

AI 기법을 이용한 차량 정보 수집 장비 개발

윤학룡*, 류승기, 김영춘, 변상철, 최도혁
한국건설기술연구원

The Development of the Vehicles Information Detector

Hak-Yong Moon*, Seung-Ki Ryu, Young-Chun Kim, Do-Hyuk Choi
Korea Institute of Construction Technology

Abstract - This study is developed vehicle information detector using loop and piezo sensors. This study would analyze the over all problems concerning our road conditions, environmental matters and unique features of our traffic matters; moreover, with these it would develop the hardware, software, car classification algorithm applied by artificial intelligence and traffic monitoring program which can be easily fixed. This can be divided into traffic detecting algorithm and car classification algorithm. Especially, we have developed the car classification algorithm used by C-means Fuzzy Clustering method.

1. 서 론

국내의 교통분야에서는 도로를 주행하는 차량에 대한 정보 수집을 통하여 교통정보 제공 및 수집된 정보를 이용하여 기존 도로의 효율적인 운영 및 관리, 신설 도로의 계획 및 설계 등 활용하고 있다. 이러한 차량 정보 수집을 위한 장비는 도로에 매설하는 방식과 구조물을 이용하는 비 매설 방식으로 구분된다.

현재, 매설 방식의 차량정보 수집장비는 루프 방식과 루프와 피에조 센서를 이용한 혼합 방식이 사용되고 있으며, 차량에 대한 속도, 교통량 등의 기본 정보 이외에 11개 차종 분류를 위해서는 혼합 방식이 사용되고 있다. 대부분의 혼합 방식의 교통량조사장비는 전량 외국 제품으로써, 국내 여건에 적합한 교통 특성을 조사하고 측정하는데 많은 어려움이 있으며, 장비간의 호환성, 기능 개선 및 국내 실정에 부합되는 알고리즘 적용 등에도 많은 어려움이 있는 실정이다.

본 연구에서는 C-means 퍼지 클러스터링 기법을 이용하여 루프와 피에조 센서 방식의 매설식 차량정보 수집 장비를 개발하였다. 본 연구는 크게 센서 부문, 제어기 부문 및 알고리즘으로 구분할 수 있으며, 센서 부문에서는 노이즈와 서지 등에 대한 보호 기능과 주요 파라미터의 자동 보정기능이 있는 2차선용 센서 보드를 개발하였다. 제어기 부문에서는 외국 장비의 통신 프로토콜, 알고리즘의 수정, 시스템 연계시 접속의 어려움 등을 개선하였다. 또한, 알고리즘 부문에 있어서는 외국의 상황에 적합하도록 구현된 차량정보 수집 및 차종 분류 알고리즘을 개선하였다. 차종 분류 알고리즘은 약 1200종의 국내 차종을 11종으로 분류해야 하는데 있어 c-means 퍼지 클러스터링 기법을 이용하여 차종 분류의 신뢰성을 확보하였다.

2. 신호 제어 처리 기법

2.1 루프 센서

루프 센서의 인덕턴스 변화를 감지하는 방식은 펄스 전압을 공급함에 따라 변화하는 루프의 전류를 측정하는 페이스 펄스(Phase pulsing) 방법, 인덕턴스에 의한 주파수, 상(Phase), 진폭의 변화를 측정하는 방식 등이 사용

되고 있다. 본 연구에서는 회로구성이 용이하고, 인덕턴스의 상대적 변화량을 측정하는데 우수한 특성을 갖는 주파수 변화량 측정 방식을 사용하였다. 주파수 변화량 측정 방식은 루프자체를 신호 처리부내의 발전회로 일부로 구성한다. 루프 검지기의 루프와 트랜스포머의 등가 임피던스에서 결합계수 k를 1로 가정하면 식(1)과 같다

$$L_{eq} = L_1 - nL_1 + \frac{L_1(n^3 - n^2) + nL_1L_{loop}}{n^2L_1 + L_{loop}} \quad \dots(1)$$

그림 2.1은 루프 인덕턴스는 차량이 존재하지 않을 때 95uH이고 차량이 존재 할 때 85uH라 가정했을 때 권선비 n에 따르는 등가적인 루프의 인덕턴스의 변화이다. 권선비가 0.2 이하일 때 변화량의 크기 변화가 심하고 0.22 이상일 때의 변화량의 크기가 작은 것을 알 수 있다. 그러므로 다량의 트랜스포머를 제작할 때는 제작시 오차에 따른 인덕턴스 변화를 최소화해야 하므로 권선비를 0.2이상의 값으로 맞추어야 한다. 즉, 권선비 0.22일 때 2차측의 인덕턴스는 87.12uH 이상으로 맞추어야 한다. 본 연구에서는 트랜스포머 값을 350uH 정도로 선정하여 오차에 따르는 인덕턴스변화에 따르는 감소 오차를 줄였다.

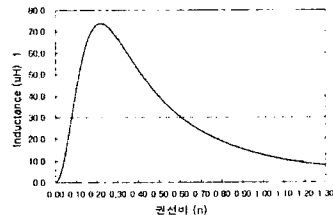


그림 2.1 권선비에 따른 등가 인덕턴스의 변화

2.2 피에조 센서

본 연구에서는 센서와 신호 처리 회로가 수m 이상 떨어져 있는 경우에는 전하원 모델을 이용하였다. 피에조 신호 검출 회로는 2단의 연산 증폭기를 이용한 회로로 구성되어 있다. 첫 번째 단에서는 피에조에서 나오는 신호를 증폭하여 적분하는 적분기이며, 두 번째 단에서는 원하는 만큼의 증폭 Gain을 조절할 수 있는 증폭기로 구성하였다. 이대의 전달 함수(G(s))와 차단주파수(f_c)는 식(2), 식(3)과 같다.

$$G(s) = - \frac{R_2}{(1+sCR_1)R_1} \quad \dots(2)$$

$$f_c = \frac{1}{2\pi CR_1} \quad \dots(3)$$

적분기를 거친 신호는 두 번째 단의 반전 증폭기를 이용하여 원하는 만큼의 출력을 얻게 하였다.

3. 차종 분류 알고리즘

3.1 퍼지 클러스터링 기법

본 연구에서는 현재 적용되고 있는 결정 트리 방식의 차종 분류 알고리즘에서 발생하는 1~5종과 같은 유사 차종 분류시의 분류 오차를 개선하기 위하여 c-means 알고리즘 방식을 사용하였다. c-means 알고리즘에서는 최적의 U를 구하기 위한 제곱오차 합을 목적 함수, 제곱을 최소로 하는 u_{kj} , v_k 는 식(4)~식(6)과 같다.

$$u_{kj} = \sum_{g=1}^m \left[\frac{\|x_j - v_k\|^{2/m-1}}{\|x_j - v_g\|} \right]^{-1}, \text{ for all } j, k \quad \dots(4)$$

$$v_k = \frac{\sum_{j=1}^n (u_{kj})^m x_j}{\sum_{j=1}^n (u_{kj})^m}, \text{ for all } k \quad \dots(5)$$

$$J_m(U, v) = \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^m (v_{kj})^m \|u_j - v_k\|^2, 1 \leq m \leq \infty \quad \dots(6)$$

여기서, x_j 는 d 차원의 측정 데이터, v_k 는 k번째의 클러스터 중심, $\|\cdot\|$ 는 내적 노름으로 측정 데이터와 클러스터 중심과의 유사성을 나타낸다.

3.2 차종 분류 알고리즘 모의 실험

본 연구에서는 차종 분류를 위한 알고리즘 구현에 앞서 실험적 결정 트리 방식, 퍼지 클러스터링 방식 및 c-means 퍼지 클러스터링 방식을 비교하였다. 본 모의 실험을 위한 기준 데이터는 도로상에 설치하여 1시간 가량 데이터를 수집하였다. 수집된 데이터는 비디오 분석을 통하여 기준값을 산출하였다. 표 3.1은 차종분류 결과 비교표이며, c-means 방식은 전체적으로는 기존 알고리즘과 유사하며, 차종 구분이 어려운 1~4종 사이에서는 좋은 결과를 보이고 있다.

표 3.1 차종 분류 결과 비교표

구분	기준	결정 트리 방식		퍼지 클러스터링			
		결과	정확도	결과	정확도	결과	정확도
1종	370	341	92%	166	45%	370	100%
2종	4	3	75%	2	50%	4	100%
3종	5	5	100%	5	100%	4	80%
4종	151	41	27%	52	34%	52	34%
5종	30	26	86%	26	86%	24	80%
6종	27	27	100%	27	100%	27	100%
7종	8	8	100%	8	100%	8	100%
8종	12	11	91%	11	91%	11	91%
합계	607	462	84%	297	75%	497	86%

3.3 차량 정보 수집 알고리즘

그림 3.3은 검출되는 각 센서 신호들 그림이며, 정보 검출은 식(7)~식(11)과 같다.

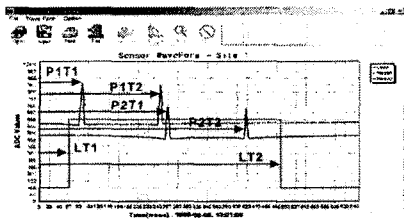


그림 3.3 센서 시간 정보

$$\text{속도}(km/hr) = \frac{\text{피에조센서 설치간격}(m)}{P_2 T_1(s) - P_1 T_1(s)} \times 3.6 \quad \dots(7)$$

단, 3.6:(m/s)를 (km/hr)로 환산 상수

$$\text{축간거리}(cm) = \text{속도} \times (P_1 T_2(s) - P_1 T_1(s)) \times \frac{100}{3.6} \quad \dots(8)$$

단, 100은 (m)를 (cm)로 환산하는 상수

$$\text{차량길이}(cm) = \text{속도} \times (LT_2(s) - LT_1(s)) \times \frac{100}{3.6} \quad \dots(9)$$

$$\text{오버행}(\%) = \frac{\text{축간거리}}{\text{차량길이}} \times 100 \quad \dots(10)$$

4. 시스템 구성

본 연구에서 개발한 차량 정보 수집 장비의 센서 설치 루프 5mm, 피에조 20mm 깊이로 그림 4.1처럼 매설하였다. 그림 4.2는 개발된 차량 정보 수집 장치이다.

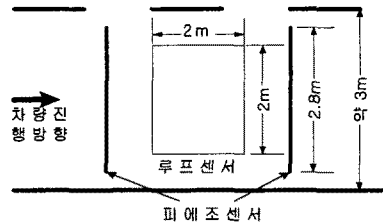


그림 4.1 차량 정보 수집 장치 센서 매설도

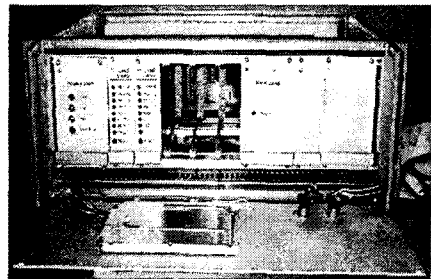


그림 4.4 차량 정보 수집 장비 사진

5. 실험

5.1 실내 실험

본 연구에서 개발된 장비의 성능을 검증하기 위하여 자체 제작한 시뮬레이터를 이용한 실내 실험과 도로상에서 실시한 현장 실험을 실시하였다. 그림 5.1은 실내 실험을 위한 구성도이다.

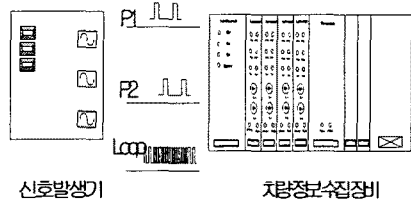


그림 5.1 차량정보 수집 모의 실험 구성도

표 5.1~표 5.2는 속도와 차량길이에 대한 실내 실험결과로써, 속도는 $\pm 1.0\%$ FS 이하, 차량 길이는 차종 별로 $\pm 10cm$ 에서 $\pm 30cm$ 정확도를 보여주고 있다.

표 5.1. 차량 속도 측정 결과(단위:km/h)

기준속도	측정값		정확도 (%FS)	차량 대수
	평균속도	오차		
56	56	< ±1	< ±1.0	3600
53	53	< ±1	< ±1.0	10800
97	97	< ±1	< ±1.0	10800
107	107	< ±2	< ±1.0	3600

표 5.2 차량 길이 측정 결과(단위:mm)

기준 길이	측정값		측정 오차	차량 대수
	평균길이	오차		
410	410	< ±10	±2.4%	3600
468	468	< ±10	±2.1%	3600
515	515	< ±10	±1.9%	3600
510	510	< ±10	±2.0%	3600
520	520	< ±10	±1.9%	3600
530	530	< ±10	±1.9%	3600
818	818	< ±20	±2.4%	3600
1370	1370	< ±30	±2.2%	3600

5.2 현장 실험

본 현장 실험은 개발된 장비를 도로상에 설치하여 데이터를 수집하였으며, 비디오 녹화를 통한 분석 기준 값과 비교하여 성능을 검증하였다.

그림 6.1과 6.2는 현장 실험에서 검출되는 승용차와 화물차의 센서 파형으로 승용차의 지상고가 화물차보다 낮기 때문에 루프의 인덕턴스 값이 낮게 나타난다.

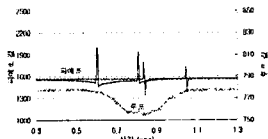


그림 5.1 승용차 파형

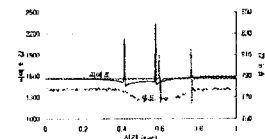


그림 5.2 화물차 파형

차종 분류 성능 실험의 결과는 표 5.1과 같으며, 차선을 걸쳐서 통과한 경우를 제외하면 매우 정확한 결과를 얻을 수 있었다. 실험시의 현장 조건은 온도 30℃, 습도 75%RH이다.

표 5.1 현장 시험 결과

교통량	개발품	기준값	정확도	
차선 걸쳐간 데이터 포함	합계	642	97.8%	
	0축 차량	4	0	
	1축 차량	1	0	
	2축 차량	598	609	98.2%
	3축 차량	12	10	-
	4축 차량	23	8	-
	5축 차량	3	1	-
차선 걸쳐간 데이터 제외	합계	610	608	99.7%
	0축 차량	0	0	-
	1축 차량	0	0	-
	2축 차량	593	591	99.7%
	3축 차량	9	9	100%
	4축 차량	7	7	100%
	5축 차량	1	1	100%
6축 차량	0	0	100%	

또한, 표 5.2는 동일한 속도로 반복 측정한 결과이며, 표 5.3은 동일한 차량에 대한 길이의 측정 결과이다.

표 5.2 차량 속도 측정 결과

차선	기준 속도 (KPH)	측정값		정확도 (%FS)	차량 대수
		평균 속도 (KPH)	오차 (KPH)		
1	60	57	< ±2	< ±1.0	50
2	60	57	< ±2	< ±1.0	50
3	60	57	< ±2	< ±1.0	50
4	60	57	< ±2	< ±1.0	50

표 5.3 차량 길이 측정 결과

차선	기준 길이 (cm)	측정값		측정 오차 (%)	차량 대수
		평균 길이 (cm)	오차 (cm)		
1	437	434	< ±12	±2.8%	50
2	437	438	< ±15	±3.4%	50
3	437	436	< ±10	±2.3%	50
4	437	439	< ±12	±2.7%	50

6. 결론

본 연구는 도로상의 차량 정보를 수집하고 분석하며, 유지 보수가 용이하고, 국내 실정에 적합한 성능과 기능을 갖는 AI 기법을 적용한 차량정보 수집 장비를 개발하였다. 본 연구 개발품은 객관적인 성능 평가를 수행하기 위하여 도로상에 매설된 센서와 동일한 형태의 신호를 발생시키는 신호 발생 장치를 제작하였으며, 이를 이용하여 실내 성능 시험을 수행하였다. 성능 시험 결과 개발품의 속도 측정 오차 ±1.0% F.S. 이하, 차량 길이 측정 오차 ±2.5% 미만의 높은 정확도를 얻었다. 또한, 현장 시험을 실시하여 저장된 데이터와 비디오 촬영 결과를 비교 분석하였으며, 그 결과 95% 이상의 차종 분류 정확도를 나타내었다.

또한, 본 연구에서는 차종 분류의 정확성을 확보하기 위하여 퍼지 클러스터링 알고리즘을 적용한 결과, 기존의 알고리즘에 비하여 3종과 5종에서는 정밀도가 약간 떨어지나, 기존 분류 방식에서 어려움이 있던 1종, 2종, 4종에서는 우수한 성능을 보였으며, 전반적으로 11종 분류 측면에서 우수한 성능을 볼 수 있었다.

현재, 국내의 교통 문제 해결을 위한 국가적 차원의 교통관리 시스템 구축 사업이 본격적으로 진행되고 있는 시점에서 개발된 차량정보 수집 장비는 국내 기술력 확보 차원뿐만 아니라 외화 대체 효과도 기대할 수 있을 것으로 사료된다.

(참고 문헌)

- [1]Mills, M.K., "Self Inductance Formulas for Multi-Turn Rectangular Loops used with Vehicle Detectors", 33rd IEEE VTG Conference Record, pp65-73, May 1983.
- [2]Jacob, B., M.Siffert, "A High Performance WIM System by Piezo-Electric Cables and Its Application", Proc. 1st International Conference on Heavy Vehicle Weights and Dimensions, Canada, June 1986.
- [3]R.L.CanNon, J.V.Dave. and J.C.Bezdek, "Efficient implementation of the fuzzy c-menas clustering algorithm", IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.8, No.2, pp248-255, 1986
- [4]FHWA, "A Summary of Vehicle Detection and Surveillance Technologies used in Intelligent Transportation Systems", The Vehicle Detector Clearinghouse, Fall 2000
- [5]FHWA, "Traffic Detector Handbook-second edition", Publication No. FHWA-IP-90-002, 1990.