

# ATIS 구현을 위한 초음파 검지기 기술

## Ultrasonic Detector Technology for ATIS Implementation

김형진\*, 이주형\*, 김성욱\*, 고재인\*,  
최영규\*\*, 조영길\*\*, 이희철\*\*, 홍의표\*\*, 조동일\*  
(\* 서울대학교 전기공학부, \*\* 장우정보통신(주))

### 목 차

I. 서론	4. 실험 결과
II. 초음파 교통량 검지기	IV. 측면설치가 가능한 초음파 교통량 검지기
III. 개별차량 교통정보 계측용 초음파 교통량 검지기	1. 측면설치방식의 장점
1. 개별차량 교통정보 획득 원리	2. 동작 원리
2. 시스템의 구성	3. 시스템의 구성
3. 개별차량 정보 생성 알고리즘	4. 실험 결과
	V. 결론

## I. 서론

지능형 교통 정보 시스템(ITS: Intelligent Transportation Systems)은 교통 주체인 사람, 도로 등의 교통시설, 그리고 승용차 등의 교통수단으로 구성되는 교통 체계에 정보/통신/전자/제어 등의 첨단 기술을 접목시킨 차세대 교통 체계이다. 세계적으로 도로의 혼잡 해결, 운전자에게의 정보 제공, 차량 군집 운행 등 여러 가지 목적을 위해 다양한 형태의 지능형 교통 시스템에 대한 관심이 증대되고 있다[1-4]. 우리나라의 경우도 만성적인 교통 혼잡을 줄이고, 보다 나은 도로의 활용을 위해 지능형 교통 시스템 분야에 대한 연구의 필요성이 증가되고 있다.

교통량 검지기는 지능형 교통정보 시스템의 한 부분인 차세대 운전자 정보제공 시스템(ATIS: Advanced Traveler Information Systems)의 최하부 장비로서 각 도로에 설치되어 교통정보를 획득하는 기기이며 도로교통정보 제공에 가장 기본이 되는 요소이다. 미국, 일본, 유럽 등은 여러 가지 교통량 검지기를 개발하고 있으며 이를 이용하여 다양한 교통 정보를 얻고 있다[4,5]. 국내의 경우, 루프 센서와 피에조 센서, 영상 검지기 등을 이용하여 여러

가지 교통정보를 제공하고 있다.

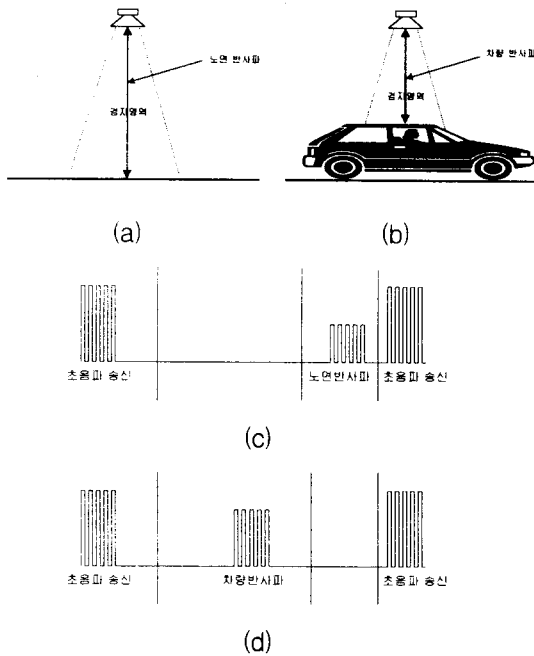
교통량 검지기는 그 사용하는 센서의 특성에 따라 각각 장단점이 있다. 초음파 교통량 검지기는 비매설방식이라 설치가 간편하고 내구성이 강하여 유지 보수가 편리하며, 시스템 가격이 타 장비에 비하여 비교적 저렴하다는 장점이 있다[1]. 본 논문에서는 기존의 초음파 교통량 검지기의 운용 및 설치 방식을 확장하고 실험을 통하여 그 성능을 분석하였다.

## II. 초음파 교통량 검지기

초음파 검지기에 사용되는 초음파 센서는 구성이 단순하고 비매설방식이라 고장이 적다. 따라서 한 번 설치하면 센서의 수명이 반영구적이라 유지 보수가 편리하다는 장점이 있다. 또한 비매설방식으로 설치 시 교통흐름을 차단하지 않아서 설치가 편리하다.

기존의 일본에서 사용하는 초음파 교통량 검지기는 오버헤드 방식으로, 주로 도심지의 도로 위의 구조물에 차선당 센서 1개를 설치하여 차량계수와 점유율 정보를 얻는다[6]. 이렇게 얻어진 두 정보로부터 검지기가 설치된 곳의 도로 혼잡도를 알 수 있고 도심지에 설치된 검지기들의 정보를 모두 종합하여 도심지 도로 전체의 교통상황을 파악하게 된다.

오버헤드 방식 초음파 교통량 검지기의 동작 원리는 다음과 같다. 센서는 도로에서 5m~6m 높이에 센서의 송수신부가 도로와 수직이 되도록 설치하며, 설치된 센서 아래를 지나가는 차량의 유무를 파악한다. 차량의 유무를 파악하는 원리는 그림 1과 같다. 센서는 주기적으로 초음파 신호를 송신하고 이 초음파 신호가 도로나 차량의 윗면에 반사되어 돌아오는 것을 받아들인다. 초음파를 송신한 후 그 반사파가 돌아오는 시간 차이를 이용하여 차량 유무를 알아낼 수 있다.



(a),(c) 차량이 없는 경우  
(b),(d) 차량이 있는 경우

<그림 1> 기존 초음파 센서의 차량 검지 원리

### III. 개별차량 교통정보 계측용 초음파 교통량 검지기

#### 1. 개별차량 교통정보 획득 원리

기존의 초음파 교통량 검지기는 차선 당 센서 1개를 이용하여 교통 통계 정보만 제공하지만, 한 차선 당 오버헤드 방식으로 초음파 센서 2개를 설치하면 개별차량 교통정보를 획득할 수 있다. 획득할 수 있는 개별차량 교통정보는 속도, 길이, 간단한 차종이며, 이를 이용하여 기존 초음파 교통량 검지기보다 정확한 교통 통계정보를 획득할 수 있다.

개별차량 교통정보 획득 방법은 다음과 같다.

그림 2와 같이 도로에 거리를 두고 센서 2개를 설치하면 2개의 센서가 차량이 지나감에 따라 순서대로 차량을 검지하게 된다. 이 때 신호처리부의 출력은 그림 3과 같다. 개별차량 정보는 그림 3의  $\Delta t_1$ ,  $\Delta t_2$ ,  $\Delta t_3$ ,  $\Delta t_4$ 와 센서 간 거리  $l_s$ 와 검지영역  $l_d$ 를 이용하여 획득할 수 있다. 개별차량 속도는 센서 간의 거리  $l_s$ 와 센서 1과 센서 2의 차량 검지 시간차  $\Delta t_1$  또는  $\Delta t_2$ 를 이용하여 얻는다. 또한 개별차량 길이는 개별차량 속도와 점유율의 곱과 검지 영역  $l_s$ 를 이용하여 구한다. 속도와 길이를 구하는 식은 각각 (3.1), (3.2)이다.

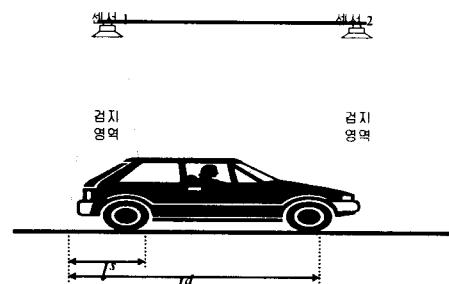
$$v = \frac{l_s}{\Delta t}, \text{ 단 } \Delta t = \frac{\Delta t_1 + \Delta t_2}{2} \quad (3.1)$$

$$l = v \times t_o - l_d, \text{ 단 } t_o = \frac{\Delta t_3 + \Delta t_4}{2} \quad (3.2)$$

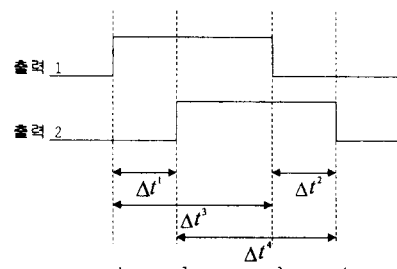
차종은 길이에 따라 표 1과 같이 4종으로 분류한다.

<표 1> 차종 분류 기준

	길이	해당차량
1종	550cm이하	승용차, 소형 트럭, 봉고 등
2종	550cm초과 900cm 이하	중형 트럭, 소형 버스 등
3종	900cm초과 1200cm 이하	대형 트럭, 대형 버스 등
4종	1200cm초과	대형 트럭 등



<그림 2> 개별차량 교통정보 계측용 초음파 센서 설치 모습

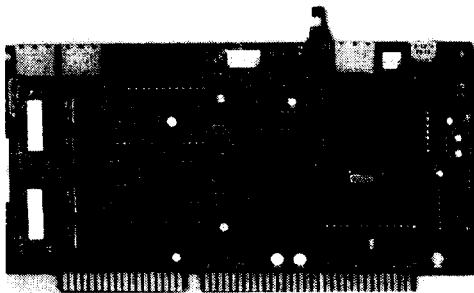


<그림 3> 초음파 신호처리보드의 출력

## 2. 시스템의 구성

개별차량 교통정보 계측용 초음파 교통량 검지기 시스템은 초음파 센서, 신호처리보드, 메인 보드로 구성된다. 본 논문에서는 신호처리보드와 개별차량 교통정보 알고리즘을 개발하여 전체 시스템을 구현하였다.

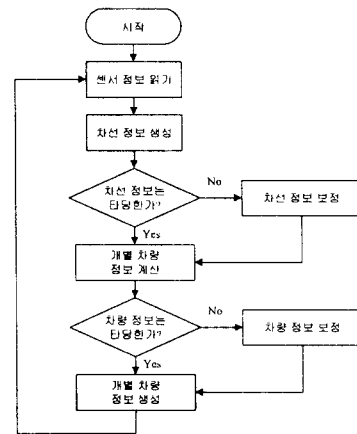
시스템에 사용된 초음파 센서는 송수신 일체형으로 센서 구동 주파수는 25kHz 또는 26kHz이다. 신호처리보드의 역할은 다음과 같다. 우선 센서를 구동하여 주기적으로 초음파를 송신한다. 노면 혹은 차량 반사파를 수신하면 그 신호를 필터링하고 증폭하여 반사파를 추출해낸다. 이 때 반사파의 수신시간에 따라 차량 반사파이면 1을, 노면 반사파이면 0을 출력한다. 새로 개발된 신호처리보드는 80196 CPU로 모든 기능을 제어하며 FPGA(Field programming gate array)를 이용하여 많은 논리 회로들을 구현하였다. 또한 신호처리보드 한 개로 두 개의 센서를 제어함으로써 설치시 차선 당 한 개의 보드가 필요하다. 그림 4는 새로 개발된 신호처리보드의 모습이다. 그림과 같이 신호처리보드는 ISA 타입으로 제작되었다. 메인보드는 신호처리보드의 출력을 이용하여 개별차량 교통정보를 생성한다. 이 때 메인보드는 디지털 I/O보드를 이용하여 신호처리보드의 출력을 읽어들이며, 한 개의 메인보드로 8개의 신호처리보드 처리가 가능하여 다차선 교통정보 획득이 가능하다. 또한 개별차량 교통정보를 이용하여 단기간 및 장기간의 통계정보를 생성하여 저장한다. 메인보드의 다른 기능은 교통정보센터와의 통신 기능인데 이는 교통정보 요구 시 저장된 정보 전송 및 교통정보센터에서의 원격제어가 가능하게 한다. 위의 기능은 486CPU를 탑재한 산업용 PC로 구현하였고, 신호처리보드는 산업용 PC의 ISA 슬롯에 삽입된다.



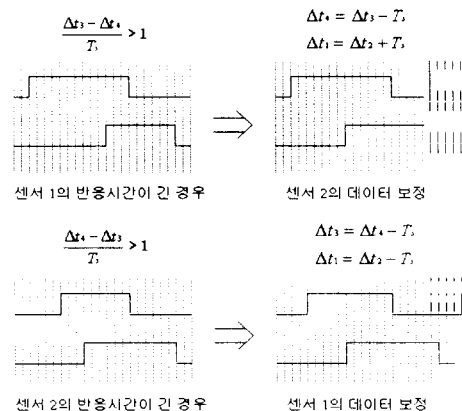
<그림 4> 개발된 초음파 검지기 신호처리보드  
(크기: 180mm × 100mm)

## 3. 개별차량 정보 생성 알고리즘

개별차량 정보는 그림 5와 같은 순서를 통하여 생성된다. 메인보드는 신호처리보드의 출력을 읽어들이고 이로부터 차선 검지 정보를 생성한다. 이 때 차선 검지 정보의 타당성을 판단하여 차선 검지 정보를 보완하여 저장한다. 그 후 한 대의 차량에 해당하는 두 개의 차선 검지 정보를 이용하여 개별 차량 정보를 생성한다. 시스템 현장 설치 시에는 여러 가지 상황에 의하여 반사파를 수신하지 못할 경우가 발생하는데 이런 경우 교통정보의 정확성이 떨어지게 된다. 교통정보의 정확성을 높이기 위해 그림 6과 같이 차량 검지 신호를 보완하는 개별차량 정보 보완 알고리즘을 사용하였다.



<그림 5> 개별 차량 정보 생성 흐름도



<그림 6> 점유율 보완 알고리즘

## 4. 실험 결과

실험 현장은 HS WIM(High-Speed Weigh-In-Motion) 교통량 검지기가 설치되어

있는 경기도 남양주시 별내면 화접리이다. 그림 7은 실험 장소의 사진이다. 그림에서와 같이 4차선 도로의 한 차선에 초음파 센서를 HS WIM 교통량 검지기의 바로 옆에 설치하여 동일 차량에 대해 두 교통량 검지기의 개별 차량 정보를 비교하였다. HS WIM 교통량 검지기는 피에조 센서 2개와 루프 센서 1개를 이용하여 차량 속도, 차량 길이, 축간 거리, 오버행 등 여러 가지 개별 차량 정보를 생성하며 이를 바탕으로 11종의 차종 분류 정보를 제공한다[7]. 실험에서는 개발된 초음파 교통량 검지기의 차량 계수, 속도, 길이, 차종 분류의 4가지에 대해 성능을 실험하였다. 실험방법은 다음과 같다. 도로를 지나가는 차량을 직접 기록하고 동시에 HS WIM 교통량 검지기와 제작된 초음파 교통량 검지기에서 생성되는 개별 차량 정보를 각각 저장하였다. 차량계수에서는 직접 기록한 것과 초음파 교통량 검지기의 개별 차량 정보를 비교하였다. 속도는 실제 값을 아는 것이 불가능하므로 교통량 검지기 중에서 속도 정보가 비교적 정확한 HS WIM 교통량 검지기와 비교하였다. 길이의 경우, 차량의 제작회사에서 제공하는 차량 길이와 초음파 교통량 검지기의 길이 결과를 비교하였다.

센서를 설치한 도로에 정보 수집시간동안 총 1156대가 통과하였는데 제작된 초음파 교통량 검지기는 그 중 1150대를 검지하였다. 표 2는 차량 계수 실험 결과이다. 차량 계수율은 99.5%로 좋은 검지 성능을 보였다. 개별 차량 속도의 경우 HS WIM과 비교한 결과 평균 속도는 약 1.2%, 절대값 길이 오차는 약 6.5% 이었다. 개별 차량길이의 경우 평균 길이는 약 1.6%, 절대값 속도 오차는 약 6.6%이었다. 차종 분류의 경우 표 1의 4종 분류에 따라 분류할 때 약 5%의 오차가 발생했다. 표 3, 4, 5는 각각 개별 차량 속도, 개별 차량 길이, 차종 분류에 대한 실험 결과이다.



<그림 7> 실험 현장 (경기도 남양주군 별내면)

<표 2> 차량 계수 실험 결과

	통과차량	검지대수	미검지
차량대수	1156	1150	6
비율(%)	100%	99.5%	0.5%

<표 3> 개별 차량 속도 실험 결과

차량속도(km/h)	평균속도오차(%)	절대값속도오차(%)
31 ~ 40	4.688	5.769
41 ~ 50	1.479	4.874
51 ~ 60	1.252	6.024
61 ~ 70	1.043	6.542
71 ~ 80	1.677	7.371
81 ~ 90	0.845	7.289
91 ~ 100	-0.897	7.027
101 ~	-5.945	6.2
전체	1.180	6.476

<표 4> 개별 차량 길이 실험 결과

차량속도(km/h)	평균길이오차(%)	절대값길이오차(%)
31 ~ 40	-4.561	4.957
41 ~ 50	-3.824	6.276
51 ~ 60	-1.649	6.052
61 ~ 70	-1.447	6.564
71 ~ 80	-0.689	7.334
81 ~ 90	-0.151	6.528
91 ~ 100	-5.231	6.716
101 ~	-6.900	10.383
전체	-1.596	6.551

<표 5> 차종 분류 실험 결과

차종	1종	2종	3종	4종	차종분류실패	차선 변경 및 미검지	총대수
실제차량대수	915	190	30	5	5	11	1156
차종분류성공	876	179	28	5			1088
차종분류실패	39	11	2	0	5		57
오차(%)	4.25	5.79	6.67	0		차종분류오차에서 제외	4.98

#### IV. 측면설치가 가능한 초음파 교통량 검지기

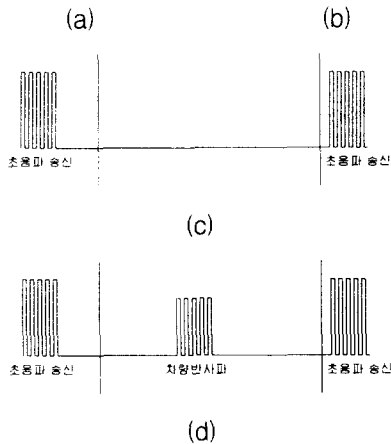
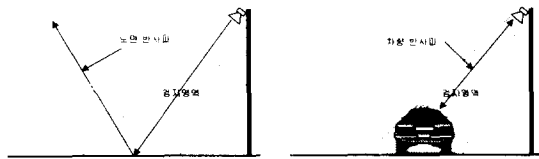
##### 1. 측면설치방식의 장점

측면설치 방식은 오버헤드 방식과 비교하여 설치 시에 장점을 가진다. 오버헤드 방식은 검

지기를 신호등이나 도로 위를 지나는 구조물에 설치해야 하므로 구조물이 없을 경우 구조물 설치가 필요하다. 반면 측면 설치 방식은 가로 등 등의 기존 도로 시설물에 설치가 가능하므로 오버헤드 방식보다 설치비용이 적고 설치가 편리하며 도시 미관에 영향을 적게 준다는 장점이 있다.

## 2. 동작 원리

측면 설치식 초음파 교통량 검지기의 동작 원리는 다음과 같다. 센서는 도로 변의 가로등과 같은 기존 시설물에 설치되며 초음파를 일정 주기로 송신한다. 차가 도로를 통과할 때는 송신된 초음파는 이에 수직인 차량의 측면에 반사되어 센서로 되돌아간다. 차가 도로에 없을 때는 도로에 반사된 초음파는 센서 반대편으로 날아가 버린다. 이 차량 유무 신호를 이용하여 통행량과 점유율을 생성한다[8]. 그림 8은 측면 설치식 초음파 교통량 검지기의 원리이다.



(a),(c) 차량이 없는 경우

(b),(d) 차량이 있는 경우

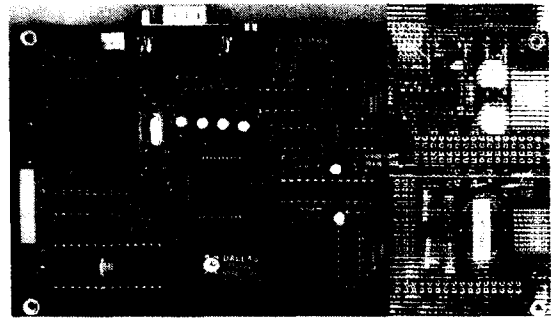
<그림 8> 측면 설치식 초음파 검지기의 동작 원리

## 3. 시스템의 구성

측면 설치식의 경우 차량 검지시 오버헤드 설치식 보다 작은 반사면을 가지며 그 반사면

까지의 거리 또한 오버헤드 검지기의 경우보다 멀기 때문에, 시스템 구현시 오버헤드 방식의 신호처리부보다 향상된 성능의 신호처리부가 필요하다.

본 논문에서 개발된 측면설치식 초음파 교통량 검지기는 측면설치방식이 가능하다. 개발된 시스템의 사진은 그림 9와 같다. 개발된 시스템은 한 개의 보드로 측면 설치된 센서를 구동하고, 교통 정보 생성 및 저장 기능을 수행하며, 교통 정보 전송 및 원격 제어를 위한 통신 기능을 수행한다. 80196 CPU 한 개를 사용하여 위의 기능을 구현하여 전체 시스템의 가격이 저렴하다.

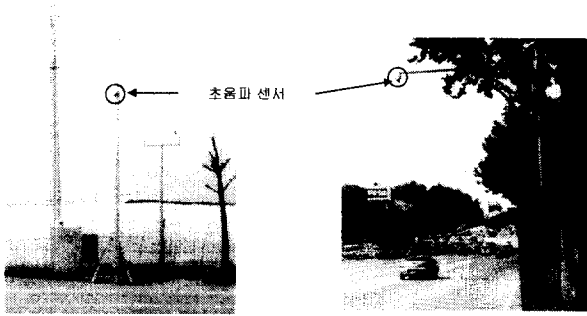


<그림 9> 측면설치식 초음파 교통량 검지기 (크기: 170mm × 95mm)

## 4. 실험 결과

실험은 경기도 남양주시 별내면 화접리의 국도와 서울시 강남구 삼성동의 도심지 도로에서 수행되었다. 화접리의 경우는 노면 쪽 차선을 대상으로 실험을 수행하였으며, 삼성동의 경우 버스 전용 차선이 있기 때문에 버스 전용 차선 안쪽 차선을 대상으로 실험을 수행하였다. 그림 10은 실험 장소의 사진이다. 실험에서는 개발된 측면설치식 초음파 교통량 검지기의 차량 계수에 대해 성능을 실험하였는데 실험방법은 다음과 같다. 도로를 지나가는 차량을 직접 기록하고 초음파 교통량 검지기에서 생성되는 차량 계수 정보와 비교하였다. 표 6은 차량 계수 실험 결과이다. 화접리의 경우 1719대 중 1676대를 정확히 검지하여 97.5%의 검지 성능을 보였다. 삼성동의 경우 1088대 중 1016대를 정확히 검지하여 93.4%의 검지 성능을 보였는데, 화접리 현장 실험 결과보다 검지 성능 저하의 원인은 버스전용차선 통과차량의 가림 현상 때문이다.

에 저렴한 가격으로 편리하게 구축 가능하다.



(a) 경기도 남양주군 별내면  
(b) 서울 강남구 삼성동  
<그림 10> 실험 현장

<표 6> 차량 계수 실험 결과

		실제 통과차량	정확한 계수	오차		
				놓침	더셈	계
화접리	대수	1719	1676	36	7	43
	비율		97.5%	2.1%	0.4%	2.5%
삼성동	대수	1088	1016	35	37	72
	비율		93.4%	3.2%	3.4%	6.6%

## V. 결론

본 논문에서는 기존의 초음파 교통량 검지기의 운용 및 설치 방식을 개별차량 교통정보 계측 방식과 측면 설치 방식으로 확장하여 각각 시스템을 구현하였으며 실험을 통하여 그 성능을 분석하였다. 초음파 교통량 검지기는 설치가 간편하고 유지 보수가 간편하며 가격이 저렴하다는 장점이 있다. 개별차량 교통정보 계측용 초음파 교통량 검지기 시스템은 통계 정보 생성만 가능하던 기존 초음파 교통량 검지기 시스템을 개별차량 교통정보 생성이 가능하도록 하여 보다 상세한 교통 정보 획득이 가능하게 하였다. 또한 측면설치 방식 초음파 교통량 검지기 시스템은 측면 설치가 가능하여 오버헤드 방식보다 설치가 간편하고 신호처리, 교통정보 생성, 통신 기능 수행을 한 개의 보드로 구현함으로써 가격이 저렴하다. 특히 측면 설치식 초음파 교통량 검지기는 미관에 주는 영향이 적으므로 도심지의 교통정보 제공 시에 적당하다. 개발된 시스템들은 설치가 편리하고, 상황에 따라 적당한 시스템 선택이 가능하다. 따라서 개발된 시스템을 이용하면 국내의 ATIS 구축 시

## 참고문헌

- [1] S. W. Kim, Y. Eun, H. Kim, J. I. Ko, W. J. Jung, Y. G. Choi, Y. G. Cho, and D. Cho, "Performance comparison of loop/piezo and ultrasonic sensor-based traffic detection systems for collecting individual vehicle information", *5th World Congress on Intelligent Transport Systems*, Seoul, Korea, Oct., 1998
- [2] S. Chen, Z. Sun, and B. Bridge, "Automatic traffic monitoring by intelligent sound detection", *Proc. of IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems*, pp.171-176, Boston, MA, Nov., 1997
- [3] J. F. Forren and D. Jaarsma, "Traffic monitoring by tire noise", *Proc. of IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems*, pp.177-182, Boston, MA, Nov., 1997
- [4] R. E. Gordon, R. A. Reiss, H. Haenel, E. R. Case, R. L. French, A. Mohaddes, and R. Wolcott, *Traffic control systems handbook*, 1996
- [5] ITE., *Traffic detector handbook*, 2nd edition.
- [6] *Ultrasonic vehicle detector manual*, OMRON, Japan, 1997
- [7] ECM Inc., *ECM Technical manual*, ECM, France, 1994
- [8] 김형진, 김성욱, 고재인, 이주형, 조동일, "개별 차량 정보 계측이 가능한 새로운 초음파 교통량 검지기", 제14회 한국자동차제어학술회의, 서울, 제 C권, pp. 290-293, 1999.