

■ 論 文 ■

루프검지기의 휘더선길이가와 차량검지길이의 관계 연구

A Study of Relative Feeder-Cable Length and Vehicle Detection Length of Loop Detector

오 영 태

(아주대학교 환경건설교통공학부 교통공학전공 교수)

김 남 선

(아주대학교 교통시스템공학과 박사과정)

김 수 희

(아주대학교 교통시스템공학과 박사과정)

송 기 혁

(아주대학교 부설교통연구센터 연구원)

목 차

I. 서론	2. 실험 범위
1. 연구의 배경 및 목적	3. 실험 환경
2. 연구의 범위 및 절차	IV. 자료수집 및 분석 방법
II. 이론적 고찰 및 문제점 분석	1. 자료수집 및 처리
1. 이론적 고찰	2. 분석 방법
2. 루프검지기 형태 및 설치사례	V. 분석 및 결과 제시
3. 기존 연구 고찰	1. 실험 분석
4. 차량검지길이 적용 현황 및 한계성	2. 결과 제시
III. 실험 환경 및 범위	VI. 결론
1. 실험 절차	참고문헌

Key Words : 루프검지기 구성, 휘더선길이, 차량검지길이, 허용 차량검지길이, 검지율

요 약

현재 실시간 신호제어시스템의 대기행렬 예측에 필요한 교통정보 수집장치에 있어 루프검지기에 대부분 의존하고 있다. 대기행렬 예측용 루프검지기로부터 수집된 차량의 점유시간 자료는 대기행렬 예측을 위한 가공처리시 평균 차량검지길이를 이용하여 속도 데이터로 전환한다. 그러나, 현재 실시간 신호제어시스템에서 대기행렬 예측을 위해 현장제어기로부터 100~800m까지 이격되어 설치된 루프검지기의 경우 휘더선 길이에 따라 차량검지길이의 변화가 발생하고 있다. 하지만, 휘더선길이에 상관없이 평균 차량검지길이를 가공처리 과정에 적용시 가공된 데이터의 신뢰도는 떨어지게 되고, 이로 인해 실시간 신호제어시스템의 운영상 효율성이 감소하게 된다. 이에 현재의 실시간 신호제어시스템에서 일률적으로 적용하고 있는 평균 차량검지길이는 한계가 있다고 판단된다. 본 연구는 대기행렬 예측용으로 사용되고 있는 대기행렬 루프검지기에 한하여 현장제어기로부터 설치위치까지 이격거리에 따른 휘더선 길이 변화시 차량검지길이 평가를 실시하였으며, 이에 따른 휘더선길이별 차량검지길이 기준을 제시하였다. 연구결과로 제시된 차량검지길이를 대기행렬 예측을 위한 원시자료 가공처리시 적용한다면, 가공처리 데이터의 신뢰성이 향상될 것이며, 이를 통하여 실시간 신호제어시스템의 운영 향상을 도모할 수 있을 것이라 판단된다.

1. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

실시간 신호제어시스템은 대부분 현장에 루프식 차량검지기를 이용하여 차량 검지정보를 실시간으로 수집하고, 신호 산출 알고리즘에 의해 신호시간을 계산하여 신호교차로에서의 지체시간 최소화를 구현하고 있다. 이에 실시간 신호제어시스템에서 루프검지기를 통해 수집되는 검지정보는 높은 정확도가 요구된다. 하지만 현재 실시간 신호제어시스템에 사용되고 있는 루프검지기는 휘더선길이에 따라 검지정보의 정확도가 떨어지는 경우가 발생되어 신뢰성 확보에 문제가 되고 있다.

실시간 신호제어를 위해 사용되는 루프검지기는 32각 및 8각, 원형으로서, 이중 32각 루프검지기는 정지선 부근에 설치하여 포화도 산출하고, 원형 및 8각 루프검지기는 대기행렬 및 앞막힘 예측을 위해 설치하고 있다. 32각 루프검지기는 해당 신호교차로의 정지선 부근에 설치됨으로 현장제어기까지 거리가 짧고, 도입선으로 현장제어기에 직접 연결함으로써 수집되는 교통정보에 대해 높은 신뢰성을 확보하고 있다. 대기행렬 예측을 위해서 사용되는 8각 및 원형 루프검지기는 해당 신호교차로의 현장제어기에서 설치위치까지 100~800m 이격거리를 가지고, 검지정보의 전송을 위해 휘더선을 이용하고 있다. 휘더선을 이용하여 차량 검지정보의 전송시 해당 루프검지기의 설치위치로부터 현장제어기까지 이격거리가 길 경우 휘더선길이가 길어지게 되고, 이에 휘더선의 자체 저항(Ω) 증가로 검지정보의 정확한 전송이 어렵게 된다. 이러한 정보를 이용하여 대기행렬 예측시 실제 현장의 대기행렬 실측치와 예측치 간의 현격한 차이가 발생하고 있다. 이는 사전에 대기행렬용 루프검지기를 대상으로 현장제어기와 설치위치간 이격거리에 따른 검지정보의 정확성에 대한 연구가 미비하였기 때문이다.

상기 제시된 문제를 해결하기 위해서는 해당 루프검지기의 재료 사양 및 헤드 적정 회전수 등과 같은 연구를 통하여 근본적으로 문제를 해결해야 하지만, 기존 설치 부분을 감안하여 현재 검지정보를 이용하되 가공처리시 자료의 신뢰도를 향상시킬 수 있는 방안의 모색이 필요하다. 따라서 대기행렬 예측을 위한 차량 검지정보의 가공처리 과정에서 고려되는 차량검지길이 변수를 정확히 파악함으로써, 부정확한 검지정보의 보완

을 도모한다.

이에 본 연구는 대기행렬용 루프검지기를 대상으로 휘더선길이가 차량검지길이의 변화량 관계를 도출함으로써 기본 교통정보 수집자료의 신뢰도를 향상시키고자 하는 것이 목적이다. 또한 본 연구에서 이용된 자료는 경찰청에서 발간한 루프검지기 표준시방서(2003) 작성에 기여하였다.

2. 연구의 범위 및 절차

본 연구의 연구 범위는 실시간 신호제어시스템(COSMOS 이하 실시간 신호제어시스템)의 대기행렬 예측용 8각 및 원형 루프검지기에 한하여 휘더선길이별 차량검지길이 기준을 제시한다. 이를 위해 현재 루프검지기 설치 규격에 준하며, 서울특별시 2000년도 신신호시스템 설치공사 실시설계서(서울지방경찰청, 2000)에서 제시한 표준 루프선 및 휘더선, 현장제어기를 이용하였다. 이러한 장비를 이용하여 루프검지기별 차량검지길이 기준안을 제시하기 위해 루프검지기용 휘더선길이를 현대기행렬 루프검지기의 최대 이격거리 800m를 고려하여 800m 이상의 휘더선 길이까지 적용하였다. 또한, 루프검지기 유지보수 과정에 발생할 수 있는 휘더선 재연결시를 고려하여 휘더선 상태를 통선 및 연결선(100m 단위)으로 구분하여 연구를 실시하였다.

연구방법은 크게 현장 실험에 의한 자료 수집 및 실내 분석을 통한 자료 정리로 나눈다. 현장실험은 위에서 살펴본 연구범위 따라 실시간 신호제어시스템이 주로 설치되는 도로의 포장 조건과 기하구조가 유사한 실험사이트를 사전에 선정 후 루프검지기 전문 시공업체를 통해 8각 및 원형 루프검지기를 설치하였다. 루프검지기 설치시 일반적인 매설깊이 및 시공방법을 적용하였다. 루프검지기의 설치 후 정확한 설치 여부를 판단하기 위해 LCR Meter를 이용하여 전기적인 특성값을 측정하고, 본 실험에 앞서 예비 실험을 통하여 실험의 정확성을 높였다. 설치된 루프검지기에 대해 본 실험 실시 후, 수집된 실험 자료를 토대로 실내 분석을 통하여 자료의 정확도 및 신뢰성 검증, 차량검지길이를 도출하였다. 도출된 차량검지길이를 이용하여 각 루프검지기 및 휘더선 상태별, 휘더선 길이에 따른 차량검지길이 기준안을 설정하여 제시하였다.

연구 수행과정은, 우선 루프검지기에 대한 이론적 고찰을 실시하고, 국내 실시간 신호제어시스템용 루프

검지기의 사용실태 및 현황을 살펴본다. 사용실태 현황 분석시 현재 루프검지기중 차량검지길이 정보가 요구되는 루프검지기의 종류 및 차량검지길이 적용방법을 검토하여, 해당 루프검지기에 대한 차량검지길이 적용상의 문제분석을 실시한다. 제시된 차량검지길이 적용상의 문제점에 대한 해결방안 제시를 위한 차량검지길이 기준안을 위해 다음과 같이 2가지 실험을 실시하였다.

- 주행속도 변화에 대한 차량검지길이 실험
- 휘더선길이 변화에 대한 차량검지길이 실험

II. 이론적 고찰 및 문제점 분석

1. 이론적 고찰

1) 루프검지기 구성

루프검지기는 도로위에 매설된 루프코일에 형성된 검지영역을 차량이 통과하거나 정지해 있는 경우 차량으로 인한 루프의 인덕턴스 변화율로 차량의 통과 내지는 존재의 결과를 검지하여 교통신호제어에 필요한 교통변수를 얻을 수 있는 차량검지기로써, 구성은 <그림 1>과 같다.

루프검지기는 일반적으로 NEMA(National Electrical Manufactures Association) 표준에 의하여 설치되며, 주요 구성요소는 <그림 1>과 같이 루프코일, 도입선, 검지부이다.

루프코일은 도로의 차로에 매설되며, 일반적으로 직경이 약 4~5mm의 AWG NO.14 연동선을 2~4회 회전시켜 설치되고, 국내의 경우 3회전을 실시한다. 도입선(lead-In-Cable)은 루프코일과 휘더선(Feeder Cable)을 핸드홀 내부에서 연결하는 케이블로서, 전선 규격은 32가 및 8가 루프검지기에 있어서는 AWG NO.14 연동선이며, 원형 루프검지기는 32가 및 8가 루프검지기에 비하여 피복이 2중으로 강화된 AWG NO.14, 16 연동선을 사용한다. 도입선은 루프코일과 검지부(Detection Device Unit) 장치간 거리가 짧은

경우 도입선 및 검지부 장치를 직접 연결한다. 휘더선(Feeder Cable)은 도입선과 현장제어기 내에 있는 검지부까지 연결하는 케이블로서, 일반적으로 도입선과 검지부(Detection Device Unit) 장치간 거리가 길 경우 사용한다. 휘더선의 전선 규격은 AWG NO.14, 16 연동선으로써, 3중 절연을 실시한다.

2) 검지원리

대부분의 물질(대기, 절연체, 나무, 플라스틱 등)은 비자성체이나 도체들은 자성체이다. 자성체들의 자기저항은 그 물질적 특성에 기인하며, 물질의 자기 저항을 구하는 관계식은 (1)과 같다.

$$R^* = \frac{l}{\mu \times A} \tag{1}$$

여기서,

R^* : 자기저항

l : 코일 단면적 길이(m)

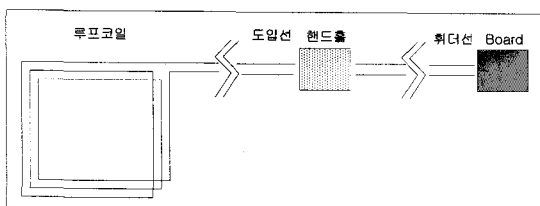
A : 자기회로 단면적(m^2)

μ : 투과율

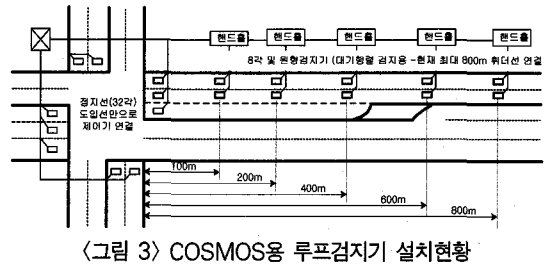
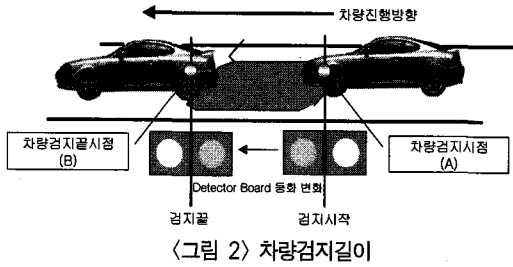
루프 시스템에서는 도로 위에 매설된 루프코일과 도입선까지의 루프 케이블에 전류가 흘러서 차량이 없는 경우 일정한 인덕턴스에 비례하는 자속이 발생하여 루프에 형성된 자장위로 차량이 통과하는 경우, 차량과 루프 사이에는 자속의 변화가 발생한다. 루프의 자장과 유도자장은 상호 작용하여 자속의 변화를 가져오고, 차량에는 자속의 변화에 따른 반대방향의 자장이 형성되며, 이 자장은 기존 루프의 자장과 결합하여 인덕턴스의 변화를 가져온다. 루프검지기는 이러한 인덕턴스의 변화를 주파수의 함수로 변환하여 차량의 존재 유무를 검지한다.

3) 차량검지길이

현재 국내외에서 차량검지길이에 대한 명확한 정의가 없는 상태이며, 차량검지길이를 언급한 보고서로는 1992년도 “서울특별시 교통신호제어시스템 개발연구”이나, 명확한 정의는 부족한 상태이다. 이에 본 연구의 주제인 차량검지길이를 명확히 하기 위해 “차량검지길이는 주행차량의 전체길이 중에서 실제로 루프검지기의 인덕턴스에 영향을 주어 차량의 실제길이에서 루프검지기에 인식된 차량길이이다.” 라고 정의한다. 즉, 그림



<그림 1> 루프검지기 구성도



2)와 같이 루프검지부가 인식한 차량의 검지시점(A)과 종점(B)에 대한 차량길이이다.

2. 루프검지기 형태 및 설치사례

1) 형태 및 용도

현재 실시간 신호제어를 위해 사용되고 있는 루프검지기는 포화도 산정을 위한 32각 루프검지기, 대기행렬 및 앞막힘 예측을 위한 8각 및 원형 루프검지기이다. 각 루프검지기에 대한 자세한 규격 및 설치 위치는 〈표 1〉과 같다.

〈표 1〉 COSMOS용 루프검지기 형태 및 용도

형태	32각	8각	원형
용도	포화도 산정	대기행렬 및 앞막힘 예측	대기행렬 및 앞막힘 예측
규격	4m × 1.8m	1.8m × 1.8m	반경 0.9m
설치 위치	정지선부근 20cm 이내 (좌회전차로는 정지선 12m 이내)	대기행렬 100~800m 후방	대기행렬 100~800m 후방
		앞막힘 유출부 60m	앞막힘 유출부 60m

2) 루프검지기 설치사례

실시간 신호제어를 위한 교통상황 정보를 수집하게 위해 루프검지기를 〈그림 3〉와 같이 설치한다. 루프검지기의 설치시 실시간 신호제어의 용도에 부합되도록 설치위치를 결정하게 되며, 〈그림 3〉은 서울시에 적용된 실시간 신호제어시스템의 일반적인 루프검지기 설치 사례이다. 이중 본 연구에서 휘더선길이에 따른 차량검지길이와 연관성이 있는 루프검지기를 고려해야 함으로 대기행렬 용도로 사용되고 있는 루프검지기 및 휘더선 길이가 중요하다. 현재 대기행렬 예측용 루프검지기의 최대 휘더선길이는 서울시에서 사용중인 실시간 신호제어시스템(COSMOS)은 800m 이내의 휘더선길이이며, 800m보다 긴 대기행렬 루프검지기의 설치 사례는 국내에서 없는 상태이다.

3. 기존 연구 고찰

실시간 신호제어시스템을 위한 루프검지기 특성 연구는 「1992년 2차년도 서울특별시 교통신호 제어시스템 개발」에 의해서 수행되었다.(아주대학교, 1992) 상기 연구는 1차년도 연구에서 서울특별시 교통신호 제어시스템 구현 기본방침으로 교차로 하류부, 즉 SCAT 시스템에서 채택된 교차로 정지선 부근의 각 차선에 루프를 설치하여 수집하는 방식에 따른 2차년도 연구 수행이었다.

2차년도 연구수행에 있어 루프검지기 특성 분석 내용은 크게 두가지로 나누어지는데, 하나는 검지 신호 검출부에 관한 것이며, 다른 하나는 검지 신호 검출부와 선으로 연결되어 실제 도로상에서 차량 존재 유무를 검지하는 루프코일에 관한 형태 및 헤드 코일 회전수, 점유시간의 적정성, 루프 도입선 및 케이블의 검지 한계, 차량검지의 민감도, 차량검지길이에 관한 것이다. 추가적으로 신호목적에 따라 적합한 루프검지기 설치 위치 및 크기 등에 관한 사항이었다.

상기 연구 수행시 본 연구를 위한 현장 실험과 동일한 방법으로 실험을 실시하였으며, 우선적으로 최적 루프검지기 크기 및 루프 헤드 코일 회전수, 헤드 회전방식의 연구가 선행되었다. 국내 신호제어 용도에 적합한 루프검지기 크기 결정을 위하여 해외에서 주로 사용되는 총 8개의 루프검지기를 대상으로 실험을 실시하였으며, 루프 헤드 코일 회전수는 2~3회전, 헤드 회전방식은 각 8개 루프검지기별 회전방식 경우의 수를 고려하여 실험을 실시하였다. 상기 실험 결과로 루프검지기의 크기는 정지선 포화도 산출용으로 1.8×4.0m, 대기행렬 및 앞막힘 예측용으로 1.8×1.8m 크기가 결정되었다. 또한, 최적 루프 헤드 코일 회전수는 1.8×4.0m 및 1.8×1.8m 루프검지기 모두 3회전으로 결론되었다. 그리고, 루프 헤드 회전방식은 기존에 설치되는 방식과 동일한 회전방식으로 결정되었다.

이외 루프검지기 차량검지의 민감도, 차량검지길이 특성연구는 상기 실험에서 사용되었던 차량이 프라이드 (전장 제원 : 3.795m)로써, 본 실험에서 사용된 차량과 제원이 상이하여 차량검지길이 가 협소하게 측정되었다. 또한 차량검지의 민감도 부분에 있어, 해당 루프검지기 설치면 위로 차량 1/2통과사까지 차량 검지가 가능했으며, 이때 옆차선의 차량 주행으로 인한 간섭현상 발생은 없었다.

상기 실험에서 현재 사용된 원형 루프검지기의 특성 실험이 제외되었으며, 또한 휘더선 길이에 따른 차량검지길이 및 차량 주행속도에 따른 차량검지길이 실험이 미비하였다. 이에 이와 같은 사항에 대한 추가적인 실험이 요구된다.

4. 차량검지길이 적용 현황 및 한계성

실시간 신호제어시스템의 대기행렬 예측용 루프검지에 있어 차량 검지정보의 정확도가 떨어지는 경우가 많이 발생하고 있다. 특히, 현장제어기로부터 해당 루프검지기의 설치위치까지 이격거리가 길 경우 차량 검지정보의 자료 전송시 휘더선의 자체 저항증가로 주파수 및 인덕턴스 변화값의 오류 발생 증가로 인해 부정확 정보를 전송하고 있다. 또한, 부정확한 전송의 요인이 전송선뿐 아니라, 인가주파수, 헤드 루프코일 회전수 등의 다양한 요인이 복합적으로 작용하고 있다. 따라서 대기행렬 예측용 루프검지기의 차량 검지정보에 대한 신뢰성 확보를 위해서는 상기 제시된 문제에 대한 검토 후 근본적인 문제 해결이 요구된다. 하지만, 위와 같은 문제를 가지고 있는 실시간 신호제어시스템의 대기행렬 예측용 루프검지가 상당수 설치되어 있으며, 기존 전송선을 이용한 차량 검지정보 방법과 다른 방법을 모색하는 것을 국내 관련 기술의 발전 추이상 어려운 실정이다. 이에 루프검지기의 검지 시스템에 대한 하드웨어적 변경을 통하여 수집되는 차량 검지정보의 정확도를 높이기보다는, 가공처리과정에서 부정확한 검지정보를 보완할 수 있는 변수를 찾아 해결책을 모색해야 한다.

차량 검지정보의 가공처리 과정에서 가장 중요하게 작용하는 변수는 차량검지길이이다. 현재 국내의 경우 기존 실시간 신호제어시스템에서 적용하고 있는 차량검지길이는 루프검지기 검지부 제작 업체에 의해 자체적인 실험을 통한 튜닝작업으로 차량검지길이를 적용하고 있으나, 일반적인 차량검지길이는 4.53m이다. 이를 이

용하여 차량 검지정보의 점유시간을 통해 지점속도를 산출하게 된다. 하지만, 대기행렬 예측용 루프검지기의 설치위치에서 현장제어기까지 이격거리에 따라 상이하게 차량의 검지하여 점유시간을 수집하고 있는바, 이러한 점유시간을 토대로 동일한 차량검지길이 적용하여 가공처리를 실시함으로 자료의 정확도를 떨어뜨리고 있다. 부분적으로 이러한 문제를 해결하기 위해 검지부의 민감도 조정(Threshold 조정을 통한 해당 루프검지기의 주파수 및 인덕턴스 변화비율 조정)을 통하여 적정 점유시간을 획득하려고 노력하고 있다. 하지만, 많은 루프검지기를 대상으로 적정 점유시간과 민감도를 일치시키기 위해서는 비용과 시간상의 문제가 발생되고 있다. 또한, 루프검지기의 유지관리상 발생하는 휘더선의 상태 변화 등을 반영하지 못하는 경우가 발생되어 부정확한 검지정보를 그대로 이용하여 실시간 신호제어시스템의 효율성을 약화시키고 있다.

III. 실험 환경 및 범위

1. 실험 절차

본 연구를 위한 실험절차는 우선 실험사이트를 선정하여 대기행렬 예측용 8각 및 원형 루프검지기를 설치한다. 루프검지기의 설치가 완료되면 검지기 및 실험에 사용될 검지부 장치의 정상 작동 유/무를 검사한다. 검지기 및 장비의 확인 후 예비 실험을 실시하고, 주행속도별 차량검지길이 실험을 실시한다. 실험 실시 후 결과를 분석하여 차량의 주행속도와 검지길이간의 상호관계를 분석한다. 마지막으로 휘더선 길이별 차량검지길이 실험 후 분석을 실시하여 연구결과를 제시한다.

2. 실험 범위

1) 차량주행속도별 차량검지길이

본 실험은 차량주행속도와 차량검지길이간의 관계분석을 위한 것으로써, <표 2>와 같이 실험범위를 설정하였다.

<표 2> 차량주행속도별 실험범위

실험항목 형태	차종	차량 주행속도	실험 횟수
8각	승용차	10km/h, 20km/h,	차량별 각 10회
	승합차	30km/h, 45km/h	
원형	승용차	10km/h, 20km/h,	차량별 각 10회
	승합차	30km/h, 45km/h	

2) 휘더선길이별 차량검지길이

본 실험은 차량주행속도에 대한 차량검지길이 실험 결과에 따라 실험범위를 결정한다. 차량 주행속도에 대한 차량검지길이 실험 결과 두 요소간 상호 영향도 유/무에 따라서 본 실험상 차량 주행속도를 고려하게 되는 것이다. 실험 대상 루프검지기는 대기행렬용 루프검지기인 8각 및 원형 루프검지기이며, 차량의 주행속도는 비디오 프레임 분석시 편의를 도모하기 위해 10km/h 이내로 한다. 휘더선 상태는 100m마다 연결된 전선과 1개로 구성된 전선(통신)을 이용하여 실험을 실시한다. 또한 휘더선 길이는 휘더선 미연결시부터 ~ 1000m 휘더선 길이까지 실험을 실시한다. <표 3>은 본 실험에 대한 실험범위를 나타내고 있다.

<표 3> 휘더선 길이별 실험범위

항목 형태	차종	휘더선 상태	휘더선 길이	실험횟수
8각, 원형	승용차, 승합차	100m연결선, 통신	미연결시 ~ 1000m	차량별 각 5회

3. 실험 환경

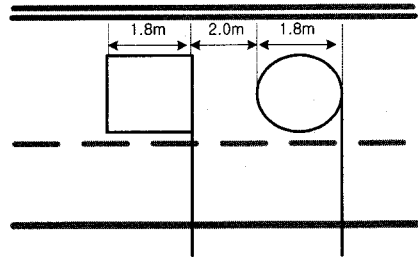
1) 루프검지기 설치

본 연구를 수행하기 위하여 <그림 4>와 같이 실험 사이트내 8각 및 원형 루프검지기에 한하여 서울특별시 2000년도 신신희시스템 설치공사 실시설계서에 준하도록 루프검지기를 설치하여 실험을 실시하였다.

각 루프검지기의 헤드부분 루프코일 회전수는 기 수행된 연구결과 및 현재 설치된 루프검지기의 경우를 토대로 모든 루프검지기에 대하여 동일하게 3회전을 실시하며, 도입선 및 휘더선 권선횟수는 5회 이상 확보하여 설치한다.

2) 실험 전선 사양 및 차량 재원

실험에 사용된 각 루프검지기의 전선 사양은 서울특별시 2000년도 신신희시스템 설치공사 실시설계서 및 이론적 고찰에서 언급한 전선사양을 근거로 설정하였다. 실험에 사용된 차량은 실험사이트의 환경적 여건과 현재 실시간 신희제어시스템에서 차량검지길이 적용 기준이 승용차임을 고려하여 승용차 및 승합차를 이용 실험을 실시하였다. 실험 차량의 재원은 승합차에 있어 전장이 4.8m이고, 축고가 0.19m이며, 승용차의 경우 전장이 4.48m이고, 축고가 0.16m이다.



<그림 4> 루프검지기 설치도

N. 자료수집 및 분석 방법

1. 자료수집 및 처리

본 연구를 위한 실험 방법은 크게 현장제어기 및 비디오 촬영을 통한 자료 수집을 나눌 수 있다. 이를 통하여 다음과 같이 8단계에 걸쳐 자료를 처리한다.

- ① 실측 점유시간 측정 : 대상 루프검지기 위로 실험 차량이 통과 후 현장제어기와 연결된 컴퓨터에 기록되는 점유시간(실측 점유시간, sec)을 측정하여 기록한다.
- ② 차량검지길이(m) 측정 : 해당 루프검지기 위로 실험 차량 통과시 현장제어기의 검지부가 인지한 점유시간에 대하여 비디오 촬영을 통한 영상분석으로 차량검지길이를 측정한다.
- ③ 대상 루프검지기 통과 시간 측정 : 대상 루프검지기 위로 실험 차량의 통과 장면에 대한 비디오 촬영 영상 자료를 프레임 분석기(1프레임=1/30 초)로 분석하여 대상 루프검지기 검지 영역에 대한 통과 시간(sec) 측정한다.
- ④ 실측 운행속도 측정 : 해당 루프검지기 검지영역 크기(실제로 설치된 루프검지기 크기 이용)와 비디오 프레임분석을 통하여 측정된 검지영역 통과시간을 바탕으로 이론적 운행속도(m/sec) 계산한다.
- ⑤ 실측 운행속도에 따른 이론적 점유시간 계산(sec) : ④에서 산출된 실측 운행속도와 ②에서 구해진 차량검지길이를 통하여 이론적인 점유시간을 계산한다.
- ⑥ 이론적 점유시간 환산(운행속도 10km/h) : ②에서 구해진 차량검지길이를 바탕으로 10km/h로 차량 주행에 따른 이론적인 점유시간을 계산한다.
- ⑦ 실측 점유시간 환산(운행속도 10km/h) : ⑥에

서 구해진 환산 점유시간과 ①의 실측 점유시간, ⑤에서 이론적 점유시간을 토대로 실측 점유시간을 계산한다.

⑧ 검지율 산출 : ⑦에서의 실측 점유시간과 ⑥의 이론적 점유시간을 100% 기준의 검지율을 산출한다.

2. 분석 방법

대기행렬 루프검지기에 대한 휘더선 길이 및 상태별 차량검지길이 실험 평가는 현장제어기("Detector Board" 이하 현장제어기)와 비디오 촬영을 통하여 수집된 자료를 근거로 분석을 실시하였다. 비디오 분석을 통한 통과 차량의 이론적 점유시간에 대하여 현장제어기와 연결된 실험용 컴퓨터에서 수집된 실측 점유시간을 비교하여 검지율을 도출하였다. 검지율은 실제 차량에 대한 루프검지기의 검지 정확도를 나타내는 것으로써 검지율이 100%인 경우 차량 점유시간 및 이론적 점유시간상의 오차가 없는 상태로 정확하게 차량을 검지하였다고 볼 수 있어, 본 실험 결과 분석에서는 검지율 100%을 기준으로 평가를 실시하였다. 평가중 검지율이 100%을 넘는 경우는 이론적 점유시간에 비하여 차량 점유시간이 크게 발생되는 것으로써, 100% 기준값의 초과는 값은 100% 기준값을 미달하는 값과 동일한 오차로 간주하여 적용하였다.

검지율 평가에 있어서 속도변화에 따른 차량검지길이 분석시 차종별 10회 실험에 대한 검지율의 산술평균값을 이용하였다. 휘더선 결선 상태 및 길이에 따른 차량검지길이 분석은 차종별 5회 실험에 대한 검지율의 산술평균값을 이용하여 평가를 실시하였다. 또한 검지율의 오차를 계산은 검지율 100%를 기준으로 절대값을 이용하였다. 실험상의 오차는 프레임 분석(1/30 초)에서 발생하는 오차만을 고려하며, 최대 프레임 분석상의 오차는 3%이다. 이러한 분석방법을 기반으로 실험 결과 분석 후 휘더선 상태 및 길이에 따른 차량검지길이 연구결과를 제시하였다.

V. 분석 및 결과 제시

1. 실험 분석

1) 주행속도별 차량검지길이

주행속도 변화에 대한 차량검지길이 실험 결과는 <표 4>와 같다. 이를 살펴보면, 우선 8각 루프검지기의 경우

<표 4> 주행속도별 차량검지길이 실험결과

형태	차종	주행속도 (km/h)	검지율 (%)	차량검지 길이(m)
8각	승합차	10km/h	96.7	5.2
		20km/h	101.3	5.2
		30km/h	98.6	5.3
		Max	100.0	5.4
		평균	99.2	5.3
	승용차	10km/h	94.4	4.8
		20km/h	99.6	4.9
		30km/h	97.0	5.0
		Max	101.5	5.1
		평균	98.1	4.9
원형	승합차	10km/h	103.8	4.7
		20km/h	102.3	4.8
		30km/h	101.2	4.8
		Max	102.9	5.0
		평균	102.5	4.8
	승용차	10km/h	99.3	4.4
		20km/h	101.1	4.4
		30km/h	99.2	4.3
		Max	99.2	4.5
		평균	99.7	4.4

휘더선 미연결시 주행속도 변화에 대한 차량검지길이 변화율은 승합차와 승용차에 있어 각각 최대 3.8%와 4.1%로 나타나고 있다. 또한 해당 차량검지길이를 이용한 검지율 분석시 승합차와 승용차에 있어 각각 최대 3.3%와 5.6%의 검지율 오차를 보이고 있다.

원형 루프검지기의 경우 승합차 및 승용차에 있어 차량검지길이의 변화율은 각각 최대 4.2%와 4.5%로 나타나고 있으며, 해당 차량검지길이를 이용한 검지율 분석시 승합차와 승용차에 있어 각각 최대 3.8%와 1.4%의 검지율 오차를 보이고 있다. 이는 실험상의 오차 3%를 고려한다면, 매우 양호한 검지율을 보이고 있으므로 8각 루프검지기에 있어 주행속도와 차량검지길이 변수간의 영향도가 미미하다고 판단된다.

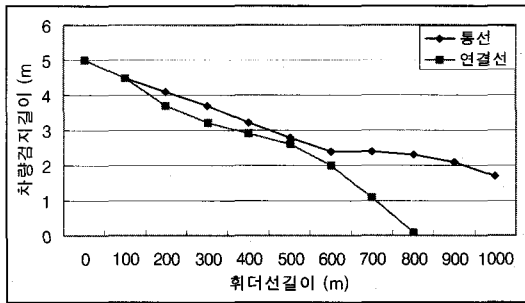
2) 휘더선 길이별 차량검지길이

<표 5>와 <표 6>은 각각 8각 및 원형 루프검지기의 휘더선 길이와 결선 상태별 차량검지길이 실험결과를 보여주고 있다.

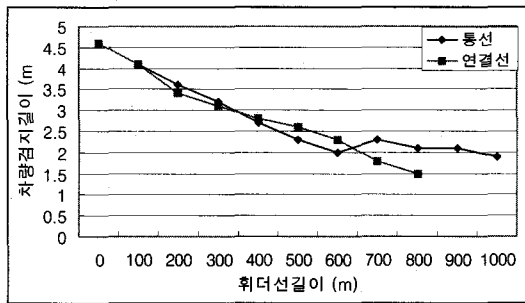
이를 살펴보면, 원형 루프검지기에 비하여 8각 루프검지기의 차량검지길이가 크게 나타남을 알 수 있다. 이는 미국의 루프검지기 전문 시공업체인 Reno A&E사의 자체적인 연구 결과를 살펴보면, 루프검지기의 신

〈표 5〉 휘더선 길이별 실험결과(8각)

휘더선 길이	승합차				승용차			
	통선		연결선		통선		연결선	
	차량 검지 길이 (m)	검지율 (%)	차량 검지 길이 (m)	검지율 (%)	차량 검지 길이 (m)	검지율 (%)	차량 검지 길이 (m)	검지율 (%)
0m	5.0	95.6	5.0	95.6	4.6	97.5	4.6	97.5
100m	4.5	102.3	4.5	102.3	4.1	99.2	4.1	99.2
200m	4.1	96.4	3.7	102.2	3.6	95.1	3.4	103.7
300m	3.7	98.5	3.2	103.9	3.2	102.3	3.1	103.3
400m	3.2	101.7	2.9	98.2	2.7	103.2	2.8	102.1
500m	2.8	102.3	2.6	99.3	2.3	98.2	2.6	97.9
600m	2.4	98.5	2.0	102.2	2.0	98.4	2.3	102.5
700m	2.4	108.7	1.1	104.7	2.3	109.2	1.8	106.0
800m	2.3	98.7	0.1	60.0	2.1	100.9	1.5	102.0
900m	2.1	104.4	-	-	2.1	95.4	-	-
1000m	1.7	102.5	-	-	1.9	98.6	-	-



〈그림 5〉 휘더선 길이별 실험결과 (승합차, 8각)



〈그림 6〉 휘더선 길이별 실험결과(승용차, 8각)

되성이 확보되는 검지높이는 루프검지기 형태 따라 짧은 변의 2/3길이까지의 높이라고 언급하였다.(Reno A&E사, 2003) 또한 루프파인더를 이용한 자기장 높이 측정에서도 원형 루프검지기가 높게 측정되었다. 따라서 8각 루프검지기에 비하여 원형 루프검지기가 차량을 검지하는 자기장 영역이 크게 때문에 차량검지길이 크게 나타나고 있다.

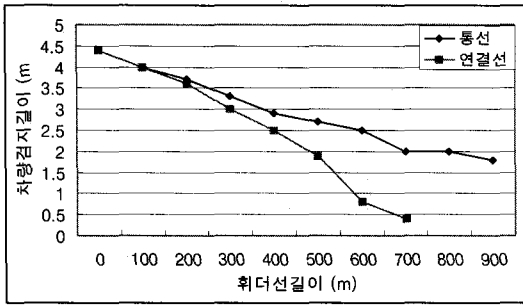
8각 루프검지기의 경우 승합차와 승용차에 있어 통선

및 연결선 사용시 휘더선 증가에 따라 차량검지길이 감소하는 경향을 공통적으로 보이고 있다. 하지만, 통선의 경우 모든 차량에 대하여 휘더선 길이 1000m 이내 까지 차량을 정확히 검지하고 있으나, 연결선에 있어서는 휘더선 길이 800m 이상시 모든 차량에 대해서 차량을 미검지하는 결과를 보이고 있다. 또한 통선과 연결선에 대한 차량검지길이 변화폭은 휘더선 길이가 길어질수록 큰 변화폭을 보이고 있다. 승용차의 경우 휘더선 길이 700m 이상부터 연결선과 통선의 차량검지길이 변화폭이 크게 증가하며, 승합차의 경우도 휘더선 길이 600m 이상시부터 큰 변화를 보이고 있다. 이러한 결과를 토대로 실험 차량의 미검지를 제외하고, 해당 차량검지길이를 이용한 검지율 평가시 최대 8.7%의 검지율 오차가 발생되며, 이는 실험상의 오차 3%를 고려 할 경우 양호한 결과로 판단된다.

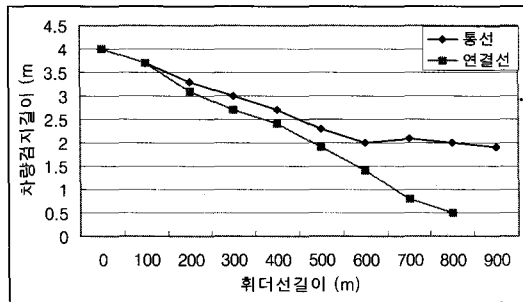
원형 루프검지기의 경우 8각 루프검지기와 동일하게 승합차 및 승용차에 있어 통선과 연결선 사용시 휘더선 증가에 따라 차량검지길이 감소하는 경향을 보이고 있다. 하지만, 통선의 경우 모든 차량에 대하여 휘더선 길이 900m 이내까지 차량을 정확히 검지하고 있으나, 연결선에 있어서는 승용차는 휘더선 길이 800m 이상, 승합차는 휘더선 길이 700m 이상시 차량을 미검지하는 결과를 보이고 있다. 또한 통선과 연결선에 대한 차량검지길이 변화폭은 휘더선 길이가 길어질수록 큰 변화폭을 보이고 있다. 승용차의 경우 휘더선 길이 200m 이상부터 연결선과 통선의 차량검지길이 변화폭이 크게 증가하며, 승합차의 경우도 휘더선 길이 400m 이상시부터 큰 변화를 보

〈표 6〉 휘더선 길이별 실험결과(원형)

휘더선 길이	승합차				승용차			
	통선		연결선		통선		연결선	
	차량 검지 길이 (m)	검지율 (%)	차량 검지 길이 (m)	검지율 (%)	차량 검지 길이 (m)	검지율 (%)	차량 검지 길이 (m)	검지율 (%)
0m	4.4	101.3	4.4	101.3	4.0	97.6	4.0	97.6
100m	4.0	98.3	4.0	98.3	3.7	98.4	3.7	98.4
200m	3.7	97.6	3.6	100.1	3.3	102.3	3.1	100.1
300m	3.3	98.5	3.0	99.4	3.0	102.5	2.7	101.5
400m	2.9	106.9	2.5	98.5	2.7	96.5	2.4	103.1
500m	2.7	101.3	1.9	100.1	2.3	94.3	1.9	99.0
600m	2.5	108.2	0.8	96.4	2.0	98.0	1.4	101.8
700m	2.0	100.5	0.4	96.9	2.1	103.8	0.8	103.9
800m	2.0	102.4	-	-	2.0	100.6	0.5	98.8
900m	1.8	106.5	-	-	1.9	106.6	-	-



〈그림 7〉 회터선 길이별 실험결과(승합차, 원형)



〈그림 8〉 회터선 길이별 실험결과(승용차, 원형)

이고 있다. 이러한 결과를 토대로 실험 차량의 미검지를 제외하고, 해당 차량검지길이를 이용한 검지율 결과는 최대 8.2%의 검지율 오차가 발생되며, 이는 실험상의 오차 3%를 고려 할 경우 양호한 결과로 판단된다.

2. 결과 제시

앞에서 살펴본 차량 주행속도별 차량검지길이는 실험결과 차량검지길리와 차량주행속도 사이에 상호 영향이 미미하다고 판단된다. 또한, 회터선 길이 및 결손 상태별로 해당 차량검지길리를 적용하여 검지율 평가시 양호한 검지율을 보이고 있다. 하지만 실험에 사용된 차량의 재원을 고려한다면, 차량검지길리와 차량 재원 사이의 오차가 5%(정확도 95% 이상 기준 적용시) 이내로 제시됨이 타당하다. 〈표 7〉은 승용차 및 승합차의 전장 재원에 대한 정확도 95% 이상시 적용 가능한 차량검지길리를 제시한다.

〈표 8〉의 차종별 허용 차량검지길리를 적용하여 8각 및 원형 루프검지기의 회터선 길이와 상태별 차량검지길리 기준을 살펴보면 다음과 같다.

- ① 8각 루프검지기의 경우 실험결과의 차량검지 길이가 〈표 7〉의 허용 차량검지길리 범위내에 포함

〈표 7〉 차량별 허용 차량검지길리

차종	재원	허용 차량검지길리
승용차	4.4m	4.1m ~ 4.7m
승합차	4.8m	4.4m ~ 5.0m

〈표 8〉 회터선 길이별 차량검지길리 기준안 제시

회터선 길이	승합차				승용차			
	8각		원형		8각		원형	
	통선	연결선	통선	연결선	통선	연결선	통선	연결선
0m	5.0	5.0	4.4	4.4	4.6	4.3	4.0	4.0
100m	4.5	4.5	4.0	4.0	4.1	4.1	3.7	3.7
200m	4.1	3.7	3.7	3.6	3.6	3.4	3.3	3.1
300m	3.7	3.2	3.3	3.0	3.2	3.1	3.0	2.7
400m	3.2	2.9	2.9	2.5	2.7	2.8	2.7	2.4
500m	2.8	2.6	2.6	1.9	2.3	2.6	2.3	1.9
600m	2.4	2.0	2.5	0.8	2.0	2.3	2.0	1.4
700m	2.4	1.1	2.0	0.4	2.3	1.8	2.1	0.8
800m	2.3	0.1	2.0	-	2.1	1.5	2.0	0.5
900m	2.1	-	1.8	-	2.1	-	1.9	-
1000m	1.7	-	-	-	1.9	-	-	-

주: (1) 상기 표에서 음영으로 처리된 부분은 해당 회터선 및 루프검지기에 대하여 일반적으로 적용 가능한 차량검지길리임.
 (2) 음영이외의 부분은 회터선 증가에 따른 차량 및 검지기별 보정 차량검지길리임.

되는 회터선 길이는 모든 차량에 대해 회터선 길이가 100m 이내이다. 따라서 8각 루프검지기는 회터선 길이 100m 이내에서 수집되는 검지정보에 대하여 차량검지길리를 그대로 적용해도 무방 하겠다.

- ② 원형 루프검지기의 경우 실험결과의 차량검지 길리가 〈표 7〉의 허용 차량검지길리 범위내에 포함 되는 회터선 길이는 모든 차량에 대해 회터선 길이가 0m이다. 따라서 원형 루프검지기는 회터선 길이 0m 이내에서 수집되는 검지정보에 한해서만 차량검지길리를 그대로 적용해도 무방 하겠다.

상기 제시된 회터선 길이 이상의 차량검지길리 적용 시 보정을 실시함이 바람직하며, 보정을 위한 차량검지 길리는 〈표 8〉과 같다. 단, 제시된 차량검지길리 연구 결과는 본 실험에 사용된 루프선 및 도입선, 회터선의 전선 사양과 현장제어기의 민감도 조정을 하지 않은 상태에서에서만 적용이 가능하다.

VI. 결론

본 연구는 실시간 신호제어용 루프검지기중 대기행

렬 예측을 위해 사용되고 있는 8각 및 원형 루프검지기에 한하여 설치위치 따른 휘더선 결선 상태 및 길이별 차량검지길이의 연구결과를 제시하였다.

본 연구 결과를 토대로 8각 및 원형 루프검지기에 대한 설치위치에 따른 휘더선 결선 상태 및 길이별 차량검지길이를 수집된 자료의 가공처리시 적용한다면, 수집정보의 가공처리상의 신뢰성 증대를 도모할 수 있다. 이를 통하여 실시간 신호제어시스템의 운영상 개선에 도움이 된다고 판단된다.

만약 실시간 신호제어시스템의 대기행렬 예측용 8각 및 원형 루프검지기에 대해 휘더선 길이 증가에 따른 차량검지길이 변화에 대한 고려 없이 적용한다면, 휘더선 길이 증가에 따른 차량검지길이 오차로 인하여 실제 대기행렬 실측치와 예측치간의 오차가 크게 발생하게 된다. 이러한 오차가 큰 대기행렬 예측치를 사용하여 실시간 신호제어에 이용한다면 신호제어의 지체시간 최소화라는 목적에 악영향을 줄 수 있다.

따라서 본 연구에서 제시된 휘더선 길이 증가에 따른 차량검지길이는 이러한 대기행렬 예측치와 실측치간의 오차 최소화를 도모하여 신호제어의 목적 구현에 이바지 할 수 있다고 판단된다.

본 연구는 실시간 신호제어시스템의 대기행렬 예측을 위해 사용되고 있는 8각 및 원형 루프검지기에 대한 휘더선 길이와 결선 상태별 차량검지길이 적용 결과만을 제시하였다. 향후 본 연구결과를 토대로 실제 실시간 신호제어의 알고리즘상 적용에 대한 연구가 필요하다. 또한 대기행렬 예측용도로 사용되고 있는 8각 및 원형 루프검지기에 대하여 휘더선 증가에 따른 차량검지길이 실험시 현장제어기의 민감도 조정을 고려하지 않았으며, 실험에 사용된 전선 사양에 대해서 서울시의 루프검지기 설치 시방서 및 경찰청 루프검지기 표준시방서에 근거하여 한정된 전선사양으로만 실험을 실시하였다. 그러므로 향후 현장제어기와 차량검지길이의 관계 분석과 다양한 종류의 전선을 이용하여 루

프검지기의 특성 실험을 실시하여, 보다 신뢰성 있는 루프검지기용 전선에 대한 명확한 규명이 요구된다.

참고문헌

1. 서울지방경찰청(1999). "신신호시스템 기능개선용역".
2. 서울지방경찰청(2000). "신신호시스템 기능개선용역".
3. 아주대학교 교통연구센터(1992). "서울 특별시 교통신호제어시스템 개발연구용역 수행 2차년도 결과 보고서" (검지기체계개발연구).
4. 서울지방경찰청. 교통신호제어시스템 NEMA 규격집.
5. 이용중(2003), 아주대학교 공학석사학원 논문. "실시간 신호제어시스템에서 대기행렬길이 산출 알고리즘 개발".
6. 이철기(1995), 대한교통학회지 제13권 제3호, "실시간 교통신호제어를 위한 루프 검지기의 최적 형태 결정에 관한 연구".
7. 이철기(1996), 대한교통학회지 제14권 제3호, "실시간 신호제어를 위한 차량검지기 정보의 신뢰성 비교 평가".
8. 서울지방경찰청(2003). "실시간 신호 제어시스템 검지기보수공사 공사시방서".
9. 도로교통안전협회(1994). "루프식 검지기 형태별 성능비교 분석".
10. 경찰청(2003), "루프검지기 신뢰도 향상방안 연구".
11. 경찰청(2003), "루프검지기 표준시방서".
12. Adolf D. May(1990), Traffic Flow Fundamentals.
13. Traffic Detector Handbook second edition, ITE.
14. William R. McShane, Roger P. Roess, Elena S.Prassas(1998), Traffic Engineering, Prentice hall.
15. <http://www.renoae.com/>.

✉ 주 작 성 자 : 송기혁

✉ 논문투고일 : 2004. 4. 16

논문심사일 : 2004. 5. 13 (1차)

2004. 5. 30 (2차)

심사판정일 : 2004. 5. 30

✉ 반론접수기한 : 2004. 10. 31