

■ 論 文 ■

영상검지기의 검지영역 자동설정을 위한 모의실험기 개발

Development of A Simulation for Automatic Installation
of Detection Area by Image Detector

이 병 호
(주)도화정보통신

조 형 기
(아주대학교 교통연구센터 수석연구원)

오 영 태
(아주대학교 교통공학과 교수)

오 세 창
(아주대학교 환경·도시공학부 조교수)

목 차

- I. 서론
 - 1. 연구의 배경 및 목적
 - II. 좌표변환 방식
 - 1. 2차원 컴퓨터 그래픽스를 위한 좌표변환
 - 2. Clipping
 - 3. 3차원 컴퓨터 그래픽스를 위한 좌표변환
 - III. 모의실험기의 개발
 - 1. 모의실험기의 개요
 - 2. 모의실험기의특징
 - 3. 모의실험기의 입력과 모듈구성
 - IV. 사례연구
 - 1. 실험개요 및 환경
 - 2. 실험절차 및 방법
 - 3. 실험결과
 - V. 결론 및 향후 연구과제
- 참고문헌

요 약

본 연구에서는 3차원그래픽스를 이용하여 영상검지기에서의 교통정보를 얻기 위한 검지영역 설정 시 안정된 검지영역을 찾기 위한 시뮬레이터를 개발하였다. 기존의 영상검지기에서는 사용자가 임의로 검지영역을 설정하여 교통정보를 수집함으로써 인하여 안정된 교통정보를 얻기가 어려웠으며, 영상카메라의 설치 시 과도한 설치규격의 설정으로 비효율적 측면이 발생될 수 있다. 이러한 단점을 보완하기 위해서는 영상검지기를 현장에 설치하기 전에 영상검지기 설치를 위한 사전 모의실험을 토대로 최적의 안정된 설치위치 결정이 매우 중요하다.

본 연구에서 개발한 모의실험기는 도로의 기하구조와 차량을 모델화 하고 이를 3차원으로 좌표화하여 좌표변환식과 원근변환식을 이용하여 3차원좌표를 2차원으로 변환시키고 컴퓨터 모니터에 투영하여 대상 설치위치에서의 결과를 가시화하였다.

본 연구는 개발된 모의실험기의 적용성 검토를 위하여 현재 영상검지기를 운영중에 있는 한 접근로를 대상으로 사례연구를 수행하였다. 수행결과 교통량과 통행속도계측시 최적 검지영역 설정을 위한 영상검지기의 설치규격은 높이가 각각 7m, 12m이상이며, 수직각은 각각 30°, 80°인 것으로 나타났다.

I. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

최근들어 자동차 수요의 급격한 증가로 인한 도로 혼잡은 시민생활 뿐만 아니라 국가 산업경쟁력 상실에까지 영향을 미치고 있는 실정이다. 이에 따라 교통소통의 효율성 제고를 위한 여러 방법들이 연구되고 있으며, 그중 교통관리 및 통제에 관한 관심이 증대되고 있다. 교통관리 및 통제기법은 교통시설 확충을 통한 교통공급의 증가보다는 교통수요의 조절과 시설 운영능력의 향상을 통해 기존 시설의 효율성을 증대시키는 방법으로, 이는 현재의 교통상태를 실시간으로 파악하여 이를 기초로 관리 및 통제를 수행할 때 효과가 극대화 될 수 있다. 따라서 현재의 교통상태를 나타내는 기본자료들을 동적, 실시간으로 정확하게 입수하여 처리하기 위한 방법의 개발이 요구되고 있다.

또한 국내 및 외국에서는 기존에 많이 사용되던 루프검지기는 도로공사 및 과적차량에 관한 잦은 단선, 설치시 도로차단에 의한 교통혼잡, 유지보수상의 어려운점등이 심각하게 고려되고 있으며 이 단점을 극복하고 교통부문에서 수집할 수 있는 정보의 질적 및 양적 다양화를 도모하기 위하여 루프검지기를 대체하기 위한 다양한 연구가 진행되고 있는 실정이다. 현재까지의 연구에서 고려된 검지기는 영상검지기와 초음파검지기 그리고 초단파검지기등 이었으며, 현장실험결과 영상검지기가 가장 유력한 검지기로써 대두되어지고 있다.¹⁾

영상검지기를 이용한 교통정보 검지시스템의 연구는 외국뿐만 아니라 국내에서도 활발히 연구되고 있는데 다양한 교통정보를 수집하기 위해 대기행렬측측이나 차량추적을 통한 통행시간 산정등이 연구되고 있으며 지능형교통체계(ITS: Intelligent Transport System)의 일환의 대체검지기 활용방안으로 여러 나라에서 연구되고 여러 가지 시스템이 개발되었다.

이러한 시스템들은 검지기를 설치하는데 있어 교차로의 임의적인 위치에 영상검지기를 설치하여 검지기 데이터의 신뢰도 저하와 사용자의 실수를 발생시켰고 과도한 환경설정으로 물적피해를 볼 수 있었다. 또한 검지기를 설치하고 영상을 보았을 때 사용자가

예상하지 못했던 도로시설물등으로 인해 차량추적이나 교통량 검출할 때 문제가 있었다. 이러한 단점을 해결하기 위해 본 연구에서는 영상 검지기 설치하기 전에 검지기 운영자가 목적인 지점에서 최적의 검지영역을 찾아낼 수 있도록 모의실험기를 개발하는데 목적이 있다. 본 연구를 통하여 교통정보를 수집하는데 있어 문제가 되는지 등을 사전에 검토함으로써 지금까지 영상검지기 설치시 임의적인 위치에 설치했을 때 나타났던 설치자의 실수나 신뢰도 저하, 환경설정의 과다 등으로 인한 문제점들을 최소화하는데 기대효과를 볼 수 있다.

2. 연구방법

본 연구에서는 영상검지기의 설치위치에 따른 검지영역 자동설을 위한 모의실험기를 개발하기 위하여 현재 운영되고 있는 차량들의 재원을 기초로 대표적인 3종의 차량(승용차, 버스, 봉고차량)에 대하여 3차원으로 변환하여 적용하였다.

본 연구에서 목적인 모의실험기는 컴퓨터상에서 운영자가 직접 영상검지기의 최적 검지영역을 결정할 수 있도록 가시적으로 Occlusion 발생영역을 출력할 수 있도록 하였다. 또한 개발된 모의 실험기의 효율성을 분석하기 위하여 실제 아주대학교 앞 교차로에 설치된 영상검지기를 기준으로 최적 설치위치 및 검지영역을 위한 사례분석을 수행하였으며, 이결과를 제시하였다.

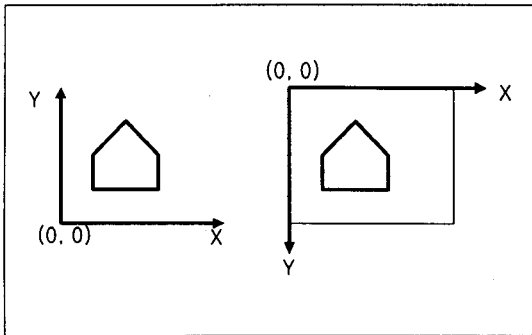
II. 좌표변환방식

본 연구에서는 좌표변환을 이용하여 도로에 영상 카메라를 설치하였을 때 카메라영상을 시뮬레이션 하고자 한다. 이를 위해서는 2차원과 3차원의 좌표변환이 필요하며, 2차원 변환은 3차원 좌표를 2차원으로 투영하였을 때 모니터상에서 투영된 영상을 이동하거나 확대/축소하고 회전하기 위해 필요하다.

1. 2차원 컴퓨터 그래픽스를 위한 좌표변환

컴퓨터 그래픽스에서는 일반적으로 그리고자 하는

도형이 놓여 있는 영역을 window라고 부르며 이도형을 그리고자 하는 모니터상의 영역을 viewport라고 한다. window상의 좌표와 모니터상의 좌표는 window상의 좌표축 원점과 모니터상의 좌표축 원점이 다음 <그림 1>과 같이 다르다. 따라서 좌표변환식을 이용하여 원점을 맞추어 주어야 한다.⁷⁾



<그림 1> 도면좌표계와 모니터좌표계

위의 <그림 1>에서 보듯이 일반적인 도면 좌표계와 모니터 좌표계는 X축 대칭이 됨을 알 수 있다. 따라서 다음과 같이 window/viewport변환을 해준다.

- window 중심점의 좌표 : (x_w, y_w)
- viewport 중심점의 좌표 : (x_v, y_v)
- x 및 y방향의 축척 : (s_x, s_y)

등이 주어져야 한다. 따라서 이들 변수를 이용하여 표현하면

$$M = T(-x_w, -y_w) \cdot S(s_x, -s_y) \cdot T(x_v, y_v)$$

$$= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ -x_w & -y_w & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_x & 0 & 0 \\ 0 & -s_y & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ x_v & y_v & 1 \end{bmatrix}$$

을 얻는데 실제 window(도면)상의 한 점(x, y)에 상응하는 viewport(모니터)상의 한 점의 좌표값(x', y')은 다음의 관계에서 얻어진다.^{5,6)}

$$(x' \ y' \ 1) = (x \ y \ 1)M$$

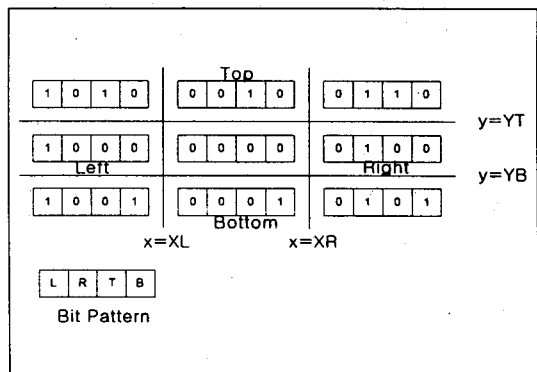
2. Clipping

viewport를 벗어나는 직선들을 잘라서 버려야 하며, 영역을 벗어나는 부분을 잘라버리는 것을 "Clipping"이라고 한다.

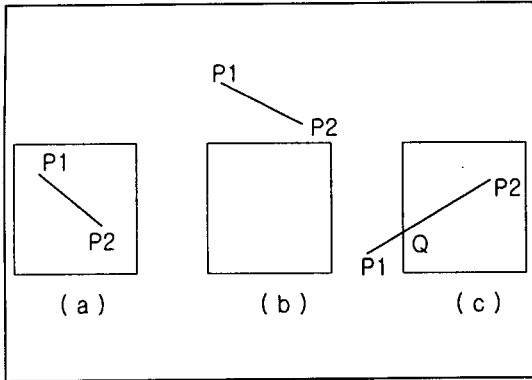
널리 사용되는 Clipping 알고리즘은 Cohen과 Sutherland 두 사람에 의하여 고안된 것이 널리 사용된다.⁷⁾ 그림에서 스크린의 4각형 내부에 들어오는 선분만을 그리기 위하여는, 4각형(viewport)을 정의하는 네개의 선분을 정의한다. 즉 4각형 영역은 x₁=XL, x₂=XR, y₁=YT, y₂=YB의 네 직선으로 둘러싸여 있다. 도형상의 한 점이 viewport의 어느 쪽에 위치하는가를 나타내기 위하여 <그림 2>의 아래에 보인 바와 같이 4bit로된 "Bit pattern"을 정의한다. Bit pattern에서 L, R, T, B의 의미는 아래와 같다.

- L(Left) : 주어진 점이 직선 x₁=XL 왼쪽에 있으면 L=1, 그렇지 않으면 L=0
- R(right) : 주어진 점이 x₂=XR 우측에 있으면 R=1, 그렇지 않으면 R=0
- T(top) : 주어진 점이 직선 y₁=YT 위에 있으면 T=1, 아니면 T=0
- B(bottom) : 주어진 점이 직선 y₂=YB 아래 있으면 B=1, 아니면 B=0

도형을 구성하는 개개의 선분은 한 점 P1에서 시작하여 끝점 P2에서 끝난다. 따라서 하나의 직선을



<그림 2> Clipping 알고리즘에서의 영역구분



〈그림 3〉 Viewport에 대한 선분의 상대적 위치

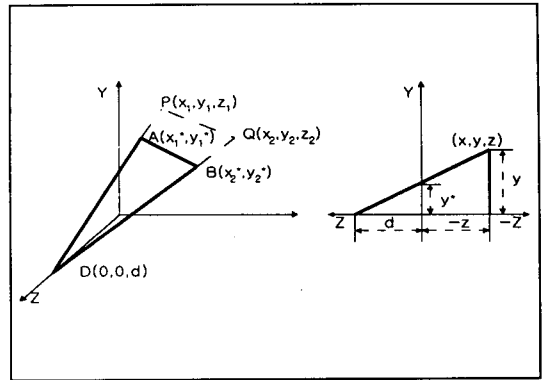
그리기 전에 이 직선이 〈그림 3〉에서 보인 바와 같이 viewport내에 완전히 들어오는가(〈그림 3(a)〉), 완전히 밖에 있는가(〈그림 3(b)〉), 혹은 일부만 영역 내에 들어오는가(〈그림 3(c)〉)를 판정해야 한다. 〈그림 2〉에서 보면 두 점이 viewport영역 내에 있으면 $L=R=T=B=0$ (즉 bit pattern=0). 따라서 선분의 양 끝점 P1, P2의 bit pattern이 모두 0이면 이 선분은 영역 내에 있으므로 그리면 된다. 한편 〈그림 3(b)〉와 같이 두 점이 모두 영역의 어느 한쪽에 있으면 각각에 대한 bit pattern 중 어느 한 bit의 값이 공통적으로 1이 된다. 이 선분은 그리지 않고 버린다. 끝으로 〈그림 3(c)〉와 같이 한 점은 영역의 밖에 있고 한 점은 내부에 있으면 주어진 선분과 영역의 경계선과의 교점 Q를 구하여 선분 P1Q구간은 잘라 버린다.

3. 3차원 컴퓨터 그래픽스를 위한 좌표변환

1) 원근법에 의한 투영

3차원 물체의 특징을 나타내는 특징을 나타내는 선들을 평판에 투영시키기 위하여는 평판을 기준으로한 좌표계의 설정이 필요하다. 관찰자가 바라보는 방향을 $-z$ 방향으로 잡고 평판자체는 xy 평면에 놓이도록 직교좌표계를 설정한다. 또 관찰자의 눈이 직교좌표계의 z 축에 놓이도록 한다.

〈그림 4〉에는 직교좌표계를 보여주고 있다. 〈그림 4〉의 좌측 그림에서 보면 관찰자의 눈의 위치가 점 $D(0, 0, d)$ 이고 공간상의 두 점 $P(x_1, y_1, z_1)$, $Q(x_2, y_2, z_2)$



〈그림 4〉 원근투영변환의 기하학적 의미

$y_2, z_2)$ 와 점 D를 잇는 직선들이 xy 평면을 관통하는 점을 각각 A, B로 표시하고 있다. 따라서 xy 평면상의 직선 \overline{AB} 는 3차원공간상의 직선 \overline{PQ} 를 원근법에 의하여 투영시켜 얻어진 것이다. 〈그림 4〉의 직교좌표계를 x 축에서 원점을 향하여 바라본 결과가 우측의 그림에 표시되어 있다.

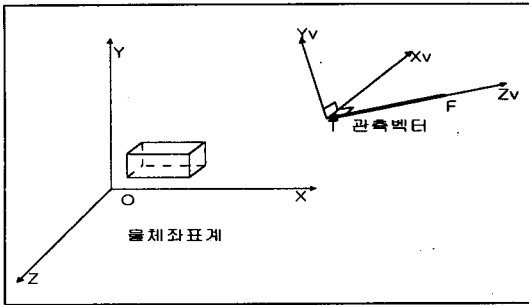
〈그림 4〉에서 보면 삼각형의 비례관계를 이용하여 다음의 행렬식을 구할수 있다.

$$\begin{aligned}
 & (x^* \ y^* \ z^* \ 1) \\
 & = (x \ y \ z \ 1) \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{-1}{d} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)
 \end{aligned}$$

2) 관측방향에 따른 좌표변환

〈그림 4〉에서는 관측좌표계(viewing coordinate)상에 물체가 정의되어 있는 것으로 가정하였다. 그러나 실제로는 임의의 직교좌표상에 물체가 정의되고 있고 이 좌표계(물체좌표계)상에서 보는 방향을 지정하는 것이 일반적이다.

앞의 식(1)로 정의된 원근투영변환을 적용하기 위하여는 물체좌표계상에 정의된 물체의 좌표값을 관측좌표계(viewing coordinate)에 대한 좌표값으로 변환시켜야 한다. 이러한 변환을 관측변환(viewing translation)이라고 부르는데 〈그림 5〉에서 보면 관측변환을 위하여

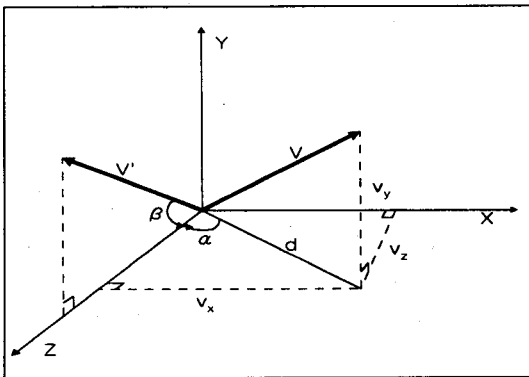


<그림 5> 관측변환

는 관측좌표계를 물체좌표계와 일치시키면 된다.

실제로 관측변환은 다음 단계의 변환을 거친다.

- ① 관측벡터의 끝점 T를 물체좌표계의 원점으로 이동한다.
- ② 관측벡터가 yz평면에 오도록 y축을 기준하여 $-\alpha$ 각도 회전한다.(<그림 6> 참조)
- ③ 관측벡터가 z축상에 놓이도록 x축을 기준하여 $+\beta$ 각도 회전한다.



<그림 6> 관측변환을 위한 회전 변환

이상의 좌표변환에 해당되는 동차변환행렬은 다음과 같다.⁷⁾

$$\text{Trans} (-tx, -ty, -tz) =$$

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ -t_x & -t_y & -t_z & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$\text{Rot}(y, -\alpha) = \begin{bmatrix} \cos \alpha & 0 & \sin \alpha & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin \alpha & 0 & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$\text{Rot}(x, \beta) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \beta & \sin \beta & 0 \\ 0 & -\sin \beta & \cos \beta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

3) 3차원 컴퓨터 그래픽스 요약

위에서 설명한 3차원 그래픽스를 요약하면 다음과 같다.

- ① 지정된 관측벡터의 시작점 $F=(fx, fy, fz)$ 과 끝점 $T=(tx, ty, tz)$ 를 이용하여 관측변환을 위한 동차변환행렬 Mv 를 구한다.(식(2),(3),(4))
 $Mv = \text{Trans}(-tx, -ty, -tz) \cdot \text{Rot}(y, -\alpha) \cdot \text{Rot}(x, \beta)$
- ② 관측벡터의 길이 d를 이용하여 원근투영변환을 위한 동차변환행렬 Mp 를 정의한다.
- ③ 관측변환과 원근투영변환에 의하여 물체좌표계상의 3차원 점(x, y, z)를 도형좌표계상의 2차원 점(x*, y*)로 바꾼다.
 $(x^* \ y^* \ 0 \ 1) = (x \ y \ z \ 1) Mv Mp$
- ④ 도형좌표계의 window중심점 좌표(xw, yw), 모니터좌표계상의 viewport 중심점 좌표(xv, yv), x, y방향의 축적(sx, sy)을 이용하여 도형좌표계상의 2차원 점을 모니터좌표계상의 점으로 변환시킨다.
 $x' = (x^* - xw)sx + xv$
 $y' = (y^* - yw)sy + yv$
- ⑤ viewport를 정의하는 4각형 영역에 대하여 그리려고 하는 선분을 clipping한다.

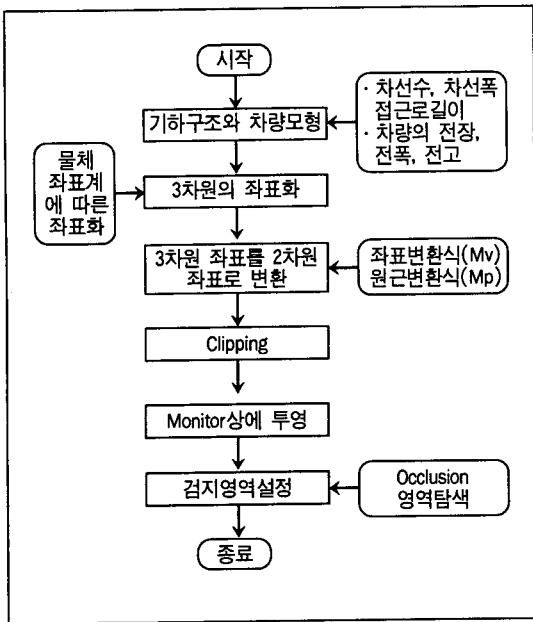
III. 시뮬레이터의 개발

1. 시뮬레이터의 개요

본 연구에서 개발된 시뮬레이터는 좌표변환식과 원

근변환식을 이용하여 현장에 영상검지기의 카메라를 설치하기 전에 영상카메라의 영상을 시뮬레이션을 통하여 사전에 화면상에 영상이 어떻게 보이는가를 실험하는 시스템이다. 이와 같이 사전에 카메라의 영상을 살펴봄으로써 영상검지기를 설치할 때 사용자의 실수를 줄일 수 있으며 기존에 영상검지기에서 검지영역을 설정할 때 사용자가 영상에서 임의로 검지영역을 설정하여 검지기에서 오검지되는 경우도 많아 양질의 교통정보를 수집할 수 없었으나 본 시뮬레이터를 이용하여 검지영역을 설정해 봄으로써 가장 최적의 검지영역을 설정하여 보다 정확한 교통정보를 얻을 수 있다.

다음 <그림 7>은 시뮬레이터를 사용한 검지영역설정 시뮬레이션의 흐름도이다.



<그림 7> 검지영역설정 시뮬레이션의 흐름도

2. 시뮬레이터의 특성

1) 기하구조 및 차량의 모형

시뮬레이터의 입력으로는 기하구조와 차량의 모형 등으로 구성이 된다. 기하구조에는 도로의 접근로별 차선수, 차선평, 접근로길이 등의 일반적인 도로의 기하구조로 구성이 되며 차량의 모형은 차종별로 전장, 전폭, 전고 등의 자료를 이용하여 모형화 한다.

차량의 모형은 다음과 같으며 모형화한 차량들은 차종별로 가장 평균적인 차량을 모델로 삼았다.⁵⁾

<표 1> 모형화된 차량의 사양

차종	전장(m)	전폭(m)	전고(m)
승용차	4.5	1.7	1.5
승합차	5	2	2
버스	11	2.5	2.7

2) 조사된 기하구조와 모형화된 차량의 3차원 좌표화
위의 과정에서 조사된 차선평, 접근로 길이 등의 기하구조와 차종별로 모형화한 차량을 임의의점(x, y, z)를 기준으로 3차원 공간좌표계상에서 좌표화를 한다.

3) 3차원 좌표를 2차원 좌표로 변환

3차원 좌표로 구성된 기하구조와 모형화된 차량을 좌표변환식과 원근변환식을 이용하여 2차원 좌표로 변환한다.

3차원 좌표를 2차원 좌표로 변환하기 위해서는 우선 물체좌표계와 관측좌표계를 일치시킨 후 원근변환식을 이용하여 2차원의 좌표로 변환을 시켜준다.

2장에서 나타난 행렬을 이용하여 다음과 같은 순서에 의해 3차원 좌표를 2차원 좌표를 변환을 시킨다.

(1) 지정된 관측벡터의 시작점 $F=(fx, fy, fz)$ 과 끝점 $T=(tx, ty, tz)$ 를 이용하여 관측변환을 위한 동차변환행렬 Mv 를 구한다.

$$Mv = \text{Trans}(-tx, -ty, -tz) \cdot (y, -a) \cdot (x, \beta) \cdot (z, \gamma)$$

(2) 관측벡터의 길이 d를 이용하여 원근투영변환을 위한 동차변환행렬 Mp 를 정의한다.

$$Mp = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{-1}{d} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

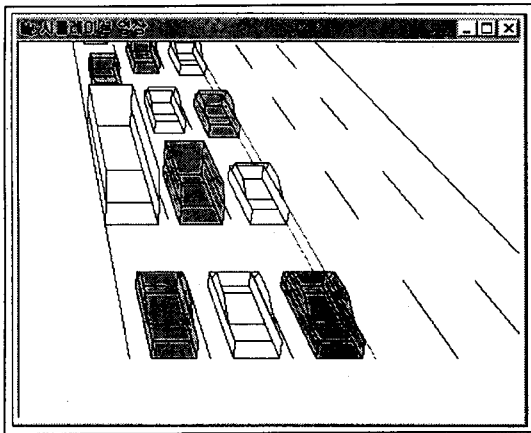
(3) 관측변환과 원근투영변환에 의하여 물체좌표계의 3차원 점(x, y, z)를 도형좌표계상의 2차원 점(x*, y*)로 바꾼다.

$$(x^* \ y^* \ 0 \ 1) = (x \ y \ z \ 1) Mv Mp$$

4) Monitor 상의 투영

2차원 좌표로 변형된 좌표를 축척과 viewport를 고려하여 모니터상의 좌표로 다시 변환을 시켜준다. 이때 Viewport영역을 벗어나는 경우 Clipping알고리즘을 이용하여 Viewport를 벗어나는 영역을 잘라준다.

다음의 그림은 위에서 설명한 과정을 모니터에 투영하였을 때의 화면으로 도로의 기하구조 투영시 화면과 차량을 도로위에 올려놓았을 때의 화면을 보여주고 있다.

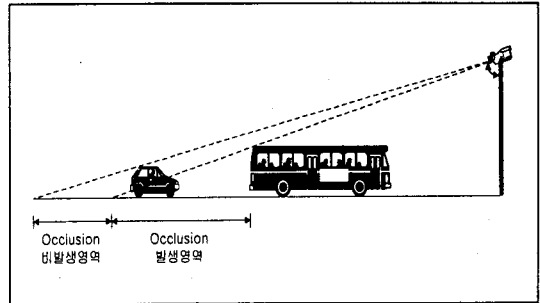


<그림 8> 시뮬레이션 영상

5) 검지영역설정

검지영역을 설정할 때는 다음의 그림 9.에서 볼 수 있듯이 Occlusion이 발생하는 영역을 피하여 검지영역을 설정한다. 이 Occlusion은 도로의 차량을 모니터에 투영하였을 때 앞 차량에 의해 뒷 차량이 보이지 않는 부분이다. 따라서 투영된 화면의 차량배열에서 앞 차량과 뒷 차량과의 겹치지 않는 부분을 찾으면 이 부분이 Occlusion이 발생하지 않는 부분이며 한 차선에서의 검지영역을 설정할 때는 도로에서 차량이 이동을 하므로 차량 2대를 일정한 차간간격으로 배치하고 도로의 정지선에서 뒷 쪽으로 차량을 이동시키며 Occlusion이 발생하지 않는 지역을 찾으면 된다. 그림 9.에서 볼 수 있듯이 카메라의 높이와 수직각이 정해져 있을 때 앞차량과의 차간간격이 Occlusion 비발생영역이상 되어야 검지영역이 설정된다. 만약 Occlusion 발생영역 내에 뒷차량이 있으면 카메라의 높이와 카메라의 수직각을 변화시켜 검지

영역을 설정한다.

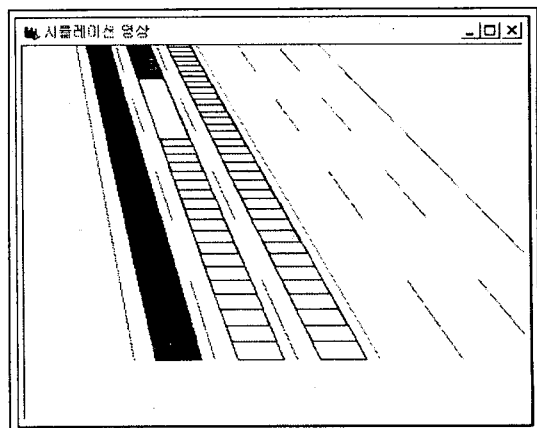


<그림 9> Occlusion 발생영역

다음 <그림 10>에서 진하게 설정된 검지영역은 중차량을 고려했을 경우 Occlusion이 발생하는 검지영역이며 흐리게 나타나는 부분은 승용차만으로 구성되었을 경우나 중차량이 존재할지라도 앞의 중차량으로 인한 Occlusion의 영향을 받지 않을때의 검지영역이다.

1차선은 승용차로만 구성되었을 때이고 2차선은 승용차와 승합차로 구성되었을 때 3차선은 승용차와 버스로 구성이 되었을 경우의 검지영역 화면이다. 2차선에서의 흐리게 나타나는 부분은 중차량이 존재하여도 Occlusion이 발생하지 않는 검지영역을 나타낸 것이다.

버스가 포함된 3차선은 Occlusion이 발생되어 Occlusion이 발생하지 않는 검지영역을 설정할수 없을 보여주고 있다.



<그림 10> 검지영역 설정

3. 시뮬레이터의 입력과 모듈구성

1) 시뮬레이터의 자료입력

본 시뮬레이터의 입력체계는 기하구조 입력부와 카메라변수 입력부로 구성이 되어있다. 기하구조의 입력과 카메라변수 입력부의 설명은 다음과 같다.

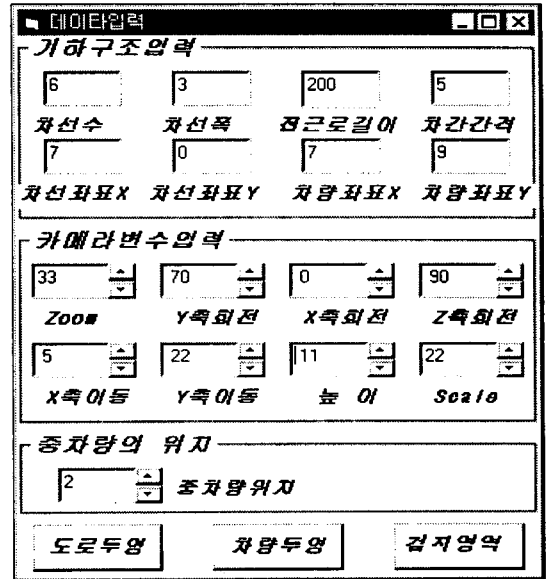
(1) 기하구조입력

- ① 차 선 수 : 차선수는 도로의 왕복차선수를 입력해 준다.
- ② 차 선 폭 : 도로차선의 평균 차선폭을 입력한다.
- ③ 접근로 길이 : 접근로 길이는 시뮬레이션 하고자 하는 도로의 접근로 길이를 입력 한다.
- ④ 차 선 좌 표 : 차선의 좌표는 사용자가 정한 물체좌표계에서 원점과 가장 가까운 도로의 시점좌표이다.
- ⑤ 차 량 좌 표 : 차량좌표는 사용자가 정한 좌표계에서 차량이 위치하는 도로의 시점좌표이다.
- ⑥ 차 간 간 격 : 차간간격은 도로에 모형화한 차량을 배치하였을 때 앞 차량과 뒷 차량과의 차간간격으로 사용자가 입력하는 간격으로 차량을 배치한다.

(2) 카메라변수입력

- ① Zoom : 영상카메라의 Zoom기능을 하며 영상을 Zoom-In, Zoom-Out 하기 위해 필요하다.
- ② Y축회전 : 카메라의 수직각도로 0° ~ 90° 사이의 각을 입력한다.
- ③ X축회전 : 도로의 구배를 고려하여 수평을 맞추어 주기 위한 각을 입력한다.
- ④ Z축회전 : 카메라의 수평각도로 0° ~ 360° 사이의 각을 입력한다.
- ⑤ X축이동 : 카메라의 위치를 원점을 중심으로 X축 이동거리를 입력한다.
- ⑥ Y축이동 : 카메라의 위치를 원점을 중심으로 Y축 이동거리를 입력한다.
- ⑦ 높 이 : 카메라의 높이를 입력한다.
- ⑧ Scale : 투영된 기하구조와 차량을 Viewport 상에 맞게 Scale를 조정한다.

다음의 <그림 11>은 자료입력을 받는 화면이며 그때의 도로투영화면과 차량을 투영하였을때의 화면을 나타낸 것이다.



<그림 11> 자료 입력 (기하구조 및 카메라관련 변수)

2) 시뮬레이터의 모듈구성

본 시뮬레이터는 Visual Basic으로 프로그램 되었는데 그 프로그램은 다음과 같이 6개의 모듈로 구성되어있으며 각각의 모듈구성은 다음과 같다.

- (1) Geometric.Bas : 도로의 기하구조를 처리해주는 모듈로 도로의 중앙선, 추월선, 실선으로 구성이 되어있다.
- (2) Car.Bas : 차량을 모형화 해주는 부분으로 승용차, 승합차, 버스의 3가지 차량을 모형화 하는 모듈이다.
- (3) Transformation.Bas : 기하구조와 차량을 3차원 좌표로 나타냈을 때 3차원 좌표를 2차원으로 전환해주는 모듈이다.
- (4) Draw_Object.Bas : Transformation.Bas에서 2차원으로 변환된 좌표를 가지고 모형화된 차량과 차선 등을 그려주는 모듈
- (5) Fillmode : Draw_Object.Bas에서 그려진 차량에 색을 칠하는 모듈
- (6) Detection_Area.Bas : 2차원으로 투영된 화면에서 차량 뒤에 발생하는 Occlusion이 발생하

지 않는 곳에 검지영역을 설정해주는 모듈

IV. 사례연구

1. 실험개요 및 환경

본 연구에서는 개발된 모의실험기의 적용성을 평가하기 위하여 1996년에 아주대학교 앞 교차로에서 통행시간을 계측하기 위하여 수직각 82°, 높이 12.6m 규격으로 설치된 영상검지기를 대상으로 사례연구를 수행하였다.

본 연구에서 개발된 시뮬레이터를 실험하기 위하여 아주대학교 앞 4지교차로를 대상으로 한 접근로를 선택하고, 대상접근로의 기하구조를 평면좌표계로 변환하여 적용하였다. 대상 교차로의 접근로상에서 교통량과 통행속도계측을 전제로 차간거리와 카메라의 수직각에 따른 최적 검지영역을 결정을 실험하였다.

본 시뮬레이터 적용하기 위한 적용대상 교차로의 기하구조는 다음 <표 2>에서와 같이 차선수(편도) 3차선이고 차선폭은 3m이며 접근로의 길이는 200m로 하였으며 모형화된 차량은 앞장에서 설명한 것과 같다.

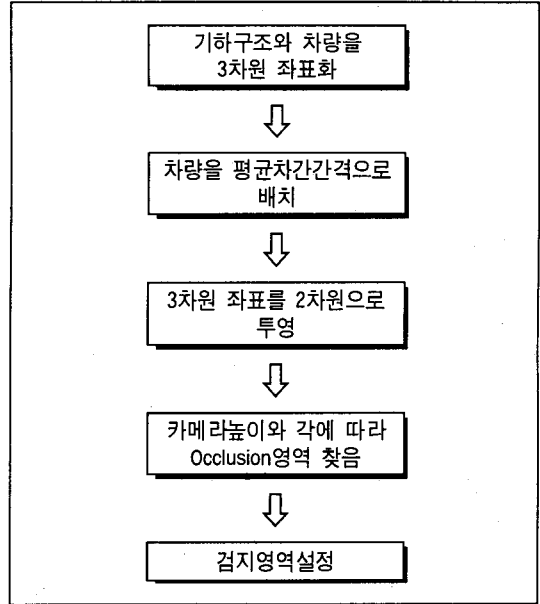
<표 2> 교차로 기하구조

구분	내용
차선수(편도)	3차선
차선 폭	3m
접근로길이	200m

실험대상 교차로는 구배가 없고 차량은 승용차, 승합차, 버스의 3종의 차량으로 구성하였고 차선별로 1차선에는 승용차 2차선에는 승용차와 승합차 3차선에는 승용차와 버스로 구성되어 있다는 조건하에 실험하였다.

2. 실험절차 및 방법

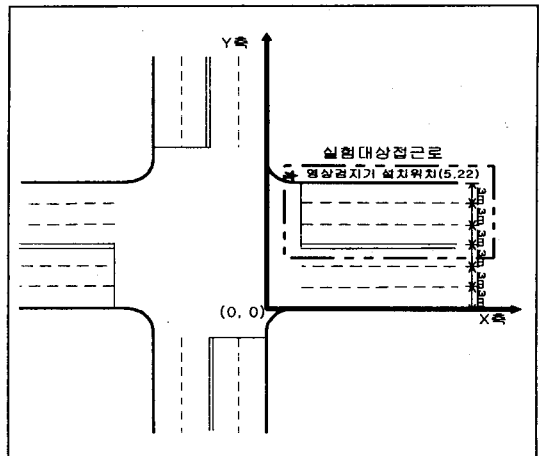
다음 <그림 12>는 시뮬레이터를 사용하여 검지영역을 찾기 위한 실험절차를 나타낸 것이다.



<그림 12> 시뮬레이션 절차

1) 3차원 공간상에 원점을 정하고 기하구조와 차량을 좌표화 한다

실험분석하기 위한 교차로의 접근로에 다음의 그림과 같이 물체좌표계를 설정하고 카메라의 위치와 차선의 좌표와 차량들의 좌표를 정한다.



<그림 13> 영상검지기 설치위치

영상검지기의 카메라위치는 위의 <그림 13>에서 ★로 나타난곳이 위치하였으며 그때의 카메라의 위치는 원점을 기준으로 X축으로 5m, Y축으로 22m되

는 지점에 설치하였다. 또한 접근대상도로에 위치될 차량들도 원점을 기준으로 각각의 위치에 따라 좌표화를 한다.

2) 교차로의 진입로에 모형화된 차량을 평균차간격으로 배치시킨다

본 연구에서 차간격은 교통량 검지영역 설정시 접근로의 앞부분에서 차량이 대기했을 때 차간격인 승용차의 평균차두거리(6.33m)에서 위의 차량모형에서 제시한 승용차의 전장길이를 뺀 길이를 차간격으로 보고 1.83m(6.33-4.5)의 간격으로 차량을 배치하였으며 통행속도 검지영역설정시는 접근로의 Mid-Block에서의 차간격으로 일반적으로 Mid-Block에서는 차량의 속도가 있으므로 차간격이 대기가 형성될때 보다 더 커지게 된다. 본 시뮬레이션에서는 통행속도 검지영역 설정시 차간격은 10m로 설정하여 실험하였다.

또한 대상 접근로의 차선이 3차선이므로 중차량으로 인한 검지영역의 변화를 살펴보기 위해 1차선에는 승용차만으로 구성이고 2차선에는 승용차와 승합차로 구성하였고 3차선에는 승용차와 버스로 구성되었을때의 검지영역을 설정한다.

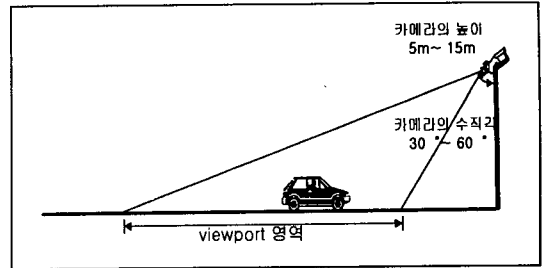
3) 3차원 좌표화된 기하구조와 모형화된 차량을 2차원으로 투영한다

본 연구에서 개발된 시뮬레이터를 이용하여 위의 과정에서 정해진 좌표를 모니터상에 투영한다.

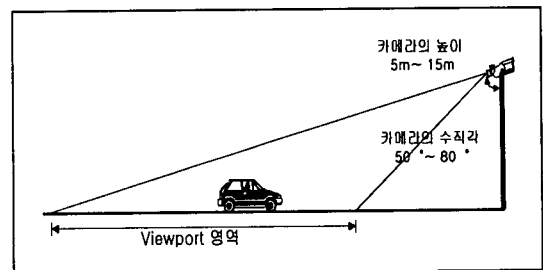
4) 영상카메라의 높이와 각에 따른 영상에서 검지영역 설정

영상카메라의 높이와 각에 따라 모니터에 투영된 화면에서 차량 뒤에 형성되는 Occlusion이 적게 발생하는 영역을 찾아내고 검지영역을 설정한다.

교통량 검지영역설정시 카메라의 높이를 5m~15m 범위에서 1m씩 증가시키고 그 높이에서 카메라의 수직각을 30°~60°범위에서 10°씩 변화시키고 통행속도 검지영역설정시는 카메라의 높이를 5m~15m범위에서 1m씩 증가시키고 그 높이에서 카메라의 수직각을 50°~80°범위에서 10°씩 변화시키며 검지영역을 설정한다.



<그림 14> 교통량 검지영역설정시 카메라의 높이와 수직각도



<그림 15> 통행속도 검지영역설정시 카메라의 높이와 수직각도

3. 실험결과

다음의 결과표에서 1차선은 승용차로 구성되었을 경우이고 2차선은 승용차와 승합차로 구성되었을 때 3차선은 승용차와 버스로 구성되었을 경우의 검지영역을 나타낸 것이다.

교통량과 통행속도 검지영역 결과에서 결과표<표 3>, <표 4>에서 표안에 나타난 숫자와 기호는 다음과 같다. 숫자는 접근로에서 차선당 Occlusion이 발생되지 않으며 검지영역으로 설정 가능한 길이이며, △는 중차량이 포함된 차선에서 중차량으로 인한 Occlusion 때문에 검지영역을 설정할수 없는 경우이다. 예를 들어 <표 3>에서 카메라각이 50°일 때 2차선의 경우는 승합차뒤에 발생하는 Occlusion이 발생하기 때문에 검지영역으로 설정하기는 적당하지 않음을 볼수 있다.

1) 교통량 검지영역 결과

교통량 검지영역 설정시 차간격은 대기가 형성되었을 경우 평균차간격이 1.86m을 이용하였으며 카메라의 높이와 수직각의 변화에 따른 결과는 다음 <표 3>과 같다.

〈표 3〉 교통량 검지역역 결과

입력 변수		검지대상차선		
카메라 높이	카메라각 (수직각)	1차선 (승용차)	2차선 (승합차포함)	3차선 (버스포함)
5M	30°	8	8	△
	40°	9	9	△
	50°	10	△	△
	60°	13	△	△

입력 변수		검지대상차선		
카메라 높이	카메라각 (수직각)	1차선 (승용차)	2차선 (승합차포함)	3차선 (버스포함)
6M	30°	9	9	△
	40°	10	10	△
	50°	12	△	△
	60°	15	△	△

입력 변수		검지대상차선		
카메라 높이	카메라각 (수직각)	1차선 (승용차)	2차선 (승합차포함)	3차선 (버스포함)
7M	30°	9	9	9
	40°	11	11	△
	50°	14	△	△
	60°	17	△	△

입력 변수		검지대상차선		
카메라 높이	카메라각 (수직각)	1차선 (승용차)	2차선 (승합차포함)	3차선 (버스포함)
8M	30°	10	10	10
	40°	12	12	△
	50°	15	6	△
	60°	19	△	△

입력 변수		검지대상차선		
카메라 높이	카메라각 (수직각)	1차선 (승용차)	2차선 (승합차포함)	3차선 (버스포함)
9M	30°	11	11	11
	40°	13	13	△
	50°	16	6	△
	60°	20	△	△

입력 변수		검지대상차선		
카메라 높이	카메라각 (수직각)	1차선 (승용차)	2차선 (승합차포함)	3차선 (버스포함)
10M	30°	11	11	11
	40°	14	14	△
	50°	17	7	△
	60°	23	△	△

입력 변수		검지대상차선		
카메라 높이	카메라각 (수직각)	1차선 (승용차)	2차선 (승합차포함)	3차선 (버스포함)
11M	30°	12	12	12
	40°	14	14	△
	50°	18	8	△
	60°	24	△	△

입력 변수		검지대상차선		
카메라 높이	카메라각 (수직각)	1차선 (승용차)	2차선 (승합차포함)	3차선 (버스포함)
12M	30°	12	12	12
	40°	15	15	△
	50°	20	9	△
	60°	26	△	△

입력 변수		검지대상차선		
카메라 높이	카메라각 (수직각)	1차선 (승용차)	2차선 (승합차포함)	3차선 (버스포함)
13M	30°	13	13	13
	40°	16	16	△
	50°	20	10	△
	60°	28	△	△

입력 변수		검지대상차선		
카메라 높이	카메라각 (수직각)	1차선 (승용차)	2차선 (승합차포함)	3차선 (버스포함)
14M	30°	13	13	13
	40°	17	17	△
	50°	22	11	△
	60°	29	△	△

입력 변수		검지대상차선		
카메라 높이	카메라각 (수직각)	1차선 (승용차)	2차선 (승합차포함)	3차선 (버스포함)
15M	30°	14	14	14
	40°	18	18	△
	50°	23	13	△
	60°	31	△	△

시뮬레이션한 결과를 살펴보면 5m와 6m에서는 승합차와 승용차로 구성된 교통류에서는 검지역역을 설정할 수 있으나 버스가 포함된 교통류에서는 검지역역을 설정할 수 없다. 그러므로 교통량 검지역역 설정시 카메라의 각은 30° 이하의 각에서 카메라의 높이는 최소한 7m이상의 위치에 설치해야 버스와 승합차와 같은 중차량으로 인한 Occlusion이 발생되지 않으므로 승용차를 포함한 중차량까지도 안전하게 검지할 수 있음을 볼 수 있다. 이때 카메라의 높이를 7m이상의 높이에서는 카메라의 높이가 높을수록 검지할 수 있는 영역이 커지므로 검지역역 설정 길이가 길어지나 경제성을 고려하여 카메라의 높이를 7m이상의 높이에서 결정한다. 따라서 교통량 검지를 위해 버스와 승합차와 같은 중차량이 존재하는 교통류에서 바람직한 카메라의 높이는 최소 7m와 카메라의 수직각은 30° 이하라고 볼 수 있다.

2) 통행속도 검지영역 설정

통행속도 검지영역 설정에서의 차간간격은 10m로 가정하여 모의실험 하였으며 카메라의 높이와 통행속도를 측정할 수 있는 충분한 거리가 Viewport안에 잡혀야 하므로 카메라의 수직각을 변화시켜 이때의 카메라의 높이와 수직각에 따른 검지영역을 설정해 보았다. 또한 검지영역 길이는 40m이상 되는 길이를 검지영역으로 가정하였다.

시뮬레이션 결과 위와 같은 조건에서 통행속도 검지영역은 다음 표에서 알 수 있듯이 카메라의 높이에 따라 수직각이 50°나 60°에서는 검지영역의 길이가 상대적으로 작아 통행속도의 검지영역으로는 적당하지 않으며 70°와 80°사이에서 가장 검지영역길이를 길게 설정할 수 있고 통행속도측정을 위해 검지거리를 40m로 가정하였을 때 카메라의 높이와 각을 찾아보면 카메라높이는 12m와 수직각 80°에서 검지영역 길이가 42m가 나오므로 위와 같은 조건하에서의 카메라설치 높이는 최소한 12m가 되어야하며 카메라의 수직각은 80°는 되어 양질의 교통정보를 수집할 수 있는 것으로 볼 수 있다.

따라서 통행속도 검지를 위해 바람직한 카메라의 높이는 최소한 12m와 카메라의 수직각은 80°는 되어야 한다.

<표 4> 통행속도 검지영역 결과

입력 변수		검지대상차선		
카메라 높이	카메라각 (수직각)	1차선 (승용차)	2차선 (승합차포함)	3차선 (버스포함)
5M	50°	11	11	11
	60°	14	14	14
	70°	19	19	19
	80°	30	24	△

입력 변수		검지대상차선		
카메라 높이	카메라각 (수직각)	1차선 (승용차)	2차선 (승합차포함)	3차선 (버스포함)
6M	50°	12	12	12
	60°	15	15	15
	70°	22	22	22
	80°	35	30	△

입력 변수		검지대상차선		
카메라 높이	카메라각 (수직각)	1차선 (승용차)	2차선 (승합차포함)	3차선 (버스포함)
7M	50°	13	13	13
	60°	17	17	17
	70°	24	24	24
	80°	43	35	△

입력 변수		검지대상차선		
카메라 높이	카메라각 (수직각)	1차선 (승용차)	2차선 (승합차포함)	3차선 (버스포함)
8M	50°	15	15	15
	60°	19	19	19
	70°	27	27	27
	80°	50	40	23

입력 변수		검지대상차선		
카메라 높이	카메라각 (수직각)	1차선 (승용차)	2차선 (승합차포함)	3차선 (버스포함)
9M	50°	16	16	16
	60°	20	20	20
	70°	30	30	30
	80°	55	45	27

입력 변수		검지대상차선		
카메라 높이	카메라각 (수직각)	1차선 (승용차)	2차선 (승합차포함)	3차선 (버스포함)
10M	50°	17	17	17
	60°	22	22	22
	70°	33	33	33
	80°	59	50	30

입력 변수		검지대상차선		
카메라 높이	카메라각 (수직각)	1차선 (승용차)	2차선 (승합차포함)	3차선 (버스포함)
12M	50°	20	20	20
	60°	26	26	26
	70°	39	39	39
	80°	73	60	42

입력 변수		검지대상차선		
카메라 높이	카메라각 (수직각)	1차선 (승용차)	2차선 (승합차포함)	3차선 (버스포함)
13M	50°	21	21	21
	60°	28	28	28
	70°	42	42	42
	80°	78	65	44

입력 변수		검지대상차선		
카메라 높이	카메라각 (수직각)	1차선 (승용차)	2차선 (승합차포함)	3차선 (버스포함)
14M	50°	22	22	22
	60°	29	29	29
	70°	44	44	44
	80°	85	70	45

입력 변수		검지대상차선		
카메라 높이	카메라각 (수직각)	1차선 (승용차)	2차선 (승합차포함)	3차선 (버스포함)
15M	50°	23	23	23
	60°	31	31	31
	70°	47	47	47
	80°	90	75	50

3) 검지영역 결과

교통량과 통행속도를 위한 검지영역설정 결과는

다음 <표 5>와 같이 결론을 지을 수 있을 것이다.

<표 5> 검지영역설정시 카메라높이와 수직각

구 분	차간간격	높이	수직각
교통량	1.86m	7m이상	30°
통행속도	10m	12m이상	80°

검지영역설정 결과를 종합해 보면 교통량과 통행속도 검지영역설정할 때 차간간격이 각각 1.86m와 10m일 때 교통량 검지영역 설정시는 최소 카메라높이는 7m이상은 되어야 하며 카메라의 수직각은 30°일 때 안정된 검지영역으로 볼 수 있으며 통행속도 검지영역 설정시는 최소 카메라높이는 12m이상은 되어야 하며 카메라의 수직각은 80°일 때 안정된 검지영역을 설정할 수 있다.

V. 결론 및 향후 연구과제

1. 결론

본 연구는 영상검지기를 사용하는 운영자가 검지영역을 설정함에 있어서 발생될 수 있는 수집정보의 신뢰도 저하 및 영역범위 과다등으로 인한 비효율성을 최소화하고 검지기 운영경험 미숙으로 인한 발생가능한 위험요소를 최소화하기 위하여 모의실험기를 개발하였다. 개발된 모의실험기는 컴퓨터상에서 운영자가 직접 영상검지기의 최적검지영역을 결정할 수 있도록 가시적으로 Occlusion발생 영역을 출력할 수 있도록 하였다.

본 연구의 사례연구결과 교통량계측을 전제로 할 때, 차량간격이 1.86m~10m의 범위에서 최소 카메라의 높이는 7m 이상되어야 하며, 이때 수직각은 30°가 가장 안정된 검지영역인 것으로 나타났다. 통행속도 계측의 경우는 카메라의 높이가 최소 12m이상 되고 수직각이 80°일 때 안정된 검지영역을 설정할 수 있는 것으로 나타났다.

이러한 사례연구결과는 현재 통행시간을 계측하기 위하여 아주대학교 앞 교차로에 설치·운영중에 있는 영상검지기의 설치규격과 일치하고 있으며, 다음과 같은 향후의 보완연구를 통하여 현장적용성을 높일 수 있을 것으로 판단되었다.

2. 향후 연구과제

본 연구와 관련하여 좀더 우수한 시뮬레이터 개발하기 위해서는 다음과 같은 연구가 필요하다.

첫째, 카메라 렌즈의 Zoom과 관련하여 렌즈의 원리 및 카메라의 Zoom기능을 정량화하는 연구가 수행이 되어 Zoom에 관한 수치화가 필요하다.

둘째, 실제 도로의 현상과 일치시키기 위해 도로의 표지판이나 신호등 가로수 등과 같은 도로시설물을 좀더 모형화 하고 시간대에 따라 그림자의 영향도를 고려할 수 있는 시뮬레이터를 개발하는 것이 필요하다.

셋째, 실제 영상검지기를 설치하기 전에 본 연구에서 개발된 시뮬레이터를 사용하여 안정된 검지영역을 설정한후 기존의 사용자가 검지영역을 설정하였을 때의 교통정보수집결과와 비교하여 효과를 검증하는 것이 필요하다.

참고문헌

■ 국내문헌

1. 박창호 외, 교통감시 및 통제를 위한 화상검지시스템 적용에 관한연구, 경찰대학치안연구소, 1995.
2. 이성호, "신호교차로에서의 대기행렬 충격파에 관한 연구," 아주대학교, 1992.
3. 정의환, "영상처리를 이용한 통행시간 예측알고리즘의 개발," 아주대학교, 1997.
4. 최병규, CAM 시스템과 CNC절삭가공, 청문각, 1992.
5. 최한중 외 4인, 도로의 구조 시설기준에 관한규정해설 및 지침, 건설부, 1990. 12.

■ 외국문헌

6. J.D. Foley and Dam Van , A., Fundamentals of Interactive Computer Graphics, Addison-Wesley, 1982.
7. C.S. Park , Interactive Microcomputer Graphics, Addison-Wesley, 1985.
8. Rod Stephens, Visual Basic Graphics Programming, WILEY COMPUTER PUBLISHING, 1997.