

# 루프센서와 피에조센서를 이용한 차량정보 수집장비 개발 연구

Development of Traffic Data Acquisition System with Loop Sensor and Piezo-Electric Sensors

**민중홍**  
((주)트래픽아이티에스,  
ITS 담당이사)

**강진기**  
((주)로드닉스,  
개발부장)

**주인호**  
((주)트래픽아이티에스,  
개발부차장)

**최도혁**  
(한국건설기술연구원,  
선임연구원)

Key Words : 피에조센서, 교통량 조사장비, 차량정보 수집시스템, AVC, WIM

## 목 차

- I. 서론
- II. 차량 기초정보 수집
  - 1. 차량 기초정보 수집 센서
  - 2. 차량 기초정보의 추출
  - 3. 차종분류 알고리즘
- III. 차량정보 수집 시스템 설계
  - 1. 시스템 구조
  - 2. 센서 입/출력 설계
  - 3. 제어 프로그램
  - 4. 원격 데이터 전송
- IV. 현장 설치 시험
  - 1. 설치 현장
  - 2. 시스템 설치 방법
  - 3. 자료 분석 결과
- V. 결론

## I. 서론

본 논문에서는 루프센서(Loop Sensor)와 피에조센서(Piezo Electric Sensor)를 이용한 교통정보의 기초 데이터인 차량정보를 수집하는 시스템의 설계 및 제작을 다루었다.

우리나라는 급속한 산업화를 통하여 기하급수적으로 증가하는 차량 수에 비하여 도로면적의 추가 확보는 비용의 추가 지출 및 토지의 확보측면에서 매우 어렵다.

따라서 도로의 신설과 함께 기존 도로의 효율적 이용과 교통 흐름을 원활하게 하기 위한 지능형 교통 시스템(ITS : Intelligent Transportation System)을 도입하여, 현재 시범사업을 거쳐 고속도로 및 국도, 도심지역 등으로 점차 확산하고 있다.

지능형 교통 시스템은 도로 현장에서 수집되는 차량정보를 기초로 하여 도로상의 개별 통과차량에 대한 정보 및 주기별로 통과 차량에 대한 정보를 관리 센터에서 수집하고, 이들 개별 차량정보는 관리 센터에서 교통정보로 가공하여 각종 안내판 및 미디어, 통신 채널 등을 통하여 타 시스템 및 운전자 등에게 교통 편의의 정보로 제공한다.

각 차로에 설치된 센서에 의하여, 개별 차량에 대한 정보인 차량의 길이, 속도, 차종, 차축수 등을 구하고, 이를 토대로 도로의 점유율, 차종 분포율 등의 도로정보를 생성한다. 생성된 정보는 원격의 관리 센터로 전송되어 교통량 파악 및

교통관리 등의 기본 정보로 사용된다.

현재 우리나라의 교통정보 수집용 검지기는 루프검지기, 영상검지기 등이 개발되어 설치·운영되고 있으나, 루프센서와 피에조센서를 조합하여 정밀한 차량정보를 수집하는 시스템은 외국의 장비에 의존하고 있는 실정이다.[1]

따라서 본 논문에서는 차량정보를 수집하기 위하여 루프센서와 피에조센서를 이용한 시스템을 설계 및 제작하고, 이를 도로 현장에 적용하여 그 성능을 검토하였다.

## II. 차량 기초정보 수집

### 1. 차량 기초정보 수집 센서

차량의 기초정보를 수집하기 위하여 센서를 도로에 설치하여 차로마다 통과하는 차량을 검지하고 차량의 점유시간 및 차축에 관한 정보를 추출한다. 센서는 차량의 점유시간을 측정하는 센서(Occupation Sensor)와 차량축의 위치를 측정하는 센서(Axle Sensor)로 구성된다.[1]

점유 센서는 차량의 도로 점유시간을 검출하며 차축 위치 센서는 차축의 통과 순간을 검출한다. 점유 센서로는 성능 대가격비가 우수하여 현재 가장 많이 사용되고 있는 루프센서(Loop Sensor)를 사용하였고, 차량축의 위치를 측정하는 센서로는 피에조 센서(Piezo-electric Sensor)를 사용하였다.

루프센서는 도로 표면에 매입한 루프 코일에 발진신호를 인가하고, 노면에 금속성 물체가 있을 경우 변화하는 자장의 변화량을 감지하여 차량의 점유 여부를 감지하는 장치이다.

루프센서는 초음파, 영상 등 다른 방식에 비하여 도로 공사시 절단에 취약하고 도로 표면을 파손한다는 단점이 있지만, 가격이 매우 저렴하고 환경조건에 관계없이 안정적인 성능을 가지므로[2][3] 차량 점유 센서로 사용하였다.

루프센서는 차로당 한 개를 설치하며, 근접한 루프코일에서 유도되는 자장의 영향으로 인한 오류를 방지하기 위하여 서로 다른 주파수의 발진 파형을 사용하였다.[4][5]

피에조센서는 윗부분에 차량이 통과하는 순간 센서에 압력이 가해지고, 이 순간 펄스전압이 발생한다. 이때 발생하는 펄스의 수 및 펄스 간의 시간 차에 의하여 차축의 수 및 축간 거리를 알아낼 수 있다.

피에조센서로는 세라믹(ceramic)형과 필름(film)형이 있다. 본 연구에서는 가격이 저렴하며, 범용의 센서로 적용될 수 있고, 설치의 용이성, 계측의 정확성 등을 고려하여 얇은 필름 형태의 센서를 사용하였으며, 차로당 2개의 피에조센서를 설치하였다.[1]

또한 본 연구에서는 차량의 정보를 정확하게 추출하기 위하여 차로당 2피에조센서 1루프센서의 조합으로 구성하였으며, 센서로부터 추출되는 기초정보는 <표 1>과 같다.

<표 1> 센서로부터 추출되는 기초 정보

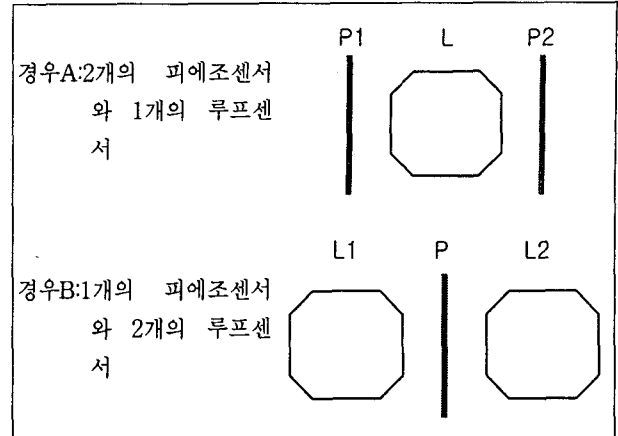
정보	단위	종류	비 고
차량수	대	차량정보	
차량속도	km/h	차량정보	
차량길이	cm	차량정보	
도로점유율	%	도로정보	
차량간 시간	msec	차량정보	
축간 거리	cm	차량정보	
축 수	개	차량정보	

## 2. 차량 기초정보의 추출

도로 표면에 루프센서와 피에조센서를 설치하는 데 두 가지 방법이 있으며, 각각의 경우(경우A, 경우B)를 <그림 1>에서 보이고 있다. A의 경우에는, 2개의 피에조센서 P1, P2에 의하여 차량의 속도, 차축의 수에 대한 정보를 추출하며, 루프센서 L을 이용하여 차량의 길이 정보를 추출한다.

B의 경우에는 2개의 루프센서 L1, L2에서 차량의 속도, 차량의 길이 정보를 추출하며 피에조센서 P에서는 차축수에 대한 정보를 추출한다. 두 가지 경우 모두 동일한 차량정보를 추출한다.

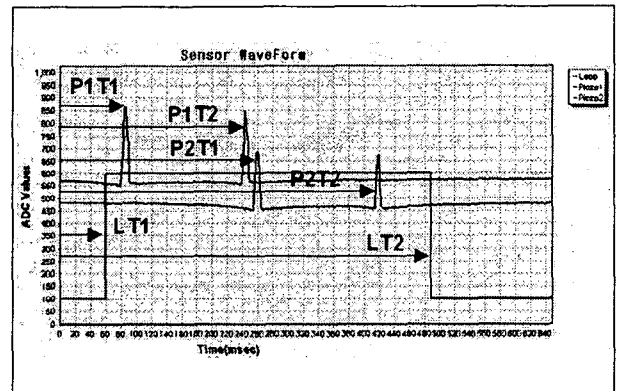
그러나, 본 연구에서는 설치 면적이 상대적으로 좁고 검지 영역이 좁아 저속차량 검지에 유리하며 차량의 속도를 매우 정확하게 추출할 수 있는 A 경우를 다루었다.



<그림 1> 루프센서와 피에조센서의 혼용 방법

본 연구에서 제작된 시스템은 최대 12차로에 대하여, 차로마다 루프센서 1개, 피에조센서 2개의 신호를 입력받아 동시에 실시간으로 처리할 수 있도록 하였다.

루프센서는 평소에는 High 레벨을 유지하며, 차량이 통과하는 동안 신호레벨을 Low를 유지하는 시간 T2는 차량의 전 범퍼부분이 루프에 들어오는 순간부터 차량의 후 범퍼 부분이 루프를 벗어나는 시간으로, 차량의 이동 거리는 루프의 직경과 차량길이의 합과 같다.



<그림 2> 센서 시간 정보

피에조센서는 차량의 축에 대한 정보를 제공하므로, 센서당 차량의 축수 만큼의 시간 정보를 전송한다. <그림 2>에서 P1T1은 첫 번째 피에조센서에서 차량의 첫 번째 축을 검지한 시점을 의미하며, P1T2는 두 번째 축을 검지한 시점을 의미한다.

LT1과 LT2는 루프센서의 반응 시작 시점과 종료 시점을 의미하며, 차량이 검지영역을 점유한 시간과 같다.

제어기에서 측정된 센서의 시간 정보를 바탕으로 교통량, 차량 속도, 축간거리, 차량 길이, 오버행 등의 차량 정보를 구하며, 계산식은 <표 2>와 같다.

<표 2> 센서 시간 정보를 이용한 차량 정보 산출

교통량 : PIT1, PIT2 및 P2T1, P2T2의 피에조센서 시간값과 LT1, LT2의 루프센서 시간값이 모두 출력되는 차량을 대상으로 교통량을 구하며, 루프 또는 피에조센서의 시간값이 어느 하나라도 출력되지 않아서 차량정보를 수집할 수 없는 경우에는 오류 처리함

주행속도 (km/hr) =  $\frac{\text{피에조 센서 설치 간격}(m)}{P_2 T_1(s) - P_1 T_1(s)} \times 3.6$   
 여기서 3.6은 (m/s)를 (km/hr)로 환산하는 계수

축간거리 (cm) =  $\text{주행속도}(km/hr) \times (P_1 T_2(s) - P_1 T_1(s)) \times \frac{100}{3.6}$   
 여기서 100은 (m)를 (cm)로 환산하는 계수

차량길이 (cm) =  $\text{주행속도}(km/hr) \times (LT_2(s) - LT_1(s)) \times \frac{100}{3.6}$

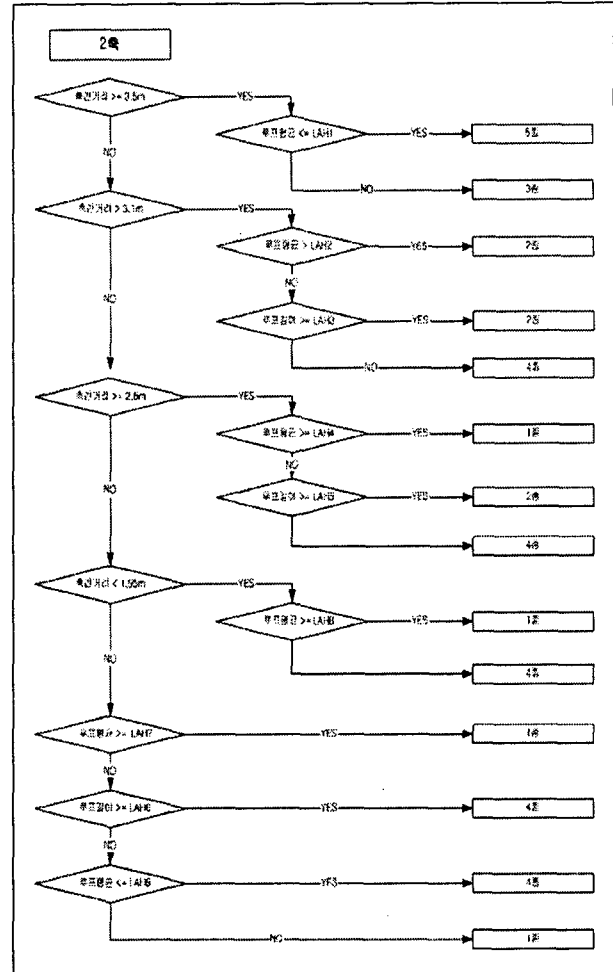
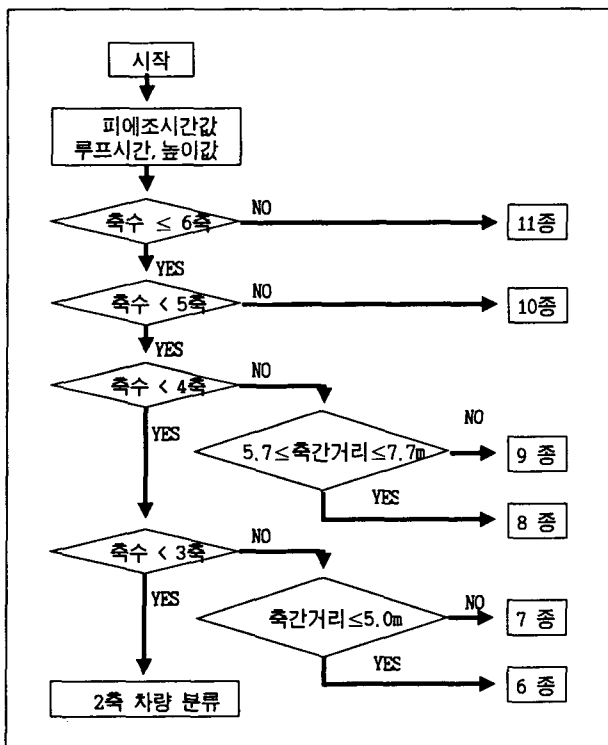
오버행 (%) =  $\frac{\text{축간거리}}{\text{차량길이}} \times 100$

점유율1 =  $\frac{\text{루프를 점유한 시간}}{\text{총 측정시간}} \times 100 = \sum \frac{LT_2 - LT_1}{\text{총 측정시간}} \times 100$

### 3. 차종분류 알고리즘

본 연구에서는 건설교통부 차종분류 기준인 11종 분류를 적용하였다.[6]

차종분류법은 3~6축 차량인 6,7,8,9,10,11종 차량에 대하여는 축수와 축간거리를 이용하여 차량을 분류하고, 2축 차량인 1,2,3,4,5종 차량에 대하여는 축간거리, 차량길이를 이용하여 차종을 분류하였다.(그림 3 참조)



<그림 3> 차종분류 알고리즘

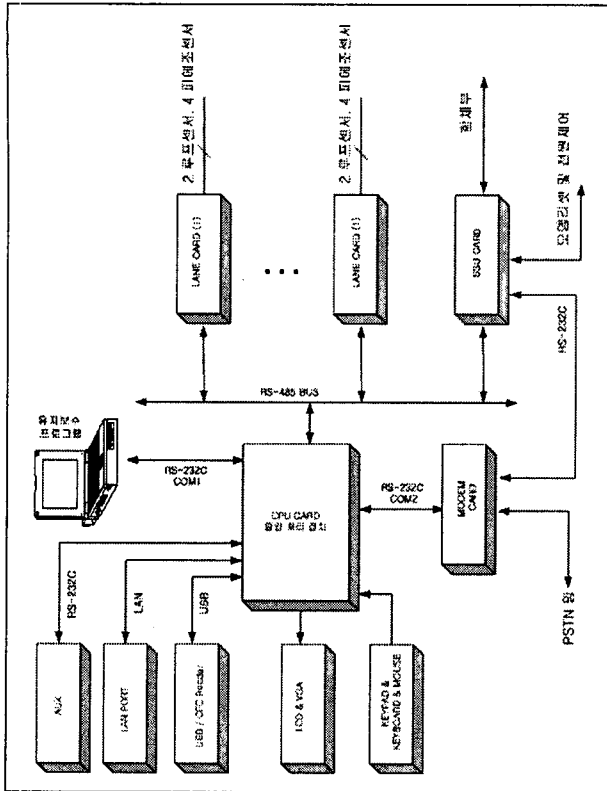
## III. 차량정보 수집 시스템 설계

### 1. 시스템 구조

시스템은 강력한 MMI(Man-Machine Interface) 및 주변 기능 확장을 강화한 임베디드 프로세서를 이용하였으며, RS485 버스 규격의 입/출력 보드를 설계하고 제작하였다.

입/출력 보드는 지정된 샘플링 주기마다 인터럽트 신호를 발생하도록 설계하였고, 인터럽트 신호가 발생할 때마다 입/출력 보드에 연결된 센서의 상태를 읽어 들인다.

읽어 들인 센서의 값을 각 센서에 할당된 변수에 저장하여 통과 차량에 대한 정보를 생성한다. 센서의 시간 정보를 바탕으로 각 차량에 대한 속도, 길이, 차종 등의 차량 정보와 차량의 도로 점유율, 통과 차량 대수 등의 도로 정보를 패킷 형태로 만들어, 통신 프로토콜과 전송선 모델에 의하여 원격에 있는 교통관제 센터의 호스트에 전송한다. 본 연구에서 제작한 시스템의 구조는 <그림 4>와 같다.



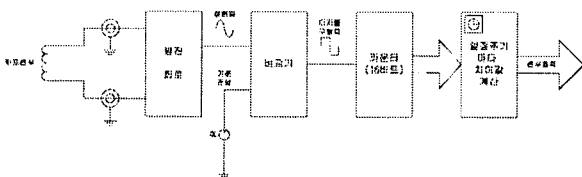
<그림 4> 시스템 구조

## 2. 센서 입/출력 설계

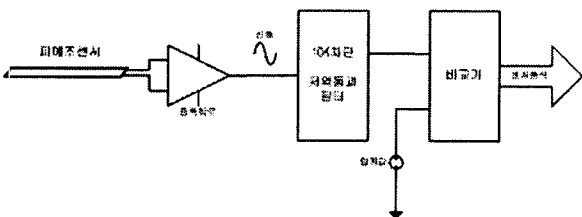
### 1) 센서 신호처리

센서 신호 처리는 루프센서와 피에조센서를 각각 분리하여, Lane 카드 1장에 2개의 루프센서와 4개의 피에조센서를 입력 받아 처리할 수 있도록 하였다.

#### ① 루프센서 신호처리



#### ② 피에조센서 신호처리



### 2) 센서 신호 전처리

#### ① 루프센서

발진회로를 구성하고 공진회로의 한 부분에 루프센서를 장착하여, 루프센서의 인덕턴스 변화에 따라 발진주파수가 변화

도록 하고, 고속의 카운터에 의해서 발진주파수의 주기값을 세어서 사용한다. 차량이 센서 내로 들어오면 인덕턴스 값이 감소하고 공진 주파수가 증가한다. 공진 주파수가 증가하면 신호의 주기가 감소한다. 결국 카운터로 측정된 발진 신호의 주기값이 감소하게 된다.

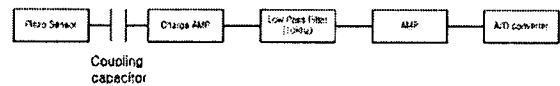
#### - 루프센서 주파수 계산

$$Frequency[Hz] = \frac{3 \times 75 \times 10^6}{Counter}$$

### ② 피에조센서

피에조센서의 입력 전단 구성은 차지앰프로 되어 있다. DC 전압 이득은 10만배(전류 이득은 작다) 정도로 되어 있는데, 차지앰프의 입력 임피던스가 매우 작기 때문에 차지앰프를 사용하면 피에조센서를 매설할 때 사용하는 케이블의 용량에 센서 출력이 영향을 받지 않게 되고, 또한 피에조센서의 내부등가 커패시턴스도 무시할 수 있게 된다. 결국 센서의 물리적인 파라미터가 크게 중요하지 않게 된다.

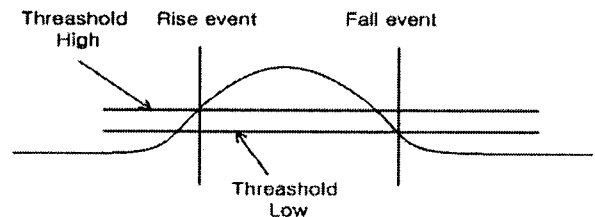
차지 앰프 후단은 저역통과 필터가 구성되어 있고, 다음은 10배까지 세팅할 수 있는 앰프가 구성되어 있다.



### 3) 이벤트의 검출

#### ① 루프센서

루프센서의 이벤트는 루프센서가 안정상태에서 어느 정도 편차가 발생하는지로 확인한다. 루프센서가 발생하는 이벤트는 두 가지인데, 하나는 루프센서 상승, 다른 하나는 루프센서 하강이다.



이벤트 검출에 사용되는 임계값은 두 개다. 센서 값이 위쪽 임계값을 넘어서면 차량이 진입한 것으로 간주하고 아래쪽 임계값 아래로 내려오면 차량이 진출한 것으로 생각한다.

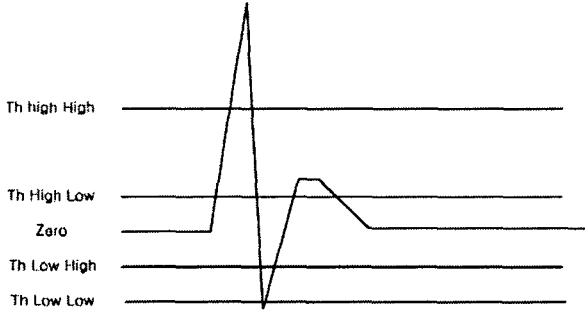
임계값을 이렇게 두 개로 두는 이유는, 센서 출력이 미세하게 섞여있는 노이즈의 영향을 줄이기 위함이다.

임계값을 하나만 두게되면 임계값 근처에서 노이즈에 의해 이벤트가 많이 발생할 수 있으나, 이와 같이 임계값을 두게되면 설정된 임계값의 차이보다 작은 노이즈에 대해서는 영향을 받지 않게 된다. 임계값의 설정은 실제 센서 설치환경을 고려하여 설정하여야 한다.

#### ② 피에조센서

피에조센서의 이벤트 검출모드는 2가지가 있는데, 위쪽 상

승만 검사하는 Unipolar 모드와 아래쪽 하강까지 검사하는 Bipolar mode가 있다. 하강 모드에 대해서는 바퀴가 센서를 지나갈 때 센서의 제품별로 차이가 많아, 실험 결과 일부 센서 제품군에서는 하강 모드가 0 이하로 떨어지지 않는 경우도 있어서, 본 연구에서는 Unipolar 모드로 적용하였다.



- Unipolar 모드에서 센서 이벤트 검출 조건은 다음과 같다.
- 안정상태에서 센서 출력은 Th High Low와 Th Low High 사이에 있어야 한다.
  - 반드시 1번 이상 High-High 임계값을 넘어야 한다.
  - High-High 임계값 아래로 내려온 뒤 High-Low보다 센서 출력이 큰 상태에서 다시 High-High로 진입하면 처음에 High-High 임계값 진입한 시점만이 이벤트 검출에 사용된다.
  - 센서 출력이 High-Low보다 작으면 센서 이벤트가 발생되고 이벤트 시점은 최초로 High-High를 넘어선 시간과 High-Low 아래로 내려온 시간의 평균을 사용한다.
  - 피에조 펄스폭이 매우 작을 때(승용 차량이 10Km/h 정도로 달릴 때)는 이벤트로 간주하지 않는다.

#### 4) 이벤트의 처리

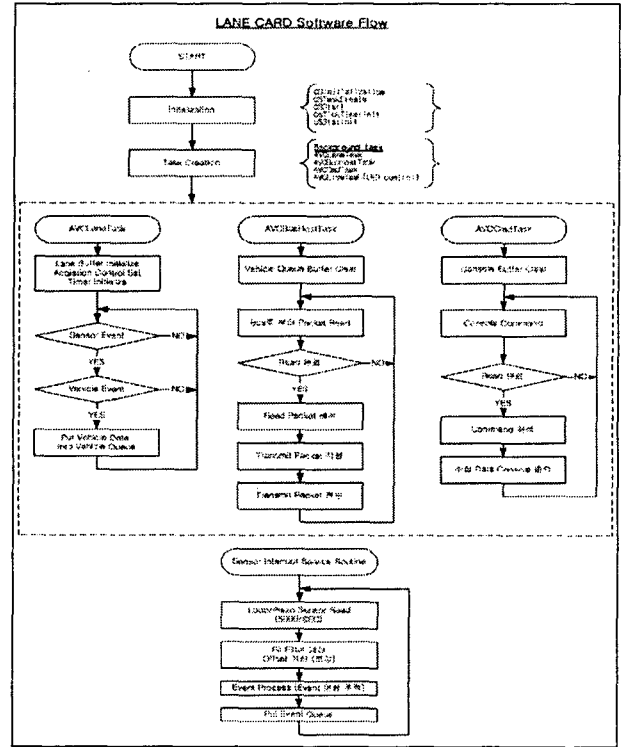
이벤트 처리는 다음의 원칙에 의해서 처리된다.

- 앞쪽 피에조 이벤트가 오고 루프 상승 이벤트가 일정기간 동안 없으면 앞쪽 이벤트는 버린다.
- 루프의 하강 이벤트가 있고 나서 앞쪽 피에조와 뒤쪽 피에조의 이벤트가 같으면 차량이 있었음을 확인한다.
- 루프의 하강 이벤트가 있고 나서 뒤쪽 피에조 이벤트의 개수가 적으면 앞쪽 피에조 이벤트의 개수만큼 채워질 때까지 일정 기간 동안 기다린다.
- 뒤쪽 피에조 이벤트가 앞쪽 피에조 이벤트보다 적은 상태에서 일정 기간이 지나면 센서수가 적은 피에조 이벤트 개수를 차측수로 판단하고 처리를 시작한다.

### 3. 제어 프로그램

제어 프로그램은 메인루틴과 인터럽트루틴으로 구성된다. 인터럽트 루틴은 샘플링 주기마다 발생하는 인터럽트 신호에 의하여 33개의 센서의 상태를 입/출력 보드를 통하여 읽어 들여, 이전 샘플링 주기 때의 센서 상태와 비교하여 그 상태가 다를 경우, 그 센서에 할당된 메모리에 시간값을 기록한다.

또한 차량이 3개의 센서를 모두 통과하였는지를 검지하고, 차량이 마지막 센서를 통과하였을 때에 <그림 2>의 시간 정보 P1T1, P1T2, P2T1, P2T2, LT1, LT2 값을 계산하여 저장한다. 이를 위하여 33개의 입력 버퍼를 동시에 읽어들이고 각 센서에 해당하는 메모리에 차량의 변화가 탐지된 순간의 시간정보를 기록하는 과정이 한 샘플링 주기 이내에 완료되어야 한다.



<그림 5> 제어프로그램 구조

### 4. 원격 데이터 전송

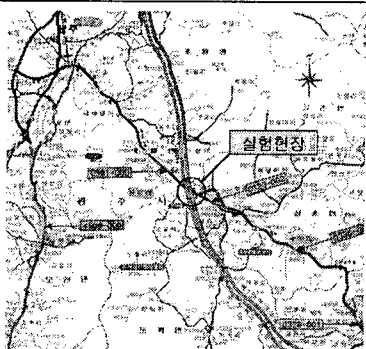
생성된 각 차로에 대한 차량정보 및 도로교통정보는 패킷의 형태로 만들어지고 원격의 관리센터에 전송되어 도로 상황을 파악할 수 있도록 한다. 데이터 전송은 관리센터 시스템이 시스템 ID와 함께 정보 전송 요청을 하면 지정된 시스템은 차량정보 및 도로교통 정보를 전송한다.

본 시스템은 주로 고속도로 및 국도, 지방도 등의 도로에 사용하도록 설계되었으며, 수 Km마다 시스템이 하나씩 설치된다. 따라서 통신망은 PSTN망 또는 전용선망을 사용할 수 있도록 RS-232를 사용한 직렬통신의 포맷을 사용하였다.

## IV. 현장 설치 시험

### 1. 설치 현장

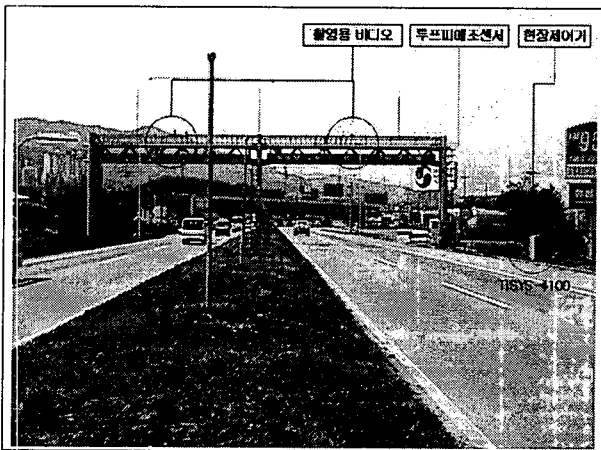
본 실험은 국도 3호선 광주~곤지암 구간 내 곤지암IC 접속부에서 수행하였다.

교통현황	설치 위치
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 위치 : 국도 3호선 광주~곤지암구간 곤지암IC 접속부</li> <li>• 차로수 : 왕복 4차로</li> <li>• 주간교통량:약 30,000대</li> <li>• 일일교통량:약 40,000대</li> </ul>	

<그림 6> 시스템 설치 위치

## 2. 시스템 설치 방법

본 연구를 위해 곤지암IC 접속부의 4개 차로에 각각 1루프 2피에조센서 및 현장제어기를 설치하고, PSTN 모뎀망을 통하여 관리 센터에서 자료를 수집하도록 하였다.



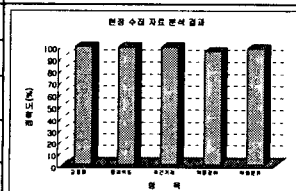
<그림 7> 루프 및 피에조 및 현장제어기 설치 전경

## 3. 자료 분석 결과

본 연구에서 수집 분석한 결과는 <표 3>과 같다.

각 측정자료 항목 모두에 대하여 「한국건설기술연구원, 교통량 조사 장비 구매 관련 자료(2003년도 신설/확장 일반국도 대상), 교통량 조사장비 사양서」 [7] 및 「한국도로공사, 교통량 조사 장비 현장장비 제조·구매(설치 포함) 시방서, 2003.」 [8]에서 요구하는 측정정확도 95%를 상회하고 있다.

<표 3> 자료 분석 결과

항 목	검지정확도(%)	표준편차(%)	오검지율(%)	비고
교통량	99.5	-	0.5	
차량속도	99.2	2.4	0.8	
축간거리	99.2	2.4	0.8	
차량길이	95.3	4.2	4.7	
차종분류	97.8	-	2.2	

## V. 결 론

본 연구에서는 루프센서와 피에조센서를 사용하여 통과 차량 대수, 속도, 길이, 차축수, 축간거리 등의 기본 정보를 실시간으로 수집하는 시스템의 개발을 다루었다.

이들 기본 정보는 차종분류, 평균속도 등의 도로 교통 정보를 생성하여 도로 유지 관리를 위한 데이터베이스로 입력되거나, 도로 계획을 위한 바탕 자료 또는 ITS의 기본정보로 활용된다.

연구 결과 개발된 시스템을 현장 설치하여 시험한 결과 매우 정확하고 신뢰성 있는 자료 수집 능력을 보이고 있다.

현재 본 연구로 인하여 개발된 시스템은 한국건설기술연구원에서 교통량 조사 장비를 구매하기 위해 실시하는 현장 성능평가를 통과하였으며(2003. 7. 21.~23. 실시), 한국도로공사의 교통량 조사장비 제조·구매(설치 포함) 과업의 교통량 조사장비로 적용되고 있어 현장 활용성이 매우 뛰어나다.

본 연구의 시스템에 대하여 향후 발전방향으로서, 현재 우리나라에서는 개발되지 않은 WIM(Weigh-In-Motion : 이동중 중량 측정) 기술 개발로도 응용할 수 있으므로, 교량, 고가도로 등에서 교통정보 수집 기능과 함께 도로 충격 감시 기능을 병행할 수 있는 시스템 개발이 필요할 것으로 판단된다.

## 참고문헌

1. 건설교통부, 한국건설기술연구원, 인공지능기법을 활용한 교통량 조사장비 개발, 2000.
2. 창덕명, 박창수, 김영남 "루프식 검지기의 형태별 성능비교 분석", 도로교통안전협회, 1994. 8.
3. 이철기, 오영태, "자기 검지기 알고리즘 개발 및 평가", 대한교통학회지, 제16권 제 3호, pp.101-111, 1994. 8.
4. 이승환, 이철기, "실시간 교통신호제어를 위한 루프검지기 체계연구", 대한교통학회지, 제14권 제2호, pp.59-88, 1996. 8.
5. 오영태, 이철기, "실시간 신호제어를 위한 차량검지기 정보의 신뢰성 비교평가", 대한교통학회지, 제 14권 제3호, pp.91-125, 1996. 9.
6. 건설교통부, 도로교통량조사지침, 2001.
7. 한국건설기술연구원, 교통량 조사 장비 구매 관련 자료 (2003년도 신설/확장 일반국도 대상), 교통량 조사장비 사양서, 2003.
8. 한국도로공사, 교통량 조사 장비 현장장비 제조·구매(설치 포함) 시방서, 2003.