

USN-기반 이동식 기준장비의 ITS 장비 성능평가 적합성에 관한 연구

A Study on Suitability of the USN-Based Portable Reference Equipment for ITS Systems Performance Evaluation

이상협* · 마창영**

Lee, Sang Hyup · Ma, Chang Young

Abstract

The existing portable reference equipment for ITS systems performance evaluation has several limitations. First, it is difficult to set up and operate the equipment in the road section with the shoulder width equal to or smaller than 1.5m. Secondly, the crash with a car could lead to severe accident since it is big and heavy. Lastly, it cannot collect data from multiple lanes at a time. In this research the characteristics of the USN-based portable reference equipment developed to overcome shortcomings of the existing portable reference equipment were analyzed qualitatively and its performance level was evaluated through the field test. Consequently, the USN-based portable reference equipment turned out to overcome the operational shortcomings and satisfy the performance level required for the portable reference equipment.

Keywords : portable, reference equipment, multiple lanes, USN, performance level

요 지

기존의 이동식 기준장비는 갓길의 폭이 1.5m 이하인 도로 구간에는 설치가 어려우며 장비가 크고 무거워서 차량과의 충돌 시 피해가 클 수 있으며 한 번에 다차로 검지가 불가능하다. 본 연구에서는 이러한 문제점을 노정하고 있는 기존의 이동식 기준장비의 단점을 극복하기 위하여 연구·개발된 USN-기반 이동식 기준장비의 특징을 기술하고 그 성능수준을 현장 적용을 통하여 평가하였다. 그 결과 본 연구에서 개발된 장비는 기존의 이동식 기준장비가 가지고 있는 운영상의 단점을 극복할 뿐 아니라 기준장비가 가져야 할 성능수준을 만족하는 것으로 나타났다.

핵심용어 : 이동식, 기준장비, 다차로, USN, 성능수준

1. 이동식 기준장비의 개념 및 연구의 배경

이동식 기준장비(Portable Reference Equipment, PORE)는 ITS 장비 성능평가의 종류인 준공평가와 정기평가(국토해양부, 2006; 한국건설기술연구원, 2010)를 수행하기 위한 이동성이 용이한 기준장비로서, 차량검지기, 자동차량인식장치 등 도로에 설치되어 있는 교통정보 수집용 ITS 장비의 속도, 통행량 등에 대한 검지능력을 평가하기 위한 기준값을 수집한다.

이동식 기준장비는 ITS 장비가 현장에 설치된 후 지속적인 신뢰성 유지를 위하여 여러 번의 교정(Calibration)과정을 거쳐 운영되고 있는 특성을 고려할 때 이동성(Portability)과 안전성(Safety)은 중요한 평가 항목 중의 하나가 된다. 즉 현장의 지형, 기후, 교통환경 등에 의한 영향을 최소화하여 정확한 평가가 가능해야 하며, 그러기 위해서는 기준장비 설

치의 용이성, 이동의 편의성, 운영의 안전성 등이 고려되어야 한다.

기존의 이동식 기준장비는 도로변에 설치하여 최외곽 차로의 교통량과 속도 자료를 수집한다. 그러나 기존의 이동식 기준장비는 장비의 노후화로 인하여 고장이 잦고 갓길의 폭이 1.5m 이하인 도로 구간에는 설치가 어려우며 안전사고의 위험이 있다. 또한 장비가 크고 무거워서 설치와 철거에 장시간이 소요되고 차량과의 충돌 시 피해가 클 수 있으며 한 번에 다차로 검지가 불가능하다. 끝으로 검지매체로 사용되는 레이저가 기준장비 운영자나 운전자의 눈에 들어가면 시력에 치명적인 영향을 미칠 수 있다.

본 연구에서는 이러한 문제점을 노정하고 있는 기존의 이동식 기준장비의 단점을 극복하기 위하여 연구·개발된 USN(Ubiquitous Sensor Network)-기반 이동식 기준장비의 특징을 기술하고 그 성능수준을 현장 적용을 통하여 평가하였다.

*정회원 · 교신저자 · 한국건설기술연구원 연구위원 (E-mail : infoh2@hanmail.net)

**한국건설기술연구원 연구위원 (E-mail : supermaking@kict.re.kr)

2. 연구의 방법

본 연구의 방법으로는 먼저, 기존 이동식 기준장비의 시스템 구성과 USN-기반 이동식 기준장비의 시스템 구성을 비교 기술함으로써 USN-기반 이동식 기준장비가 기존 이동식 기준장비가 가지고 있는 설치의 용이성, 이동의 편의성, 운영의 안전성 관련 문제점을 극복할 수 있는지를 정성적으로 분석하였으며 둘째, USN-기반 이동식 기준장비가 교통정보 수집용 ITS 장비의 성능 평가 장비로서 적합한 성능수준을 가지고 있는지 여부를 검증하기 위하여 ITS 성능평가센터에 설치되어 있는 레이저 검지매체를 사용하는 고정식 기준장비와 비교 평가를 하였으며 그 이외의 한 지역에서 기존 이동식 기준장비와 비교 평가를 하였다.

2.1 ITS 성능평가센터에서의 평가

USN-기반 이동식 기준장비의 성능수준을 파악하기 위하여 ITS 장비 성능평가 기준의 이동식 기준장비 기술시험의 기준(한국건설기술연구원, 2009)으로 경기도 광주시 실촌읍 곤지암리에 위치한 ITS 성능평가센터에서 레이저 검지매체를 사용하는 고정식 기준장비와 비교 평가를 수행하였다.

평가는 기준값을 취득할 수 있는 4개 차로에 대하여 USN-기반 이동식 기준장비를 설치하고 고정식 기준장비와 시간동기화를 하며 이륜차와 비정상 주행 자동차는 기준값에서 제외하였다. 평가지표는 ‘2009 ITS 성능평가 시행계획’ (한국건설기술연구원, 2009) 상의 MAPE를 사용하고 1분 단위와 5분 단위 수집주기로 주·야간 각각 30분과 1시간에 대하여 평가하였다.

2.2 그 이외 지역에서의 평가

설치지역에 따른 자기장, 기후, 지형, 도로조건의 영향을 파악하기 위하여 ITS 성능평가센터 지역과는 다른 지역에서 레이저 검지매체를 사용하는 기존 이동식 기준장비와 비교 평가를 수행하였다. 즉, 평가를 위한 기존 이동식 기준장비의 기준값의 취득이 용이하고 일반적인 국도의 상태를 대변하는 곳으로 경기도 평택시 안중읍 금곡리 부근에서 실시하였다.

평가지표는 MAPE를 사용하고 5분 단위 수집주기로 주·야간 총 3회 각각 1시간에 대하여 평가하였다.

3. 기존 이동식 기준장비의 시스템 구성 및 문제점

기존 이동식 기준장비 시스템은 그림 1에서 볼 수 있듯이 센서부(검지장치)와 제어부(수집장치)로 구성된다. 센서부는 차량의 진·출입 검지를 위한 검지 레이저와 모니터링을 위한 카메라로 구성되며, 제어부는 검지장치를 제어하고 이로부터 얻어지는 신호를 처리하며 데이터를 생성하는 기능을 한다.

검지 레이저는 검지 바의 양쪽 끝에 2개가 부착되어 있어서 각각 차량의 진입과 진출을 검지하여 차량의 속도와 교통량을 산출할 수 있는 정보를 생성한다. 검지 레이저의 바로 옆에 포인팅 레이저가 달려서 검지 레이저와 반사지가 일직선 상에 놓일 수 있도록 노면에 반사지를 쉽게 부착하는 데 도움을 준다.

검지 레이저 외에 카메라 2대가 부착되어 있는데 한 대는 프레임 분석용으로 영상을 통해 차량의 속도를 개략적으로 분석할 수 있게 하여 시스템의 정상 작동 여부를 모니터링 할 수 있으며 나머지 카메라는 최외곽 차로를 제외한 안쪽 차로의 교통량을 영상 분석할 수 있게 한다. 센서부에서 얻어지는 데이터는 일반적으로 유선으로 제어부에 전송되지만 무선 LAN을 통하여 원격으로 데이터(파형 및 수집상태)를 확인할 수도 있다.

위에서 상술한 기존 이동식 기준장비의 문제점을 분석하면 크게 7가지로 요약할 수 있다.

첫째, 기존 이동식 기준장비는 검지매체로 레이저를 사용하며 따라서 노면에 고휘도 반사지를 부착하여야 한다. 반사지 부착을 위하여 작업지는 도로에 일정 시간 머물러야 하는데 그 시간동안 작업지는 교통사고 위험에 노출되게 된다. 고휘도 반사지는 가격이 비싸고 차량과 기후조건에 의한 손상 위험이 있으며 부착 후 재사용은 불가능하다.

둘째, 이 기준장비는 센서부, 제어부, 발전기, 삼각대를 합친 무게가 50kg을 넘어 무겁고 부피가 커서 이동 및 보관이 힘들고 설치와 철거에 상당한 시간(60분 정도)이 소요되며 차량과의 충돌 시 피해가 클 수 있다.

셋째, 갓길의 폭이 1.5m 이하인 도로구간에는 설치가 어렵다. 따라서 터널이나 교량구간에서는 운영이 불가능하다.

넷째, 최외곽 차로에 대한 검지만 가능하며 따라서 한번에 다차로 검지가 불가능하다.

다섯째, 레이저는 여름철 지표면의 지열로 인한 온도상승

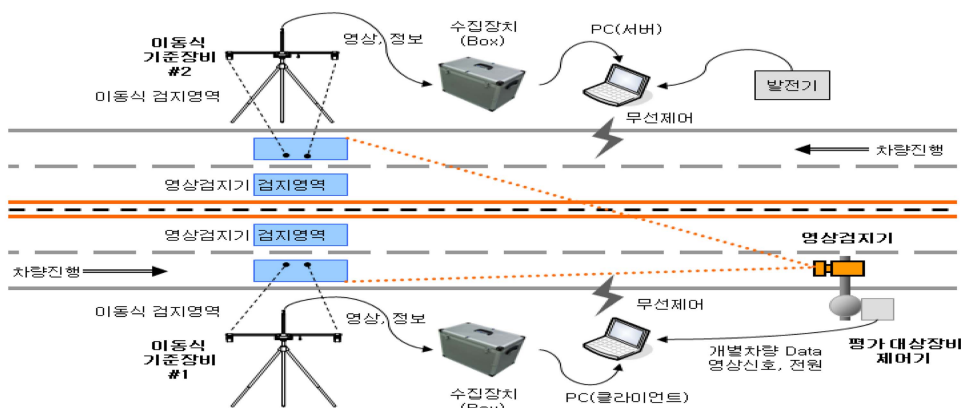


그림 1. 기존 이동식 기준장비의 시스템 구성(한국건설기술연구원, 2006)

과 겨울철 급격한 온도 저하 등 온도, 습도, 눈, 비, 바람으로 인하여 오작동이 발생하는 경우가 있다. 여섯째, 검지매체로 사용되는 레이저가 기준장비 운영자나 운전자의 눈에 들어가면 시력에 치명적인 영향을 미칠 수 있다. 즉, 레이저 등급 기준으로 보면 검지 레이저와 포인팅 레이저는 각각 Class II와 Class IIIa로 분류되며 출력은 3mW와 5mW이다. Class II 레이저는 출력이 낮아 눈으로 볼 수 있는 레이저이지만 장시간 동안 직접 쳐다보면 시력에 손상을 줄 수 있다. Class IIIa 레이저는 출력이 높아 눈에 직접 닿을 경우 시력에 치명적인 영향을 미칠 수 있다. 포인팅 레이저는 수명이 4년 정도이며 사용시간이 경과하면서 기능이 저하된다.

마지막으로 기준장비 1대당 가격이 2,000만원 정도로 고가이다.

4. USN-기반 이동식 기준장비의 시스템 구성 및 특징

USN-기반 이동식 기준장비는 지자기 센서에 Ubiquitous Sensor Network 기술을 적용한 이동식 기준장비인데 이 장비의 시스템은 크게 센서노드, 싱크노드, 마스터싱크노드로 구성된다.

센서노드는 도로에 설치되어 직접적으로 차량을 검지하는 역할을 하며 지자기 센서, 마이크로프로세서, 무선통신 장치, 전원 장치 및 기타 주변 장치로 구성된다. 지자기 센서는 Honeywell사의 HMC1041Z 센서를 이용하는데 이 센서는 AMR(Anisotropic Magnetic Resistor) 타입으로 차량이 센서 위를 통과할 때 변화되는 지구 자기장의 변화정도를 감지하여 차량의 통과여부를 검지한다. 즉, 센서가 감지한 지구 자기장의 변화가 임계값(threshold value)을 초과하면 차량이 통과한 것으로 간주하여 교통량을 계상하고 통과 차량이 센서 위에 머문 시간을 측정하여 점유시간을 계산한다. 또한 동일 차로에 2개의 지자기 센서를 연속으로 설치하여 두 센서의 감지시간 차이를 이용하여 통과차량의 속도를 산출하고 전·후방 센서의 점유시간 차이를 이용하여 차로변경 등 오류자료를 걸러낸다. 마이크로프로세서는 지자기 센서로부터 검출한 파형을 이용하여 교통량, 속도 등의 데이터를 산출하며 생성된 데이터는 내부 메모리에 저장되며 동시에 무선통신 장치를 이용하여 싱크노드로 전송된다. 무선통신 장치는 국내 전파 관련 법규에 저촉되지 않는 최대 10mW의 출력으로 통신을 수행한다(국토해양부, 2009).

싱크노드는 센서노드에서 산출된 데이터를 마스터싱크노드

에 전달하고 마스터싱크노드에서 보내는 제어신호를 센서노드에 전달하는 중계역할을 담당하며 센서노드의 검지정보에 시간정보를 추가하는 역할도 한다.

마스터싱크노드는 각 차로에서 수집된 데이터를 실시간으로 수집용 노트북에 전달하며 센서노드에 보내는 제어신호를 생성한다. 실시간으로 수집된 데이터를 메모리카드에 저장할 수 있으며 수집 완료 후 메모리카드의 내용을 확인 및 분석할 수 있다. 또한 센서노드의 이벤트 데이터와 동영상 데이터의 시간동기화를 할 수 있어서 수집된 데이터에 대한 동영상 비교분석이 가능하다.

위에서 상술한 USN-기반 이동식 기준장비의 특징을 기존 이동식 기준장비의 문제점과 비교분석하면 다음과 같이 요약할 수 있다.

첫째, USN-기반 이동식 기준장비도 기존 이동식 기준장비와 마찬가지로 차로 중간에 도로부착용 매트를 사용하여 설치하여야 하므로 작업자는 교통사고 위험에 노출된다. 한 차로에 2개의 센서를 상당한 간격(3m 정도)으로 차선과 평행하도록 설치하여야 하므로 일정 수준의 숙련도가 필요하며 고휘도 반사지 부착보다 시간이 조금 더 걸릴 수 있다. 그러나 도로부착용 매트는 가격이 1m당 9,400원 가량으로 저렴하고 차량과 기후조건에 의한 손상이 일어나더라도 센서의 작동에 전혀 영향을 미치지 않는다.

둘째, 이 기준장비의 센서노드의 하우징은 경량화를 위하여 알루미늄 합금으로 된 본체와 폴리카보네이트로 된 덮개를 사용하고 장비 이동 및 보관을 위하여 플라스틱 재질의 가방을 사용하므로 이동 및 보관이 용이하다. 즉, 센서 1개의 무게는 800g이며 1개 차로에 2개의 센서가 필요하므로 총 센서 무게는 1.6kg이다. 여기에다 싱크노드, 가방 등을 합하여도 총 무게는 최대 10kg을 넘지 않는다. 그리고 3m 정도 간격으로 차선과 평행하게 2개의 센서를 설치하여야 하므로 설치에는 시간이 좀 들지만(10분 정도) 철거에는 거의 시간이 들지 않는다.

셋째, 센서노드의 크기가 270mm×120mm이고 무선통신이 가능하므로 싱크노드와 마스터싱크노드는 반드시 갓길에 설치할 필요가 없으므로 갓길 폭의 크기에 상관없이 운영이 가능하며 차량과의 충돌위험이 전혀 없다. 마찬가지로 터널이나 교량구간에서 운영이 가능하다.

넷째, 한번에 최외곽 차로를 포함한 모든 차로 검지가 가능하다.

다섯째, 온도, 습도, 눈, 비, 바람으로 인한 오작동이 거의 발생하지 않는다. 온도에 의한 오작동 여부를 판명하기 위하여 국토해양부(2010)는 하루 기온이 최저 -2.4°C에서 최



그림 2. USN-기반 이동식 기준장비의 시스템 구성

고 11.7°C로 기온차가 약 14°C인 조건에서 자기장 값의 변화를 측정된 결과 약 0.1가우스로 나타났다고 보고하고 있다. 실제 차량이 통과할 때 센서에서 수집되는 자기장 값의 변화가 2~4가우스 정도임을 고려할 때 온도에 의한 자기장 값의 변화는 매우 미미하며 따라서 차량의 진·출입을 오판할 가능성은 매우 낮다. 센서노드의 하우징과 덮개는 밀폐되어 있어 수분에 의한 영향은 아주 미미하다.

여섯째, 지구 자기장 값을 검지매체로 사용하므로 장비 운영자나 운전자의 신체에 미치는 악영향은 전혀 없다. 지자기 센서는 포인팅 레이저와 비교하여 수명이 상대적으로 길고 사용시간에 따른 기능의 저하가 느리다.

마지막으로 기준장비 1대당 가격이 550만원 정도로 기존 이동식 기준장비의 25% 수준이다. 현재 이 기준장비는 상용화되어 있지 않으므로 정확한 가격 산정은 어렵지만 최근에 상용화된 지자기 센서를 이용하는 이동식 교통량 조사장비의 센서노드 1개당 가격이 160만원 정도이며 1개 차로당 2개의 센서노드가 설치되어야 하므로 센서노드 가격만 320만원 정도가 소요된다. 따라서 센서노드와 마스터싱크노드 사이에 중계역할을 담당하는 싱크노드를 포함한 가격이 최대 550만원이 될 것이다.

본 논문 3장과 4장에서 기존 이동식 기준장비와 USN-기반 이동식 기준장비의 장·단점을 정성적으로 비교분석한 결과 USN-기반 이동식 기준장비는 기존 이동식 기준장비가 가지고 있는 단점을 개선 또는 극복하고 있는 것으로 나타났다.

5. USN-기반 이동식 기준장비의 성능수준 평가

본 논문 4장에서는 USN-기반 이동식 기준장비의 장·단점을 기존 이동식 기준장비와 정성적으로 비교분석하였다. 본 장에서는 이 두 기준장비의 교통량과 속도 검지 정확도를 비교분석함으로써 USN-기반 이동식 기준장비의 성능수준을 평가하였다. 평가를 위하여 ‘2009 ITS 성능평가 시행계획’(한국건설기술연구원, 2009)의 이동식 기준장비 기술시험 기준으로 평가를 수행하였다.

평가는 기준값을 취득할 수 있는 4차로에 대하여 센서노드를 설치하고 ITS 성능평가센터의 고정식 기준장비나 기존 이동식 기준장비와 시간동기화를 하여 검지 정확도를 평가하였으며 이륜차 및 비정상 주행 차량은 기준값에서 제외하였다.

평가항목은 교통량, 속도이고 평가척도는 “100(%) - MAPE”를 사용하였다. 평가척도는 MAPE(Mean Absolute Percent Error, 평균절대백분비오차)를 사용하였고 1회 평가 시 1분 단위 수집주기로 총 30분 동안과 5분 단위 수집주기로 총 1시간 동안 총 2회(주·야간) 수집된 자료를 근거로 평가하였다.

$$MAPE(\%) = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{|Y_i - X_i|}{Y_i}}{n} \times 100$$

여기서 Y_i : i번째 분석단위시간의 기준값

X_i : i번째 분석단위시간의 평가대상 장비 측정값

n : 분석단위시간의 개수

기준값이 0이고 측정값이 0이 아닌 경우 또는 100%-MAPE가 음수(-)인 경우에는 100%-MAPE 값을 0%로 계상한다.

5.1 ITS 성능평가센터에서의 평가

ITS 성능평가센터의 고정식 기준장비를 기준으로 USN-기반 이동식 기준장비의 성능수준을 평가한 결과 1분 단위 평가의 경우 교통량 검지 오차율은 주간 2.34%, 야간 2.65%이며 속도 검지 오차율은 주간 2.04%, 야간 1.83%로 나타났다. 5분 단위 평가의 경우는 오차율이 1.82% 이하로 1분 단위 평가보다 신뢰도가 높은 것으로 나타났다.

표 1. 1분 단위 주·야간 평가(USN-기반 이동식 기준장비와 센터 고정식 기준장비 비교)

시간단위	방향 및 차로	오차율		점수	
		교통량	속도	교통량	속도
1분 단위 주간 (13:18~13:48)	상행1차로	5.24	2.95	98	98
	상행2차로	2.21	1.30		
	하행1차로	0.00	1.43		
	하행2차로	1.91	2.49		
	MAPE(%)	2.34	2.04		
1분 단위 야간 (19:00~19:30)	상행1차로	2.98	1.90	97	98
	상행2차로	2.81	1.52		
	하행1차로	2.62	0.75		
	하행2차로	2.20	3.17		
	MAPE(%)	2.65	1.83		

표 2. 5분 단위 주·야간 평가(USN-기반 이동식 기준장비와 센터 고정식 기준장비 비교)

시간단위	방향 및 차로	오차율		점수	
		교통량	속도	교통량	속도
5분 단위 주간 (13:20~14:20)	상행1차로	1.35	1.48	99	98
	상행2차로	1.40	1.03		
	하행1차로	1.00	0.85		
	하행2차로	1.54	2.93		
	MAPE(%)	1.32	1.57		
5분 단위 야간 (20:30~21:30)	상행1차로	2.07	1.51	98	99
	상행2차로	1.42	0.86		
	하행1차로	1.73	0.67		
	하행2차로	2.07	2.73		
	MAPE(%)	1.82	1.44		

ITS 성능평가센터에서의 평가는 모든 경우에 95점 이상으로 기준장비로서의 성능수준을 만족하는 것으로 나타났다.

ITS 성능평가센터의 고정식 기준장비를 기준으로 기존 이동식 기준장비의 성능수준을 평가한 결과 1분 단위 평가의 경우 교통량 검지 오차율은 주간 0.53%, 야간 0.67%이며 속도 검지 오차율은 주간 0.24%, 야간 1.48%로 나타났다.

ITS 성능평가센터에서의 평가는 모든 경우에 99점 이상으로 기준장비로서의 성능수준을 충분히 만족하며 USN-기반

표 3. 1분 단위 주·야간 평가(기존 이동식 기준장비와 센터 고정식 기준장비 비교)

시간단위	방향 및 차로	오차율		점수	
		교통량	속도	교통량	속도
1분 단위 주간 (17:15~17:45)	상행2차로	0.53	0.24	99	100
1분 단위 야간 (19:21~19:51)	상행2차로	0.67	1.48	99	99

이동식 기준장비보다 신뢰도가 높은 것으로 나타나 성능평가센터 이외 지역에서 USN-기반 이동식 기준장비의 성능수준을 평가하기에 무리가 없는 것으로 나타났다.

5.2 그 이외 지역에서의 평가

USN-기반 이동식 기준장비의 설치지역에 따른 성능수준 영향을 파악하기 위하여 경기도 평택시 안중읍 금곡리 부근에서 평가를 수행하였다. 본 평가에서 기준으로 사용된 장비는 기존 이동식 기준장비로 ITS 성능평가센터에서 오차율 2% 이내를 나타낸 장비이다.

표 4. 5분 단위 주·야간 평가(USN기반과 기존 이동식 기준장비 비교)

시간단위	방향 및 차로	오차율		점수	
		교통량	속도	교통량	속도
5분 단위 주간 (11:50~12:50)	상행1차로	3.17		97	96
	상행2차로	4.11	3.07		
	하행1차로	1.20			
	하행2차로	2.30	4.51		
	MAPE(%)	2.70	3.79		
5분 단위 야간 (19:50~20:50)	상행1차로	2.28		97	97
	상행2차로	5.42	2.43		
	하행1차로	0.96			
	하행2차로	2.39	3.01		
	MAPE(%)	2.76	2.72		

평가 결과 교통량 검지 오차율은 주간 2.70%, 야간 2.76%이며 속도 검지율은 주간 3.79%, 야간 2.72%로 나타났다. 주간과 야간 모두 95점 이상으로 기준장비로서의 성능수준을 만족하며 설치지역에 따른 영향은 거의 받지 않는 것으로 나타났다.

6. 결 론

본 연구에서는 기존 이동식 기준장비의 문제점을 개선하기 위하여 지자기 센서를 이용한 USN-기반 이동식 기준장비를 개발하였으며 운영 용이성, 안전성, 내구성, 가격 등 정성적 요소들을 비교분석한 결과 개발된 기준장비는 기존의 기준장비가 가지고 있던 문제점을 상당부분 해소 또는 완화할 수 있는 것으로 나타났으며 그 성능수준을 평가한 결과 ITS 장비의 성능평가를 위한 기준장비의 성능수준을 만족하는 것으로 나타났다.

그러나 본 연구에서는 주어진 시간 등의 제약으로 말미암아 다양한 시간, 지역, 기후조건 등에서 평가를 수행하지 못하였다. 따라서 개발된 장비를 실제로 ITS 장비의 성능평가를 위한 기준장비로 사용할 수 있도록 하기 위하여는 장기간 여러 차례에 걸쳐 다양한 조건에서 평가를 합과 동시에 기구 개선 등 보완작업을 병행해야 할 것이다.

※본 논문은 제37회 대한토목학회 정기 학술대회에 제출된 논문의 내용을 대폭 수정·보완하여 대한토목학회논문집 국문논문 작성요령에 의거하여 재작성된 것입니다.

참고문헌

- 국토해양부(2006) ITS 성능평가요령.
- 국토해양부(2009) 2008년 ITS 성능평가사업 업무대행 최종보고서.
- 국토해양부(2010) 2009년 ITS 성능평가사업 업무대행 최종보고서.
- 한국건설기술연구원(2009) 2009 ITS 성능평가 시행계획.
- 한국건설기술연구원(2010) 2010 ITS 성능평가 시행계획.

(접수일: 2011.9.6/심사일: 2011.9.24/심사완료일: 2011.9.30)