

□ 論 文 □

영상처리를 이용한 여행시간 및 속도 계측 알고리즘 개발

The Development for Vision-Based Realtime Speed Measuring Algorithm.

오 영 태

(아주대 교통공학과 교수)

조 형 기

(아주대 교통연구소 선임연구원)

정 의 환

(아주대 대학원)

目 次

I. 서론

- 1. 연구의 배경 및 목적

II. 연구현황 및 이론적 배경

- 1. 영상검지기의 연구 및 개발현황
- 2. 이론적 고찰

III. 속도계측을 위한 영상처리알고리즘

- 1. 시스템의 구성
- 2. 속도계측 알고리즘

IV. 알고리즘의 수행도분석

- 1. 분석방법
- 2. 자료의 수집
- 3. 분석결과

V. 결론

[Appendix-1] Notation

[Appendix-2] 검증결과

[Appendix-3] 참고문헌

Abstract

Recently, surveillance system designed to collect various traffic information are becoming new areas of development. Among these, the image detector is a system which can measure the travel time and speed in realtime and this is emerging as the most efficient tool to be available in future traffic related areas. But in measuring wide-area information in realtime, the image detector are yet full of problem in its accuracy.

The aim of this thesis is to develop an algorithm which can collect wide-area information such as travel time and travel speed in urban networks and freeways in realtime. The information on wide-area such as travel time and travel speed is important in accomplishing strategic function in traffic control. The algorithm developed from this study is based on the image tracking model which tracks a moving vehicle from image data collected continuously, and is constructed to perform realtime measurement.

To evaluate the performance of the developed algorithm, 600 individual vehicles in total were used as data for the study, and this evaluation was carried out with the differentiation of day and night condition at the access roads in front of AJoU University. In the statistical analysis results, the error rate was recorded as 5.69% and it has proved to be applicable on the field in both day and night conditions.

I 서론

1. 연구의 배경 및 목적

도로의 효율적인 관리, 운영 및 제어를 위해서는 현재의 교통상태를 추정할 수 있는 다양한 정보들이 요구된다. 이러한 정보의 필요성에 따라 교통감시체계(Traffic Surveillance System : TSS)은 교통상태의 정확한 판단을 위한 여러 정보를 신속하고 정확하게 제공할 수 있는 시스템으로서, 관련 체계개발의 필요성이 점차적으로 대두되어지고 있으며, 국내·외적으로 TSS를 위한 교통정보 수집장치에 대한 개발이 활발히 진행되고 있다.

최근에 이르기까지 교통부문에 있어서 외국은 물론 국내에서 교통부문에 교통정보를 수집하기 위하여 유도식 루프검지기(Inductive Loop Detector : ILD)가 널리 이용되어왔다. 그러나 ILD는 자료의 수집목적에 검지기의 유형이 다양할 뿐만 아니라 차량이 통행하는 도로상에 매설되어야 하는 관계로 검지기의 설치시 공방법과 유지보수 등의 문제점이 많다. 더구나 ILD에 의하여 수집될 수 있는 기초자료는 교통량과 점유시간 및 비점유시간들이며, 이러한 기초자료들 기반으로 교통제어 및 관리를 위한 복잡하고 다양한 알고리즘들에 입력자료로서 활용하기 위해서는 간접적인 추정 및 예측모형에 적용한 결과를 이용하여야 하며, 이는 알고리즘에 적용될 자료의 정확도를 떨어뜨리는 물론 근본적으로 관계알고리즘의 신뢰도까지 저해하는 요인이 되어 결국 수집정보의 질적, 양적 다양화를 꾀할 수 없다는 단점을 가지고 있다. 이러한 ILD의 문제점으로 인하여 이를 해결하기 위한 노력으로 다양한 대체검지기실험이 계속적으로 검토 및 추진되고 있는 실정이다 [1][2][3].

대체검지기로서 초음파(UltraSonic), 초단파(MicroWave), 영상(Image)등의 다양한 방식의 검지기에 대한 검토가 이루어진바 있다. 이들 중 주로 검토되고 있는 검지기는 화상검지기로서, 최근 전자 및 제어기술 발달로 인한 고성능 DSP(Digital Signal Process) 칩의 발달이 지금까지의 화상처리기법들중 복잡하고, 정교한 알고리즘에 의한 실시간 적용이 어려웠던 단점을 극복함으로써 다양한 시제품이 개발되어 검지기의 설치방식이나 유지보수 및 수집정보의 질적, 양적 다양화를 도모할 수 있는 검지기로 대두되었다.

그러나 최근까지 개발되어온 영상검지기는 주로 ILD 대응기능(Emulation Function)으로서 교통량과 점유 및 비점유시간 등을 계측하며, 그외 대기길이, 차종(약3~4종), 속도(지속속도)에 대한 정보만을 계측하는 수준으로, 영상검지기가 ILD에 비하여 비교 우위에 있을 수 있는 여행시간(Travel Time) 및 여행속도(Travel Speed) 등의 광역적 정보수집기능이 미흡한 실정이다. 특히 국내의 경우 여행시간 및 여행속도를 계측할 수 있는 국내 고유의 알고리즘 개발사례가 없어 이에 대한 연구개발이 시급할 실정이라 하겠다.

따라서 본 연구의 목적은 상기의 여건 하에서 영상검지기의 광역적 정보수집기능이라 할 수 있는 여행시간 및 여행속도를 실시간 계측할 수 있는 알고리즘을 개발하고, 알고리즘 수행도를 평가하는 데 있다. 본 연구결과로서 개발된 알고리즘을 제시하였으며, 수행도 평가결과는 주간 및 야간환경에 대하여 현장자료를 토대한 검증결과를 제시하였다.

II 연구현황 및 이론적 배경

1. 영상검지기의 연구 및 개발 현황

영상을 통한 교통정보의 수집은 Film을 사용하여 교통을 분석하고자 한 것이 최초의 시도였다. 이후 영상처리 및 컴퓨터응용과학의 발전에 따라 무인 자동화를 지향하는 영상처리기반의 정보수집장치를 개발하고자 한 것이 영상검지기의 시작이었다. 영상처리를 통한 자동정보수집장치에 관한 연구는 1970년대 초, 미국과 일본에서 동일한 시기에 시작되었다. 일본의 경우 최초의 연구는 동경대학(University of Tokyo)에서 시작되었고, 미국의 경우 WADS

(Wide Area Detection System)라는 이름으로 최초의 프로젝트가 실시되었다[10]. 그러나, 1970년대의 연구는 다분히 실험적이었고, 1980년대 중반이후 Microprocessor, Memory, 소프트웨어 등의 급격한 발전에 힘입어 실용적이고 경제성이 있는 영상검지기의 구현이 가능하게 되었으며, 이는 결과적으로 현장작용을 궁극적인 목적으로 하는 상업용 시제품이 본격적으로 출현하기 시작하였다.

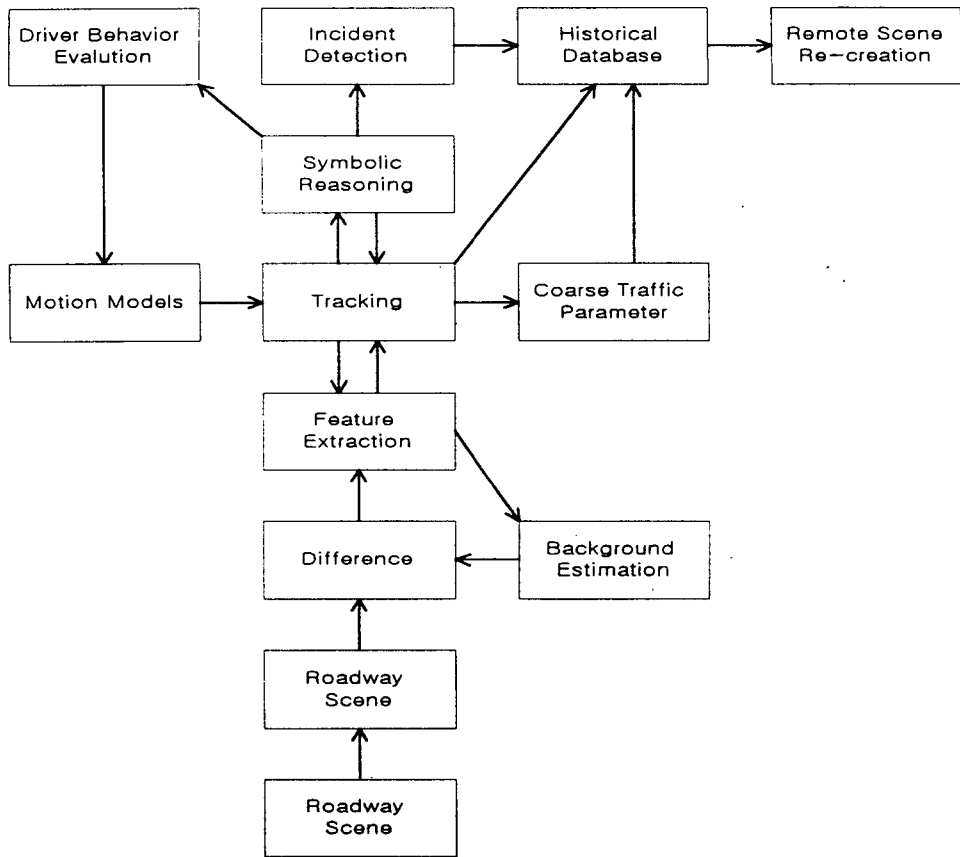
〈표 1〉 현재 개발되었거나 개발중인 영상검지시스템[5]

기관 / 조직명	제품명	현황
Image Sensing System	Autoscope / 스페인-SICE 영국-McCue / 미국-Econolite	상용가능
SIEMENS-PLESSEY	Artenis	1992년 착수
PEEK Traffic Ltd.	VistaScan	1992년 착수
Golden River Traffic Ltd.	IMPACTS	상용가능
VELEC(Titan Inret)	Tristar	상용가능
ELIOP	EVA/ARGOS	시제품
SIAT	Neurone	개발
Univ. of Kaiserslautern	DIVA system	개발
Univ. of Reading	Prof Keith D Baker	-
New Castle Upon Tine	Drivers Image Proc	-
Hughe Aircrafts	Hughe	-
SIEMENSE Munchen	Classification using / Image Processing Traffic Analysis	-
Image Recognition System	-	번호판인식
SILEC France	Silec	-
Traffic Tracker	-	-
Institute Robert BOSH	IRB	개발
Simulation Systems Ltd.	Stopped Traffic Monitor	-
TRAFICON	CCATS / CCIDS / VIC	상용가능
Simulation Electric Ltd.	IP System in Tunnels (IAPAN)	상용가능
Philips Automation S.p.A	SBIP-II	번호판 인식

이러한 상업적인 제품중 AUTOSCOPE 시스템은 1992년부터 Oakland Country, Michigan에서 실시되고 있는 FAST-TRAC이라는 ITS프로젝트에 실제로 설치되어 운영되고 있다[11]. 현재 개발중이거나 개발이 완료된 영상검지 시

스템은 〈표 1〉 같다.

최근의 연구경향을 보면 차량의 추적을 통한 차량의 궤적 및 이동벡터를 추출하여 정보를 수집하고자하는 연구들이 많이 진행되고 있다. 실제로, University of California에서 수행된



〈그림 1〉 A Machine Vision Based Surveillance System(PATH MOU-83)

PATH Project MOU-83이라는 연구에서는 차량의 추출 및 추적 등을 통한 저수준(Low-Level)의 교통정보는 물론 유고검지 및 운전자의 행위의 평가 등과 같은 고수준(High-Level)의 정보까지도 추정해내는 포괄적인 영상검지시스템에 관한 Prototype이 제시되었다[14]. 이와 관련하여 PATH Project MOU-83의 연구에서 적용한 영상처리 시스템의 기능적 흐름도가 〈그림 1〉과 같다. 그러나, 이 연구의 경우는 뛰어난 성능을 보이기는 했으나, SUN SPARC-10의 시스템도 실시간성을 확보하지 못할 정도로 실시간성에는 문제점을 가지고 있는 것으로 나타났다.

2. 이론적 고찰

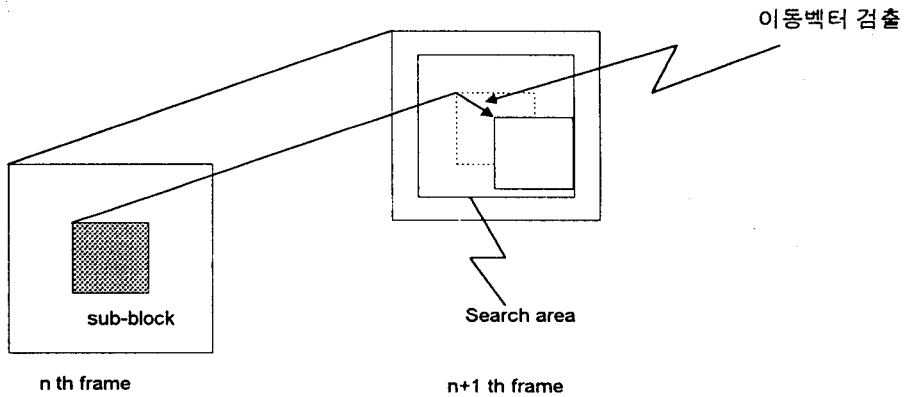
1) Block Matching Algorithm

영상에서 변화가 발생하였을 경우 움직인 물체내의 화소들은 같은 이동 벡터를 가지며, 이러한 화소들로 구성된 작은 크기의 블록은 블록단위로 이동이 수행되었다고 가정할 수 있다. 즉 〈그림 2〉과 같이 현재의 블록이 이전 영상의 어느 위치로부터 이동되어 왔다면 이전 영상에는 현재 블록과 같은 블록이 존재할 것이며, 이 이동 벡터를 계산에 의해 찾을 수 있다. 이와 같이 블록단위로 이전 영상으로부터 이동 벡터를 검출하는 방법을 BMA(Block Matching

Algorithm)라고 한다[8].

BMA에서는 물체의 운동이 화소간격의 정수배 만큼 평행이동 한다는 가정이 필요하다. 그러나 일반적으로 물체의 운동은 화소 간격의 정수배 만큼 평행이동하는 것만이 아니고 회전 운동, 병진운동 등 3차원의 복잡한 운동을 갖는다. 이러한 3차원적 운동을 2차원의 영상에서 정확히 찾는다는 것은 불가능하다. 또한 이동

벡터를 찾기 위해서 수직, 수평으로 규격화된 블록들을 서로 Match 시킬 때 많은 Mismatch가 발생한다. 따라서 이전 영상으로 부터 현재 블록과 똑같은 블록을 찾기란 어렵고 단지 두 블록 사이의 왜곡(distortion)이 최소가 되는, 즉 현재 블록과 가장 유사한 블록을 찾을 수 있으며 그의 변위 벡터를 이동 벡터로 결정할 수 있다.



<그림 2> BMA에 의한 벡터 검출 방법

이러한 BMA에서는 다음과 같은 사항이 고려되어야 한다.

첫째, 블록의 크기를 얼마로 해야 할 것인가를 결정하는 것이다. 블록의 크기는 연산량에 커다란 영향을 미치며, 블록의 크기는 BMA의 수행도에 큰 영향을 준다. 블록의 크기가 작아지면 다음 영상에서 이와 유사한 블록을 찾는데 있어서 두 블록의 Mismatch의 정도가 작아지나, 잡음(Noise) 등의 영향을 크게 받게 된다.

둘째, 현재 블록과 유사한 블록을 이전 영상의 어느 부분에서 찾을 것인가 하는 것이다. 연속되는 두 영상간의 이동 벡터는 일반적으로 크지 않기 때문에 이전 영상의 전체 영역에서 이동 벡터를 찾을 필요는 없다. 따라서 하드웨어 등을 고려하여 적당한 크기의 영역을 설정하여 그 영역안에서만 이동 벡터를 검출할 필요가 있다. 이 영역을 탐색영역(Search Area)이라고 하는데, 이 탐색영역은 물체의 최대운동속도와 관계가 깊다.

셋째, 두 블록의 유사한 정보를 어떻게 나타낼 것인가 하는 것이다. 두 블록의 비슷한 정도를 나타내는 왜곡함수(Distortion Function)는 블록내의 각 화소 단위로 계산되며, 다음과 같은 함수들이 사용된다[9].

① NCCF(Normalized Cross Correlation Function)

$$NCCF(i, j) = \frac{\sum_{n=1}^M \sum_{t=1}^N I(m, n, t) \cdot I(m+i, n+j, t-\tau)}{[\sum_{n=1}^M \sum_{t=1}^N I^2(m, n, t)]^2 [\sum_{n=1}^M \sum_{t=1}^N I^2(m+i, n+j, t-\tau)]^2}$$

---<식 1>

② MSE(Mean Square Error)

$$MSE(i, j) = \frac{1}{M \cdot N} \sum_{n=1}^M \sum_{t=1}^N [I(m, n, t) - I(m+i, n+j, t-\tau)]^2$$

---<식 2>

③ MAE(Mean of Absolute Error)

$$MAE(i, j) = \frac{1}{M \cdot N} \sum_{n=1}^M \sum_{t=1}^N |I(m, n, t) - I(m+i, n+j, t-\tau)|$$

---<식 3>

④ NAE(Number of bit necessary to binary code the Absolute Error)

$$NAE(i, j) = \frac{1}{M \cdot N} \sum_{n=1}^M \sum_{t=1}^N \log_2 [|I(m, n, t) - I(m+i, n+j, t-\tau)| + 1]$$

---<식 4>

여기서 I(x,y,t)는 t번째 영상에서 (x,y)위치의

화소의 값을 나타낸다. 이들 함수 중에서 계산이 간편하고 구현이 용이한 MSE, MAE 등이 주로 사용된다.

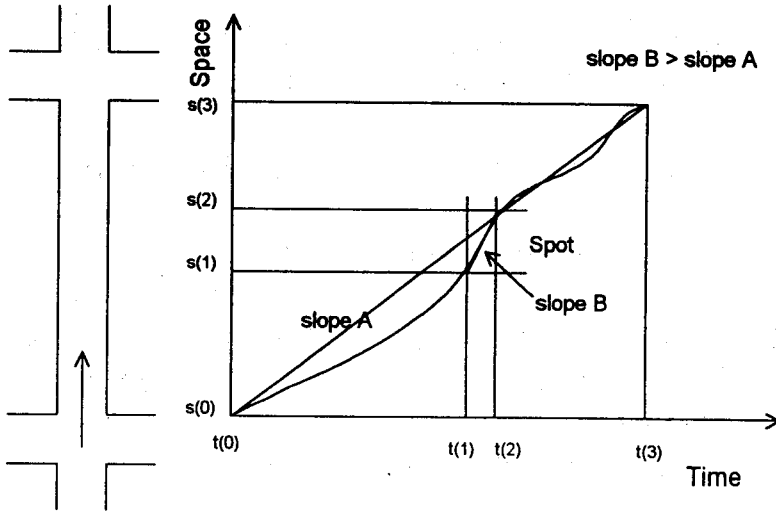
2) 속도

여행속도(Travel Speed) 혹은 통행시간(Travel Time)에 대한 정보는 어떤 도로 및 도로망의 운영상태를 나타내는 기준이 된다. 이러한 운영상태에 대한 기준은 교통관제 측면과 운전자 측면에서 계속되는 여행속도에 따라 통행의 질(quality)을 부분적으로 평가할 수 있다.

운전자는 운행중 속도에 두가지의 느낌을 가지게 된다. 그중 하나는 달리는 순간에 느끼는 속도감, 즉 지점속도(Spot Speed)¹⁾이며, 다른 하나는 어느 거리를 달렸을 때, 걸린시간과 그 거리로 계산되는 통행속도(Travel Speed)²⁾이다. 지점속도는 어느 순간에 속도계에 나타나는 속도로서 운전자가 실제로 느끼는 속도이지만, 통행속도는 운전자가 직접 느끼 수 있는 것이 아니라 그 역수인 통행시간(Travel Time)을 통하여 느끼면서 통행의 질을 평가하게 된다.

어떤 링크(Link)에 대한 운행의 질을 평가하는 모수로서의 속도를 살펴보면, 어떤 지점에서의 순간순간의 속도보다는 전체적인 통행속도가 훨씬 유용하다. 왜냐하면, 순간적인 지점속도로는 링크전체의 상황을 대변하기가 어렵기 때문이다. <그림 3>을 보면 s(1)-s(2)의 구간을 기준으로한 속도(Slope B)는 전체 s(0)-s(3)의 구간의 전체속도(Slope A)를 반영하기에 어려움이 있음을 알 수 있다. 이러한 이유로, 통행속도는 교통류의 해석, 도로이용자의 비용분석, 서비스수준의 분석, 혼잡지점의 판단, 교통통제기법의 개발 등에 유용하게 사용될 수 있다.

1) 어느 특정 지점 또는 짧은 구간 내의 속도로서 구간내 감속 및 가속이 고려될 수 없는 속도이다.
2) 어느 특정 도로구간을 통행한 평균속도로서 해당구간내에서 가속 및 감속 그리고 정지까지를 포함한다.

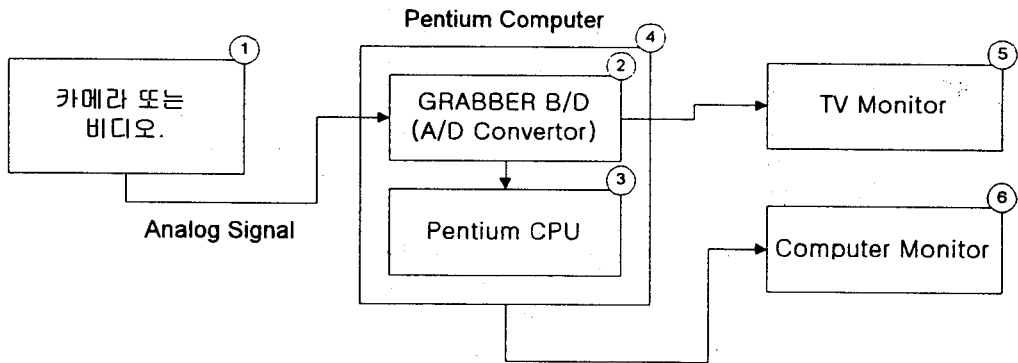


〈그림 3〉 지점속도와 통행속도

Ⅲ 속도계측을 위한 영상처리 알고리즘

본 연구에 사용된 시스템의 전체적인 H/W 구성은 다음의 〈그림 4〉와 같다.

1. 시스템의 구성



〈그림 4〉 영상검지 시스템의 전체적인 개요도

① 영상자료 수집을 위한 기본적인 요소로서 아날로그 정보를 수집하며, CCTV 혹은 Video Deck에 해당한다. 본 연구는 CCTV 카메라(영상처리를 위한 전용카메라)를 통해 직접처리 및 녹화하여 수행하였다.

② 아날로그(Analog)형태의 영상신호(NTSC)를 디지털(Digital)신호로 변환시켜준다.

다양한 성능을 지닌 Grabber Board가 있으며, 본 연구에서는 256×256 Pixel의 해상도, Pixel당 256 Gray Level, 초당 약 15 Frame을 지원하는 영상보드(ISA Bus)를 사용하였다.

③ 영상처리를 위한 전처리 및 이동체 추적을 위한 주된 알고리즘이 수행된다. 영상처리 알고리즘 및 Frame의 질(예, 칼리수, 해상도

등)에 따라 다양한 기능의 프로세싱이 요구되며, 본 연구에서는 실시간 수행을 위한 알고리즘이 적용되었다.

④ 본 연구에서는 영상처리를 위하여 P54C/EP(Pentium-75) PC를 이용하였다. 또한, 프로그래밍은 Borland C++ 3.1 Compiler를 이용하였다.

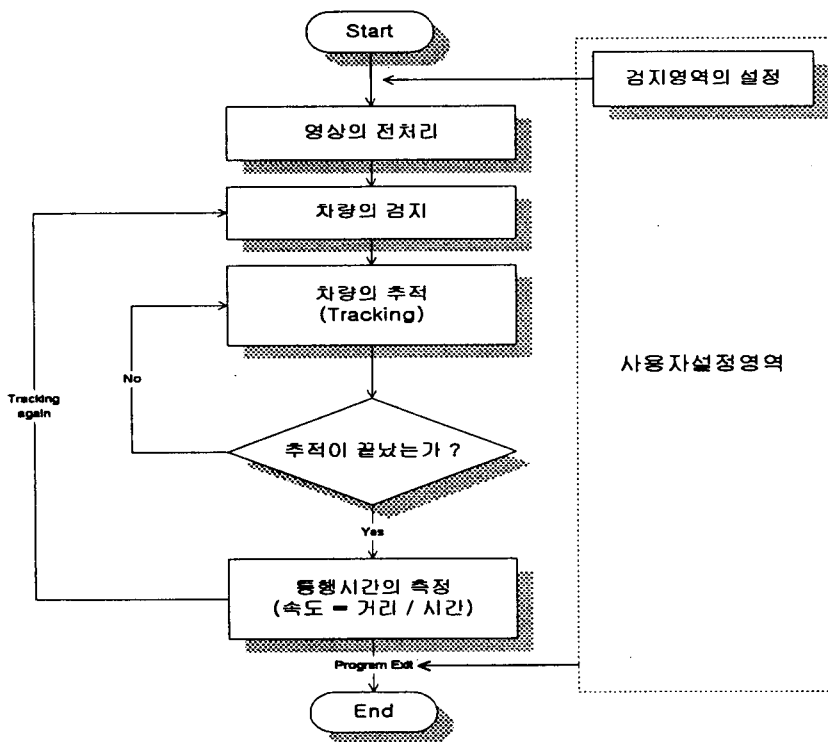
⑤⑥ 모니터링 및 처리된 영상정보의 표시를 위하여 사용된다. TV 모니터는 grab된 영상에 대하여 이동체 추적에 대한 정보를 실시간 확인할 수 있도록 overlay하여 출력하며, 컴퓨터 모니터는 특정 구간에 대하여 계측된 여행시간

에 대한 계측정보를 출력하는 목적으로 사용되었다.

2. 속도계측 알고리즘

1) 개요

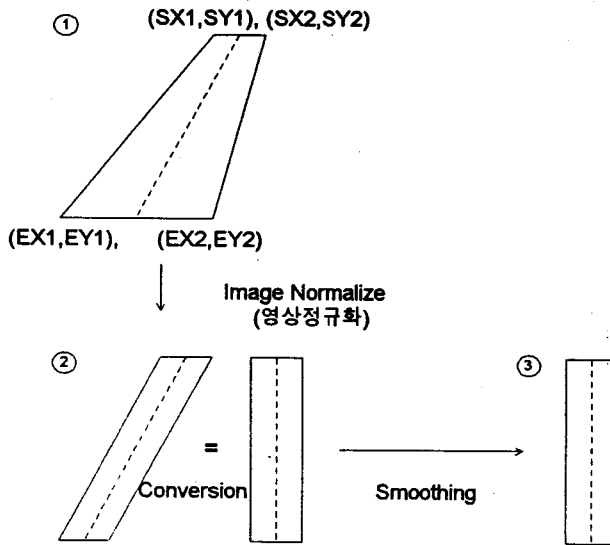
본 연구에서 제시된 속도계측 알고리즘은 첫째, 영상의 전처리부문, 둘째, 차량의 유무검지 알고리즘 부문, 셋째, 차량의 추적(Tracking) 알고리즘 부문으로 구성되며, 전체적인 흐름은 <그림 5>와 같다.



<그림 5> 알고리즘의 전체적인 개요

2) 영상의 전처리(Preprocessing)
차량의 검지 및 추적을 용이하게 할 수 있도록

Grabbing한 영상을 가공하는 절차가 영상의 전처리(Preprocessing)과정이다.



〈그림 6〉 영상의 전처리 절차

Monitor상에 표현되는 도로의 영상은 원근으로 인하여 〈그림 6〉의 ①과 같은 형태로 나타난다. ①의 (SX1, SY1), (SX2, SY2) 및 (EX1, EY1), (EX2, EY2)는 각각 검지영역의 시작점과 끝나는 점을 나타낸다. 사다리꼴의 형태를 하고 있는 영상 ①을 검지영역의 시작점의 길이(|SX1-SX2|)를 기준으로 하여 ②와 같은

직사각형의 형태로 정규화(Normalize)를 한다. 영상 자료의 전처리를 통하여, 처리해야할 영상 자료를 표준화함으로써 일률적이며, 효과적인 Matching을 도모할 수 있다.

즉, 전처리과정은 설정된 추적구간영상의 크기를 변환하는 절차로, 이를 의사코드로 표시하면 다음과 같다.

```

Do while i=1 to i=EX2-EX1
  id = i × (SX2-SX1) / (EX2-EX1)
  N(id) = N(id) + 1
  Î(id) = Î(id) + {I(i) - Î(id)} / {N(id) - 1}
End While
    
```

* 변수설명은 〈그림 6〉참조

②의 형태로 Normalize된 영상은 잡음(Noise)의 제거를 위한 평활화(Smoothing)를 한다. 평

활화는 세로방향으로 3개의 Pixel을 평균내는 방식으로 진행되었다(식 5).

$$\overline{I_{ij}^n} = Average$$

$$(\hat{I}_{(i,j-1)}^n, \hat{I}_{(i,j)}^n, \hat{I}_{(i,j+1)}^n)$$

--- <식 5>

3) 차량의 검지(Detection)

차량의 정확한 추적을 위해서는 추적을 시작하는 시점이 우선적으로 결정되어야 한다. 차량의 검지는 차량이 검지영역에 진입하는 것을 지속적으로 검색하여, 검색 구간 내에서의 모든 차량들을 동시에 추적할 수 있다. 본 연구에서 추적할 수 있는 총 차량의 수는 설정하는 추적구간의 크기에 따라 다르지만 다음의 기본식에 의하여 간접적으로 산출될 수 있다.

$$Max_Veh = \frac{Image_Length}{Veh_Space} + 1$$

---<식 6>

- Max_Veh** : 총 추적 가능차량,
- Image_Length** : 차량의 실제 길이,
- Veh_Space** : 차량한대의 길이(6.33)

따라서, 차량의 검지는 상기 <식 6>에 의해서 산출되는 차량수가 추적중에 있을 경우에는 추적구간에 모든차량이 정지중에 있는 상황으로 더 이상 차량의 검지를 하지 않는다.

그리고, 차량의 진입여부는 검지영역의 차량 진입부의 (n)번째 프레임과 (n+1)번째 프레임의 상대적인 값의 차이를 가지고 결정하였다. 이를 위하여 사용한 식은 다음과 같다.

$$| \sum_{i=1}^{PB_Y} \sum_{j=1}^{PB_X} \overline{I_{ij}^n} - \sum_{i=1}^{PB_Y} \sum_{j=1}^{PB_X} \overline{I_{ij}^{n-1}} |$$

> Threshold

---<식 7>

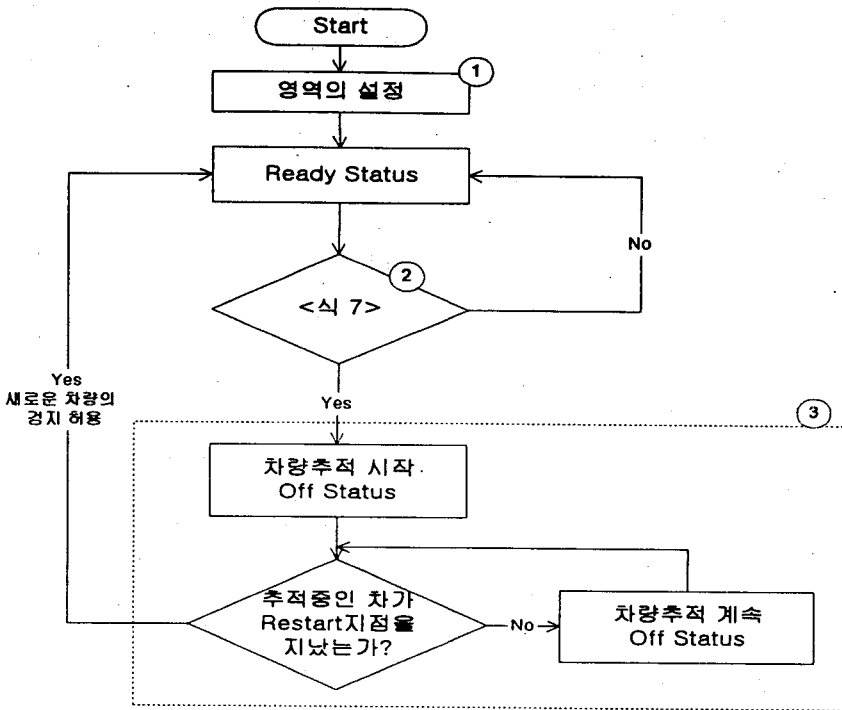
임계치(Threshold)의 결정은 경험적인 값을 사용하되, 화소(Pixel)의 수에 따라 가중치를 부여 하였다. 이러한 가중치는 화소의 그레이레벨(Gray-level)의 작은 변화에 적응할 수 있도록 하기 위함이며, 야간시 진행방향의 인접차선에서의 전조등 및 잡음(Noise) 등에 의한 영향을 최소화 할 수 있다. 또한, <식 7>은 각 프레임간 검지영역에서의 상대적인 차이를 토대로 검지여부를 결정하므로 주·야간별 별도의 임계치(Threshold)를 설정할 필요는 없다.

차량이 일단 검지되면 추적을 시작하게 된다. 그런데, 연구에서 선(Line)을 기준으로하여 픽셀값의 상대적인 변화를 감지하여 차량의 존재를 확인하므로 차량의 끝을 정확히 판단하는 것이 어렵다. 또한, 영상에서 Occlusion이 발생하거나 차량이 군을 이뤄서 검지영역에 진입하는 경우 개별차량을 정확하게 구분하는 것이 어렵다. 본 연구에서는 이러한 문제를 근본적으로 해결하지는 못하였으며, 다음과 같은 규칙(Rule)을 첨가하여 부분적으로 이러한 문제를 해결하였다.

- ① 검지영역의 시작점으로부터 승용차 1대가 들어갈 수 있는 영역을 설정(<그림 12>의 Z)
- ② 검지영역의 시작점에서 <식 7>을 사용하여 차량의 진입여부를 확인
- ③ 차량이 검지되면 추적을 시작한다. 단, 추적을 시작한 차량의 추적점이 ①에서 설정한 영역을 통과해야만 다음차량의 검지를 허용한다.

이상의 규칙으로 차량을 구분하므로, 버스나 대형 화물차와 같은 중차량(Heavy Vehicle)은 2대로 잡을 수도 있으나, 속도의 산출에 있어서는 거의 영향이 없다.

이상 설명한 알고리즘의 개요는 <그림 7>과 같다.



〈그림 7〉 차량의 유무검지를 위한 알고리즘

4) 차량의 추적(Tracking)

본 연구에서 개발한 속도계측 알고리즘의 기본적인 원리는 차량이 검지영역을 진입하여 빠져나가는 시간을 측정하여 시간과 검지영역의 길이를 가지고 속도를 산출하게 된다. 즉, 검지영역에 차량이 진입하면 진입시간 (T_{Enter})을 기록하고 차량을 추적한다. 그리고, 차량을 검지 검지영역을 빠져나가는 시간(T_{Exit})을 측정하게 된다. 이에 대한 속도계측 관계식은 다음 〈식 8〉와 같다.

$$u = \frac{\text{검지영역의길이}}{T_{Enter} - T_{Exit}} \quad \text{---〈식 8〉}$$

차량이 진입함과 동시에 Matching기법을 사용하여 차량의 추적을 시작한다. 때 ($n-1$)번째 Frame을 기반으로하여, (n)번째 Frame중 가장 유사한 영상을 〈식 9〉를 이용하여 찾는다.

$$\text{Minimum} \left(\sqrt{\sum_{j=0}^{MB_y} \sum_{i=0}^{MB_x} [I_{ij}^n - I_{(i+i')(j+j')}^{(n-1)}]^2} \right)$$

for $0 \leq i' \leq S_x, 0 \leq j' \leq S_y$

---〈식 9〉

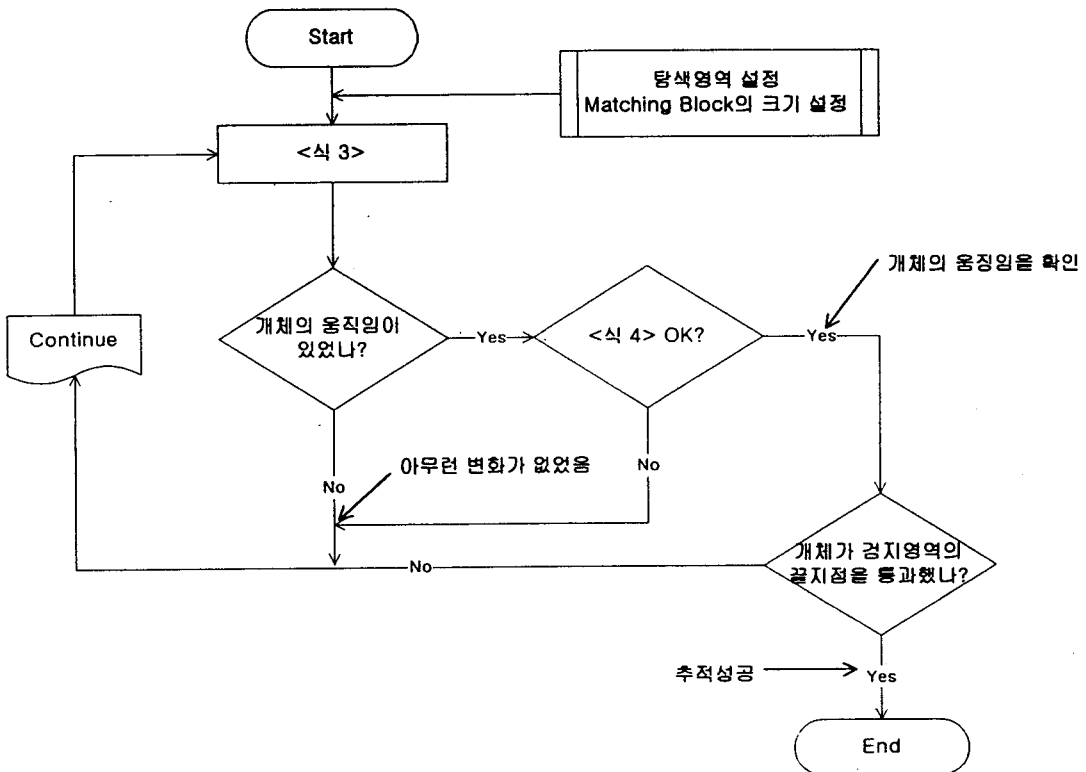
이러한 방식으로 일단 Matching이 다시 <식 10>를 사용하여 최종적으로 정확한 Matching인지 아닌지를 확인하게 된다. <식 10>에서 사용하는 값은 <식 9>의 Matching시 사용하는 기준 값과 같은 값으로, Matching에 성공했다라도 그 때의 오차가 크면 Matching이 실패한 것으로 본다. 이렇게 다시 확인을 하는 이유는 화상의 잡음(Noise)으로 인한 잘못된 Matching을 가려내기 위함이다. 임계치 값은 경험적으로 얻은 값을 사용하며, Matching의 질을 평가하는

것이므로 주·야간 임계치의 변화는 없다.

$$\sqrt{\sum_{j=0}^{MB_y} \sum_{i=0}^{MB_x} [I_{ij}^n - I_{(i+i_s)(j+j_s)}^{(n-1)}]^2}$$

< Threshold ---<식 10>

그리고, 최종적으로 Matching이 종료되면 검지영역의 통행시간을 구하게 된다. 이상의 Matching 알고리즘의 절차는 <그림 8>과 같다.



<그림 8> 차량 추적 알고리즘

IV 알고리즘의 수행도 분석

1. 분석 방법

알고리즘의 평가는 차량이 검지영역에 진입할 때의 차량의 검지율, 차량의 추적에 있어서의 성공률, 추적결과치와 실측치와의 비교 및

검정 등의 총 세가지 항목에 대하여 수행되었다.

1) 차량의 검지율

차량의 검지비율은 차량추적구간의 시작 지점에서의 통과차량의 감지여부에 대한 정확도를 설명하는 지표로 정의된다. 따라서 차량의 검지여부는 차량이 추적구간의 시작지점을 점유하는 순간 이를 판단하여 결정하며, 검지율은 검지에 대한 성공비율을 결정하게 된다.

2) 추적성공율

차량의 검지가 성공적으로 이루어졌을 때, 해당 차량이 추적구간의 유출지점을 통과할 때까지 추적이 수행될 경우에 대한 성공비율을 의미한다. 이러한 추적성공비율을 산출함에 있어서 다음과 같은 경우는 실패한 경우로 규정하였다.

- ① 대상차량을 추적중 목표 차량의 위치를 잃은 경우
- ② 대상차량을 추적중 인접차선간의 occlusion으로 목표차량의 위치를 잃은 경우

그러나 대상차량을 추적중 버스와 같은 대형 차량의 경우를 2대의 차량으로 검지되어 차량 위치의 손실없이 추적되었을 경우는 1대로 규정하여 성공률을 반영하였다.

3) 정확도검증

검지영역의 실제거리는 사전에 입력되는 상수(Constant)이므로, 검지영역 내에서의 여행시간($T_{Exit} - T_{Enter}$)을 사용하여 알고리즘의 정확도를 평가하였다. 정확도의 평가를 위하여 오차율 및 통계적 검증방법을 사용하였다.

(1) 오차율

오차율은 실측자료와 계측자료간 상대오차를

분석할 수 있는 간접적인 지표로서, 다음 <식 11>에 의하여 산출될 수 있다.

$$\text{오차율(\%)} = \frac{\sum_{i=1}^n |f_i - f_d|}{\sum_{i=1}^n f_i} \times 100$$

---<식 11>

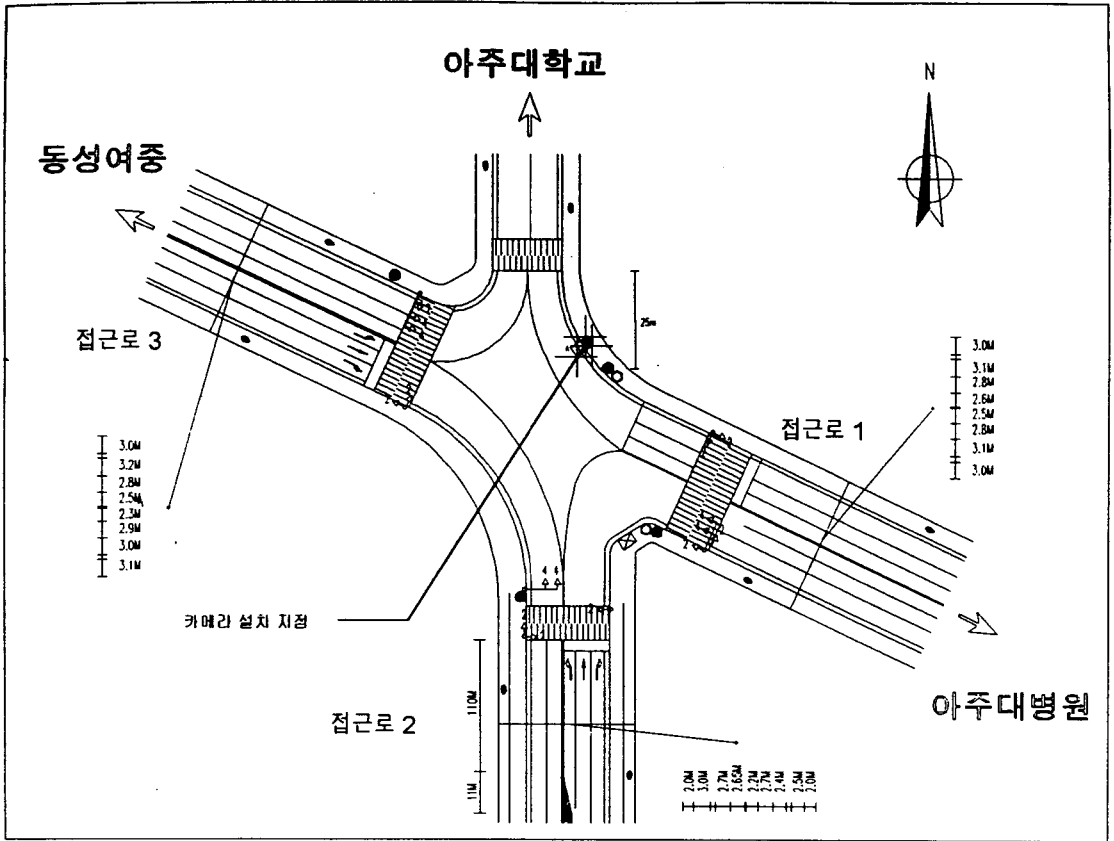
(2) 통계적 검증

본 연구에서 적용할 수 있는 통계적 검정은 실측치와 계측치간의 차이를 검증하기 위한 통계적 분석방법으로 T-검증과 F-검증을 수행할 수 있다. 그러나 본 연구에서는 T-검증에서 분산에 대한 불편추정치(Unbias Estimator)가 고려되므로 별도의 F-검증은 생략하였으며, 유의수준(α)을 0.05로 하여 (H_0 : 실측값 = 관측값, H_1 : 실측값 \neq 관측값)을 기본가설로 T-검정법을 적용하였다.

2. 자료의 수집

검증을 위한 자료의 수집은 아주대 입구 약 12m높이에 설치된 CCTV카메라로부터 수집되는영상을 사용하였고, 각 접근로별로 주·야간 환경을 대상으로 각 조건당 100개씩 총 600개의 개별차량의 자료를 수집하여 알고리즘의 분석 및 검증을 목적으로 이용되었다.

현장실험의 대상으로 선정된 지점에 대한 도로기하구조 및 카메라의 설치위치는 <그림 9>에 제시되어 있다.



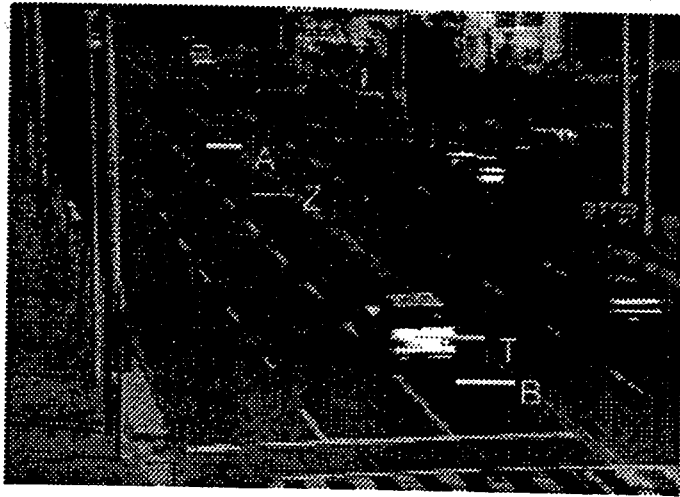
<그림 9> 실험현장



<그림 10> 접근로 23의 수집영상

<그림 10>은 접근로 23에 대하여 사용된 실제영상을 보여주고 있다. 각 접근로에서 자료수집을 위하여 주로 선정된 차선은 접근로 23의

경우 3번째 차선, 접근로 1의 경우 1번째 차선이다.



〈그림 11〉 실제 주간시 Tracking 되는 영상자료

〈그림 11〉은 본 연구에서 개발된 알고리즘에 의하여 실제 대상차량을 추적하는 경우로서, 그림에서 A는 추적구간의 시작지점으로 차량의 검지여부를 파악하는 지점이며, 영역 Z는 1단계

추적구간이며, B는 추적구간의 끝지점, T는 이동 중인 대상차량의 위치를 나타내는 지시자(indicator)이다.

〈표 2〉 자료의 수집시간 및 자료의 수 (96. 9.12 - 19)

	주간		야간	
	접근로 1 / 자료수	오후 1시 ~ 3시	100개	오후 8시 ~ 10시
접근로 2 / 자료수	오후 12시 ~ 2시	100개	오후 9시 ~ 10시	100개
접근로 3 / 자료수	오후 4시 ~ 6시	100개	오후 8시 ~ 10시	100개

3. 분석결과

과 같다.

본 연구에서 개발된 알고리즘의 수행결과에 의한 예측된 여행시간자료와 실측된 자료에 대하여 검지율과 추적을 및 통계분석결과는 다음

1) 검지율

접근로 1,2,3을 대상으로 주야간의 각 환경에 따른 검지율은 다음 〈표 3〉과 같다.

〈표 3〉 각 접근로별 차량의 검지율

	주간	야간
접근로 1	98/100 (98%)	97/100 (97%)
접근로 2	99/100 (99%)	97/100 (97%)
접근로 3	94/100 (94%)	99/100 (99%)

상기 <표 3>에서 제시된 차량의 검지율은 주간평균 97%, 야간평균 97.7% 전체적으로 평균 97.3% 수준으로 나타났다. 실험결과에서 전반적으로 주간과 야간의 경우는 검지율은 우수하다 할 수 있으나 야간시 차량의 전조등으로 인하여 검지기가 매우 민감하게 나타났으며, 주간인 경우 차량과 도로의 그레이레벨이 유사한 경우 민감도가 떨어지는 경향이 있는 것으로 나타났다. 또한 이러한 민감도에 부가적으로 영향을 주는 요인으로는 잡음이 있다. 대상 추적구간의 길이를 약 80m 정도 설정함으로써 원거리에 위치한 차량검지지점의 검색범위가 작아 잡음(Noise)과 대상차량의 그레이레벨에 대한 변화를 효과적으로 구분하지 못하는 경우가 발생되었다.

주간인 경우 인접차선을 통과하는 차량의 그

림자의 영향이 검지율에 약간의 영향을 주었으나, 크게 문제가 되지는 않았다. 그러나, 그림자 문제는 다양한 환경에서의 실험을 통해 조금 더 검토할 필요성이 있다고 생각된다. 한편, 야간의 경우에 있어서, 평균적으로 주간인 경우보다 검지율이 높은원인은 야간의 경우 거의 모든 차량들이 전조 등을 사용하고 있어, 전조등이 차량의 특성을 명확히함으로써 주간인 경우보다 더 높은 검지율이 나타나게된 원인으로 판단된다.

2) 추적성공률

추적 성공률은 대상차량이 추적구간내에서 차량의 검지를 시작으로 추적구간의 끝단을 통과할 때 까지 성공적으로 추적한 차량들에 대한 비율로서, 추적성공률은 다음 <표 4>와 같다.

<표 4> 각 접근로별 차량의 추적성공률

	주간	야간
접근로 1	83/100 (83%)	92/100 (92%)
접근로 2	86/100 (86%)	84/100 (84%)
접근로 3	87/100 (87%)	86/100 (86%)

각 주야간에 대한 추적성공률은 주간인 경우 평균 85.3%, 야간의 경우 87.3%이었으며, 전체 평균 86.3%수준이었다. <표 4>에서의 추적성공률이 <표 3>의 차량 검지율에 비하여 다소 떨어지는 이유는 차량들이 추적구간을 진입하여 통과할 때 까지 Occulsion과 영상수집장치인 Grabber장치의 심한 잡음으로 나타난 결과로 판단된다. 특히, 대상 추적구간내의 도로가 구배를 포함하는 경우, 정면에서 촬영한 영상인 경우(본 연구의 경우 접근로 2), 카메라와 지면이 이루는 각이 작은 경우에는 Occulsion이 심

각하게 발생되어 수행도에 상당한 악영향을 주게 된다.

한편, 접근로 1의 야간의 경우 추적성공률이 더 우수한 이유는 야간시 접근로 1에서 접근로 2 방향으로의 회전 교통량이 많아 타 차선으로부터의 Occulsion영향이 상대적으로 적게 미치기 때문으로 판단되었다.

3) 추적결과치에 대한 통계적 검정

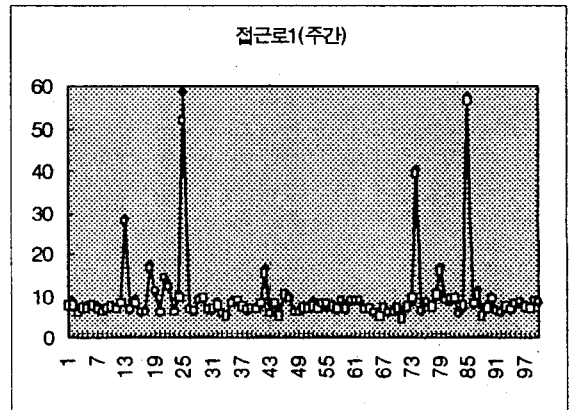
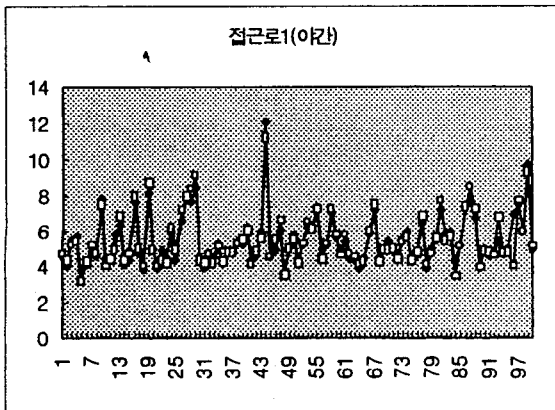
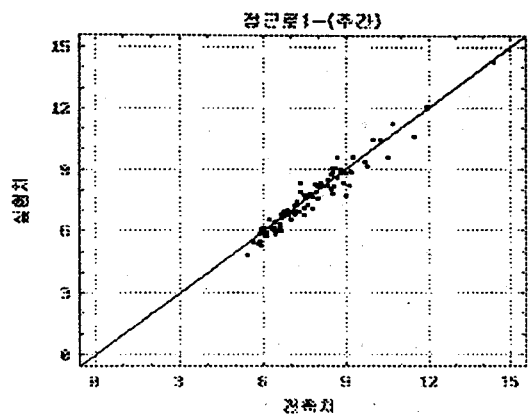
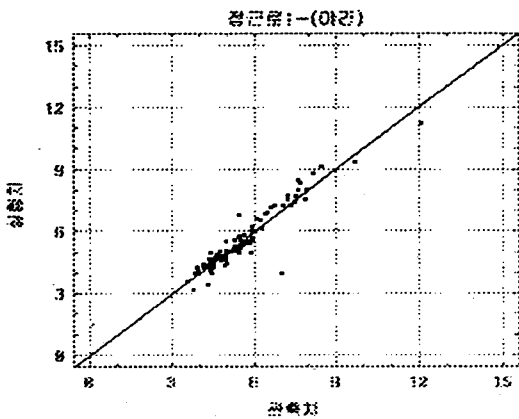
통계분석은 절대오차율과 Paired-t검증법을 토대로 각 접근로들에 대하여 대상 실측치 자

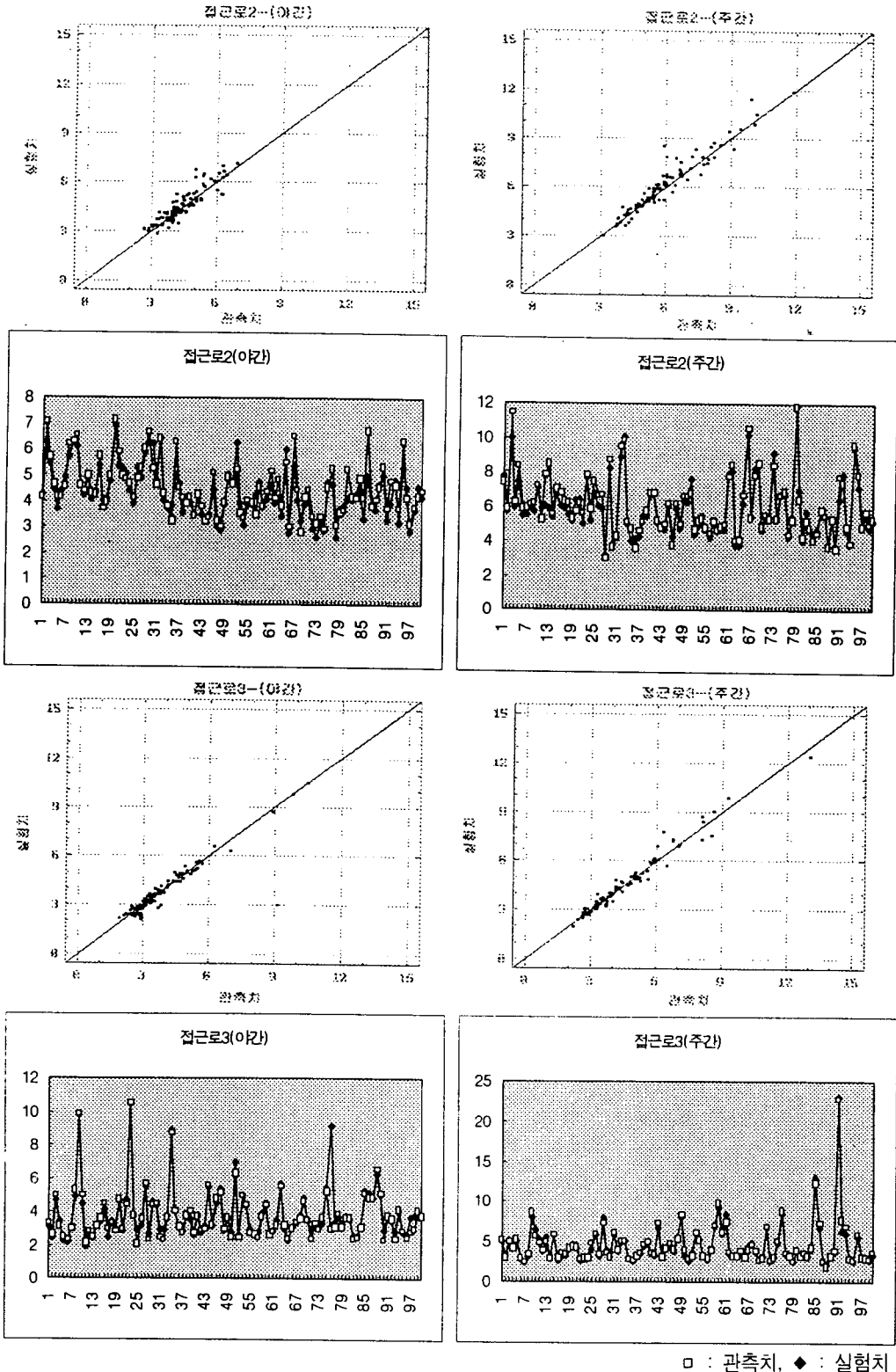
료들과 대응하여 수행되었으며, 최종적으로는 각 접근로의 주야간의 통합자료를 대상으로 분석하였다.

각 접근로별 주간과 야간의 분석결과는 다음과 같다.

〈표 5〉 각 접근로별 주간 및 야간에 대한 통계검증결과

접근로	구분		주간	야간
접근로 1	오차율		4.55	5.36
	Paired-t	검정통계량	2.89	-0.31
	test	결과	Reject H_0	Not Reject H_0
접근로 2	오차율		5.80	7.69
	Paired-t	검정통계량	-3.66	-3.71
	test	결과	Reject H_0	Reject H_0
접근로 3	오차율		4.98	7.27
	Paired-t	검정통계량	-0.96	1.56
	test	결과	Not Reject H_0	Not Reject H_0



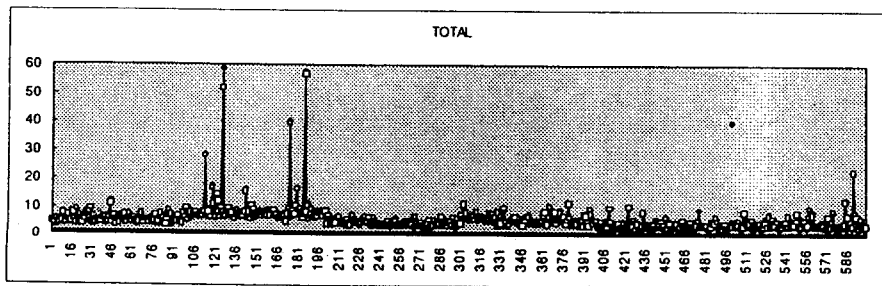
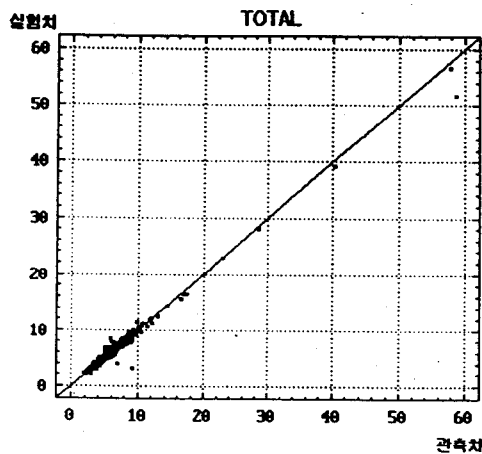


<그림 12> 각 접근로별 주야간 관측결과(실험치와 관측치간 비교)

〈그림 12〉는 실험치와 관측치간 상호관계성을 가시화하여 보여주고 있다. 접근로 1과 접근로 3의 야간의 경우 실험치와 관측치간 오차가 일부 크게 나타났다. 이러한 현상은 야간시 전조등이 전방으로 크게 영향을 줌으로서 나타난 결과이다. 또한 접근로 2의 경우 산포도가 다른 접근로의 경우 보다 약간 크게 나타났다. 이는 접근로 2의 자료수집 환경이 정면상태로서, 타 접근로 환경에 비하여 전방과 후방의 차량간 Occulsion이 발생하기 때문으로 판단된다.

이들 각 접근로별 주간 및 야간의 각각의 경우에 대한 통계검증결과는 〈표 5〉에 제시되어 있다. 〈표 5〉에서 각 접근로의 경우 주간에 비하여 야간의 경우가 오차율이 높게 나타났다. 이는 〈그림 13〉을 토대로 설명된 바와 같이 주된 오차율의 원인은 야간시 전조등에 의한 원

인으로 판단된다. 이러한 전조등에 의한 원인은 검지율과 추적성공율을 높게하는 원인이 되기도 하지만 오히려 오차를 발생시키는 원인이 되기도 한다. Paired-t 검증결과 접근로 1의 야간과 접근로 -3의 주간 및 야간 환경하에서 유의수준 0.05로 가설을 검정시 모두 실험치와 관측치간 차이가 없는 것으로 나타났다. 그러나 접근로 2의 경우는 유의수준 0.05에서 주간과 야간 모두 실험치와 관측치간에 차이가 있는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 CCTV카메라를 설치하는데 있어서 오히려 정면에 설치하는 것이 좋지 않음을 암시하고 있다. 본 연구에서 분석대상으로 고려한 방향별 접근로 및 주간과 야간에 대한 알고리즘의 종합적 적용성 검토를 위하여 총 600개 자료를 이용하여 Paired-t검정을 수행하였으며, 그 결과는 다음과 같다.



〈그림 13〉 3개 접근로의 주야간 통합 실험치의 분석결과

〈표 6〉 오차율 및 Paired-t 검증결과표

구분		3개 접근로 주야간 통합
오차율		5.69%
Paired-t	검정통계량	-0.35
test	결과	Not Reject H_0

〈그림 13〉과 〈표 6〉과 같이 총 600개 자료의 검증결과 오차율 약 5.69%로 나타났으며, 검증결과 역시 유의수준 0.05에서 실험치와 관측치 간 차이가 없는 것으로 나타났다. 따라서 이러한 검증결과는 본 연구에서 개발한 알고리즘이 현장에서 적용가능성이 있음을 설명하고 있다. 본 연구에서 수행한 Paired-t 검증 분석표는 부록에 제시되어 있다.

V 결론

본 연구는 영상처리를 기반으로 차량의 여행 시간 및 여행속도를 예측하기 위한 차량 추적 알고리즘(vehicle Tracking Algorithm)을 개발하였으며, 개발된 알고리즘의 수행도를 평가하기 위하여 현장자료를 토대로 주간 및 야간 각각의 조건하에서 간접적인 지표분석 및 통계분석을 통하여 알고리즘의 타당성을 분석하였다. 이상의 연구결과를 토대로 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 차량검지부분

차량의 검지율은 주간평균 97%, 야간평균 97.7% 전체적으로 평균 97.3% 수준으로 나타나 비교적 우수한 것으로 나타났다. 그러나 차량의 검지는 차량추적 알고리즘이 수행되기 전 단계로서 높은 정밀도가 요구되는 부분이다. 본 연구에서는 알고리즘의 실시간성 보장을 위하

여 “Euclidian Distance Minimization” 기반의 차영상 기법을 사용하는 관계로 인접차선의 occlusion의 영향 혹은 실제적으로 인식해낼 수 있는 도로의 gray level과 유사한 차량들에 대하여 감지하지 못하는 것으로 판단된다. 따라서 보다 정밀성이 있는 차량검지를 위해서는 Dynamic System기반의 상태추정 알고리즘기반의 차량검지 알고리즘으로의 개선이 요구된다.

2. 차량 추적알고리즘 부분

추적성공율은 주간의 경우 평균 85.3%, 야간의 경우 87.3%이었으며, 전체평균 86.3%수준으로 나타났다. 본 연구는 교통이동류의 여행시간 및 여행속도를 예측하기 위한 알고리즘 개발이 궁극적 목표이므로, 실제 개별차량 개개의 여행 시간을 다 예측할 필요는 없다. 차량의 이동류 속도를 예측하기 위해서는 이동류를 구성하는 차량군의 약 50% 이상을 예측할 수 있다면, 예측된 정보는 매우 효과적인 교통정보로 활용될 수 있기 때문이다.

그러나 알고리즘의 특성상 기준선을 차량의 앞범퍼를 추적하도록 되어 있어, 차량이 정체하여 있는 경우 대상차량의 기준선을 일부 잃어버리는 경우가 발생된다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 각 대상차량에 대한 기준선의 gray level변화를 보정하는 부대 알고리즘이 요구될 것으로 판단된다.

3. 현장적용성

본 연구의 통계분석결과 오차율 약 4.6sec, 유의수준 0.05으로 실측치와 예측치간 통계적으로 차이가 없는 것으로 나타났다. 특히 오차율의 경우 평균 오차율 5.81%는 차량이 정체시 발생된 오차와 실측시 관측자에 의한 미소한 오차가 가중되어 나타난 결과로 판단되며, 이러한 오차율은 알고리즘을 좀더 보완함으로써 정체시 발생하는 오차를 충분히 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서 개발된 알고리즘은 통계분석결과 현장적용에 대한 가능성이 충분히 있을 것으로 기대된다.

4. 향후연구과제

이상의 결론으로 향후 본 연구와 관련하여 다양한 연구가 수행될 것으로 기대되며, 보다 우수한 관련 알고리즘 개발을 위해서는 개별차량의 추적성공율이 차량검지율 수준으로 향상시킬 수 있는 알고리즘 개발이 시급할 것으로 판단된다. 개별 차량의 추적성공율이 최소한 95% 이상 수준까지 향상됨으로서 대기길이는 물론 지체시간의 예측이 용이하며, 예측된 정보가 매우 중요한 교통정보로서 활용될 수 있기 때문이다. 또한 기초연구로서는 도시부와 고속도로 각각의 경우에 따른 CCTV 카메라의 설치높이에 대한 적정 기준안이 연구될 필요가 있다.

[Appendix 1. - Notation]

[1] I_{ij}^n : n번째 영상의 (ij)에 위치한 Pixel의 Graylevel 강도(Intensity)값.

[2] \widehat{I}_{ij}^n : Normalize를 거친 n번째 영상의 (ij)에 위치한 Pixel의 Graylevel 강도(Intensity)값.

[3] \overline{I}_{ij}^n : Smoothing을 거친 n번째 영상의 (ij)에 위치한 Pixel의 Graylevel 강도(Intensity)값.

[4] W_x : 검지영역으로 설정되어 Sampling되는 영상의 X축 넓이.

[5] W_y : 검지영역으로 설정되어 Sampling되는 영상의 Y축 넓이.

[6] PB_x : 차량의 검지를 위해 설정하는 영역의 X축 넓이.

[7] PB_y : 차량의 검지를 위해 설정하는 영역의 Y축 넓이.

[8] MB_x : Matching시 사용하는 영역의 X축 넓이.

[9] MB_y : Matching시 사용하는 영역의 Y축 넓이.

[10] S_x : Matching시 탐색영역의 범위(X방향).

[11] S_y : Matching시 탐색영역의 범위(Y방향)

[Appendix 3. - 참고문헌]

[1] 도로교통안전협회, 신 신호시스템 현장 종합실험(최종보고서), 1995.

[2] 교통개발연구원, 고속도로교통관리시스템(FTMS) 확대방안조사(최종보고서), 1995.

[3] 대한민국 건설교통부, 지능형 교통시스템 기본계획(안) 수립을 위한 교통정보수집·처리·전달 시스템 연구, 1996.

[4] 도철용, 교통공학원론(상), 청문각, 1989.

[5] 경찰대학치안연구소, 교통감시 및 통제를

[Appendix 2. - 검증결과³⁾]

One-Sample Analysis Results			
		ACCESS.A2ND	
Sample Statistics:	Number of Obs.	100	
	Average	-0.1618	
	Variance	0.190326	
	Std. Deviation	0.436264	
	Median	-0.175	
Confidence Interval for Mean:	95 Percent		
Sample 1		-0.248384 -0.0752164	99 D.F.
Confidence Interval for Variance:	0 Percent		
Sample 1			
Hypothesis Test for H0: Mean = 0	Computed t statistic = -3.70877		
vs Alt: NE	Sig. Level = 3.43786E-4		
at Alpha = 0.05	so reject H0.		

One-Sample Analysis Results			
		ACCESS.A2DD	
Sample Statistics:	Number of Obs.	100	
	Average	-0.1789	
	Variance	0.238909	
	Std. Deviation	0.488783	
	Median	-0.155	
Confidence Interval for Mean:	95 Percent		
Sample 1		-0.275907 -0.0818931	99 D.F.
Confidence Interval for Variance:	0 Percent		
Sample 1			
Hypothesis Test for H0: Mean = 0	Computed t statistic = -3.66011		
vs Alt: NE	Sig. Level = 4.06599E-4		
at Alpha = 0.05	so reject H0.		

<A-1> 접근로-1 야간/주간

One-Sample Analysis Results			
		ACCESS.A1ND	
Sample Statistics:	Number of Obs.	100	
	Average	-0.0145	
	Variance	0.216708	
	Std. Deviation	0.465519	
	Median	-0.04	
Confidence Interval for Mean:	95 Percent		
Sample 1		-0.10689 0.0778898	99 D.F.
Confidence Interval for Variance:	0 Percent		
Sample 1			
Hypothesis Test for H0: Mean = 0	Computed t statistic = -0.31148		
vs Alt: NE	Sig. Level = 0.75609		
at Alpha = 0.05	so do not reject H0.		

One-Sample Analysis Results			
		ACCESS.A1DD	
Sample Statistics:	Number of Obs.	100	
	Average	0.2337	
	Variance	0.652993	
	Std. Deviation	0.80808	
	Median	0.16	
Confidence Interval for Mean:	95 Percent		
Sample 1		0.0733235 0.394077	99 D.F.
Confidence Interval for Variance:	0 Percent		
Sample 1			
Hypothesis Test for H0: Mean = 0	Computed t statistic = 2.89204		
vs Alt: NE	Sig. Level = 4.70589E-3		
at Alpha = 0.05	so reject H0.		

<A-2> 접근로-2 야간/주간

One-Sample Analysis Results			
		ACCESS.A3ND	
Sample Statistics:	Number of Obs.	100	
	Average	0.1045	
	Variance	0.446393	
	Std. Deviation	0.668126	
	Median	0.015	
Confidence Interval for Mean:	95 Percent		
Sample 1		-0.0281005 0.2371	99 D.F.
Confidence Interval for Variance:	0 Percent		
Sample 1			
Hypothesis Test for H0: Mean = 0	Computed t statistic = 1.56408		
vs Alt: NE	Sig. Level = 0.120991		
at Alpha = 0.05	so do not reject H0.		

One-Sample Analysis Results			
		ACCESS.A3DD	
Sample Statistics:	Number of Obs.	100	
	Average	-0.0321	
	Variance	0.112071	
	Std. Deviation	0.334771	
	Median	-0.01	
Confidence Interval for Mean:	95 Percent		
Sample 1		-0.0985406 0.0343406	99 D.F.
Confidence Interval for Variance:	0 Percent		
Sample 1			
Hypothesis Test for H0: Mean = 0	Computed t statistic = -0.958866		
vs Alt: NE	Sig. Level = 0.339962		
at Alpha = 0.05	so do not reject H0.		

<A-3> 접근로-3 야간/주간

3) Statgraphics Ver 4.0을 사용하였음.

One-Sample Analysis Results		
Sample Statistics:	Number of Obs.	ACCESS. TOTALY 600
	Average	-8.18333E-3
	Variance	0.327777
	Std. Deviation	0.572518
	Median	-0.035
Confidence Interval for Mean:	95 Percent	
Sample 1		-0.0540964 0.0377297 599 D.F.
Confidence Interval for Variance:	0 Percent	
Sample 1		
Hypothesis Test for H0: Mean = 0	Computed t statistic = -0.35012	
vs Alt: NE	Sig. Level = 0.726372	
at Alpha = 0.05	so do not reject H0.	

〈A-4〉 3개 접근로 주야간 통합

- 위한 화상감지시스템 적용에 관한 연구, 1995.
- [6] 이종달 외., 화상처리를 이용한 교통류 해석방법에 관한 연구, 대한교통학회지 12권 4호, 1994.
- [7] 황병운 외., 영상처리에 의한 교통류 계측에 관한 연구, 대한교통학회지 12권 1호, 1994.
- [8] 김진업, Block특징을 이용한 BMA이동 추정 방법과 적응 예측기의 선택 방법에 관한 연구, 한국과학기술원 석사학위 논문, 1986.
- [9] M.G.Mussman, P.Pirch, H.G.Grlert, "Advances in picture coding," Proceedings of IEEE, vol.73, No.4, April 1985.
- [10] Markos Papageorgiou et al., Concise Encyclopedia of Transportation Systems, PERGAMON PRESS, 1991.
- [11] Richard Whelan, Smar Highways, Smart Cars, Artech House Publishers, 1995.
- [12] Harley R. Myler et al., Computer Image Recipes in C, Prentice-Hall, 1993.
- [13] Michalopoulos et al., Vehicle Detection through Image Processing for Traffic Surveillance and Control, US Patent No. 4,847,772, 1989.
- [14] J. Malik et al., A Machine Vision Based Surveillance System for California Road, PATH project MOU-83 Final Report, 1996.