

□ 論 文 □

원형검지기와 기존검지기의 비교 분석에 관한 연구

A Comparison Between Round Loop and Existing Octagonal Loop Detectors

張 德 鳴

(道路交通安全協會 研究委員)

金 榮 南

(道路交通安全協會 研究員)

— 목 차 —

I. 서론

II. 연구방법

III. 자료분석 및 평가

IV. 결론

— ABSTRACT —

In order to operate the computerized traffic signal system, it requires the detectors which ensure the exact detections of actual traffic data(e.g., traffic volume, occupancy and velocity of vehicles). The octagonal detectors are used currently in Korea. However, the maintenance of the detectors has many problems with the road repairs and the constructions on the pavement, and failure due to the disconnection of the wires. Serious delay due to the long installation time of loops also causes the traffic disturbances. The low sensitivities and splash-over effect can sometimes create error data after installation of the octagonal loops. The main purpose of this study is to evaluate the feasibility of domestic use of the round(circular) inductive loops which developed recently in U.S.A.

It was found that the round loops are comparable to the existing octagonal loops. In addition, the use of the high quality of materials in the round loop system can reduce the current problems and weakpoints of the octagonal loops. The installation cost of the round loop was found out as economic as the octagonal loop. The installation time of the round loop system can be reduced with the specially equipped loop truck, and wide/deep slots without sharp corners can extend the durability without serious stress of loop head wires.

In conclusion, the round loop is superior to the octagonal type in overall points. It is recommended that the localization of the materials and equipments of round loop system is required to carry out the extensive local installations.

Also, several contractors to meet the nationwide demand should be arranged to gurantee the proper maintenance and operation of the systems.

I. 서론

심화되고 있는 도심교통 체증을 해소하기 위한 방안으로는, 새로운 도로를 건설하는 방법과, 대중교통의 활성화 또는 TSM(Transpotation Systems Manegement) 등으로 기존 도로의 용량을 극대화하는 방안 등이 있다. 또한 도심교통의 효율적인 운영을 위하여 전자교통신호를 설치하여 교통량의 변화에 효과적으로 대응하므로써 교통체증 현상을 감소시키고, 차량의 분산을 통하여 전체 도로망을 효율적으로 사용할 수 있는 방안이 있다. 전자교통신호의 효과적인 운영을 위해서는 실제교통량을 정확히 검지할 수 있는 검지기(Detector)가 필요하다.

검지기란 일반적으로 차량의 통과교통량과 점유시간 등의 자료를 얻을 수 있는 교통신호제어기의 일부분으로써 현재 우리나라에서는 대부분 4각 또는 8각 모양의 형태인 인덕티브 루프(Inductive Loop) 검지기를 사용하고 있다. 그러나 도로의 공사 및 차체 단선 등으로 인한 유지 관리의 어려움이 있는 실정이다. 또한 설치공사시 공사시간 동안 교통혼잡을 유발하는 불편과, 설치후 운영시 감도저하 및 자장의 옆퍼짐(Splash-over) 현상 등으로 인하여 오자료의 수집 가능성 및 유지보수의 어려움이 있다. 본 연구는 이러한 문제를 해결하기 위하여 최근 선진국에서 개발되어 사용중이며 타당성을 인정받은(특히 미국 로스엔젤레스 교통국에서 그 효율성 및 타당성을 공식검증함) 원형 루프검지기의 국내 사용설치 타당성을 검토하는데 목적이 있다. 원형 루프검지기의 타당성 검토를 위하여 기존 팔각 루프검지기와의 호환성을 비교하고 기타 제반 장단점들에 대하여 검토해 보고자 한다.

1. 연구배경 및 목적

현재 우리나라의 교통상황 실태는 지난 몇년

동안 급격한 차량증가로 대도시는 물론 중소도시까지도 교통문제의 심각성을 인식하여 교통정책 일환으로 전자교통신호 체계 도입에 많은 기대를 갖고 있는 실정이다. 전자교통신호 설치시 중앙 컴퓨터에 의하여 제어지역내에 교통흐름을 감시 통제하므로써 다음과 같은 효과를 기대할 수 있다.

- 교통량에 따른 최적의 신호시간 제공으로 지연 시간 및 정지율 감소
- 최적의 신호운영으로 교차로의 현존 도로용량을 최대한 활용
- 관제지역내의 모든 교차로의 상황을 신속하게 파악하여 신호체계 유지보수 원활
- 여행속도 증가와 지연시간 감소에 의한 차량운행비 및 시간가치비용 절감
- 배기 가스에 의한 공해 감소

전자교통신호 도입을 지속적으로 확대함에 있어서 우선적으로 루프검지기에 대한 신뢰성이 검증되어야 한다. 이러한 신뢰성을 토대로 검지기의 형태별 및 설치방법에 따른 내구성 및 경제적인 측면에서도 심도 깊은 연구가 이루어져야 한다. 현재 전자교통신호 설치지역을 중심으로 루프검지기의 설치는 서울 2600개소 등 전국적으로 6000여개가 도로상에 매설되어 교통정보는 루프검지기에 의존하고 있는 실정이다.

전자교통신호 운영에 중요한 역할을 하는 루프검지기에 대하여 본 연구에서는 1) 형태별(원형 및 팔각) 루프검지기의 데이터 또는 자장감도를 측정하여 운영되고 있는 시스템과의 호환성 및 신뢰성 여부를 제시해주고, 2) 사용되는 기자재 및 장비 그리고 시공방법 등에 대한 검토가 다각적으로 제시되어 내구성에 대한 연구 분석을 하며, 3) 시공상에 있어서 가장 심각한 문제인 안전사고 및 교통체증을 유발시키는 시공 소요시간을 비교 제시해 주고, 4) 시공상의 소요경비를 제시하여 경제적인 측면을 비교 평가하였다. 따라서 본 연구는 궁극적으로 교통안전시설 및 대책에

중점을 두었고 루프검지기에 대한 설치 및 관리 규정을 정립하는데 목적을 두고있다.

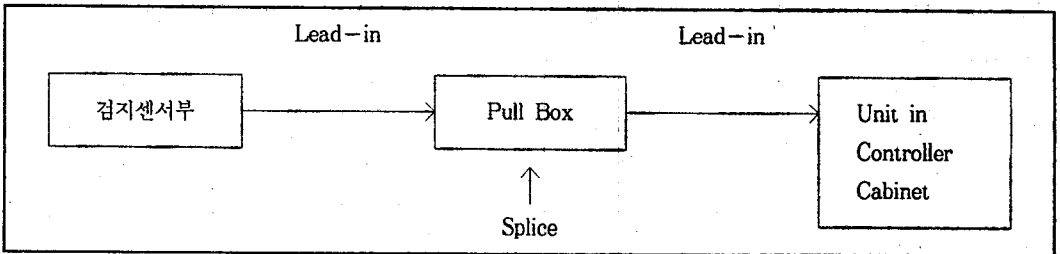
2. 문헌고찰

검지기는 형태별, 원리별로 다양하다. 그러나 전 세계적으로 현재 주로 교통량 및 교통 주행변수(Parameter)를 얻기 위한 검지기로는 루프검지기를 가장 많이 사용한다. 그러나 루프검지기는 도로의 포장상태와 사용되는 자재로 인하여 인덕턴스 변화에 영향을 미치는 요인이 되며, 또한 시공상의 부실 유무와 검지기의 형태 및 크기에 따라 효능이 현저히 차이가 난다. 즉, 시공의 부주의로 인해 루프검지기에 습기가 차거나, 단선등으로 인해 오자료 및 자료 수집이 불가능한 경우가 많다. 참고자료의 고찰에 의하면 원형 루프검지기

는 단선 및 보습효과가 뛰어나며, 자재의 재질도 기존의 팔각 루프검지기보다 우수하다고 되어있다 (1).

검지기는 현장의 교통상태의 변이를 검지하여 교통신호제어에 사용할 수 있는 교통정보로 처리하여 출력하는 장치를 말한다. 검지기는 검지방식 및 검지원리에 따른 소프트웨어적인 분류와 검지센서(Sensor)에 따른 하드웨어적인 분류로 구분된다. 검지원리에 의한 분류에는 기계적인 접촉에 의하여 교통량을 검지하는 방식과 전자기적인 에너지의 변화에 의하여 교통량을 검지하는 방식으로 구분된다 (2,3). 현재 주로 사용되고 있는 인덕티브 루프검지기(Inductive loop detectors)는 Roadway Sensor, Lead-in Cable, Pull Box, Controller Cabinet으로 구성되어 있다(<그림 1> 참조) (4).

<그림 1> 검지기 구성도



루프검지기는 검지영역내에 차량이 들어오는 경우 변화하는 인덕턴스(Inductance)를 감지하여 차량의 유무를 판별하는 원리로 작동한다. 따라서 루프검지기의 설치 활용시에는 검지영역내의 인덕턴스에 영향을 미치는 요인들을 제거하여 안정적인 동작을 유지하는 것이 중요하며, 시공시 유의할 사항을 열거하면 다음과 같다(3, 4, 5).

- 루프코일은 슬롯에 일직선으로 배열해야 한다.
- 루프코일은 슬롯내에 고정되어야 한다.
- 검지부에서 케이블까지의 도입선은 검지부 인덕턴스의 변화에 영향을 미치지 못하도록 1ft

당 5-10회 정도로 휘감어 도입선의 인덕턴스 변화를 상쇄시켜야 한다.

- 보강재료는 루프코일을 완전히 둘러싸도록 삽입되어야 한다.
- 검지기 입력단까지의 케이블은 검지부 인덕턴스의 변화에 영향을 미치지 못하도록 차폐(Shield) 되어야 하며, Twist 되어있는 재료를 사용한다.
- 루프도입선은 위에서 좌로 동일방향으로 계속 유지하며 꼬아야 한다.
- 루프코일과 케이블의 임피던스 값은 최소한

NEMA에서 제시한 값과 유사한 수준으로 유지되도록 표준화하여야 한다.

원형 루프검지기 자재는 Head 및 Lead-In Wire, Lead-In Cable, 실린트로 구분된다(1). Head 및 Lead-In Wire의 자재는 타입-2 루프와이어를 사용하며, 플라스틱 튜브의 안에 내심(Conductor)을 내장하였으며, 콘덕터는 동을 입힌 넘버-14을 사용한다. 튜브는 섭씨 105도에서도 사용할 수 있는 폴리에틸렌 또는 비닐을 사용하고, 오일이나 기술린에 견딜수 있다. Pull Box에서 제이기까지의 연결을 위하여 사용되는 Lead-In Wire는 타입 B로서 폴리에틸렌 튜브를 사용하고 각 콘덕터(Conductor)마다 동을 입힌 넘버-16 와이어(Wire) 2개로 구성되어 있다. 케이블(Cable)은 35mm로 폴리에틸렌 자켓을 입혔고, 습기의 흡수를 막기위해 방습 폴리에틸렌이나 폴리프로플렌을 입혔다. 원형 루프검지기에서 사용되는 실린트는 고온에서 녹혀 고무화한 아스팔트 재료로서 실내온도 정도에서 굳으며, 화씨 375-400도 정도에 액화 시킬수 있다. 실린트로부터 나오는 냄새는 무독성이며, 실린트는 아스팔트 콘크리트나 포틀랜드 시멘트 콘크리트에 사용하기 적당하다.

II. 연구방법

본 연구의 현장시험 및 조사를 위하여 2개 지역에 현장조사를 실시하였다. 자료분석 단계에서는 관제센터에서 수집된 원형과 기존 팔각 루프검지기의 교통정보 데이터를 사용하였다. 기존 팔각과 원형 루프검지기의 호환성 및 신뢰성 여부, 시공상의 차이에 따른 교통소통 및 설치비용의 차이점, 자재비교를 통한 내구성 및 경제성을 비교하기 위해 아래 항목으로 나누어 분석하였다.

- 기존 팔각과 원형 루프검지기의 공사설치 소요 시간
- 사용자재(Loop Head, Lead-in Wire, 실린

트)

- 동일차선에서의 기존 팔각 및 원형검지기와 현장에서의 조사자료 비교 분석
- 소요되는 공사 경비 및 시공방법 비교
- 미국 NEMA 규격에 의한 전기적 특성 및 동작상태 비교

1. 연구수행 절차

본 연구는 문제인식 → 문헌고찰 및 자료수집 → 원형검지기 설계 설치 → 현장조사용 List작성 → 현장조사 및 자료수집 → 자료정리 및 비교분석 → 비교평가 및 종합결론 → 종합연구보고서 작성의 연구절차에 의하여 수행되었다. 자료 분석 단계에서는 NEMA(National Electrical Manufacturers Association) 규격에 의한 형태별 루프검지기의 전기적 특성 및 동작 상태를 측정 비교하였다. NEMA는 미국 전자생산업체의 주요모임으로 교통관제부(Traffic Control Systems Section)에서 주로 교통제어를 담당하는데, NEMA 표준의 승인을 득하기 위하여는 검증된 디자인이어야 하며, 현존기와 호환성 및 신뢰도가 좋고 고장이 적어야만 한다(6).

비교평가 단계에서는 통계학적 단순 분석방법인 오차율(Percent Error)에 의한 분석을 사용하여 데이터의 호환성 여부를 검증하였다. 시간단위별 실측교통량에 대한 원형 및 기존 팔각검지기 데이터의 퍼센트 차이를 제시하였으며, 특히 15분 단위별 교통량의 차이를 5% 오차 단위별로 구분하여 두검지기의 신뢰도를 비교 평가하였다. 또한 통계학적 테스트 방법인 Paired-Difference T Test를 이용하여 조사된 자료를 비교 평가하였다. Paired-Difference T Test를 이용한 귀무가설(H0) 및 대립가설(H1)과 채택영역을 다음과 같이 설정하고 검증하였다.

H_0 = 원형과 기존 팔각 루프검지기의 교통정보 데이터는 차이가 없다.

H_1 = 원형과 기존 팔각 루프검지기의 교통정보 데이터는 차이가 있다.

채택영역: 유의수준 5%와 자유도 (조사 자료수 -1)에 의해서 계산된 값 T가 임계치보다 클 때 H_0 를 거부한다.

2. 조사 자료

조사 대상지역으로 창원과 인천 두 지역에 원형검지기를 설치공사하여 자료를 수집하였다. 창원과 인천 두 지역은 동일한 전자신호체계 시스템으로 운영되고 있으며, 창원의 경우 가장 최근에 관제센터가 설치되어 타지역보다 시스템의 신뢰도가 높은 것으로 평가될 뿐만 아니라, 본 연구 이전에 이미 업체에서 1개 교차로에 원형검지기를 매설하여 실험한 바가 있다. 인천의 경우는 창원과 상호 비교 검토가 용이하여 본 연구를 통하여 공사설치하여 자료를 수집하였다. 원형검지기는 동일차선에 기존 설치되어 있는 팔각 루프검지기 후방 10미터 지점에 설치하였다(<그림 2> 참조).

- 정지선에서 루프검지기까지의 거리 130M
- 신호주기(Cycle : 130초)
- 창원 : 편도 5차선 도로(남향 : 2.3, 북향 : 1.2

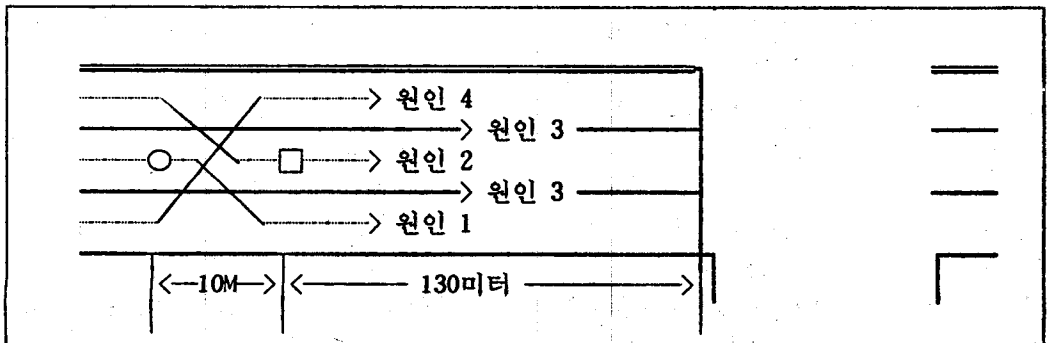
차선에 루프설치)

- 인천 : 편도 3차선 도로(남향, 북향 : 2차선에 루프설치)

교통량 현장조사 진행 과정에서 차선별로 교통량을 조사하는데 잦은 차선 변경으로 인한 교통량에 오차가 있었다. 또한 15분 간격 시간대별로 조사하는데 필요한 센타와의 시스템(System) 정보를 정확한 시간으로 출력(Print out) 시키는데 애로점이 있었다. 조사 수집자료의 오정보 및 오차의 가능 원인으로 다음과 같은 몇가지 사항들을 요약 정리하였다(<그림 2> 참조).

- 원인 1 : 차선변경으로 인한 원형검지기 점유, 기존 팔각검지기는 비점유
- 원인 2 : 차선변경으로 인한 원형검지기 비점유, 기존 팔각검지기는 점유
- 원인 3 : 원형검지기 및 기존검지기의 양쪽 경계차선 중앙으로 통과시
- 원인 4 : 두개 차선 경유 원형 및 팔각검지기 사이를 통과 주행하는 경우
- W.D.T와 CPU 시간과의 차이
- 관제센터 운영요원 근무시간 전에 조사(오전시간대는 루프검지기가 두개 차선에 설치하였을 경우 한쪽 차선에만 통과차량으로 산출하였다)

<그림 2> 조사 수집자료의 오정보 및 오차의 가능 원인



조사표 작성 및 현장조사는 2개지역 연구대상 지점에 3일간 실시하였다. 조사된 총 데이터 수는 63개 중(15분 단위별 각 실측, 원형, 기준별) 분석에 사용된 데이터는 40개로서, 실측에 비하여 원형과 기준루프검지기 공히 25% 이상의 오차를 보여주는 데이터(Outliers)를 제외한 필요한 데이터를 재추출하여 자료분석 및 평가에 사용하였으며, 직접 실험 또는 연구결과 보고서를 참고로 하였다. 또한 시스템 관계센터 교통정보를 통하여 비교하였으며 실험장비를 이용하여 직접 측정하였고, 민감도 실험에 있어서는 환경 여건이 부적합한 관계로 참고 보고자료 (7)를 인용하였다. 기타 필요한 사항에 대해서는 물가정보 또는 품셈자료를 이용하여 루프(팔각, 원형) 검지기에 대한 설치가격을 비교하였다. 내구성에 있어서는 사용하는 자재 또는 시공방법의 상이한 관계로 조사에 의한 비교보다는 단순한 비교를 통해서 얻을수 밖에 없었다.

3. 분석 방법론

기존 팔각과 원형 루프검지기의 신뢰성 및 호환성 비교 분석을 위하여 루프검지기의 기본이 되는 내용을 측정하고 현재 사용되고 있는 루프검지기 사양에 적용되는 NEMA기준에 적합되는지 형태에 따라 측정값을 비교 분석하였다.

저항(R:Resistance)은 전압과 전류의 비례상수이며, 도체의 길이에 비례하고 단면적에 반비례하는 값을 나타내며 도입케이블의 길이에 따라 시스템의 감도와 성능을 결정하는 요소로써 작용한다. 커패시턴스(C:Capacitance)는 균일한 전계내에 두 도체가 있는 경우 도체간의 전위차와 전하량의 비율로 나타내며, 검지부의 외부 환경적 변수(온도 및 습도)에 의한 영향과 설치시 시공상의 문제가 있는 경우 유전상수 때문에 루프시스템의 성능에 영향을 미친다. 인덕턴스(L:Inductance)는 도체와 도선에 전류가 흐르면 도체

주위로 자속(Flux)이 발생하며 자장(Magnetic Field)이 형성된다.

질 계수(Q:Quality Factor)는 루프 시스템 회로의 공진효율(Resonant Efficiency)을 측정하기 위한 값이다. 루프코일의 패턴을 바꾸거나 회전수를 증가시켜서 인덕턴스를 증가시키거나 저항을 감소시킴으로써 시스템의 질 계수를 크게 할 수 있다. NEMA에서 제시하는 루프 시스템의 질 계수 값은 5이상으로 규정하고 있다. 질 계수값이 5이하로 저하하면 에너지 손실이 많아서 정상적인 발전회로를 구성할 수 없으며 이상동작을 한다. 질 계수는 저항에 큰 영향을 받으며 습기에 의한 저항 값이 증가하면 질계수 값은 감소하게되며, 루프검지기의 위치에 따라 값이 변한다 (4).

루프검지기의 호환성 비교를 위하여 동일 시스템으로 운영되는 지역에 원형 루프검지기를 설치하고 교통량을 조사하였으며, 시스템에서 출력(Print Out)되는 데이터와 비교하여 분석하는 방법을 택하였다. 또한 속도 및 점유도를 시스템에서 출력(Print Out)되는 데이터에 의하여 기존 검지기와 원형 루프검지기간에 호환성 여부를 분석하였다.

형태별 루프검지기의 민감도 비교를 위하여 측정장비(Inductive Loop Analyzer)를 이용하여 측정하였다. 차량이 통과하지 않을때 인덕턴스를 알아보기 위한 실험으로 루프검지기 형태별 측정 방법은 Center에서 0.3미터와 1.5미터 높이에서의 자장감도와 옆퍼짐(Splashover) 상태의 인덕턴스 값을 비교하여 인접차량 또는 차대높이에 따른 인덕턴스의 변화를 알아보기 위한 방법으로 제시하였다. 또한 차량의 통과로 형태별 루프검지기가 검지되는 최소 인덕턴스 변화를 제시하고 형태별 루프검지기의 점유면적에 따라 감도의 변화를 NEMA 규격에 제시된 내용과 비교하였다.

내구성은 루프검지기 설치방법에 있어서 중요하기 때문에 충분한 시간을 두고 동일한 조건에서 설치된 날짜, 환경여건, 도로의 노면 상태 등

종합적인 측면에서 검토되어 자연적인 고장발생 원인을 분석하고 내구성 및 내구년한에 대한 정립을 확립시켜야 하나, 본 연구에서는 시간적인 제한때문에 사용되는 자재와 시공방법을 중심으로 비교하여 제시하였다.

형태별 루프검지기의 경제적인 측면에서의 분석방법은 내구년한과의 밀접한 관계가 있기 때문에 장기적인 측면에서 비교 분석하고, 설치시 소요되는 예산과 소요시간 등 다각적인 방면에서 검토가 이루어져야 하나 본연구에서 사용된 자재의 가격과 설치시 소요되는 시간을 비교하여 제시하였다.

III. 자료 분석 및 평가

1. 형태별 루프검지기의 특성 비교

루프선을 통하여 흐르는 전류에 의해 루프검지기 주위에 전자장이 발생하게 된다. 이것은 루프검지기의 형태에 따라 어느 정도 차이가 있는지 비교하기 위한 시험으로 만약에 차량이 전자장 내로 들어오게 되면 와동(Eddy) 전류가 차체에 흡수되어 자력선을 감소시키는 효과를 얻게되며 자기 인덕턴스 감소는 루프선이 공진할 수 있도록 주파수를 증가시키게 된다. 이러한 주파수의 변환 또는 위상의 전이 (Phase Shift) 등이 검지 자료를 얻는 기본이 되기 때문에 본 시험에서 형태별 루프검지기에 대한 특성을 제시하였다. 다음 <표 3>에서 보여주는 바와 같이 현재 운영되는 시스템과의 적합여부를 비교하기 위하여 NEMA 규격에 요구하는 값들과 측정된 자료들을 통해 분석한 결과, 그 범위안에 포함되어 기존 사용하는 시스템과의 전기적인 특성에는 형태에 관계없이 시공할 수 있다고 검증되었다.

<표 3> NEMA 규격에 제시된 값과 형태별 루프 검지기의 전기적 특성비교

창원지하차도 앞		도청상행 (남→북)			도청하행 (북→남)		
종류	검지기번호	L (μ h)	R (Ω)	Q	L (μ h)	R (Ω)	Q
팔각	1차선(기존)	144.0	0.9	41.1	166.0	1.5	26.0
	4차선(기존)	141.0	0.4	79.8	170.0	1.0	29.1
원형	2차선(426)	83.3	0.4	61.3	95.6	0.6	49.2
	3차선(429)	81.5	0.4	60.6	94.1	0.6	48.8
NEMA 규격		50-800 μ h	10 Ω 이하	5이상	50-800 μ h	10 Ω 이하	5이상

인천 2개소		화랑농장 상행			현대APT 상행		
종류	검지기방향	L (μ h)	R (Ω)	Q	L (μ h)	R (Ω)	Q
팔각	남 → 북	137.0	0.8	49.0	N/A	N/A	N/A
		125.0	0.3	26.0	N/A	N/A	N/A
원형	남 → 북	120.0	1.2	27.7	109	0.6	52.7
		109.0	0.6	26.0	113	0.7	42.9
NEMA 규격		50-800 μ h	10 Ω 이하	5이상	50-800 μ h	10 Ω 이하	5이상

2. 형태별 루프검지기의 신뢰성 및 호환성 비교 분석

형태별 루프검지기의 신뢰성 및 호환성 비교를 위하여, 직접 원형 루프검지기를 설치하여 현재 운영되고 있는 System과 연결하여 비교하였다. 지역별 또는 차선별로 두가지 형태(기존 팔각과

원형)와 현장조사된 교통량과의 오차율에 따라 통계자료를 구하고 빈도표를 작성하였으며, 조사된 교통량과 System 교통량을 백분율로 산출하였다. 인천, 창원지역에서 산출된 자료에서 지역별 무작위로 15분 단위 20개 교통량 데이터를 추출하여 분석자료로 사용하였다 (<표 5> 참조).

<표 5> 총 교통량 차이 및 오차율 비교

조사지	현장조사	팔 각	원 형	실측:팔각	실측:원형	팔각:원형
인 천	3441	3542	3516	-101	-75	26
	오차율 ($ V1-V2 / V1 \times 100$)			2.8%	2.1%	0.7%
창 원	851	900	834	-45	21	66
	오차율 ($ V1-V2 / V1 \times 100$)			5.0%	2.5%	7.3%

<표 5>에서 제시된 바와 같이 인천의 조사 데이터가 창원보다 검지기자료가 현장조사 교통량에 더 근접한 결과를 보여주고 있다. 그 이유로는 인천 조사지 교통량이 창원보다 많았으며, 인천의 경우 조사지가 편도 2차선도로인데 비하여 창원의 경우는 편도 4차선의 간선도로이었기 때문으로 사료된다.

두 조사지역 모두 현장조사 교통량을 기준하여 5.0% 이하의 오차율을 보여주며, 원형 루프검지기 데이터가 기존 팔각검지기보다 더 좋은 결과를 보여주고 있다. 기존 팔각과 원형검지기는 상호 호환성이 있는 것으로 검증되었다.

통계학적 단순 분석방법인 오차율(Percent Error)에 의한 분석을 사용하여 데이터의 호환성 여부를 검증하기 위하여, 15분 단위별 교통량의 차이를 5% 오차 단위별로 구분하여 두검지기의 신뢰도를 비교 평가하였다.

창원에서는 교통량이 적고 차선이 넓으며 검지기의 매설위치인 정지선으로부터 130미터 후방에서 운전자들의 잦은 차선변경으로 점유와 비점유의 차이로 인하여, 실측과 검지기 데이터와의

오차가 크게 나타났다. 따라서, 자료분석 단계에서는 인천의 데이터를 활용하였다.

다음 <표 6>은 15분 단위별 교통량의 차이를 5% 오차 단위별로 구분하여 조사자료의 오차범위내의 빈도수를 보여주고 있다.

다음 <그림 3>은 15분 단위별 교통량의 차이를 1% 오차 단위별로 구분하여 조사자료의 오차범위내의 빈도수를 보여주고 있다.

<표 6>과 <그림 3>에서 제시된 바와 같이, 원형이 팔각검지기보다 약 5%정도 실측 데이터에 더 근접한 데이터를 제공해주고 있으며, 또한 팔각과 원형검지기의 차이가 거의 없는 것으로 나타났다.

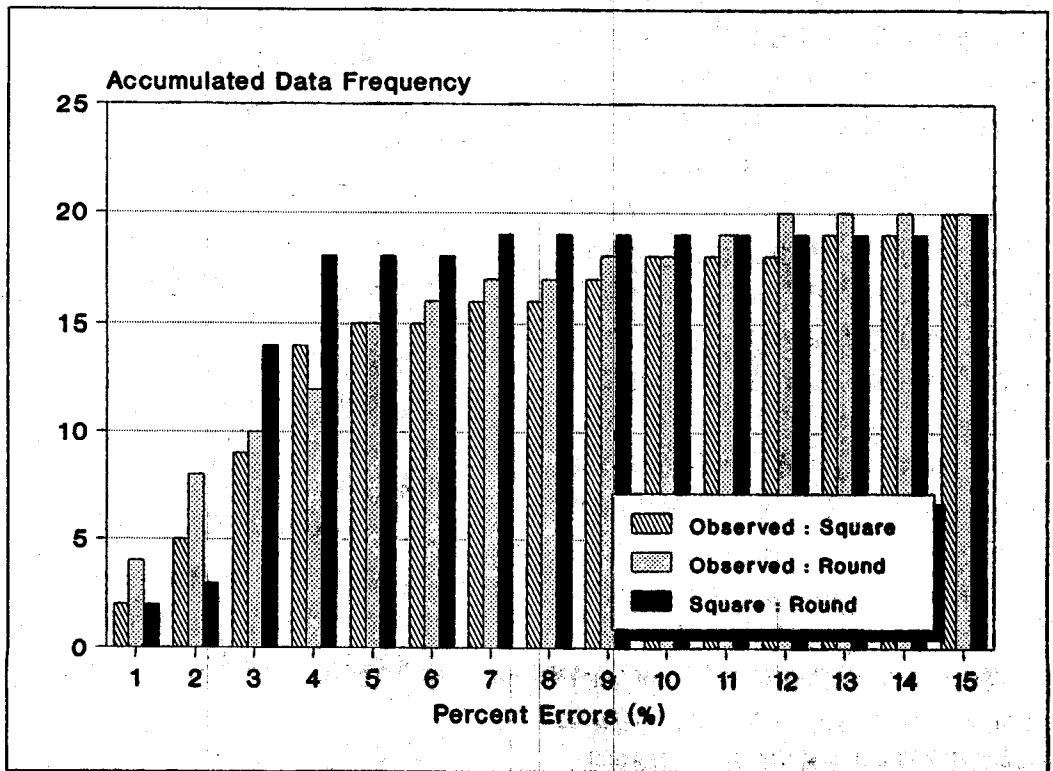
누적 퍼센트 오차율(Accumulative Percent Errors)을 보면, 실측대비 원형검지기와 팔각대비 원형검지기의 교통량 데이터는 95%가 10% 이하의 오차율 범위내에 포함되어 있는 것으로 나타났다. 특히 실측대비 원형과 팔각검지기의 교통량 데이터는 100%가 15% 이하의 오차율 범위내에 포함되어 있어, 매우 우수한 결과를 보여주고 있다.

<표 6> 15분 단위별 인천 교통량의 퍼센트 오차범위내 빈도수

교통량 비교 대상	퍼센트 오차($ V1-V2 /V1 \times 100$) 범위내 조사 빈도수					
	5%이하	6-10%	11-15%	16-20%	21%이상	계
실측 : 팔각	15	3	2	0	0	20
실측 : 원형	16	3	1	0	0	20
팔각 : 원형	18	1	0	1	0	20

교통량 비교 대상	누적 퍼센트 오차율(Accumulative Percent Errors)					
	5%이하	10%이하	15%이하	20%이하	21%이상	계
실측 : 팔각	75%	90%	100%	100%	100%	100%
실측 : 원형	80%	95%	100%	100%	100%	100%
팔각 : 원형	90%	95%	95%	100%	100%	100%

<그림 3> 15분 단위별 인천 교통량의 퍼센트 오차범위내 형태별 빈도수



다음 <표 7>은 Paired-Difference T Test 통하여 산출된 t값을 보여주고 있다. 본 연구에서의 두 집단 데이터인 세가지(실측:팔각, 실측:원형, 팔각:원형) 경우를 두 조사지점을 대상으로 각각 검증하였다. 유의수준 5%와 자유도 19(조

사 자료수-1)에 의해서 산출된 임계치 값은 2.093이다. 따라서 임계치 값보다 작은 t값이 산출된다면 귀무가설 H0을 거부할 수 없으므로, 두 데이터는 차이가 없다고 결론내릴 수 있다.

<표 7> Paired-Difference T Test를 위한 산출 계산된 t값

조사지	실측 : 팔각	실측 : 원형	팔각 : 원형	임계치
인 천	- 2.58 (H ₀ 거부)	- 2.36 (H ₀ 거부)	+ 1.00 (H ₀ 인정)	2.093
창 원	- 2.18 (H ₀ 거부)	+ 0.78 (H ₀ 인정)	+ 1.54 (H ₀ 인정)	2.093

<표 7>에서 제시된 바와 같이, 기존 팔각과 원형검지기는 임계치 값보다 작은 t값이 산출되었으므로, 귀무가설 H₀을 거부할 수 없으므로, 두 데이터는 차이가 없다고 통계학적으로 결론내릴 수 있다. 특히 창원의 경우 실측과 원형검지기 데이터가 차이가 없는 것으로 검증되었다. 형태별 루프검지기의 차선별 교통량의 통계 분석자료를 살펴보면 형태별 루프검지기의 Data 값과 실제로 조사된 교통량과 거의 비슷한 양상을 보였으며, 실제 교통량과의 편차가 있는 경우는 조사시간과 System의 시간적인 오차, 차선변경으로 인한 조사자의 시인성 부족, 운전자의 습관으로 인한 오 정보가 편차에 중요한 변수로 대두된 것으로 분석되었다.

또한 점유도 및 속도를 시스템에서 출력되는 데이터에 의하여 기존 검지기와 원형루프검지기에 호환성 여부를 분석하였다 (<표 8> 참조). 점유값이란 단위시간동안 검지기 위에서 차량이 검지되는 기준 검지시간의 횟수를 말하며, 1분동안의 최대점유값은 52회이다. 시스템에서 출력되는 속도는 교통량에 비례하며, 점유율에는 반비례하는 다음의 관계식에 의하여 산출된다.

$$v = \frac{V \times VPHR}{168 \times O}$$

여기서 : v = 속도 (Km/시간)
 168 = 단위환산계수
 V = 교통량(%), O = 점유율(%)
 VPHR = 포화교통량 (대/시간)

실제로 단일 검지기에서 측출된 점유율과 속도와의 관계에서 점유율이 7% 이내에서의 실제교통류 흐름은 자유속도에 가까우므로 속도 계산은 신뢰성이 부족하며, 또한 교통류의 파라미터(교통량, 밀도 및 속도)의 관계에서 교통밀도가 최대에 이르면 속도가 0이 되므로 통행량은 0이 된다. 따라서 교통량과 속도 및 점유율은 일정 범위에서는 선형관계를 갖지만 그 범위의에서는 선형관계를 갖지 않는다.

인천의 경우에서 팔각과 원형검지기에서 검지된 점유율과 속도를 비교해 보면, 전반적으로 두 값이 교통량과 점유율 및 속도에서 서로 선형관계를 유지하고 있다. 따라서 팔각과 원형루프검지기는 서로 충분한 호환성이 있다고 결론내릴 수 있다.

<표 8> 인천 15분 단위 시스템에서 출력 점유도 및 속도 비교

15분 단위 교통량 (대/15분)			점유값 (횟수)		속도 (Km/시간)	
현장조사	팔각	원형	팔각	원형	팔각	원형
203	228	220	100	89	22	23
170	170	165	65	59	25	28
195	192	188	80	73	22	25
163	186	182	74	65	25	28
171	172	168	76	68	23	27
197	202	195	93	80	21	23
195	200	203	82	76	22	24
175	177	173	68	62	22	24
166	170	166	66	62	24	27
185	182	186	95	87	17	20
176	183	184	78	70	20	22
214	222	217	101	91	22	23
223	241	233	N/A	N/A	N/A	N/A
202	210	204	107	125	18	15
88	80	94	33	34	21	28
168	172	177	73	74	24	24
96	102	106	39	37	26	30
163	158	158	66	66	23	23
116	112	119	56	52	21	24
175	183	178	81	77	22	24

3. 형태별 루프검지기의 민감도 실험 분석

일반적으로 루프검지기의 민감도(SL: Sensitivity)란 차량의 통과시와 차량이 통과하지 않을 경우의 자기장의 차이를 말한다. 민감도를 조사하는 방법으로 사용되는 공식은 다음과 같다.

$$SL = 100 \times (LNV - LV) / LNV$$

여기서: LNV = 자동차가 점유하지 않은 경우

LV = 자동차가 점유한 경우

루프검지기의 민감도 측정은 두가지로 구분하여 시험하였다. 1) 옆차선 또는 인접차량에 의한 루프검지기의 동작상태 및 노면으로부터 차량 하부의 높이에 따라 검지기 형태의 인덕턴스의 변

화를 측정장비(Inductive Loop Analyser)를 이용하여 제시하였고, 2) 차량 통과로 루프검지기가 감응되는 인덕턴스의 변화를 측정하였다. NEMA 표준은 6x6ft(1.8x1.8m) 루프검지기(회전수 3회, Lead-In 100ft)의 증양으로 차량 통과하는 경우 다음과 같이 3가지 종류로 나누어 민감도 값을 제시하고 있다 (4).

- Class 1-소형 모터사이클: $\Delta L/LNV = 0.13\%$, $\Delta L = 0.12\mu h$
- Class 2-대형 모터사이클: $\Delta L/LNV = 0.32\%$, $\Delta L = 0.30\mu h$
- Class 3-승용차: $\Delta L/LNV = 3.20\%$, $\Delta L = 3.00\mu h$

여기서: L_{NV} = 자동차가 지나가지 않은 경우
 ΔL = 자동차가 지나가면서 변한 인덱터스의 값

또한, NEMA에서 제시하고 있는 검지기의 장치는 0.02%의 인덱터스 변화에도 반응하여야 된다고 규정하고 있다. 따라서 민감도 시험을 기존

검지기에 대해서는 본 연구소에서 시험한 결과치를 인용하였고, 원형검지기는 원형검지기 공사업체에서 시험한 결과치를 사용 비교하였다. 다음 <표 9>에서 보여주듯이 자장 감도는 중앙값에서 원형이 다소 높게 나타났다.

<표 9> 차량이 통과하지 않을때 민감도 측정

장 소	노면에서부터 차량 하부까지의 높이	중앙자장값(KH)		옆퍼짐	
		원형	팔각	원형	팔각
창원 중앙지하도	0.3m	62.96	57.52	2.0m	2.0m
	1.5m	62.96	57.52	0.9m	1.0m

다음 <표 10>은 루프검지기의 형태에 의한 차량이 통과할때 민감도 변화를 비교한 것으로 원형이 기존 팔각검지기보다 민감도가 높은 결과를 나타내주고 있다. 이와같은 결과는 검지신

호의 감쇠와 외부환경의 변동 등에 의한 검지기 오동작을 방지하는데 효과가 있다. 본 연구에서는 차종유형이 감도에 미치는 영향도는 고려하지 않았다.

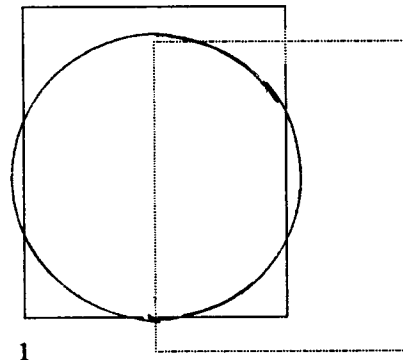
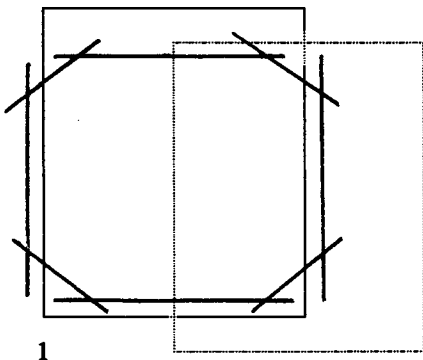
<표 10-1> 차량이 통과할때 민감도 측정

○ 기존 팔각 루프검지기 (1.8×1.8m×3회)

통과면적	최대민감도(%)	비고
1	5.4-7.6	르망
1/2	3.7-5.8	

○ 원형 루프검지기 (직경 1.8m×3회)

통과면적	최대민감도(%)	비고
1	10.730	프랑스
1/2	5.990	

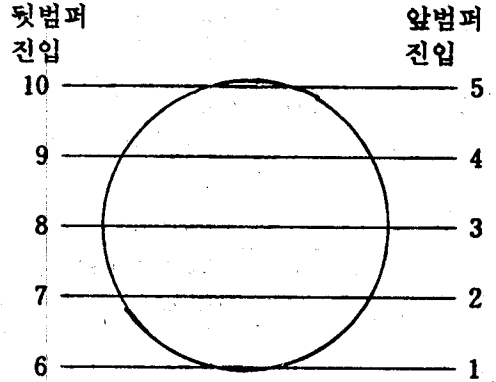


1/2

1/2

<표 10-2> 차량이 통과할때 원형 루프검지기 점유도에 따른 민감도 변화

번호	점유도	최대민감도(%)
1	0	0.160
2	1/4	0.632
3	1/2	2.516
4	3/4	4.759
5	1	8.156
6	1	7.387
7	3/4	4.283
8	1/2	2.848
9	1/4	1.137
10	0	0.263



4. 내구성에 대한 비교분석

형태별 루프검지기의 내구성 비교는 중요한 사항으로 장기적인 측면에서 검토가 이루어져야 한다. 따라서 내구성에 의한 예산 절감 효과와 하자 및 유지보수로 인한 인력손실을 우선으로 분석하여야 하나, 본 연구에서는 시간적인 제한때문에 사용되는 자재와 시공상에 대한 단기적인 측면에

서 비교 분석하였다. 다음 <표 11>에서 보여주는 바와 같이 자재 및 시공방법에 있어서 원형 루프검지기는 특수 제작된 작업차량으로 자동적으로 작업하기 때문에 루프 센서(루프헤드) 부분의 공사설치시간이 기존 루프에 비하여 단축되며, Head 부분에 각이 없으므로 루프코일의 스트레스 현상에 있어서 유리하고, 넓고 깊게 파서 내구성이 증대할 것으로 판단된다.

<표 11> 형태별 루프 검지기 시공방법 및 사용되는 자재비교

비교항목	종류	장 점	단 점
시공방법	원형	<ul style="list-style-type: none"> 특수차량에 장착된 자동시스템으로 시공 자장감도가 높다 노면파손 및 마모가 적음 공사 및 경화시간 단축 깊이 75mm 폭 12mm로 내구성 증대 	<ul style="list-style-type: none"> 시공업체의 한계 차량사용시 고가 유지보수에 한계
	팔각	<ul style="list-style-type: none"> 인력 및 장비이용 시공업체 확보가 용이 시공업체의 다양화에 의하여 고장시 보수 용이 	<ul style="list-style-type: none"> 각진부분 파손 및 단선 많음 전자장이 옆으로 퍼짐 공사시간이 길다 깊이 50mm, 폭 10mm로 원형보다 내구성 낮다
Loop Coil	원형	<ul style="list-style-type: none"> 이중피복으로 절연감쇄 방지 원형이므로 케이블의 충격이 완충적, 스트레스 거의 없음 	<ul style="list-style-type: none"> 가격이 비싸다 국내생산 여부가 불확실

비교항목	종류	장 점	단 점
	팔각	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 구입이 용이 ◦ 가격이 저렴 	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 단일피복으로 절연감쇄 발생 ◦ 8각이므로 각을 이루는 부분에 케이블 스트레스 많음
실린트 (원형: 폴리모 고무 아스팔트 성분)	원형	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 탄력성이 강하다 ◦ 도로파손 균열에 적합 ◦ 내구성이 강하다 ◦ 경화시간 단축 	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 단가가 에폭시에 비해 높다 ◦ 국내생산여부가 불확실
(팔각: 에폭시, 부조화합성수 지)	팔각	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 사용하기 간편하다 ◦ 실린트에 비해 가격이 저렴(구입용이) 	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 탄력성이 약하다 ◦ 경화시간이 길다 ◦ 도로파손 균열에 약함 ◦ 내구성에 약하다

또한, 원형 루프검지기에 사용되는 Loop Coil 은 이중 피복으로서 내심을 Tube로 둘러싸고 있어, 내심이 Tube속에서 신축성이 유지가 되고 중차량에 의한 중압에도 스트레스가 적게 받는다. 또한 이중 피복으로 되어 실제 절연성이 좋고 외부 Tube 자재 및 내심 절연자재가 섭씨 205도 이상의 고열실린트로 충전이 되어도 견딜수가 있게 제조가 되어있다. 또한 원형 루프검지기에서 이중 피복을 사용함으로써 현장이 아닌 Workshop에서 3-4단으로 쌓아서 사전제작 루프코일(Pre-Wound Loop)을 만들수가 있어 현장에서 기존 Loop의 경우와 같이 권선작업이 필요가 없

고, 사전 제작된 Loop Coil을 원형 튜브 Head 부분 (Slot)에 간단히 삽입하여 1분내에 설치 완료할 수가 있다.

다음 <표 12>에서 제시된 바와 같이 Loop Coil의 절연저항은 어떠한 환경하에서도 100 M 이상이어야 하며 (4), 실제로 500MΩ 이상이면 교통산업기준에 적합하며, 도체저항은 팔각검지기에 비하여 원형루프 코일의 저항치가 적어서 충실도 (Q값)가 우수하므로 감지도 (Sensitivity)에 있어서 보다 향상이 될 수가 있다고 사료된다.

<표 12> 사용자재 (Loop Coil) 사양비교

비교항목	기준치		측정값		비 고
	팔각검지기	원형검지기	팔각검지기	원형검지기	
도체경	1.80mm	1.865mm	1.80	1.865mm	
절연두께	1.50mm	0.38/0.33mm	1.49	0.38/0.33mm	
외경	4.80mm	6.2mm	4.81	6.2mm	
절연저항	1000MΩ/Km 이상	205MΩ/Km 15℃	3,500MΩ/Km	500MΩ/Km 이상	
도체저항	9.28Ω/Km 이하	8.6Ω/Km 20℃	8.98Ω/Km	8.6Ω/Km	
소선경	0.60±0.02		0.602		

현재 미국에서 생산되는 차량의 수입/구입비용이 대략 3-4억으로 고가이므로, 국내의 원형검지기 업체에서는 자동차 업체와 협조아래 장비의 국산화를 추진중에 있다. 또한 Head 및 Lead-In Wire를 포함 모든 소요재료가 국산화 진행 추진단계에 있으며, 조속한 시일내에 국산생산이 가능 할 것으로 사료된다. 다만 원형 루프검지기를 설치하는데 있어서 우선적으로 선결되어야 할 사항으로, 한정된 특정 업체와의 설치계약보다는 지역별 공사업체의 다변화로 상호 보완적인 차원에서 선택할 수 있도록 강구되어야 한다. 또한 관리 유지보수 측면에서도 지역별 공사업체의 설립이 필히 선결되어야 할 문제라고 사료된다.

5. 경제적인 측면에서의 비교

형태별 루프검지기의 경제적인 측면에서의 분석은 루프검지기 공사에 필요한 소요경비를 세분화시켜 단가를 비교하고 소요시간을 제시하였다. 본 연구에서는 설치시 필요한 내용들과 설치후 내구연한에 대한 결과를 병행하여 분석하는 것이 연구의 궁극적인목적이었으나, 시간적인 제한과 참고자료가 미비한 관계로 설치시 소요되는 경비

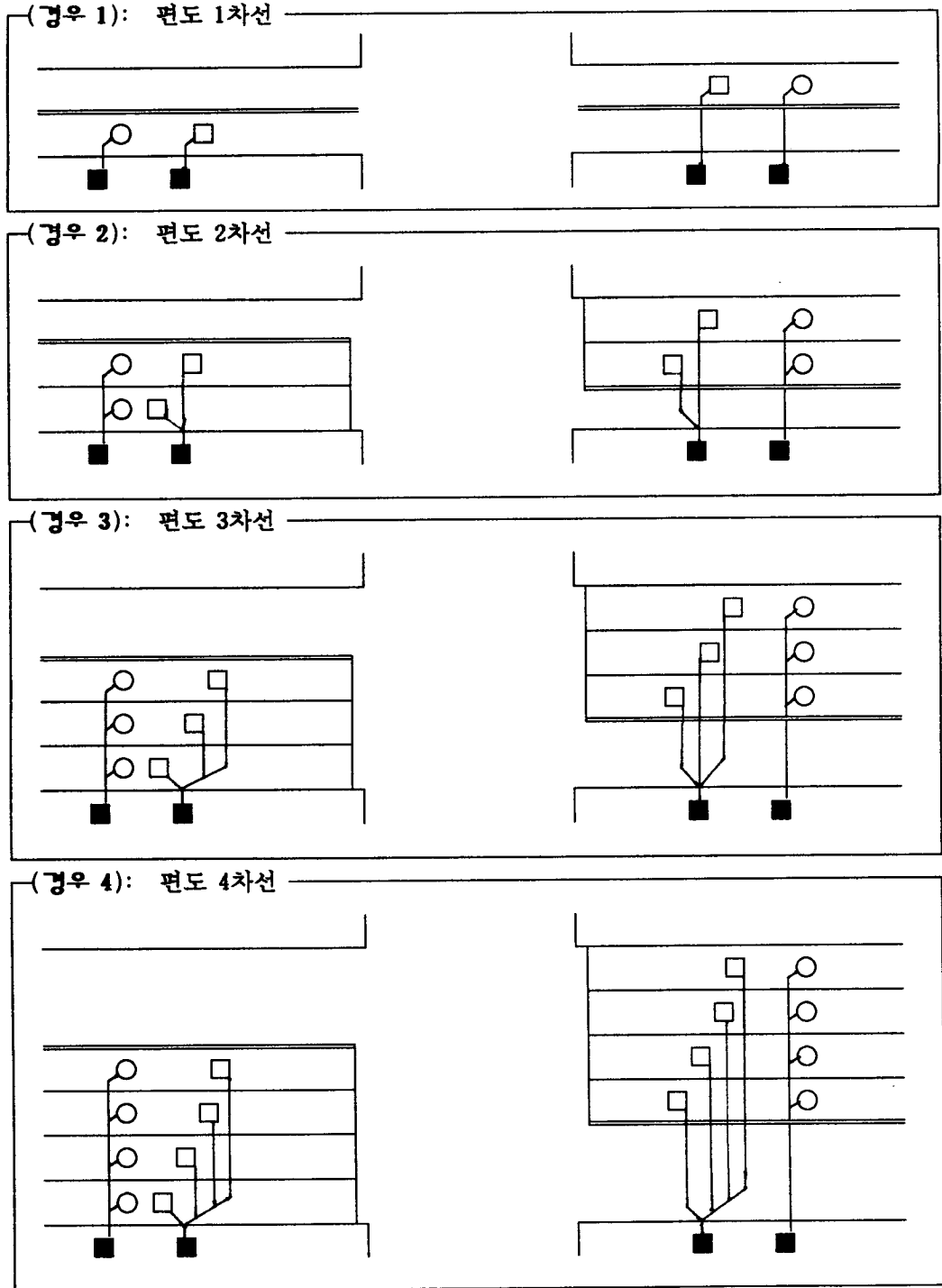
를 <그림 4>와 같이 4가지의 전형적인 공사형태에 의한 양방향 공사비를 비교하였다.

<표 13>에 제시된 바와 같이 루프검지기 설치에 따른 공사비를 비교한 결과 공사 방법및 설치 장소에 따라 차이가 있음을 나타내 주고 있다. <표 13>에 제시된 소요공사비는 재료비, 노무비 및 공사경비를 포함하였으며, 공사경비에는 차량 및 장비에 대한 기계손실비가 포함되어 산출하였다. 예를 들어 한장소에 많은 루프검지기를 설치할때 특수차량을 이용한 원형검지기 설치가 경제적이며, 이와 반대로 1개의 루프검지기를 설치할때는 이동하는 시간과 Lead-In에 대한 시공방법이 상이한 관계로 원형 루프검지기 설치비가 높다는 것을 제시해주고 있다. 따라서 한장소면도 3차선의 경우 (경우 3)에 양방향 3개씩 루프검지기를 설치할때는 원형과 기존 팔각검지기의 공사비가 거의 유사한 것으로 분석 결과가 나왔다. 공사설치시 검지기 수가 많을수록 원형 루프검지기는 루프도입선을 루프헤드 수에 관계없이 1개의 Lead-In으로 구성되어 도로의 미관과 예산 절감 효과를 나타내주고 있다. 이것은 형태에 관계없이 사용하는 루프코일의 재질에 관계가 된다.

<표 13> 루프검지기 설치시 소요공사비 비교

설치 방법	검지기 구분	Lead-In 길이(m)	설치규격 (폭×길이)	소요공사비 (원)	비 고
편도 1차선 (경우 1)	팔각	34m	9mm×50mm	350,972원	
	원형	34m	12mm×75mm	460,352원	
편도 2차선 (경우 2)	팔각	84m	9mm×50mm	780,424원	
	원형	80m	12mm×75mm	834,152원	
편도 3차선 (경우 3)	팔각	146m	9mm×50mm	1,268,736원	
	원형	138mm	12mm×75mm	1,225,592원	
편도 4차선 (경우 4)	팔각	228m	9mm×50mm	1,855,148원	
	원형	208m	12mm×75mm	1,634,672원	

<그림 4> 소요 예산 비교를 위한 검지기 설치방법



인천 현대 Apt 남측에 원형검지기 설치시 직접 현장에서 조사한 공사소요시간 측정값과 기존 팔각검지기인 경우 본 협회 설계내역서 (1994.3.)의 산출근거에 준하여 (9), 1개 Head 포함 Lead-In 길이가 20미터를 기준하여 소요시간을 비교하였다. 원형검지기의 경우 특수차량을 이용한 설치시 1개 Head에 Lead-In 길이가 20미터인 경우, 준비시간 10분 + 헤드컷팅 5분 + 실런트 주입 8분 + Lead-In 컷팅 10분 + 철거 7분으로 총 공사시간은 40분이 소요되는 것으로 조사되었다. 반면에 기존 팔각검지기인 경우는 준비작업에서부터 장비철거시까지 포함한 공사소요시간은 60분으로 제시되었다. 따라서 기존 팔각검지기가 원형 루프검지기보다 20분이 더 소요되며, 이로인한 교통정체 유발원인으로 본다면 교통체증은 시공방법 및 장비로 인하여 많이 개선되리라 본다.

IV. 결론

본연구를 통하여 원형 루프검지기는 기존 팔각루프검지기와의 호환성이 있는 것으로 평가되었다. 더우기 원형 루프검지기와 팔각 루프검지기는 경제성에 심각한 차이점이 없으므로 호환 가능성이 충분하다고 분석되었다. 원형은 자재의 고급화로 내구성이 있기 때문에 열퍼짐(Splashover)으로 인한 오자료 수집을 줄일 수 있다고 평가되었다. 이는 주기마다 교통량의 변화에 민감하게 대처해야 하는 오늘날의 전자신호 시스템에 있어서는 매우 효과적일 것이다. 또한 2차선 이상일 경우 차선별로 루프를 묻을시 Lead-In Wire가 1개 슬롯만을 사용하여, 연석부분 Pull Box까지 연결되기 때문에 관리 및 공사비 절감의 장점이 있다.

자재 및 시공방법에 있어서도 원형 루프검지기는 특수 제작된 작업차량으로 자동적으로 작업하기 때문에 루프 센서(루프헤드) 부분의 공사설치

시간이 기존 팔각루프검지기에 비하여 단축되며, Head 부분에 각이 없으므로 루프코일의 스트레싱 현상에 있어서 유리하고, 넓고 깊게 파서 내구성이 증대할 것으로 판단되었다.

본 실험에서는 원형검지기가 기존 팔각검지기보다 교통량측정 신뢰도가 다소 양호한 것으로 나타났다. 또한 장기적인 측면에서는 원형검지기의 신뢰성, 내구성 및 관리상에 있어서 기존 팔각검지기와 상호 호환성이 있다고 본 연구를 통하여 검증되었다.

원형 루프검지기의 사용을 위하여는 우선적으로 사용되는 자재의 국산화가 조속한 시일내 이루어져야 하며, 시공시 컷팅 (Cutting) 장비의 과도한 구입/대여비로 인한 어려움을 해결하여야 한다. 현재 원형검지기 국내업체인 T.E.(Traffic Engineering)사에서는 원형검지기의 공사설치를 위하여 자동차업체와 협조아래 장비의 국산화를 추진중에 있다. 또한 Head 및 Lead-In Wire를 포함 모든 소요재료가 국산화 진행 추진단계에 있다. 다만 원형 루프검지기를 설치하는데 있어서 우선적으로 선결되어야 할 사항으로, 한정된 특정업체와의 설치계약보다는 지역별 공사업체의 다변화로 상호 보완적인 차원에서 선택할 수 있도록 강구되어야 한다. 또한 관리 유지보수 측면에서도 지역별 공사업체의 설립이 필히 선결되어야 할 문제라고 사료된다.

참고 문헌

1. 미국의 공인 도면과 시방서, Los Angeles DOT, CA, 1993
2. Harold, Charles E. Dougan, etc., Traffic Control Systems Handbook, Institute of Transportation Engineers, Washington, DC, 1985
3. 서울특별시 교통신호제어시스템 기술개발 (3차년도) 현장제어기 및 검지기 개발보고서, 도

- 로교통안전협회, 교통개발연구원, 1993.12.
4. Traffic Detector Handbook, 2nd ed., Institute of Transportation Engineers, Washington, DC, 1991
 5. Traffic Detector Field Manual, Institute of Transportation Engineers, Washington, DC, 1985
 6. Manual of Traffic Signal Design, 2nd ed., Institute of Transportation Engineers, Washington, DC, 1991
 7. 구리-판교 구간내 원형루프검지기 현장실험 보고서, 트래픽 엔지니어링, 1994.2.
 8. W. Mendenhall, D.D. Wackerly, and R.L. Scheaffer, *Mathematical Statistics With Applications*, 4th ed., PWS-Kent Publishing Company, 1990
 9. 광주직할시 교통관제센터 관제기기 및 전자교통신호 설치공사 설계내역서, 도로교통안전협회, 1994.3.
 10. Mcshane and Roes, *Traffic Engineering*, Prentice Hall, 1990
 11. Yagar and Rowe, *Traffic Control Methods*, Engineering Foundation, 1989.3.