

# 고속도로 안개경고시스템을 위한 Non-ROI 실시간 CCTV 시정측정에 관한 연구†

김봉근\*, 장인수\*\*, 박기범\*\*, 조중식\*\*, 이명진\*\*

\*충주대학교 컴퓨터멀티미디어학과

\*\*충주대학교 환경공학과

e-mail:bkkim@cjnu.ac.kr

## A Study of Non-ROI Real-time CCTV Visibility Measurements for Highway Fog Warning System

Bong-Keun Kim\*, In-Soo Chang\*\*, Ki-Bum Park\*\*,

Jung-Sik Cho\*\*, Myung-Jin Lee\*\*,

\*Dept of Computer Multimedia, Chungju National University

\*\*Dept of Environment Engineering, Chungju National

University

### 요 약

대부분의 고속도로 안개경고시스템은 시정측정을 위해 고가의 광학센서를 사용하고 있으나 운전자의 시정감각과 유사하면서도 비교적 저가인 CCTV를 이용한 시정측정에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 그러나 대부분의 CCTV를 이용한 시정측정 방법은 ROI를 기반으로 하고 있어 설치가 까다롭고 기존 CCTV를 활용하기 어렵다는 문제점을 가지고 있다.

본 논문에서는 고속도로상의 안개경고는 약 1~2Km이내의 시정일 때 발생되며, 눈으로 물체를 식별할 수 있는 최대거리가 시정이라는 기초적인 개념에 근거하여 고속도로 안개경고시스템에 사용될 수 있는 Non-ROI 기반의 실시간 CCTV 시정측정 방법을 제안한다. 이를 위해 본 논문에서는 고속도로상에 주행중인 차량의 실시간 이동영역과 가시선을 검출하고 카메라와 도로간의 상관관계를 나타내는 도로모델을 이용하여 시정측정을 수행하는 방법을 제시한다. 제안된 방법은 1~2Km 이내의 시정측정을 위한 방법으로 ROI가 필요없고 직관적이고 현실적인 주야간 시정측정이 가능하며 기존의 고속도로 CCTV에 바로 적용할 수 있다는 장점이 있다.

### 1. 서론

고속도로 안개정보시스템은 안개가 끼면 도로에 설치된 안개센서를 통해 이 사실을 교통관리센터로 전송하고, 센터에서는 라디오 및 고속도로 정보안내판을 통해 운전자에게 알려주도록 하는 시스템이다. 이 시스템이 고속도로에 설치되면 안개 발생 시 자주 일어나는 연쇄 추돌과 같은 교통사고를 감소시키는 효과가 있다.

안개정보시스템에 사용될 수 있는 시정센서(visibility sensor)는 현재 매우 다양한 종류의 센서가 개발되어 있으나 현재 상용화된 센서는 주로 light-scatter 방식의 센서로 이러한 센서는 눈, 비, 안개밀도변화 등의 불균일 조건에서는 심각한 오류 발생의 가능성이 많고 운전자의 시정감각과 큰 차이가 발생할 수 있다. 따라서 인간의 시정감각과 가장 유사하고 전역적인 시정측정이 가능하며 저렴한 시정측정 방법의 개발이 필요하다.

카메라 영상을 이용한 시정측정은 광학센서의 한계를 극복하고 인간의 시정감각과 유사하다는 측면

† 본 논문은 2009년 국토해양부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행한 건설교통기술연구개발사업의 지원으로 수행되었습니다.

에서 많은 연구자들에 의해 연구되고 있다. 그러나 카메라 영상을 이용한 시정측정은 야간측정이 어려우므로 ROI(Region of Interest)와 같은 별도의 보조설비 또는 목표물(target)을 설치하고 영상대비를 이용하여 측정하는 방법[1]을 주로 사용하고 있다. 그러나 별도의 ROI 또는 목표물을 설치하는 것은 설치비용이 많이 들며 새벽과 같이 주야간의 구분이 애매한 경우에 시정의 계산이 어려움이 있다. 따라서 본 논문에서는 CCTV 카메라를 이용하되, ROI와 같은 목표물을 이용하지 않고 고속도로상의 시정을 계산하는 새로운 시정측정방법을 제안한다.

## 2. 안개와 시정센서

### 2.1. 안개와 시정이론

수증기가 응결핵을 중심으로 응결하면 구름이나 안개가 되는데, 이때 지표면에 접하고 있고 시정이 1km이하일 때를 안개라고 한다. 시정에 따른 안개의 국제적 분류는 40m이하를 농밀한 안개, 40~200m를 짙은 안개, 200~1,000m를 안개라고 한다[2].

기체와 입자에 의해 흡수 또는 산란된 계수의 합을 빛의 소멸계수(extinction coefficient)라고 하며, 시정은 대기질의 중요한 척도로서 빛의 소멸계수와 밀접한 관련이 있다. 광원으로부터 광도  $I_0$ 를 갖고 발생한 광선은 빛의 소멸계수  $b_{ext}$ 에 의해 그 광도가 약해지는데, 거리  $X$ 를 통과한 후의 광도  $I$ 는 Beer-Lambert 법칙에 의해 식1과 같이 계산된다[3].

$$I = I_0 \exp(-b_{ext} \cdot X) \quad (식1)$$

빛의 소멸계수  $b_{ext}$ 는 단위 공기 부피당 빛 소멸물질의 흡수 또는 산란 유효 단면적과 같으므로 원래의 대비(contrast)  $C_0$ 를 갖는 물체가 관측자에게 나타나는 대비  $C$ 는 식2와 같이 나타낼 수 있다.

$$C = C_0 \cdot \exp(-b_{ext} \cdot X) \quad (식2)$$

시정을 주위 대기공간에 대해 물체가 식별가능한 최대거리로 정의하면 거리  $X$ 는 시정  $V$ 가 되며, 이때 인간의 시정한계 0.02~0.05를 대입하게 되는데, 시정한계값으로 가장 널리 쓰이는 0.02를 대입하면 시정은 식3과 같이 계산될 수 있다. 시정한계는 “contrast threshold of the eye”를 의미하며 시정 계

산을 위해 가장 보편적으로 사용되고 있다[3].

$$V = 3.921 / b_{ext} \quad (식3)$$

식3은 시계도의 통용지수(universal index)로 널리 사용되고 있으며, 식1과 식2는 거리 및 빛의 소멸계수의 증가에 따라 광도와 대비가 지수적으로 감소한다는 점을 보여 주고 있다.

### 2.2. 안개경고시스템과 시정센서

고속도로 안전관리시스템은 도로기상정보시스템과 가변속도제한시스템을 결합하여 안개다발지역의 다양한 대책들이 효율적으로 운영될 수 있도록 의사결정하고 시스템을 운영시키는 일련의 시스템을 말한다. 이 중 안개경고시스템[4]은 안개가 끼면 도로에 설치된 안개 센서를 통해 이 사실을 교통관리센터로 전송하고, 센터에서는 라디오 및 고속도로 정보안내판을 통해 운전자에게 알려주도록 하는 시스템이다.

시정측정을 위한 센서는 현재 매우 다양한 종류의 센서가 개발되어 있다. 가장 널리 사용되고 있는 장비는 1991년에 Gerber에 의해 개발된 미립자 검출장치(PVM : Particulate Volume Monitor)로 구름의 수증기와 미립자 표면영역을 적외선 레이저(780nm)로 부터 빛의 전방산란(forward scattering)을 측정하는 장치로 이 장치는 유지관리가 용이하고 어느 시간대이나 쉽게 적용할 수 있다는 장점이 있으나, 비교적 고가이다[5]. 2008년 상대적으로 저가인 광학센서(CSU OFD)가 Carrillo[5] 등에 의해 개발되었으며, 이는 송신부와 수신부의 사이에 존재하는 안개를 검출하기 위해 880nm급 발광다이오드의 감쇠현상을 이용하고 있다. 그러나 비가 오는 경우에 뚜렷한 오차가 발생하는 단점이 있다. 카메라를 이용한 시정측정은 광학센서의 한계를 극복하고 인간의 시정감각과 유사하다는 측면에서 많은 연구자들[6][7]에 의해 연구되고 있다.

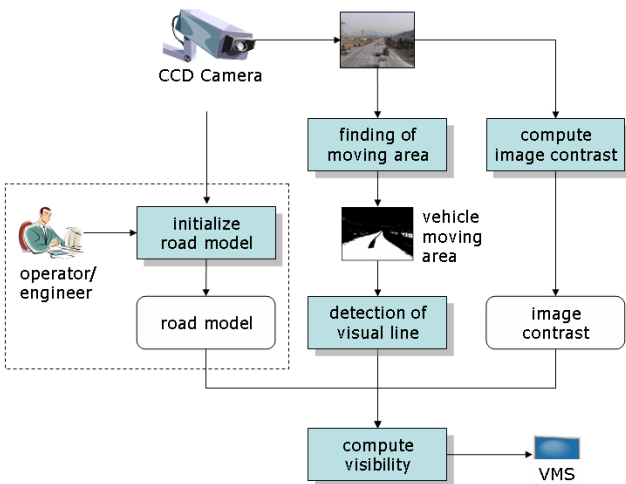
## 3. 가시선과 도로모델에 의한 시정측정

카메라를 이용한 시정측정은 야간측정이 어려우므로 주로 ROI(Region of Interest)와 같은 별도의 보조설비 또는 목표물(target)을 설치하여 측정하는 방법을 사용하고 있다. 그러나 별도의 ROI 또는 목표물을 설치하는 것은 설치비용이 많이 들며 새벽과 같이 주야간의 구분이 애매한 경우에 시정의 계산이

어려움이 있다. 따라서 본 논문에서는 CCTV 카메라를 이용하되, ROI와 같은 목표물을 이용하지 않고 고속도로상의 시정을 계산하는 새로운 시정측정방법을 제안한다.

### 3.1. 실시간 시정측정 시스템

제안된 실시간 시정측정 시스템의 구성은 그림1과 같다. 제안하는 시정측정 방법은 크게 초기화 단계와 운영단계로 나눌 수 있다. 초기화 단계에서는 그림1의 점선 안에 나타난 것과 같이 운영자가 CCTV 카메라의 설치 높이, 도로의 경사도, CCTV 카메라의 각도 등의 기초자료를 이용하여 도로모델(road model)을 구축하는 단계로 시스템 설치 시에 한번만 수행하면 된다. 운영단계는 차량의 이동영역으로부터 얻어진 가시선(visual line)과 영상대비(image contrast) 그리고 로드모델(road model)을 이용하여 시정을 측정하는 단계이다.



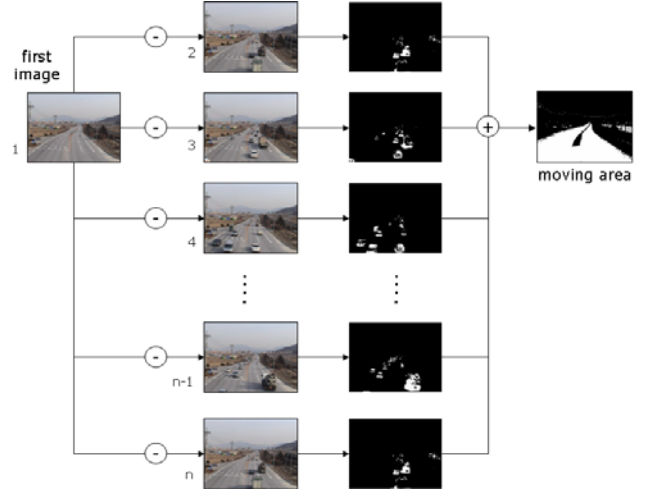
[그림 1] 제안된 실시간 시정측정 시스템

### 3.2. 차량의 이동영역 추출과 가시선의 결정

일반적으로 고속도로와 같은 환경에서 도로상에 움직이는 물체는 영상대비의 계산을 어렵게 하는 요소이다. 그러나 역으로 생각하면 영상으로부터 얻어진 이동영역은 안개가 발생한 경우와 안개가 없는 경우가 다르게 나타나게 되며 안개가 낀 정도에 따라 물체의 이동영역 또한 다르게 나타난다. 본 논문에서는 이러한 기본 아이디어에 기초하여 시정측정을 수행할 수 있는 방법을 제시한다.

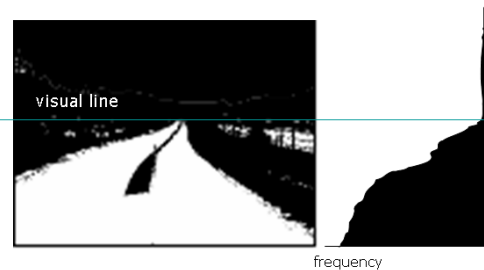
본 논문에서는 이동영역을 추출하기 위해 그림2와 같은 방법으로 일정시간 동안 입력된 n개의 이미지 프레임과 최초의 이미지 프레임간의 차연산(difference operation)을 이용한다. 입력된 최초의

이미지 프레임과 나머지 이미지 프레임간의 차영상(difference image)들은 주어진 임계치를 이용하여 이진화되고, 생성된 차영상들은 차례대로 합성되는데, 이것을 이동영역으로 정의할 수 있다.



[그림 2] 차량의 이동영역 추출 개념도

가시선(visual line)은 이동영역으로 부터 도로의 영역을 제거한 후, 그림 3과 같이 수평방향 프로젝션과 임계치 자동추출을 통해 이동영역의 상단부분을 찾아내는 방법으로 쉽게 검출될 수 있다.

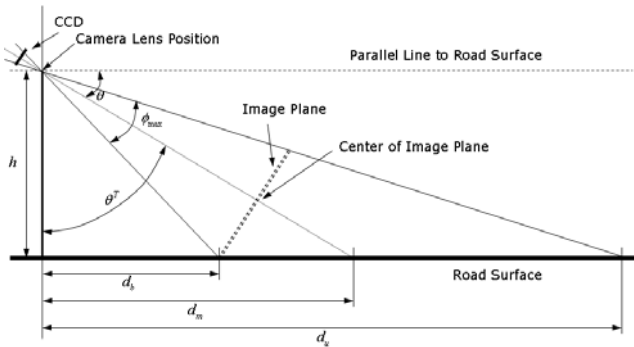


[그림 3] 이동영역에 대한 수평 프로젝션과 가시선(visual line)

### 3.3. 도로모델과 시정측정

도로모델은 도로영역과 도로의 영역의 분리, CCTV 카메라의 설치 높이, 도로의 경사도, CCTV 카메라의 각도 등을 이용하여 시정측정에 활용될 수 있는 파라미터를 결정한 것을 말한다. 일반적으로 CCTV 카메라로부터 출력된 2D 이미지로부터 특정 목표물까지의 거리를 정확히 계산하는 것은 거의 불가능하다. 그러나 고속도로에서 시정측정은 안개다발지역의 안개경보를 위해 사용하는 것을 고려하면 몇 cm까지의 정확한 거리의 계산을 필요로 하지 않는다. 따라서 우리는 그림4와 같은 도로모델을 이용하여 대략적인 시정을 측정한다.

도로의 표면에 CCD 카메라가 일정높이(h)에 설치되어 있고, 카메라가 설치된 각도( $\theta$ )와 CCD의 높이  $C_h$ 는 사전에 알 수 있다. 그러면 그림 4의 카메라 뷰앵글의 최대값  $\Phi_{max}$ 는 카메라의 초점거리 (focal length)  $f$ 를 이용하여 식4와 같이 계산될 수 있고[1] 이미지상의 최하단, 중간, 최상단까지의 거리는 식 2, 3, 4와 같이 각각 계산될 수 있다.



[그림 4] 도로표면이 수평인 경우의 도로모델

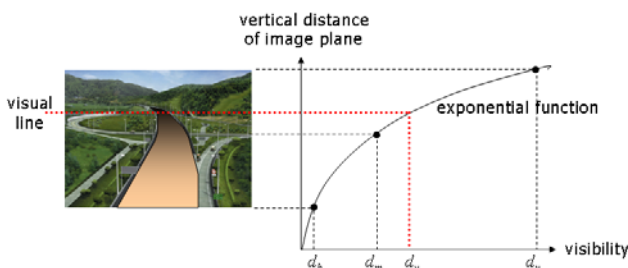
$$\Phi_{max} = \tan^{-1}(C_h/f) \quad (식4)$$

$$d_b = \tan(\theta^T - \frac{\Phi_{max}}{2}) \cdot h \quad (식5)$$

$$d_m = \tan(\theta^T) \cdot h \quad (식6)$$

$$d_u = \tan(\theta^T + \frac{\Phi_{max}}{2}) \cdot h \quad (식7)$$

이미지상의 각 위치 즉, 하단, 중간, 상단까지의 거리를 계산했다면 특정 목표물까지의 거리  $d$ 를 구할 수 있어야 한다. 보통  $d_b$ 와  $d_u$ 사이의 거리는 지수적으로 증가하므로, 우리는  $d_b$ ,  $d_m$ ,  $d_u$ 를 이용하여 비선형 곡선적합(non-linear curve fitting)을 수행한 후, 가시선(visual line)을 찾아내기만 하면, 주어진 가시선의 높이에 대해 그림 5와 같이 시정을 계산할 수 있다.



[그림 5] 가시선을 이용한 시정측정 방법

#### 4. 결론 및 향후연구내용

본 논문에서는 CCTV 카메라를 이용하면서도 ROI와 같은 목표물을 이용하지 않고 고속도로상의 시정을 계산하는 새로운 시정측정방법을 제안하였다. 이를 위해 본 논문에서는 고속도로상에 주행 중인 차량의 실시간 이동영역과 가시선을 검출하고 카메라와 도로 간의 상관관계를 나타내는 도로모델을 이용하여 시정측정을 수행하는 방법을 제시하였다. 제안된 방법은 ROI가 필요 없고 직관적이고 현실적인 주야간 시정측정이 가능하며 기존의 고속도로 CCTV에 바로 적용할 수 있다는 장점이 있다.

향후, 제안된 방법의 정확성에 대한 실험적 검증을 위해 중부내륙고속도로에 CCTV 및 안개센서를 설치하였으며, 경사가 있는 실제 도로의 환경에 적합한 도로모델에 대한 연구와 차량의 불빛, 눈 또는 비와 같은 요소에 의한 영향을 최소화 하는 방법 등의 연구를 수행할 계획이다.

#### 참고문헌

- [1] Taek Mu Kwon, An Atmospheric Visibility Measurements Using Video Cameras: Relative Visibility, Univ. of Minesota Duluth, July 2004.
- [2] 건설교통부, 건설교통재해대책편람, 2004. 5.
- [3] 문길주, 김신도 등, 지구환경 감시 및 기후변화 예측기술 - 서울 지방의 스모그 현상 연구(II), 한국과학기술연구원 제2차년도 연차보고서, 1993.
- [4] Ali S. Al-Ghamdi, "Experimental evaluation of fog warning system", Accident Analysis and Prevention 39, 2007, p.1065-1072.
- [5] Jacqueline H. Carrillo, Scott E. Emert, D. Eli Sherman, Pierre Herckes, Jeffrey L. Collett Jr., "An economical optical cloud/fog detector", Atmospheric Research 87, 2008. p.259-267.
- [6] Jason S. McCarley, William K. Krebs, "Visibility of road hazards in thermal, visible, and sensor-fused night-time imagery", Applied Ergonomics 31, 2000, p.523-530.
- [7] D. Baumer, S. Versick, B. Vogel, "Determination of the visibility using a digital panorama camera", Atmospheric Environment 42, 2008, p.2593-2602.