

□ 論 文 □

實時間 交通信號制御를 爲한 루프 檢知器 體系 研究

(A Study on the Loop Detector System for Real-Time Traffic Adaptive Signal Control)

李 勝 煥

(아주대학교 교통공학과 교수)

李 鐵 基

(아주대학교 교통연구소 선임연구원)

目 次

- I. 서론
 - 1. 연구목적
 - 2. 연구내용
 - 3. 연구방법 및 수행절차
- II. 검지기 체계 국내외 개발 및 설치사례
 - 1. 국내
 - 2. 국외
- III. 검지기체계 실험환경
- IV. 루프검지기 적정형태결정
 - 1. 실험방법
 - 2. 실험결과
- V. 루프검지기의 적정위치 결정 실험
- VI. 결론
 - 〈부록〉

ABSTRACT

This study has determined optimal type, and location of loop detector to measure accurately traffic condition influenced by traffic variation with real time. Optimal type of loop detector for through vehicle at stop bar was determined by confidences of occupancy period, and nonoccupancy period, and so appropriate detector type for application to real time traffic control system has been decided on special loop detector. <figure 4.2> shows types and winding methods of existing detector(num1) and special detector(num 7, 8) determined. It is desired that optimal location of through loop detector should be installed within 50cm of stop bar owing to vehicle behavior. And optimal location of loop detector for left turn vehicle is determined by left turn vehicle behavior on stop bar. In the case of install only one loop, it is desirable that within 20cm of stop bar. Both the special loop(1.8×4.0m : num 1, 7) and existing loop(1.8×1.8m : num1) would be appropriate in the detect standard aspects, while regarding as economic, , existing loop(1.8×1.8m : num1) would be suitable. A location of the queue detector and the spillback prevention detector are determined considering the link length, the pedestrian crossing is be or not and the estimation range of queue. And If the link length is shorter than 250m, locations of queue detector and spillback protect detector must be considered in the respect of queue management.

I. 서 론

1. 연구목적

실시간 교통대응신호제어 시스템(Real-time Traffic Adaptive Signal Control System)은 국내의 교통 및 운전자 특성을 토대로 하고, 교통량에 따라 신호시간이 매 주기마다 자동으로 조절되며, 특히, 도로 여건 및 차량증가 추세로 볼 때, 향후 과포화 교차로 수가 점차 증가할 것에 대비하여 과포화상태에서도 우수한 제어 능력을 가지며, 아울러 양질의 교통정보를 제공할 수 있는 시스템이어야 한다. 이와 같은 새로운 교통신호제어 시스템을 개발함에 있어 필수적으로 갖추어야 할 요소 중의 하나가 신호교차로에서의 교통변화에 따른 교통상태를 실시간으로 정확히 판별해 낼 수 있는 능력인데, 교통상태가 정확히 판별되면 교차로 혼잡해소 및 소통을 촉진시킬수 있는 최선의 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, 본 연구에서는 서울시에 적용하게 될 신 신호제어 시스템의 신호제어이론에 적합한 검지기체계의 개발을 연구목적으로 하였다.

2. 연구내용 및 방법

서울시 첨단 교통신호제어시스템에서 사용하게 될 검지기체계를 개발함에 있어 수행해야 할 연구과제는 다음과 같다.

- . 검지기 특성 분석
- . 검지기 종류/형태/크기 결정

- . 검지기 위치 및 설치 방식 결정
- . 적정 검지기 체계 결정

루프 검지기 특성 분석 내용은 크게 두 가지로 나누어 지는데, 하나가 검지 신호 검출부에 관한 것과 다른 하나는 검지 신호 검출부와 선으로 연결되어 실제 도로상에서 차량 존재 유무 등을 검지하는 루프코일에 관한 형태, 코일 회전수, 점유시간의 적정성, 루프 도입선 및 케이블의 검지 한계, 차량검지의 민감도, 차량의 실 검지 길이등에 관한 것이다.

이러한 특성 분석을 통하여 신 교통신호제어 시스템에서 사용하게 될 최적 루프 형태와 루프의 적정위치를 결정하게 된다. 검지기 체계 연구에 있어 핵을 이루는 것이 검지기 특성분석, 루프형태, 루프크기 및 위치 결정을 위한 실험이다. 본 연구에 필요한 실험은 다음의 2단계로 나누어 실시하기로 한다.

첫째, 1단계실험에서는 교통이 차단된 아스팔트상에 21가지 루프형태를 매설하여 검지기 특성 실험을 통하여 검지기 신호 검출부에 대한 검토작업이 이루어 진다. 그리고 차량검지를 위한 적정 루프 형태 결정을 위하여 다양한 형태의 루프와 루프코일 회전수, 코일 감는방법(권선방법) 등을 달리하여 주파수별 임피던스(L,R,Q)측정을 통하여 차량검지에 대한 민감도 분석, 루프별 검지정보의 신뢰도 분석, 차량의 적정 루프 점유시간 기준 설정, 차량의 실검지길이 측정실험등이 이루어 진다. 결국 이러한 과정을 거쳐 적정 루프 형태 및 적정 회전수, 권선방식 및 적정 루프검지기위치 등을 결정하게 된다.

둘째, 2단계 현장 실험에서는 서울시의 4개 교차로(강남역 교차로, 논현로 3개 교차로)를 선정하여 정지선 및 상류부에 필요한 루프를 매설하여 이들로 부터 수집되는 검지자료를 1차

처리한후 결과를 분석토록 한다. 교통상태의 정확한 판별을 위하여는 이들 자료의 수집과 동일시간에 해당 교차로에서 실제 교통상황을 video taping 하여 검지기 자료와 일치시켜 상호 비교함으로써 검지기 자료로 부터 실제 교통상태 판별이 가능해 지게 된다.

또한 2단계 실험을 통하여 정지선의 직진 및 좌회전 루프, 상류부의 대기행렬 파급도 측정용 루프의 위치 및 크기를 결정하게 된다.

이러한 일련의 1, 2단계 실험 결과를 종합하여 실시간 교통신호제어시스템에 사용하게 될 적정 검지체계를 결정한다.

II. 검지기체계 국내의 개발 및 설치사례

1. 국내

실시간 신 교통신호제어 시스템의 검지기 체계는 좌회전과 직진 정지선에 설치되는 1.8×4.0m의 포화도 검지기, 링크 중간에 설치되는 1.8×1.8m의 대기행렬길이 예측 검지기, 상류지점의 유입구에 설치되는 1.8×1.8m의 앞막힘 예방검지기로 구성된다²⁾. 포화도 검지기는 검지 차량수, 점유시간, 비점유시간을 측정하여 포화 교통류율과 차량속도를 예측한다. 대기행렬길이 예측검지기는 점유시간정보를 통하여 대기행렬길이를 예측하며, 앞막힘 예방검지기는 앞막힘 유무를 파악하여 감응제어를 위한 정보를 지역제어기에 제공한다. '93년도에 서울시 강남역 교차로에 35개 루프검지기를 설치하여 현장 실험을 실시하였으며, '94년도에는 서울시 논현로 3개 교차로에 26개 검지기를 설치하여 현장 실험을 마쳤고, '95년도 4월부터 논현로 4개 교차로에서 현장실험을 통한 수정·보완을 실시하였다.⁽³⁾

2. 국외

신호제어전략을 구축함에 있어서 가장 중요한 요소중의 하나가 검지기 종류 및 위치이다. 왜냐하면 검지기의 종류 및 위치에 따라 얻는 정보의 종류가 다를 것이며, 그에 따른 제어기법도 달라질 것이기 때문이다. 대다수의 나라(영국, 호주, 이태리, 미국, 프랑스 등)들이 검지의 신뢰성이 높고 비용이 저렴한 루프검지기를 사용하는 반면 일본은 지진 및 도로공사가 빈번하기 때문에 루프 대신 초음파검지기를 사용하고 있다. 각 나라별 검지방식에 대하여 살펴보면 다음과 같다.

SCOOT는 교차로의 정지선으로부터 상류부 100-200m 지점에 루프검지기가 설치되며 한 차선 또는 두 차선에 하나씩 설치하며 차량진행방향으로 2m 길이로서 설치되어 가장 가까운 현장제어기에 연결된다. 검지기로 얻어지는 정보는 교통량, 점유율 등의 자료로서 컴퓨터에 '수요프로파일'형태로써 LPU(Link Profile Unit)단위로 저장되어 정지선에서의 교통량을 모형을 통하여 예측한다. SCOOT는 검지기를 링크 상류부에 둔 것은 예측기능과 연동화 및 교통혼잡예측에 좋다고 판단되었기 때문이다. 그러나 방향별 교통량을 정확히 예측할 수 없기 때문에 적정 신호현시를 부여하는데 어려움이 있다.

SCATS는 전적으로 감응식 루프 검지기를 사용하고 있으며, 이 검지기는 차량사이의 간격을 정확히 측정할 수 있는 감지지역이 잘 정의된 검지기이다. 검지기는 기능적으로 전략적·기술적 검지기로 분류되며, 모든 검지기는 보통 정지선이나, 그 부근에 설치된다. 전략적 검지기는 각 차선마다 하나씩 설치되며 길이는 4.5m이다. 추가적인 전략적 검지기가 정지선에서 떨어진 위치에 설치되어 차량 대기행렬의 정보를

얻을 수 있으며, 보통은 녹색시간의 이용율과 포화교통류율을 정확히 측정하기 위하여 정지선 부근에 설치된다. SCATS의 검지기로부터 얻어지는 자료는 교통량, 점유 및 비점유시간이며 이 자료들은 포화도 계산의 기초가 된다. 검지기를 정지선 부근에 설치함으로써 녹색시간 이용율과 포화교통류율을 정확히 파악하여 적절한 신호현시를 부여할 수 있는 장점이 있다. 또한 SCATS의 특이한 포화도 산정식은 차종구분의 번거로움을 불필요하게 하는 장점을 아울러 가지고 있다.

UTOPIA는 교차로의 링크 상류부에 루프검지기를 차선마다 설치하며 같은 지점의 검지기들은 검지소(Detector Station)로 묶어서 처리된다. 또한 대중교통차량에 대한 절대적 우선권을 제공하기 위하여 모든 정거장과 교차로 유출·입구에 검지기가 설치된다. UTOPIA는 검지기를 링크 상류부에 설치함으로써 현장제어기가 사전에 가능한 한 유입교통량에 대한 많은 정보를 얻을 수 있도록 한 것이다. 그리고 대기행렬 검지기들은 때때로 대기행렬 통제보다는 정확한 매개변수(Parameter)들을 추정하는데 사용된다. 또한 네트워크상에서 유출교통량을 측정하는 검지기들은 다음 교차로의 유입교통량을 추정하는데 사용된다.(1)

Ⅲ. 검지기체계의 실험환경

루프검지기의 기초실험을 위한 특성실험 및 형태결정을 위하여 교통이 차단된 아스팔트 도로위에 여러가지 루프형태를 설치하여 권선방식별로 21가지 루프형태에 관한 실험을 행하였다. 실험은 교통이 차단된 아스팔트 포장도로위에 21가지 크기의 루프를 여러가지 형태별로 설치하여 110m 길이의 케이블로 연결된 실험실의

루프검지기와 연결하여 오실로스코프로써 검지파형 측정실험을 행하였다. 또한 현장제어기에서 신호현시정보를 따오는 방법 등 여러가지 현장제어기에 대한 기능들을 분석하였으며 현장에서 올라오는 자료들을 1차처리하여 지역제어기 수준인 PC상에서 실시간으로 확인하면서 수정 및 보완을 하였다. 루프 형태결정을 위한 설치도는 <부록 1>과 같으며 실험에 고려된 루프의 종류는 <부록 2>에 제시된 것과 같다. 이에 대한 실험내용들은 아래의 소절에서 언급된다.

Ⅳ. 루프검지기 적정형태결정 실험

1. 실험방법

현재 세계 각국에서 이용되고있는 루프 검지기는 검지 목적에 따라 여러가지 형태가 이용되고 있다. 국내에서는 이러한 여러가지 형태의 루프 검지기중에서 1.8×1.8m 루프 검지기가 오프라인(Off-Line) 패턴선택 방식하에서 교통정보제공 및 데이터베이스 개정(Update)등에 주로 이용되고 있는 실정이다. 그러나 이러한 방식은 시시각각으로 급격히 변화하는 교통상황 하에서는 적절히 대응하기에는 부적합하므로 온라인(On-Line) 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 향후 국내에 적용될 신호시간 결정을 위한 변수는 포화도이고, 포화도 결정을 위한 자료는 차량의 점유(Occupancy)와 비점유(Nonoccupancy)시간이므로 차량의 점유 및 비점유시간에 대한 정확한 자료가 요망된다. 따라서 신 시스템의 신호시간

결정에 이용될 신뢰성 높은 점유와 비점유시간 과 대기행렬에 대한 자료를 실시간으로 제공해 줄 수 있는 검지기의 형태는 다음의 소절에 제시되는 2가지 실험으로서 결정된다. 실험은 위에서 언급된 교통특성 연구와 마찬가지로 교통이 차단된 아스팔트 도로위에 여러가지 루프형태를 설치하여 루프형태별, 권선방식별로 21가지 루프형태에 관한 실험을 행하였다.

2. 실험결과

1) 루프 형태별 적정 회전수 실험

실시간 교통신호제어에 이용되는 검지기의 결정을 위하여 여러가지 루프 검지기의 형태(21종류)에 대한 회전수별 검지실험을 10회 반복실험을 실시하여 루프 검지기의 적정 회전수를 결정하였다. 실험은 교통이 차단된 아스팔트 도로에서 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 정하였다. 이에 대한 결과는 <부록 3>과 같다.

<부록 3>에서 제시되었듯이 루프의 적정 회전수는 NEMA(National Electrical Manufacturer's Association)의 실험결과와 동일한것으로 나타났다.(7) 그외에 비교가 되지않은 루프형태는 NEMA에서 고려되지 않은 루프검지기들이다. 위 실험에서 제시된 결과를 토대로 적정회전수의 결정은 루프의 어느 부분까지를 검지하는 것을 목적으로하느냐에 따라 달라질것이며, 또한 적정회전수를 고정하고 기계적인 특성을 이용하여 기준값을 조정함으로써 루프의 검지면

적을 조절할 수 있다. 그러나 전자의 방식은 루프의 민감도가 감소하여 루프검지기의 검지한계를 감소시킬 우려가 크므로 바람직한 방법이 못된다. 후자의 경우에 있어서 적정 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 감도 조절기능인 LOW, MEDIUM, HIGH를 이용하는 방식도 있으나 다양한 상황을 모두 고려할 수 없기때문에 좀더 구체적이고 세밀한 기준이 요구된다. 예를들면 위의 3가지 기준(LOW, MEDIUM, HIGH)을 3가지 이상으로 나누어 정확한 기준값으로서 설정하는 것이다. 이에 대한 실험결과는 4.2.5의 민감도 실험결과에 제시된다.

2) 루프회전수/형태/주파수별 임피던스(L,R,Q) 측정 실험

유도형 루프는 아스팔트에 매설되어 20-200KHz의 교류를 공급을 받아 도선 주변에 전자기장을 형성하게 된다. 이때 차량이 루프속으로 진입하면 전자기장의 영향으로 차체에 와전류가 유도되어 새로운 전자기장때문에 루프의 전자기장의 세기를 감소시킨다. 따라서 루프의 자기 인덕턴스가 감소되어 코일의 교류주파수가 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 23 H씩 증가된다고 제시되어 있다. 또한 인덕턴스값은 루프공진주파수의 제곱근에 반비례하고, 루프회전수의 제곱과 단

면적의 넓이에 비례하므로 여러가지 루프형태와 연결방식(직렬 또는 병렬등)에 따라 검지특성이 달라진다.(7)(8) 본 절에서는 리드인 케이블 길이 110m, 주파수대 10,20,40,100,200KHz에서 LCR METER로 각각 측정한 21종류의 루프형태별 회전수별 임피던스(L,R,Q) 값을 측정한 값의 sample은 <부록 4>와 같고, 측정결과치와 NEMA 표준에서 제시된 값을 비교한 것이 <표 4.1>에 제시되어 있다.

루프 크기	적정 회전수	루프 형태	NEMA 인덕턴스	측정 인덕턴스
1.8×1.8m	3 회	정사각형	76μh	72μh
1.8×3.0m	2 회	직사각형	51μh	51μh
1.8×4.5m	2 회	직사각형	69μh	68μh

<표 4.1> 인덕턴스값의 비교

※ 상기자료는 루프의 앞단에서 직접 측정한 자료임.

위 <표 4.1>에서 측정값과 NEMA 값이 매우 동일하다는 것을 알 수 있다. (7)

3) 루프형태별 실 검지길이 측정 실험

기존 시스템에서 이용되고 있는 루프 검지기 뿐만아니라, 여러가지 루프 형태에 따른 차량의 실검지길이가 차량전장을 모두 검지하는 것이 아니라 다양한 것으로 나타났다. 이러한 결과는 차량의 속도 산출시 중요한 변수일뿐만 아니라 적정 점유시간 기준설정 등에도 중요한 변수로 작용한다. 따라서 본 연구에서는 루프 형태별 실검지길이를 루프형태별로 5회씩 반복하여 측정하였으며 그 결과는 <부록 5>와 같다. <부록 5>를 분석해보면 다음과 같다.

첫째, 직사각형 루프검지기(2,3,9,10번)는 차량의 실검지면적이 다른 형태의 루프에 비하여 대체로 3-4배 정도 적다. 이것은 민감도 측정

결과에서 제시되듯이 직사각형 루프검지기가 다른 루프검지기에 비하여 민감도가 훨씬 떨어지기 때문이라고 판단된다.

둘째, 정사각형 루프검지기(1번)는 차량의 실검지면적이 직사각형보다는 약 2 배 가량 크고, 특수형 루프검지기(7,8,14,15,19,20,21번)에 비하여 약 40-90cm정도 적다. 이것은 적정회전수가 직사각형에 비하여 1회가 더 많으므로 민감도가 더 높기 때문이라고 판단된다.

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

넷째, 특수형 방식의 루프검지기(7, 8, 14, 15, 19, 20, 21번)는 차량의 실검지면적이 200-250cm로서 상대적으로 가장 많은 부분을 검지하고있다. 이것은 다른 형태의 루프검지기에 비하여 민감도가 가장 우수하기 때문이라고 판단된다.

다섯째, 루프의 크기가 커질수록 차량의 실검지면적이 감소하는 경향을 나타내고 있다. 루프의 크기가 커질수록 검지 민감도는 감소되므로 적정회전수를 유지하면서 검지목적에 따라 적정한 민감도를 갖는 루프의 크기를 결정하는 것이 중요하다.

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

(1) 개요

루프검지기의 정보를 현장제어기로 시시각각으로 직접 전달하는 데에는 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 있지않기때문에 이러한 문제점을 야기할만한 위치에 루프를 설치하고 있지는 않고있다. 그러나 향후 실시간 신신호제

어에 이용될 루프검지기는 교차로 정지선부근 뿐만아니라 정지선으로부터 훨씬 상류부에도 설치하여야하기 때문에 국내의 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 현장제어기로 전송하도록 하였다. 이러한 장치들을 설치함에 있어서 여러가지 어려움과 비용의 문제가 야기되었다. 따라서 추가의 검지기 장치는 현장실험수준으로 만족하는 것이 바람직하다고 판단된다. 결론적으로 이에대한 현실적인 바람직한 대안을 제시하고자 루프 도입선의 한계길이를 현장실험을 통하여 결정하고자 한다. 대다수의 정지선은 이러한 검지 한계길이 내에 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 교통이 차단된 아스팔트 도로위에 매설한 루프검지기상을 일정한 속도로 통과(루프의 중앙, 1/2, 루프의 선으로 나누어 실험을 행함)시킴으로서 행하여졌으며, 실험점유시간은 오실로스코프로 측정하였다.

(2) 실험 결과

위와 같이 검지한계 실험을 실시하였는바 루프 도입선(Lead-in Wire)의 검지한계에 대하여는 다음 <부록 6>, 케이블의 검지한계에 대하여는 <부록 7>에 실험결과가 제시되어 있다.

① 루프 도입선 검지한계 실험

가) 1.8×4.0m의 루프검지기는 도입선(Lead-in wire)을 670m로 연장하여 실험차량 속도를 20Km/h를 유지하고 달릴 경우 점유시간은 5회 반복 산술평균치가 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 연장시키면서 검지율을 측정해 본 결과 870m까지는 연장선이 670m일때와 검지율이 비슷하며 970m까지도 Center는 물론 1/2까지의 검지능력이 떨어지지 않았다. 따라서 1.8×4.0의 루프검지기의 도입선(Lead-in wire)의 한계길이는 970m까지도 검지율의 신뢰도가 우수하다고 판정되었다.

나) 1.8×3.0m의 루프 검지기도 970m까지 검지가 가능하였고 루프의 중앙과 1/2 통과시에 검지율의 신뢰도가 우수하다. 이 루프는 1.8×4.0m보다 970m에서 신뢰도가 조금 우수하다고 판정되었다. 따라서 1.8×3.0m의 루프검지기의 도입선(Lead-in wire)의 한계길이는 970m까지도 검지율의 신뢰도가 우수하다고 판정되었다.

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

② Lead-in cable 한계실험

가) 1.8×4.0m 루프 검지기는 605m까지 검지가 가능하였고 루프의 1/2까지 통과시 도입선의 길이 605m까지에서도 검지율의 신뢰도가 우수한 것으로 나타났다. 따라서 1.8×4.0m의 루프검지기의 케이블(Lead-in Cable)의 한계길이는 605m까지도 검지율의 신뢰도가 우수하다고 판정되었다.

나) 1.8×3.0m은 790m 까지 검지가 가능하였고 루프의 1/2까지 통과시 도입선의 길이 790m

까지에서도 검지율의 신뢰도가 우수한 것으로 나타났다. 따라서 1.8×3.0m의 루프검지기의 케이블(Lead-in Cable)의 한계길이는 790m까지도 검지율의 신뢰도가 우수하다고 판정되었다.

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

라) 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.

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

위에서 살펴본 결과로 보아 국내 가로망 특성을 고려할때 한계길이가 약 800m 이상이 되므로 상류부 검지기에 대한 별도의 검지장치(VDU)없이 직접 맨홀을 통하여 현장제어기에 연결시켜도 검지의 신뢰도가 떨어지지 않는다는 결론을 내릴 수 있다. 그러나 다양한 현장상황과 그에 따른 환경적 요인들로 인하여 검지의 신뢰도가 떨어지는 경우도 발생할수 있으므로 본 연구에서의 한계가 모든 상황의 한계가 아님을 밝혀두고자 한다. 따라서 추후에 여러가지 환경적인 요인들을 고려한 한계실험이 요망된다.

5) 루프 검지기 민감도 실험

검지기 형태 결정을 위한 첫번째 실험으로서

루프의 패턴별, 주파수별, 통과면적별로 인덕턴스의 변화(ΔL)를 측정하여 루프의 민감도를 분석하였다. 루프 시스템 민감도란 검지기가 감응되는 검지기 터미널에서의 최소 인덕턴스의 변화이다. NEMA표준은 6×6ft(1.8×1.8m) 루프 검지기(회전수:3회, Lead-in cable:100ft)의 중앙으로 차량이 진입한 경우 다음의 3가지 종류로 나누어 민감도 값을 제시하고있다. 첫째, 소형 모터사이클의 경우: $\Delta L/L=0.13\%$, $\Delta L=0.12\mu H$ 며, 둘째, 대형 모터 사이클의 경우: $\Delta L/L=0.32\%$, $\Delta L=0.3\mu H$ 이고, 셋째, 승용차의 경우: $\Delta L/L=3.2\%$, $\Delta L=3.0\mu H$ 로 제시되어 있다.(7) NEMA에서 제시하고 있는 검지기 장치는 0.02%의 인덕턴스의 변화에도 반응하여야 한다고 제시하고 있다. 본 연구에서는 루프검지기 형태별(21종류), 주파수별(10, 20, 40, 100, 200KHz)로 민감도를 실험 승용차(프라이드:3.565m) 1대로서 통과면적별로 실험하였다. 1.8×1.8m, 회전수 3회인 정사각형 루프 검지기의 ΔL 값은 차량이 중앙을 통과시 6.0-6.78 μH , 1/2을 통과할시 4.1-4.77 μH 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 μH , 1/2통과시 1.92-2.6 μH 의 범위로 측정되었으며, 1.8×4.0m, 1.8×4.5m, 1.8×5.0m, 회전수 각각 3회전인 루프 검지기의 경우 ΔL 값은 중앙 통과시 4.3-11.5 μH , 1/2통과시 3.9-15.4 μH 의 범위로 측정되었다. 실험결과는 주파수가 증가(10, 20, 40, 100, 200KHz)함에 따라 루프 검지기의 민감도는 증가하고, 루프를 통과하는 면적이 감소할수록 민감도는 감소하는 것으로 나타났으나 변동폭이 미미하였다. 그러나 호주방식의 루프검지기의 경우는 주파수가 10-40KHz 까지는 다른 루프검지기와 증가 경향이 유사하나 100-200KHz 증가할시에 민감도는 급격히 증가하고 있다. 위에서

알 수 있듯이 실시간 교통신호제어 시스템에 적합한 루프 검지기의 ΔL 값은 다른 루프 검지기에 비하여 월등히 높아야 한다. 왜냐하면 이것은 적정 검지 신뢰도를 유지하면서(루프 검지기의 선까지 검지) 루프의 민감도가 우수하므로 검지의 신뢰도가 높을 뿐만아니라 다른 종류의 검지기에 비하여 도입선의 한계길이가 더 길다는 것을 의미한다.

국내의 도로특성과 운전자들의 정지선 부근의 운전행태(루프검지기의 1/2까지 통과차량:98%이상)를 감안할때 적정 검지상태를 유지하면서 민감도값이 가장 높은 루프검지기가 선택되는 것이 바람직하다.

6) 검지시 차량의 이론적 점유시간기준 설정

기존의 교통신호시스템에서 이용되고 있는 1세대 제어방식은 1.8×1.8m, 3회전인 루프검지기를 이용하여 상류부에서의 교통량과 점유율, 속도자료를 수집하여 교통신호 자료개정(Data base update) 및 정보제공에 활용하고 있다. 이것은 1.8×1.8m, 3회전인 루프검지기의 특성과 상류부 링크를 통행하는 운전자들의 행태를 고려할때 검지정보의 신뢰성이 상당히 떨어진다. 향후 신신호 시스템의 실시간 제어에서는 무엇보다도 검지기로부터 수집되는 자료의 신뢰성이 중요시되므로 포화도 산정을 위한 점유 및 비점유시간자료의 신뢰성이 우수한 루프가 직진 검지기로 적합하나 루프를 통과하는 차량의 점유시간에 관한 기준이 없어서 잘못된 기준으로 검지정보를 수집하고있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 이러한 기준을 제시함으로써 검지기의 하드웨어 제작시 반드시 적정 점유시간기준에 따라 검지기가 제작되어야함을 원칙으로 삼고자한다. 차량의 이론적 점유시간은 다음의 3가지 변수에 의하여 좌우된다. 첫째, 루프크기, 둘째, 차량의 실검지길이, 셋째, 운행차량의 속

도, 이들 변수들에 대한 이론적 점유시간 산정을 위한 수식은 다음과 같다.

$$t(\text{이론적 점유시간}) =$$

$$((L_1 + L_2) \times 3600) / (V \times 1000) \text{ 초}$$

이때, L_1 : 루프 크기

L_2 : 차량의 실검지길이

V : 차량 실제 운행속도

모든 차량 검지기 제작시에는 위 수식에서 제시되는 이론적 점유시간을 반드시 고려하여야 하며, 이때 주의해야할 점은 루프마다 차량의 실검지길이가 모두 다르므로 이를 동시에 고려하여야겠다. 예를들면 루프크기가 1.8×1.8m 이고, 차량의 실검지길이가 2.3m, 운행속도가 20Km/h인 경우 적정 점유시간은 1.134초이다.

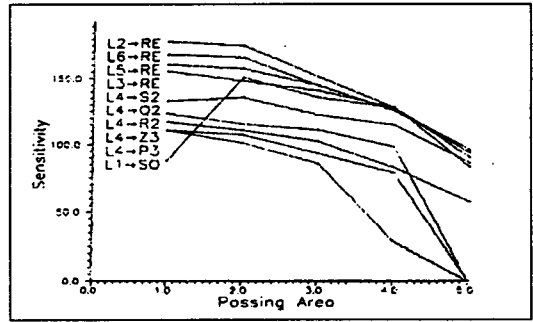
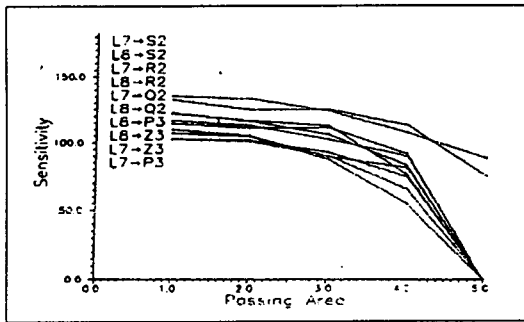
7) 검지정보의 신뢰도 분석

검지기 형태결정을 위한 두번째 실험으로서 루프 형태/권선 방식/차량의 루프 운행 방식별로 점유시간과 운행속도(루프간 거리/루프간 통과시간)를 측정후, 운행속도 20Km/h로 점유시간을 환산하여 검지정보의 신뢰도를 분석한다. 이때 속도측정은 루프검지기 2개를 5m 간격으로 설치하여 측정하였으며, 이에 대한 실험결과를 그래프로 나타내 보면 다음<그림 4.1>과 같다.

<그림 4.1>에서 알 수 있듯이 루프 1.8×4.0m, 1.8×4.5m, 1.8×5.0m, 3회전인 호주방식의 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 점유시간의 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 통과

시보다 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 통과할(그림 4.1)에서 알 수 있듯이 루프 1.8×4.0m, 1.8×4.5m, 1.8×5.0m, 3회전인 호주방식의 루프(P,Z)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 점유시간의 신뢰도는 98%이상을 유지하는 반면, 기존시스템에서 이용되고 있는 루프 1.8×1.8m, 3회전인 루프 되는것으로 판정되었다. 물론 이값은 실험 환경에 따라서 다소의 차이는 보이고 있으나 전반적인 경향은 다른 루프검지기과 특이하게

차량이 루프의 중앙을 통과할때 보다 루프의 1/2을 통과할 때가 오히려 검지율이 높은것으로 나타났다. 그러나 루프 도입선과 케이블의 연장이 약 500-700m로 늘어남에 따라 루프의 중앙 통과시와 1/2 통과시의 차이가 없이 거의 유사한 경향을 나타내고 있다.<부록 6><부록 7>) 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 루프 검지기가 점유시간이 거의 이론치와 유사한 값으로 설정되었음을 의미한다. 즉, 검지율이 100%인 경우가 정확한 이론치이다. 따라서 본 검지율 실험결과로 미루어볼때 정지선 루프는 특수형 루프(7,8번)가 점유시간의 신뢰성이 가장 우수할뿐만아니라 적정 점유시간 기준에도 거의 일치하는 결과를 보임으로서 향후 국내의 실시간 신호제어의 포화도 산정에 가장 적합하다고 판단된다.



<그림 4.1> 루프형태별 검지율 관계 그래프

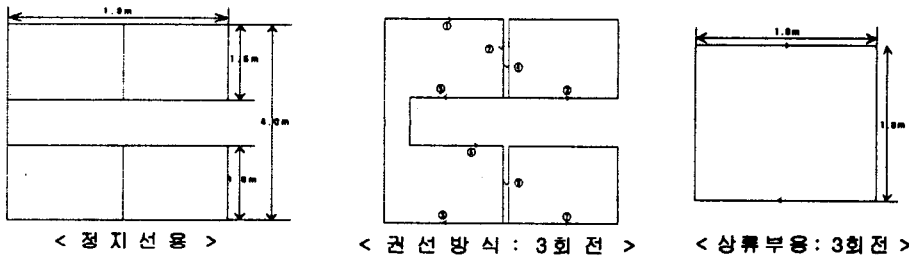
8) 적정 루프 형태 결정

상기의 실험결과를 요약하면 다음과 같은 이유로 향후 국내의 실시간 신호제어에 이용될 루프형태는 특수형 루프(7,8번)가 적합하다고 판명되었다. 첫째, 국내 운전자들의 정지선 이용행태는 루프면적의 1/2이상을 통과하는 차량이 전체의 98%이상이다. 둘째, 특수형 루프검지

기의 민감도(ΔL 또는 $\Delta L/L$)가 다른 루프에 비하여 약 2-3배 가량 높다. 셋째, 루프면적의 1/2까지 통과할때 특수형 루프가 점유 및 비점유시간이 중앙 통과시와 거의 유사하므로 신뢰도가 가장 우수하다. 넷째, 이론적 점유시간에 가장 근사한 설정된 루프검지기는 특수형 루프이다. 다섯째, 특수형 및 기존 루프검지기

(1번)가 도입선 및 케이블의 한계길이가 가장 길다. 따라서 향후 국내의 신호통신호제어에 실시간제어의 적용에 가장 우수한 루프는 특수형 루프인 7,8번(정지선 포화도 측정용) 과 1번(상

류부 대기행렬 측정용)이 적합하다고 판단된다. 다음 <그림 4.2>는 결정된 루프형태와 권선방식은 다음과 같다.



<그림 4.2> 루프형태와 권선방식

V. 루프검지기 적정위치 결정

본 연구를 위해서 서울시 강남구 논현로 1개 교차로를 선정하여 35개의 루프검지기를 설치하여 2단계 현장실험하였으며, 현장설치도는 <부록 9>와 같다.

1. 정지선 루프의 적정 위치

1) 직진용 루프

교차로 정지선의 직진용 루프검지기의 적정 위치는 이용차량의 행태로서 결정하였으며, 이와관련한 자료는 <부록 10>과 같다.

정지선 직진용 루프를 이용하는 차량의 행태를 분석해본 결과 모든 차선이 공히 루프의 절반이상을 밟고 통과하는 차량이 전체의 98% 이상을 차지하였다.

또한 정지선 부근에서의 차량의 이용특성을 살펴보면 대다수의 차량이 정지선 바로 직전에 정지하고 있으며 극소수의 차량들만이 정지선을 절반가량 밟고 정지하고 있었다. 따라서 정지선 직진 루프의 위치는 정지선으로부터 50cm 이내

에 설치하는것이 바람직하다고 판단된다.

2) 좌회전용 루프

좌회전 루프의 적정 위치는 정지선 부근의 좌회전 차선 이용행태로서 결정되며, 이에 관한 자료는 <부록 11>과 같으며, 결과는 다음과 같다.

첫째, 좌회전 루프검지기의 위치는 통과차량을 100% 수용할수 있는 상류부 12m가 바람직하다.

둘째, 전략적 제어를 위해서는 알고리즘 구현시 정지선으로부터 12m 사이에 대기하고 있는 차량(약 2대)에 대하여 포화도 계산을 위하여 상수처리하는것이 검토되어야 한다.

셋째, 전술적 제어의 감응제어를 위해서는 단위시간과 연장시간을 초기화할수있는 평균 순행속도가 교차로 상황에따라 조사되어야 한다.

이상의 결과를 요약하면 정지선 좌회전용 루프검지기의 위치는 정지선으로부터 12m이내에 설치하는것이 바람직하다.

2. 상류부 루프의 적정 위치

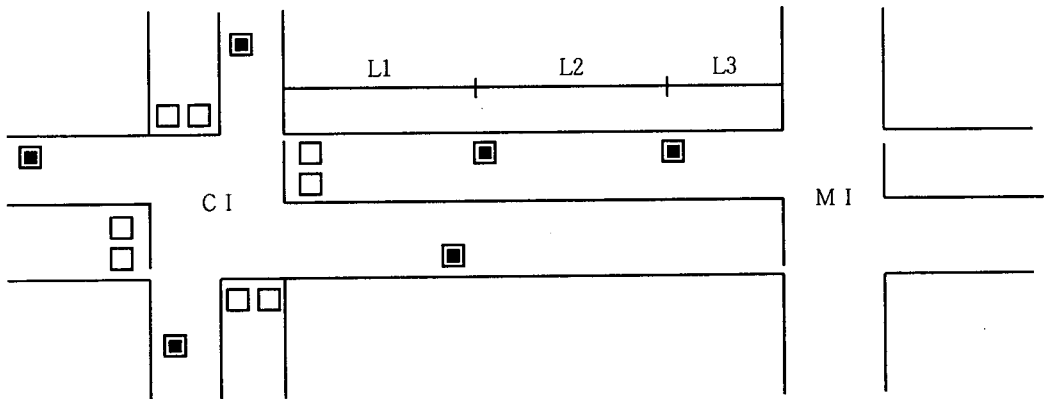
대기행렬 검지기 및 앞막힘(Spillback) 앞막힘 예방 검지기(이하 '예방검지기'라 한다.)의

위치는 대기행렬의 길이를 정확히 예측하고, 앞막힘 가능성을 사전에 파악하는데 매우 중요한 요소로 작용한다. 이는 중앙제어알고리즘과 현장제어기 알고리즘에서 사용되는 제어 전략 및 전술과 밀접한 연관을 갖는다. 본 절의 주요 목적은 제어알고리즘에 적합한 정보를 제공할 수 있는 대기행렬 검지기 및 예방검지기의 적정 위치를 결정하는 것으로서, 이 정보를 이용하는 근포화 및 과포화 제어전략 측면에서 주로 연구된다.

검지기의 위치 결정시 고려되어야 할 사항은 크게 세가지로 분류할 수 있는데, 첫째는 대기행렬 및 앞막힘 정보를 필요로 하는 제어 전략 및 전술, 둘째는 링크(Link)의 길이, 그리고 셋째는 링크 중간에 있는 횡단보도의 위치 등이다. (5)

링크길이 250m이하인 경우는 대기행렬을 관리(Queue Management)하는 측면에서 검지기 위치가 고려되어야 한다. 왜냐하면 과포화 제

어 전략중의 하나인 앞막힘 예방제어를 링크길이가 짧은 교차로에서도 똑같이 적용하게 될 경우, 비포화상태인데도 잦은 앞막힘 예방제어를 실행할 수 밖에 없는 상황이 발생할 수 있으며 이 결과 오히려 과다한 지체나 앞막힘을 유발할 수도 있기 때문이다. 이러한 링크는 대기행렬이 증가하면 옹셋을 조절해주고 해당 링크뿐만 아니라 다른 링크들의 교통 상태와 인접 교차로들의 교통 상태를 종합적으로 검토한 후 과포화 제어전략을 수행해야만 한다. 이러한 이유로 인해 링크길이가 작은 교차로의 대기행렬검지기는 긴 링크와는 달리 취급되어야만 한다. 위치결정을 위해 본 연구에서는 먼저 대기행렬검지기의 위치를 결정하고, 예방검지기의 위치를 결정한 후 링크길이와 횡단보도의 위치를 최종적으로 고려했다. 각 검지기의 명칭 및 위치도를 개략적으로 나타내면 <그림 5.1>과 같다.

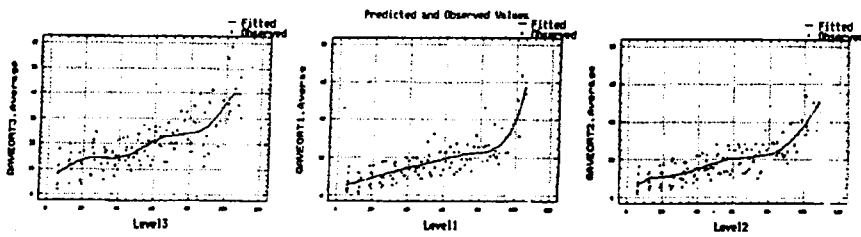


- : 정지선 검지기
- : 대기행렬 검지기, 혹은 (앞막힘) 예방검지기
- L1: 정지선부터 대기행렬 검지기까지의 거리
- L2: 대기행렬 검지기부터 예방검지기까지의 거리
- L3: 링크 유입부에서 예방검지기까지의 거리
- L : 링크의 길이 = L1+L2+L3

<그림 5.1> 검지기 명칭 및 위치 개략도

점유율과 대기행렬의 길이의 관계에 대해서는 <그림 5.2>에서 처럼 정지선으로부터 70m 지점까지 점진적인 점유율의 증가를 보이다가 70m에서는 급격한 증가를 나타내는 양상을 보

인다. 이는 국내 운전자의 운행 특성상 대기행렬이 일정 길이로 형성될때까지는 민감한 반응을 받지않지만 일정 길이를 넘어서게 되면 민감한 반응을 보여주기 때문이다.



<그림 5.2> 점유율과 대기행렬길이의와의 관계

1) 대기행렬 검지기(링크길이 250m 이상인 경우)

대기행렬 검지기는 링크상에 정지한 차량의 대기길이를 예측하는 기능을 수행한다. 예측된 대기행렬의 길이 정보는 중앙제어 알고리즘에서 신호제어 파라메타(Parameter)인 오프셋(Offset)을 실시간으로 조절해 주기위한 기본 자료가 된다. 이를 근거로 조절된 오프셋은 대기행렬의 길이를 감소시키는 효과를 갖는다. 그러나 차량의 증가가 계속될 경우 오프셋조절로 인한 지체 감소효과는 상쇄되고, 다시 대기행렬의 길이를 예측하여 오프셋을 조절함으로써 통행 차량들의 지체와 정지수를 최소화시키는 과정이 되풀이 된다. 대기행렬이 감소하는 경우도 마찬가지다.

따라서 대기행렬 검지기의 위치는 최대 주기 동안 통과할 수 있는 차량들을 검지할 수 있는 위치에 있어야 하며, 동시에 대기행렬의 예측 범위 등이 고려되어 결정되어야 한다.

한 주기동안 차량이 대기할 수 있는 길이는 다음과 같이 산정할 수 있다.

현재의 알고리즘상 보통 CI는 4현시 체계로 구성되어 있기 때문에 주방향의 현시율은 120

초 주기길이일때 40%정도를 차지한다. 이 확장 주기길이부터 최대주기길이(150초)까지의 주기차는 모두 주현시에 할당된다. 이를 토대로 주현시 녹색시간동안 통과할 수 있는 차량 수를 계산한 다음 평균적인 차량간 정지시 거리 6.3m를 곱하면 대략적인 한 주기동안의 대기길이를 산정할 수 있다.

(1) 고려 요인

- 최대 한 주기길이동안 방출될 수 차량들의 대기길이
- 대기행렬 검지기의 대기행렬 예측 가능 범위(70m)

(2) 결정 절차

단계1: 주현시 녹색시간 산정

$$\begin{aligned}
 & \text{(확장현시에서의 녹색시간) + (최대 주기에서의 주현시 전용 할당시간)} \\
 & = (120 \times 0.4) + (150\text{초} - 120\text{초}) \\
 & \approx 80\text{초} (=78\text{초})
 \end{aligned}$$

단계2: 한 주기 최대 대기길이 계산(포화차 두시간 2초)

$$80\text{초} / 2\text{초} \times 6.3 \approx 250\text{m}$$

단계3 : 대기길이의 예측범위(70 m 정도)

$$250 + 70 = 320 \text{ m}$$

(3) 대기행렬 검지기의 위치(L1)

$$L1(\text{혹은 } L2) \leq 320 \text{ m}$$

2) 앞막힘 예방 검지기의 위치(링크길이 250m 이상인 경우)

이 검지기는 교차로내에서 발생하는 앞막힘 현상을 사전에 방지하기 위해 설치하는 것으로서 대기행렬 길이 추정기능을 동시에 수행한다. 링크의 길이가 짧을 경우에는 위에서 설명한 대기행렬검지기가 이 기능을 동시에 수행한다. 링크의 길이가 길 경우에는 대기행렬 검지기 이외에 추가로 예방검지기가 설치된다.

대기행렬의 길이가 예방검지기까지 혹은 근처까지 도달하였을 경우 앞막힘을 사전에 방지하기 위해 즉각적으로 상류부 교차로(MI)의 주현시 녹색시간을 최소녹색시간만큼 운영함과 아울러 균등오프셋(Equity Offset) 제어전략을 수행할 수 있도록한다. 따라서 예방검지기의 위치와 관련된 L3는 상류부 주현시의 최소녹색시간 동안 만큼 차량을 수용할 수 있는 거리가 되어야 한다.

현재 알고리즘에서 대기행렬을 예측하기 위해 필요한 검지기 자료 중 가장 중요한 자료중의 하나가 점유율(혹은 점유시간)이다. 점유율은 안정된 교통류에서 측정되었을 때 교통상황을 가장 잘 반영할 수 있으므로 항상 차량이 가속(혹은 감속)하고 있는 상황에서는 의미가 없다. 따라서 링크 유입부에서 항상 가속이 일어나는 구간에 검지기가 설치되어서는 안된다.(4)

(1) 고려 요인

- ① 상류부 정지선 차량이 출발 후 정상속도에 도달하는 데 소요되는 거리
: 보통 상류부 정지선부터 90m 정도(교

차로내 구간 포함)의 거리

- ② 상류부 주현시의 최소녹색시간 동안의 통과 교통량, 회전 유입교통량
- 위의 두 요인 중 더 큰 값이 선택되어야 한다.

- 대기행렬 검지기의 대기행렬 예측 가능 범위(70m)

(2) 결정 절차

가정) 상류부 교차로의 부도로 왕복 8차선, 주도로 유입 좌회전 전용 1차선 (30초)

조건1) 정지 차량 출발 후 정상속도 도달 거리
90m - (교차로내 구간 길이)
= 90 - 40 = 50 m

조건2) 최소녹색시간 통과교통량, 회전 교통량
단계1 : 상류부 주현시의 최소녹색시간 계산 (보행자 보행속도 = 1 mps)
Min G = 28/1 + 7 = 35초(황색시간 포함, <표 3-5> 참조))

단계2 : 통과차량의 대기길이(차두시간 2초)
35초/2초 × 6.3m ≃ 110 m

단계3 : 회전교통량의 대기길이(포화시 좌회전 허용가능 최대 녹색시간)
30초/(2초 × 4차선) × 6.3m ≃ 20 m

단계4 : 대기길이의 예측범위(70 m 정도) 고려
최소 L3 = (110 + 20) - 70 = 60m

(3) 앞막힘 예방 검지기의 위치(L3)

조건 1)의 최소 50m보다 조건 2)의 최소 60m가 더 크므로 60m 선택한다.

$$L3 \geq 60 \text{ m}$$

이때 한가지 더 고려되어야 할 사항은 CI와 상류부의 녹색시간차이다. 만일 녹색시간차가 최대주기길이에서 20초 차이가 날 경우, 앞막힘 방지를 위해 최소한 두 교차로의 녹색시간을 같도록 하기위한 과정에서 발생하는 증가 대기 길이는 한 주기당 줄일 수 있는 녹색시간이 5초

라면, $(10\text{대}+8\text{대}+5\text{대}+3\text{대}) \times 6.3\text{m} = 160\text{m}$ 이다. 따라서 링크유입부부터 두 교차로의 현시를 같도록 하기위해 Action에 들어가는 거리 X

$\geq 160\text{m}$ 이라는 조건이 성립된다. <부록 12>는 $L3$ 를 60m로 고정하였을 경우 제시되는 각 검지기간 거리이다.

<표 5.1> 상류부 부도로의 차선수별 최소녹색시간

차선수	2	4	6	8	10
최소 녹색시간	16	22	28	35	41
통과차량수에 의한 대기길이	$16/2 \times 6.3 = 50$	$22/2 \times 6.3 = 69$	$28/2 \times 6.3 = 88$	$35/2 \times 6.3 = 110$	$41/2 \times 6.3 = 129$

* 최소녹색시간 = $7 + (\text{횡단보도길이}) / (\text{보행자 속도})$
 (차선평: 3.2 m, 중앙선: 0.5, 좌우측 측방여유폭: 1.5 m, 보행자 속도: 1 m/sec)

3) 링크길이에 따른 대기 및 예방검지기의 위치
 링크길이에 따른 각 검지기의 유무와 목적은 <표 5.2>와 같다.
 결과적으로 볼 때 링크길이($L=L1+L2+L3$)

와 대기행렬 검지기 및 예방검지기의 위치를 동시에 고려해 보면 다음과 같다.
 ○ 대기행렬검지기 위치: $L1 \leq 320\text{ m}$
 ○ 예방검지기 위치: $L3 \geq 60\text{ m}$

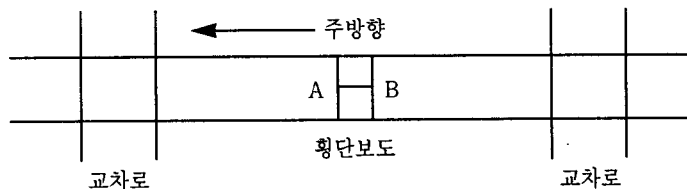
<표 5.2> 링크길이에 따른 검지기설치 유무와 목적

링크길이(m)	정지선	대기행렬검지기	예방검지기	비 고
150 미만	○ DS 이용	×	×	
150 - 250	○ DS 이용	○ 대기행렬관리	×	
250 - 390	○	○ 대기길이에측, 앞막힘 예방	×	
400 - 550	○	○ 대기길이에측	○ 대기길이에측, 앞막힘 예방	
550 이상	○	○ 대기길이에측	○ 대기길이에측, 앞막힘 예방	필요시 추가

〈표 5.3〉 링크길이에 따른 검지기의 위치

링크길이(m)	정 지 선	대기검지기	예방검지기	비 고
150	○	90	×	
160	○	100	×	
170	○	110	×	
180	○	120	×	
190	○	130	×	
200	○	140	×	
210	○	150	×	
220	○	160	×	
230	○	170	×	
240	○	180	×	
250	○	190	×	
260	○	200	×	대기검지기는 대기행렬을 예측하고 앞막힘예방 기능을 동시에 수행한다.
270	○	210	×	
280	○	220	·	
·	·	·	·	
·	·	·	×	
·	·	·	×	
330	○	270	×	
340	○	280	×	
350	○	290	×	
360	○	300	×	
370	○	310	×	
380	○	320	×	
390	○	320	×	
400	○	320	×	
410	○	250	350	
420	○	250	360	
430	○	250	370	
·	·	·	380	
·	·	·	·	
500	○	250	·	
510	○	250	450	
520	○	250	460	
530	○	250	470	
540	○	250	480	
550	○	250	490	
560이상	○	○	○	필요시 검지기 추가 설치

4) 링크 중간에 있는 횡단 보도에 따른 검지기위치의 영향



〈그림 5.3〉 링크 중간에 횡단 보도가 있는 도로

현행법상 좌측 혹은 우측 200m 이내에 횡단보도가 있으면 횡단보도를 설치할 수 없으며, 또한 우리나라의 경우 보통 정지선상에 횡단보도가 있으므로 이 경우에 해당하는 링크의 길이는 400 M이상이라고 할 수 있다. 위 그림에서 제시된 대기검지기가 A의 위치에 있을 경우는 아무런 영향이 없다. 그러나 검지기가 B의 위치에 있을 경우에는 횡단보도의 녹색시간동

안 차량들은 검지기 바로 위에서 정지해 있거나 혹은 근처에서 대기하는 현상이 발생한다. 이러한 기간동안 발생한 점유율의 정보를 대기행렬의 길이를 예측하는데 사용할 수는 없다. 이 경우 검지기는 횡단보도(횡단보도 폭은 약 10M 가정)의 앞 약 10M 정도인 A의 위치에 매설하는 것이 좋다.

<표 5.4> 횡단보도가 있는 경우의 검지기 위치(링크의 정중앙 위치)

링크길이(m)	정지선	대기검지기	예방검지기	비고
400	○	185	340	
410	○	190	350	
420	○	195	360	
430	○	220	370	
.	.	.	.	
490	○	230	430	
500	○	235	440	
510	○	240	450	
520	○	245	460	
530	○	250	470	
540	○	250	480	
550	○	250	490	
560	○	250	500	

5) 결론

상류부의 검지기의 위치 결정에 관한 연구에서 지금까지의 결과를 살펴보면 다음과 같다.

첫째, 링크의 길이가 400m를 이하일 경우 대기행렬 검지기(예방검지기 기능 수행)의 위치는 정지선으로부터 320m를 넘지 말아야 하며, 링크 유입부로부터 60m이상 떨어진 거리에 둔다.

둘째, 링크의 길이가 400m를 초과할 경우 정지선으로부터 250m에 대기행렬 검지기를 설치하고 추가로 예방검지기를 링크 유입부로부터 60m이상 떨어진 거리에 둔다.

셋째, 링크의 길이가 150m 미만인 경우에는 대기행렬의 관리가 의미가 없으므로 검지기를 설치할 필요가 없다. 그리고 링크 길이가 아주

작은 경우에는 그 목적에 따라 검지기 설치 여부 및 위치를 신중히 고려하여 선택하여야 할 것이다.

넷째, 링크의 중간에 횡단보도가 있을 경우 검지기를 횡단보도 이후로 옮겨서 횡단보도로 인한 영향을 없애도록 한다.

다섯째, 링크의 길이가 550m 이상일 경우는 주변 교차로에 비교했을 때 해당교차로의 중요도, 전문가의 의견 등이 고려되어 250m간격으로 검지기가 추가 설치하는 것이 좋다.

여섯째, 링크의 길이가 250m이하인 경우 링크 유입부에서 60m이상 떨어진 위치에 대기행렬검지기를 설치하는 것이 좋다.

위의 결론은 근포화 및 과포화상황에서의 제어전략을 중심으로 대기행렬의 예측범위를 고

려하여 각 검지기의 위치가 결정되었다. 그러나 보다 능동적으로 대기행렬의 길이를 관리하기 위해서는 비포화상황에서도 대기길이를 예측할 수 있는 방안이 좀더 모색되어야 할 것이다. 물론 이에 따른 검지기의 수의 증가를 감수해야 할 것이다.

현재 우리 나라의 경우 좌회전을 가능하면 억제하고 링크유입부에서의 U-Turn을 유도하는 방법이 모색되거나 실행되고 있으므로 이에 따른 추가 연구가 이루어져야 한다. 예를 들면 교차로내에서의 좌회전을 금지하는 대신 교차로를 벗어난 링크 유입부에서의 U-Turn을 허용한 후 우회전을 하도록 하는 방식이다. 이 경우 U-Turn 위치나 그 이내에 검지기가 위치해 있을 경우 실제보다 과다하게 대기행렬 길이를 예측할 수 있다. 따라서 이러한 상황은 링크 중간에 있는 횡단보도에서와 마찬가지로 U-Turn지역을 벗어난 곳에 검지기가 설치되어야 한다.

VI. 결론

1. 정지선 루프

1) 루프형태

교차로 정지선의 직진용 루프검지기의 적정 형태는 점유와 비점유시간의 신뢰도로서 결정하였으며, 그 이유는 다음과 같다.

첫째, 국내 운전자들의 정지선 이용행태는 루프면적의 1/2이상을 통과하는 차량이 전체의 98% 이상이다.

둘째, 특수형(7,8번) 및 기존루프검지기(1번)의 민감도(ΔL 또는 $\Delta L/L$)가 다른 루프에 비하여 약 2-3배 가량 높다.

셋째, 루프면적의 1/2까지 통과할때 특수형(7,8번) 및 기존 루프(1번)가 점유 및 비점유시

간이 중앙 통과시와 거의 유사하므로 포화도산정 측면에서 신뢰도가 가장 우수하다.

넷째, 이론적 점유시간에 가장 근사한 설정된 루프검지기는 특수형 루프이다.

다섯째, 특수형 및 기존검지기(1.8×1.8m : 1번)의 도입선 및 케이블의 한계길이가 가장 길다.

이상의 결과를 종합해볼때 도시간선도로상의 실시간 교통신호제어의 적용에 가장 적합한 루프는 특수형 루프가 적합하다고 판단된다.

2) 적정 위치

정지선 부근에서의 차량의 이용특성을 살펴보면 대다수의 차량이 정지선 바로 직전에 거의 정지하고 있으며 극소수의 차량들만이 정지선을 절반가량 밟고 정지하고 있었다. 따라서 정지선 직진 루프의 위치는 정지선으로부터 50cm 이내에 설치하는것이 바람직하다고 판단된다.

또한 좌회전 루프의 적정 위치는 정지선 부근의 좌회전 차선 이용행태로서 결정된다.지금까지의 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 좌회전 루프검지기의 위치는 통과차량을 100% 수용할수 있는 상류부 12m가 바람직하다.

둘째, 전략적 제어를 위해서는 알고리즘 구현시 정지선으로부터 12m 사이에 대기하고 있는 차량(약 2대)에 대하여 포화도 계산을 위하여 상수처리하는것이 검토되어야 한다.

셋째, 전술적 제어의 감응제어를 위해서는 단위시간과 연장시간을 초기화 할수있는 평균 순행속도가 교차로 상황에 따라 조사되어야 한다.

2. 상류부 검지기

1) 루프형태

상류부 루프의 적정형태는 대기행렬 파급도를 예측하는 측정변수인 속도와 점유율의 정보

를 신뢰도가 높게 제공해 줄수있으며 검지한계 별 검지기준(루프의 통과면적)을 고려한 루프를 선택하였다.선택된 루프형태는 1.8×1.8m(1번)와 1.8×4.0m(7,8번)로서 그 이유는 다음과 같다.

첫째, 대기행렬 파급도 예측범위는 측정변수가 속도일 경우 100m이고, 점유율인 경우에도 역시 약 100m이며, 각각의 R²값은 속도일 경우 72.71%와 점유율일 경우 71.87%이다.

속도 : F(X)

$$= -1.109116E - 6X^1 + 0.000299X^3 - 0.26923X^2 + 0.505139X + 45.361481$$

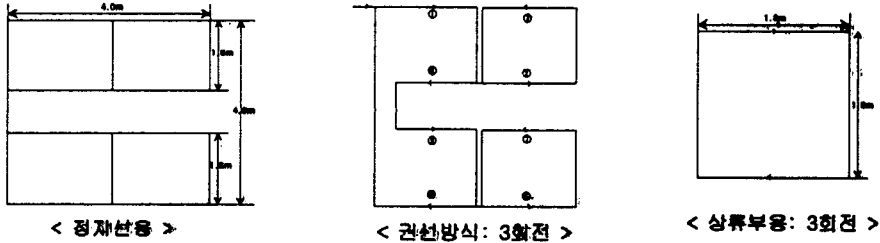
점유율: F(X)

$$= 2.042786E - 9X^6 + 5.805176E-7X^5 + 0.000064X^1 - 0.003415X^3 + 0.091245X^2 - 0.844636X + 8.343009$$

둘째, 대기행렬길이를 예측하는 속도와 점유율을 적절히 제공해줄수 있는 루프는 1.8×1.8m와, 1.8×4.0m 모두 적합하다.

셋째, 도입선과 케이블의 한계길이가 약 700m까지 에서는 1.8×1.8m 루프의 신뢰도가 우수하며(단,검지기준은 루프면적의 선), 1000m까지에서는 1.8×4.0m가 우수(검지기준은 루프면적의 절반)한 것으로 나타났다.

이상의 결과를 종합해볼 때 상류부 루프의 적정형태는 특수형 루프 (1.8×4.0m :1,7번)와 기존시스템에서 사용하고 있는 루프(1.8×1.8m :1번)가 검지기준에 따라 모두 적합하다고 판단 된다. 이에 관한 루프형태는 다음 <그림 6.1>과 같다.



<그림 6.1> 상류부 루프형태

2) 적장위치

대기행렬 검지가 및 앞막힘(Spillback) 예방 검지기의 위치는 대기행렬의 길이를 정확히 예측하고, 앞막힘 가능성을 사전에 파악하는데 매우 중요한 요소로 작용한다. 이는 중앙제어알고리즘과 현장제어기 알고리즘에서 사용되는 제어 전략 및 전술과 밀접한 연관을 갖는다. 본질의 주요 목적은 제어알고리즘에 적합한 정보를 제공할 수 있는 대기행렬 검지기 및 앞막힘 예방검지기의 적정 위치를 결정하는 것으로서, 이 정보를 이용하는 근포화 및 과포화 제어전

략 측면에서 주로 연구된다. 검지기의 위치 결정시 고려되어야 할 사항은 크게 세가지로 분류할 수 있는데, 첫째는 대기행렬 및 앞막힘 정보를 필요로 하는 제어 전략 및 전술, 둘째는 링크(Link)와 길이, 그리고 셋째는 링크 중간에 있는 횡단보도의 위치 등이다. 제어전략 및 전술 부분은 중앙제어알고리즘과 현장제어기 알고리즘에서 충분히 언급되므로 여기에서는 생략하기로 한다. 링크길이 250m이하인 경우는 대기행렬을 관리(Queue Management)하는 측면에서 검지기위치가 고려되어야 한다. 왜냐하면 과포

화 제어 전략중의 하나인 앞막힘 예방제어를 링크길이가 짧은 교차로에서도 똑같이 적용하게 될 경우, 비포화상태인데도 잦은 앞막힘 예방제어를 실행할 수 밖에 없는 상황이 발생할 수 있으며 이 결과 오히려 과다한 지체나 앞막힘을 유발할 수도 있기 때문이다. 이러한 링크는 대기행렬이 증가하면 읍셋을 조절해주고 해당 링크뿐만아니라 다른 링크들의 교통 상태와 인접 교차로들의 교통 상태를 종합적으로 검토한 후 과포화 제어전략을 수행해야만 한다. 이러한 이유로 인해 링크길이가 작은 교차로의 대기행렬검지기는 긴 링크와는 달리 취급되어야만 한다. 위치결정을 위해 본 연구에서는 먼저 대기행렬검지기의 위치를 결정하고, 앞막힘 예방검지기의 위치를 결정한 후 링크길이와 횡단보도의 위치를 최종적으로 고려한다. 본 연구는 신호교차로에서의 교통변화에 따른 교통 상태를 실시간으로 정확히 판별해 내기 위한 루프 검지기의 적정 형태 및 위치를 결정하기 위하여 이루어졌다. 정지선과 상류부 검지기는 검지목적이 서로 다르므로 이를 분리하여 연구하였다. 교차로 정지선의 직진용 루프검지기의 적정 형태는 점유와 비점유시간의 신뢰도로서 결정하였으며, 도시간선도로상의 실시간 교통신호제어의 적용에 가장 적합한 루프는 특수형 루프가 적합하다고 판단된다. 결정된 특수형(7.8번) 및 기존검지기(1번)의 형태와 권선방식은 <그림 6.1>에 제시하였다. 직진용 루프의 적정 위치는 정지선 부근에서의 차량의 이용특성상 정지선으로부터 50cm 이내에 설치하는것이 바람직하다고 판단된다. 좌회전용 루프의 적정 위치는 정지선 부근의 좌회전 차선 이용행태로서 결정되며, 정지선으로부터 12m 후방에 설치하는 것이 적정하다고 판단된다. 상류부 루프의 적정형태는 대기행렬 파급도를 예측하는 측정 변수인 속도와 점유율의 정보를 고신뢰도로서

제공해 줄수있으며 검지한계별 검지기준(루프의 통과면적)을 고려하여 결정하였고, 그 결과 특수형 루프 (1.8×4.0m :1.7번)와 기존시스템에서 사용하고 있는 루프(1.8×1.8m :1번)가 검지기준에 따라 모두 적합하다고 판단되었다. 이에 관한 루프형태는 <그림 6.1>과 같다. 대기행렬 검지기 및 앞막힘(Spillback) 예방 검지기의 위치는 대기행렬의 길이를 정확히 예측하고, 앞막힘 가능성을 사전에 파악하는데 매우 중요한 요소로 작용하며, 검지기의 위치 결정시 고려되어야 할 사항은 대기행렬 및 앞막힘 정보를 필요로 하는 제어 전략 및 전술, 링크(Link)의 길이, 링크 중간에 있는 횡단보도의 위치, 대기행렬 예측범위 등이다. 또한 링크길이 250m이하인 경우는 대기행렬을 관리(Queue Management)하는 측면에서 검지기위치가 고려되어야 한다. 본 연구에서는 경제성을 고려하여 차종구분없이 포화도(DS)를 측정하는 방식을 고려하였으나 향후 경제적으로 차종구분능력이 있는 대체 검지기(영상 및 초단파 검지기등)를 통한 포화도(X)를 검토하여 상호 비교분석하는 연구가 필요하며, 또한 영상검지기등을 통한 대기행렬의 예측이 아닌 실측알고리즘의 개발연구노력이 필수적으로 요망된다.

참고 문헌

1. 교통신호제어시스템 연구용역시행 1차년도 결과보고서, pp 205 - 251, pp 539, 서울시 지방경찰청, 1991.10.
2. 서울특별시 지방경찰청, 서울특별시 교통신호 제어시스템개발 연구용역시행, 2차년도 결과 보고서, 1992.12.
3. 서울특별시 지방경찰청, 서울특별시 교통신호 제어시스템개발 연구용역시행, 3차년도 결과 보고서, 1993.12.

4. 조광연, 감응식 루프 검지기를 이용한 루프 특성 및 교통상태 판별에 관한 연구, 아주대학교 공학석사학위 논문, 1993.2.
5. 이성호, 신호교차로에서의 대기행렬 파급도에 관한 연구, 아주대학교 공학 석사학위 논문, 1992.8.
6. 이철기, 신호등 교차로에서의 지체예측에 관한 연구, 1993, 대한교통학회 발표논문.
7. FHWA, "Traffic Detector Handbook". Second Edition, July, 1990.
8. Traffic Detector Field Manual, ITE.
9. "Traffic Control System Handbook", ITE.

요약문

본 연구는 신호교차로에서의 교통변화에 따른 교통상태를 실 시간으로 정확히 판별해 내기 위한 루프 검지기의 적정 형태 및 위치를 결정하였다.

교차로 정지선의 직진용 루프검지기의 적정 형태는 점유와 비점유시간의 신뢰도로서 결정하였으며, 도시간선도로상의 실시간 교통신호제

어의 적용에 가장 적합한 루프는 특수형 루프가 적합하다고 판단된다. 결정된 특수형(7,8번) 및 기존검지기(1번)의 형태와 권선방식은 <그림 6.1>에 제시하였다.

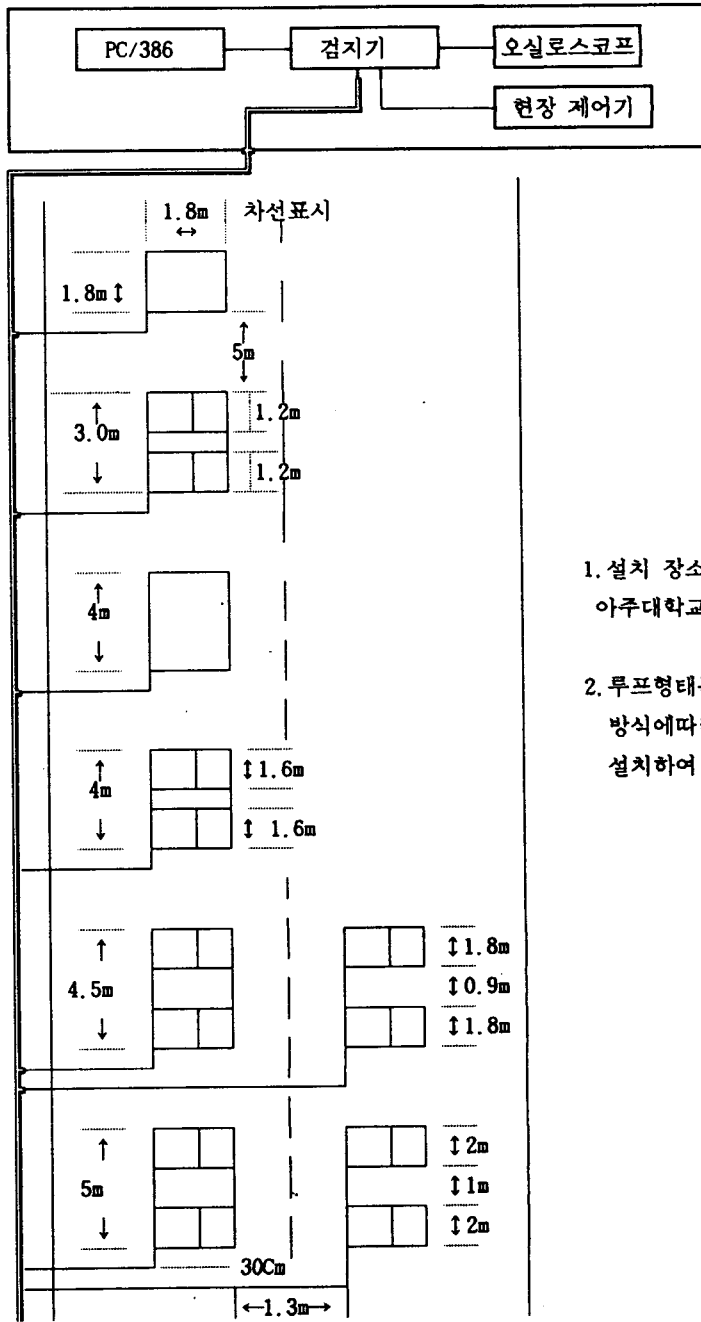
직진용 루프의 적정 위치는 정지선 부근에서의 차량의 이용특성상 정지선으로부터 50Cm이내에 설치하는것이 바람직하다고 판단되며, 좌회전용 루프의 적정 위치는 정지선 부근의 좌회전 차선 이용행태로서 결정되며, 루프 한개를 설치할 경우에는 정지선으로부터 20Cm이내에 설치하는것이 바람직하다.

상류부 루프의 적정형태는 특수형 루프 (1.8×4.0m:1,7번)와 기존시스템에서 사용하고 있는 루프(1.8×1.8m:1번)가 검지기준에 따라 모두 적합하다고 판단되었다.

대기행렬 검지기 및 앞막힘(Spillback) 예방 검지기의 위치는 링크길이, 횡단보도여부, 대기행렬 예측범위 등을 고려하여 각 검지기의 위치가 결정되었으며 또한 링크길이 250m이하인 경우는 대기행렬을 관리(Queue Management)하는 측면에서 검지기위치가 고려되어야 한다.

<부록>

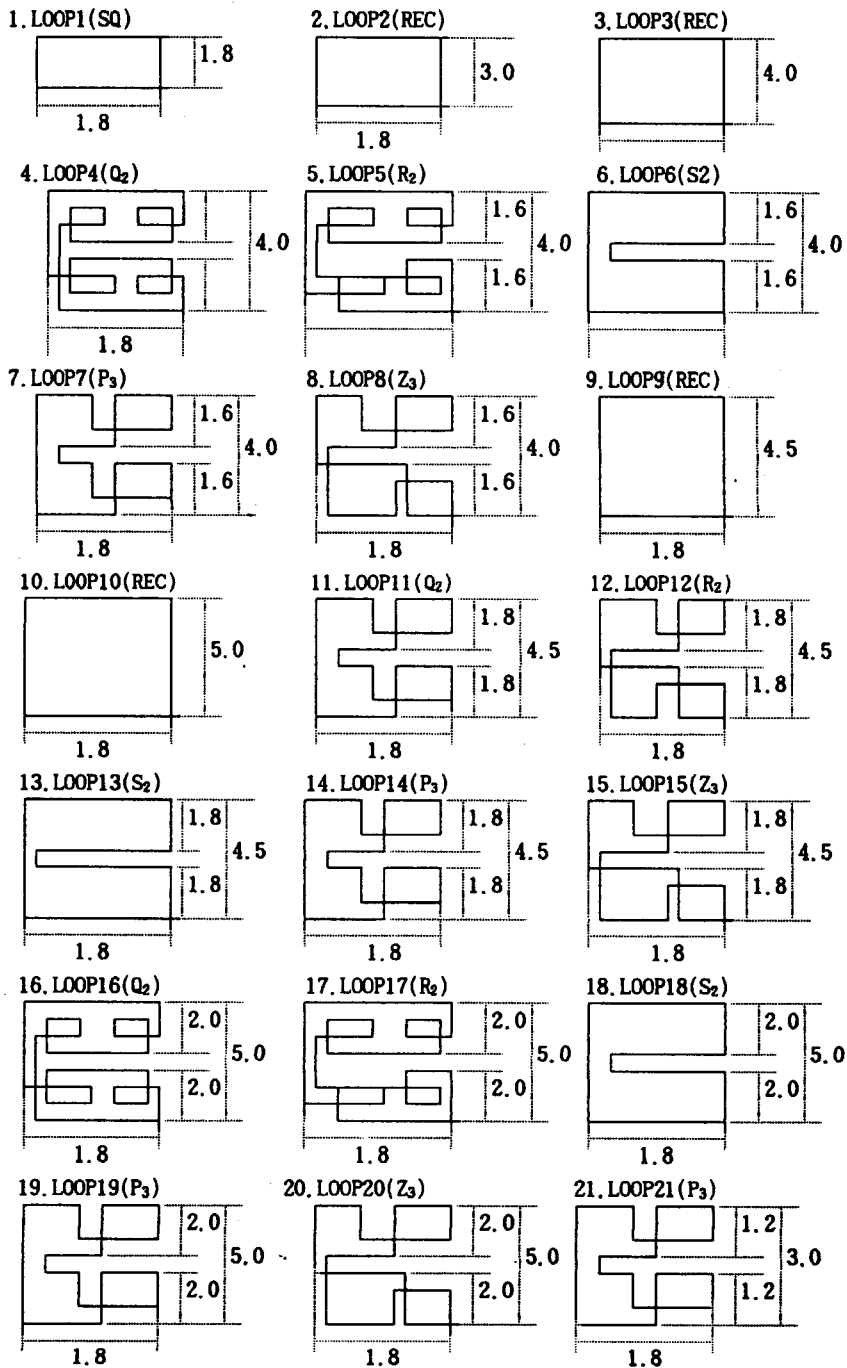
<부록 1> 루프 특성실험 및 형태결정을 위한 설치도



1. 설치 장소 :
아주대학교 교내 도로상
2. 루프형태는 내부 권선 방식에 따라 21가지형태로 설치하여 실험함.

케이블

<부록 2> 실험에 고려된 루프의 형태



〈부록 3〉 적정 회전수 실험결과표

루프번호	구분	루프크기 (m)	권선방식 (코일감는 방식)	적정 회전수 (회)	비고
1		1.8 × 1.8	SQ	3(3)	
2		1.8 × 3.0	REC	2(2)	
3		1.8 × 1.8	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 ₃	3	
15		1.8 × 4.5	Z ₃	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 〈부록 2〉에 제시되어 있음.

2. 적정회전수란의 괄호안 숫자는 NEMA표준에 제시되어있는 적정 회전수임.

〈부록 4〉 루프형태/주파수별 임피던스 측정치

① Loop 번호: Loop 1(SQ)

	주파수(KHz)	1 TURN's	2 TURN's	3 TURN's	4 TURN's	비고
저항(R)	10		0.21	0.28	0.34	
	20		0.30	0.31	0.39	
	40		0.30	0.41	0.50	
	100		0.37	0.23	-	
	200		0.62	0.72	0.56	
인덕턴스(L)	10		36.8	71.9	117.5	
	20		36.6	71.8	117.3	
	40		36.4	71.6	117.1	
	100		36.2	71.6	117.9	
	200		36.2	72.1	119.5	
$Q(\frac{2\pi fL}{R})$	10		11.01	16.13	21.71	
	20		15.33	29.11	37.80	
	40		30.49	43.89	58.86	
	100		61.47	195.6	-	
	200		73.37	125.84	268.16	

② Loop 번호: Loop 8(Z)

	주파수(KHz)	1 TURN's	2 TURN's	3 TURN's	4 TURN's	비 고
저항(R)	10	0.30	0.52	0.74		
	20	0.33	0.57	0.83		
	40	0.42	0.73	1.03		
	100	0.59	0.69	0.50		
	200	0.84	1.05	0.14		
인덕턴스(L)	10	37.2	108.8	221.5		
	20	37.1	108.6	221.1		
	40	36.9	108.3	220.1		
	100	36.7	109.6	229.3		
	200	36.5	111.2	243.0		
$Q(\frac{2\pi fL}{R})$	10	7.79	13.15	18.81		
	20	14.16	23.94	33.47		
	40	22.08	37.29	53.71		
	100	39.08	99.80	288.15		
	200	54.60	133.08	2181.16		

<부록 5> 루프형태별 실검지길이 측정결과표(평균값)

루프번호	구 분	루프크기 (m)	권선방식 (코일감는 방식)	차량의 실검지길이 (m)	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 ₃	210	
15		1.8 × 4.5	Z ₃	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. 상기실험에 이용된 승용차는 프라이드(전장:3.565m)임.
 2. 이상의 자료는 5회에 대한 평균임.

〈부록 6〉 루프도입선 검지 한계 실험

① 루프 크기 : 1.8 × 4.0m

길 이	통과방식	Δt	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
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 실검지 길이 : 2.3 m, 루프간 실검지 거리(ΔL): 9.7 m,
이론적 속도 : 20Km/h, 이론적 점유시간 : 1.1340 초

② 루프 크기 : 1.8 × 1.8m

길 이	통과방식	Δt	실험속도	실험점유시간	20Km환산점유시간	검지율
595	Center	1.3600	19.5882	0.9800	0.9598	140.3251
		1.6600	16.0482	1.0700	0.8586	125.5232
		1.5600	17.0769	0.6800	0.5806	84.8853
		1.3400	19.8806	0.5800	0.5765	84.2891
695	Center	1.4000	19.0286	0.9300	0.8848	129.3609
		1.5000	17.7600	0.9400	0.8347	122.0351
		1.4600	18.2466	0.6600	0.6021	88.0317
		1.4200	18.7606	0.5600	0.5253	76.7976
715	Center	1.5800	16.8608	1.0100	0.8515	124.4837
		1.6000	16.6500	1.0300	0.8575	125.3618
		1.6400	16.2439	0.6800	0.5523	80.7445
		1.6400	16.2439	0.4800	0.3899	56.9961

※ 참조 : 본 실험은 차량 실검지 길이 : 2.0 m, 루프간 실검지 거리(ΔL): 7.4 m,
이론적 속도 : 20Km/h, 이론적 점유시간 : 0.6840 초

<부록 7> Lead-in cable 한계 실험

① 루프 크기 : 1.8 × 4.0m

길 이	통과방식	Δt	실험속도	실험점유시간	20Km환산점유시간	검지율
490	Center 1/2 Line	1.8400	18,9783	1.2300	1.1672	102,9244
		1.6800	20,7857	1.0800	1.1224	98,9796
		1.9800	17,6364	0.0600	0.0529	4,6657
		1.9000	18,3789	0.4600	0.4227	37,2765
		2.0400	17,1176	0.1400	0.1198	10,5664
550	Center 1/2 Line	1.8800	18,5745	1.1700	1.0866	95,8207
		2.0600	16,9515	1.2600	1.0679	94,1748
		2.2400	15,5893	0.2800	0.2182	19,2460
605	Center 1/2	1.8600	18,7742	1.2400	1.1640	102,6455
		1.9400	18,0000	1.2500	1.1250	99,2064

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

② 루프 크기 : 1.8 × 1.8m

길 이	통과방식	Δt	실험속도	실험점유시간	20Km환산점유시간	검지율
490	Center 1/2 Line	1.3600	19,5882	0.8800	0.8619	126,0062
		1.3600	19,5882	0.9600	0.9402	137,4613
		1.3800	19,3043	0.7400	0.7143	104,4241
		1.3400	19,8806	0.6800	0.6759	98,8217
550	Center 1/2 Line	1.3200	20,1818	0.9400	0.9485	138,6762
		1.4000	19,0286	0.9400	0.8943	130,7519
		1.3800	19,3043	0.6100	0.5888	86,0793
		1.2800	20,8125	0.6600	0.6868	100,4112
605	Center 1/2 Line	1.5600	17,0769	1.1200	0.9563	139,8111
		1.5800	16,8608	1.1700	0.9864	144,2039
		1.4200	18,7606	0.7400	0.6941	101,4826
		1.5200	17,5263	0.7700	0.6748	98,6496
		1.4000	19,0286	0.7600	0.7231	105,7143
670	Center 1/2 Line	1.5800	16,8608	1.1000	0.9273	135,5763
		1.3600	19,5882	0.9600	0.9402	137,4613
		1.5000	17,7600	0.6400	0.5683	83,0877
		1.4200	18,7606	0.6800	0.6379	93,2543
790	Center 1/2 Line	1.6000	16,6500	1.0400	0.8658	126,5789
		1.5200	17,5263	0.9600	0.8413	122,9917
		1.4000	19,0286	0.6600	0.6279	91,8045
		1.3600	19,5882	0.5600	0.5485	80,1858

*참조 : 차량 실검지 길이 : 2.0m, 루프간 실검지 거리(ΔL):7.4m,
이론적 속도 : 20Km/h,이론적 점유시간 : 0.6840 초

<부록 8> 검지정보의 신뢰도 분석 절차

1. 단계1 : 실측 점유시간을 측정한다.
2. 단계2 : 실측 운행속도를 측정한다.
 이때, 운행속도=루프간 거리(m)/루프 통과시간(sec)
3. 단계3 : 루프별 실 차량 점유길이를 측정한다.
4. 단계4 : 실측 운행속도에 대한 이론적 점유시간을 계산(초)한다.

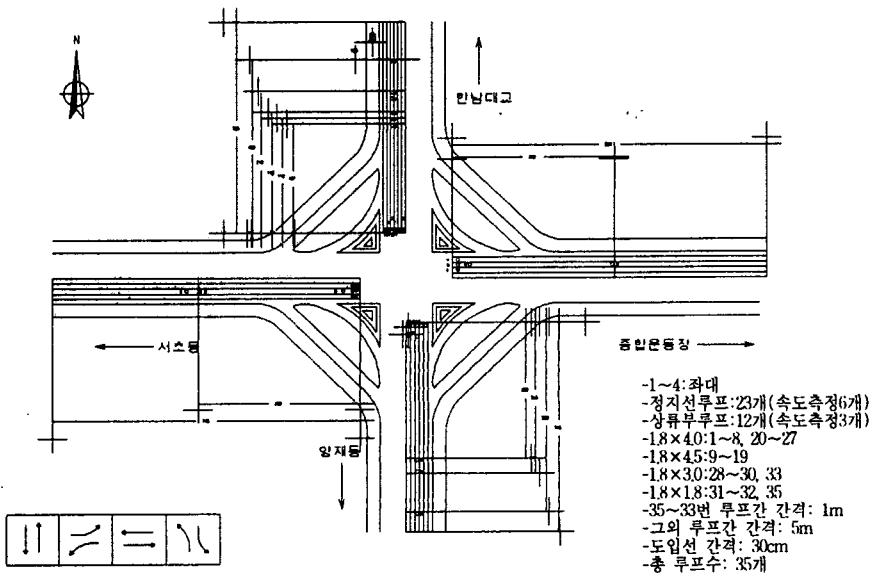
$$\{(\text{루프길이} + \text{실차량 점유길이}) \times 3600 / \text{실측속도} \times 1000\}$$
5. 단계5 : 운행속도 20km/h에 대한 이론적 점유시간을 계산(초)한다.
 이때, 운행속도 20km/h에 대한 이론적 점유시간=(루프길이+실 차량 점유길이)/속도 20km/h
6. 단계6 : 운행속도 20km/h로 점유시간을 환산한다.
 “운행속도 20km/h에 대한 이론적 점유시간:실측 운행속도에 대한 이론적

점유시간=운행속도 20km/h의 환산 점유시간:실측 점유시간”의 관계가 성립한다.

따라서, 운행속도 20km/h의 환산 점유시간=(운행속도 20km/h에 대한 이론적 점유시간×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)한다.
 이때,검지율=(운행속도 20km/h로 환산한 점유시간 - 운행속도 20km/h에 대한 이론적 점유시간)×100%
8. 단계8 : 각 루프 패턴별, 통과 면적별 검지율을 분석한다.
9. 단계9 : 신뢰도가 가장 우수한 루프형태 결정

<부록. 9> 루프검지기 현장 설치도



<부록 10> 정지선 차량의 루프통과 방식에 관한 자료

차선 주기통과	3			4			5			비고
	중앙	1/2	기타	중앙	1/2	기타	중앙	1/2	기타	
1	26			26	3		16	2		추월
2	23			24	3		17	3		
3	23	2		25	1		21	2		
4	25	2		28	3		15	6		
5	25			28	2	1				
6	25			24	0			5	1	
7	28			28	4		14	6		
8	29	2		24	2		22	3		
9	29			26	1	1	24	3	1	
0	26			26	2		18	0	1	
11	26			27	2		25	5	1	
12	23			25	4		19	1	1	
13	24	1		26	3		21	3	1	
14	24	2		24	3		18	4	1	
15	23	1		22	1	1	18	2	2	
16	30			36	0		19			
17	25			26	1		20	5		
18	29			29	0	1	17	1		
19	29			26	1	1	22	1		
20	29	1		25	2	2	19	2		
21	31			35	0	1	17	5		
22	26			26	2	1	24	1		
23	29			20	1		23	4		
24	31			36	2		21	4		
25	32			36	2		18	5		
26	33			34	4	1	18	1		
27	27			27	0		20	2		
28	27			28	1	1	19	2	2	
29	31	1		33	1		17	3		
30	24	2		23	1		19	2	1	
31	28			25	1		21	1		
32	27	1		25	1		21	1	2	
33	25			28	0		23	3		
34	27			28	0		26	3		
35	29	1		26	2		22	5		
36	31			33	2	2	19	2		
37	26			29	1		15			
38	25	1		24	0		18	1		
39	28			27	0		23	1		
40	28			26	0		19	1		
41	27			21	2		17	3		
42	27			25	2	2	22	1		
43	23			20	4		19	2		
44	30			38	2	1	20	3		
45	29			27	2		22	2		
46	28			24	3		19	1	1	
47	26			23	3	1	22	3		
48	26			29	0		23	3		
49	27			28	1		22	3		
50	28			21	1	2	16	2	2	
합계(대)	1,445	17		857	83	19	939	1224	20	
백분율(%)	98.9	1.1		89.36	8.65	1.98	86.7	11.5	1.8	

<부록 11> 좌회전 차량 이용형태 자료

주 기	방향 거리	양재동 방면									한남대교 방면								비고
		정지선	2	4	6	8	10	12	기타	합계	정지선	2	4	6	8	10	12	합계	
1	3			1	1	1				6	6	3	2	1				12	
2											8	1	1					10	
3	3								1	4	11	1						12	
4	5	1								6	1	2	1	1	2		1	7	
5	7				1					8	2	2	4	1				11	
6	4	1	1							6	8	1						9	
7	5									5	10							10	
8	5	2	1	1						9	10	1						11	
9	6	1								7	8	3	1					11	
10	6									6	9	1						10	
11	5		1						1	7	10	2						12	
12	3	2								5	9	2	1					12	
13	5		1							6	6	3	1		1	1		12	
14	3		1					1	1	6	5	5	1	2				13	
15	5				1					6	4	3	1					8	
16	5	1				1				7	6							6	
17	5	2	2	1			1			11	10	1	1		1			13	
18	8		1							9	3	1	1	1		4		11	
19	4				1					4	3	5	3	1				12	
20	7				1					8	9	2						11	
21	7									7	7							7	
22	6									6	7							7	
23	8									8	9							9	
24	6	2								8	6	3						10	
25	6									6	9							9	
26	4	1	1						1	7	7	3						10	
27	6				1					7	5	1	4	1				11	
28	7					1				7	6	3	1	1				11	
29	5				1					6	5	2						7	
30	8	1								9	6							6	
합계(대)	160	14	10	8	2	1	1	4	200	201	51	25	11	6	5	1	300		
비율(%)	80	7	5	4	1	0.5	0.5	2	100	67	17	8.3	3.7	2	1.7	0.3	100		

<부록 12> L3=60m일 경우 L1, L2, L3 크기

링크길이(m)	L1	L2	L3	X
250	190	-	60	130
300	240	-	60	130
350	290	-	60	130
400	320	-	60	130
410	250	100	60	160
420	250	110	60	170
430	250	120	60	180
440	250	130	60	190
450	250	140	60	200
460	250	150	60	210
470	250	160	60	220
480	250	170	60	230
490	250	180	60	240

* 두 교차로의 현시를 같도록 하기 위해 Action에 들어가는 거리