

# 무접점 답판 센서를 사용한 차량 바퀴의 윤폭 / 윤거 획득 알고리즘 개발

서연곤\* · 류창국\*\* · 이배호\*\*\*

Development of wheel width and tread acquisition algorithm using non-contact treadle sensor

Yeon-Gon Seo\* · Chang-Guk Lew\*\* · Bae-Ho Lee\*\*\*

## 요 약

국내의 유료 도로에서 사용되는 차종 분류 장치는 차량의 윤폭과 윤거 정보를 산출하는 답판 센서를 사용하는 방식이 일반적이다. 이러한 답판 센서는 주행 중인 차량의 바퀴가 접촉할 때 발생하는 충격으로 인해 높은 내구성을 요구한다. 최근 한국도로공사는 요금소에서 화물차 고속 차로의 운영을 시작하였고, 화물차가 고속 주행할 때 발생하는 설계 기준 이상의 충격으로 인한 파손과 이에 따른 유지보수 및 관리 비용의 증가가 염려되고 있다. 본 논문에서는 물리적 충격에 대한 내구성을 향상 시킨 무접점 답판 센서를 사용하여, 통과 차량에 대한 최적의 윤폭 / 윤거를 획득하는 알고리즘을 제안하였다. 이는 한국도로공사 6종 분류 기준 중, 축수 분류인 4, 5 종을 제외한 1종/2종/3종 그리고 6종 차량에 대해 현장 실험을 수행하였고, 윤폭 최대 오차  $\pm 2$  cm, 정확도 98% 이상 그리고 윤거 최대 오차  $\pm 8$  cm, 정확도 97% 이상으로 추후 차종 분류 장치 적용에 대한 그 유효성을 입증하였다.

## ABSTRACT

Vehicle classification system in domestic tollgates is usually to use treadle sensor for calculating wheel width and tread of the vehicle. due to the impact that occurs when the wheels of the vehicle contact, treadle sensor requires high durability. recently, KHC(Korea Highway Corporation) began operating high-speed lane for cargo truck. high-speed cargo truck generate more impact the design criteria of previous treadle. therefore, an increase in the maintenance and management costs of the treadle damage is concerned. In this paper, we propose an algorithm for obtaining optimal wheel width and tread using non-contact treadle sensor that been improved durability from physical impacts. for the verification of the proposed algorithm, a field test was performed using 1/2/3/6 class vehicles based on the KHC's classification criteria. through this experiments, maximum error of the width and the tread is each  $\pm 2$  cm and  $\pm 8$  cm, also the accuracy was measured as 98%, 97% or more, and proved that the proposed algorithm valid on to apply to the vehicle classification system.

## 키워드

Vehicle Classification, Treadle, Wheel Width & Tread, ITS  
차종 분류, 답판, 윤폭, 윤거, 지능교 통

\* 전남대학교 전자컴퓨터공학과(hamsum@gmail.com)

\*\* 전남대학교 전자컴퓨터공학과(ds1gor@naver.com)

\*\*\* 교신저자 : 전남대학교 전자컴퓨터공학부

• 접수 일 : 2016. 05. 25

• 수정완료일 : 2016. 06. 13

• 게재확정일 : 2016. 06. 24

• Received : May. 25, 2016, Revised : Jun. 13, 2016, Accepted : Jun. 24, 2016

• Corresponding Author : Bae-Ho Lee

Dept. of Electronics & Computer Engineering, Chonnam National University

Email : bhlee@chonnam.ac.kr

## I. 서론

고속도로나 외곽순환도로와 같은 유료 도로 상의 요금징수시스템, 즉 TCS( Toll Collect System) 와 ETCS( Electronic TCS)에서는 통행 차량의 차종을 자동으로 분류하는 차종 분류 장치가 필요 된다. 이러한 차종 분류 장치의 차종 정보는 요금 부스 혹은 통합차로제어기에 제공하여, 요금 정산 시의 차량 정체 시간을 최소화 시킨다.

차종 분류 장치의 종류는 레이저를 이용하여 차고의 높이를 측정하는 방식[1], 루프와 피에조 센서를 이용하여 축수와 차장을 측정하는 방식[2-3], 카메라 영상과 차량 모델링 데이터를 이용하여 측정하는 방식[4-5] 마지막으로 답판(Treadle)를 이용하여 윤거, 윤폭, 축수를 측정하는 방식으로 크게 분류 할 수 있다. 그러나 답판 방식을 제외한 측정 방식은 눈이나 비와 같은 환경 조건에 민감하며, 또한 그 차종 분류 정확도 오차가 답판에 비교하여 상대적으로 커서, 국내에서는 일반 도로 상의 통행 차량 통계에만 이용되며 실제 요금 장비에서는 적용되지 않고 있다.

답판을 이용한 차종 분류 방식은 차량을 진입과 진출을 검출하는 차량 분리기와 같이 사용되며, 차량분리기의 정보와 답판에서 출력되는 일련의 신호와 같이 차량의 윤거와 윤폭 그리고 축수를 생성 한 후, 각 차종에 따른 기준과 비교하여 차종을 결정한다. 이러한 답판은 국내의 점접 스위치를 이용한 방식[6]과 국외의 저항 소자를 이용한 방식[7]으로 크게 구분할 수 있다.

답판은 차량 통과 시, 차량 무게와 속도에 비례하는 충격에도 파손되지 않도록 견고한 구조로 설계되어 있고, 일반 차로에 비해 충격량이 큰 ETCS 차로와 화물차 전용차로에서의 최대 충격량이 그 기준으로 반영되어 있다.

그러나 최근 한국도로공사가 추진하여 시행 중인, 화물차 ETCS 혼용 차로는 화물차가 정차 없이 고속으로 답판을 통과하게 되므로, 설계 기준치 보다 높은 충격량이 답판에 가해지게 되며, 결국 기존 기준으로 설계된 답판은 파손 빈도가 점차 증가될 것으로 예상된다.

점접 스위치와 저항 소자를 이용한 답판 방식은 그 감지 소자가 차량의 물리적인 충격에 그대로 노출되며, 따라서 설계 기준치, 이상의 충격이 가해졌을 때, 감지 소자의 수명이 급격히 단축 된다. 이에 비교하여, H사

에서 신규로 개발된 무접점 답판 센서는 적외선 광 소자 배열을 적용한 방식으로 차량의 물리적 충격이 감지 소자에 전달되지 않도록 설계되어 내구성과 수명을 향상 시킨 장비이다[8]. 하지만 그 방식의 차이로 기존 답판 제어기와는 호환이 불가능하며, 따라서 이에 맞는 새로운 제어 알고리즘이 필요 된다.

본 논문에서는 이러한 무접점 답판 센서의 신호 패턴을 분석하고, 유효 신호의 추출 그리고 최적 윤폭 / 윤거를 계산하는 알고리즘을 제안하였으며, 현장 실험을 통해 추후 차종 분류 장치 적용에 대한 가능성을 보였다[9-11].

## II. 무접점 답판 센서

### 2.1 기구 구성

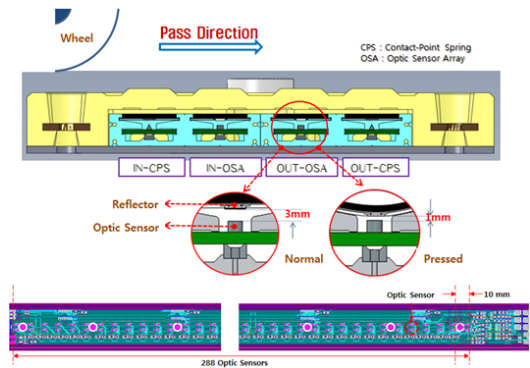


그림 1. 무접점 답판 센서 단면 및 광센서 배치

Fig. 1 Non-contact treadle sensor's cross section

그림 1에 보인 무접점 답판 센서는 차량 바퀴의 진입/진출 시점을 알기위한 스프링 부와 차량의 윤폭과 윤거 정보를 획득하기 위한 광센서 부로 구성되어 있다. 광센서 부는 10 mm 간격으로 횡 방향으로 배열된 288개 센서로 구성되어 있으며, 이는 진입/진출 방향으로 그 배열을 이중화하여, 불량 혹은 파손에 대비하였다. 이는 차량이 무접점 답판을 통과 할 때, 반사판이 붙어있는 SUS 판이 가역 범위 내의 힘이 발생하고, 이때 광 송신 정보가 반사판에 반사되어 수신되는 원리를 이용한 것으로 물리적 충격이 광센서에 직접적으로 발생하지 않아, 내구성을 향상 시킬 수 있다.

## 2.2 하드웨어 구성

무접점 답판의 광센서 부는 각 48 채널 광센서 모듈로 분리 설계되어 있고, 총 모듈 6장이 직렬로 연결되어 있다. 또한 각 모듈은 8 비트 시프트 레지스터가 직렬로 6개가 연결되어 있으며, 각 입력 포트에는 10 mm 간격으로 설치된 적외선 센서의 출력이 각각 연결되어 있다. 이러한 구성으로 위 레지스터에 획득 신호(P/S)와 288번의 트리거 신호(CLK)를 주게 되면, 센서 열, 전체의 이미지 정보(SO)를 취득할 수 있다.

## 2.3 신호 패턴

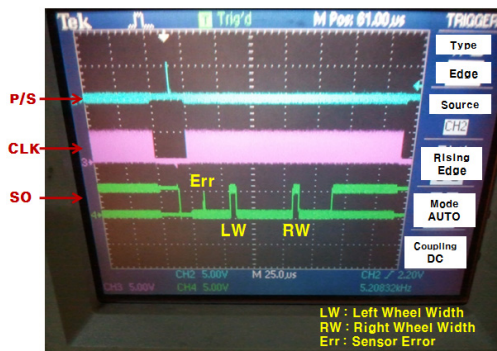


그림 2. 무접점 답판 센서 신호 출력

Fig. 2 Non-contact treadle sensor's signal output

그림 2에서는 무접점 답판 센서의 신호 출력을 보았다. 여기서 SO 신호가 HIGH 인 부분은 광 정보를 수신한 부분으로 이는 결국 차량의 좌/우 바퀴가 그 영역을 밟아 스프링의 힘이 발생한 것을 의미한다. 따라서 SO 신호의 HIGH 유지 영역을 CLK을 기준으로 계수하여, 각 바퀴의 윤폭과 바퀴간 거리인 윤거 정보를 취득할 수 있으며, 반복되는 패턴에 따라 센서 파손 영역을 추출 할 수도 있다.

## III. 제안된 윤폭 / 윤거 계산 알고리즘

### 3.1 전 처리

차종 분류 장치는 한국도로공사 기준으로 120 km/h 이하로 주행하는 차량의 차종 정보를 생성할 수 있어야 한다. 따라서 본 논문에서는 이 기준을 만족시키기 위

해, 윤폭/윤거 생성을 위해 필요한 최소한의 S1, S2 센서 배열 샘플 수를 5개로 가정하였고, 주행 방향으로 각 센서의 검지 폭이 3.4 cm 이므로, 120 km/h로 주행하는 차량은 그림 3에서와 같이 약 10 msec 정도 이 영역에 머무르게 된다. 따라서 최소의 센서 정보 획득 주기를 2 msec 로 결정할 수 있다.

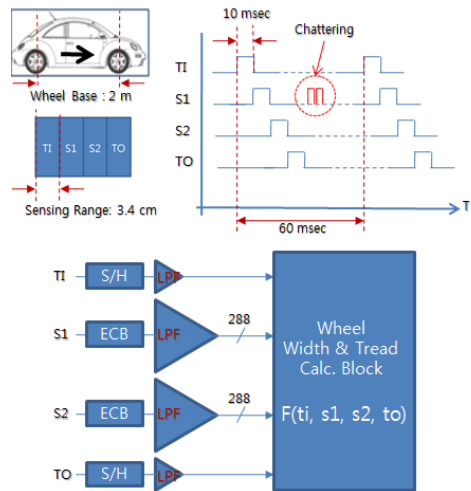


그림 3. 답판 신호 및 전처리 개념도

Fig. 3 Treadle signal & pre-processing diagram

또한 답판에서는 차량의 물리적 충격으로 인한 기구의 진동이 축 통과 이후에도 발생할 수 있으며, 이는 센서의 영향을 주어, 차량의 축수 혹은 진출 방향 계산에 오류를 야기할 수 있다.

일반적인 1종 차량의 축거가 2m라고 가정하면, 120 km/h 주행 시, 앞/뒤축으로 인한 유효 정보 발생 간격은 약 60 msec 이다. 따라서 유효 정보는 20 hz 이하로 발생하며, 이 이상의 신호는 물리적인 충격에 의해 발생하는 무효 정보라 판단할 수 있다. 따라서 20 hz 이하의 정보만 통과시키기 위해, 저역통과필터(LPF : Low-Pass Filter)를 각 신호 처리 앞 단에 적용하였고, 이후 필터링 된 결과가 윤폭/윤거 계산을 위한 함수 블록으로 입력된다. 단, S1, S2등의 센서 배열 정보는 예외 처리 정보를 포함 할 수 있기 때문에, 필터 전 단인 ECB(: Exception Control Block)에서 이에 대한 처리를 우선하였다.

### 3.2 신호 패턴 분석

그림 4에서는 무접점 답판의 센서 배열 (S1/S2) 에서 얻은 필터링 된 288 개의 광센서 정보를 센서 4개 당, 하나의 16 진수로 표현하여, 이를 시간 순으로 정렬하여 보였다. 각 16 진수의 크기는 감지된 센서의 개수로 “003f ffe0”는 총 15개의 센서가 감지된 것을 의미한다. 예로 보인 그림에선 주행 중인 1종 차량의 앞바퀴에 대한 정보로 좌측과 우측 바퀴로 인해 각 영역에 일정 개수의 센서가 감지되어 있는 것을 확인 할 수 있다.

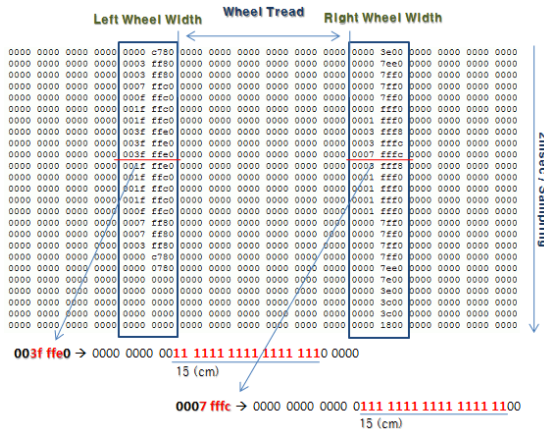


그림 4. 무접점 답판 센서 출력 샘플링 정보

Fig. 4 Non-contact treadle’s output sampling

각 센서 샘플링 정보는 ECB에 입력되어, 보정된 센서 배열 및 좌측 바퀴 시작 위치 그리고 우측 바퀴 시작 위치 정보로 출력되며, 이와 식(2) 그리고 식(3)를 통해 샘플링 시점의 바퀴 윤곽과 윤거를 구할 수 있다.

$$ECB(BS_t) = [CBS_t, IDX_L, IDX_R] \quad (1)$$

$$WW_L = \sum_{i=IDX_L}^{144} BS(i), WW_R = \sum_{i=IDX_R}^{288} BS(i) \quad (2)$$

$$WT = (IDX_R - IDX_L) + \frac{(WW_R - WW_L)}{2} \quad (3)$$

- \* BS : Bit Stream
- \* CBS : Corrected Bit Stream
- \*  $IDX_{L/R}$  : (Left / Right) Wheel Start Index
- \*  $WW_{L/R}$  : (Left / Right) Wheel Width
- \* WT : Wheel Tread

또한 그림 4에서 시간에 따라 감지되는 센서의 개수가 증가에서 감소로 변화되는데, 이러한 특징은 주행 차량 바퀴와 센서 영역의 접촉면이 시간에 따라 변화하는 것을 의미하며, 결국 차량 바퀴가 센서 영역에 완전히 접촉하였을 때, 감지된 센서 개수가 가장 많다는 것을 확인할 수 있다.

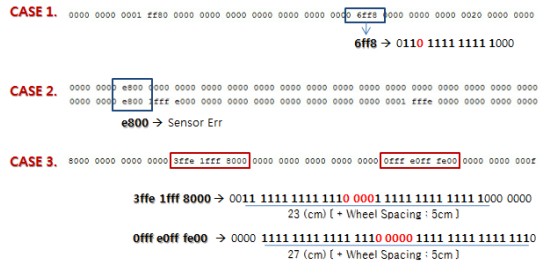


그림 5 예외 감지 패턴

- [Case 1. 버블 애러 / Case 2. 상시 감지 애러 / Case 3. 복륜 바퀴]

Fig. 5 Exception of sensing pattern

- [Case 1. Bubble Error / Case 2.. Constant Detect Error / Case 3. Dual Tire Wheel]

### 3.3 예외 처리

답판 센서에서 입력된 정보들은 다양한 원인에 의해 그림 5와 같이 비정상적인 패턴을 보이는 경우가 생긴다. ECB에서는 이러한 패턴을 보정하여, 좌측/우측 바퀴에 대한 전처리 정보를 출력하는 역할을 담당한다.

#### 3.3.1 버블 애러 정정

타이어의 공기량, 주행 특성, 자체 불량 등의 여러 이유로 차량 바퀴에 접촉하는 답판 영역에서 광센서 반사판에 가해지는 힘이 균일하지 않아, 그림 6과 같이 접촉 영역 내에 미 감지 부분이 마치 물방울처럼 존재하게 된다. 이와 같은 버블 애러 처리 단계는 다음과 같다.

- STEP 1 - 센서 정보에서 좌에서 우 방향으로 검색하고, '1'이 검색된 지점을 Index로 저장한다.
- STEP 2 - 검색된 '1' 다음 위치의 값이 '1'일 경우, 그 위치 값으로 Index 를 변경한다.

STEP 3 - 값이 '0' 일 경우, 현 위치에서 차수 위치까지 '1' 존재하면, 그 사이 값을 '1'로 변경하며, 존재 하지 않으면, 현 Index 값에 차수를 더한다.

STEP 4 - [ STEP 1 ~ STEP 3 ] 과정을 Index가 288보다 작을 때까지 반복한다.

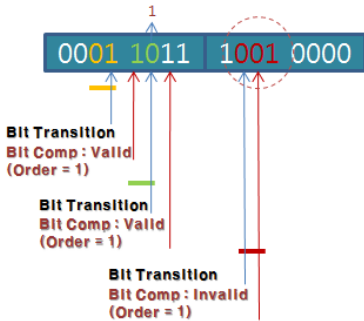


그림 6. 버블 에러 정정 (차수 : 1)  
Fig. 6 Bubble error correction

현장 실험을 통해 버블 에러 발생 시, 대부분의 경우 접촉 영역에서 미 감지 개수는 1 이상의 값이 발생하지 않는 것을 확인하였다. 또한 차수를 2 이상으로 설정할 경우, 불규칙적으로 계산 윤폭이 실제 윤폭보다 크게 나오는 오류가 발생하는 것을 확인하여, 따라서 최종 차수는 1로 적용하였다.

### 3.3.2 상시 감지 에러 정정

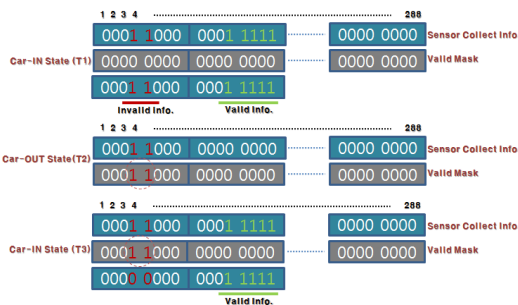


그림 7. 상시 감지 에러 정정  
Fig. 7 Constant detect error correction

답판은 초기 불량 혹은 노후에 의한 반사판 파손으로 바퀴가 접촉되지 않은 영역에서 상시 감지 상태가 유지되는 경우가 있다. 일단 이런 상태가 발생되면, 오감지는 계속 유지되며, 시간에 흐름에 따라 그 영역이 확장되기도 한다. 이는 윤폭과 윤거 그리고 축수 계산에 큰 오류로 작용할 수 있기 때문에, 이러한 영향을 최소화 하는 처리가 필요하다.

위 에러의 정정은 차량 진출 시에도 감지를 계속 유지하고 있는 센서 위치를 유효 마스크 배열에 저장하고, 다음 차량이 진입 시에 발생하는 정보와 XOR 처리하며, 그 결과를 다음 단계로 전달하는 과정을 반복하는 것으로 수행된다. 또한 이러한 오 감지는 차량의 충격에 따라 정상 상태로 천이를 반복할 수 있기 때문에 마스크 배열의 내용은 초기화되지 않아야 한다. 그림 7에는 T1-T2-T3 단계를 거치며, 상시 감지 에러를 정정하는 예를 보였다. 이 방식은 단순하고, 동작 초기에는 에러의 영향이 발생하지만, 차량 통과 대수가 누적됨에 따라 점차적으로 보정되는 특징을 가지고 있다.

### 3.3.3 복륵 바퀴 처리

화물차 혹은 버스 같은 차량은 첫 축을 제외한 나머지 축의 각 바퀴가 일정 공백을 갖는 2열 형태의 복륵을 사용한다. 따라서 이런 차량이 통과할 경우, 그림 8에서와 같이 1열부터 4열까지 총 4개의 감지 영역이 발생한다. 따라서 1열과 2열은 좌측 바퀴, 3열과 4열은 우측 바퀴를 의미한다. 한국도로공사에서는 2종과 3종의 구분하기 위한 최대 윤폭을 복륵의 각 열과 공백을 더한 전체 길이로 취급한다. 때문에 일반 바퀴와 다르게 열을 합치는 예외 처리가 필요하다.

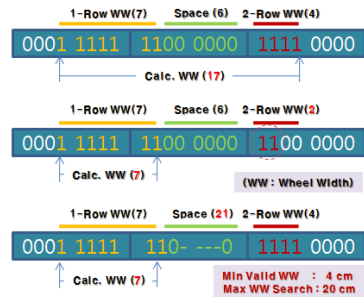


그림 8. 복륵 바퀴 윤폭 계산  
Fig. 8 Wheel width processing for dual tire



복륜 바퀴의 열간 공백(이후 열간 공백)을 윤폭 계산에 포함시키기 위해서, 최소 열간 공백과 최소 윤거 그리고 최소 윤폭에 대한 기준이 필요하다. 본 논문에서는 국내에서 가장 작은 경차의 재원을 기준으로 최소 윤폭을 4cm, 최소 윤거를 100 cm로 정하였고, 1종 소형 화물차를 기준으로 최소 열간 공백을 5 cm로 정하였다. 이를 통해 감지 영역간 거리가 최소 열간 공백 이상이며, 최소 윤거 이하 일 경우, 그 거리와 각 감지 영역의 총 합을 복륜 바퀴의 윤폭으로 산정하며, 최소 윤거 이상일 경우에는 윤거로 취급한다. 단, 센서 오검지가 발생할 경우, 이러한 처리로 윤폭 값이 실제보다 커지는 문제가 발생 할 가능성이 있기 때문에, 최소 윤폭 이하의 감지 영역은 무효 정보로 취급하고 위 처리를 생각한다.

3.4 대표 윤폭 / 윤거 선택

바퀴와 답판의 접촉되는 순간, 2 msec 간격으로 이전 장에서 언급한 단계별 처리를 통해, 윤폭과 윤거 정보가 생성된다. 이렇게 발생된 다수 개의 윤폭과 윤거 정보들은 바퀴의 접촉 상태에 따라 그 값이 변화하기 때문에, 실제 차량 바퀴와 가장 근사치의 정보를 획득할 수 있는 기준이 필요하게 된다.

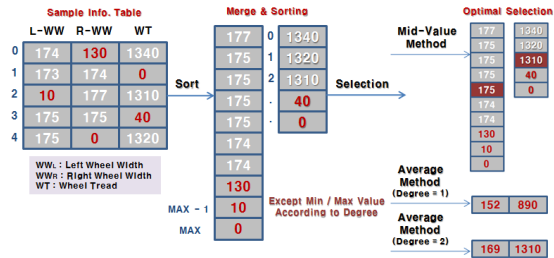


그림 9. 최적 윤거 / 윤폭 취득

Fig. 9 Optimal wheel width & tread acquisition

$$WW_{AVG(1)} = \frac{\sum_{i=0}^{MAX-1} ww(i)}{max-1} = 152$$

$$WT_{AVG(1)} = \frac{\sum_{i=0}^{MAX-1} wt(i)}{2 \cdot (max-1)} = 890$$

$$WW_{AVG(2)} = \frac{\sum_{i=0}^{MAX-2} ww(i)}{max-2} = 169$$

$$WT_{AVG(2)} = \frac{\sum_{i=0}^{MAX-2} wt(i)}{2 \cdot (max-2)} = 1310$$

$$WW_{MID} = ww \left( \frac{MAX}{2} \right) = 175$$

$$WT_{MID} = wt \left( \frac{MAX}{4} \right) = 1310$$

최적 윤폭/윤거 선정을 위해 취득된 좌/우 윤폭과 윤거들을 내림차순으로 정렬하고, 이를 중간 값 방식과 평균 값 방식으로 대입하는 실험을 통해 각각의 결과를 비교하여, 그림 9에 보였다. 평균 값 결정 방식의 경우, 차수에 따른 최대/최소 값을 제외한 나머지 값들을 평균 내는 방식으로 보다 정확도를 높일 수 있으나, 식(4)와 식(5)와 같이 계산 오류 샘플이 차수를 통해 제외되지 않을 경우에는 실제 값과 큰 차이를 갖는 단점이 있다. 또한 중간 값 결정 방식의 경우, 잡음 성분이 처리되지 않은 정보를 선택할 수 있지만, 식(6)과 같이 계산 오류 샘플이 비교적 많은 경우에도 큰 오차를 방지할 수 있는 장점이 있다. 실제 차종 분류에서 차종 간 윤폭/윤거의 범위는 큰 정확도를 요구하지 않기 때문에, 본 논문에서는 윤폭/윤거 대표 값의 안정적인 선정에 우선하여, 중간 값 선정 방식을 최종 선택하였다.

IV. 실험

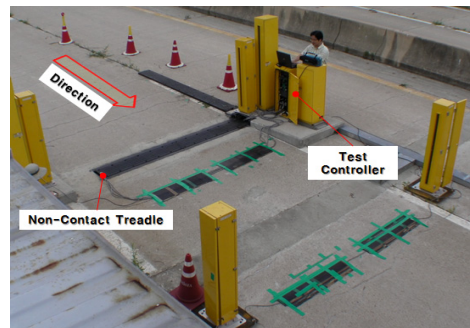


그림 10. 실험 환경

Fig. 10 Experimental environment

제안된 윤폭/윤거 획득 알고리즘을 검증하기 위해서, 그림 10에 보인 것과 같이 지방의 한 무인 도로에 무접점 답판을 포함한 관련된 장비를 설치하였다. 또한 6종(경차, 1종(승용차), 2종(미니버스), 3종(중형화물) 차량을 각 1 대 씩, 40 km/h ~ 80 km/h 사이의 정속으로 100 회 반복해서 주행 통과 실험을 하여, 산출된 각 차종별 윤폭 / 윤거 정보를 제작된 프로그램을 통해 수집

하였으며, 그 결과를 분석하였다.

그림 11은 수집된 정보를 차종 별로 분류한 그래프를 보였고, 표 1에서는 그 분석 정보를 수치화하여 나타 내었다. 제안된 방식을 통해 산출된 윤폭과 윤거는 차종에 따라 그래프 상에서 분명한 차이를 보였으며, 실제 각 차종의 재원과 비교하여 각각 최대 약 ± 2 cm, ± 8cm 오차를 보였다. 또한 정확도는 윤폭은 98% 그리고 윤거는 97% 이상으로 계산되었다. 3종 중형 화물차 윤거의 경우는 비교적 큰 최대 20 cm의 오차가 발생하였는데, 이는 적재함에 화물이 없는 관계로 뒷바퀴 측이 가볍게 되어, 복륜 바퀴의 열이 최소 윤폭이바로 감지된 경우로 분석되었다.

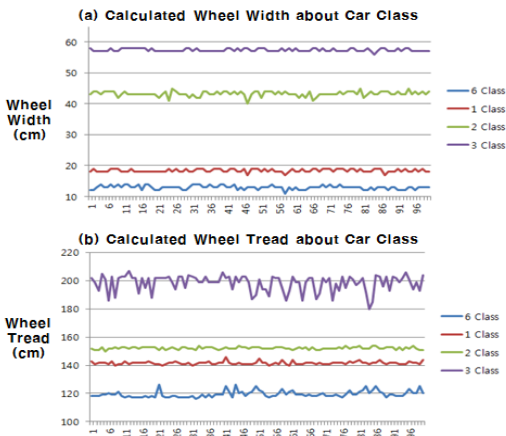


그림 11. 실험 결과

Fig. 11 Experimental result

이 현장 실험 결과를 통해, 제안된 방식이 각 차종을 분류하기 위해 신뢰성 있는 윤폭/윤거 정보를 제공할 수 있고, 따라서 이를 통해 무접점 답판 센서를 사용한 차종 분류 장치에 적용이 유효함을 증명하였다.

### V. 결 론

본 논문은 무접점 답판 센서의 신호를 획득/분석/보정/선택 단계를 통해 차종 분류 장치에 적용 가능한 윤폭/윤거 산출 알고리즘을 제안하였다. 제안된 방식은 기구적/하드웨어의 예외적인 오류를 포함한 각 처리를 최대한 단순화 시켜, 고속의 차량 주행에도 충분한 원

신호를 획득할 수 있었다. 또한 이를 바탕으로 신뢰성 있는 윤폭/윤거 값을 산출할 수 있었고, 현장 실험과 분석을 통해 그 유효성을 증명하였다.

이 후, 본 논문에서 고려되지 않은 아래와 같은 예외적인 상황에 대한 추가 연구가 필요하다.

- 1) 실제 장비 운영 중에 발생할 수 있는 차량 주행 패턴 및 바퀴 공기압 특성에 따른 오차의 보정 방법
- 2) 최근 재원이 1종과 유사해지는 6종 경차를 신뢰성 있게 구분할 수 있는 방법

마지막으로 이러한 예외상황에 대한 추가 연구 후에 실제 차종 분류 장치에 적용하고, 한국도로공사 6종 분류 기준을 만족시키는 작업이 별도로 요구된다.

표 1. 윤폭 / 윤거 산출 정확도

Table 1. Wheel width & tread acquisition accuracy

Class	AWW	CAWW	Accuracy(%)
6	13	12.82	98.61
1	18	18.20	98.85
2	43	42.82	99.58
3	57	56.79	99.63
Class	AWT	CAWT	Accuracy(%)
6	119	118.07	99.22
1	142	140.39	98.85
2	152	150.84	99.23
3	202	196.43	97.16

\* AWW : Actual Wheel Width

\* AWT : Actual Wheel Tread

\* CAWW : Calculated Average Wheel Width

\* CAWT : Calculated Average Wheel Tread

### References

[1] J. Oh, K. Jang, and M. Kim, "Improvement of Vehicle Classification Method using Vehicle Height Measurement," *J. of the Korean Society of Road Engineers (KSRE)*, vol. 12, no. 4, Dec. 2010, pp. 47-51

[2] S. Kwon and Y. Seo, "New Vehicle

Classification Algorithm with Wandering Sensor," *The J. of Korean Society of Transportation (JKST)*, vol. 27, no. 6, Dec. 2009, pp. 79-87.

- [3] S. Cho, D. Lee, and S. Ruy, "A Study on Efficient Vehicle Classification based on 3-Piezo Sensor AVC SYSTEM," *J. of the Institute of Internet, Broadcasting and Communication (IIBC)*, vol. 13, no. 3, June 2013, pp. 25-31
- [4] S. Fazli, S. Mohammadi and M. Rahmani, "Neural Network based Vehicle Classification for Intelligent Traffic Control," *Int. J. of Software Engineering & Applications (IJSEA)*, vol. 3, no. 3, May 2012, pp. 17-22
- [5] S. Messelodi, C. Modena and G. Cattoni, "Vision-based bicycle / motorcycle classification," *Pattern Recognit. Lett.*, vol. 28, no. 13, Oct. 2007, pp. 1719-1726.
- [6] T. Shin, "A vehicle classification system using a treadle for vehicle driving in multi-lane," *Korean Intellectual Property Office (KIPO)*, July 2013, patent application no. 10-2013-0089994,
- [7] W. Zhang, Q. Wang, and C. Suo, "A Novel Vehicle Classification Using Embedded Strain Gauge Sensors," *Int. J. of Sensors*, vol. 8, no. 11, Nov. 2008, pp. 6952-6971
- [8] S. Jang and Y. Kim, "Vehicles classification apparatus of non contacting type," *Korean Intellectual Property Office (KIPO)*, February 2012, patent application no. 10-2012-0019455
- [9] K. Jang and S. kwak, "Fast Center Lane Detection Method for Vehicle Applications," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 9, no. 6, 2014, pp. 649-656.
- [10] K. Park and H. Kim, "A Study for Video-based Vehicle Surveillance on Outdoor Road," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 8, no. 11, 2013, pp. 1647-1653.
- [11] H. Kim, J. Park, K. Kim, and J. Do, "A Vehicle Detection and Tracking Algorithm Using Local Features of The Vehicle in Tunnel," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 8, no. 8, 2013, pp. 1179-1186.

저자 소개

**서연곤(Yeon-Gon Seo)**



2000년 서경대학교 컴퓨터공학과 졸업(공학사)  
2003년 광운대학교 제어계측공학과 졸업(공학석사)

2015년 ~ 현재 전남대학교 대학원 전자컴퓨터공학과 박사과정  
※ 관심분야 : 차종분류장치, 교통 VDS, ITS, 인공지능, 신호처리 등

**류창국(Chang-Guk Lew)**



1991년 청주대학교 전자공학과 졸업(공학사)  
2001년 한국항공대학교 항공산업대학원 정보통신공학과 졸업(공학석사)

2014년 ~ 현재 전남대학교 대학원 전자컴퓨터공학과 박사과정  
※ 관심분야 : 음성신호처리, 영상신호처리, ITS, CCTV, u-City 등

**이배호(Bae-Ho Lee)**



1978년 한양대학교 전자학과 졸업(공학사)  
1980년 한국과학기술원 대학원 전기 및 전자공학과 졸업(공학석사)

1993년 University of Missouri, Columbia 졸업(공학박사)  
1980년 ~ 1983년 국방과학연구소  
1993년 ~ 현재 전남대학교 전자컴퓨터공학부 교수  
※ 관심분야 : 영상처리, 컴퓨터비전, 인공지능, 멀티미디어 등