



# 라인스캔 카메라를 이용한 도로 안전시설 설치간격 및 높이측정 시스템 개발 및 현장적용

## System Development and Field Application for Measuring installation Interval and Height of Road safety Facilities Using a Line Scanning Camera.

문형철\*                      서영찬\*\*  
Moon, Hyoung Chul      Suh, Young Chan

### Abstract

One of the basic requirements for the most advanced countries would be the well-planned traffic infrastructures. For such traffic safety systems, foreign countries follow the current tendency to which they manage the traffic facilities and equipments based on the objective assessment for the state of every traffic safety facility in terms of Asset Management(AM). As the road safety facilities related among them are very diverse, and their functions are very important as well, the regulations and directions for installing them are enacted. However, despite the standards and directions for the installations, sometimes, the facilities are not installed in accordance with the standards, not only causing inconvenience to the users but also negatively affecting the safety for them. In the study, for the facilities in which the installation interval and height are standardized according to the designed speed and geometrical structure of the road among the various road safety facilities, the image analysis model capable of measuring them with a line scanning camera was developed. In addition, the program systematically analyzing this was also developed and applied to the field and, as the result of that, the size and installation interval of the facilities could be measured fast and accurately.

*keywords : asset management, road safety facilities, line scanning camera, image analysis*

### 요 지

선진국의 기본 요건들 중 하나는 잘 정비된 교통인프라라 할 수 있을 것이다. 이러한 교통안전시설에 대해 해외에서는 각종 교통안전시설에 대해 객관적인 상태평가를 기초로 하여 시설을 관리하는 자산관리(Asset Management)측면에서 시설을 관리하고 있는 추세이다. 이 중 도로관련 각종 안전시설은 매우 다양하며, 기능 또한 매우 중요하기 때문에 이들에 대한 설치 규정 및 지침을 제정하고 있다. 그러나 설치기준 및 지침이 있음에도 불구하고, 각 시설이 기준에 부합되게 설치되지 않아 오히려 도로이용자에게 불편함 뿐 아니라, 안전에도 악영향을 끼치고 있다. 본 연구에서는 다양한 도로안전 시설 중 도로의 설계(운영)속도 및 기하구조에 따라 설치 간격 및 높이들이 규정화 되어있는 시설에 대해 라인스캔카메라를 이용, 이를 신속하게 측정 가능한 영상분석 모델을 개발하였다. 또한 이를 체계적으로 분석할 수 있는 프로그램을 개발하여 현장에 적용하였으며, 그 결과 매우 정확하게 시설의 크기와 설치간격을 신속하게 측정할 수 있었다.

*핵심용어 : 자산관리(Asset management), 도로안전시설, 라인스캔카메라, 영상분석*

## 1. 서론

도로를 이용함에 있어 이용자의 안전과 편의를 제공하고  
고자 각종 안전시설이 설치되어 있다. 최근 해외에서는

\* 정회원 · (주)로드텍 대표이사, 도로 및 공항기술사

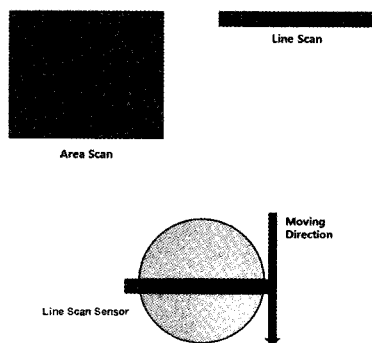
\*\* 정회원 · 한양대학교 교통공학과 교수



이러한 안전시설에 대해 객관적인 상태평가를 기초로 하여 시설을 관리하는 자산관리(Asset Management)측면에서 시설을 관리하고 있는 추세이다. 이 중 도로관련 각종 안전시설은 매우 다양하며, 기능 또한 매우 중요하기 때문에 이들에 대한 설치 규정 및 지침을 제정하고 있다(신희철, 2006). 국내에서도 신규시설의 확충보다 기존시설의 유지보수비용이 꾸준히 증가하는 시점이 도래할 것으로 예상되어 이에 대비한 다양한 시설관리방법이 시도되고 있다. 우리나라의 경우 교통안전시설설치에 대한 규정과 지침이 있음에도 불구하고, 각 시설이 기준에 부합되게 설치되지 않아 오히려 도로이용자에게 불편함 뿐 아니라, 안전에도 악영향을 끼치고 있다. 적재적소에 설치된 각종 안전시설만으로도 교통사고로 인한 인적피해를 현저히 낮출 수 있는 것을 해외 사례에서 확인할 수 있다(임현연, 2005). 방대한 도로안전시설의 규정과 지침 준수여부를 검증하는 방법의 일환으로 해외에서는 모바일 맵핑 시스템을 이용, 도로에 설치된 각종 시설을 관리하는 시스템을 개발하여 운영하고 있다(Benning W, 1998). 본 연구에서는 영상자료를 기반으로 도로에 설치된 각종 시설 관리 측면에서 안전시설의 설치간격 및 높이에 대해 해당 규정 준수를 측정할 수 있는 시스템을 개발하였으며, 검증결과10% 이내의 오차로 도로시설의 설치 간격과 높이를 측정 할 수 있는 것을 확인하였다.

## 2. 측정원리

### 2.1 라인스캔카메라 및 일반카메라특징

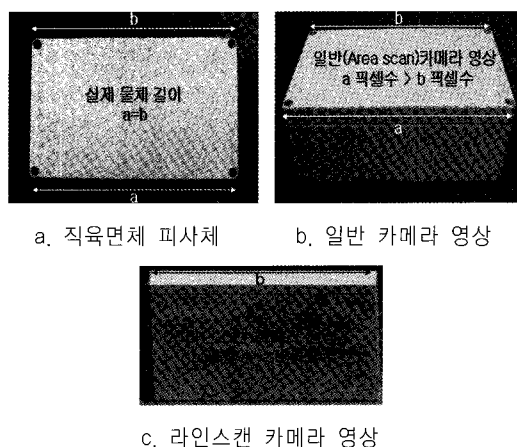


〈그림 1〉 일반카메라와 라인스캔카메라 영상획득방법

일반(AreaScan)카메라의 경우 사각형 구조의 센서와는 달리 Line Scan Camera의 센서는 하나의 라인, 즉, 일직선의 구조를 가지고 있다. 라인스캔카메라를 이용 피사체의 전체영상을 생성하기위해 카메라 본체 혹은 대상체가 수직으로 이동해야만 이차원 이미지를 획득할 수 있다(한헌수, 2002)〈그림 1〉.

### 2.2 도로설치시설물 간격 측정 원리

라인스캔 카메라로 획득한 영상은 일반 카메라로 획득한 영상과는 달리 소실점이 존재하지 않는다. 즉, 획득한 영상은 원근감이 없어지게 된다. 이 점을 이용하면 영상에서 피사체의 간격을 정확히 측정할 수 있다.



〈그림 2〉 영상센서에 따른 피사체 촬영 영상

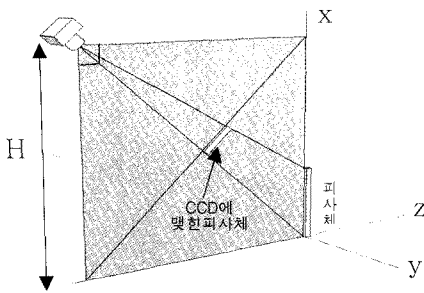
〈그림 2〉는 라인스캔카메라와 일반카메라(Area Scan)의 촬영된 영상차이를 나타낸 것이다. 피사체(직육면체)를 일반 카메라로 촬영한 영상은 카메라를 기준으로 근접한 물체의 전면부는 크게 영상이 생성되고, 반대의 경우 물체의 뒷부분은 작게 영상이 맺혀진다(b). 반면, 라인스캔카메라에 의해 생성된 영상은 대상물체의 위치와 관계 없이 동일한 크기로 영상이 생성되는 것을 확인할 수 있다. 이는 라인스캔카메라에 의해 대상물체의 영상이 생성되기 위해서는 라인스캔카메라 혹은 대상물체가 일정한 속도(혹은 등간격 거리)로 이동 되고, 이동순간순간 피사체 일부분을 촬영한 영상을 조합하여 피사체의 전체 형태가 영상으로 생성될 수 있기 때문이다. 이러한 특성



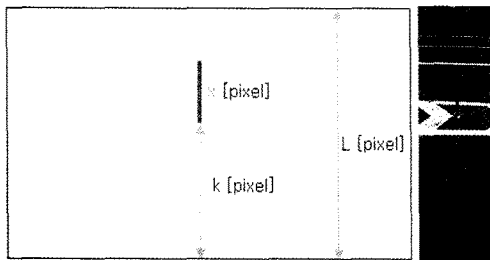
으로 라인스캔 카메라로 획득한 영상(c)을 보면 실제로 같은 길이의 a, b가 생성된 영상에서도 같은 길이로 표현됨을 알 수 있다. 즉, 라인스캔카메라의 이동위치만 파악 가능하면, 생성된 영상에서 수평방향의 길이를 별다른 계산 없이 쉽고 정확하게 구할 수 있다.

## 2.2 피사체 높이 측정원리

라인스캔 카메라를 지면으로부터 높이 H에 설치하고 카메라의 화각이 90도로 고정된 상태에서 지평선이 영상의 상단 끝에 맞히도록(절대수평) 카메라 각도를 조절하여 설치 후 촬영되는 피사체와 영상과의 위치관계는 <그림 3>과 같다.



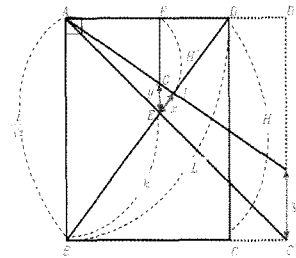
a. 라인스캔 카메라와 피사체와 영상의 위치



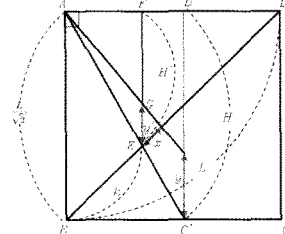
b. 피사체와 영상의 관계 및 촬영영상 예

<그림 3> 라인스캔영상과 피사체 높이 측정 관계

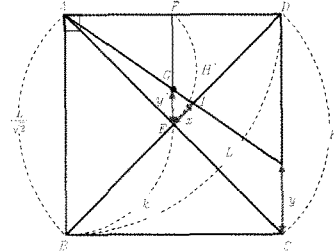
이러한 조건에 의해 설치된 라인스캔 카메라에 의해 생성되는 영상은 <그림 4>와 같이 피사체의 위치에 따라 3개의 경우가 발생할 수 있다. 각각의 경우와 관계없이 피사체 높이를 산출하는 방법은  $\triangle ACD$ ( $\triangle AC'D'$ )와  $\triangle AEF$ 는 닮은꼴 삼각형이며, 높이(y)는 x 및 k의 함수로 표현될 수 있다.



Case 1 피사체가 중앙(C)지점에 있을 경우



Case 2 피사체가 중앙(C)하부에 있을 경우



Case 3 피사체가 중앙(C)상부에 있을 경우  
<그림 4> 피사체 위치에 따른 영상 생성 예

즉,  $y:y'=H:H'$  ( $\because \triangle ACD \sim \triangle AEF$ )

$$x:(x+k)=y':\frac{L}{\sqrt{2}} \quad (\because \triangle ABI \sim \triangle EGI)$$

$$H':\frac{L}{\sqrt{2}}=(L-k):L \quad (\because \triangle ABD \sim \triangle FED)$$

위 관계식을 y에 관해 전개시키면 <식 1>과 같다.

$$y = f(x, k) = \frac{LHx}{(L-k)(k+x)}$$

단,  $x+k < L \dots < \text{식 1}$

H : 지면으로부터 카메라까지의 높이(mm)

L : 카메라의 세로 해상도(픽셀수) [pixel]

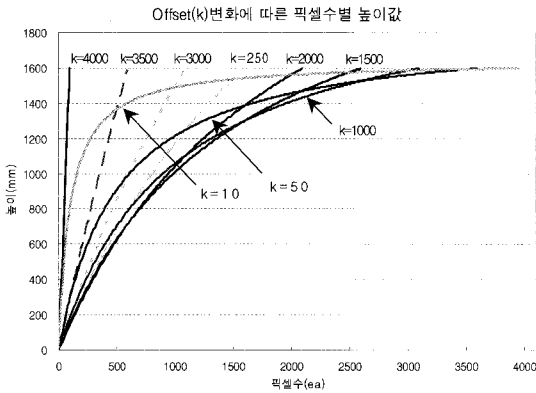
k : 영상하측에서 피사체 하단까지의 픽셀수, Offset [pixel]

x : 영상속의 피사체 높이(픽셀수) [pixel]

y : 피사체의 실제 높이(mm)



여기서 H(영상센서 설치 높이)와 L(영상센서 픽셀수)는 이미 알고 있는 상수이며, k와 x는 영상 속에서 간단히 계산할 수 있다. 도출된 수식에 대해 주요 변수인 k(영상하측에서 피사체 하단까지의 픽셀수:Offset)에 따른 픽셀당 측정되는 높이(수직변위)의 민감도를 표현한 것은 <그림 5>와 같다.



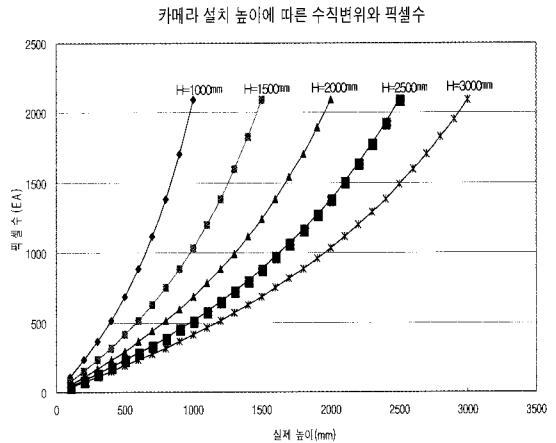
<그림 5> k(Offset) 변화에 따른 픽셀당 수직변위 민감도(H=1600mm)

측정 가능한 최대 높이(H)는 1600mm, 라인스캔 카메라의 픽셀수는 4K(4096픽셀)라 한다면, k(Offset)변화에 따른 픽셀당 높이(수직변위)를 분석해 보면, k값이 일정이상 커지게 되면 높이를 계산하기 위한 픽셀수가 감소함으로 픽셀당 분해능은 떨어지게 된다. 반대로 k값이 매우 작게 되면, 높이를 산출하기 위한 픽셀수는 증가하나, 특정영역에서 픽셀당 분해능이 매우 높은 영역과 매우 낮은 영역으로 나뉘는 현상을 나타낸다. 이를 고려하여 1600mm에 라인스캔 카메라 설치를 전제로 10픽셀당 최대 분해능이 40mm이하, 최소분해능이 1mm 및 평균 수직높이 분해능이 5mm 이상인 범위는 k(Offset)값이 1000~3500 픽셀일 경우 수직변위 측정에 대해 신뢰할 수 있는 측정영역으로 분석되었다.

라인스캔 카메라 설치높이는 최대 측정높이를 의미하게 된다. <그림 6>은 k(Offset)가 2048pixel일 때 라인스캔 카메라 설치높이에 따른 높이(X축)별 대응 픽셀수(Y축)를 나타낸다. 즉, 1m에 라인스캔카메라를 설치한 경우 1000mm를 2048픽셀로 나타내고 3m에 설치한 경우 3000mm를 2048픽셀로 나타냄으로 설치높이와 반비례하여 분해능은 낮아지게 된다.

<표 1> 측정 유효범위에서의 픽셀당 분해능

k (Offset)	수직변위 측정을 위한 픽셀 개수(B)	픽셀당 평균 분해능 (mm/픽셀)
1000	3096	0.52
1500	2596	0.62
2000	2096	0.76
2500	1596	1.00
3000	1096	1.46
3500	596	2.68



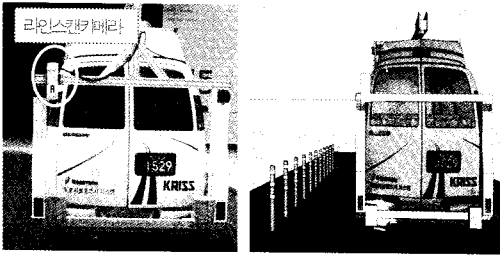
<그림 6> H(카메라 설치높이) 변화에 따른 높이별 픽셀수(k=2048px)

이와 같이 이동거리에 의해 생성되는 라인스캔 영상을 이용하여 도로에 설치된 시설의 설치 간격 및 높이를 간단한 산술식에 의해 계산될 수 있음을 확인 할 수 있다.

### 3. 검증

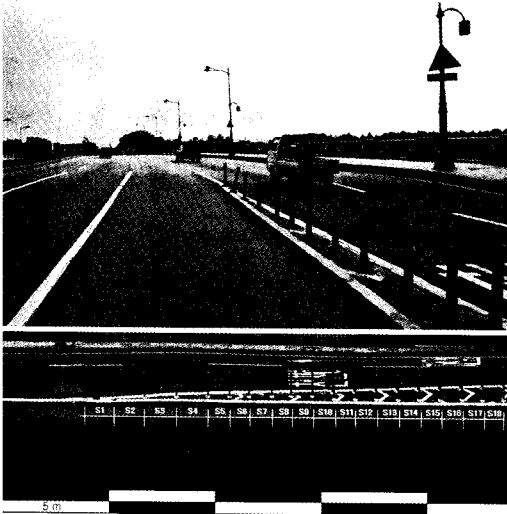
#### 3.1 시설 간격측정 검증

앞서 설명한 이론적 방법을 이용하여 설치시설의 간격 및 높이 측정을 검증하기 위해 <그림 7>과 같이 시험차량에 라인스캔카메라를 장착하였다. 첫 번째로 설치된 시설간격 측정에 대한 정확성을 검증하기 위해 실제 공용중인 도로에 설치된 시선유도봉 20개가 설치된 구역에 대해 인력조사와 더불어 본 시스템을 이용하여 조사를 실시하였다.



〈그림 7〉 시험차량 장착 예 및 간격측정 개념도

〈그림 8〉은 대상구역의 현황과 라인스캔카메라 영상을 나타낸다. 입력측정결과와 영상분석을 통한 간격측정값을 비교한 결과 최대 5.1% 편차를 나타내었다 <표 2>.



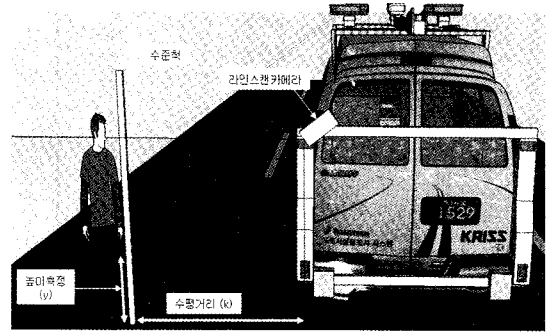
〈그림 8〉 라인스캔 카메라를 이용한 간격측정

〈표 2〉 시설간격에 대한 입력측정 및 영상분석 측정값 비교

간격No.	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
인력측정(m)	1.39	1.45	1.49	1.52	0.97	0.90	1.08	0.92	1.01
영상분석(m)	1.43	1.41	1.50	1.48	1.01	0.93	1.10	0.90	1.01
오차(%)	2.9	2.8	0.7	2.6	4.1	3.3	1.9	2.2	0.0
간격No.	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16	S17	S18
인력측정(m)	1.02	1.01	0.99	1.04	0.98	1.03	0.98	1.02	0.93
영상분석(m)	1.01	0.99	0.99	1.04	1.00	0.98	1.03	0.97	0.97
오차(%)	1.0	2.0	0.0	0.0	2.0	4.9	5.1	4.9	4.3

### 3.2 시설 높이측정 검증

〈그림 9〉는 시설 높이측정 검증방법을 도시한 것이다. 라인스캔 카메라 설치높이는 지면으로 부터 160cm에 설치하고 영상의 외측은 수평선과 평행하게, 내측은 지표면과 수직인 영상이 생성될 수 있도록 구성하였다.

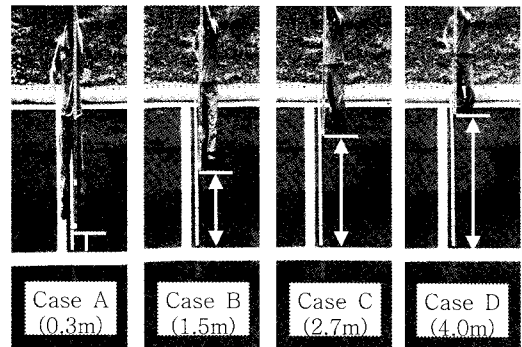


〈그림 9〉 높이측정 검증 방법

높이측정을 위한 검증 방법은 수준척을 이용하여 k (Offset)에 따른 수준척을 실제 높이와 측정높이를 비교 분석하였다(그림 10).

〈표 3〉은 실제 수준척의 100mm간격 누적높이에 대해 (식 1)에 의해 산출된 높이를 나타낸 것이다. 분석결과에서 확인할 수 있듯이, 차량측면기준으로부터 약 4m까지 떨어진 위치에 있는 시설에 대해서는 10%이내의 오차로 수직변위를 정확히 측정할 수 있는 것을 확인할 수 있다.

여기서 발생된 수직변위 오차의 원인은 차량 주행시 발생하는 요동에 의해 라인스캔 카메라 촬영각도 및 수직변위가 변경되어 발생한 것으로 판단된다.



〈그림 10〉 Offset 에 따른 높이측정 (차선기준 0.3, 1.5, 2.7 및 4.0m)



〈표 3〉 수준척 높이별 영상분석 측정값 비교

실제 높이 (mm)	산출높이(mm)				오차(%)			
	수준척 지점				수준척 지점			
	A	B	C	D	A	B	C	D
100	104	98	99	91	3.5	1.7	0.7	8.7
200	217	215	202	194	8.7	7.3	1.0	2.9
300	325	322	306	294	8.4	7.4	2.1	1.9
400	432	426	409	400	8.1	6.5	2.2	0.1
530	539	564	546	533	1.7	6.3	3.0	0.7
600	644	632	615	605	7.3	5.3	2.4	0.8
700	746	732	716	705	6.5	4.5	2.2	0.7
800	846	833	817	806	5.7	4.1	2.2	0.7
900	944	929	915	907	4.9	3.2	1.7	0.8
1000	1041	1026	1014	1007	4.1	2.6	1.4	0.7
1100	1130	1123	1111	1108	2.7	2.1	1.0	0.7
1200	1226	1218	1209	1209	2.2	1.5	0.7	0.8
1300	1316	1310	1307	1311	1.3	0.8	0.5	0.8
1400	1408	1406	1405	1413	0.6	0.5	0.4	0.9
1500	1498	1500	1505	1515	0.2	0.0	0.3	1.0
1600	1588	1595	1604	1613	0.7	0.3	0.3	0.8

### 3.3 현장 적용

〈그림 11〉은 앞서 설명한 간격 및 높이산출 논리를 프로그램(Multiviewer)화 한 것이다. 상단의 3개의 영상은 약120도의 도로현황의 시설을 나타내며, 하단 영상은 라인스캔 카메라에 의해 촬영된 측면이미지를 나타낸다. 측면영상에서 측정하고자 자는 물체의 양끝점(간격일 경우 횡방향, 높이일 경우 수직방향)을 선택하게 되면 즉시 간격과 높이가 표시가 가능하다. 조사대상구간은 서울시 세종로 및 국가지원지방도 39호선 일부구간대해 시선유도봉, 표지병 및 갈매기표지에 대한 설치간격 및 높이를 개발 시스템으로 측정하였다.

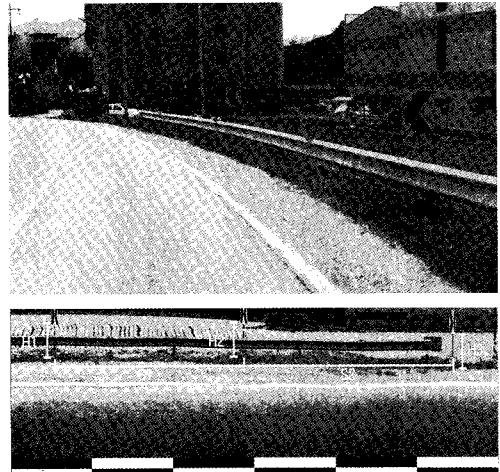


〈그림 11〉 시설간격 및 크기측정 프로그램(Multiviewer)

〈표 4〉 표지병 및 시선유도봉 설치간격 측정결과

표지병			시선유도봉		
지점 No.	기준* 설치간격 (m)	평균설치 간격(m)	지점 No.	기준* 설치간격(m)	평균설치 간격(m)
1	2	1.9	1	3~5	2.0
2	"	1.0			
3	"	2.0			
4	"	2.0	2	3~5	2.0
5	"	1.1			
6	"	1.1			
7	"	1.0	3	3~5	1.0
8	"	2.1			

\* 도로안전시설 설치 및 관리지침, 국토해양부



〈그림 12〉 갈매기표지 설치높이 및 간격 측정

〈표 5〉 갈매기 표지의 설치간격 및 높이 측정결과

대상구간 설치기준*		인력측정(m)					장비측정(m)				
설치 간격 (S)	설치 높이 (H)	S1	S2	H1	H2	H3	S1	S2	H1	H2	H3
15m	지면으로부터 표지하단1.2m	11.5	12.9	1.15	1.12	0.92	11.6	12.8	1.17	1.09	0.89

\* 도로안전시설 설치 및 관리지침, 국토해양부

현장적용결과 시선유도봉, 표지병 및 갈매기표지에 대해 신속하게 설치간격 및 시설의 높이를 측정할 수 있는 것으로 확인되었다. 본 시험 구간에 설치된 대상 시설은 “도로안전시설 설치 및 관리지침” 기준보다는 조밀하게 설치되거나, 설치높이가 기준보다 낮게 설치



되어 있음을 인력측정에 비해 손쉽게 비교가 가능함을 확인 할 수 있다. 본 시스템의 장점은 교통차단 없이 설치시설에 대한 설치간격 및 높이 기준 준수 여부를 신속하고 정확하게 조사가 가능하여 기 설치 시설의 문제점 및 개선사항을 객관적으로 평가가 가능하다는 것이다.

#### 4. 결론

라인스캔 카메라를 이용, 거리에 반응하도록 영상이 생성되는 시스템을 개발하여 간단한 영상분석 모델식을 통한 시선유도봉, 표지병 및 갈매기표지의 설치간격 및 높이측정결과 10%이내의 오차로 측정이 가능하였다. 이를 프로그램화 하여 편리하게 산출할 수 있도록 하였으며, 현장 적용시 신속하고 안전하게 도로에 설치된 각종 시설의 설치지침 준수 여부를 확인 할 수 있었다. 보다 정확한 측정을 위한 보완 사항으로는 도로의 평탄정도에 따라 차량 요동변위를 보정할 수 있는 부수적인 장치가 필요한 것으로 판단된다.

본 연구는 국토해양부의 건설핵심기술연구개발사업인 ‘장수명 친환경 도로포장 재료 및 설계시공기술개발’의 연구수행 결과입니다.

#### 참고문헌

1. 국토해양부 (2002) “도로안전시설 설치 및 관리지침”
2. 신희철 (2006) “도로교통시설 자산관리시스템 구축을 위한 기초연구”
3. 한현수 (2002) “컴퓨터 비전시스템 기초와 응용”, 씽크론, pp.23~26
4. 임현연 (2005) “국내 교통안전시설의 개선방향”, 한국도로학회 7권 1호, pp45~46
5. Benning W., Th. Aussems, (1998) "Mobile Mapping by Car-Driven Survey System(CDSS)"

접 수 일 : 2008. 7. 29

심 사 일 : 2008. 7. 30

심사완료일 : 2008. 8. 25