

# CCTV 카메라를 이용한 도로시정측정시스템의 성능평가 및 경제성 분석

김봉근<sup>1\*</sup>, 이광<sup>1</sup>

<sup>1</sup>한국교통대학교 소프트웨어학과

## Performance Evaluation and Economic Analysis for the Road Visibility Measurement System using the CCTV Camera

Bong-Keun Kim<sup>1\*</sup> and Gwang Lee<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Software, Korea National University of Transportation

**요 약** 안개로 인한 대형교통사고를 예방하기 위한 안개경고시스템의 핵심요소는 시정을 측정하는 장치이며, 최근 고가의 안개센서 보다 인간의 시정감각과 유사하면서도 저렴하고 정확한 시정측정장치에 대한 필요성이 증대되고 있다. 본 논문은 도로의 CCTV 카메라를 이용하여 시정을 측정하기 위해 개발된 도로시정측정시스템(RVMS)의 성능 평가 방법 및 결과를 제시하고, 고속도로 등 도로 적용에 따른 경제성과 활용방안을 제시한다. 성능평가는 여주시험도로에 전용 CCTV 카메라, 안개센서, 목적을 위한 시정표지를 설치하고 시험운영결과를 DVR에 기록하여, 특정 안개발생 시간대에 대해 RVMS와 안개센서 결과를 목적결과와 비교분석하였다. 실험결과, 목적을 기준으로 RVMS가 안개센서 대비 높은 측정안정성과 정확성을 가진 것으로 분석되었다. 또한, 본 논문에서는 RVMS가 기존 안개센서 대비 높은 경제성을 가지고 있음을 제시하고 RVMS의 다양한 활용방안을 제시한다. 높은 성능과 경제성을 가진 RVMS의 적절한 활용은 안개발생시 도로 이용자의 교통사고 예방뿐만 아니라 광역 시정정보 수집 및 활용에 획기적인 계기를 마련할 것으로 기대된다.

**Abstract** A key element of the fog warning system to prevent large traffic accidents is a visibility measurement device. Recently, the need for it that is similar to the human visual sense and cheap and accurate than expensive fog sensors is increasing. In this paper, we present the performance evaluation and the economic analysis of the Road Visibility Measurement System (RVMS), which is developed for measuring the road visibility through a CCTV camera. For experiments, we have installed a CCTV camera, a fog sensor, and visibility signs at the Yeo-ju Test Road on the Central Inland Expressway. We evaluated the measurements from RVMS and the fog sensor based on observations. The result shows RVMS outperforms the fog sensor with respect to measurement stability and correctness. We also show RVMS has higher economic feasibility and various applications. RVMS can prevent the traffic accidents caused by severe fog and enhance the process of the wide-area visibility information system significantly.

**Key Words** : CCTV-camera, economics, fog-sensor, performance-analysis, visibility

### 1. 서론

안개로 인한 교통사고는 대형교통사고의 원인이 된다. 대표적인 사례로 2006년 10월 3일 오전 7시 50분경에 서

해대교에서 발생한 29중 충돌사고는 안개로 인한 가시거리 악화와 운전자들의 운행부주의가 만들어낸 대형 연쇄 충돌사고로 기록되어 있다. 이에 대한 대책으로 도입되고 있는 안개경보시스템의 핵심요소는 안개센서와 같이 시

본 논문은 2012년도 한국교통대학교 교내학술연구비의 지원을 받아 수행한 연구임.

\*Corresponding Author : Bong-Keun Kim (Korea National University of Transportation)

Tel: +82-43-841-5853 email: bkkim@ut.ac.kr

Received December 4, 2012 Revised December 24, 2012 Accepted January 10, 2013

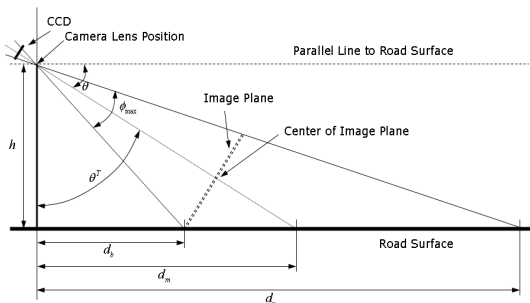
정(visibility)을 산출하는 장치이다. 그러나 이러한 광학 방식의 센서는 매우 좁은 영역만을 센싱하는 원리적 한계에 따라 눈, 비, 안개밀도의 불균일성 등에 의한 심각한 오류발생 가능성이 있고 운전자의 시정감각과 큰 차이가 발생할 수 있다[1]. 카메라를 이용한 시정측정은 이러한 광학센서의 한계를 극복할 수 있고 인간의 시정감각과 유사하다는 측면에서 많은 연구자들에 의해 연구되고 있다[1-3]. 우리는 최근 도로에 설치된 CCTV카메라를 이용하여 주야간 실시간 시정측정이 가능한 시정측정시스템[4]을 개발하였으며, 시작품을 개발하여 중부내륙고속도로 여주 시험도로와 한국도로공사 충주지사에서 현장실험을 진행하고 있다[5].

본 논문은 도로의 CCTV 카메라를 이용하여 시정을 측정하기 위해 개발된 도로시정측정시스템(RVMS: Road Visibility Measurement System)의 성능평가 방법 및 결과를 제시하고, 고속도로 등의 도로 적용에 따른 경제성과 활용방안을 제시한다.

## 2. 도로시정측정시스템

도로시정측정시스템[4]은 CCTV 카메라 영상에서 도로상에 통행중인 차량의 이동영역이 시정에 따라 달라진다는 점에 착안하여 이동영역을 추출하고 이를 이용하여 가시거리를 계산하는 시정 측정 장치이다.

CCTV 카메라 영상에서 도로상에 주행 중인 차량의 이동영역은 안개로 인한 시정의 변화에 따라 다르게 보인다. 예를 들어, 안개가 거의 없는 경우에 주행 중인 차량의 이동은 카메라로부터 먼 곳에서 이동 중인 차량까지 움직임이 확인되지만 짙은 안개로 인해 시정이 감소된 경우에는 도로상에 이동 중인 차량의 움직임은 카메라에서 가까운 부분 즉, 영상의 하단에서만 확인될 것이다.



[Fig. 1] The relationship between the image and the distance, if the road surface is horizontal

만일 Fig. 1과 같이 도로의 표면이 수평인 곳에 CCD 카메라가 일정높이(h)에 설치되어 있고, 카메라가 설치된 각도( $\theta^T$ )와 CCD의 높이  $C_h$ 를 사전에 알 수 있다면, 카메라 뷰앵글의 최대값  $\Phi_{max}$ 는 카메라의 초점거리(focal length)  $f$ 를 이용하여 (1)과 같이 계산될 수 있고 이미지상의 최하단, 중간, 최상단까지의 거리는 (2-4)와 같이 각각 계산될 수 있다[1].

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

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

$$d_m = \tan(\theta^T) \cdot h \quad (3)$$

$$d_u = \tan(\theta^T + \frac{\Phi_{max}}{2}) \cdot h \quad (4)$$

이미지상의 각 수평위치 즉, 하단, 중간, 상단까지의 높이에 해당하는 거리를 계산할 수 있다면, 특정 높이까지의 거리는 쉽게 구할 수 있다. 그러나 일반적으로 CCTV 카메라 영상에 나타나는 도로는 수평인 경우가 거의 없고, 카메라를 통해 얻어진 2D 영상으로부터 특정 목표물까지의 거리를 정확히 계산하는 것은 거의 불가능하다.

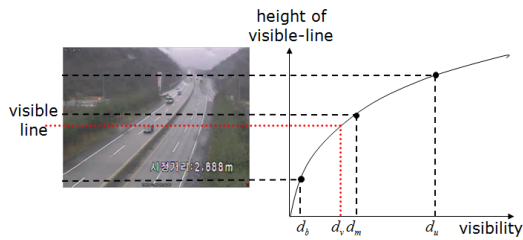
그러나 도로시정측정시스템에서는 도로에서 시정측정 장치가 안개다발지역의 안개경보를 위해 사용되는 것을 고려할 때, 매우 정밀한 거리 계산을 필요로 하지는 않는다. 또한, 일반적으로 영상의 하단에서 상단까지의 거리 변화는 도로의 경사도에 따라 증가의 정도는 달라지지만 지수적으로 증가하게 된다는 것은 이미 알려진 사실이다 [1].

따라서 영상으로부터 차량의 이동영역을 추출하여 차량의 움직임을 확인할 수 있는 최대거리인 가시선(visible line)을 정확히 검출할 수 있고, 가시선과 거리에 대한 함수를 알 수 있다면 시정은 매우 쉽고 정확하게 측정될 수 있다. 즉,  $k$ 번째 영상  $I_k$ 의 가시선 높이  $h_k$ 와 시정  $v_k$  간 상관관계를 나타내는 함수  $M$ 을 알고 있다면 시정은 (5)와 같이 간단히 계산할 수 있다.

$$v_k = M(h_k) \quad (5)$$

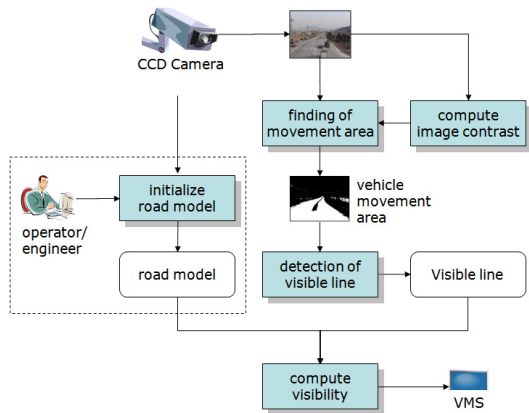
결국, 본 논문에서는 영상에서 하단의 수평높이  $h_b$ 와 중간의 수평높이  $h_m$ , 상단의 수평높이  $h_u$ 사이에 대응되는 거리  $d_b$ ,  $d_m$ ,  $d_u$ 는 지수적으로 증가한다고 가정하고, 먼저, 특정 도로형태에 대해 거리  $d_b$ ,  $d_m$ ,  $d_u$ 와 영상에서

각각에 대응되는 수평높이  $h_b$ ,  $h_m$ ,  $h_u$ 의 쌍을 이용하여 주어진 목적함수(objective function)  $M$ 에 대한 비선형 곡선적합(non-linear curve fitting)[6]을 수행한 후 목적함수의 파라미터를 결정하여 저장한다. 그러면 이후 입력된 영상으로부터 얻어진 가시선의 높이  $h_f$ 를 (5)와 같은 목적함수에 대입함으로써 시정  $v_f$ 를 측정하는 방법을 사용한다. Fig. 2는 가시선을 이용한 시정거리의 측정방법을 설명하고 있다.



[Fig. 2] Visibility measurement using the objective function(the exponential function) and a visible-line

우리는 가시선의 높이와 시정간의 함수를 도로모델(road model)이라고 정의하였으며, 실시간 도로시정 측정 방법은 Fig. 3과 같이 설명될 수 있다.



[Fig. 3] Road visibility measurement system using CCTV camera

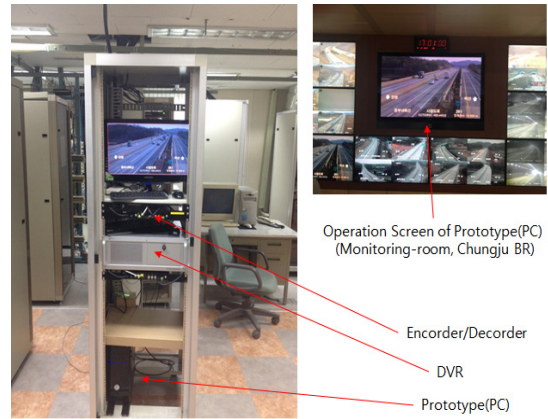
CCTV를 이용한 도로 시정측정 시스템은 크게 초기화 단계와 운영단계로 나뉘며, 초기화 단계는 운영자가 도로 모델을 구축하는 단계로 시스템 설치 시에 한 번만 수행하면 된다. 운영단계는 차량의 이동영역으로부터 얻어진 가시선과 도로모델을 이용하여 시정을 측정하고 그 결과를 표출하는 단계이다.

### 3. 도로시정측정시스템의 성능평가

#### 3.1 성능평가방법

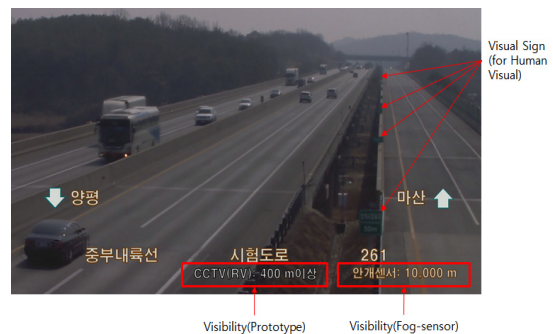
##### 3.1.1 실험환경 구축

우리는 도로시정측정을 위한 시작품을 제작하였으며, 시작품은 입력된 CCTV영상을 프레임그레버를 통해 캡처하고 이를 이용하여 가시거리를 측정하며 측정된 결과를 자막기를 통해 CCTV영상과 합성하여 출력한다. 현재 개발된 도로시정측정 시스템의 시작품은 Fig. 4와 같다.



[Fig. 4] Prototype of the road visibility measurement system using CCTV

시작품의 초기설정 및 운영방법은 먼저, CCTV영상본 배기의 출력단자와 시작품 연결하고, 시작품의 초기설정 소프트웨어를 실행하여 도로모델(시정측정함수의 계수, 측정범위 등)의 설정한 후, 시작품의 결과를 자막기로 전송하기 위해 네트워크로 연결하고 시작품을 작동시켜 Fig. 5와 같이 CCTV모니터에 결과를 출력한다.



[Fig. 5] Built experimental environment and an example of the prototype video

시작품의 성능평가를 위해, 한국도로공사 여주 시험도로에 CCTV 시스템, 안개센서(OFS-MkII)를 같은 장소에 설치하였다. 그러나 기존의 안개센서는 광학측정 방식의 한계로 인해 인간의 시정감각과 차이가 크며, 특히 눈, 비 등의 날씨변화에 매우 큰 오차를 보이고 있어 성능평가를 위한 기준이 될 수 없다고 판단하였다. 따라서 우리는 목측을 시작품의 성능평가 기준으로 결정하였으며, 목측을 수행하기 위해 Fig. 5의 우측과 같이 CCTV 카메라로부터 각각 50, 100, 150, 200, 250, 300, 400, 500m 거리에 8개의 시정표지를 설치하였다.

Fig. 5에서 하단 중앙에 표출된 결과가 시작품이 측정 한 가지거리이며, 하단 오른쪽은 안개센서가 측정 한 가지 거리를 나타내고 있다. 시작품에서 측정된 가지거리는 초기단계에서 설정한 측정범위의 상한이 400m인 경우, 가지거리가 350m라면 “CCTV(RV): 350m 이하”, 가지거리가 500m이면 “CCTV(RV): 400m 이상”으로 표현하였다. 시작품은 2012년 4월 2일부터 현재까지 지속적으로 운영되고 있으며, 이에 따른 영상자료를 기록하고 있다.

### 3.1.2 성능평가자료 수집 및 평가 방법

실험영상은 DVR에 지속적으로 기록되고 있으나, 성능평가를 위한 적절한 실험데이터를 얻기 위해서는 두 가지 문제점을 해결하여야 한다.

하나는 CCTV로 확인할 수 있는 시정거리의 최대치는 카메라의 높이에 따라 달라지지만 대략 500m ~ 1,000m 정도이지만 안개센서(OFS-MkII)의 측정 최대치는 10,000m이므로 이들 데이터를 직접 비교하기는 어렵다는 것이다. 그러나 다행히 안개가 발생하는 경우 시정거리 400m 이상은 안개경보 등의 활용을 목적으로 하는 도로환경에서는 큰 의미가 없다. 그러므로 시정측정의 한계치를 400m 정도로 설정하여 측정된 값이 한계치를 초과하는 경우에는 측정값을 한계치로 대체하는 방법을 사용하여 이 문제를 해결하기로 하였다. 단, 안개센서의 결과는 안개센서의 작동 상태를 나타낼 수 있도록 그대로 입력하였으며, 목측 또한 한계치를 400m로 설정하였다.

다른 하나는 수집되는 자료가 동영상자료이므로 자료의 양이 방대할 뿐만 아니라 비교자료의 추출을 위해서는 일정간격의 데이터 추출과정이 필요하다는 것이다. 우리는 DVR에 기록되는 영상의 정지영상을 5분에 한 번씩 자동으로 기록하도록 하여 이를 성능평가를 위한 데이터로 사용하기로 하였다. 정지영상의 이름은 수집된 날짜(년,월,일), 시각(시,분,초), RVMS가 측정 한 시정거리(미터)를 포함한 “20121026-071900-0334m.bmp”와 같은 형식으로 구성되도록 하여, 데이터의 수집시기와 측정결과를 한 눈에 확인할 수 있도록 하였다. 목측은 맑은 날에

미리 설정된 위치를 알고 있으므로 이를 각 영상에 적용하여 수행하였다.

Fig. 6은 실제 2012년 10월 26일, 07시 19분 00초에 저장된 정지영상과 목측을 위한 수평라인(밑에서부터 차례대로 50, 100, 150, 200, 250, 300, 400, 500m에 해당되는 수평라인)을 보여주고 있다. 따라서 Fig. 6의 영상으로부터 우리는 목측이 약 400m일 때, RVMS가 334m, 안개센서가 5,263m의 결과를 보여주고 있음을 알 수 있다.



[Fig. 6] An example of the still images stored in 5 minutes once (Oct. 26, 2012, 07:19:12 RVMS measurement result: 334m, fog sensor measurement result: 5,263 m) and the sidelines (50, 100, 150, 200, 250, 300, 400, 500m)

결국, 우리는 짙은 안개가 발생한 날에 기록된 데이터를 입력하고 분석함으로써, RVMS와 안개센서의 결과가 목측결과와 얼마나 유의성을 가지고 있는지를 간단히 비교할 수 있다.

## 3.2 성능평가 및 분석

### 3.2.1 성능평가자료

우리는 맑은 날과 비오는 날, 그리고 주야간 측정결과를 모두 분석하기 위해 측정시간대에 안개가 비교적 크게 낀 2012년 4월 24일 새벽 4시부터 아침 9시 사이의 데이터와 비가 조금 내린 2012년 10월 26일 새벽 4시부터 아침 9시 사이의 데이터를 각각 SigmaPlot 버전 10.0에 입력하여 분석하였다.

Table 1과 Table 2는 지금까지 수집된 자료 중 성능평가를 위해 사용될 자료를 보여주고 있다. 평가기준이 되는 목측치는 설치된 시정표지를 기준으로 가지거리를 부여한 것이며, 당일 04:00부터 09:00까지 시정변화를 5분에 한 번씩 측정 한 결과를 비교한 것이다.

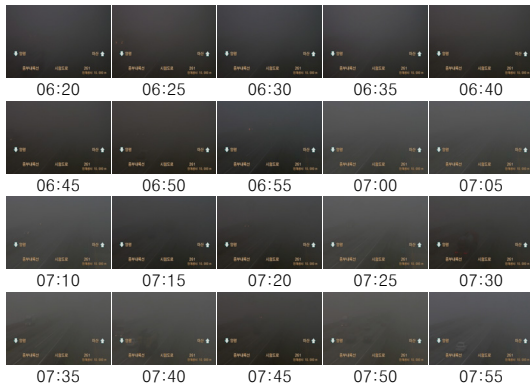
Fig. 7은 2012년 4월 24일에 캡처된 정지영상들의 예를 보여주고 있다.

[Table 1] Data for analysis(2012/04/24)

time	RVMS(m)	OFS-Mkll(m)	human(m)
04:00:00	400	692	400
04:05:00	400	692	400
04:10:00	400	733	400
04:15:00	400	571	400
04:20:00	400	894	400
04:25:00	400	692	400
04:30:00	400	833	400
04:35:00	400	571	400
04:40:00	400	894	400
04:45:00	400	823	400
04:50:00	400	692	400
04:55:00	400	894	400
05:00:00	400	808	400
05:05:00	400	833	400
05:10:00	400	808	400
05:15:00	400	717	400
05:20:00	400	692	400
05:25:00	249	508	300
05:30:00	239	500	250
05:35:00	226	894	200
05:40:00	221	408	200
05:45:00	279	692	200
05:50:00	200	794	200
05:55:00	224	500	200
06:00:00	220	433	200
06:05:00	190	300	200
06:10:00	400	618	250
06:15:00	240	794	250
06:20:00	400	571	300
06:25:00	400	808	300
06:30:00	400	692	300
06:35:00	400	833	400
06:40:00	400	571	400
06:45:00	400	894	400
06:50:00	400	823	400
06:55:00	400	692	400
07:00:00	400	894	400
07:05:00	400	808	500
07:10:00	400	833	500
07:15:00	400	808	500
07:20:00	400	717	500
07:25:00	400	692	500
07:30:00	400	508	500
07:35:00	400	500	400
07:40:00	400	894	400
07:45:00	349	408	400
07:50:00	344	692	350
07:55:00	334	594	350
08:00:00	354	500	350
08:05:00	359	694	350
08:10:00	359	500	350
08:15:00	349	433	350
08:20:00	400	500	400
08:25:00	393	618	400
08:30:00	400	794	400
08:35:00	400	571	400
08:40:00	400	808	500
08:45:00	400	692	500
08:50:00	400	833	500
08:55:00	400	571	500

[Table 2] Data for analysis(2012/10/26)

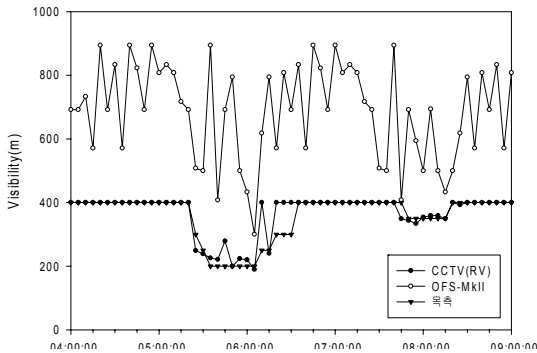
time	RVMS(m)	OFS-Mkll(m)	human(m)
04:00:00	400	996	400
04:05:00	400	967	400
04:10:00	400	849	400
04:15:00	400	10,000	400
04:20:00	400	5,555	400
04:25:00	400	6,521	400
04:30:00	400	574	400
04:35:00	400	2,068	400
04:40:00	400	564	400
04:45:00	400	940	400
04:50:00	400	5,454	400
04:55:00	400	2,325	400
05:00:00	400	462	400
05:05:00	400	541	400
05:10:00	400	240	350
05:15:00	400	210	350
05:20:00	400	189	350
05:25:00	400	312	350
05:30:00	400	257	350
05:35:00	400	289	350
05:40:00	400	238	350
05:45:00	400	248	350
05:50:00	400	257	350
05:55:00	400	260	350
06:00:00	400	264	350
06:05:00	400	202	350
06:10:00	400	327	400
06:15:00	400	277	400
06:20:00	311	380	300
06:25:00	306	249	300
06:30:00	295	227	300
06:35:00	277	244	300
06:40:00	320	427	300
06:45:00	311	365	300
06:50:00	317	590	300
06:55:00	334	5,263	350
07:00:00	365	2,586	350
07:05:00	357	1,167	350
07:10:00	379	488	400
07:15:00	324	571	350
07:20:00	357	2,013	350
07:25:00	381	3,488	400
07:30:00	387	2,830	400
07:35:00	387	2,727	400
07:40:00	393	4,687	400
07:45:00	390	1,030	400
07:50:00	400	3,448	400
07:55:00	400	3,947	400
08:00:00	400	1,234	400
08:05:00	400	1,363	400
08:10:00	396	5,660	400
08:15:00	400	3,191	400
08:20:00	379	8,823	400
08:25:00	387	4,000	400
08:30:00	396	5,084	400
08:35:00	390	3,846	400
08:40:00	390	4,838	400
08:45:00	384	7,692	400
08:50:00	390	940	400
08:55:00	379	1,685	400



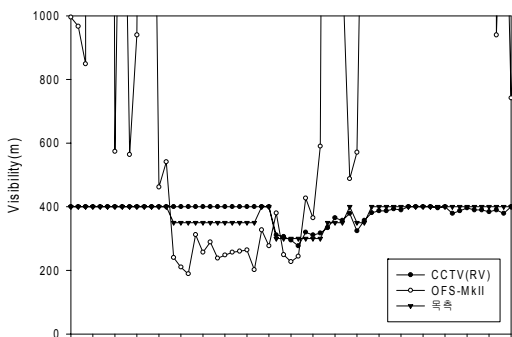
[Fig. 7] Examples of still images captured at 5-minute intervals

### 3.2.2 평가결과 및 분석

Table 1과 Table 2의 데이터에 대해 목적을 기준으로 RVMS와 안개센서의 결과를 그래프로 표현하였으며, Fig. 8과 Fig. 9는 각각의 측정결과에 대한 비교 그래프를 보여주고 있다.



[Fig. 8] Result of visibility measurements for RVMS, fog-sensor, human visual (2012/04/24)



[Fig. 9] Result of visibility measurements for RVMS, fog-sensor, human visual (2012/10/26)

2012년 4월 24일 중부내륙고속도로 여주 시험도로의 짙은 안개로 인한 시정변화 비교는 Fig. 8과 같다. Fig. 8에서 비교적 안개가 짙게 낀 5시 25분부터 6시 15분사이의 데이터를 보면, RVMS의 측정결과(측정한계 400m)가 목적측결과(측정한계 400m)와 비교적 유사한 것을 알 수 있으며, 광학센서인 안개센서의 결과에 비해 정확하고 안정적인 가시거리 측정결과를 얻을 수 있음을 확인할 수 있었다.

비가 약하게 내린 2012년 10월 26일 중부내륙고속도로 여주 시험도로의 안개로 인한 시정변화 비교는 Fig. 9와 같다. Fig. 9에서 안개센서의 측정결과가 매우 크게 변화되는 것은 비로 인한 측정오류로 판단된다. 왜냐하면 안개센서는 레이저 송신구와 수신구사이의 안개농도변화를 광학적으로 감지하는 방식이므로 그 사이에 물방울과 같은 갑작스런 변화가 발생하면 측정결과 또한 심하게 왜곡될 수밖에 없다. 비교적 안개가 짙게 낀 5시 25분부터 6시 15분사이의 데이터를 보면, 목적을 기준으로 안개센서의 측정결과는 비교적 낮게 나타났으며, RVMS의 측정결과는 비교적 높게 나타난 것은 노면의 물기와 자동차의 전조등이 영향을 미친 것으로 판단된다. 그러나 실제 운전자가 느끼는 시정은 자동차의 전조등 또는 미등으로 인해 실제보다 비교적 높은 시정거리를 갖고 있다고 느낄 것이다. 따라서 도로상에 나타나는 시정은 RVMS의 측정결과가 안개센서의 결과보다 더 현실적인 데이터라고 할 수 있다. 또한, 자동차 전조등의 영향을 거의 받지 않는 6시 20분부터 9시 사이에는 RVMS의 결과가 목적과 비교적 유사하게 나타났으며, 광학센서인 안개센서의 결과에 비해 정확하고 안정적인 가시거리 측정결과를 얻을 수 있음을 확인할 수 있었다. 카메라를 이용한 RVMS와 광학방식의 안개센서의 분명한 차이점에도 불구하고 우리는 실제 도로를 운행하는 운전자의 입장에서 RVMS가 안개센서에 비해 보다 현실적이고 인간의 시정감각과 유사한 결과를 제공할 수 있다는 점을 확인할 수 있었다.

현장실험을 통해 RVMS가 안개센서에 비해 비교적 정확하고 안정적인 시정측정 결과를 제공하고 있음을 확인할 수 있었으나, 보다 높은 정확성을 갖기 위해서는 자동차 전조등과 같은 갑작스런 빛의 영향에 따른 측정오차를 보정할 필요가 있다고 판단된다. 물론, RVMS의 성능평가를 측정범위와 원리, 그리고 개발목적이 다른 안개센서와 직접 비교하는 것은 불가능하다고 판단하여 목적결과와 비교하였으나, 목적 또한 매우 주관적이어서 RVMS의 성능을 정확히 평가하는 데에는 한계가 있었다. 다행인 것은 RVMS의 개발목적이 운전자에게 안개시정에 대한 유용한 정보를 제공하는데 있으므로 RVMS의 측정결



과가 목적과 비교되는 것이 현실적이라는 점이다. 다만, 목적결과의 객관성을 확보하는 것이 중요한 것으로 생각된다.

#### 4. 도로시정측정시스템의 경제성

RVMS는 CCTV를 이용하므로 기존에 도로에 설치된 CCTV 시스템과 연결되어야만 한다. Fig. 10은 RVMS가 기존 CCTV 시스템에 어떻게 연결되어 사용될 수 있는지를 보여주고 있다.

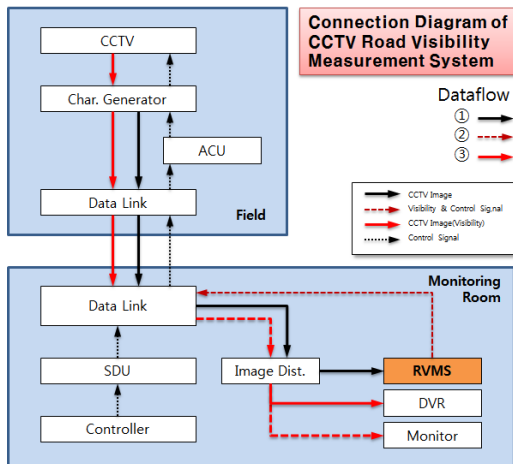
Fig. 10에서와 같이 RVMS는 기존 CCTV 영상출력 단자의 영상분배기에 연결만 하면 되므로, 기존 도로에 설치된 CCTV 시스템에 매우 쉽게 설치될 수 있으며, RVMS의 제작비용 또한 매우 저렴하다. 제작비용은 약 200만원 정도로 기존 안개센서 및 부속장치를 포함한 시스템이 약 2,000~3,000만원 정도인 점을 감안하면 약 1/10정도의 매우 저렴한 비용으로 시정측정시스템을 구축할 수 있다.

현재 고속도로에는 약 2,000여개의 CCTV 시스템이 운영되고 있으며, 만일 고속도로의 모든 곳에 안개센서를 설치하는 경우에는 약 400억원 정도의 비용이 소요되지만 RVMS를 설치하는 경우에는 약 40억원 정도면 충분하다. 따라서 만일 적절한 성능평가가 이루어지고 신뢰성이 검증된다면 저렴한 비용으로 고속도로 전 구간에 RVMS를 설치할 수 있으며, 이에 따른 부수적인 효과는 매우 높다. 예를 들어, 고속도로 전 구간의 안개발생 상황을 실시간 모니터링할 수 있는 광역 시정정보 시스템을 구축할 수 있다. 이를 통해 안개발생상황에 적절하게 대응할 수 있게 되면, 안개로 인한 교통사고 예방효과와 함께 대형 교통사고로 인한 막대한 경제적 손실을 미연에 방지할 수 있다. 또한, 학술적으로 활용될 수 있는 데이터베이스를 구축할 수도 있다. 그리고 만일, 국도에 설치된 수천 개의 CCTV 시스템에 RVMS를 도입한다면 이에 따른 활용방안은 매우 다양하며 이에 따른 경제적 효과는 매우 클 것으로 생각된다.

#### 5. 결론

본 논문에서는 도로의 CCTV 카메라를 이용하여 시정을 측정하기 위해 개발된 도로시정측정시스템(RVMS)의 성능 평가 방법 및 결과를 제시하고, 고속도로 등 도로 적용에 따른 경제성과 활용방안을 제시하였다. 성능평가는 여주시험도로에 전용 CCTV 카메라, 안개센서, 목적을 위한 시정표지를 설치하고 시험운영결과를 DVR에 기록하여, 특정 안개발생 시간대에 대해 RVMS와 안개센서 결과를 목적결과와 비교분석하였다. 현장실험결과, 목적을 기준으로 RVMS가 안개센서 대비 높은 측정안정성과 정확성을 가진 것으로 분석되었다. 그러나 향후, 자동차 전조등과 같은 갑작스런 빛의 영향에 따른 측정오차를 보정하거나 극복할 수 있어야 할 것으로 판단된다. 또한, RVMS 성능평가의 기준인 목적방법은 매우 주관적이어서 RVMS의 성능을 정확히 평가하는 데에는 한계가 있으나 목적결과의 객관성을 확보한다면, 운전자에게 안개 시정에 대한 유용한 정보를 제공하는데 목적이 있다는 점에서 RVMS의 측정결과가 목적과 비교되는 것이 타당할 것이라고 생각된다.

또한, 본 논문에서는 RVMS가 기존 안개센서 대비 높은 경제성을 가지고 있음을 제시하고 RVMS의 다양한 활용방안을 제시하였다. 높은 성능과 경제성을 가진 RVMS의 적절한 활용은 안개발생시 교통사고 예방뿐만 아니라 광역 시정정보 수집 및 활용에 획기적인 계기를 마련할 것으로 기대된다.



[Fig. 10] Connection between the RVMS and the existing CCTV system

물론, RVMS는 안개센서에 비해 측정가능 거리가 CCTV영상에 나타나는 최대 거리에 한정된다. 따라서 기상정보시스템 등 일반적인 시정측정장치로 사용되기 보다는 도로환경에만 사용할 수 있다는 단점이 있다. 그러나 재해대책편람[7] 등에 나타난 바와 같이 실제 도로를 주행하는 운전자에게 안개로 인한 위험성을 사전에 인지하도록 하는 데에는 안개로 판단되는 거리, 약 1km이내의 시정만이 필요하다는 점에서 실제 현장에 적용하는 데에는 아무런 문제가 없는 것으로 판단된다.

## References

- [1] Taek-Mu Kwon, An Atmospheric Visibility Measurements Using Video Cameras: Relative Visibility, Univ. of Minnesota Duluth, July, 2004.
- [2] Jason S. McCarley, William K. Krebs, "Visibility of road hazards in thermal, visible, and sensor-fused night-time imagery", *Applied Ergonomics* Vol.31, p.523-530, 2000.  
DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0003-6870\(00\)00010-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0003-6870(00)00010-7)
- [3] D. Baumer, S. Versick, B. Vogel, "Determination of the visibility using a digital panorama camera", *Atmospheric Environment*, Vol.42, p.2593-2602, 2008.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2007.06.024>
- [4] Bongkeun Kim, Insoo Chang, Gwang Lee, "Real-time Road Visibility Measurement Using CCTV Camera", *Journal of Korean Society of Transportation*, Vol.29, No.4, pp.125-138, 2011. 8.
- [5] Bongkeun Kim, Insoo Chang, Gwang Lee, "A Study on Pilot-test of the CCTV Fog Visibility Measurement System", *2012 Proceedings of the KAIS Spring Conference*, Vol.13, No.1, pp.719-721, 2012. 5.
- [6] William H. Press, Brian P. Flannery, Saul A. Teukolsky, William T. Vetterling, *Numerical Recipes in C*, Cambridge University Press, 1988.
- [7] Ministry of Construction & Transportation, Disaster Preparedness Manual, 2004.

### 이 광(Gwang Lee)

[정회원]

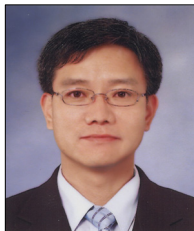


- 1997년 2월 : 조선대학교 대학원 컴퓨터공학과 (공학석사)
- 2000년 2월 : 조선대학교 대학원 컴퓨터공학과 (공학박사)
- 1997년 3월 ~ 현재 : 한국교통대학교 소프트웨어학과 교수

<관심분야>  
운영체제, ITS, 웹접근성

### 김 봉 근(Bong-Keun Kim)

[정회원]



- 1991년 8월 : 숭실대학교 대학원 전자계산학과 (공학석사)
- 1997년 2월 : 숭실대학교 대학원 전자계산학과 (공학박사)
- 1993년 4월 ~ 현재 : 한국교통대학교 소프트웨어학과 교수

<관심분야>  
컴퓨터비전, 패턴인식, 영상처리, 감성공학, ITS