

□ 論 文 □

실시간신호제어를 위한 차량검지기 정보의 신뢰성 비교평가

A Comparative Evaluation of Confidence of Vehicle-Dectetor
Informations for Real-Time Traffic Signal Control.

吳 榮 泰

(아주대학교 교통공학과 교수)

李 鐵 基

(아주대학교 교통연구소 선임연구원)

目 次

- I. 서론
 - 1. 연구배경 및 목적
 - 2. 연구범위 및 방법
- II. 이론적 고찰
 - 1. 검지기 특성
 - 2. 통계적 분석기준
- III. 검지기 실험개요 및 환경
 - 1. 실험 개요
 - 2. 실험 절차
- 3. 실험 환경
- IV. 검지기 현장 실험
 - 1. 실험 방법
 - 2. 자료수집 및 정리
 - 3. 분석 결과
- V. 검지기 종합 비교평가
- VI. 결론 및 향후 연구과제
- 참고문헌
- <부록>

ABSTRACT

The purpose of this paper is comparatively to evaluate the confidence of Vehicle-Detector informations for various detectors in order to test to be possible the application of these to r-eal time traffic signal control.

The detectors which are tested for this study are Circle-Shaped Loop, Ultrasonic, Microw-ave and Image detector. The tested items for each detectors are traffic volume, degree of sa-turation for through and left turn movement, speed and queue length, etc.

These items for each are tested at the field according to several situations, such as dry d-ay, raining day, night and daytime.

The result of these tests are performed comparative analysis and statistical examination in order to increase the confidence of the experiments.

I. 서론

1. 연구배경 및 목적

실시간신호제어시스템은 시시각각으로 변화하는 교통수요를 가장 효율적으로 처리하기 위한 첨단 도로교통시스템으로서, 다양한 교통패턴 변화를 검지기를 통하여 실시간으로 수집·처리한 후 최적의 제어기법을 통해 가장 효율적으로 신호를 운영할 수 있는 시스템이다. 기존의 실시간 신호제어기법의 대부분의 모든 정보는 루프검지를 통하여 제공되어지고 이를 재가공(검지정보처리 알고리즘)하여 신호제어의 정보로 활용한다.

최근 급격한 첨단기술의 발달과 아울러 검지기분야에도 다양한 검지기들이 개발되고 있으며 아울러 기존의 루프검지기들도 보다 나은 기술을 접목시키고 있는 실정이다.

이에 본 연구에서는 실시간신호제어용 검지기로 널리 이용되고 있는 루프검지기 이외의 새로운 검지기의 신뢰성을 평가하여 실시간신호제어용으로서의 적용성을 평가하고자 한다.

2. 연구범위 및 방법

1) 연구 범위

본 연구에서는 원형루프, 초음파, 초단파 영상검지기의 기본기능 작동상태점검, 오동작 상태점검, 신뢰도 실험 등이 현장실험을 토대로 이루어지며, 실시간신호제어용 사각루프검지기를 통해 수집되어지는 교통량, 대기행렬, 속도, 직진포화도, 좌회전포화도에 대해서 다른 검지기들의 비교분석과 통계적 검정을 통하여 실시간신호제어용 검지로서의 적용에 대한 신뢰성을 검토한다.

2) 연구 방법

본 연구는 원형루프, 초음파, 초단파, 영상검지기에 대하여 서울시 논현로 신신호시스템 실험현장구간 교차로 중에서 선정된 경복아파트 사거리에서 실시하고, 이들 검지기에 대해서 교통량, 대기행렬, 속도, 포화도 등의 검지정보 신뢰도가 평가됨과 아울러 기상조건에 대한 대응력을 알아보기 위해 조사된 자료 중 일부는 우천시, 야간 등도 고려하여, 실시간신호제어용으로써의 검지기 정보의 신뢰성을 평가분석하였다.

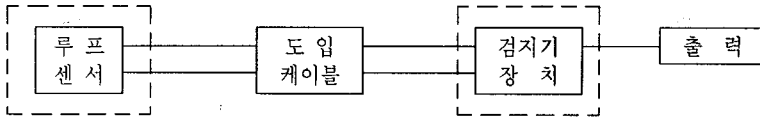
II. 이론적 고찰

1. 검지기 특성

1) 루프검지기

루프검지기는 도로위에 매설된 루프에 의하여 형성된 검지영역을 차량이 통과하거나, 정지해 있는 경우 차량으로 인한 루프의 인덕턴스의 변화를 검지하여 통과 또는 존재의 결과를 검지하여 교통신호제어에 필요한 교통변수(Presence, Volume, Speed, Occupancy, Queue Length 등)를 얻을 수 있는 차량검지기의 하나이다.

루프시스템의 구성은 <그림 1>과 같다. <그림 1>에서 루프센서는 루프코일로 구성되어 있으며 도로위의 루프코일에서 루프케이블까지의 연결선을 루프도입선이라고 한다. 또한 루프도입선에서부터 교차로의 교통제어기내의 검지기까지의 연결선을 루프케이블이라고 한다. 대부분의 경우에는 루프케이블을 통하여 검지기에 연결하나, 루프와 검지기간의 거리가 짧은 경우에는 직접 루프도입선을 검지기에 연결하는 경우도 있다.



<그림 1> 루프검지기의 구성도

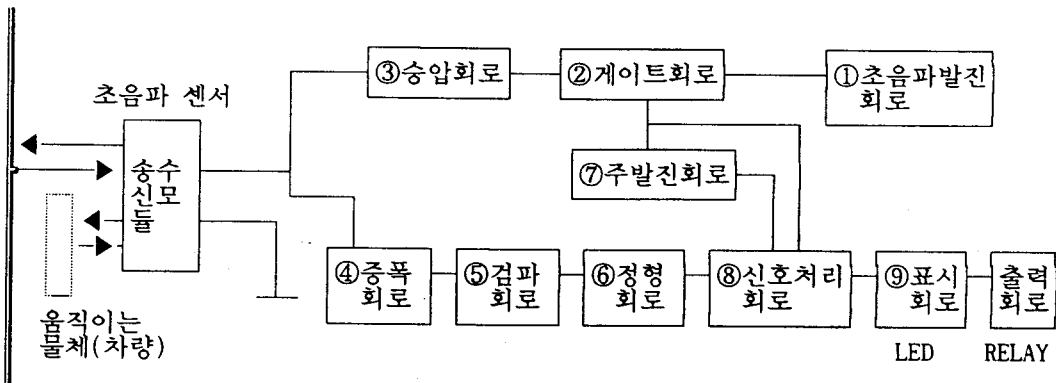
차량이 없는 경우 루프검지부는 일정한 인덕턴스 값을 가지고 있으나, 차량이 통과하는 경우 차량과 루프검지부가 상호작용하여 인덕턴스의 변화가 일어난다. 이 경우 검지부의 인덕턴스의 변화를 구할 수 있다. 차량에 의한 인덕턴스의 변화는 루프검지부(검지영역내의 루프 코일)만의 변화이며, 차량으로 인한 인덕턴스 변화와 외부의 환경적 변화에 의한 인덕턴스 변화를 방지하기 위하여 케이블을 꼬아서 인덕턴스 변화를 상쇄시킨다.

이용하여 도로위의 차량에 주사하여 차량에서 반사되는 반사파를 검지하여 차량의 유무를 검지한다.

검지영역내에 물체의 유무를 측정할 수 있는 초음파센서를 이용한 초음파검지기는 <그림 2>와 같은 기능블록으로 구성된다. 우선 초음파센서에서 고정반사물 또는 구조 반사체에 초음파 펄스를 정기적으로 보내주면, 반사물에서 반사 펄스신호가 초음파센서에 들어오고 있는 동안은 차량이 없다는 신호를 보내고, 고정반사물 혹은 구조반사체와 초음파센서 사이에 차단물체가 통과하면 차량이 있다는 전기신호를 보내서 차량의 유무를 검출할 수 있도록 하는 것이다.

2) 초음파검지기

초음파검지기는 초음파를 검지센서 매체로



<그림 2> 초음파검지기의 시스템 구성도

3) 초단파검지기

초단파검지기는 단일검지기로 루프검지거나 초음파검지기로는 얻기 어려운 차량의 속도를 검지할 수 있는 검지기로 도플러센서를 이용하여 고정된 검지기와 차량의 상대속도를 검지하여 속도를 얻을 수 있는 검지기이다.

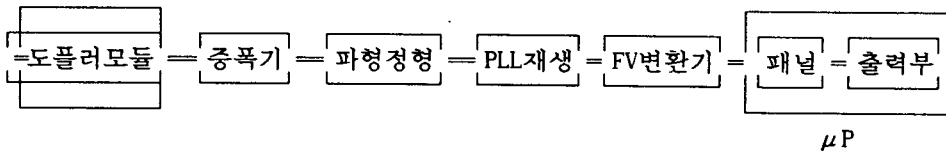
도플러효과는 전파나 음파등의 파동원이 목표물을 향하여 어떤 속도로 접근하면, 그 주파수가 목표에서 관측되는 파동원의 주파수보다 높아지고, 반대로 멀어지면 낮아지는 현상을 말하며, 이 원리를 이용하여 움직이는 물체의 속도를 측정할 수 있으며, 도플러효과를 이용한 검지기에는 주파수카운터를 이용하는 방법과 F/V변환기를 이용한 방법이 있는데 현재 많이 사용되고 있는 방법은 F/V변환기를 이용하는 방법이다. F/V변환기를 이용한 검지기의 블록도는 <그림 3>과 같다.

4) 영상검지기

최근 급속도로 발전하고 있는 VLSI(초대규모 집적회로)와 고속 화상처리 전용 CPU 및 초소형 대용량 메모리 소자의 발전에 힘입어 개발된 영상검지기는 1970대부터 선진국에서 연구되기 시작하여 현재 실용화 단계에 있는 방법으로 현재까지 개발된 검지기를 중 가장 많은

기능을 수행 할 수 있는 검지기이다.

영상검지기는 다른 장치보다 넓은 범위에 걸쳐서 차량의 움직임을 검지할 수 있어서 속도, 교통량, 차종등의 교통의 기본자료를 산출할 수 있을 뿐만 아니라, 2-3차원적 차량의 추적도 가능하다. 이러한 다기능적 측정능력에 대하여, 영상 그 자체의 방대한 데이터량 때문에 실시간 영상처리기술이 요구되고 있다. 이동체(움직이는 차량)의 인식에는 프레임간(Interframe)의 차영상을 이용하는 기법, 다수 프레임 간의 대응점추출기법, 기준영상과 차영상을 이용하는 방법 등이 있으며, 이 세가지 기본 차량인식방법 모두는 전체 화면을 그대로 적용하기에는 계산(실시간)면에서 비효율적이기 때문에 계산속도면을 고려하여 차선마다 특정 크기의 창(window)을 사용하여 그 내부의 영상만을 처리하거나 각 차선의 평행한 몇 개의 line 또는 수직인 몇 개의 line만을 가지고 차량을 인식하는 부분영상을 사용한다. 또한 인식하고자 하는 지점의 도로여건, 주변상황(주야간의 일기변화) 및 카메라의 설치장소에 따른 시각범위(pixel간의 거리)와 측정가능 속도의 범위 등에 대한 측정정보의 신뢰도 향상 및 실시간 처리를 위한 H/W 및 S/W적인 영상처리시스템의 개발이 필요하다.



<그림 3> 초단파검지기의 시스템 구성도

2. 통계적 분석기준

분석이 한쪽으로 치우치지 않고 의사결정을 위한 충분한 자료를 제시하기위해서 교통량, 대기행렬 길이, 속도, 직진 포화도, 좌회전 포화도를 실험항목으로 선정하여, 이미 검지기 특성실험에서 그 신뢰성이 입증된(6), 사각루프검지기의 자료를 기준값으로 하여 원형루프, 초음파, 초단파, 영상1, 영상2¹⁾의 다섯가지 각 검지기 각각에 대하여 맑은날, 비오는날의 경우로 나누어 기후조건의 영향을 검토하고, 첨두시간과 비첨두시간, 주간과 야간의 경우로 나누어 시간에 따른 영향에 대하여 상대적인 비교분석(오차율, 등가계수)과 통계적 검정(Chi-Square 적합도검정, 대응비교검정)을 실시하였다.

1) 오차율(%) (Error Rate)

기존의 사각루프에 대한 원형루프, 초음파, 초단파, 영상1, 영상2 검지기의 다섯가지 각 검지기의 항목별 각 검지기 자료의 오차율을 구함으로써 사각루프에 대한 각 검지기의 신뢰도를 비교분석한다. 이때 오차율은 다음과 같은 식으로 구한다.

$$\text{오차율(\%)} = \frac{\sum |f_i - f_d|}{\sum f_i} \times 100\%$$

where,

i = i 번째 주기

I = 얻어진 자료의 총 주기의 개수

f_i = i 번째 주기에서의 사각루프의 값
(기준값)

f_d = i 번째 주기에서 검지기로부터 얻어진 값

1) 영상 1검지기-외산(Autoscope), 영상 2검지기-국산(Topes). 이하 모두 동일.

2) 등가 계수(Equality Coefficient)

등가계수란 기준값(본 연구에서는 사각루프의 값)에 대하여 측정값(각 검지기로부터 얻어진 값)이 얼마나 접근되고 있는지 판별하기 위한 계수로서 만일 기준값과 측정값이 일치할 경우에는 등가 계수의 값은 1이 되며, 이값의 범위는 0부터 1사이의 값을 가진다. 즉, 1에 가까울수록 기준값과 측정값이 일치하고 있는 것이며, 0에 가까울수록 그 반대의 경우가 되는 것이다. 이 등가 계수를 구하는 식은 다음과 같다.

$$\text{등가 계수} = 1 - \frac{\sqrt{\sum (f_i - f_d)^2}}{\sqrt{\sum f_i^2} + \sqrt{\sum f_d^2}}$$

3) Chi-Square분포 적합도검정법

Chi-Square분포 적합도검정법은 범주형 자료의 분석에 쓰이며, Chi-Square분포를 이용한 적합도 검정을 하기 위한 검정통계량은 다음과 같다.

$$\sum \frac{(f_d - f_i)^2}{f_i}$$

where, χ^2 = 계산된 chi-square 값

f_i = i 번째 주기에서 검지기로부터 얻어진 값

f_d = i 번째 주기에서의 기준값(실측된 값 혹은 사각루프검지기의 값)

i = i 번째 주기

I = 총 주기의 수

이 검정통계량은 자유도 $I-1$ 인 Chi-Square분포를 따른다. 검정을 위한 가설은 다음과 같다.

- H_0 (귀무가설) : 각 검지기에서 얻어진 자료값이 기준값과 같다고 볼 수 있다.

- H_1 (대립가설) : 각 검지기에서 얻어진 자료값이 기준값과 같다고 볼 수 없다.

적합한 유의수준을 정하고 Chi-Square분포

에서 $x_{i, t-1}$ 의 값을 찾아 이 표값보다 위에서 계산된 Chi-Square값이 작거나 같다면 귀무가설을 기각하지 않고(즉, 검지기에서 얻어진 자료값이 기준값과 같다고 볼 수 있다), 반대로 크다면 귀무가설을 기각한다(즉, 검지기에서 얻어진 자료값이 기준값과 같다고 볼 수 없다).

4) 대응비교검정법(Paired Difference t 검정법)

대응비교검정법은 실험자료를 동질적인 실험 단위(본 연구에서는 동일한 신호주기가 된다)끼리 묶어서 쌍으로 관측값을 얻어 그 효과를 비교하고자 할 경우에 많이 적용하는 검정법이다. I 개의 주기에 대한 자료를 $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_i, y_i)$, 그 차이를 $D_1 = x_1 - y_1, \dots, D_i = x_i - y_i$ 라고 할 때의 검정통계량은 다음과 같다.

$$T = \frac{\bar{D}}{\sqrt{V_D/I}}$$

where, T = 검정통계량

I = 얻어진 자료의 총 주기의 개수

V_D = 불편분산

\bar{D} = D_i 의 평균

이 검정통계량은 자유도($I-1$)인 t-분포를 따른다. 검정을 위한 가설은 다음과 같다.

- H_0 (귀무가설) : 각 검지기에서 얻어진 자료값이 기준값과 같다고 볼 수 있다.
- H_1 (대립가설) : 각 검지기에서 얻어진 자료값이 기준값과 같다고 볼 수 없다.

검정에 있어서의 유의 수준(α)은 0.05와 0.01의 두가지를 사용했다.

Ⅲ. 검지기 실험개요 및 환경

1. 실험개요

각 검지기에 대한 실험 및 분석을 위해서 필요한 자료는 L/C²⁾로부터 노트북 컴퓨터를 이용하여 수집하였다. 또 R/C³⁾ 자료의 경우에는 L/C에서 전송된 데이터를 강남관제센터에서 수집한후 분석을 실시하였다. 실측자료는 비디오 테이프 및 Stop-Watch를 이용하여 수집하였으며 속도, 교통량은 비디오로 구간촬영 후에 느린 재현을 통해 실측치를 구하였고, 대기행렬의 경우는 실제현장에서 주기별로 직접 실측에 의해 구한 값과 비디오 촬영에 의한 검색을 통하여 실측치를 구하였다.

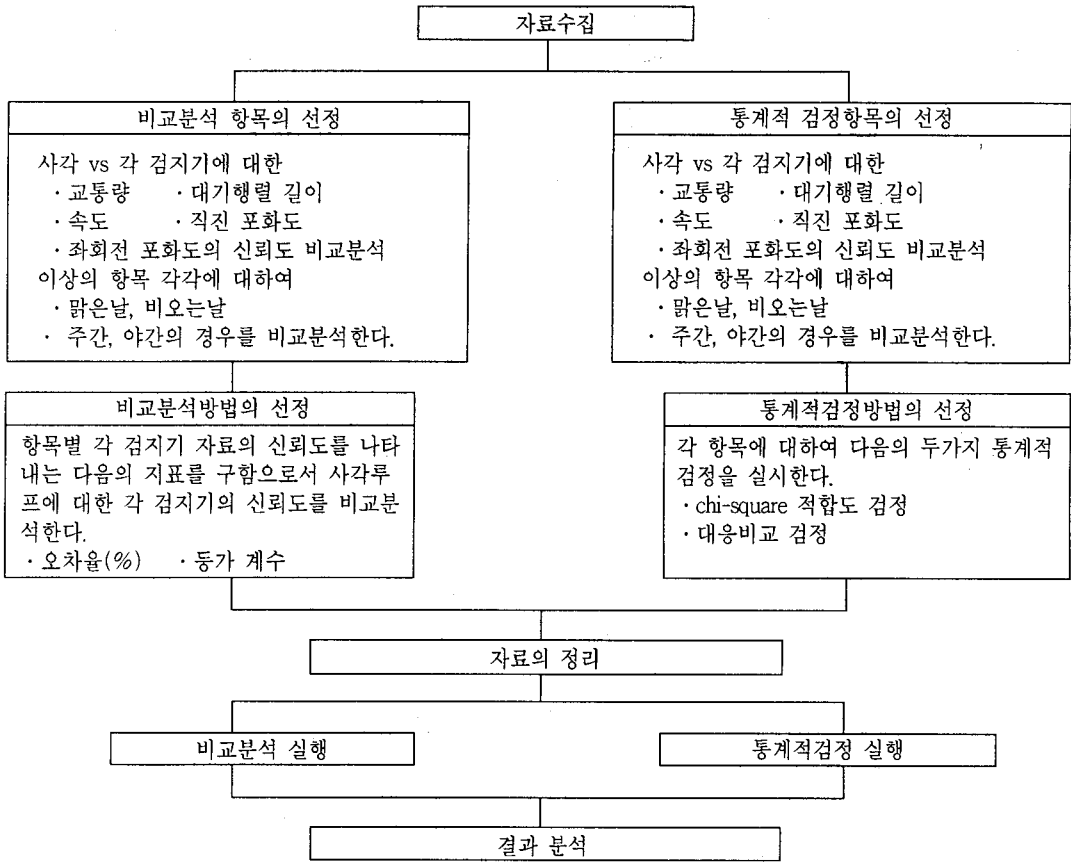
이러한 자료를 가지고 교통량, 대기행렬 길이, 속도, 직진 포화도, 좌회전 포화도를 실험항목으로 선정하여 사각루프에 대한 원형루프, 초음파, 초단파, 영상1, 영상2 검지기의 다섯가지 각 검지기 각각에 대하여 기후조건에 따른 영향을 검토하기 위하여 맑은날과 비오는 날의 경우, 시간에 따른 영향을 검토하기 위하여 침두시간과 비침두시간, 주간과 야간의 경우에 대하여 각각 분석하였다.

그리고 각 검지기의 설치에는 특별한 기술이 필요하기 때문에 각 해당업체에서 설치하였으며, 검지기의 운영상에는 큰 문제점이 없기 때문에 이로 인한 평가결과에 영향을 줄 만한 오차요인은 없는 것으로 판단되며, 모든 비교분석은 같은 조건하에서 이루어짐을 원칙으로 하였다.

2. 실험절차

본 연구의 통계적인 비교분석 및 통계검정절차는 다음과 같다.

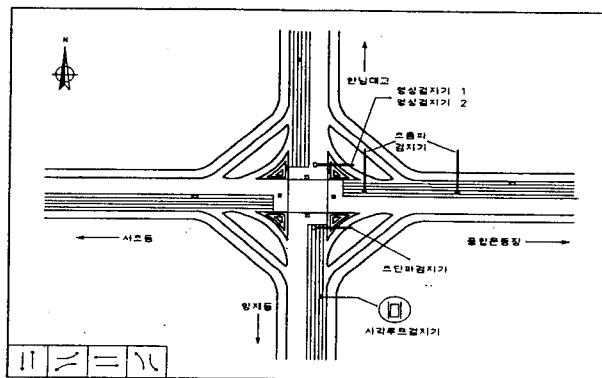
2) 지역제어기(Local Controller)
3) 지역컴퓨터(Regional Computer)



3. 실험환경

본 연구를 위해서 서울시 강남구 논현로 1개

교차로를 선정하여 사각루프검지기 및 각 검지기를 설치하여 현장실험하였으며, 현장설치도는 <그림4>와 같다.



<그림 4> 검지기 현장 설치도

4. 실험방법

오차율과 등가계수의 비교분석에는 C언어와 FORTRAN 언어를 이용하여 프로그램을 작성하여 비교분석 결과를 얻었고, 적합도검정과 대응비교검정에는 STATGRAPHICS라는 통계소프트웨어를 이용하여 검정을 실행하여 결과를 얻었다. 유의수준 α 는 0.05와 0.01 두가지 모두 사용하였다. 그리고 귀무가설의 기각과 채택은 p-value를 기준으로 판단하였다. 유의수준이 계산된 p-value보다 작다면 각 검지기에서 얻어진 자료값이 기준값인 사각루프와 같다고 볼 수 있는 것이고(귀무가설의 채택), 반대로 크다면 사각루프와 같다고 볼 수 없는 것이다(귀무가설의 기각). 만일 유의수준과 p-value가 거의 비슷하다면 신중한 판단을 요하는 것이다.

IV. 검지기 현장 실험

1. 자료수집 및 정리

분석에 사용된 자료수집 날짜는 다음과 각각 다음과 같으며, 이들 각기 다른형태의 자료를 효율적이고 적절하게 분석하기위해서 적절한 표준적인 형태로 자료를 정리하였으며, 통계적 기법을 활용하여 분석하였다.

1) 맑은 날의 자료수집

맑은 날의 사각루프검지기에 대한 각 검지기의 각 항목별 비교분석 및 검정을 위해 선택자 일자는 1995년 7월 28일이며, 자료의 시간범위는 16시 51분 05초에서 23시 29분 05초까지이다. 지역컴퓨터에서 얻어온 자료 중 컴퓨터 리셋을 하는 동안 검지기의 자료를 받지못하여 누락된 주기는 분석대상 주기에서 제외하였다.

2) 비오는 날의 자료수집

비오는 날의 사각루프검지기에 대한 각 검지기의 각 항목별 비교분석 및 검정을 위해 선택된 일자는 1995년 8월 1일이며, 연구를 위해 수집된 자료의 시간범위는 18시 02분 15초부터 19시 59분 49초까지이다. 맑은 날과 마찬가지로 지역컴퓨터에서 얻어온 자료중 컴퓨터 리셋을 하는 동안 검지기의 자료를 받지 못하여 누락된 주기는 분석대상 주기에서 제외하였으며, 비오는 날인 1995년 8월 1일에 영상1 검지기의 대기행렬자료와 영상2 검지기의 교통량과 대기행렬 자료는 얻지못하여 분석대상에서 제외하였다.

3) 주간의 자료수집

주간의 사각루프검지기에 대한 각 검지기의 각 항목별 비교분석 및 검정에 쓰이는 자료는 1995년 7월 28일의 16시 51분 05초로부터 18시 전까지이고, 지역컴퓨터에서 구한 자료중 컴퓨터 리셋을 하는 동안 검지기의 자료를 받지 못하여 누락된 주기는 분석대상 주기에서 제외하였다.

4) 야간의 자료수집

야간의 사각루프검지기에 대한 각 검지기의 각 항목별 비교분석 및 검정을 위한 자료를 수집한 일자는 1995년 7월 28일이고, 시간은 18시 이후의 어느정도 어두워지는 시간부터이다. 앞에서와 마찬가지로 지역컴퓨터에서 구한 자료중 컴퓨터 리셋을 하는 동안 검지기의 자료를 받지 못하여 누락된 주기는 분석대상 주기에서 제외하였다.

2. 분석 결과

비교분석 및 통계검정 실행의 결과는 맑은날,

비오는날, 침두시간, 비침두시간, 주간, 야간 분석의 순으로 행해졌으며, 각 항목별로 오차율(%), 등가계수, 적합도검정, 대응비교분석 결과

는 다음과 같다. 각각의 경우에 대하여 사각루프와 비교한 기초데이터는 <부록>과 같다.

1) 맑은날의 비교분석 및 통계검정 결과

(1) 교통량

<표 1> 맑은날의 교통량 비교분석 및 검정 결과

		사각 : 원형	사각 : 초음파	사각 : 초단파	사각 : 영상1	사각 : 영상2
오차율(%)		5.05	45.05	71.28	12.11	37.37
등가 계수		0.97	0.74	0.70	0.92	0.72
적합도 검정	$\alpha=0.05$	not reject	reject	reject	not reject	reject
	$\alpha=0.01$	not reject	reject	reject	not reject	reject
	p-value	1	0	0	0.8898	0
대응비교 검정	$\alpha=0.05$	reject	reject	reject	reject	reject
	$\alpha=0.01$	reject	reject	reject	not reject	reject
	p-value	9.86E-6	7.53E-8	0	0.0197	1.89E-7

사각루프검지기의 교통량 값을 기준값으로 했을 때 <표 1>에서 보듯이 원형루프와 영상1검지기가 기준값에 대해 신뢰성이 있는 것으로 나타났다. 반면에 초음파, 초단파, 영상2 검지기는 교통량에 있어서 신뢰성이 없는 것으로 나타났다. 오차율이 가장 낮은 것은 원형루프검지

기이고, 그 다음으로 낮은 것은 영상1검지기이다. 등가계수가 가장 높은 것은 원형루프검지기이고, 그 다음은 영상1검지기이다. 영상1검지기는 대응비교검정에서의 p-value가 0.0197로 다른 각 검지기에 비해 대응비교검정에서도 어느정도 신뢰성이 있는 것으로 나타났다. <부록 1>

(2) 대기행렬길이

<표 2> 맑은날의 대기행렬길이의 비교분석 및 검정 결과

		사각 : 원형	사각 : 초음파	사각 : 초단파	사각 : 영상1	사각 : 영상2
등가 계수		0.17	0.22	0.31	0.20	0.45
적합도 검정	$\alpha=0.05$	reject	reject	reject	reject	reject
	$\alpha=0.01$	reject	reject	reject	reject	reject
	p-value	0	0	0	0	0
대응비교 검정	$\alpha=0.05$	reject	reject	reject	reject	reject
	$\alpha=0.01$	reject	reject	reject	reject	reject
	p-value	2.52E-7	0	1.28E-9	6.49E-11	9.92E-10

대기행렬길이 자료는 사각루프검지기의 대기행렬길이를 기준값으로 했을 때 등가계수가 매우 낮게 나타났으며, 두 가지 검정에서 모두 기

각됨으로서 모든 검지기가 신뢰성이 없는 것으로 나타났다. <부록 2>

(3) 속도

<표 3> 맑은날의 속도 비교분석 및 검정 결과

		사각 : 원형	사각 : 초음파	사각 : 초단파	사각 : 영상1	사각 : 영상2
등가 계수		0.49	0.62	0.63	0.58	0.58
적합도 검정	$\alpha=0.05$	reject	reject	reject	reject	reject
	$\alpha=0.01$	reject	reject	reject	reject	reject
	p-value	0	0	0	0	0
대응비교 검정	$\alpha=0.05$	reject	reject	reject	reject	reject
	$\alpha=0.01$	reject	reject	reject	reject	not reject
	p-value	6.66E-16	0	7.46E-8	1.13E-7	0.126362

각 검지기의 속도 자료는 등가계수가 상당히 낮게 나타났으며, 속도에 대해 사각루프검지기를 기준값으로 했을 경우에 모든 검지기가 검정에서 귀무가설이 기각되는 것으로 보아 각 검지기들이 속도에 있어서는 그다지 신뢰할 수

없는 것으로 나타났다. 다만 영상2 검지기의 경우 대응비교검정의 유의수준 0.01에서 기각되지 않았지만 p-value가 너무 작아서 신뢰할 정도는 되지 않는 것으로 판단된다. <부록 3>

(4) 직진 포화도

<표 4> 맑은날의 직진 포화도 비교분석 및 검정 결과

		사각 : 원형	사각 : 초음파	사각 : 초단파	사각 : 영상1	사각 : 영상2
등가 계수		0.70	0.63	0.78	0.71	0.77
적합도 검정	$\alpha=0.05$	not reject	not reject	not reject	not reject	not reject
	$\alpha=0.01$	not reject	not reject	not reject	not reject	not reject
	p-value	1	1	1	1	1
대응비교 검정	$\alpha=0.05$	reject	reject	reject	reject	reject
	$\alpha=0.01$	reject	reject	reject	reject	reject
	p-value	0	0	5.15E-8	0	4.96E-4

직진포화도의 등가계수는 초음파만 0.63으로 떨어지고 다른 모든 검지기는 0.70에서 0.78사이의 값으로 나타났다. 그러나 초음파 검지기의 경우 야간 교통량 신뢰도가 매우 낮으므로 이 결과는 신중히 고려할 필요가 있다. 또한 등가계수는 초단파검지기가 가장 높게 나타났으며,

적합도검정에서는 모든 검지기가 귀무가설이 기각되지 않았고 대응비교검정에서는 모두 기각된 것으로 보아 사각을 기준값으로 볼 때 다른 각 검지기들이 직진포화도에 대해서는 그다지 신뢰할 수 없는 것으로 나타났다. <부록 4>

(5) 좌회전 포화도

<표 5> 맑은날의 좌회전 포화도 비교분석 및 검정 결과

		사각 : 초단파	사각 : 영상1	사각 : 영상2
등가 계수		0.83	0.86	0.89
적합도 검정	$\alpha=0.05$	not reject	not reject	not reject
	$\alpha=0.01$	not reject	not reject	not reject
	p-value	1	1	1
대응비교 검정	$\alpha=0.05$	not reject	not reject	not reject
	$\alpha=0.01$	not reject	not reject	not reject
	p-value	0.2222	0.1947	0.1989

좌회전 포화도의 등가계수는 비교적 높은 값으로 서로 비슷하게 나타났으며, 0.83을 넘는 등가계수가 나오고 모든 검정방법에서 귀무가설

이 기각되지 않은 것으로 판단해볼 때 초단파, 영상1, 영상2 검지기는 어느정도 신뢰성이 있는 것으로 판단할 수 있다고 보아진다. <부록 5>

2) 비오는 날의 비교분석 및 검정 결과

(1) 교통량

<표 6> 비오는 날의 교통량 비교분석 및 검정 결과

		사각 : 원형	사각 : 초음파	사각 : 초단파	사각 : 영상1	사각 : 영상2
오차율(%)		18.49	37.27	48.18	5.41	자료를 얻지 못함.
등가 계수		0.89	0.76	0.75	0.94	
적합도 검정	$\alpha=0.05$	not reject	reject	reject	not reject	
	$\alpha=0.01$	not reject	reject	reject	not reject	
	p-value	0.1175	0	0	1	
대응비교 검정	$\alpha=0.05$	not reject	reject	reject	not reject	
	$\alpha=0.01$	not reject	reject	reject	not reject	
	p-value	0.4433	1.33E-6	6.07E-7	0.7759	

비오는 날의 교통량에 대한 오차율을 보면 영상1 검지기가 가장 낮게 나타나고 있으며, 그 다음으로 원형루프검지기가 낮게 나타났다. 등가계수는 영상1 검지기가 가장 높게 나타났고 다음으로 원형루프검지기로 나타났다. 검정 결

과를 보면, 원형루프검지기와 영상1 검지기가 사각루프 검지기와 같다고 볼 수 있는 검정결과가 나타나 이 두 검지기가 신뢰성이 있는 것으로 나타났다. 그리고 초음파, 초단파 검지기는 신뢰성이 없는 것으로 판단할 수 있다. <부록 6>

(2) 대기행렬 길이

<표 7> 비오는 날의 대기행렬 길이 비교분석 및 검정 결과

		사각 : 원형	사각 : 초음파	사각 : 초단파	사각 : 영상1	사각 : 영상2
등가 계수		0.78	0.28	0.48	자료를 얻지 못함.	
적합도 검정	$\alpha=0.05$	reject	reject	reject		
	$\alpha=0.01$	reject	reject	reject		
	p-value	2.17E-6	0	0		
대응비교 검정	$\alpha=0.05$	not reject	reject	reject		
	$\alpha=0.01$	not reject	reject	reject		
	p-value	0.0590	2.82E-14	9.80E-9		

비오는 날의 대기행렬길이에 대한 등가계수는 원형루프검지기가 가장 높게 나타났으며, 초음파나 초단파검지기는 상당히 낮은 값으로 나타났다. 그리고 원형루프검지기는 대응비교검정

에서 사각루프검지기와 같다고 볼 수 있다는 결과가 나타났으며, 나머지 검지기들은 모두 반대의 결과가 나타났다. <부록 7>

(3) 속도

<표 8> 비오는 날의 속도 비교분석 및 검정 결과

		사각 : 원형	사각 : 초음파	사각 : 초단파	사각 : 영상1	사각 : 영상2
등가 계수		0.61	0.68	0.62	0.09	0.59E-11
적합도 검정	$\alpha=0.05$	reject	reject	reject	reject	reject
	$\alpha=0.01$	reject	reject	reject	reject	reject
	p-value	0	0	0	0	0
대응비교 검정	$\alpha=0.05$	not reject	reject	reject	reject	reject
	$\alpha=0.01$	not reject	reject	reject	reject	reject
	p-value	0.9442	3.36E-7	1.09E-5	1.19E-12	2.52E-13

비오는 날의 속도에 대한 등가계수를 보면 원형루프검지기가 0.68로 가장 높게 나타났으며, 영상1, 영상2 검지기는 특히 낮게 나타났다. 이것은 비오는 날 영상검지기의 대응능력이 현저히 떨어지는 것으로 판단될 수 있다. 검정결과

는 적합도검정에서는 모든 검지기가 기각되었고, 대응비교검정에서는 원형루프검지만 사각루프검지기와 같다고 볼 수 있는 것으로 나타났으며, 다른 검지기들은 모두 기각되었다. <부록 8>

(4) 직진 포화도

<표 9> 비오는 날의 직진포화도 비교분석 및 검정 결과

등가 계수		사각 : 원형	사각 : 초음파	사각 : 초단파	사각 : 영상1	사각 : 영상2
		0.50	0.73	0.76	0.77	0.14
적합도 검정	$\alpha=0.05$	not reject	not reject	not reject	not reject	not reject
	$\alpha=0.01$	not reject	not reject	not reject	not reject	not reject
	p-value	0.9479	0.9999	1	1	0.1164
대응비교 검정	$\alpha=0.05$	reject	reject	reject	reject	reject
	$\alpha=0.01$	reject	reject	reject	reject	reject
	p-value	0	0	8.857E-7	2.66E-15	0

비오는날의 직진포화도의 등가계수는 초음파, 초단파, 영상1검지기가 0.7수준으로 비교적 높게 나타났으며, 영상2 검지기는 매우 낮게 나타났다. 적합도검정 결과는 모두 기준값인 사각루프

검지기와 같다고 볼 수 있다고 나왔으나, 영상2 검지기는 p-value가 매우 낮아 적합한 검지기로 볼 수 없다. 그리고, 대응비교검정에서는 모든 검지기가 기각되었다. <부록 9>

(5) 좌회전 포화도

<표 10> 비오는 날의 좌회전 포화도 비교분석 및 검정 결과

등가 계수		사각 : 초단파	사각 : 영상1	사각 : 영상2
		0.87	0.89	0.13
적합도 검정	$\alpha=0.05$	not reject	not reject	not reject
	$\alpha=0.01$	not reject	not reject	not reject
	p-value	1	1	1
대응비교 검정	$\alpha=0.05$	reject	reject	reject
	$\alpha=0.01$	reject	reject	reject
	p-value	8.16E-3	2.38E-3	0

비오는 날의 좌회전포화도 등가계수는 영상1 검지기가 가장 높게 나타나고 있다. 적합도 검정의 결과는 모든 검지기가 귀무가설을 기각하지 않는 쪽으로 나타났고, 대응비교검정은 모두

기각되었다. 특히 영상2 검지기의 경우에는 p-value가 0으로 전혀 적합하지 않은 것으로 결과가 나타났다. <부록 10>

3) 주간의 비교분석 및 검정 결과

(1) 교통량

<표 11> 주간의 교통량 비교분석 및 검정 결과

		사각 : 원형	사각 : 초음파	사각 : 초단파	사각 : 영상1	사각 : 영상2
오차율(%)		4.76	45.48	53.63	5.76	18.79
등가 계수		0.97	0.74	0.74	0.95	0.86
적합도 검정	$\alpha=0.05$	not reject	reject	reject	not reject	reject
	$\alpha=0.01$	not reject	reject	reject	not reject	not reject
	p-value	1	0	0	1	0.0338
대응비교 검정	$\alpha=0.05$	reject	reject	reject	not reject	reject
	$\alpha=0.01$	reject	reject	reject	not reject	reject
	p-value	3.96E-4	9.19E-4	9.28E-6	0.8615	6.94E-7

주간의 교통량에 대한 적합도검정의 경우에는 원형루프와 영상1 검지기의 경우에 귀무가설이 기각되지 않았고, 영상2 검지기의 경우에는 유의수준 0.01에서만 기각되지 않았다. 하지만 이것은 p-value가 겨우 유의수준을 넘을 정도이므로 적합하다고 판정하기엔 빈약하다. 그

리고 대응비교검정에서는 영상1 검지기의 경우에만 기각되지 않고 다른 검지기는 모두 기각되었다. 이러한 결과는 주간과 야간을 비교해 본 맑은 날의 경우의 결과와 유사한 결과가 나왔다. <부록 11>

(2) 대기행렬 길이

<표 12> 주간의 대기행렬 길이 비교분석 및 검정 결과

		사각 : 원형	사각 : 초음파	사각 : 초단파	사각 : 영상1	사각 : 영상2
등가 계수		0.16	자료를 얻지 못함.	0.38	0.47	0.22
적합도 검정	$\alpha=0.05$	reject		reject	reject	reject
	$\alpha=0.01$	reject		reject	reject	reject
	p-value	0		0	0	0
대응비교 검정	$\alpha=0.05$	reject		reject	reject	reject
	$\alpha=0.01$	reject		reject	reject	reject
	p-value	8.68E-5		1.43E-5	3.23E-6	2.68E-6

주간의 대기행렬의 경우에는 낮은 등가계수, 그리고 두가지 검정방법에서 모든 검지기들이

사각루프 검지기와 같다고 볼 수 없는 것으로 나타났다. <부록 12>

(3) 속도

<표 13> 주간의 속도 비교분석 및 검정 결과

등가 계수		사각 : 원형	사각 : 초음파	사각 : 초단파	사각 : 영상1	사각 : 영상2
		0.52	자료를 얻지 못함.	0.59	0.61	0.58
적합도 검정	$\alpha=0.05$	reject		reject	reject	reject
	$\alpha=0.01$	reject		reject	reject	reject
	p-value	0		0	0	0
대응비교 검정	$\alpha=0.05$	reject		reject	reject	not reject
	$\alpha=0.01$	reject		reject	reject	not reject
	p-value	2.89E-8		6.45E-5	7.62E-5	0.3473

주간의 속도에 대해서는 적합도검정의 경우에는 모두 기각되었으며, 대응비교검정에서는 영상2 검지기를 제외한 나머지 모든 검지기가

기각되었다. 하지만, 영상2 검지기의 경우에도 p-value가 유의수준을 약간 넘어 적합하다고 판단하기에는 충분하지 못하다. <부록 13>

(4) 직진 포화도

<표 14> 주간의 직진포화도 비교분석 및 검정 결과

등가 계수		사각 : 원형	사각 : 초음파	사각 : 초단파	사각 : 영상1	사각 : 영상2
		0.75	0.67	0.79	0.73	0.75
적합도 검정	$\alpha=0.05$	not reject	not reject	not reject	not reject	not reject
	$\alpha=0.01$	not reject	not reject	not reject	not reject	not reject
	p-value	0.9999	0.9989	1	0.9999	0.9999
대응비교 검정	$\alpha=0.05$	reject	reject	reject	reject	reject
	$\alpha=0.01$	reject	reject	reject	reject	reject
	p-value	1.20E-9	1.09E-9	1.03E-3	3.15E-8	8.49E-4

주간의 직진포화도에 대한 적합도검정에서는 모든 검지기가 귀무가설이 기각되지 않았으며,

대응비교검정에서는 모든 검지기의 귀무가설이 기각되었다. <부록 14>

(5) 좌회전 포화도

<표 15> 주간의 좌회전포화도 비교분석 및 검정 결과

등가 계수		사각 : 초단파	사각 : 영상1	사각 : 영상2
		0.86	0.88	0.88
적합도 검정	$\alpha=0.05$	not reject	not reject	not reject
	$\alpha=0.01$	not reject	not reject	not reject
	p-value	1	1	1
대응비교 검정	$\alpha=0.05$	not reject	reject	reject
	$\alpha=0.01$	not reject	reject	not reject
	p-value	0.5691	8.35E-4	0.0445

주간의 좌회전 포화도에 대한 적합도검정에서는 귀무가설이 기각되지 않았으며, 대응비교

에서는 초단파검지기만 기각되지 않았다. <부록 15>

4) 야간의 비교분석 및 검정 결과

(1) 교통량

<표 16> 야간의 교통량 비교분석 및 검정 결과

		사각 : 원형	사각 : 초음파	사각 : 초단파	사각 : 영상1	사각 : 영상2
오차율(%)		5.79	43.06	83.47	18.34	55.01
등가 계수		0.96	0.74	0.67	0.89	0.56
적합도 검정	$\alpha=0.05$	not reject	reject	reject	reject	reject
	$\alpha=0.01$	not reject	reject	reject	not reject	reject
	p-value	1	0	0	0.1365	0
대응비교 검정	$\alpha=0.05$	reject	reject	reject	reject	reject
	$\alpha=0.01$	reject	reject	reject	reject	reject
	p-value	5.56E-3	3.97E-7	5.99E-15	3.75E-3	2.42E-7

야간의 교통량에 대한 검정결과는 주간의 경우와는 다르게 나타나고 있다. 주간의 경우에는 원형루프검지기과 영상1 검지기가 사각루프검지기의 기준값과 같다고 판단할 수 있는 결과가 나왔으나, 야간의 경우에는 영상1 검지기의 경우 기준값과 같다고 판단할 수 없는 것으로

나타났다. 이 결과로 야간에는 영상검지기의 검지능력이 떨어진다는 결론을 얻어낼 수 있다. 그외의 초음파, 초단파, 영상2 검지기의 경우에는 주간과 마찬가지로 여전히 귀무가설이 기각되었다. <부록 16>

(2) 대기행렬길이

<표 17> 야간의 대기행렬길이 비교분석 및 검정 결과

		사각 : 원형	사각 : 초음파	사각 : 초단파	사각 : 영상1	사각 : 영상2
등가 계수		0.16	자료를 얻지 못함.	0.27	0.17	0.42
적합도 검정	$\alpha=0.05$	reject		reject	reject	reject
	$\alpha=0.01$	reject		reject	reject	reject
	p-value	0		0	0	0
대응비교 검정	$\alpha=0.05$	reject		reject	reject	reject
	$\alpha=0.01$	reject		reject	reject	reject
	p-value	1.00E-3		4.04E-10	8.94E-11	3.86E-9

대기행렬 길이 항목은 등가계수가 상당히 낮게 나타나고 있다. 검정은 두가지 검정방법

모두 모든 검지기가 귀무가설이 기각되었다. <부록 17>

(3) 속도

<표 18> 야간의 속도 비교분석 및 검정 결과

		사각 : 원형	사각 : 초음파	사각 : 초단파	사각 : 영상1	사각 : 영상2
등가 계수		0.47	자료를 얻지 못함.	0.66	0.56	0.58
적합도 검정	$\alpha=0.05$	reject		reject	reject	reject
	$\alpha=0.01$	reject		reject	reject	reject
	p-value	0		0	0	0
대응비교 검정	$\alpha=0.05$	reject		reject	reject	not reject
	$\alpha=0.01$	reject		reject	reject	not reject
	p-value	2.31E-7		2.65E-5	4.72E-7	0.2032

야간의 속도 항목에 대한 적합도검정은 모든 검지기가 사각루프검지기의 기준값과 같다고 판단할 수 없는 것으로 나타났으며, 대응비교검정의 경우에는 영상2 검지기만 귀무가설을 기

각하지 않았지만 이것 또한 p-value가 유의수준을 겨우 넘어 기준값과 같다고 판단하기에는 충분하지 않다. <부록 18>

(4) 직진 포화도

<표 19> 야간의 직진포화도 비교분석 및 검정 결과

등가 계수		사각 : 원형	사각 : 초음파	사각 : 초단파	사각 : 영상1	사각 : 영상2
		0.65	0.47	0.76	0.70	0.77
적합도 검정	$\alpha=0.05$	not reject	reject	reject	reject	reject
	$\alpha=0.01$	not reject	reject	reject	reject	reject
	p-value	0.9973	0	0	0	0
대응비교 검정	$\alpha=0.05$	reject	reject	reject	reject	reject
	$\alpha=0.01$	reject	not reject	not reject	reject	reject
	p-value	1.93E-14	0.0361	0.0146	5.64E-5	1.03E-5

야간의 직진포화도에 대한 검정은 원형루프 검지기의 적합도검정만 귀무가설이 기각되지않

았고, 다른 모든 검지기의 경우와 대응비교검정은 모두 귀무가설이 기각되었다. <부록 19>

(5) 좌회전 포화도

<표 20> 야간의 좌회전 포화도 비교분석 및 검정 결과

등가 계수		사각 : 초단파	사각 : 영상1	사각 : 영상2
		0.85	0.87	0.85
적합도 검정	$\alpha=0.05$	not reject	not reject	not reject
	$\alpha=0.01$	not reject	not reject	not reject
	p-value	1	1	1
대응비교 검정	$\alpha=0.05$	not reject	not reject	reject
	$\alpha=0.01$	not reject	not reject	reject
	p-value	0.3067	0.8865	1.3487E-3

야간 좌회전포화도에 대해서는 영상1 검지기가 등가계수가 가장 높은 것으로 나타났다. 그리고 적합도 검정에서는 모든 검지기가 귀무가설이 기각되지 않았고, 대응비교검정에서는 영상2 검지기를 제외한 초단파, 영상1 검지기가

사각루프검지기의 기준값과 같다고 볼 수 있는 것으로 나타났다. p-value는 영상1 검지기가 다른 각 검지기에 비해 적합정도가 높다. <부록 20>

V. 검지기 종합 비교평가

이상의 결과를 검지기 종류별, 실험항목별로 24)와 같다.
 종합비교하면 <표 21>, <표 22>, <표 23>, <표

<표 21> 종합 비교평가표 - 맑은날

검지기종류		항목	사각:원형	사각:초음파	사각:초단파	사각:영상1	사각:영상2	
조건								
날씨별 맑은날	오차율(%)	교통량	5.05	45.05	71.28	12.11	37.37	
		대기행렬	0.97	0.74	0.70	0.92	0.72	
		속도	0.17	0.22	0.31	0.20	0.45	
		직진포화도	0.49	0.62	0.63	0.58	0.58	
		좌회전포화도	0.70	0.63	0.78	0.71	0.77	
		좌회전포화도	.	.	0.83	0.86	0.89	
	등가계수	교통량	○	×	×	○	×	
		대기행렬	×	×	×	×	×	
		속도	×	×	×	×	×	
		직진포화도	○	○	○	○	○	
		좌회전포화도	.	.	○	○	○	
		0.05	교통량	○	×	×	○	×
		대기행렬	×	×	×	×	×	
		속도	×	×	×	×	×	
		직진포화도	○	○	○	○	○	
		좌회전포화도	.	.	○	○	○	
	0.01	교통량	○	×	×	○	×	
	대기행렬	×	×	×	×	×		
	속도	×	×	×	×	×		
	직진포화도	○	○	○	○	○		
	좌회전포화도	.	.	○	○	○		
	적합도검정	0.05	교통량	×	×	×	×	×
		대기행렬	×	×	×	×	×	
		속도	×	×	×	×	×	
직진포화도		×	×	×	×	×		
좌회전포화도		.	.	○	○	○		
0.01		교통량	×	×	×	○	×	
대기행렬		×	×	×	×	×		
속도		×	×	×	×	○		
직진포화도		×	×	×	×	○		
좌회전포화도		.	.	○	○	○		
대응비교검정	0.05	교통량	×	×	×	×	×	
	대기행렬	×	×	×	×	×		
	속도	×	×	×	×	×		
	직진포화도	×	×	×	×	×		
	좌회전포화도	.	.	○	○	○		
	0.01	교통량	×	×	×	○	×	
	대기행렬	×	×	×	×	×		
	속도	×	×	×	×	○		
	직진포화도	×	×	×	×	○		
	좌회전포화도	.	.	○	○	○		

○ : 기각되지않음 × : 기각됨 . : 자료를 얻지 못함

맑은 날의 교통량에서는 원형루프, 영상1 검지기가 자료의 신뢰성성이 높게 나타났고, 좌회전포화도에 대해서는 초단파, 영상1, 영상2 검지

기가 자료의 신뢰성이 높게 나타났고, 직진포화도, 속도, 대기행렬에 대해서는 모든 검지기에서 자료의 신뢰성이 낮게 나타났다.

<표 22> 종합 비교평가표 - 비오는 날

조 건		검지기종류		항목	사각:원형	사각:초음파	사각:초단파	사각:영상1	사각:영상2	
날 씨 별	비 오 는 날	오차율(%)	등가계수	교통량	18.49	37.27	48.18	5.411	.	
				교통량	0.89	0.76	0.75	0.94	.	
				대기행렬	0.78	0.28	0.48	.	.	
				속도	0.61	0.68	0.62	0.09	0.59-E11	
				직진포화도	0.50	0.73	0.76	0.77	0.14	
				좌회전포화도	.	.	0.89	0.89	0.13	
				좌회전포화도	.	.	0.89	0.89	0.13	
		적 합 도 검 정	0.05	교통량	○	×	×	○	.	
				대기행렬	×	×	×	.	.	
				속도	×	×	×	×	×	
				직진포화도	○	○	○	○	○	
				좌회전포화도	.	.	○	○	○	
			0.01	교통량	○	×	×	○	.	
				대기행렬	×	×	×	.	.	
				속도	×	×	×	×	×	
				직진포화도	○	○	○	○	○	
				좌회전포화도	.	.	○	○	○	
			대 응 비 교 검 정	0.05	교통량	○	×	×	○	.
					대기행렬	○	×	×	.	.
					속도	○	×	×	×	×
					직진포화도	×	×	×	×	×
		좌회전포화도			.	.	×	×	×	
		0.01		교통량	○	×	×	○	.	
				대기행렬	○	×	×	.	.	
속도	○			×	×	×	×			
직진포화도	×			×	×	×	×			
		좌회전포화도	.	.	×	×	×			

○ : 기각되지않음 × : 기각됨 . : 자료를 얻지 못함

비오는 날의 교통량에 대해서는 원형루프, 영상1 검지기의 자료의 신뢰성이 높게 나타났고, 직진·좌회전포화도에 대해서는 모든 검지기가 자료의 신뢰성이 낮게 나타났으며, 속도와 대기

행렬에 대해서는 원형루프검지기만 자료의 신뢰성이 낮고 다른 검지기는 대체가 부적합한 것으로 나타났다.

〈표 23〉 종합 비교평가표 - 주간

조건		검지기종류	항목	사각:원형	사각:초음파	사각:초단파	사각:영상1	사각:영상2		
시간별	주간	오차율(%)	교통량	4.76	45.48	53.63	5.76	18.79		
			대기행렬	0.97	0.74	0.74	0.95	0.86		
		등가계수	대기행렬	0.16	.	0.38	0.47	0.22		
			속도	0.52	.	0.59	0.61	0.58		
			직진포화도	0.75	0.67	0.79	0.73	0.75		
			좌회전포화도	.	.	0.86	0.88	0.88		
			적합도검정	0.05	교통량	○	×	×	○	×
				대기행렬	×	×	×	×	×	
		속도		×	.	×	×	×		
		직진포화도		○	○	○	○	○		
		좌회전포화도		.	.	○	○	○		
		0.01		교통량	○	×	×	○	×	
		대기행렬	×	×	×	×	×			
		속도	×	×	×	×	×			
		직진포화도	○	○	○	○	○			
		좌회전포화도	.	.	○	○	○			
		대응비교검정	0.05	교통량	×	×	×	○	×	
				대기행렬	×	×	×	×	×	
				속도	×	.	×	×	×	
				직진포화도	×	×	×	×	×	
				좌회전포화도	.	.	○	×	×	
			0.01	교통량	×	×	×	○	×	
				대기행렬	×	×	×	.	.	
				속도	×	×	×	×	×	
직진포화도	×			×	×	×	×			
좌회전포화도	.			.	○	×	○			

○ : 기각되지않음 × : 기각됨 . : 자료를 얻지 못함

주간의 교통량에 대해서는 원형루프, 영상1 검지기의 자료의 신뢰성이 높게 나타났고, 직진·좌회전포화도에 대해서는 모든 검지기의 자료의 신뢰성이 낮게 나타났으며, 속도에 대해서

는 영상2 검지기가 자료의 신뢰성이 낮고 다른 검지기는 대체가 부적합한 것으로 나타났으며, 대기행렬에 대해서는 모든 검지기가 부적합한 것으로 나타났다.

<표 24> 종합 비교평가표 - 야간

조건		검지기종류	항목	사각:원형	사각:초음파	사각:초단파	사각:영상1	사각:영상2
야간	오차율(%)	등가계수	교통량	5.79	43.06	83.47	18.34	55.01
			교통량	0.74		0.67	0.89	0.56
			대기행렬	0.16	.	0.27	0.17	0.42
			속도	0.47	.	0.66	0.56	0.58
			직진포화도	0.65	0.47	0.76	0.70	0.77
			좌회전포화도	.	.	0.85	0.87	0.85
	적합도검정	0.05	교통량	○	×	×	×	×
			대기행렬	×	.	×	×	×
			속도	×	.	×	×	×
			직진포화도	○	×	×	×	×
			좌회전포화도	.	.	○	○	○
		0.01	교통량	○	×	×	○	×
			대기행렬	×	×	×	×	×
			속도	×	×	×	×	×
			직진포화도	○	×	×	×	×
			좌회전포화도	.	.	○	○	○
	대응비교검정	0.05	교통량	×	×	×	×	×
			대기행렬	×	×	×	×	×
			속도	×	.	×	×	○
			직진포화도	×	×	×	×	×
			좌회전포화도	.	.	○	○	×
		0.01	교통량	×	×	×	×	×
			대기행렬	×	×	×	×	×
			속도	×	×	×	×	○
직진포화도			×	×	×	×	×	
좌회전포화도			.	.	○	○	×	

○ : 기각되지않음 × : 기각됨 . : 자료를 얻지 못함

야간의 교통량에 대해서는 원형루프 검지기의 자료의 신뢰성이 높게 나타났고, 영상1 검지가 자료의 신뢰성은 낮게 나타났다. 직진포화도에 대해서는 모든 검지기가 대체가 부적합한

것으로 나타났으며, 좌회전포화도에 대해서는 초단파, 영상1 검지기의 자료의 신뢰성이 높게 나타났고, 속도와 대기행렬에 대해서는 모든 검지기가 부적합한 것으로 나타났다.

V. 결론 및 향후과제

신 교통신호제어 시스템은 시시각각으로 변화하는 교통수요를 가장 효율적으로 처리하기 위한 첨단도로교통 시스템으로서 다양한 교통 패턴변화를 검지기를 통하여 실시간으로 수집·처리한 후 최적의 제어기법을 통하여 가장 효율적으로 시스템을 운영할 수 있도록 설계되었으며, 이러한 취지에 부응하여 신신호제어 시스템에서 연구된 검지기 이외에 기술의 발달로 최근에 개발되고있는 다양한 검지기들의 신뢰

성을 검토하기 위하여 서울시 강남구 논현동의 교차로에서 현장실험을 실시하였으며, 수집한 실험자료를 토대로 분석한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 각 검지기 장·단점 비교

본 연구에 사용된 각 검지기의 장·단점은 다음 표와 같으며, 이 표에 나타난 각 검지기의 특성과 본 연구의 검지기 비교평과 결과가 유사함을 알 수 있다.

〈표 25〉 각 검지기의 장·단점

구 분	장 점	단 점
루프검지기	- 다양함 형태로 설치가 용이 - 차선별 검지 가능 - 차동분류 가능 - 기본적인 교통계수 측정 가능 - 국산화되어 있음	- 설치·보수시 교통흐름의 통제 필요 - 유지, 보수관리 비용이 많이 소요됨
초음파검지기	- 설치·보수시 교통흐름의 통제 불필요 - 루프검지기와 일체로 사용하여 차종의 분류 가능	- 온도, 습도, 난류의 영향을 받음 - 검지영역이 원추형이기 때문에 다양한 차량구조와 높이에 부정확 - 주변 환경조건에 민감함
초단파검지기	- 검지기 1개로 다차선(차선별) 검지 가능 - 교통량, 점유율, 속도 등을 검지기로 부터 직접 측정 가능	- FCC에 의해 전파력, 주파수의 사용 제한 - 인접차선의 영향을 받음 - 주변 환경조건에 민감함
영상검지기	- 다차선 검지 가능 - 교통량 측정이 정확 - 차량추적 가능	- 낮과 밤의 알고리즘이 상이 - 그림자, 습도, 빛으로 인한 오차발생 - 대형차량 후미의 소형차량 검지오차 발생 가능

2. 각 검지기 비교평가 결과

기 개발완료되어 이미 신뢰성이 검증된 사각루프(6)를 기준으로 각 검지기(원형루프, 초음파, 초단파, 영상검지기)와의 비교평가를 통

한 대체 가능성의 검토결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 교통량

교통량에 관해서는 맑은 날, 비오는 날, 주

간, 야간 모든 경우에서 원형루프와 영상1 검지기가 자료의 신뢰도가 높았으며, 그 외 검지기는 모든 경우에 자료의 신뢰도가 매우 낮은 것으로 나타났다.

2) 포화도

맑은 날, 비오는 날, 주간 직진포화도의 경우, 모든 검지기의 자료의 신뢰성이 대체로 낮은 것으로 나타났으며, 야간의 경우 원형루프의 자료의 신뢰성은 대체로 낮으나, 그 외 검지기는 모두 신뢰성이 매우 낮은 것으로 나타났다. 맑은 날과 야간의 좌회전 포화도의 경우, 영상1 검지기와 초단파검지기가 자료의 신뢰성이 우수한 것으로 나타났으며, 비오는 날은 초단파, 영상1, 영상2 검지기의 자료의 신뢰성은 대체로 낮고, 주간의 경우 초단파 검지기의 자료의 신뢰성은 높으나, 영상1, 영상2 검지기의 자료의 신뢰성은 대체로 낮게 나타났다. 좌회전 포화도에 대해서 초음파검지기는 모든 경우에 자료를 수집하지 못하였다.

3) 속도

비오는 날의 경우 원형루프와 주간, 야간의 경우 영상2 검지기는 대체로 신뢰성이 낮은 것으로 나타났으며, 그 외의 검지기는 모든 경우에 신뢰성이 매우 낮은 것으로 나타났으며, 주간과 야간의 경우 초음파검지기는 자료를 수집하지 못하였다.

4) 대기행렬

비오는 날의 경우 원형루프검지기의 신뢰성은 대체로 낮은 것으로 나타났으며, 그 외 검지기는 신뢰성이 매우 낮은 것으로 나타났으며, 비오는 날의 경우 영상1, 영상2 검지기와 야간의 경우 초음파검지기는 자료를 수집하지 못하였다.

3. 향후 연구과제

위 실험결과 신신호시스템 설치시 검지기체계는 정지선 부근의 정밀한 자료수집을 위해서는 루프검지기를 사용하며, 상류부검지기로는 대기행렬 실측이 가능한 영상검지기의 사용이 바람직하다고 판단된다.

각 검지기들에 대한 다소의 수정·보완으로 좀더 나은 결과를 도출할 수 있을것으로 판단되지만 그 기능을 최대한 살릴 수 있는 방안이 모색되지 못한관계로 확인 할 수 없었다. 예를 들면 이미지 검지기의 대기행렬 및 속도실측이 가능함에도 불구하고 실험이 되지 못하였으며, 초단파 검지기의 경우에 있어서도 속도 실측이 가능함에도 불구하고 추가로 속도측정을 위한 센서가 설치되지 않은 관계로 본 실험에서는 이에 관한 실험을 하지 못하였으며, 또한 녹색 현시동안에만 자료를 수집하도록 한다면 신뢰도가 높아질 수 있을것으로 판단된다.

또한 통계분석 결과 사각루프와 비교하여 대체 가능성이 있는것으로 판단된 검지기에 대해서도 신교통신호제어 시스템에서 요구하는 파라미터를 정확히 대변할 수 있는지의 여부에 관한 추가실험 및 연구를 통한 보다 정확하고 다양한 측면에서의 추가 검증과정이 요망된다.

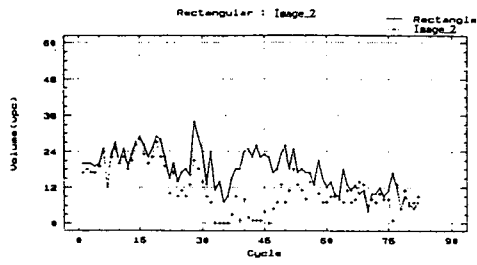
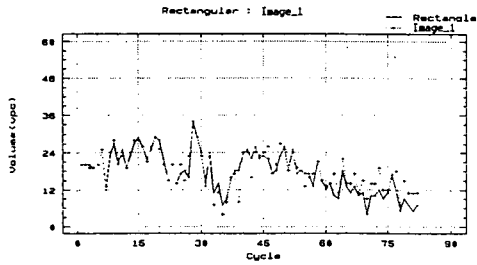
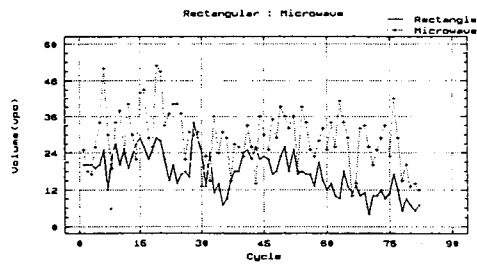
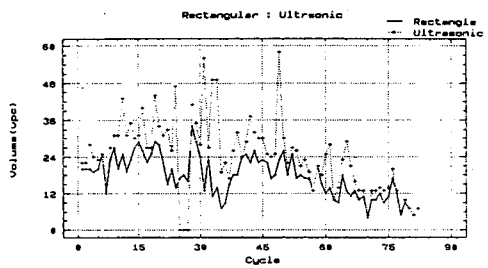
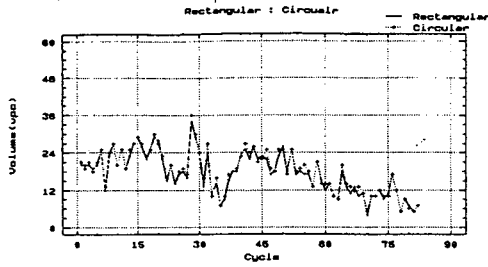
참고 문헌

1. 서울특별시 지방경찰청, 서울특별시 교통신호 제어시스템개발 연구용역시행 3차년도 결과 보고서, 1993.12.
2. 금성산전, 마이크로웨이브 검지기 특성에 관한 실험, 1994, 11
3. 금성산전, 신 루프검지기 특성실험에 관한 연구, 1993, 9

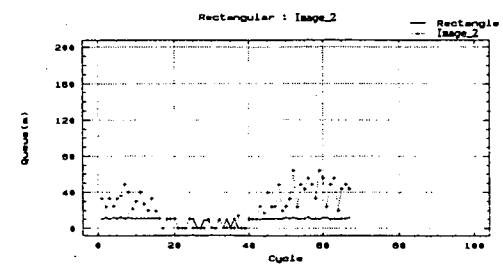
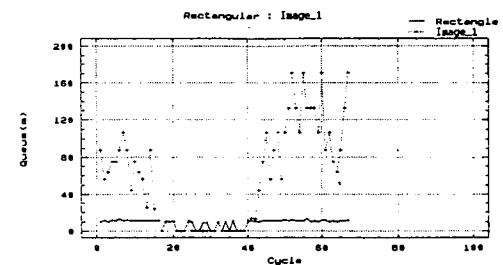
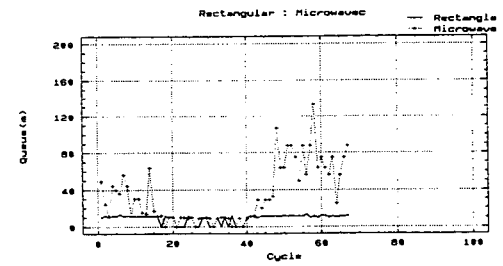
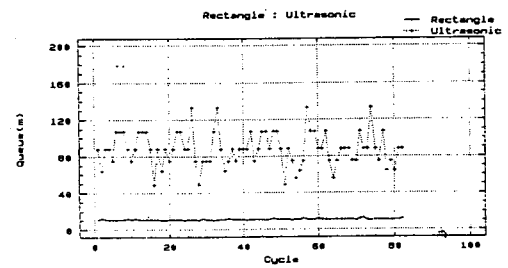
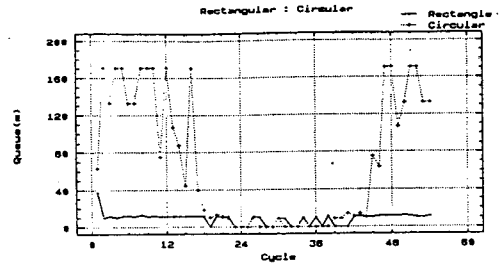
4. "센서 인터페이싱", No 3. pp119-129, 기전출판사, 1989
5. 한 승춘, 화상검지기에 의한 신호교차로 교통 특성 분석, 아주대학교 공학석사학위논문, 1992. 8
6. 도로교통안전협회, 서울특별시 교통신호제어 시스템 개발 연구용역 시행 2차년도 결과보고서, 1992.11
7. Traffic Detector Field Manual, ITE.
8. "Traffic Control System Handbook", ITE.
9. Etsuji Kuroada, Optical Vehicle Detector For Traffic Control, IVHS America 1994 Annual Meeting, 1994
10. Hiroshige Fukuhara, Essential Issues Involved In Radar-Based Collision Warning/Avoidance System, IVHS America 1994 Annual Meeting, 1994
11. Ichiro Masaki, Vision-Based Collision Avoidance System, IVHS America 1994 Annual Meeting, 1994
12. FHWA, "Traffic Detector Handbook". Second Edition, July,1990.

<부록>

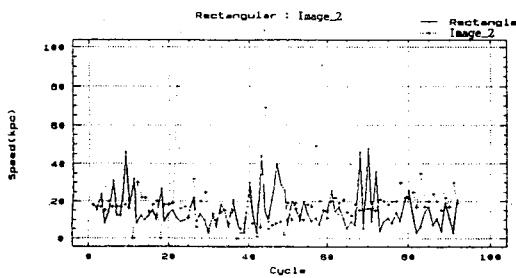
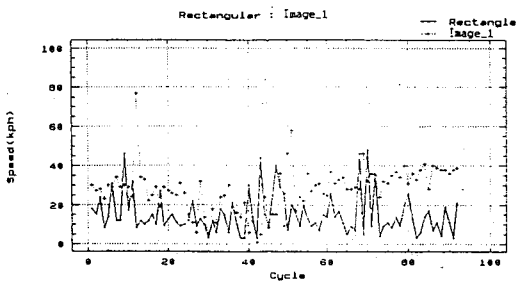
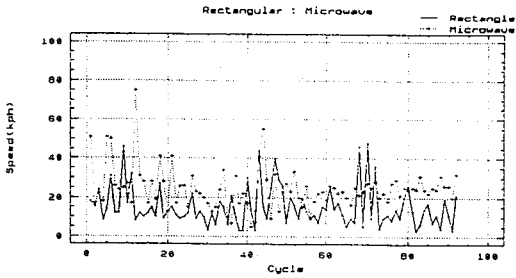
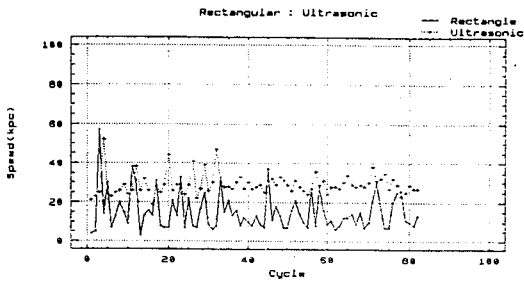
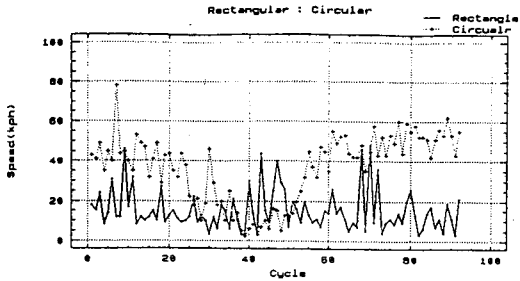
<부록 1> 맑은 날 - 교통량 비교분석



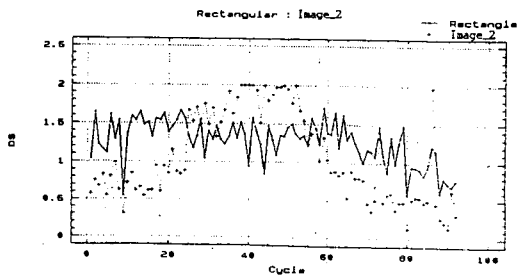
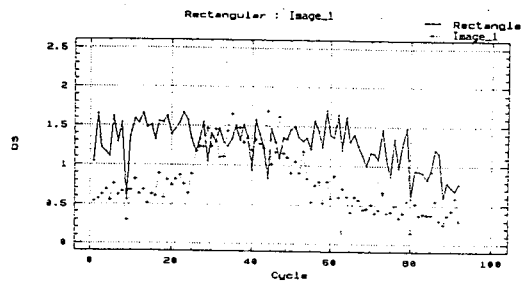
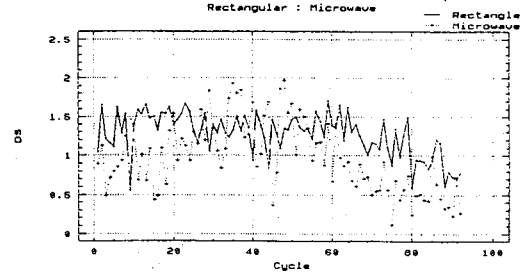
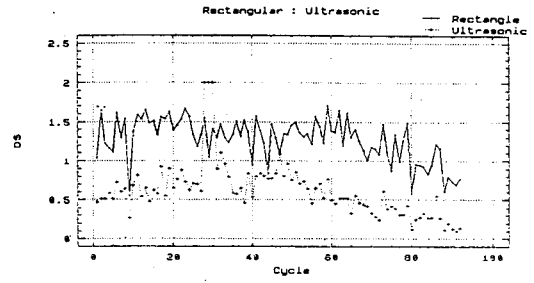
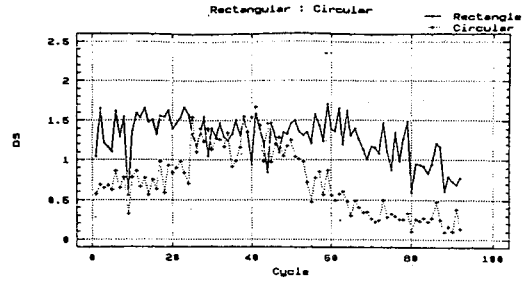
<부록 2> 맑은 날 - 대기행렬 비교분석



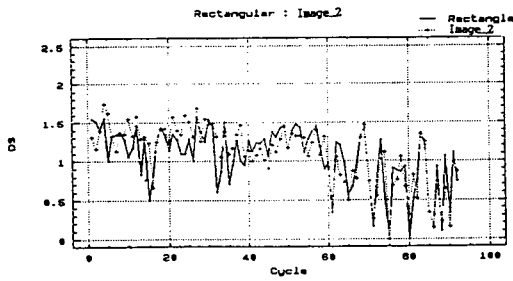
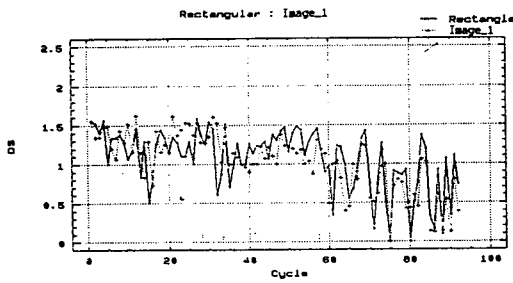
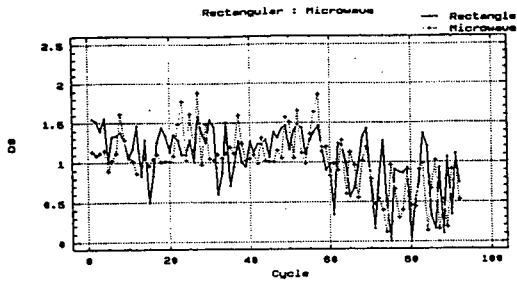
<부록 3> 맑은 날 - 속도 비교분석



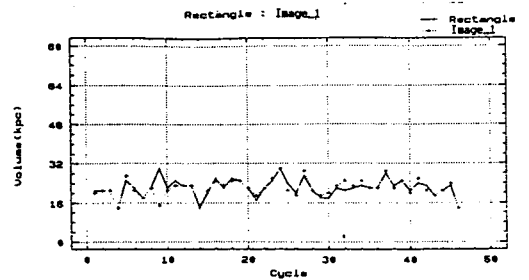
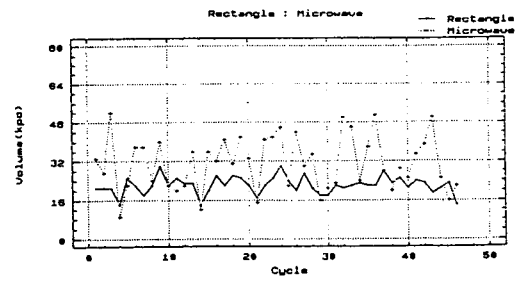
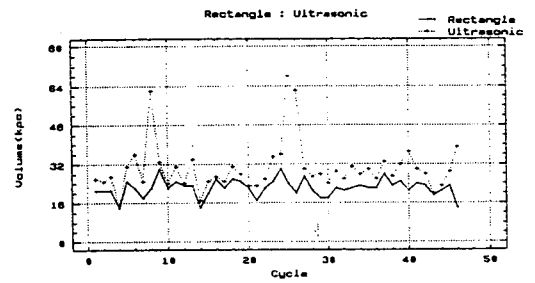
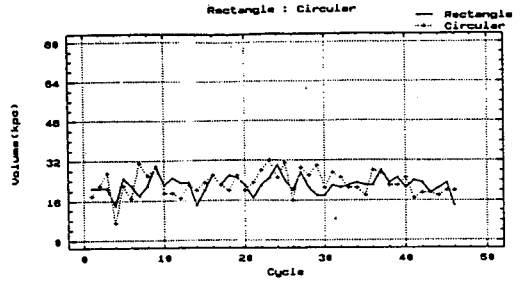
<부록 4> 맑은 날 - 직진포화도 비교분석



<부록 5> 맑은 날 - 좌회전포화도 비교 분석

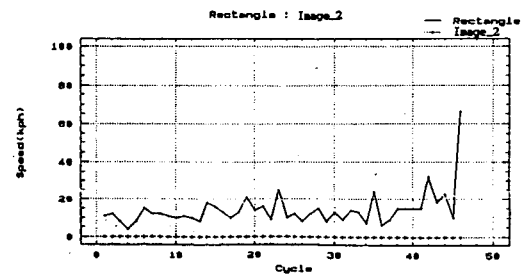
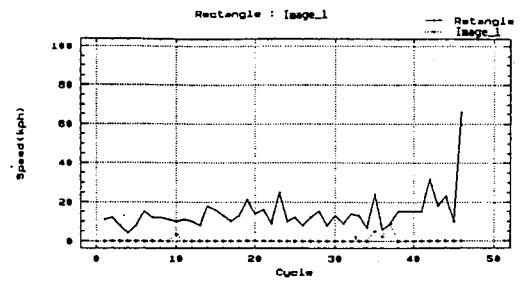
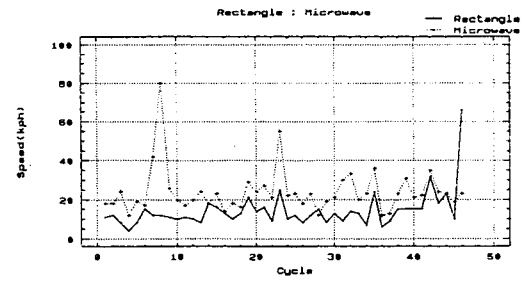
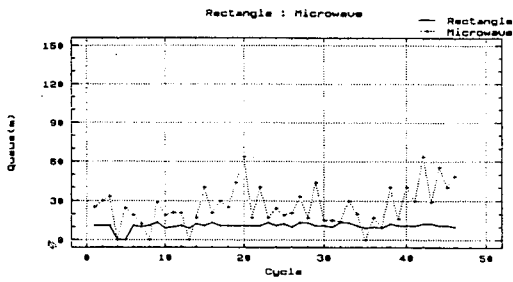
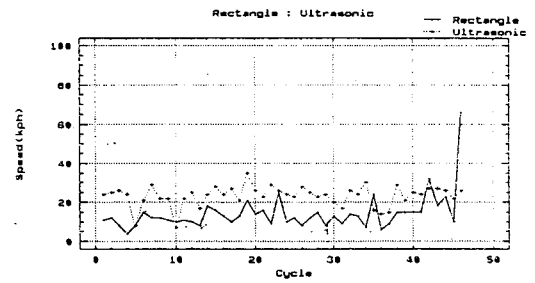
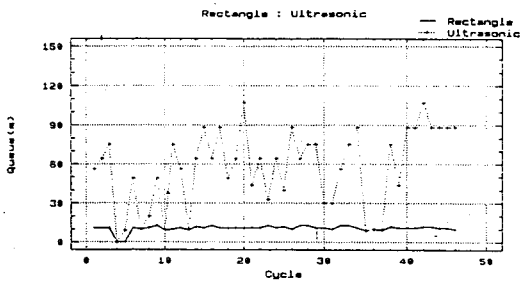
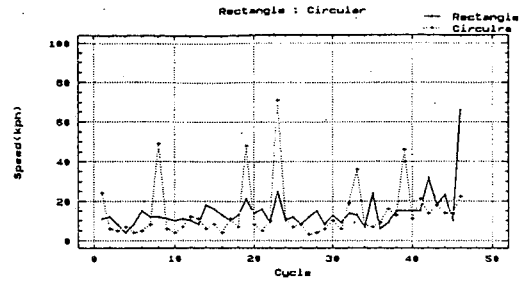
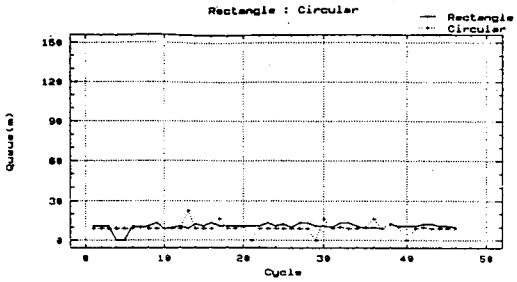


<부록 6> 비오는 날 - 교통량 비교분석



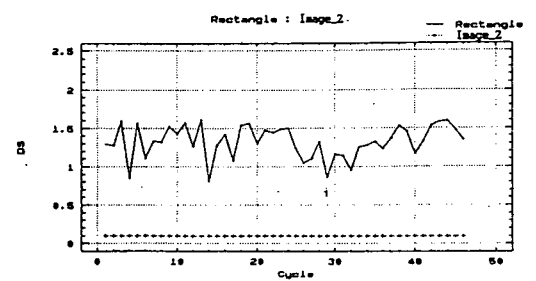
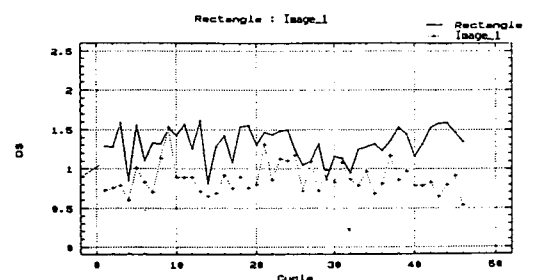
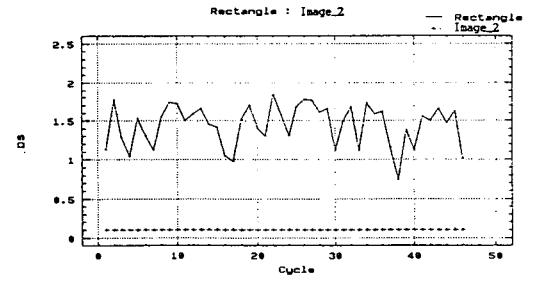
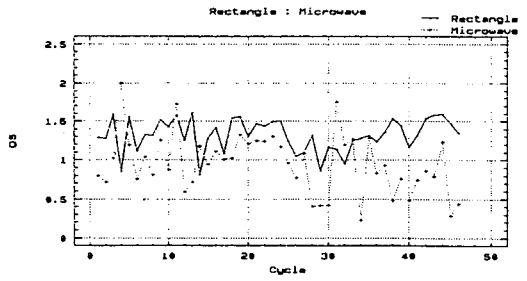
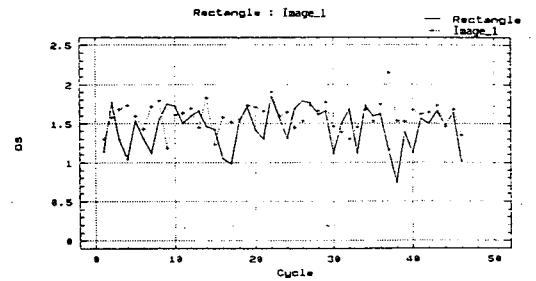
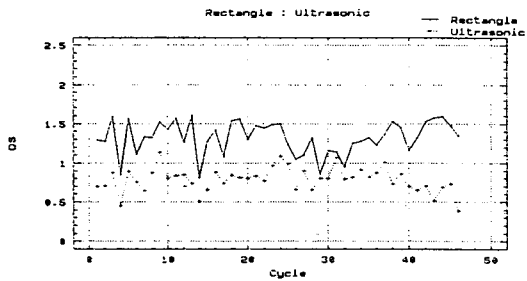
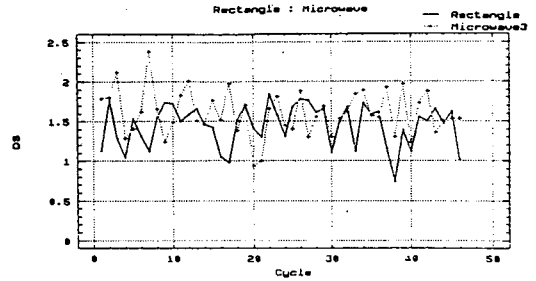
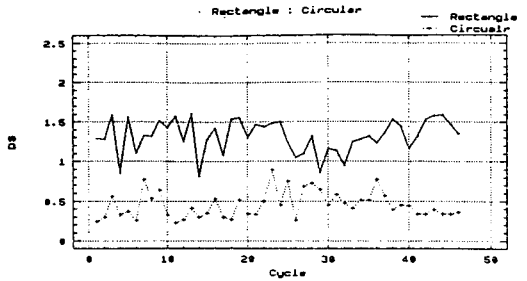
〈부록 7〉 비오는 날 - 대기행렬 비교분석

〈부록 8〉 비오는 날 - 속도 비교분석



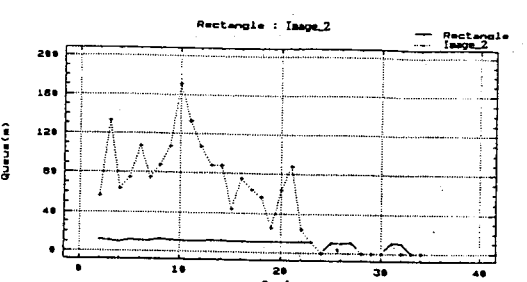
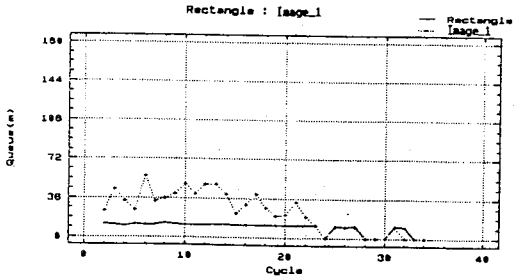
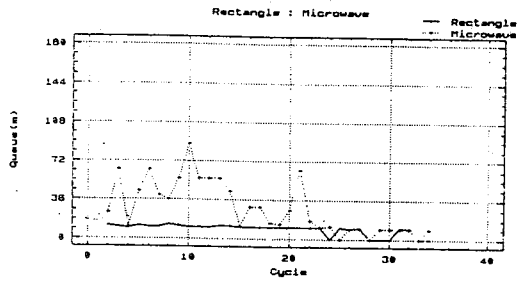
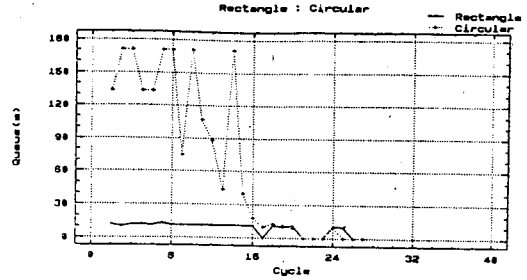
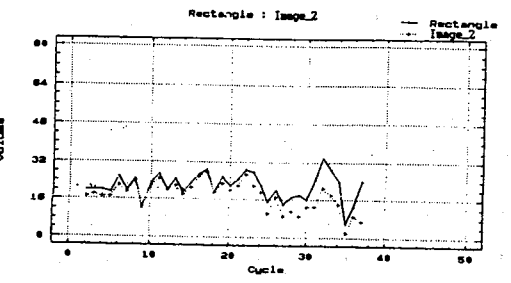
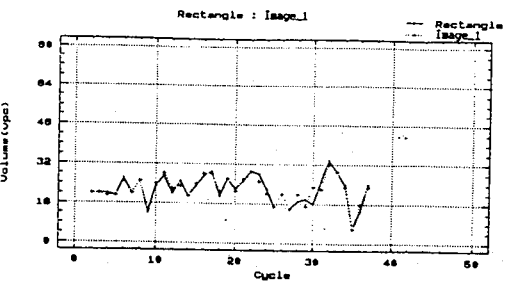
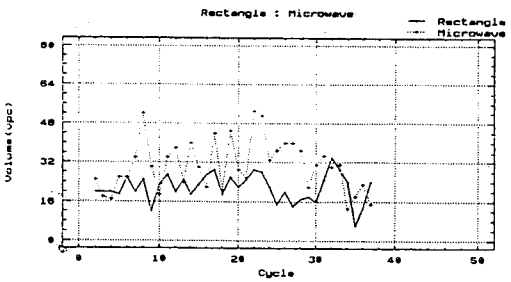
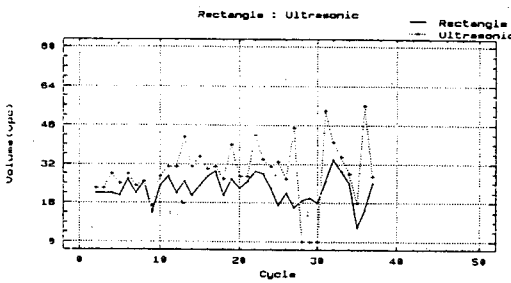
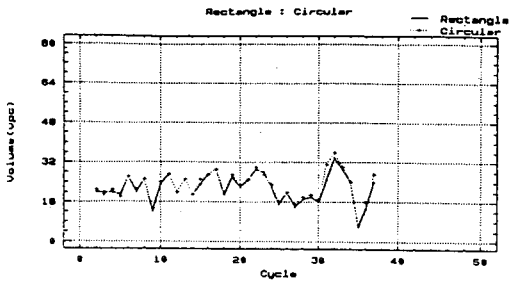
<부록 9> 비오는 날 - 직진포화도 비교분석

<부록 10> 비오는 날 - 좌회전포화도 비교분석

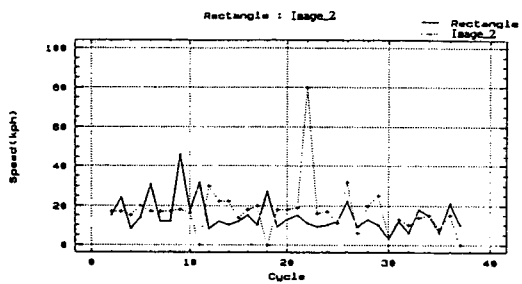
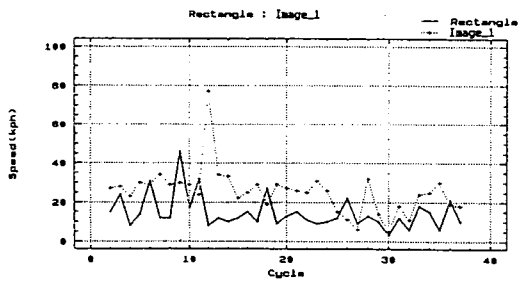
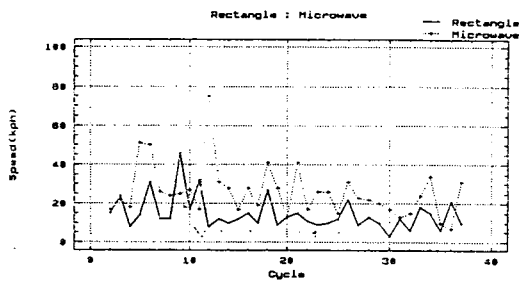
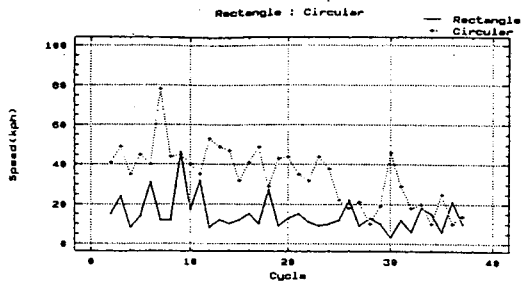


〈부록11〉 주간 - 교통량 비교분석

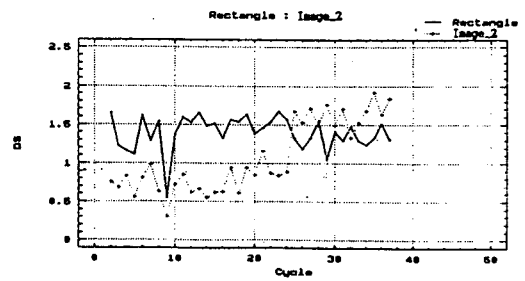
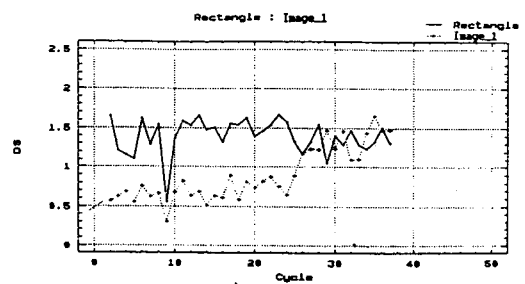
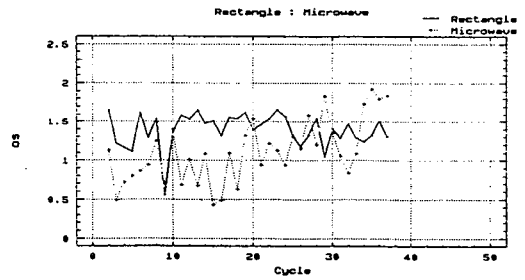
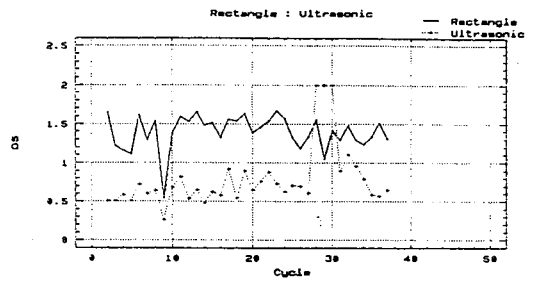
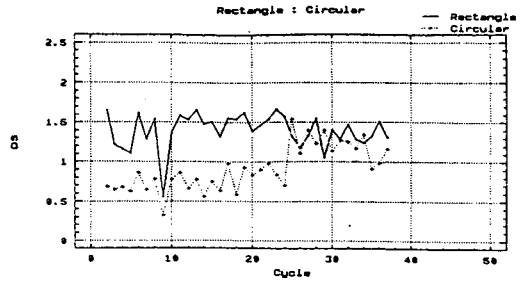
〈부록12〉 주간 - 대기행렬 비교분석



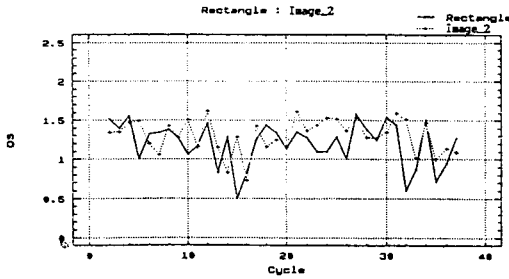
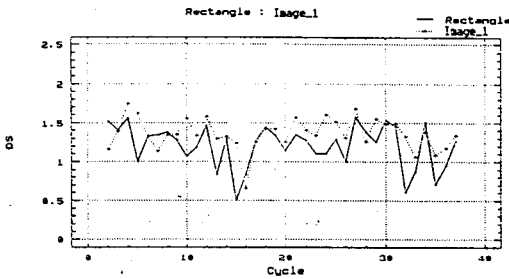
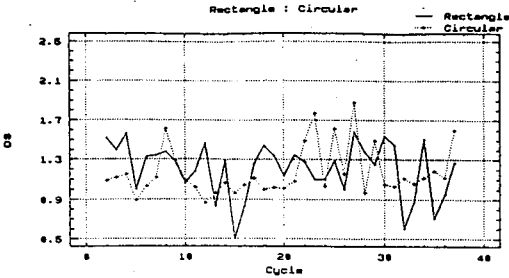
<부록13> 주간 - 속도 비교분석



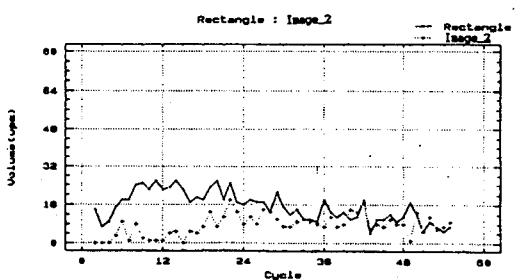
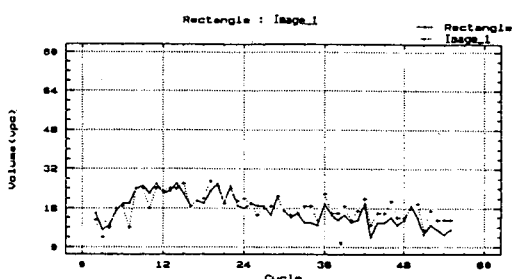
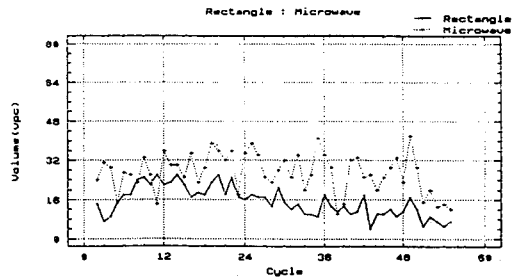
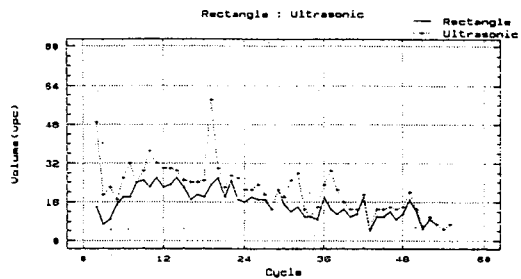
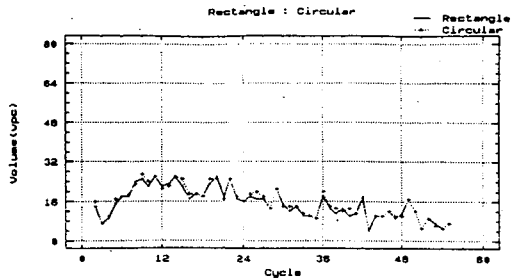
<부록14> 주간 - 직진포화도 비교분석



〈부록15〉 주간 - 좌회전포화도 비교 분석

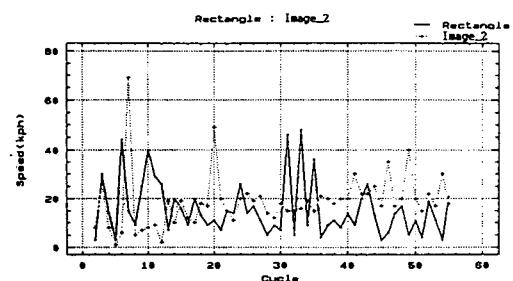
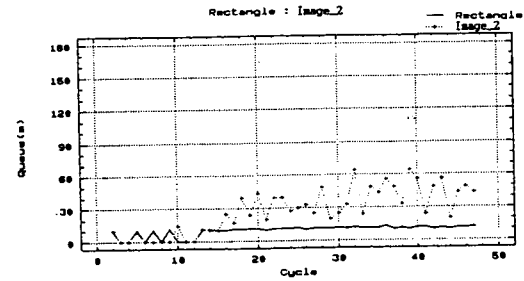
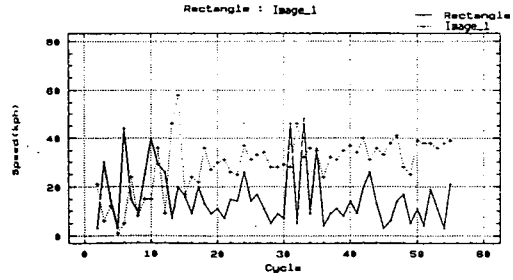
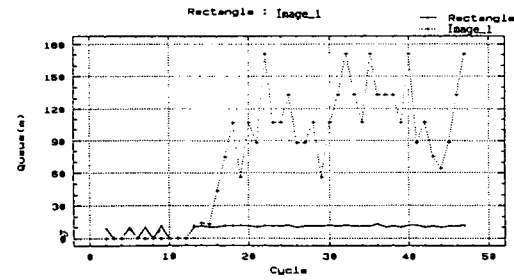
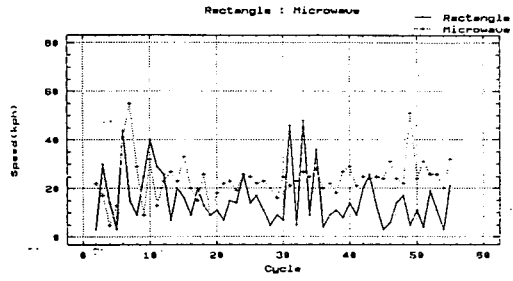
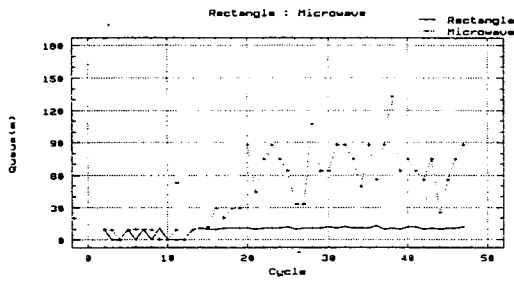
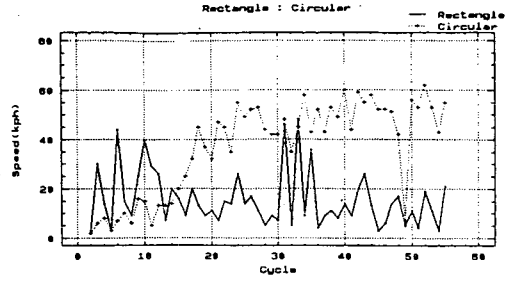
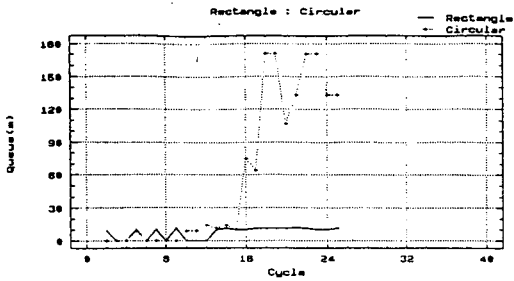


〈부록16〉 야간 - 교통량 비교분석



<부록17> 야간 - 대기행렬 비교분석

<부록18> 야간 - 속도 비교분석



〈부록19〉 야간 - 직진포화도 비교분석

〈부록20〉 야간 - 좌회전포화도 비교 분석

