 교차로나 가로상의 교통상태를 판별하기 위한 정확한 정보를 실시간으로 수집하는 문제가 중요한

과제로 대두되었으며, 이에 관한 기존의 연구가 국내에서는 전무한 상태이므로, 실시간 교통신호 제어 시스템에 적용하게 될 신호제어 이론에 적합한 검지기형태의 개발이 필요하다고 하겠다.

2. 연구범위 및 방법

1) 연구범위

본연구에서는 현재 전 세계적으로 교통정보 수집용으로 널리 이용되고 있는 사각형 루프 검지기를 대상으로 하였으며 그리고 실시간 교통신호 제어용 정지선 검지기를 대상으로 했다. 이는 신호교차로에서의 정지선에서 포화도를 측정하여 실시간 교통신호제어 기법 중 가장 중요한 포화도제어를 하기 위함이다.

2) 연구 방법

본연구는 우선 루프 검지기 최적형태 결정을 위해 우선 21개 형태의 루프 검지기를 현장에 설치하고 그측정자료를 랩(Lab)에서 수신할 수 있는 실험환경을 구축하여 그 신뢰성을 검토한다. 그리고 실험은 루프검지기의 기초 특성실험과 루프검지기의 최적형태결정 실험으로 나누어 실시한다. 첫째, 루프검지기의 기초 특성실험에서는 루프 형태별 적정회전수 실험, 루프 회전수/형태

/주파수별 임피던스 측정실험, 루프 형태별 차량 실검지길이 측정 실험을 실시하며, 둘째, 루프 검지기 최적형태결정 실험에서는 루프 검지기 민감도 실험, 루프검지기 차량의 이론적 점유시간 기준 설정, 루프 검지정보의 신뢰도 분석, 루프 도입선과 케이블의 검지한계 실험을 실시하며, 이를 통하여 최적 루프형태를 결정한다.

II. 검지기의 이론적 고찰 및 적용성

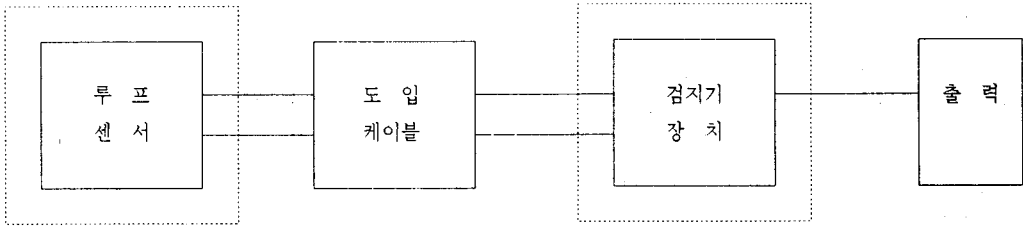
효율적인 교통신호제어를 위하여 현장의 교통상태를 실시간으로 파악할수있는 교통정보를 제공하여줄수 있는 검지기체계의 수립이 절실하다. 이를 위하여 본 연구에서는 현재 전 세계적인

로 가장 많이 이용되고 있는 루프검지기의 검지 원리와 이에 따른 운영이론을 고찰하고자 한다.

1. 검지 원리 및 체계 구성

1) 루프검지기의 구성

루프 시스템의 구성은 다음과 같다. <그림 1>에서 루프센서는 루프코일로 구성되어 있으며 도로위의 루프코일에서 루프 케이블까지의 연결선을 루프 도입선이라고 한다. 또한 루프 도입선에서 부터 교차로의 교통제어기내의 검지기까지의 연결선을 루프 케이블이라고한다. 대부분의 경우에는 루프 케이블을 통하여 검지기에 연결하나, 루프와 검지기간의 거리가 짧은 경우에는 직접 루프 도입선을 검지기에 연결하는 경우도 있다.

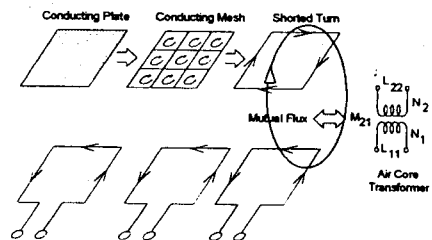


<그림 1> 검지기의 구성도

2) 차량 검지원리

다음 <그림 2>에서 보는바와 같이 직사각형, 또는 정사각형 루프위로 차량이 통과하는 경우 차량과 자장의 변화관계를 나타내고 있다. 자장의 최대변화는 도체면과 루프면이 수평을 이루는 경우에 일어나며 이경우 차량에 의한 인덕턴스의 변화도 최대로 일어난다. 차량의 경우 밑바닥 부분은 연속적인 도체판으로 근사할 수 있으며 이는 루프면과 수평의 관계를 유지한다. 차량이 루프면위에 존재하는 경우 연속적인 도체판은 루프 자장에의해 반대방향으로의 유도자장이 발생하고 유도자장으로 인한 내부의 유도전류는 상쇄되어

결과적으로 루프의 자장에 반대되는 유도자장이 발생한다.



<그림 2> 차량과 자장의 변화

이 루프의 자장과 유도자장은 상호작용하여서 자속의 변화를 가져온다. 이러한 자속의 변화로 차량(도체)에는 자속의 변화의 반대방향의 자장이 형성되고 이자장은 기존의 루프의 자장과 결합하여 인덕턴스의 변화를 가져온다. 루프 검지기는 이러한 인덕턴스의 변화를 주파수의 함수로 변환을 하여서 차량의 존재유무를 검지해 낸다.

2. 루프검지기의 특성

1) 루프 시스템 민감도

루프 시스템의 출력은 차량의 길이에 비례하는 점유시간(존재시간)이다. 이 점유시간의 길이는 검지부의 인덕턴스 변화에 비례하는 주파수 변화폭을 그 기초로 삼고 있으므로 기준이 되는 인덕턴스 변화폭을 어떻게 설정하는가에 따라서 출력되는 점유시간의 크기는 달라질 것이다. 그러므로 루프 시스템의 민감도는 이 인덕턴스 변화폭 설정에 따라서 달라진다. 민감도는 검지기가 차량의 존재유무를 판별할 수 있는 최소의 인덕턴스의 변화폭으로 정의된다. 차량이 없는 경우 루프 검지부는 일정한 인덕턴스(L_{NV}) 값을 가지고 있으나, 차량이 통과하는 경우 차량과 루프 검지부와 상호작용하여서 인덕턴스(L_V) 변화가 일어난다. 이 경우 검지부의 인덕턴스의 변화(ΔL_L)를 구할 수 있다.

$$\Delta L_L = L_{NV} - L_V$$

차량이 없는 경우 도로위에 매설된 루프코일의 인덕턴스값과 차량이 통과시 인덕턴스 변화의 비율을 루프감도(Loop Sensitivity, S_L)라고 정의를 하면 S_L 은 다음과 같다.

$$S_L(\%) = \frac{\Delta L_L}{L_{NV}} \times 100 = \frac{L_{NV} - L_V}{L_{NV}} \times 100$$

2) 루프 형태와 케이블의 영향

(1) 루프 형태

도로위에 매설되는 루프의 형태는 검지목적에 따라서 다양한 형태로 설치할 수 있다. 직사각형이나 정사각형, 혹은 원형 그리고 여러가지의 특수한 형태도 가능하다. 그러나 기본적으로 차량을 검지할 수 있는 형태라 할 지라도 수집되는 정보 종류와 신뢰성 및 효율성등 여러가지 타당성에 근거하여 최적의 형태를 결정하는 것이 바람직하다고 본다. NEMA에서는 검지기의 정상적인 동작을 위하여 검지부의 인덕턴스값을 최소 50 (마이크로 헨리) 이상 유지하도록 규정하고 있다. 이 인덕턴스값은 루프 패턴과 회전수에 따라서 다른 값을 가질것이다.

(2) 케이블의 영향

검지기 감도는 루프코일과 루프 케이블의 임피던스의 함수이다. 루프코일의 인덕턴스가 일정한 경우 나타나는 검지기 입력단 감도(SD)는 루프 케이블의 길이에 따라서 가감한다.

예를들면 1.8 X 1.8 정사각형 루프(3회전)의 인덕턴스는 71.6 μ H 이라고 하자. 차량이 통과하는 경우 ΔL_L 을 6.45 μ H라고 하고 케이블을 연결하지 않은 경우 감도는 9.008 % 이다. 루프케이블은 길이 100ft당 인덕턴스값이 23 μ H이며 100ft의 케이블을 연결하였을 때 감도는 6.8182 %로 감소를 한다. 케이블이 300ft(약 100m)로 연장되었을 때의 감도는 4.5874 %로 감소를 한다. 위 예에서 보았듯이 입력단 감도는 케이블 길이의 함수이다. 루프에서 차량이 검지되는 최소 인덕턴스를 구하고 이에따른 최소 감도를 구한후 케이블 길이에 따라서 입력단 감도가 감소할 때 이 최소감도값 이상을 유지하면 차량은 검지된다. 외국의 경우에는 케이블의 한계길이를 300ft이내로 규정을 하고있다. 이는 케이블이 길어질수록 발생할 수 있는 검지신호의 감쇠와 외부 환경적인 변동등에 의한 검지기 오동작을 방지하고 신뢰성있는 검지기 동작을 할 수 있도록 한다.

3. 검지정보의 종류 및 적용성

1) 루프검지정보의 종류

루프검지기의 수집정보는 교통량, 점유시간, 속도, 점유율, 대기행렬길이등이며 장점으로는 검지 영역의 크기와 형태에 따른 설치가 용이하며, 현장검지의 신뢰도가 우수하며 설치비가 타 검지기에 비하여 저렴하다. 그러나 설치시 교통흐름의 통제가 필요하며, 도로파손에 따른 유지관리가 어려우며 또한 정확한 매설위치파악을 체계화 하는 별도의 시스템이 필요하다는 단점이 있다.

2) 적용성 검토

차량검지기에 많이 사용되는 검지 센서로는 루프센서, 초음파 센서, 도플러 센서(Micro-wave)와 이미지 센서등이 있다. 현재 서울에 설치되어 있는 전자신호 시스템에는 교통현장에서 교통변수(교통량, 점유율등)를 수집하기 위하여

루프 검지기가 사용되고 있다. 이 루프 검지기는 도로상에 설치되어 있는 루프코일의 인덕턴스변화로 차량의 유, 무를 판별하는 검지기로 현재 우리나라 뿐 아니라 미국, 호주, 영국등에서 가장 널리 사용되는 검지기이다. 그러나, 루프 검지기를 사용하는 경우 빈번한 도로공사, 혹은 지진등 자연 재해로 인하여 생기는 루프의 단선등 시스템 유지보수면에 상당한 어려움이 많아 지진과 같은 자연 재해가 빈번한 일본에서는 자연 재해의 영향이 적은 초음파 센서를 이용한 차량 검지기를 사용하고 있다. 그러나 기존의 루프검지거나 초음파 검지기는 차량의 존재유무만 검지할 수 있기 때문에 차량의 속도가 필요한 경우, 혹은 대기행렬을 파악하고자 할 경우나 차종의 구분이 필요한 경우등 추가의 정보가 함께 필요한 경우에는 일본, 미국등지에서는 도플러 센서를 이용한 초단파 검지기 혹은 이미지센서(CCTV등)를 이용한 화상처리식 검지기가 연구 개발되고 있다.

<표 1> 검지기 종류별 성능 비교표

구 분	신뢰도	안정도	설 치 난이도	수명	소비 전력	차선 구분	존재 검지	가 능 정 보	문 제 점
루프식 (Inductive Loop)	매 우 양 호	양 호	조 금 곤 란	길다	낮다	가능	가능	교 통 량 점 유 율 속 도 대기행렬 점유시간	1. 루프의 수명이 노면의 강도에 좌우된다. 2. 보수유지관리가 어렵다.
초음파식 (Ultra Sonic)	양 호	양 호	용 이	길다	중간	가능	가능	교 통 량 점 유 율 속 도 대기길이 점유시간	1. 강풍의 영향에 민감하다. 2. 상대적인 구매설치비가 과다.
초단파식 (Micro Wave)	양 호	양 호	용 이	길다	중간	가능	불 가능	교 통 량 속 도	1. 구매설치비가 과다. 2. 운영시 FCC 면허가 필요함.

이중에서 특히 루프 검지기는 도로위에 매설된 루프코일로 형성된 검지영역을 차량이 통과하거나, 정지해 있는 경우 차량으로 인한 루프의 인덕턴스의 감소율로서 차량의 통과 내지는 존재의 결과를 검지하여 교통신호제어에 필요한 교통변수를 얻을 수 있는 차량검지기의 하나이다. 이미 잘 알려진 바와 같이 루프검지기는 우수한 신뢰성과 검지목적에 적합하도록 다양한 설치가 가능하다는 이유등으로 세계적으로 이미 가장 널리 이용되고 있는 차량 검지기이다. 그러나 각종 공사 및 지진으로 인하여 파손되거나 보수유지상의 어려움이 있기때문에 이에 대한 철저한 관리가 이루어지지 않는다면 시스템의 가동율에 많은 지장을 초래하게 될 것이다.

여러가지 종류의 검지기들에 대한 성능을 비교하면 <표 1>과 같다.

<표 1>에서 제시되었듯이 검지기 종류별 특성이 모두 다르다. 본 연구에서 이용된 루프검지기는 Scan Timing이 20ms이므로 점유시간 자료의 신뢰도가 타 검지기에 비하여 우수하고 한개의 검지기로 가장 다양한 정보를 얻을수 있는 반면, 한개의 검지기로 속도를 측정 할 경우 초단파 검지기가 가장 신뢰성이 우수하다. 이와같이 각각의 검지기마다 장단점이 있으므로 향후 적정 검지기의 결정은 제어목적에 필요한 교통정보를 가장 적절히 제공해줄뿐만 아니라 경제성, 시공성, 미관, 보수유지 등의 종합적인 상황을 고려하여 검토되는 것이 바람직하다.

Ⅲ. 루프검지기의 실험개요 및 환경

1. 실험 개요

실시간 교통신호제어용 검지기형태를 개발하기 위하여 본 연구에서는 교통이 차단된 아스팔트 도로상에 1.8M~5.0M범위 사각형 검지기를 8개

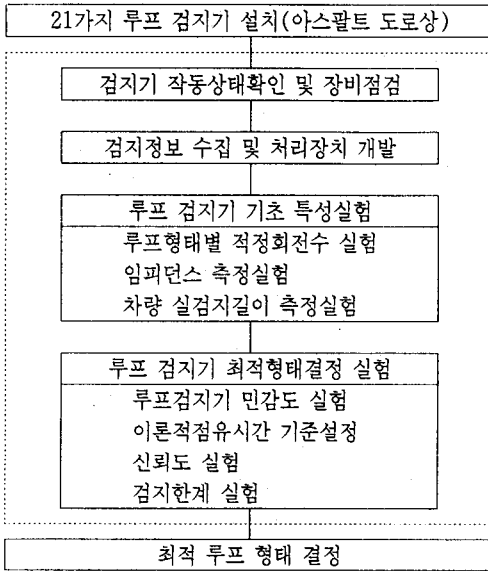
를 설치하여 루프코일의 권선방식을 달리하면서 21개 형태의 검지기에 대하여 실험랩을 구축하여 측정자료를 PC상으로 자료를 수집하여 루프검지기의 기초 특성실험과 루프검지기의 최적형태결정 실험을 실시하였다.

첫째, 루프검지기의 기초 특성실험에서는 루프 형태별 적정회전수 실험, 루프 회전수/형태/주파수별 임피던스 측정실험, 루프 형태별 차량 실검지길이 측정 실험을 실시하며, 둘째, 루프 검지기 최적형태결정 실험에서는 루프 검지기 민감도 실험, 루프검지기 차량의 이론적 점유시간 기준 설정, 루프 검지정보의 신뢰도 분석, 루프 도입선과 케이블의 검지한계 실험을 실시하며, 이를 통하여 최적 루프형태를 결정한다. 루프검지기의 기초 특성실험에서는 루프 검지기 최적형태결정을 위한 기초실험으로서 루프코일 회전수를 1-4회까지 달리하면서 루프의 선까지 정확히 검지하는 것을 적정회전수로 기준을 정하여 루프 형태별 적정회전수를 결정하며, 루프 회전수/형태/주파수별 임피던스 측정실험을 통하여 NEMA에서 제시하고 있는 기준값과 비교하여 적정검지상태를 진단하게 되며, 루프 형태별 차량 실검지길이 측정 실험을 실시하여 정확한 속도를 산출하는 기준값으로 사용되며 또한 이론적 점유시간기준을 수립하는 기초자료로 사용되어 신뢰도실험의 비교기준자료로서 사용된다.

둘째, 루프 검지기 최적형태결정 실험에서는 루프검지기의 기초 특성실험을 토대로 차량 진·출입시 루프내의 주파수 변화량을 측정하여 루프 검지기 민감도를 분석하며, 차량의 이론적 점유시간 기준 설정을 토대로 일정한 속도로 운행하는 차량의 점유시간을 차량통과 방식별로 측정하여 루프 검지정보의 신뢰도를 분석한다. 또한 루프코일과 케이블의 길이를 100M씩 연장시키면서 루프내를 차량 통과 방식별로 점유시간의 신뢰도를 측정하여 루프 도입선과 케이블의 검지한계를 규명하고자 한다.

2. 실험 절차

본 실험을 위한 절차는 아래 <그림 3>과 같다.



<그림 3> 최적 루프형태결정 수행도

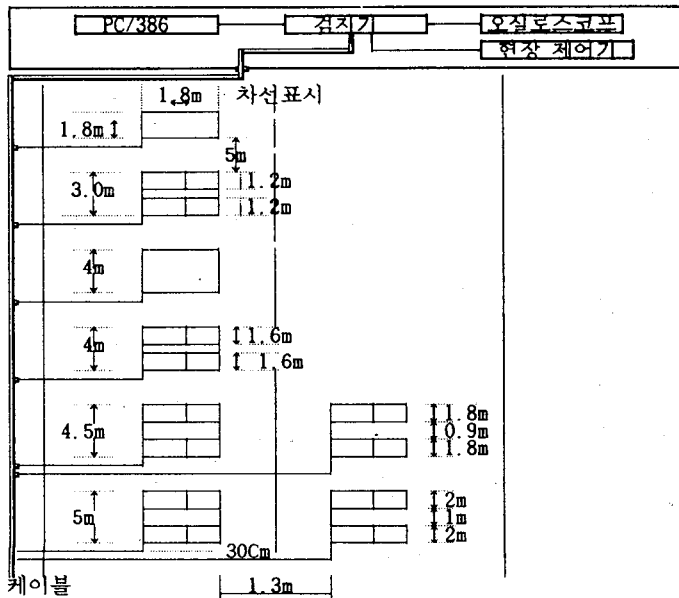
3. 실험 환경

1) 랩 구축

본 실험은 8가지 크기의 루프를 여러가지 형태 별로 설치하여 권선방식을 달리하여 21가지 형태의 루프에 대하여 110m 길이의 케이블로 연결된 실험실의 루프검지기와 연결하여 오실로스코프로 검지파형 측정실험을 행하였다. 또한 현장제어기에서 신호현시정보를 따오는 방법등 여러가지 현장제어기에 대한 기능들을 분석하였으며 현장에서 올라오는 자료들을 1차처리하여 지역제어기 수준인 PC/386상에서 실시간으로 확인하면서 수정 및 보완을 하였다. 루프 형태결정을 위한 설치도는 다음 <그림 4>과 같다.

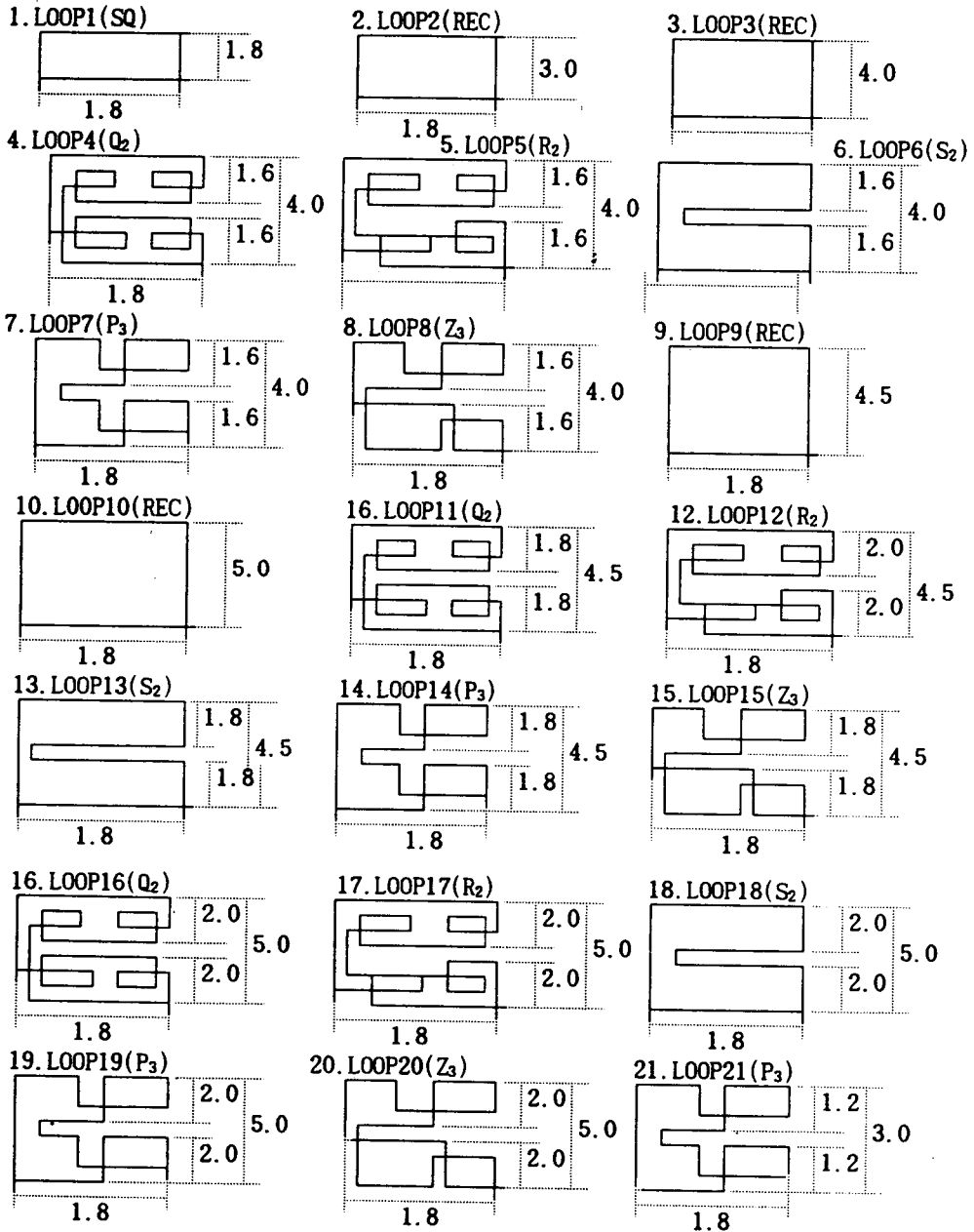
2) 루프 형태

루프의 형태를 결정하기 위하여 루프크기의 범위는 1.8M~5.0M이내의 범위로 한정하였으며, 이것은 1.8M는 기존 검지기의 폭이고 5.0M이상 이 되면 2대의 차량이 동시에 검지될 확률이 높



<그림 4> 루프 검지기 현장 설치도

아지므로 5.0M 이상의 크기의 루프는 본 연구에 같이 21가지 루프형태를 고려대상으로 하였다. 서 고려하지 않았다. <그림 5>에서 보는바와



<그림 5> 실험에 고려된 루프의 형태

3) 검지 정보 및 자동수집 및 처리

실시간 교통 신호 제어전략구현에 적합한 기본 검지 자료를 수집하고, 분석하기 위해 현장의 교통검지 자료를 자동으로 수집하고, 분석하여 그 정보를 원거리 통신망으로 지역제어기 및 중앙제어기로 전송할 수 있는 자동 검지정보 수집 및 처리장치(Auto Traffic Data Collection and Processing System)을 마이크로 프로세서 시스템을 이용하여 개발한 후 Pilot Study를 실시하여 실험법을 구축했다.

(1) 기본자료 수집 항목

자동 검지정보 수집 및 처리장치에 입력되는 자료는 차량검지기 출력신호 정보(차량 점유시간

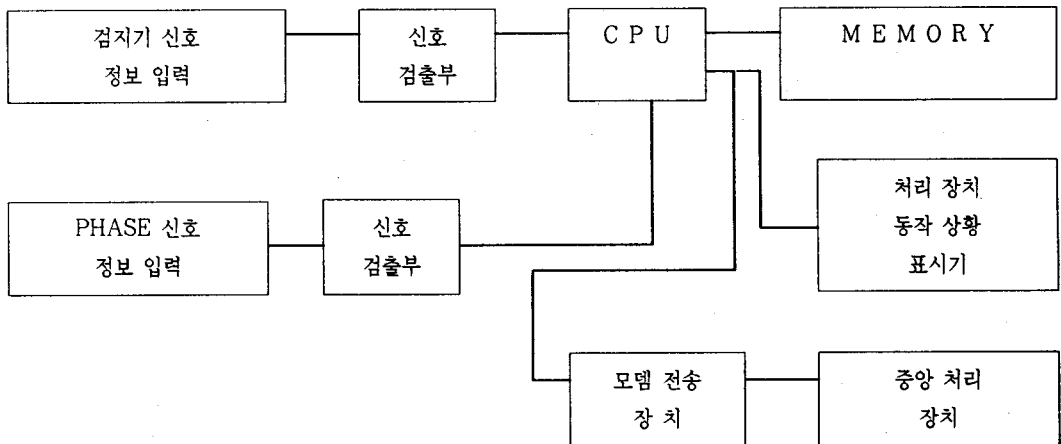
및 비점유시간)와 교통제어기 출력신호 정보(신호등 신호정보)이며, 이들 자료를 처리하여 각 검지기별, 시간별 교통량 및 차량 점유/비점유시간과 교통신호등 신호별 교통량 및 점유시간을 계산하여 중앙제어기로 전송한다.

(2) 검지처리장치 개발환경

본 시스템의 주된 개발 환경 HOST SYSTEM은 IBM PC/AT를 이용하고, PC상에서 작성된 프로그램을 검지 처리장치로 이식하여 목적시스템을 개발한다.

(3) 검지처리장치 시스템의 구성

검지처리장치 시스템의 구성은 <그림 6>와 같다.



<그림 6> 검지처리장치 시스템의 구성

IV. 루프검지기의 기초 특성실험

1. 실험 방법

1) 루프형태별 적정회전수 실험

실시간 교통신호제어에 이용되는 검지기의 결

정을 위하여 여러가지 루프 검지기의 형태(21종류)에 대한 회전수별 검지실험을 실시하여 루프 검지기의 적정 회전수를 결정하였다. 실험은 차량 통행이 제한된 교내 아스팔트 도로상에서 실시되었으며, 주파수 200Khz에서 각각 차량이 루프 검지기의 중앙을 통과하는 경우, 1/2을 통과하는 경우, 1/4을 통과하는 경우, 선만 밟고 통과하는

경우, 선으로부터 15Cm 떨어져 통과하는 경우, 선으로부터 30Cm 떨어져 통과하는 경우로 나누어 루프코일의 회전수별(1회전에서 4회전까지)로 행하여 졌으며 루프 검지기의 선까지 검지되는 회전수를 적정 회전수로 정한다.

2) 임피던스(L, R, Q) 측정실험

리드인 케이블의 길이 110M, 주파수대 10, 20, 40, 100, 200KHZ에서 LCR METER로 21가지형태의 루프를 각각 회전수별로 임피던스(L, R, Q)값을 측정한다. 유도형 루프는 아스팔트에 매설되어 20-200Khz의 교류를 공급을 받아 도선 주변에 전자기장을 형성하게 된다. 이때 차량이 루프속으로 진입하면 전자기장의 영향으로 차체에 와전류가 유도되어 새로운 전자기장 때문에 루프의 전자기장의 세기를 감소시킨다. 따라서 루프의 자기 인덕턴스가 감소되어 코일의 교류 주파수가 감소되므로 차량의 존재유무를 검지하게 된다. 인덕턴스는 차량의 검지 민감도와 직류 저항에 대한 유도형 저항치의 비인 루프 질 계수(Quality Factor:Q)에 중요한 영향을 미치는 변수이므로 루프형태별 회전수별 임피던스(L, R, Q)값은 중요하다. NEMA에서는 도입선 100ft당 인덕턴스가 22 h씩 증가된다고 제시되어있다. 또한 인덕턴스값은 루프공진주파수의 제곱근에 반비례하고, 루프회전수의 제곱과 단면적의 넓이에 비례하므로 여러가지 루프형태와 연결방식(직렬 또는 병렬등)에 따라 검지특성이 달라진다.

3) 실검지길이 측정실험

기존 시스템에서 이용되고 있는 루프 검지기 뿐만아니라, 여러가지 루프 형태에 따른 차량의 실검지길이와 차량전장을 모두 검지하는 것이 아니라 다양한 것으로 나타났다. 이러한 결과는 차량의 속도 산출시 중요한 변수일뿐만 아니라 적정 점유시간 기준 설정등에도 중요한 변수로

작용한다. 따라서 본 연구에서는 루프 형태별 실검지길이를 루프형태별로 5회씩 반복하여 측정하였으며, 21가지 루프형태에 대하여 최적루프코일 회전수에서 차량을 루프 중앙으로 서서히 진입시키면서 실검지길이를 각각 5회씩 반복하여 측정한다.

2. 실험 결과

1) 루프 형태별 적정 회전수 실험

<표 2>에서 보는바와 같이 루프의 최적 회전수는 NEMA(National Electrical Manufacturer's Association)의 실험결과와 동일한 것으로 나타났다. 그외에 비교가 되지않은 루프형태(괄호가 없는 루프)는 NEMA에서 고려되지 않은 루프검지기들이다.

위 실험에서 제시된 결과를 토대로 최적 회전수의 결정은 루프의 어느 부분 까지를 검지하는 것을 목적으로 하느냐에 따라 달라질 것이며, 또한 최적회전수를 고정하고 기계적인 특성을 이용하여 기준값을 조정함으로써 루프의 검지 면적을 조절할 수 있다. 그러나 전자의 방식은 루프의 민감도가 감소하여 루프검지기의 검지한계를 감소시킬 우려가 크므로 바람직한 방법이 못된다. 후자의 경우에 있어서 최적 회전수를 유지한 상태에서 루프의 통과 면적별 기준값을 설정하여 소프트웨어적으로 보정함으로써 검지목적도 달성할 뿐만 아니라 민감도가 우수하여 검지한계의 감소를 초래하지 않고 실험결과와 동일한 거리(약 700m이상)에서 검지를 할것이다. 이외에도 감도조절기능인 LOW, MEDIUM, HIGH를 이용하는 방식도있으나 다양한 상황을 모두 고려할수없기 때문에 좀더 구체적이고 세밀한 기준이 요구된다. 예를들면 위의 3가지 기준(LOW, MEDIUM, HIGH)을 3가지 이상으로 나누어 정확한 기준값으로서 설정하는 것이다.

<표 2> 적정 회전수 실험결과표

구 분 루프 번호	루프 크기 (m)	권선 방식 (코일감는 방식)	최적 회전수 (회)	비 고
1	1.8 × 1.8	SQ	3 (3)	
2	1.8 × 3.0	REC	2 (2)	
3	1.8 × 4.0	REC	2 (2)	
4	1.8 × 4.0	Q ₂	2	
5	1.8 × 4.0	R ₂	2	
6	1.8 × 4.0	S ₂	2	
7	1.8 × 4.0	P ₃	3	
8	1.8 × 4.0	Z ₃	3	
9	1.8 × 4.5	REC	2 (2)	
10	1.8 × 5.0	REC	2 (2)	
11	1.8 × 4.5	Q ₂	2	
12	1.8 × 4.5	R ₂	2	
13	1.8 × 4.5	S ₂	2	
14	1.8 × 4.5	P ₂	3	
15	1.8 × 4.5	Z ₂	3	
16	1.8 × 5.0	Q ₂	2	
17	1.8 × 5.0	R ₂	2	
18	1.8 × 5.0	S ₂	2	
19	1.8 × 5.0	P ₃	3	
20	1.8 × 5.0	Z ₃	3	
21	1.8 × 3.0	P ₃	3	

* 참조 : 1.루프에 대한 정의가 <그림 5>에 제시되어 있음.

2. 최적회전수란의 괄호 안 숫자는 NEMA표준에 제시되어있는 최적 회전수임.

2) 루프회전수/형태/주파수별 임피던스(L, R, Q)측정 실험

리드인 케이블 길이 110m, 주파수대 10, 20, 40, 100, 200Khz에서 LCR METER로 20종류의 루프형태별 회전수별 임피던스(L, R, Q)값을 각각 측정하였다. 이 중에서 NEMA의 기준값과

비교할 수 있는 3가지 루프형태에 대해서 측정된 값과 NEMA 표준에서 제시한 값을 비교한것이 다음 <표 3>와 같다. 즉 측정 인덕턴스는 NEMA 표준에서 제시한 값과 거의 동일한 것으로 나타났다.

<표 3> 인덕턴스값의 비교(VS NEMA)

루프 크기	최적 회전수	루프 형태	NEMA 인덕턴스	측정 인덕턴스
1.8 × 1.8m	3 회	정사각형	74 μ h	72 μ h
1.8 × 3.0m	2 회	직사각형	51 μ h	51 μ h
1.8 × 4.5m	2 회	직사각형	69 μ h	68 μ h

* 상기자료는 루프의 앞단에서 직접 측정한 자료임.

3) 루프형태별 실 검지길이 측정 실험

21가지 루프형태에 따른 실검지길이 측정결과는 다음과 같다.(<표 4>참조)

첫째, 직사각형 루프검지기(2, 3, 9, 10 번)는 차량의 실검지면적이 다른 형태의 루프에 비하여 대체로 3-4배 정도 적다. 이것은 앞절의 민감도 측정결과에서 제시되었듯이 직사각형 루프검지기가 다른 루프검지기에 비하여 민감도가 훨씬 떨어지기 때문이라고 판단된다.

둘째, 정사각형 루프검지기(1 번)는 차량의 실검지면적이 직사각형보다는 약 2 배 가량 크고, 호주방식 루프검지기(7, 8, 14, 15, 19, 20, 21 번)에 비하여 약 40-90cm정도 적다. 이것은 최적회전수가 직사각형에 비하여 1회가 더 많으

로 민감도가 더 높기 때문이라고 판단된다.

셋째, 4, 5, 11, 12, 16, 17번 루프검지기는 차량의 실검지면적이 160-200cm로서 1번 루프와 거의 비슷하다.

넷째, 1.8×4.5M 루프검지기는 차량의 실검지면적이 200-250cm로서 상대적으로 가장 많은 부분을 검지하고있다. 이것은 앞에서도 제시되었듯이 다른 형태의 루프검지기에 비하여 민감도가 가장 우수하기때문이라고 판단된다.

다섯째, 루프의 크기가 크질수록 차량의 실검지면적이 감소하는 경향을 나타내고 있다. 루프의 크기가 크질수록 검지 민감도는 감소되므로 적정회전수를 유지하면서 검지목적에 따라 적절한 민감도를 갖는 루프의 크기를 결정하는것이 중요하다.

<표 4> 루프 형태별 실검지길이 측정 결과표(평균값)

루프 번호	구 분	루프 크기 (m)	권 선 방식 (코일감는 방식)	차량의 실검지 길이 (cm)	비 고
1		1.8 × 1.8	SQ	160	
2		1.8 × 3.0	REC	70	
3		1.8 × 4.0	REC	50	
4		1.8 × 4.0	Q ₂	200	
5		1.8 × 4.0	R ₂	200	
6		1.8 × 4.0	S ₂	145	
7		1.8 × 4.0	P ₃	230	
8		1.8 × 4.0	Z ₃	220	
9		1.8 × 4.5	REC	50	
10		1.8 × 5.0	REC	45	
11		1.8 × 4.5	Q ₂	180	
12		1.8 × 4.5	R ₂	180	
13		1.8 × 4.5	S ₂	110	
14		1.8 × 4.5	P ₂	210	
15		1.8 × 4.5	Z ₂	210	
16		1.8 × 5.0	Q ₂	160	
17		1.8 × 5.0	R ₂	160	
18		1.8 × 5.0	S ₂	110	
19		1.8 × 5.0	P ₃	210	
20		1.8 × 5.0	Z ₃	200	
21		1.8 × 3.0	P ₃	250	

※ 참조 : 1.상기 실험에 이용된 승용차는 프라이드(전장:3.565m)이다.

2.이상의 자료는 5회에 대한 평균임.

V. 루프검지기 최적형태 결정실험

1. 실험 방법

1)민감도 실험

검지기 형태 실험을 위한 첫번째 실험으로서 루프의 패턴별 주파수별 통과면적별로 인덕턴스의 변화(ΔL)를 측정하여 루프의 민감도를 분석하였다. 루프 시스템 민감도란 검지기가 감응되는 검지기 턴미널에서의 최소 인덕턴스의 변화이다. NEMA표준은 $6 \times 6\text{Ft}$ ($1.8 \times 1.8\text{m}$) 루프 검지기 (회전수:3회, 리드인 케이블:100Ft)의 중앙으로 차량이 진입한 경우 다음의 3가지 종류로 나누어 민감도 값을 제시하고 있다. 첫째, 소형 모터사이클의 경우: $\Delta L/L=0.13\%$, $\Delta L=0.12\mu\text{h}$ 이며, 둘째, 대형 모터 사이클의 경우: $\Delta L/L=0.32\%$, $\Delta L=0.3\mu\text{h}$ 이고, 셋째, 승용차의 경우: $\Delta L/L=3.2\%$, $\Delta L=3.0\mu\text{h}$ 로 제시되어 있다. NEMA에서 제시하고 있는 검지기 장치는 0.02%의 인덕턴스의 변화에도 반응하여야 한다. 본 연구에서는 루프검지기 형태별(21종류), 주파수별(10, 20, 40, 100, 200Khz)로 민감도를 시험 승용차(프라이드:3.565m) 1대로서 통과면적별로 인덕턴스의 변화량(ΔL)을 실험하였다.

2)신뢰도 실험

루프 형태/권선 방식/차량의 루프 운행 방식별로 점유시간과 운행속도(루프간 거리/루프간 통과시간)를 측정후, 운행속도 20Km/h로 점유시간을 환산하여 이론적 점유시간을 기준으로하여 검지정보의 신뢰도를 분석한다. 이때 속도측정은 <그림 5> 에서 처럼 루프검지기 2개를 5m 간격으로 설치하여 측정하였다. 이를 위한 절차는 다음과 같다.

- 1.단계1: 실측 점유시간 측정
- 2.단계2: 실측 운행속도 측정

이때 운행속도는 루프간거리(m)/루프통과시간(sec.)

- 3.단계3: 루프별 실 차량 점유길이 측정
- 4.단계4: 실측 운행속도에 대한 이론적 점유시간 계산(초)

$$\{(\text{루프길이} + \text{실 차량 점유길이}) \times 3600 / \text{실측속도} \times 1000\}$$

- 5.단계5: 운행속도 20km/h에 대한 이론적 점유시간 계산(초)

이때, 운행속도 20km/h에 대한 이론적 점유시간 = (루프길이 + 실 차량 점유길이) / 속도 20km/h

- 6.단계6: 운행속도 20km/h로 점유시간 환산

운행속도 20km/h에 대한 이론적 점유시간: 실측 운행속도에 대한 이론적 점유시간 = 운행속도 20km/h의 환산 점유시간: 실측 점유시간의 관계가 성립한다.

따라서, 운행속도 20km/h의 환산 점유시간 = (운행속도 20km/h에 대한 이론적 점유시간 \times 실측 점유시간) / 실측 운행속도에 대한 이론적 점유시간)

- 7.단계7: 운행속도 20km/h에 대한 이론적 점유시간과 운행속도 20km/h로 환산한 점유시간의 차이를 백분율로 계산(이를 검지율이라고 하자)

이때, 검지율 = (운행속도 20km/h로 환산한 점유시간 - 운행속도 20km/h에 대한 이론적 점유시간) \times 100%

- 8.단계8: 각 루프 패턴별, 통과 면적별 검지율 분석
- 9.단계9: 신뢰도가 가장 우수한 루프형태 결정

3)루프 케이블의 검지한계 실험

3가지 루프형태(1.8 \times 1.8M, 1.8 \times 3.0M, 1.8 \times 4.0M)에 대하여 아스팔트 도로상에 매설된 루프 검지기위를 일정한 속도로 차량을 운행하면서 루

프케이블의 길이를 각각 100M~1KM까지 100M간격씩 늘려가면서 루프통과면적별(중양, 1/2, 1/4, Line)로 실험을 실시한다. 실시간 신호 제어를 위해서는 시시각각으로 변화하는 교통상황을 즉시 파악하는것이 무엇보다도 중요하다. 이를 위하여 이러한 정보를 정확히 제공하여 줄수 있는 루프검지기를 필요로 한다. 그러나 루프검지기의 정보를 현장제어기로 시시각각으로 직접 전달하는데에는 한계가 있다. 이를 극복하기 위하여 선진 외국에서는 증폭기를 설치하거나 추가의 검지기를 설치하여 여러가지 통신방식으로 자료를 전송하고있다. 현재 국내의 경우에 있어서는 루프검지기의 자료를 직접 신호제어에 활용하고 있지 않고 있기 때문에 이러한 문제점을 야기할만한 위치에 루프를 설치하고 있지는 않고 있다. 그러나 향후 실시간 교통신호제어에 이용될 루프검지기는 교차로 정지선부근 뿐만아니라 정지선으로부터 훨씬 상류부에도 설치하여야 하기 때문에 우리나라 가로망 특성을 고려할때 상당히 장거리인 경우가 빈번하다. 본 연구의 현장실험을 위하여 서울시 강남역 교차로 상류부 루프에는 추가의 검지기장치(Vehicle Detector Unit:VDU)를 설치하여 상류부 루프에서 20ms 단위로 검지되는 정보를 모아서 1초단위로 Mutidrop 통신방식으로 현장제어기로 전송하도록 하였다. 이러한 장치를 설치함에 있어서 여러가지 어려움과 비용의 문제가 야기되었다. 따라서 추가의 검지기장치는 현장실험수준으로 만족하는 것이 바람직하다고 판단된다. 결론적으로 이에대한 현실적인 바람직한 대안을 제시하고자 루프 도입선의 한계길이를 현장실험을 통하여 결정하고자 한다. 대다수의 정지선은 이러한 한계길이내에 속해 있으므로 정지선 루프검지기는 실험을 생략하였으며 상류부 루프검지기로 선택된 3가지형태(1.8 × 1.8m, 1.8 × 3.0m, 1.8 × 4.0m)로 한정하여 실험을 행하였다. 실험은 <그림 5>과 같이 아스팔트 도로 위에 매설한 루프검지기상을 일정한 속도로 통과

(루프의 중앙, 1/2, 루프의 선으로 나누어 실험을 행함)시킴으로서 행하여졌으며, 측정 점유시간은 오실로 스코프로서 수행하였다.

2. 실험 결과

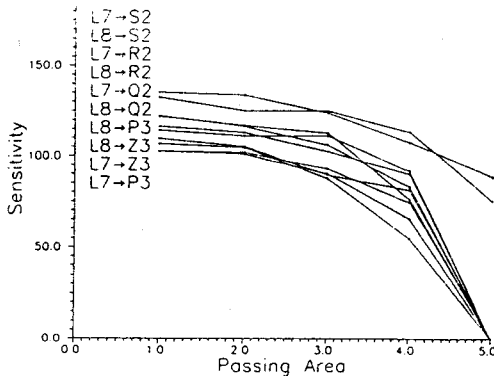
1) 민감도 실험

1.8 × 1.8m, 회전수 3회인 정사각형 루프 검지기의 ΔL 값은 차량이 중앙을 통과시 6.0-6.78 μ s, 1/2을 통과할시 4.1-4.77 μ s 범위로 측정되었다.또한 1.8 × 3.0m, 1.8 × 4.0m, 1.8 × 4.5m, 1.8 × 5.0m, 회전수는 각각 2회전인 직사각형 루프의 경우 ΔL 값은 중앙 통과시 2.98-3.91 μ s, 1/2통과시 1.92-2.6 μ s의 범위로 측정되었으며, 1.8 × 4.0m, 1.8 × 4.5m, 1.8 × 5.0m, 회전수 각각 3회전인 실시간 교통신호제어에 이용될 결정된 루프검지기의 경우 ΔL 값은 중앙 통과시 4.3-11.5 μ s, 1/2통과시 3.9-15.4 μ s의 범위로 측정되었다. 그래프에서 일반적으로 주파수가 증가(10, 20, 40, 100, 200Khz)함에 따라 루프 검지기의 민감도는 증가하고 있고, 루프를 통과하는 면적이 감소할수록 민감도는 감소하고 있음을 알수있으나 변동폭이 미미함을 알수있다. 그러나 결정된 루프검지기의 경우는 주파수가 10-40Khz까지는 다른 루프검지기와 증가 경향이 유사하나 100-200Khz 증가할시에 민감도는 급격히 증가하고 있음을 알수있다. 상기 자료에서 알수있듯이 실시간 교통신호제어 시스템에서 채택한 루프 검지기의 ΔL 값이 다른 루프 검지기에 비하여 월등히 높은것을 알수있다. 이것은 최적 검지 신뢰도를 유지하면서(루프 검지기의 선까지 검지) 루프의 민감도가 우수하므로 검지의 신뢰도가 높을뿐만아니라 다른 종류의 검지기에 비하여 도입선의 한계길이가 더 길다는것을 의미한다. 서울시의 도로특성과 운전자들의 정지선 부근의 운전행태(루프검지기의 1/2까지 통과차량:98% 이상)를 감안할때 최적 검지상태를 유지하면서

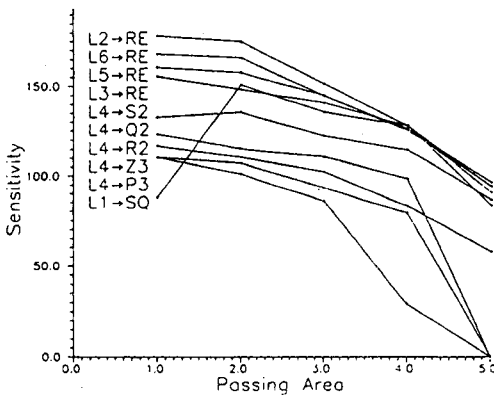
민감도값이 가장 높은 결정된 루프검지기(1.8 × 4.5M)가 선택되는것은 바람직하다.

2) 검지정보의 신뢰도 분석

실험결과 그래프는 <그림 7>, <그림 8>과 같다.



<그림 7>



<그림 8> 루프형태별 검지율 관계 그래프

위 그림에서 알수있듯이 루프 1.8 × 4.0m, 1.8 × 4.5m, 1.8 × 5.0m, 3회전인 결정된 루프(P3, Z3)의 검지율은 각각 중앙 통과시가 110.5%와 102.6%, 106.8%, 1/2을 통과시가 107.2%와 101%, 104.7%로서 약 3%이내의 차이를

보임으로서 차량이 루프의 1/2까지 통과시 점유 시간의 신뢰도는 98% 이상을 유지하는 반면, 기존시스템에서 이용되고 있는 루프 1.8 × 1.8m, 3회전인 루프의 검지율은 차량이 루프의 중앙을 통과할때가 87.9%, 1/2을 통과할때가 150.8%로서 오히려 1/2을 통과시가 중앙 통과시보다 60%정도 더높은 차이를 보임으로서 국내 운전자들의 정지선 루프의 이용행태(1/2까지 통과:98% 이상)를 고려해 볼때 점유시간의 신뢰성에 있어서 상당한 문제가 야기되는것으로 판정되었다. 물론 이값은 실험환경에 따라서 다소의 차이는 보이고 있으나 전반적인 경향은 다른 루프검지기과 특이하게 차량이 루프의 중앙을 통과할때 보다 루프의 1/2을 통과할때가 오히려 검지율이 높은것으로 나타났다. 그러나 루프 도입선과 케이블의 연장이 약 500-700m로 늘어남에 따라 루프의 중앙 통과시와 1/2 통과시의 차이가 없어 거의 유사한 경향을 나타내고 있다. 이것은 상류부 루프형태결정에 중요한 요인이 된다. 또한 호주방식의 루프 1.8 × 4.0m, 1.8 × 4.5m, 3회전인 경우, 중앙 통과시 검지율이 100-110%의 값으로 실측되었는데 이것은 실험 루프검지기가 점유 시간이 거의 이론치와 유사한값으로 설정되었음을 의미한다. 즉, 검지율이 100%인경우가 정확한 이론치이다. 따라서 본 검지율 실험결과로 미루어볼때 정지선 루프는 결정된 루프가 점유시간의 신뢰성이 가장 우수할뿐만아니라 적정 점유시간기준에도 거의 일치하는 결과를 보임으로서 향후 실시간 교통신호제어의 포화도 산정에 가장 적합하다고 판단된다.

3) 루프 도입선(Lead-in Wire)/케이블(Lead-in Cable)의 검지한계 실험

위와 같이 검지한계 실험을 실시하였는 바 루프 도입선(Lead-in Wire)의 검지한계에 대하여는 다음 <표 5>에 루프 크기:1.8 × 4.0m 루프의 실험결과예가 제시되어 있다.

<표 5> 루프도입선 검지 한계 실험:

측정 길이	통과방식	ΔL	실험속도	실험점유시간	20Km환산점유시간	검지율
670	Center	1.6000	21.8250	1.2500	1.3641	120.2877
	1/2	1.5600	22.3846	1.2800	1.4326	126.3329
	Line	1.6200	21.5556	1.1900	1.2826	113.1001
770	Center	1.7600	19.8409	1.3300	1.3194	116.3510
	1/2	1.6400	21.2927	1.2000	1.2776	112.6597
870	Center	1.6200	21.5556	1.1800	1.2718	112.1497
	1/2	1.5800	22.1013	1.1400	1.2598	111.0910
	Line	2.0800	16.7885	0.3400	0.2854	25.1679
		1.9000	18.3789	0.8800	0.8087	71.3116
970	Center	1.7600	19.8409	1.0700	1.0615	93.6057
	1/2	2.0200	17.2871	1.1400	0.9854	86.8930

※ 참조 : 본 실험은 차량 실험지 길이 ; 2.3 m, 루프간 실험지 거리(ΔL); 9.7 m,
이론적 속도 ; 20Km/h, 이론적 점유시간 ; 1.1340 초,

1) Lead-in wire 한계실험

① 1.8 × 4.5의 루프검지기는 도입선(Lead-in wire)을 670m로 연장하여 실험 차량 속도를 20Km/h를 유지하고 달릴 경우 점유시간은 루프의 중앙(Center)을 통행할 경우 1.3641초, 루프의 1/2을 통행할 경우 1.4326초, 루프의 선(Line)을 밟고 통행할 경우 1.2826초로 계산되었다. 계속적으로 도입선의 길이를 연장 시키면서 점유시간을 측정해 본 결과 870m 까지는 연장선이 670m일때와 점유시간이 비슷하며 970m 까지도 Center는 물론 1/2 까지의 검지능력이 떨어지지 않았다. 따라서 1.8 × 4.0의 루프검지기의 도입선(Lead-in wire)의 한계길이는 970m까지도 점유시간의 신뢰도가 우수하다고 판정되었다.

② 1.8 × 3.0의 루프 검지기도 970m 까지 검지가 가능하였고 루프의 중앙과 1/2 통과시에 점유시간의 신뢰도가 우수하다. 이 루프는 1.8 × 4.0m보다 970m 에서 신뢰도가 조금 우수하

다고 판정되었다. 따라서 1.8 × 3.0의 루프검지기의 도입선(Lead-in wire)의 한계길이는 970m까지도 점유시간의 신뢰도가 우수하다고 판정되었다.

③ 1.8 × 1.8의 루프 검지기의 경우는 도입선의 길이가 715m 이상에서는 전혀 검지가 되지 않으며 루프의 중앙 통과시가 1/2통과시 보다 검지율이 오히려 높은 경우로 나타나는 기이한 현상을 보여주고 있다. 그러나 루프의 1/2까지 통과시 도입선의 길이 715m까지에서는 점유시간의 신뢰도가 우수한 것으로 나타났다. 따라서 1.8 × 1.8의 루프검지기의 도입선(Lead-in wire)의 한계길이는 715m까지도 점유시간의 신뢰도가 우수하다고 판정되었다.

2) Lead-in cable 한계실험

① 1.8 × 4.5M 루프 검지기는 605m까지 검지가 가능하였고 루프의 1/2까지 통과시 도입선의 길이 605m까지 에서도 점유시간의 신뢰도가

우수한 것으로 나타났다. 따라서 1.8 × 4.0의 루프검지기의 케이블(Lead-in Cable)의 한계길이는 605m까지도 점유시간의 신뢰도가 우수하다고 판정되었다.

② 1.8 × 3.0은 790m 까지 검지가 가능하였고 루프의 1/2까지 통과시 도입선의 길이 790m까지에서도 점유시간의 신뢰도가 우수한 것으로 나타났다. 따라서 1.8 × 3.0m의 루프검지기의 케이블(Lead-in Cable)의 한계길이는 790m까지도 점유시간의 신뢰도가 우수하다고 판정되었다.

③ 1.8 × 1.8은 790m 까지 검지되었고 715m까지 검지된 도입선보다 다소 한계길이가 더 긴 것으로 판명되었다. 루프의 1/2까지 통과시 케이블의 길이 790m까지에서도 점유시간의 신뢰도가 우수한 것으로 나타났다. 따라서 1.8 × 1.8m의 루프검지기의 케이블(Lead-in Cable)의 한계길이는 790m까지도 점유시간의 신뢰도가 우수하다고 판정되었다.

④ 본 실험을 통하여 알수있는 것은 호주방식의 루프검지기의 민감도가 다른 루프에 비하여 2-3배 가량 우수(특히 루프의 1/2까지 통과시)하기 때문에 한계길이가 더 긴것으로 추측할수 있다.

⑤ 본 연구에서 도입선의 한계실험시 970m까지 밖에 고려를 못했으므로 추후에 그 이상의 경우에 대한 실험이 수행되는것이 바람직하다.

위에서 살펴본 결과로 보아 서울시 가로망 특성을 고려할때 한계길이가 약 800m 이상이 되도록 상류부 검지기에 대한 별도의 검지장치(VDU)없이 직접 맨홀을 통하여 현장제어기에 연결시켜도 검지의 신뢰도가 떨어지지 않는다는 결론을 내릴수 있다.그러나 다양한 현상상황과 그에 따른 환경적 요인들로 인하여 검지의 신뢰도가 떨어지는 경우도 발생될수 있으므로 본 연구에서의 한계가 모든상황의 한계가 아님을 밝혀두

고자 한다. 따라서 추후에 여러가지 환경적인 요인들을 고려한 한계실험이 요망된다.

3. 최적 루프 형태 결정

현재 세계 각국에서 이용되고있는 루프 검지기는 검지 목적에 따라서 여러가지 형태가 이용되고 있다. 국내에서는 이러한 여러가지 형태의 루프 검지기중에서 1.8 × 1.8m 루프 검지기가 오프라인(Off line) 패턴선택 방식하에서 교통정보 제공 및 데이터 베이스 개정(Update)등에 주로 이용되고 있는 실정이다. 그러나 이러한 방식은 시시각각으로 급격히 변화하는 교통상황하에서는 적절히 대응하기에는 부적합하므로 온라인 실시간 제어개념으로 신호시간이 운영되는것이 바람직하다. 이를 위하여 검지기는 실시간제어에 적합하도록 그 형태가 설계되어야 한다. 이러한 검지기의 형태를 결정하기 위해서는 신호시간 결정에 적용될 변수가 무엇보다도 중요하다. 따라서 실시간 교통신호제어에 적용될 신호시간 결정을 위한 변수는 포화도이고, 포화도 결정을 위한 자료는 차량의 점유(Occupancy)와 비점유(Non-occupancy)시간이므로 차량의 점유 및 비점유시간에 대한 정확한 자료가 요망된다. 따라서 실시간 교통신호제어 시스템의 신호시간 결정에 이용될 신뢰성 높은 점유와 비점유시간에 대한 자료를 실시간으로 제공해 줄수있는 검지기의 형태는 2가지 실험으로서 결정되며 상기의 실험결과를 요약하면 다음과 같은 이유로 실시간 신호제어에 이용될 정지선에서의 포화도 제어를 위한 루프형태는 아래에 제시되는 1.8×4.5M 루프가 적합하다고 판명되었다. 첫째, 결정된 루프검지기(1.8×4.5M)의 민감도(ΔL 또는 $\Delta L/L$)가 다른 루프에 비하여 약 2-3배 가량 높다. 둘째, 루프면적의 1/2까지 통과할때 호주방식의 루프가 점유 및 비점유시간이 중앙 통과시와 거의 유사하므로 신

뢰도가 가장 우수하다. 셋째, 이론적 점유시간에 가장 근사한 결정된 루프검지기는 1.8×4.5M 루프(<그림 5>의 14번 P3)이다. 넷째, 결정된 루프검지기(1.8×4.5M)가 도입선 및 케이블의 한계길이가 가장 길다. 따라서 실시간 교통신호제어의 적용에 가장 우수한 루프는 아래의 1.8×4.5M 루프가 가장 적합하다고 판단된다. 다음 <그림 9>는 결정된 방식의 루프형태(<그림5>의 14번 P₃)와 권선방식은 다음과 같다.



<그림 9> 루프형태와 권선방식

VI. 결론 및 향후 연구과제

실시간 교통신호제어용 검지기형태를 개발하기 위하여 본 연구에서는 교통이 차단된 아스팔트 도로상에 1.8M~5.0M범위 사각형 검지기를 8개를 설치하여 루프코일의 권선방식을 달리하면서 21개 형태의 검지기에 대하여 실험법을 구축하여 측정자료를 PC상으로 자료를 수집하여 루프검지기의 기초 특성실험과 루프검지기의 최적형태결정 실험을 실시하였다. 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 루프검지기의 기초 특성실험결과

1)루프 형태별 적정회전수 실험:코일 감는수 3회전

2)루프 회전수/형태/주파수별 임피던스 측정 실험:측정 인덕턴스는 NEMA 표준에서 제시한 값과 거의 동일한 것으로 나타났다.

3)차량 실검지길이 측정 실험:1.8×4.5M 루프 검지기는 차량의 실검지면적이 200-250cm(실험 차량전장:3.565M중)로서 상대적으로 가장 많은 부분을 검지하고있다. 다른 형태의 루프검지기에 비하여 민감도가 가장 우수한 것으로 나타났다.

2. 루프 검지기 최적형태결정 실험결과

1)루프 검지기 민감도 실험:1.8×4.5M 루프 검지기의 ΔL 값이 다른 루프 검지기에 비하여 월등히 높은것으로 나타났다. 이것은 최적 검지 신뢰도를 유지하면서(루프 검지기의 선까지 검지) 루프의 민감도가 우수하므로 검지의 신뢰도가 높을뿐만아니라 다른 종류의 검지기에 비하여 도입선의 한계길이가 더 길다는것을 의미한다.

2)루프 검지정보의 신뢰도 분석: 본 검지를 실험결과로 미루어볼때 정지선 루프는 1.8×4.5M 루프가 타 검지기에 비해 점유시간의 신뢰성이 가장 우수할뿐만아니라 적정 점유시간기준에도 거의 일치하는 결과를 보임으로서 향후 실시간 교통신호제어의 포화도 산정에 가장 적합하다고 판단된다.

3)루프 도입선과 케이블의 검지한계 실험: 도입선의 길이를 연장시키면서 점유시간을 측정해 본 결과 870m까지는 연장선이 670M일때와 점유시간이 비슷하며 970M까지도 중앙은 물론 1/2 까지의 검지능력이 타 검지기에 비하여 높았다. 1.8 × 4.5M의 루프검지기의 도입선(Lead-in wire)의 한계길이는 970m까지도 점유시간의 신뢰도가 우수하다고 판정되었다.

3. 최적 루프형태 결정

최적 루프형태는 신호교차로의 정지선(직진 및 좌회전용)에서 포화도 제어용으로서 최적 루프형태를 결정하기 위해서 점유와 비점유시간의 신뢰

도, 민감도, 검지한계등을 고려하였으며, 그 최종 결론은 다음과 같다.

첫째, 결정된 루프검지기(1.8×4.5M)의 민감도(ΔL , 또는 $\Delta L/L$)가 다른 루프에 비하여 약 2-3배 가량 높다.

둘째, 루프면적의 1/2까지 통과할때 결정된 루프가 점유 및 비점유시간이 중앙 통과시와 거의 유사하므로 포화도산정 측면에서 신뢰도가 가장 우수하다.

셋째, 이론적 점유시간에 가장 근사한 설정된 루프검지기는 결정된 루프(1.8×4.5M)이다.

넷째, 결정된 루프검지기(1.8×4.5M)가 도입선 및 케이블의 한계길이가 가장 길다.

이상의 결과를 종합해 볼때 실시간 교통신호제어의 적용에 가장 적합한 루프는 1.8×4.5M로서 코일적정 회전수 3회전으로 판명되었다.

4. 향후 연구과제

상기의 연구결과는 신호교차로의 정지선에서 포화도 제어를 위한 최적 루프검지기 형태로서 결정되었다. 아울러 향후 신호 교차로에서 과포화 제어를 위한 교통변수인 대기행렬 및 속도를 정확히 측정하여 줄 수 있는 검지기의 종류 및 형태에 관한 연구가 필요하며 교차로의 신호제어 전반을 위한 검지기 체계의 수립이 요망된다. 이와 같이 검지기의 종류 및 형태는 필요한 교통정보의 종류에 따라서 달라질 것이며, 교통정보별로 각종 교통정보를 가장 신뢰성 높게 측정해 줄 수 있는 검지기체계수립이 바람직 할 것이다.

참 고 문 헌

1. 서울특별시 지방경찰청, 서울특별시 교통신호 제어시스템개발 연구용역시행 1차년도 결과 보

고서, 1991. 10.
 2. 한 승춘, 화상검지기에 의한 신호교차로 교통 특성분석, 아주대학교 공학석사학위논문, 1992. 2.
 3. 斧林義嗣, 交差点先詰まりの 制御のための 交通流感知について, 日本大學大學院理 工学 研究科交通土木工學碩士學位論文, 平成 3年 度.
 4. Benjamin C. Kuo, "Automatic Control System", Illinois univ. 5th edit.
 5. C. Chatfield, "The Analysis of Time Series An Introduction", London New York Chapman and Hall, 1989.
 6. G. W. Morrison and D. H. Pike, "Kalman Filtering Applied To Statistical Forecasting", Management Science Vol. 23, No. 7, March, 1977.
 7. H. Joseph Newton, "TIMESLAB: A time Series Analysis Laboratory", Wadsworth & Brooks/Cole, 1988.
 8. I. Okutani and Y. Stephanedes, "Dynamic Prediction of Traffic Volume through Kalman Filtering Theory", Trans. res. 18B (1984).
 9. Iwao Okutani, "The Kalman Filtering Approach in Some Transportation and Traffic Problems", Trans. and traffic theory, 1987.
 10. Louis J. Pignataro, "Traffic Control in Oversaturated Street Networks", NCHRP Report, 194.
 11. Norma Faris Hubele and Shing I. Chang, "Adaptive Exponentially Weighted Moving Average Schemes Using a Kalman Filter", ITE Transactions, Vol. 22, No. 4, December, 1990.

12. Paul Ross, "Exponential Filtering of Traffic Data", Trans. res. rec.869.
13. R. E. Kalman, "A New Approach to Linear Filtering and Prediction Problems", J. Basic Engng. 82(D), (1960).
14. R. E. Kalman and R. S. Buky, "New Results in Linear Filtering and Prediction Theory", J. Basic Engng. 83, 95~108, (1961).