(뒷면) (옆면) (앞면)

3㎝

17TBIP-C111191-02

4㎝

국토교통기술사업화 지원사업

최종보고서

(견고딕 14p)

2017

(견고딕13p)

국토교통부 국토교통과학기술진흥원

(견고딕 17p)

국토교통 R&D Report

(견고딕 25p)

3㎝

보안 과제( ), 일반 과제(O) / 공개(O), 비공개( )

국토교통기술사업화 지원사업 최종 보고서(견고딕 13p)

3㎝

0.5㎝ R&D / 17TBIP-C111191-02

2.5㎝ 9㎝

(견고딕31p) 5㎝

주행차량 중량측정을 위한 매트릭스 WIM 센서 시스템 실용화 연구

최종보고서

(0.1㎝)

2018.04.27.

0.15㎝ (견고딕15p)

주관연구기관 / (주)인펙비전

공동연구기관 / 전북대학교

위탁연구기관 / (주)와이투텍

2㎝

(견고딕 15.5p)

국토교통부

(전문기관) 국토교통과학기술진흥원

(견고딕 20p)

2. 제출문

제 출 문

국토교통과학기술진흥원 원장 귀하

‘주행차량 중량측정을 위한 매트릭스 WIM 센서 시스템 실용화 연구
’(연구개발 기간 : 2016. 04.27 ~ 2017.10 .26) 과제의 최종보고서를 제출합니다.

2018 . 04 . 27 .

주관연구기관명 : (주)인펙비전 강 현 인 (인)
위탁기관명 : (주)와이투텍 최 대 순 (인)
공동연구기관명 : 전북대학교 산학협력단 이 철 로 (인)

주관연구기관책임자: 강 현 인
공동연구기관책임자: 이 재 준
위탁연구기관책임자: 홍 규 장

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제38조에 따라 최종보고서 열람에 동의합니다.

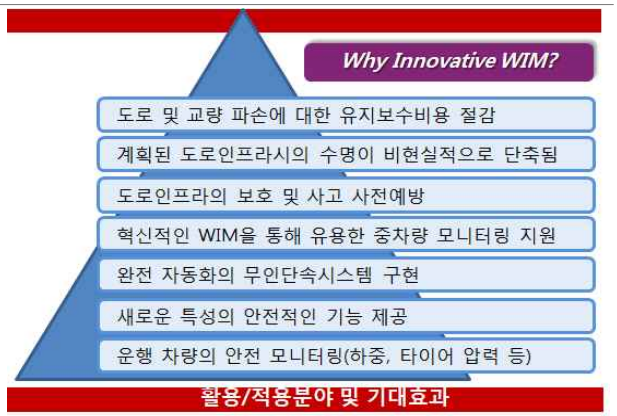
3. 보고서 요약서

보고서 요약서

<table>
<tr><td>과제 고유 번호</td><td>17TBIP-C111
191-02</td><td>해당 단계
연구 기간</td><td>2017.02.27.~
2017.10.26</td><td>단계구분</td><td>2차년도/
2차년도</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구사업명</td><td>중사업명</td><td colspan="4">국가연구개발사업</td></tr>
<tr><td>세부사업명</td><td colspan="4">국토교통기술사업화 지원사업</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구과제명</td><td>대과제명</td><td colspan="4">주행차량 중량측정을 위한 매트릭스 WIM 센서 시스템 실용화 연구</td></tr>
<tr><td>세부과제명</td><td colspan="4">주행차량 중량측정을 위한 매트릭스 WIM 센서 시스템 실용화 연구</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구책임자</td><td rowspan="2">강현인</td><td>해당단계
참여
연구원 수</td><td>총: 27 명
내부: 27 명
외부: 명</td><td>해당단계
연구개발비</td><td>정부:496,000천원
기업:380,000천원
정부 외: 천원
계:876,000천원</td></tr>
<tr><td>총 연구기간
참여
연구원 수</td><td>총: 27 명
내부: 27 명
외부: 명</td><td>총 연구개발비</td><td>정부:496,000천원
기업:380,000천원
정부 외: 천원
계:876,000천원</td></tr>
<tr><td>연구기관명 및
소속 부서명</td><td colspan="3">(주)인펙비전
기업부설연구소</td><td colspan="2">참여기업명
전북대학교 산학협력단</td></tr>
<tr><td>국제공동연구</td><td colspan="3">해당사항없음</td><td colspan="2">해당사항 없음</td></tr>
<tr><td>위탁연구</td><td colspan="3">연구기관명:(주)와이투텍</td><td colspan="2">연구책임자:홍규장</td></tr>
<tr><td colspan="4">▪ 도로파손의 주요요인으로 알려진 과적차량은 계중기 및 저속 축중기를 사용하는 현행 단속체계의 지속적인 운용에도 불구하고 감소하지 않고 있는 실정임
▪ 이러한 현실을 극복하기 위해 국내 도로관리의 주요기관인 국토교통부 등은 고속축중기(고속 WIM 시스템)를 활용하여 중량제한기준 위반차량(과적차량)의 단속을 위한 연구 및 시범사업 등을 꾸준히 추진하였으나 실용화에는 어려움을 겪고 있음
▪ 이에 본 과제에서는 해외선진기업에서 개발한 신개념의 프로토타입 고속 WIM 센서를 활용하여 국내 특성에 적합한 고속 WIM 센서로 개발하고 검증함으로써 선진 과적차량 단속시스템 기술을 확보하고 궁극적으로는 국내 과적차량 단속 업무의 효율성을 제고함과 더불어 과적차량 무인단속시스템의 해외 수출 기회 확보하고자 함</td><td colspan="2">보고서 면수</td></tr>
</table>

4. 국문 요약문

<table>
<tr><td>연구의
목적 및 내용</td><td>❍ 연구의 목적
▪ 도로파손의 주요요인으로 알려진 중량제한기준 위반차량은 계중기 및 저속축중기를 사용하는 현행 단속체계의 지속적인 운용에도 불구하고 감소하지 않고 있는 실정임
▪ 이러한 현실을 극복하기 위해 국내 도로관리의 주요기관인 국토교통부 등은 고속 WIM을 활용하여 중량제한 기준 위반차량의 단속을 위한 연구 및 시범사업을 추진하였으나, 실용화에 어려움을 겪고 있음
▪ 본 기술사업화 지원사업에서는 해외 고속 WIM 연구사업에 다수 참여한 전문적인 기술을 가지고 있는 선진기업에서 개발한 신개념의 프로토타입 고속 WIM 센서를 활용하여 국내 특성에 적합한 고속 WIM 센서로 개발하고 검증함
▪ 또한, 본 기술사업화 지원사업에서 개발된 고속 WIM 센서와 과적단속에 필요한 주요 장치를 실험도로에 설치하여 실제 단속업무에 적용가능 여부를 검증함

❍ 연구 내용
▪ 중량제한기준 위반차량 단속 관련 연구 및 현황에 대한 조사 및 검토
▪ 고속 WIM 센서의 현지화 : 국내의 기후환경, 도로포장, 국내 차량의 특성과 국내 중량제한기준에 적합한 센서 및 제어시스템 개발
▪ 고속 WIM 센서의 현장실험 : 중량제한기준 위반차량의 단속을 위한 WIM 센서, 차량번호판 인식장치, CCTV, 컨트롤러, 통신장치 등의 설치 및 관제시스템으로부터 자료 수집
▪ 중량제한기준 위반차량 단속 시스템의 평가 : 측정 정확도 및 시스템 운영의 적합성 평가</td></tr>
<tr><td>연구개발성과</td><td>▪ 주요 결과물
- 한국형 저·고속 주행차량 축하중 계측 센서(Sensor)
- 센서 신호처리 및 중량정보 생성 시스템
- 관제 시스템(정보 분석 및 리포팅 프로그램 등)
- 고속 주행 과적차량 단속시스템 평가 보고서
▪ 연구 성과
- 과적차량 단속 업무의 효율성 제고
► 과적차량 단속과정에서 피단속자와 민원 발생 감소 및 신뢰도 향상
► 과적차량 단속원의 신분적 제약 해소
► 과적차량 단속자료 처리의 자동화
- 선진 과적차량 단속시스템 기술 확보
► 과적차량 무인단속시스템 기술의 현장 적용 사례 확보
► 과적차량 무인단속시스템의 해외 수출 기회 확보</td></tr>
<tr><td>연구개발성과의
활용계획
(기대효과)</td><td>▪ 본 기술사업화 지원사업 결과물의 적용은 향후 국내 도로수명의 연장과 안전한 도로교통문화 확립에 기여할 수 있으며, 또한 중량제한기준 위반차량 단속기술의 선진화를 해외에 알리고 기술 및 제품 수출도 기대할 수 있음
 
</td></tr>
<tr><td>핵심어
(5개 이내)</td><td>매트릭스 형태의 WIM 센서</td><td>트럭과 축하중 단속</td><td>다차로 자유교통류 WIM</td><td>과적차량 번호판 자동인식</td><td>스마트 요금징수 시스템</td></tr>
</table>

5. 영문 요약문

〈 SUMMARY 〉

Purpose & Contents	❍ Purpose ▪ The vehicles that violate the weight limit criteria known as the main factor of road damage are not decreasing despite the continuous operation of the current truck enforcement system using the truck-scale and low-speed WIM system ▪ In order to overcome this problem, the Ministry of Land, Infrastructure and Transport(MOLIT), which is a major organization of road management in Korea, has been carrying out research and pilot project for the control of truck violating the weight limitation by using HS-WIM but has failed to put them into practical use. ▪ In this technology development project, we develop and verify a high speed WIM sensor suitable for domestic characteristics by using prototype WIM sensor developed by a leading company that has a lot of expertise in overseas WIM research projects. ▪ In addition, the high speed WIM sensor developed in this technology project and the main devices required for overloaded enforcement system are installed on the road, and it is verified whether it is applied to the actual enforcement work. ❍ Contents ▪ Investigation and review of researches and status related to the overloaded truck monitoring and enforcement system ▪ Localization of high-speed WIM sensor: Development of sensor and control system suitable for domestic climate environment, road pavement, characteristics of domestic vehicle and domestic weight limitation standard ▪ Application of high-speed WIM sensor: – Installation of WIM sensors, license plate recognition system, CCTV, controller, communication device, etc. for overloaded truck enforcement – Data collection from control system ▪ Assessment of Truck Enforcement System for violation of weight limit criteria: Evaluation of measurement accuracy and suitability of system operation
Results	❍ Major outputs ▪ Low speed and high speed combined WIM sensor ▪ Sensor signal processing and weight information generation system ▪ Control system (weight-related information analysis and visualization reporting program etc.) ▪ Evaluation report of high-speed overloaded truck enforcement system ❍ Research achievement ▪ Increase the efficiency of overloaded truck enforcement task – Reduced complaints and increased credibility with driver during overloading enforcement – Eliminate the identity constraint of overload truck attendant – Automated data processing for overloaded truck enforcement ▪ Obtain advanced technology for overload truck control system – Securing case application of the automated overloaded truck enforcement technology – Secured overseas export opportunities for the automated over -loaded truck enforcement system
Expected Contribution	▪ The application of the results of this technology project can contribute to the extension of the life span of domestic roads and the establishment of a safe road traffic culture. ▪ In addition, it will be able to inform overseas countries of the advancement of domestic technology on the truck enforcement and to export technology and products.

Expected Contribution					
Keywords	High speed Weigh-in-Motion accurate matrix sensor system	Truck and axle Overload Enforcement	Multi-lane free flow traffic WIM	APLR automatic license plate reading for overloads	Smart tolling system

〈 CONTENTS 〉

1. Overview ····· 9
1.1 Objective of The Research ····· 9
1.2 Necessity of The Research ····· 10
1.3 Scope of The Research ····· 11
2. State of The Art ····· 12
2.1 Domestic Technology and Industry Trends ····· 12
2.2 Overseas Technology and Industry Trends ····· 19
3. Research Performance and Achievements ····· 26
3.1 Improving The Performance of WIM Sensor Systems ····· 26
3.2 WIM System Weight Calibration Scheme ····· 63
3.3 Function and Data Structure of WIM Program ····· 116
3.4 Components and Function of Overloaded Enforcement system ····· 126
3.5 Test-Bed and Experiment Planning ····· 160
3.6 Matrix WIM Sensor System Evaluation Result ····· 184
4. Achievement of Goal and Contribution to Relevant Field ····· 203
4.1 Achievement of goal ····· 203
4.2 Contribution to Relevant Field ····· 204
5. Utilization of R&D Achievement ····· 205
5.1 Promotion of Commercialization of Research Results ····· 205
5.2 Applied to Full Automatic Truck Enforcement System ····· 206
6. Overseas Science and Technology Information from R&D ····· 207
6.1 HS-WIM System Performance Evaluation Reports ····· 207
6.2 Information on Road Safety Technology in Europe Through The Application of HS-WIM System ····· 209
7. Security Level of R & D Achievement ····· 212
8. Status of Research Facilities and Equipment Registered at NTIS ····· 213
9. Implementation of safety Measures on R & D Tasks ····· 214
10. Representative Research Achievements ····· 215
11. Other Related Issues ····· 216
12. References ····· 217

〈 목 차 〉

1. 연구개발과제의 개요 ····· 9
1.1 연구개발 목적 ····· 9
1.2 연구개발의 필요성 ····· 10
1.3 연구개발 범위 ····· 11
2. 국내외 기술 개발 현황 ····· 12
2.1 국내 기술 및 산업 동향 ····· 12
2.2 국외 기술 및 산업 동향 ····· 19
3. 연구 수행 내용 및 성과 ····· 26
3.1 WIM 센서 시스템의 성능 개선 ····· 26
3.2 WIM 시스템 중량 보정 및 교정 방안 ····· 63
3.3 WIM 프로그램의 기능 및 데이터 구조 ····· 116
3.4 과적단속시스템의 구성 및 기능 ····· 126
3.5 테스트베드 구축 및 실험계획 ····· 160
3.6 매트릭스 WIM 센서 시스템 시험평가 결과 ····· 184
4. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도 ····· 203
4.1 목표 달성도 ····· 203
4.2 관련 분야 기여도 ····· 204
5. 연구개발성과의 활용 계획 ····· 205
5.1 연구성과물의 상용화 추진 ····· 205
5.2 무인과적단속업무에 적용 ····· 206
6. 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보 ····· 207
6.1 고속축중기 성능검증 및 평가 관련 보고서 정보 ····· 207
6.2 고속축중기 적용을 통한 유럽의 도로안전 기술정보 ····· 209
7. 연구개발성과의 보안등급 ····· 212
8. 국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설 · 장비 현황 ····· 213
9. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적 ····· 214
10. 연구개발과제의 대표적 연구 실적 ····· 215
11. 기타 사항 ····· 216
12. 참고 문헌 ····· 217

제1장. 연구개발과제의 개요

1.1 연구개발 목적

- ❍ 도로 파손의 주요 요인으로 알려진 중량제한기준 위반 차량은 계중기 및 저속 WIM(Weigh-In-Motion, 이하 WIM)을 기반으로 하는 현행 단속체계의 지속적인 운용에도 불구하고 감소하지 않고 있는 실정임
- ❍ 이러한 현실을 극복하기 위해 국내 도로관리 주요 기관인 국토교통부 등은 고속 WIM을 활용하여 중량제한 기준 위반차량의 단속을 위한 연구 및 시범사업을 추진하였으나, 실용화하지는 못하고 있음
- ❍ 따라서 본 기술화지원사업에서는 해외 고속 WIM 연구 프로젝트에 다수 참여한 전문적인 기술을 보유하고 있는 선진기업에서 개발한 프로토타입의 WIM 센서를 활용하여 국내의 특성에 적합한 고속 WIM 센서를 개발하고 검증함
- ❍ 또한 본 기술화지원사업에서 개발된 고속 WIM 센서와 중량제한기준 위반 차량단속에 필요한 번호판인식시스템 등의 주요 장치를 실험도로에 설치하여 실제 단속업무에 적용 가능여부를 검증하고자 함
- ❍ 본 기술화지원사업 결과물의 적용은 향후 국내 도로의 수명 연장과 안전한 도로교통문화 확립에 기여할 수 있으며, 또한 국내 중량제한기준 위반차량 단속 기술의 선진화를 해외에 알리고 기술 및 제품 수출도 기대할 수 있음
- ❍ 본 기술화지원사업의 궁극적인 목적은 아래에 설명한 상위수준의 목표 달성을 지원하는 것이고 보다 세부적인 목적은 고기능의 고속 WIM 시스템의 개발을 통해 도로운영의 안전과 효율성 확보에 있음

  • 상위 수준의 목적

  - 도로파손으로부터의 도로인프라 보호
  - 스마트 톨링 시스템 지원
  - 축하중/총중량 등 중량과부하에 대한 전문적이고 효율적인 모니터링 및 제어 네트워크 마련
  - 실제 중차량 제어 방법 제공
  - 녹색도로 제공 및 운전환경 개선
  - 도로교통 수송효율 제고
  - 교통안전 제고 및 원활한 교통운영 환경 제공
  - 도로사용자에게 규칙의 준수 및 동기 부여
  - 운송업자들에게 운송에 대한 공정성 인지 및 부여

- 고정밀 WIM 시스템을 개발하는 세부목적
  - 도로교통의 안전성 제고
  - 도로인프라의 유지관리 비용의 감소
  - 자동요금징수 기능의 향상
  - 혁신적인 WIM 기술을 바탕으로 한 무인과적단속업무에 대비

1.2 연구개발의 필요성

- 1970년 경부고속국도 개통이후 지속적인 도로인프라 공급으로 도로인프라의 품질 및 공급 수준이 매우 양호한 수준임
- 이러한 도로인프라는 인력의 이동과 물류의 효율성과 경제성을 향상시키면서 국가경제 발전에 기여해온 주요 시설물로 도로인프라의 유지관리 효율성과 안전성을 확보하기 위해 다양한 유지관리 기법을 개발하고 발전시켜 적용해오고 있음
- 그럼에도 불구하고 도로인프라 보호 및 안전사고 예방을 위한 중량제한기준 위반차량 단속업무는 국가차원에서 기술개발 및 적용을 장려하고 있으나 그 실적은 부진한 실정임
- 또한, 도로운송/인프라는 장기적으로 사용하고자 하는 목표수명이 있으나, 일부 도로이용자들의 무분별한 불법적 사용(파손)으로 인해 시설의 목표수명을 다하지 못하는 현상이 지속적으로 발생하며, 이에 도로 신설비용 및 높은 유지관리 비용구조로 인하여 예산 집행의 비효율성이 발생함
- 한편, 기존 과적단속검문소의 대부분이 중량제한기준 위반 차량의 중량기준 위반여부를 단속하기 위해 정적하중을 측정하거나 사전선별시스템(pre screen)을 사용하는 방식인데, WIM 시스템의 중량측정 정확도는 운영자 측면에서 비판적이거나 혹은 전자동의 무인과적단속업무에 적용하기에는 요구기준을 만족시키지 못하고 있음. 심지어 국제법정계량기구(OIML)의 인증을 보유하고 있는 Kistler사의 WIM 센서 조차도 저속에서의 측정정확도 미비 및 내구성 문제가 나타나고 있음
- 우리나라는 글로벌 IT 선진국으로서 사물인터넷(IoT, Internet of Things) 기술을 국가차원에서 다양한 분야에서 개발 및 응용이 활발하게 이뤄지고 있는데, 이러한 IT 기술의 트렌드를 도로운영 및 관리체계에 반영하여 도로시설물의 보호 및 수명 연장을 유도하고, 데이터의 유통 및 관리 효율을 향상시킬 수 있으며, 이를 도로 관리자 및 이용자와 바로 소통할 수 있는 스마트 도로가 되는 요소 기술의 개발이 필요함
- 특히, 과적차량을 단속업무를 효율화하여 도로파손으로부터 도로인프라를 보호하고 도로교통의 안전을 향상시키기 위해서는 궁극적으로 새로운 차원의 혁신적인 WIM 센서 시스템이 설계 및 개발되어야 하며, 빠른 시일 내에 사물인터넷 개념이 반영된 도로가 될 수 있는 방식의 기술의 개발이 필요함

1.3 연구개발 범위

❍ 중량제한기준 위반차량(과적차량) 단속시스템 관련 기술 및 사업에 대한 조사 및 검토

- 중량제한기준 위반(과적차량) 단속시스템을 운영하는 국토교통부 등 도로 운영 기관, 관계기관 및 연구자들이 추진했던 사업 및 연구결과 검토
- 해외 유사사업 및 연구기술 조사 및 결과 검토

❍ 고속 WIM 센서의 내구성 개선 및 개발 현지화

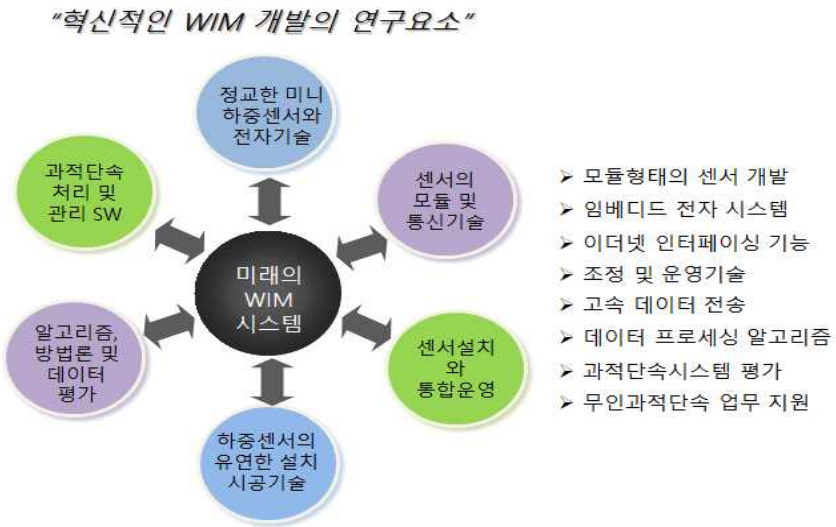
- 국내의 기후환경, 도로포장, 국내 차량의 특성과 국내 중량제한기준에 적합한 센서 및 제어시스템 개발

❍ 고속 WIM 센서 테스트베드 설치 및 시험운영

- 중량제한기준 위반차량의 단속을 위한 WIM 센서, 차량번호판 인식장치, 카메라, 컨트롤러, 통신장치 등의 설치 및 관제시스템에서의 자료 수집
  - 고속 축중(WIM) 센서 : 차량 주행 중에 차량의 총중량 및 축하중을 측정(다차로 자유교통류 상태)
  - 번호판 인식시스템(AVI) : 과적단속을 위한 계측차량의 번호판인식시스템
  - 관제시스템 : 교통흐름의 관제를 위해 사용자 편의를 탑재한 자료수집, 분석 및 제공

❍ 중량제한기준 위반차량 단속 시스템의 평가

- 고속 WIM 센서 중량측정 자료의 정확도 평가
- 기존 WIM 센서와 정확도 비교 평가
- 차량번호판 인식장치(AVI) 등 부대시설과의 통합 운영성 평가



[그림 1-3-1] WIM 연구개발의 요소 및 범위

제2장. 국내외 기술 개발 현황

2.1 국내 기술 및 산업 동향

가. 고속축중기(WIM) 운영 현황

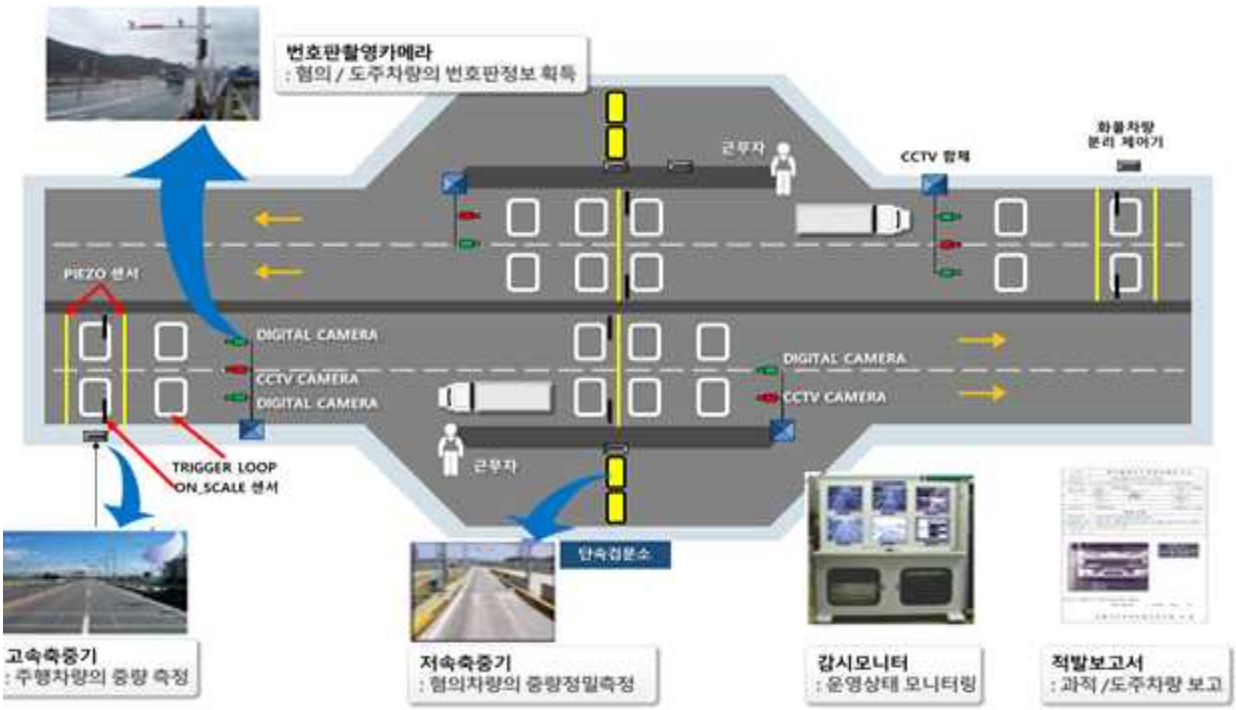
- 1970년 7월 경부고속국도가 준공·개통되면서 불법과적차량 운행에 대한 규제의 필요성이 인식되었으며 고속국도는 1973년 7월에 서울, 부산, 인천 톨게이트에 국내 최초로 계중기가 설치되어 차량의 중량 측정을 시작하였고, 일반국도는 1980년 11월 포항국도유지건설사무소 관내에 축중기를 설치한 검문소를 운영하기 시작한 이후 현재까지 전국적인 규모에서 지속적인 단속을 수행해옴
- 과적차량 단속업무의 추진 경과에 있어서 큰 전환점이 된 것은 1994년 10월의 '성수대교 붕괴' 사건이며, 교량 붕괴의 간접적 원인으로 불법과적차량 통행이 지적[1] 되면서부터이다. 그 이후 「도로법」에 따른 차량의 운행제한업무와 관련된 벌칙 규정이 대폭 강화되었고, 차량의 운행제한업무의 강화를 목적으로 담당 공무원에 대한 사법경찰권 부여, 공익근무요원 활용 및 청원경찰제도의 도입 등 기존 단속 체계에 큰 변화가 생겼다. 최근까지의 과적차량 단속 추진 경위는 [표 2.1.1] 참조
- 국내에서는 최초 WIM 도입 필요성은 국토교통부의 도로교통량조사 및 관리제도 개선연구에서 언급되었으며, WIM 장비의 기술사양과 지점 결정은 "과적차량 단속체계 개선방안 연구"에서 제시되어 현재 도로교통량조사사업에서 WIM은 30여개 지점에서 운영되고 있음
- 지금까지 국내에서 추진한 과적차량 단속체계에서의 고속축중기는 국토교통부 및 일부 지방자치단체(부산광역시 등)에 의해 추진되고 있으며, 이를 통해 국가의 주요 기반시설인 도로의 구조를 보전하고 운행의 위험을 방지하고자 사전선별(pre-selection)용으로 활용하고 있으며, 국토교통부의 경우 일반국도에 고정식 검문소 30개소, 이동식 검문소 117개소가 운영되고 있음(2015년 기준현황)
- 지금까지 국내에서 추진한 과적차량 사전검지체계는 과적혐의 차량을 검문소 통과 전에 우선 선별하고 혐의정보를 검문소에 제공하면 단속자가 대상차량을 검문소로 유도하는 방식으로 활용되고 있으나, 실제 정확도의 수준이 70~80%에 불과하여 무인 단속화하기 에는 어려운 실정임
- 고속축중기의 정확도 확보가 어려운 실정으로 인해 현재 과적차량 단속 체계에서의 중량계측은 이동식 축중기와 저속축중기가 그 수단으로 활용되고 있음
- 그러나 저속축중기 및 이동식 축중기의 경우 과적차량 운전자가 그 특성을 악용(가변축 조작 등)하는 사례가 빈번하여 단속의 실질적인 효과를 거두기 어렵고, 단속자 역시 운전자와의 대면이 필연적이어서 사회적 문제(금품 수수 등)가 발생하고 있음

1) http://imnews.imbc.com/20dbnews/history/1994/1940851_6142.html

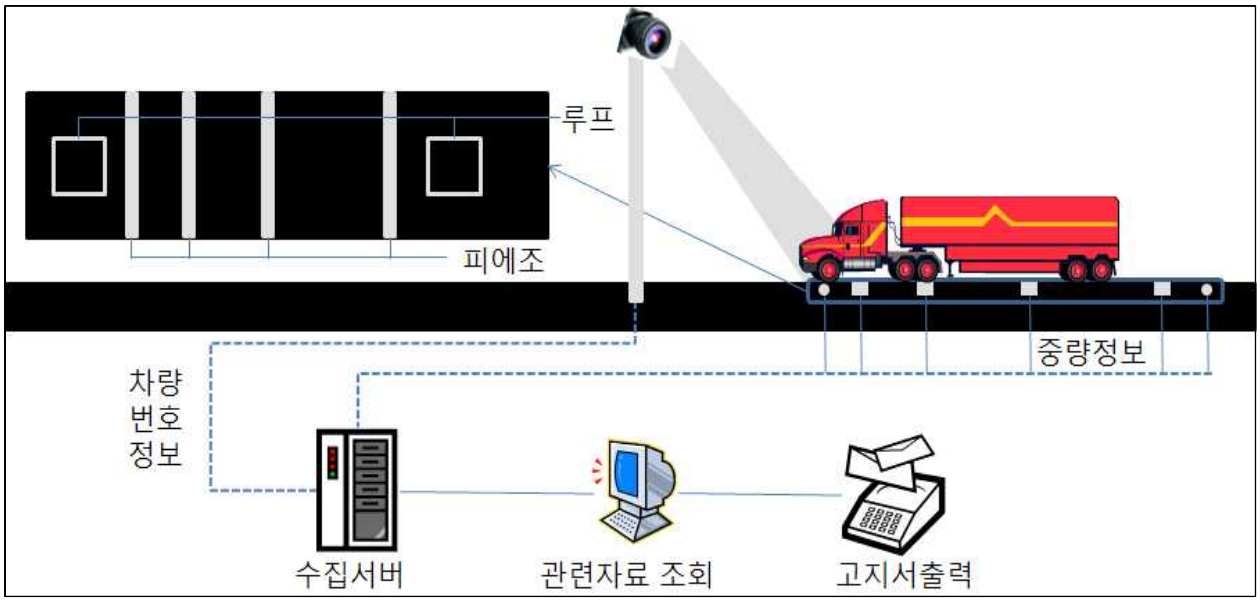
[표 2.1.1] 과적차량 단속제도 추진 경위

일 자	추 진 내 용	비 고
1972. 8	'고속도로 제한차량 운행규정' 제정 - 축하중 8톤, 총중량 60톤	한국도로공사
1973. 7	서울, 부산, 인천톨게이트 계중기 설치 및 중량계측	한국도로공사
1979. 8	축중기 최초 설치 - 경부선 경주톨게이트	한국도로공사
1979. 9	제한기준 개정 - 단축 10톤, 텐덤축 16톤, 총중량 40톤	건설부·상공부
1979.12	차량형식 승인 협조 - 축하중 10톤, 총중량 40톤	건설부
1980.11	일반국도에 축중기 설치 - 포항국도유지건설사무소 관내	대통령지시 1019호
1983. 2	텐덤 축하중 기준 삭제	건설부·상공부
1983. 4	중차량류 수입규제 협조 요청	건설부·시도
1986.12	과적차량 단속 철저 및 담당공무원 사법권 부여 방안 강구 지시	건설부
1987. 1	대형중기 특별 표지판 부착 의무화 조시	건설부령 1414호
1988.06	지방도로 법규 위반 화물차량 단속운영 조시	내무부령 943호
1988.12	과적차량 단속요령 제정	건설부
1993. 7	운행제한차량 단속요령 개정	건설부
1995. 1	도로법 제83조 개정	건설교통부
	단속 공무원 사법권 부여[2)]	법무부
	도로교통법 제101조 개정	내무부
1995. 3	공익근무요원 복무관리지침 제정	국방부
1999. 7	공사장 등에 계중 서비스 실시	건설교통부
1999. 8	도로법 제83조 개정	건설교통부
2005. 2	과적신고자 포상금 지급규정 제정	국토해양부
2006. 2	건설공사 차량 과적방지 지침 고시	국토해양부
2006. 9	명예과적단속원제도 운영요령 제정	국토해양부
2008. 3	도로법 제100조(양벌규정) 개정	국토해양부
2009.9	차량의 운행제한 규정 개정	국토해양부
2010. 3	도로법 제101조 개정(운행제한 기준 초과차량에 관한 벌칙이 벌금형에서 과태료로 전환됨)	대한민국국회
2010. 9	도로법 시행령 제74조 신설	국토해양부
	차량의 운행제한 규정 개정	
2010.10	차량의 운행제한 규정 개정	국토해양부

2) 「사법경찰관리의직무를행할자와그직무범위에관한법률」([일부개정 1995.1.5 법률 제4928호])제5조 제27호



[그림 2-1-1] 일반국도 과적검문소 WIM 시스템 구성 및 설치 현황



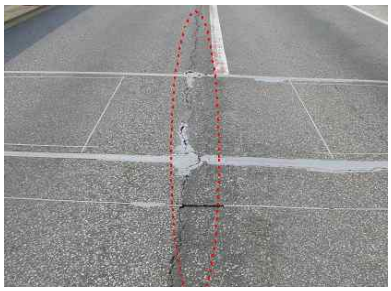
[그림 2-1-2] 순천국도관리사무소 과적차량 무인단속시스템 개념도

나. 고속축중기(WIM) 관련기술 현황

❍ WIM 센서의 국내기술은 광섬유 센서나 스트레인게이지 분야(저속)에 개발이 집중되어 있었으며 고속응답에 효과적인 압전센서의 국산화 개발은 상대적으로 부진한 상황임

- 국내에서 적용되는 일반도로에서의 WIM은 크게 현재 일반국도 과적검문소나 고속도로 요금징수소에 설치되어 있는 저속축중기(LS-WIM)와 일반국도 과적검문소, 광안대교의 과적검문소 등에서 활용되는 Pre-Selection용 및 고속국도 김천JC 주변과 일반국도 순천 주변에 설치된 과적차량 무인단속용으로 설치된 고속축중기(HS-WIM)으로 분류됨
- 저속축중기에 주로 적용되는 검지(Sensing) 방식은 스트레인게이지 방식으로 현재는 외산(캐나다의 IRD-PAT사 등) 제품과 국산(카스사의 RW, 기타 중소기업 다수)제품이 고루 사용되고 있으며, 센서는 외국 제품을 사용하고 시스템부분은 국산화하여 사용목적에 맞게 활용되기도 함
- 고속축중기에 주로 적용되는 검지(Sensing) 방식은 압전(Piezo-Electronic)방식이 채택된 센서들이 사용되고 있으며, 전부 외국산(스위스 키슬러사의 Quartz, 프랑스이씨엠사의 Ceramic, 미국 엠에스아이사의 PVDF)이 사용되고 있어 고속축중기 센서 관련기술의 확보가 시급한 상황임
- 고속축중기에 적용되는 제어기 역시 외산(영국의 티디씨사의 HI-Trac, 프랑스 이씨엠사의 Hestia, 캐나다의 아이알디사 등)에 대부분 의존하고 있으며, 국내의 경우 WIM제어기와 유사한 자동차종분류기(AVC)의 제어기를 제작하는 에이프로, 코스텍시스템, 뉴컨스텍, SAT 등이 있으나 아직 시장도입단계이며, WIM 제어기는 아직 시장에 본격적으로 출시한 회사가 없어 제어기와 관련된 기술의 확보가 시급한 상황임
- 도로에 설치하는 매설형 센서의 설치과정에는 도로 컷팅 작업이 선행되어야 하며, 센서의 설치과정에서 도로봉합제인 레진 시공이 필요하다. 레진이 시공되는 분야는 루프(Loop)센서를 설치하는 경우와 축검지센서(AVC, WIM)를 시공하는 경우로 분류됨
- WIM 센서는 현장에 설치되면서 현장의 다양한 특성에 따라 그 오차가 발생하고 있으며, 오차요인의 규명이 100% 검증되지 않은 상황이며, 다양한 오차요인 중 주행차량의 진동특성을 반영하여 오차요인을 제거하고자 하는 사례가 있음
- 국내에서는 WIM 센서를 한국도로공사의 무인무정차 과적단속시스템 구축 시범사업에 차로당 3열 및 국토해양부 순천국도관리사무소의 과적차량 무인단속시스템에 차로당 4열 설치하면서 특정차량군(과적위험군)의 평균 통행속도와 진동특성을 반영하여 배치함

[표 2.1.2] WIM시스템 관리상의 문제점 예시

패 칭	파 손	균 열
		

❍ 센서에서 출력되는 신호는 차량주행으로 발생한 동적요인으로 본래의 하중 외에 여러 가지 신호가 복합적으로 내재되어 있어 신호를 중량으로 환산하기 위한 과정에서 여러 가지 함수를 이용하여 신호를 분석하고 연산처리과정을 거쳐야 하지만 외산장비의 특성으로 구입 후 국내실정에 맞게 제어할 수가 없는 실정임

❍ 중량보정 또는 교정 알고리즘은 과적검지시스템설치 지점의 현장조건에 따라 행하여지고, 센서의 자체 특성 및 주행하는 차량의 축배열 등 차종특성에 따라 구분하여 적용해야하지만 외산장비의 경우 차종 및 차량특성이 국내 생산되는 차종과 상이하고 차종구분의 기준도 국가마다 다르기 때문에 국외 제조사의 국가실정에 맞게 설정된 알고리즘을 국내에 적용하여 사용하기에는 어려운 실정임

다. WIM을 포함한 교통부분 인증평가 기술 현황

❍ 국가통합교통체계효율화법에 의거 지능형교통체계 기능이 일정수준으로 유지될 수 있도록 관련 시설장비의 성능을 평가하는데 필요한 사항을 규정함

❍ ITS 업무요령 제2조제11항에 의거, ITS 요소장비 및 시스템에 대한 시험·검사를 위하여 국토교통부장관이 성능평가기관을 지정·고시함

❍ ITS 업무요령 제2조제11항에는 ITS 요소장비 및 시스템에 대한 시험·검사를 위하여 국토교통부장관이 성능평가기관을 지정·고시하고 ITS 성능평가의 종류는 ITS 업무요령 제52조제2항의 규정에 따라 기술시험, 준공전 성능검증, 정기검사로 구분함

❍ 성능평가대상 ITS장비는 차량검지기(VDS), 자동차량인식장치(AVI)이며 레이저 검지방식을 이용한 기준장비를 이용하여 평가대상장비에 대해 평균절대오차백분률(MAPE)를 이용하여 평가하고 있음

❍ 교통체계효율화법이 「국가통합교통체계효율화법」으로 전면개정 되면서, ITS 성능평가, 품질인증사업의 법적인 구속력을 강화시키면서 교통정보에 대하여 일정수준의 품질을 확보하여 대국민 서비스 수준을 제고하기 위함

❍ 최근 2016년 11월 자동차·도로교통분야 ITS 성능평가기준이 일부개정 됨에 따라 고속축중기에 대한 성능기준이 마련되었으며, 그 주요내용은 다음과 같음

- 고속축중기의 성능평가 방법 및 절차와 성능평가 성적서 발급 등의 근거 마련
- 고속축중기의 기본, 준공, 변경/이설, 정기평가의 경비 산정 마련
- 고속축중기의 성능기준, 평가방법 등 성능평가기준과 성능평가 시험성적서 마련

라. 과적차량 단속 관련 제도 현황

❍ 국내 과적차량단속제도는 크게 도로법령에 의한 단속과 도로교통법령에 의한 단속으로 구분됨

❍ 「도로법」제77조, 제78조, 제79조 및 제80조, 「도로법 시행령」 제79조, 제80조, 제80조의2, 그리고 「도로법 시행규칙」제40조에 따라 중량제한기준 위반 시 500만원

이하의 과태료 처분 및 1천만원 이하의 벌금형 등에 처하도록 하고 있음

❍ 한편, 국토교통부는「차량의 운행제한규정」을 별도로 제정하여 운영하고 있으며, 운행제한기준위반(과적) 차량 단속에 관한 전반적인 업무절차 및 처리에 관한 상세한 내용을 규정하고 있음

❍ 「도로교통법」 제39조 및 동법 시행령 제22조의 규정에 따라 화물자동차는 적재중량의 11할을 초과하지 않는 범위 내에서 운행하도록 하고 있으며, 이를 어긴 자는 동법 제156조의 규정에 따라 20만원 이하의 벌금형 등에 처하도록 하고 있음

법령	조항	내 용
도로법	제77조	① 도로관리청은 도로 구조를 보전하고 도로에서의 차량 운행으로 인한 위험을 방지하기 위하여 필요하면 대통령령으로 정하는 바에 따라 도로에서의 차량 운행을 제한할 수 있다. 다만, 차량의 구조나 적재화물의 특수성으로 인하여 도로관리청의 허가를 받아 운행하는 차량의 경우에는 그러하지 아니하다. ② 차량 임대차계약의 임차인(「건설산업기본법」에 따른 건설공사에 사용되는 차량의 경우 수급인·하수급인 또는 시공 참여자를 말한다. 이하 같다)으로서 차량의 화물적재를 사실상 관리하는 자는 임차한 화물적재 차량이 제1항에 따른 운행제한을 위반하여 운행되지 아니하도록 관리하여야 한다. ③ 화주(화주), 화물자동차 운송사업자, 화물자동차 운송주선업자 등 차량의 운행에 대하여 지시·명령을 하거나 감독 등의 권한을 갖는 자는 제1항에 따른 차량의 운행 제한을 위반하여 차량을 운행하도록 차량의 운전자에게 지시하거나 요구해서는 아니 된다.
	제78조	① 차량의 운전자는 차량의 장치를 조작하는 등 대통령령으로 정하는 방법으로 차량의 적재량 측정을 방해하는 행위를 해서는 아니 된다.
	제115조	다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 자는 1년 이하의 징역이나 1천만원 이하의 벌금에 처한다. 5. 제78조제1항 및 제3항을 위반하여 차량의 적재량 측정을 방해한 자
	제117조	① 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 자에게는 500만원 이하의 과태료를 부과한다. 1. 제77조제1항에 따른 운행 제한을 위반한 차량의 운전자 2. 제77조제2항에 따른 관리를 하지 아니한 자(임차한 화물적재 차량이 제77조제1항에 따른 운행 제한을 위반하여 운행하는 경우로 한정한다) 3. 제77조제3항에 따른 운행 제한 위반의 지시·요구 금지를 위반한 자

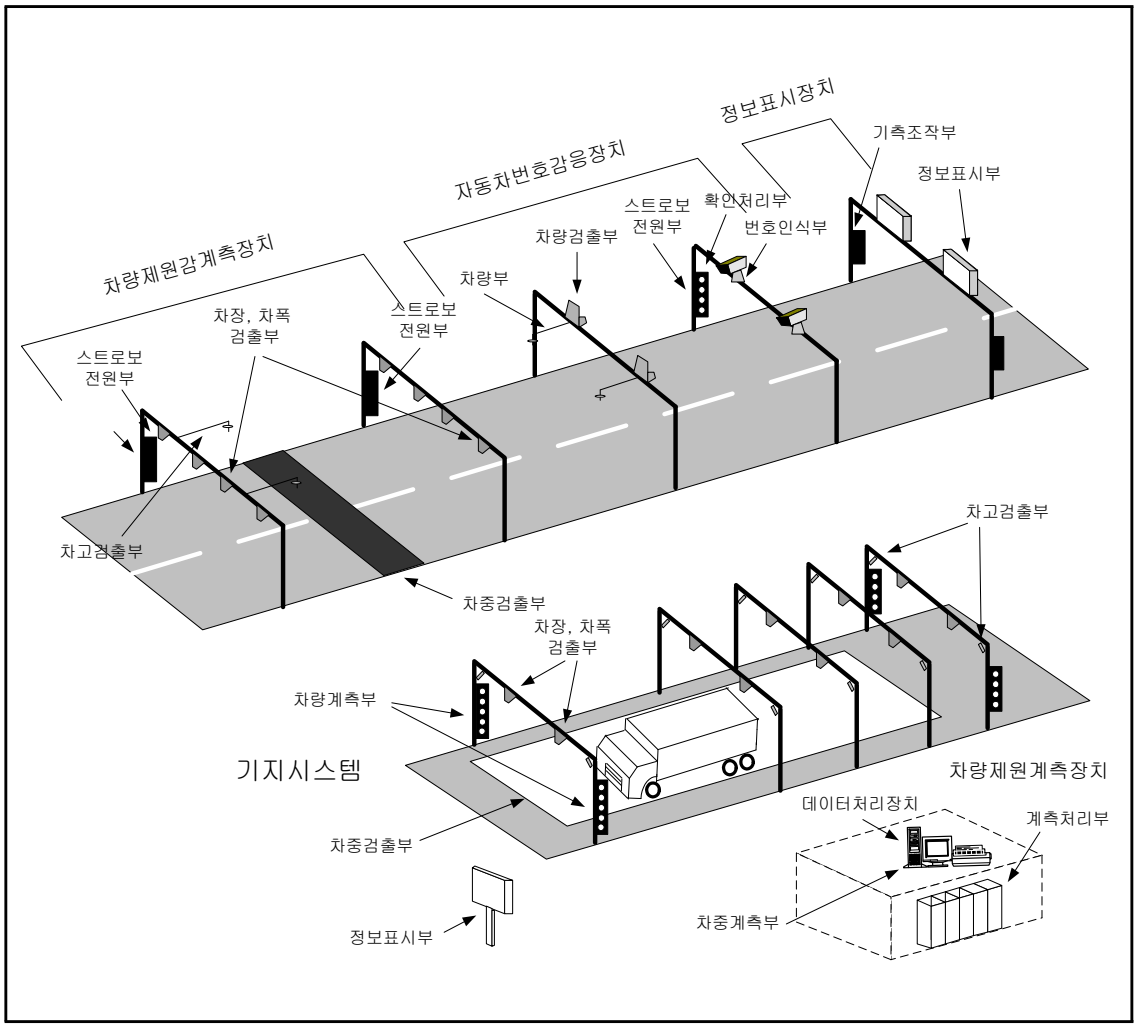
법령		조항	내 용
		117조	⑤ 제77조제1항에 따른 운행 제한을 위반한 차량의 운전자가 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 경우 그 차량의 운전자에 대하여는 제1항제1호를 적용하지 아니한다. 1. 차량의 운전자가 차량의 임대차 계약의 임차인이 제77조제2항을 위반한 사실을 신고하여 제1항제2호에 따라 차량의 임차인에게 과태료를 부과하는 경우 2. 차량의 운전자가 화주, 화물자동차 운송사업자, 화물자동차 운송주선사업자 등의 지시나 요구에 따라 제77조제1항을 위반한 사실을 신고하여 제1항제3호에 따라 화주, 화물자동차 운송사업자, 화물자동차 운송주선사업자 등에게 과태료를 부과하는 경우
	시행령	제79조	② 관리청이 법 제77조 제1항에 따라 운행을 제한할 수 있는 차량은 다음 각 호와 같다. 1. 축하중(軸荷重)이 10톤을 초과하거나 총중량이 40톤을 초과하는 차량
도로교통법		제39조	① 모든 차의 운전자는 승차인원·적재중량 및 적재용량에 관하여 대통령령이 정하는 운행상의 안전기준을 넘어서 승차시키거나 적재하고 운전하여서는 아니된다. 다만, 출발지를 관할하는 경찰서장의 허가를 받은 때에는 그러하지 아니하다.
		제156조	다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 사람은 20만원 이하의 벌금이나 구류 또는 과료에 처한다. 1. 제5조, 제13조제1항부터 제3항(제13조제3항의 경우 고속도로, 자동차전용도로, 중앙분리대가 있는 도로에서 고의로 위반하여 운전한 사람은 제외한다)까지 및 제5항, 제14조제2항·제3항·제5항, 제15조제3항(제61조제2항에서 준용하는 경우를 포함한다), 제15조의2제3항, 제17조제3항, 제18조, 제19조제1항·제3항 및 제4항, 제21조제1항·제3항 및 제4항, 제24조, 제25조부터 제28조까지, 제32조, 제33조, 제37조(제1항제2호는 제외한다), 제38조제1항, 제39조제1항·제3항·제4항·제5항, 제48조제1항, 제49조(같은 조 제1항제1호·제3호를 위반하여 차를 운전한 사람과 같은 항 제4호의 위반행위 중 교통단속용 장비의 기능을 방해하는 장치를 한 차를 운전한 사람은 제외한다), 제50조제5항부터 제7항까지, 제51조, 제53조제1항 및 제2항(좌석안전띠를 매도록 하지 아니한 운전자는 제외한다), 제62조 또는 제73조제2항(같은 항 제1호는 제외한다)을 위반한 차마의 운전자
	시행령	제22조	법 제39조제1항 본문에서 "대통령령으로 정하는 운행상의 안전기준"이란 다음 각 호를 말한다. 3. 화물자동차의 적재중량은 구조 및 성능에 따르는 적재중량의 110퍼센트 이내일 것

2.2 국외 기술 및 산업 동향

가. WIM 운영 현황

(1) 일본

❍ 일본의 경우 영상취득장치(Video system)가 연계된 과적단속시스템을 활용하여 단속 활동을 전개하고 있으며, 특히 항만에서 고속도로로 진입하는 차량들의 적재하중을 중점적으로 계측하여 도로·교통관리업무에 활용하고 있다. HS-WIM 시스템이 설치되어 있으나, 우리나라와 유사하게 모니터링용으로만 사용되고 있음

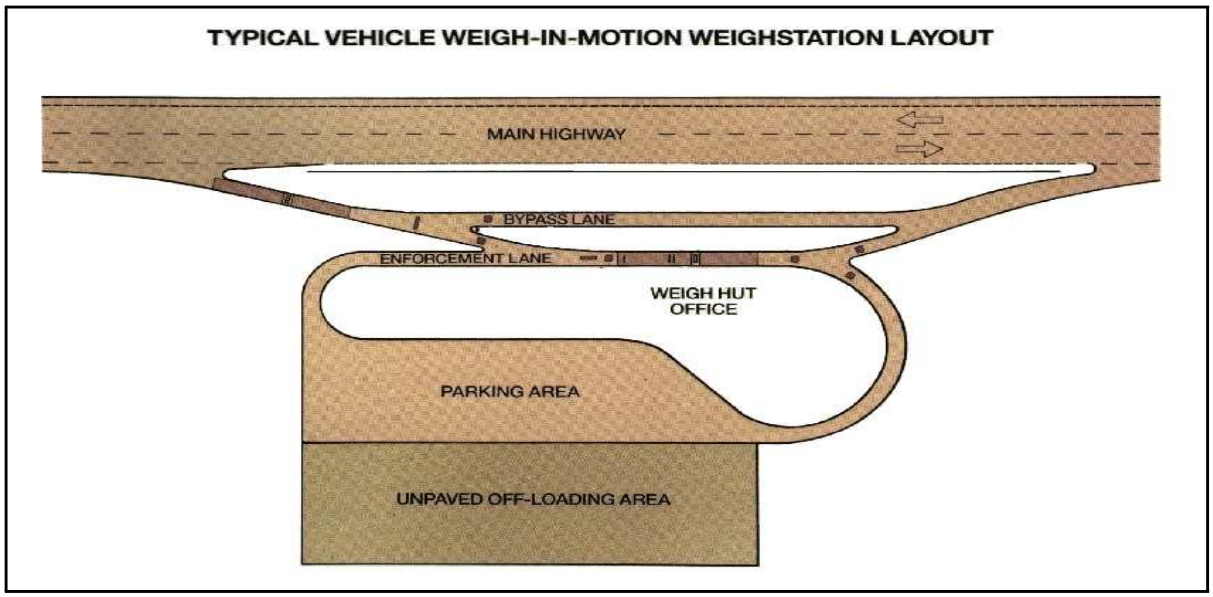


[그림 2-2-1] 일본의 운행제한차량(과적차량) 단속 시스템 개략도

(2) 미국

❍ 미국은 특성상 각 주마다 다양한 방법으로 과적차량 단속시스템을 운영 중이다. 본 연구에서는 대표적인 몇 개의 주에서 운영하는 시스템을 검토하고자 함

❍ 오클라호마 주와 캔자스 주에서는 전자 요금징수 및 교통관리(Electronic Toll and Traffic Management, ETTM) 사업을 통해 차량에 자동인식 시스템(Automatic Vehicle Identification, AVI)을 위한 트랜스폰더를 장착하고, 노변장치(Road Side Equipment, RSE)간 무선통신을 통해 자동감지시스템의 형태로 운영되고 있음. 차량 주행 시 차량내부에 설치되어 있는 태그(Tag, OBE(On Board Equipment))와 과적차량 단속 시스템간의 통신으로 차량의 안전 상태나 면허 유무를 확인하며 중량은 고속축중기(HS-WIM)에 의해 계중되어 고속주행중인 차량의 검차 및 계중에 의한 지체가 없는 과적차량 단속 업무를 수행하고 있음



[그림 2-2-2] 오클라호마와 캔자스 주 과적검문소의 시스템 개략도

❍ 코네티컷 주에서는 총 6개의 과적단속검문소가 설치되어 있으며, 그 중 Greenwich (Northbound)와 Union(Westbound) 검문소의 경우 WIM (Weigh in-Motion)시스템이 적용되어 있음

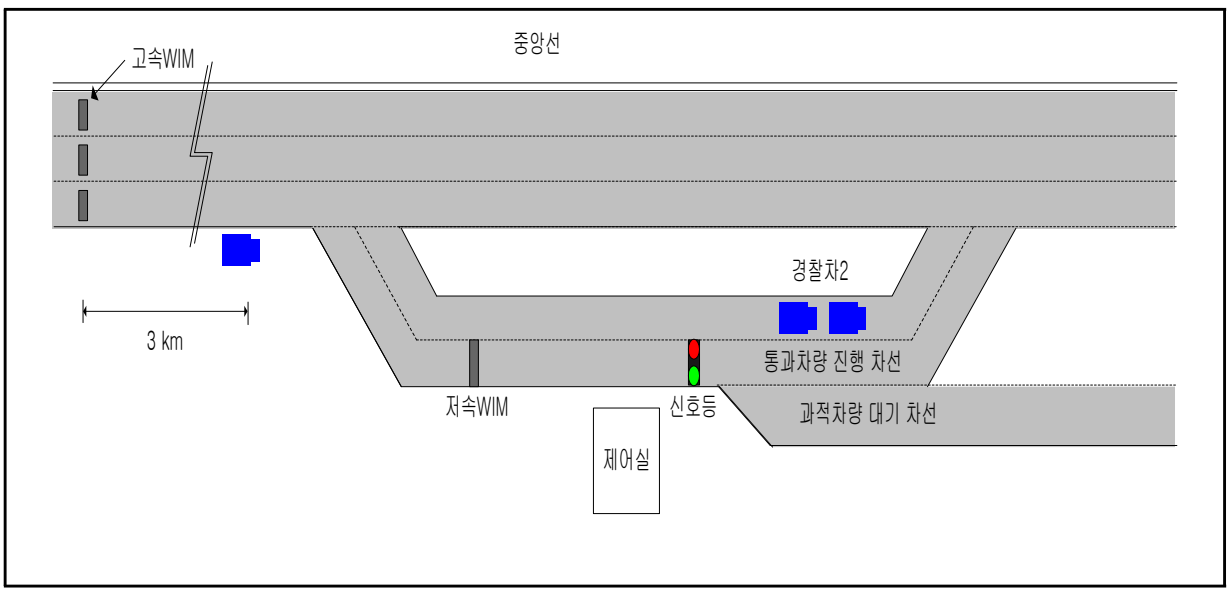


[그림 2-2-3] Greenwich 과적검문소의 시스템 개략도

❍ [그림 2-5]의 코네티컷 주 Greenwich 과적검문소는 검문소 진입부에 설치된 LS-WIM 시스템을 이용하여 과적의심차량을 1차적으로 선별하여 단속업무를 수행하고 있음. 또한 LS-WIM이 설치된 구간과 검문소 진입부와의 거리가 짧기 때문에, 운영기술자는 검문소 진입로의 대기행렬길이를 모니터링 하여야 하며, 본선까지 그 대기행렬이 이어질 경우 검문소의 운영을 잠시 멈추도록 지시함으로써, 본선의 흐름을 방해하지 않는 범위 내에서 단속업무 수행

(3) 유럽

❍ 독일의 경우도 아우토반(Autobahn)을 운행하는 과적차량을 단속하기 위하여 화상인식 시스템을 도입하여 활용하고 있다. HS-WIM이 과적 혐의차량을 1차 선별하고 이를 화상인식 시스템(Video System)이 촬영함. 이때 촬영한 혐의차량의 영상을 HS-WIM으로부터 3km 후방 갓길(shoulder)에 배치된 경찰차량 내부의 출력 장치로 출력하도록 하여 단속경찰이 해당 차량을 확인한 후 수신호로 정밀 계측이 가능한 장소로 유도함. 이후 정밀 계측 후 관제실에서 과적에 대한 판정이 즉시 이뤄지며, 신호등을 이용하여 과적 여부를 표출하는데 여기에 경찰을 배치하여 과적운행으로 적발된 화물차량의 운전자에게 벌금(과태료) 부과함



[그림 2-2-4] 독일 아우토반의 과적차량 단속 시스템 구성도

❍ 스위스는 WIM 센서 자체적인 기술 개발과 발전에 초점을 맞추어온 나라이며, WIM 시스템의 전반적인 기술 및 설치 기준 등을 제시하고 있는 COST-323의 대규모 시험이 스위스에서 시행된 바도 있음

❍ 스위스 회사인 Kistler 사는 쿼츠(quartz) 기반의 피에조(piezo) 센서를 개발하였으며, 현재 전 세계적으로 우수한 센서기술로 인정받고 있음. Video system을 포함한 과적단속시스템을 구축하고 있으며, 센서부의 경우 피에조쿼츠 (Piezo-Quartz)를 중심으로 하는 멀티센서를 구성하여 설치하였음. WIM 통과차량의 무게, 높이, 영상자료 등

을 센터로 전송하고, 운행제한기준 위반여부를 판단하여, 인접 단속기관에 통보하는 등 스위스는 100개 지점에서 과적단속업무가 시행되고 있음



[그림 2-2-5] 스위스의 차량의 중량기준 위반 및 제원기준 위반 단속 시스템

나. WIM 관련기술 현황

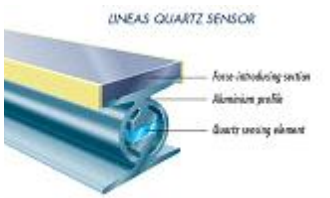
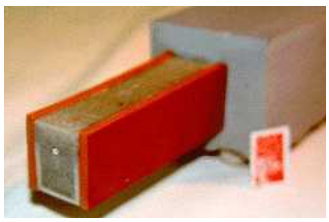
(1) 센서 기술

- ❍ 주행차량의 중량검지시스템에 적용되는 센서는 앞서 언급한 바와 같이 국내에는 없으나 이미 세계적으로 각각 자료의 품질 수준에 대한 평가가 어느 정도 결정된 상황임
- ❍ 스위스의 Kistler사는 중량계측 센서에 석영(Quartz)이라는 소재를 채택하였고, 차량의 축으로부터의 압력만을 검지(Sensing)하기 위해 구조화시켰으며 소재부분을 철재로 포장(casing)하여 센서 개발하였으며, 현재 세계적으로 Piezo-Electronic 중량센서 부문에서 가장 신뢰도 높은 센서로 인정받고 있음
- ❍ 미국의 MSI사는 중량계측센서에 PVDF(polyvinylidene fluoride)필름 소재를 채택하였고, 이의 내구성 확보를 위해 철재로 포장(casing)하여 센서 개발
- ❍ 프랑스의 ECM사는 중량계측센서에 세라믹(Ceramic)계열 소재를 채택하였고, 이의 내구성 확보를 위해 아교성분의 소재로 포장(Casing)하여 센서개발
- ❍ 한편 일부 회사에서 광섬유 센서(Fiber Optic Sensor)를 활용하여 고속 WIM 센서로 적용하고 있으나, 보편적으로 사용되고 있지는 않은 실정임



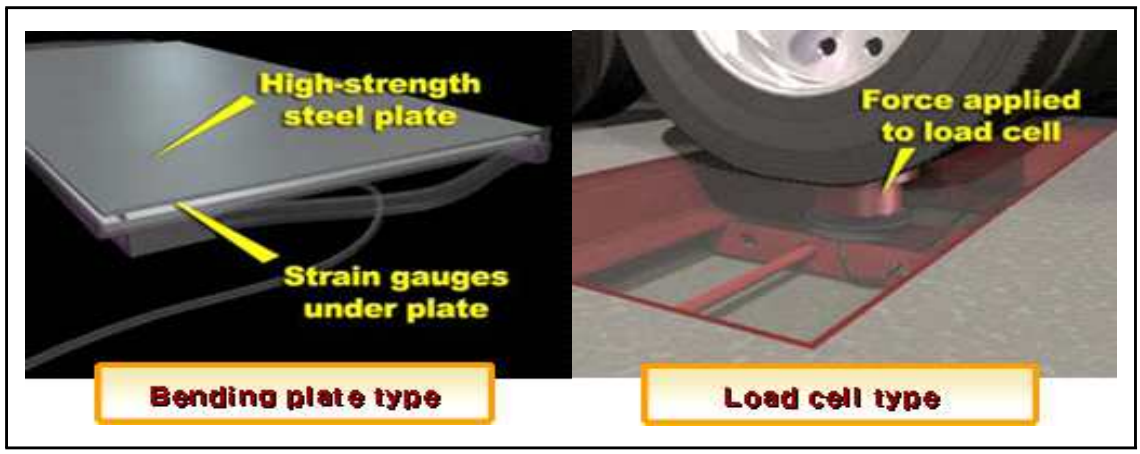
- 광섬유는 브래그 격자(FBG)를 의미하며, 광섬유 코어 부분의 굴절률을 변화시켜 입력광의 특정 파장만을 반사시키는 특성을 가지고 있음
- 반사된 파장은 인장/압축 및 온도의 변화에 따라 선형적으로 변화되며 이 변화량을 이용하여 스트레인을 값을 구할 수 있음
- 광섬유센서는 주로 굽힘에 의한 물리량을 측정하는 방식으로 움직이는 차량 중량을 분석하기 위해서는 수직응력과 굽힘량과의 함수를 최적화하는 과정이 매우 불안정하며 레이져 소스의 안정성이 국산화기술로는 달성하기 어려운 실정이어서 실용화에 한계 가 존재함

[표 2.2.1] 세계적으로 활용되는 HS-WIM 압전센서 비교

명칭	Quartz	Ceramic	Film
재질	석영	세라믹	PVDF Polymer
제조국 (제조사)	스위스 (KISTLER)	프랑스 (ECM)	미국 (MSI)
주요성능	측정범위 : 0～150kN 균 일 성 : ＜±3% 직 선 성 : ≤±2% FSO Hysteresis : ≤2% FSO 온도계수 : 0.02%/℃ 절연저항 : ＞100GΩ 사용온도 : -40～+80℃	측정범위 : - 균 일 성 : ＜±20% 직 선 성 : - Hysteresis : - 온도계수 : - 절연저항 : ＞1000MΩ 사용온도 : -30～+70℃	측정범위 : 0～400 Pound 균 일 성 : ＜±7% 직 선 성 : ≤±5% FSO Hysteresis : - 온도계수 : 0.2%/°F 절연저항 : ＞500MΩ 사용온도 : -40～+70℃
운용안정성 및 센서특징	- Ghost Axle 방지 - 정적인 신호특성을 가지고 있어 교정작업 용이 - 온도영향을 거의 받지 않아 장기간 운용에도 매우 안정적	- Ghost Axle 현상 발생 - 온도특성이 좋지 않으므로, 장기간 사용 시 안정성에 관한 고려가 이루어져야 함	- Ghost Axle 현상 방지 - 신호특성은 좋으나 온도특성이 좋지 않으므로, 장기간 사용 시 안정성에 관한 고려가 이루어져야 함 - AVC용으로 적합
측정정확도 (신뢰도)	±2% (상대적으로 높음)	±7% (중간수준)	±7% (상대적으로 낮음)
최저 계중속도	5km/h	20km/h	5km/h
내구연도	10년이상	5년이상	5~6년
가격(1개 차로기준)	127백만원	53백만원	12백만원
국내외 적용사례	- 부산시, 한국도로공사, 안산시 등	-국도 교통량조사시스템 -국도 과적단속 검문소	-국도 교통량조사시스템
단면도			

❍ 스트레인게이지 센서(Strain Gage)는 전기저항의 원리를 이용한 센서 중 특히 휨 특성을 이용한 하중 검출기로서 대게는 휘스톤 브릿지의 원리를 이용하여 Plate에 인가된 하중의 중량을 측정하는 센서임

- 저항에 전압을 인가한 후 하중이 인가되면 이 저항의 모양이 휘어지게 되고 변화되는 방향으로 저항 길이나 폭이 변화되어 저항값의 변화가 생기게 되는 원리임
- 대부분은 입력 전압을 10~12V의 DC를 사용하고 있으며, 전압 안정화 Sensor Line을 두어 입력 전압의 안정성을 확보하고 있고 입력 전압이 패드 내의 브릿지로 인가되면 저항값의 변화를 검출하여 수 mV Signal 신호로 출력하고 이 신호를 증폭하여 하중 값을 나타냄
- 이러한 원리를 바탕으로 선형적 운동을 하는 금속탄성체와 결합하여 센서화 시킨 것이 스트레인게이지 식 로드셀(Load Cell)이며 이 로드셀을 바탕으로 플레이트화 하여 축중기로도 사용하고 있음



[그림 2-2-6] 벤딩플레이트 및 로드셀

(2) 제어 및 센서배치 기술

❍ 프랑스 ECM사는 HESTIA 및 HERA라는 제어기를 판매하고 있으며, 자동차종분류기(AVC, Automatic Vehicle Classification)는 2Loop 1Piezo 시스템, 주행차량축중계(WIM, Weigh In Motion)는 2Piezo, 1Loop 시스템으로 제어기 구성

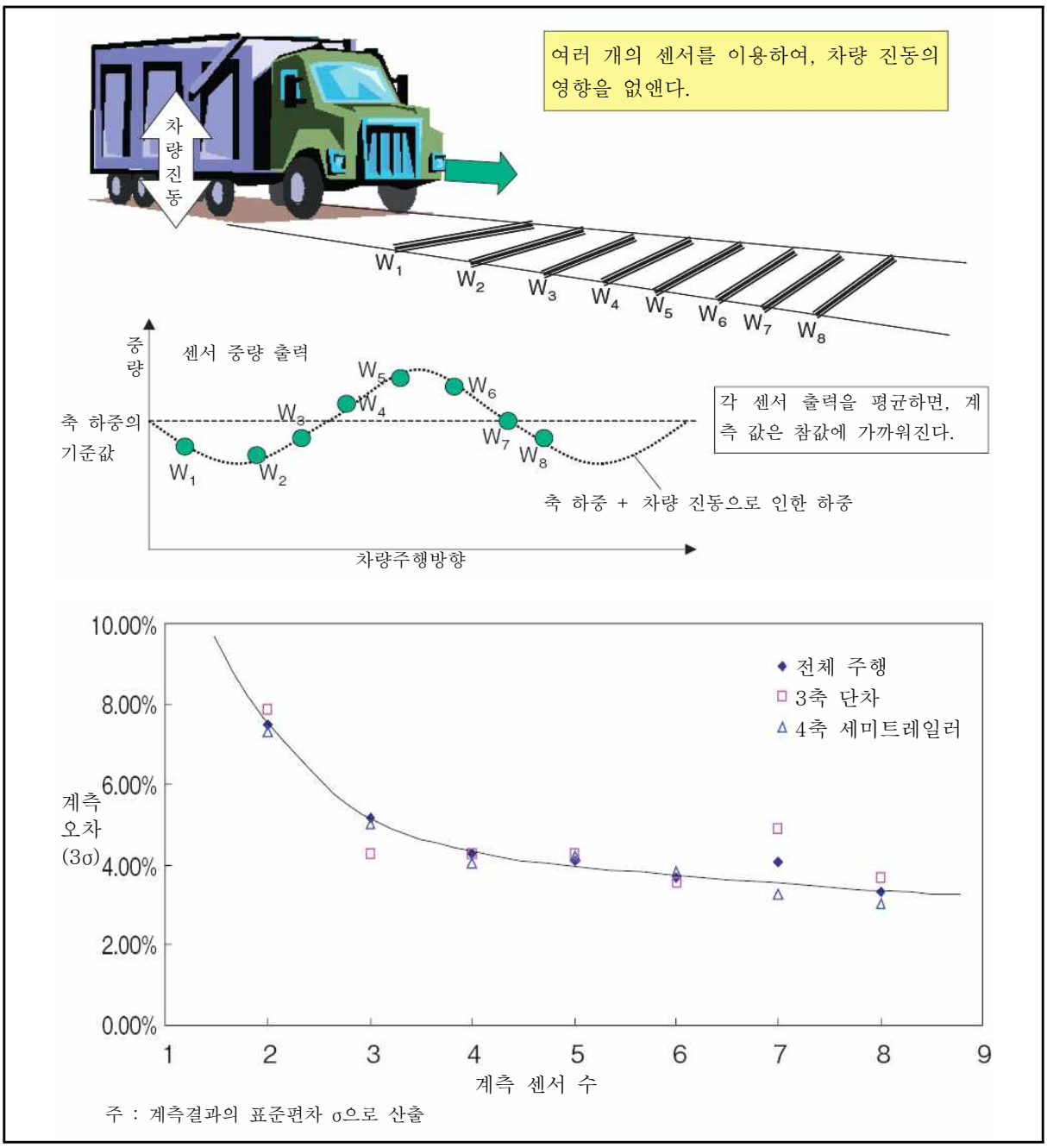
❍ 영국 TDC사는 Hi-Trac이라는 제어기를 판매하고 있으며, 자동차종분류기 및 주행차량축중계 두 가지 모드 동일하게 2Piezo, 1Loop 시스템으로 제어기 구성

❍ 일본의 Omron사는 MS-WIM용 제어기를 판매하고 있으며, 국내에서는 안산시에 시험적용한 사례가 있음(센서는 Kistler사 제품 사용)

❍ Multiple Sensor WIM (센서배치 기술)

- 기존 WIM에서는 중량계측 센서인 피에조 센서를 2개를 설치하여 계측하였으나, 그 정확도를 확보하는데 한계가 있다는 것을 인지하고 3개 이상의 피에조 센서를 설치하여 정확도를 확보하고자 함

- WIM 다중센서는 차량의 이동에 따른 축하중의 공간적 변화(차량의 진동이 원인)를 평균하여 측정값의 정확도를 향상시키는데 있음
- WIM 다중센서에 있어 쟁점은 '차로에 몇 열의 센서를 설치하느냐'로 귀결되며, 이의 해결을 위해 차량 진동과 평균 통행시간을 이용하여 센서의 배치간격과 설치 열수 결정
- 일본의 Omron사는 한개 차로에 8개의 Quartz 피에조 센서를 등간격 배치 실험과 부등 간격 배치실험을 통해 결과를 비교해본 결과 부등간격 배치의 계측오차가 양호하다는 결과를 제시하였으며, 부등간격 배치 중에서도 4번째 센서 이후에는 계측오차의 감소 폭이 현저하게 줄어든다는 결과 제시



[그림 2-2-7] WIM 활용한 중량계측 정확도 향상 원리 개념

제3장. 연구 수행 내용 및 성과

3.1 WIM 센서 시스템의 성능개선

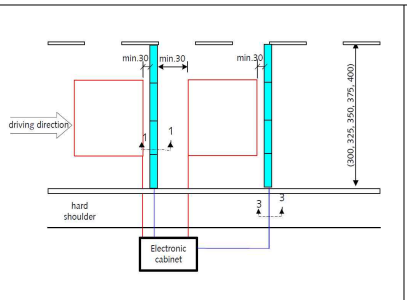
가. WIM 시스템 센서의 구조개선

(1) WIM 시스템의 종류

❍ WIM(Weigh-In-Motion) 시스템을 구분하는 일반적인 방법은 측정하고자 하는 차량의 주행 속도에 따라 약 30km/h 이하에서 측정 가능한 저속 WIM(Low Speed WIM : LS-WIM)과 정상적인 주행 속도(30~120km/h)에서도 측정이 가능한 고속 WIM(High Speed WIM : HS-WIM)으로 구분할 수 있다. 일반적으로 고속 WIM에서는 중량 센서 2조가 사용되며, 단일 시스템에 사용되는 중량 센서의 개수가 3개 이상인 경우를 멀티 WIM(Multi-sensor WIM : MS-WIM) 시스템이라고 분류하기도 한다. 또한 적용 대상 구조물이 교량인 경우 교량에 전달되는 응력을 측정하여 교량 위를 통과하는 차량의 하중 분석이 가능한 B-WIM(Bridge-WIM)이 있다.



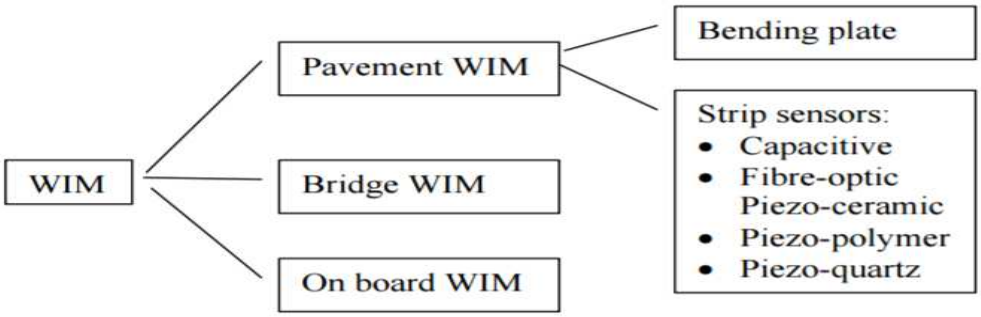
저속 WIM 센서(Bending Plate)



고속 WIM 센서 설치 Lay-Out



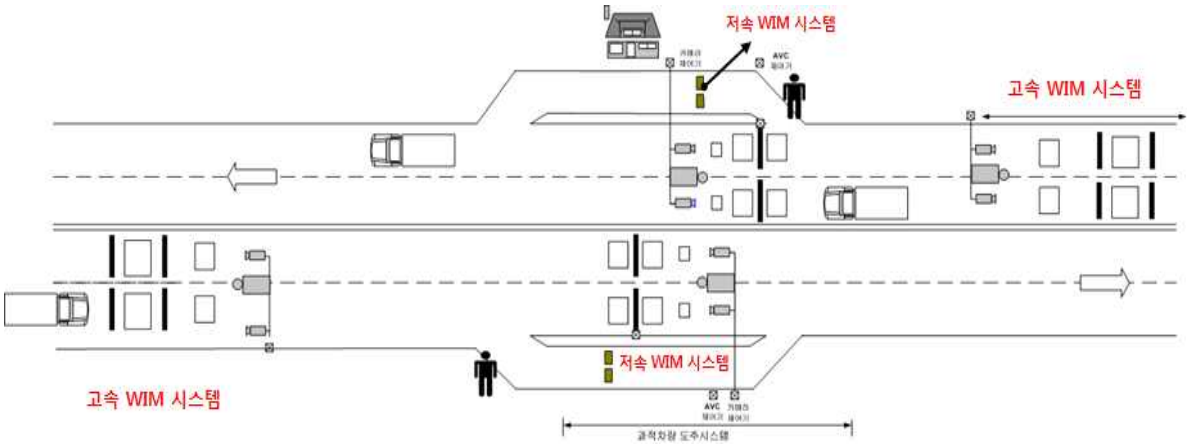
교량 밑에 설치한 B-WIM 센서



[그림 3-1-1] 기존 WIM 시스템 센서의 기술 및 종류

❍ 현재 국내에서 주로 사용하는 WIM 시스템은 시속 10km/h 이하의 속도 주행시 비교적 정확한 하중 측정이 가능한 저속 WIM 시스템으로 과적 단속용으로 사용되고 있다. 이러한 과속 단속용 WIM 시스템은 대부분 고속도로 톨게이트에 고정식 축중기 형태로 설치·운영되고 있으며, 일부는 일반국도의 과적검문소에 설치되어 단속용으로 사용되고 있다.

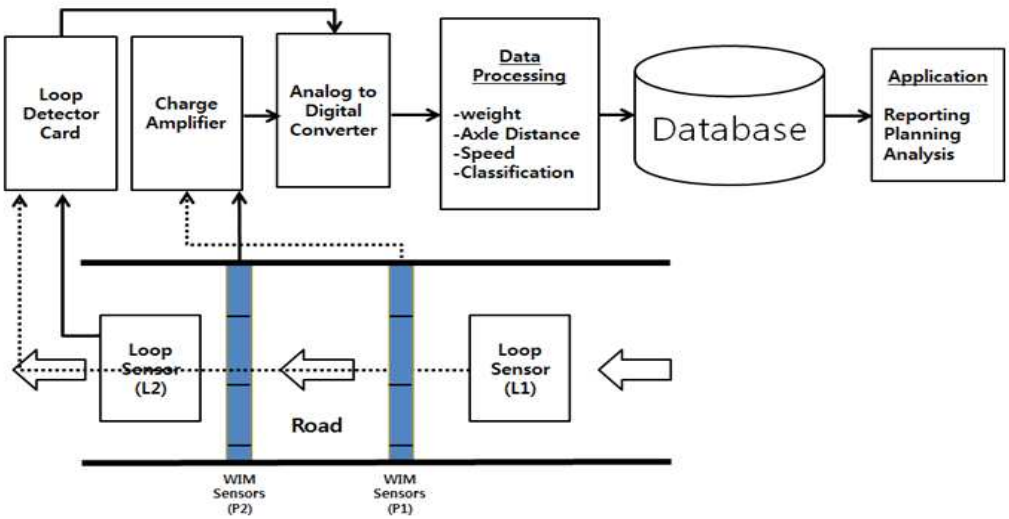
❍ 제2장에서 설명한 것과 같이 [그림 3-1-2]는 국내 일반국도에서 운영 중인 과적단속 검문소의 기본 구성을 묘사한 것인데, 그림에 설명되어 있듯이 고속 WIM 시스템은 과적단속 검문소(Weigh Station) 전방에 설치되어 있으며 과적 차량이 통과할 때 경고음이 발생한 차량을 카메라로 확인한 후 차량을 저속 WIM이 설치된 검문소로 불러들여 재측정하는 유도시스템의 역할을 수행하고 있다.



[그림 3-1-2] 일반국도 과적차량단속 검문소의 구성 개념

(2) WIM 시스템의 기본구조 및 동작

❍ 우리는 WIM 시스템을 사용하여 차량의 무게, 주행 정보, 속도, 축간 거리 등의 차량 정보를 얻을 수 있다. 이러한 정보를 획득하기 위해서는 도로노면에 고감도의 중량측정 센서를 설치하여 주행 중인 차량의 정보를 직접 측정한다.



[그림 3-1-3] 고속 WIM 시스템의 일반적인 구조[1)]

1) Taek Kwon and Bibhu Arya, Development of a PC-Based Eight-Channel WIM System, MDOT, 2007.

❍ [그림 3-1-3]은 고속 WIM 시스템의 일반적인 구조를 설명한 것으로, WIM 시스템은 크게 통과 차량의 정보를 측정하는 루프 센서, 차량축의 무게를 측정하는 WIM 센서, 센서로 부터의 출력 값을 검지하는 검지기(Detector), 측정된 아날로그 정보를 디지털로 변환하는 ADC변환기 그리고 정보를 처리하고 관리하는 모니터링 시스템으로 구성된다. 각 구성요소의 동작기능에 대한 내용은 [표 3.1.1]과 같다.

[표 3.1.1] 고속 WIM 시스템 구성요소의 동작기능

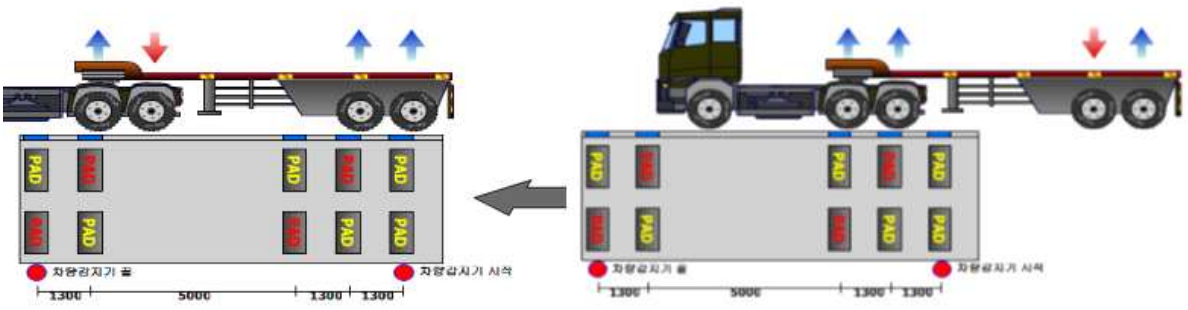
구성요소	세부 내용
루프 센서	▪ 내부에 루프센서 코일을 매설하고 차량의 하중이 센서에 전달될 때 차량의 통과를 감지하는 원리를 이용한다. 자속 내에 인덕턴스의 변화를 주는 원리를 이용하여 주파수의 변화량을 검출하는 방법으로 도로를 주행하는 차량으로부터 발생한 물리적 변형을 전기적 아날로그 신호로 발생시킨다. ▪ 루프센서는 일정간격으로 두 개 이상 배치하면 차종과 차속을 구분할 수 있다. 루프센서를 활용하는 대표적인 장치로서 AVC(Automatic Vehicle Classifier) 시스템이 있는데, AVC 장치는 루프센서를 사용하여 차종을 구분하는데 사용한다. 루프센서 코일은 루프검지기 회로의 발진소자와 결합하여 일정한 전기적 특성을 나타낸다.
WIM 센서	▪ 주행차량의 바퀴가 도로 위에 매설된 WIM 센서 위를 지나갈 때 WIM 센서는 바퀴의 압력을 전기적 신호로 출력한다. 이 신호를 이용하여 차량의 무게, 축 하중 등의 정보를 획득 할 수 있다. WIM 센서는 센서의 특성에 따라 벤딩 플레이트(Bending plate), 피에조일렉트릭(Piezoelectric), 피에조 세라믹(Piezoceramic), 피에조쿼츠(Piezoquartz) 형식으로 구분할 수 있다. 벤딩 플레이트 형식은 주로 저속의 WIM 시스템에 사용되어지고 피에조 형식은 주로 고속의 WIM 시스템에 사용된다. ▪ 최근의 고속 WIM 센서로는 압전센서의 일종인 피에조쿼츠 센서가 많이 이용된다. 이 센서는 폭이 작고 온도변화와 자기장에 변화가 적으며 측력(Lateral Force)과 전력(Horizontal Force)을 제외하기 때문에 하중만을 측정하는데 유리하다. 이 같은 장점으로 기존 WIM 시스템의 중량측정 센서로 많이 사용한다.
루프 Detector 및 Charge AMP	▪ 루프 검지기(Detector)는 루프 센서 위의 차량의 존재 유무를 주파수 및 위상 변화의 검출로 검지하여 루프 센서의 출력을 가공한다. 검지기는 영상 검지기, 레이저 등과 같은 비매설형 검지기와 매설형으로 차량의 중량을 측정할 수 있는 검지기로 구성된다. ▪ WIM 센서는 차량이 WIM 센서 위를 지나갈 때 차량바퀴로부터 전달되는 압력을 전기적 신호로 출력한다. 그러나 이때 발생하는 가공되지 않은 출력 신호의 크기는 아주 미약하고 노이즈가 많이 섞여 있으므로 신호의 증폭과정이 필요하다.
ADC 변환기	▪ 루프 센서와 WIM 센서에서 출력된 신호가 검지기를 통해 전달되면 이 아날로그 신호들을 디지털 신호로 변환하여 필요한 자료를 생성하는 기능을 수행한다. ▪ 아날로그 신호 프로세싱은 증폭, 잡음제거 등의 필터링이 주요기능이다.
모니터링 시스템	▪ 디지털 신호로 생성된 차량의 무게, 축 정보, 속도, 차종과 같은 정보들은 사용자가 용이하게 관찰 할 수 있도록 화면상에 표시한다. 이러한 데이터는 데이터베이스를 통하여 다양한 형태의 통계 자료를 생성하고 확인 할 수 있다. ▪ 과적차량단속을 위해 차적조회시스템과 연동하여 운영하는 등 관련 기관의 관리시스템과의 연계운영이 가능하다.

❍ [그림 3-1-3]에서 P1과 P2는 피에조 센서를 나타내며 L1과 L2는 루프 센서를 나타내는데, 루프센서는 차량의 존재유무 즉 차량감지를 위해서 사용되며 피에조 센서는 차량축의 무게를 측정하기 위한 센서로 사용된다. 이 두 가지 센서는 1개 또는 2개로 구성하여 도로면에 매설되어 차량이 지나갈 때 감지하고 무게를 측정한다. 센서로는 루프센서와 피에조센서 외에 차량 무게 측정에 영향을 미치는 온도와 습도, 풍향, 풍속 등을 감지할 수 있는 센서를 갖추고 있어 주변정보를 수집하여 서버를 통해 관리가 된다. 차량번호판 인식을 위한 화상인식시스템은 WIM 시스템의 전후방에 설치되어 과적혐의 차량의 번호판과 트럭의 형태를 카메라로 촬영·인식하여 해당 차량이 검문소로의 진입 지시에 불응하고 도주할 경우 고발 등 법적 제재를 가할 목적으로 설치되는 장치이다. 진입유도용 신호기는 과적 혐의 차량에 대한 재 계측을 위해 과적 검문소로 유도할 때 필요한 장치이다.

(3) 기존 시스템의 문제점 검토

❍ 기존의 과적차량 단속시스템은 저속의 주행 상태나 정지 상태에서 측정하는 정적하중 측정방식을 사용한다. 고속도로 톨게이트나 일반국도 과적검문소에서는 이를 위해 벤딩플레이트 형식의 고정식 측중기를 사용하며 시속 10km/h 이하의 속도에서 측정이 가능하고 대체적으로 관리 기관에서는 정확한 단속을 위해 과적의심차량의 진입 속도를 5km/h 이하로 유도하고 있다. 그러나 다음과 같은 정적하중 측정 방식의 문제점이 나타나고 있다.

- 운전자의 인위적인 축조작 행위 : 화물차량 운전자가 검문소 계측장소에서 고의로 가변축을 조작([그림 3-1-4] 참조)함으로써 단속 효과가 감소함
- 검문소 위치 노출 : 정적측정 방식을 위한 과적검문소는 그 위치가 노출되어 운행제한기준을 초과한 과적차량이 주변 접속도로로 우회함에 따라 단속효과 저조
- 단속의 어려움 : 순찰차량을 이용한 이동단속의 경우 과적혐의차량을 선별하거나 지시에 불응하는 도주차량을 검문하기 어렵고, 주변 시설을 확보하여 우회도로에서 중량측정을 시행함에 따라 교통 체증을 유발하므로 혼잡지역에 부적합
- 업무의 비효율성 : 단속에 있어 단속 인력자원 부족하고 계측장비의 특성으로 인해 상당한 단속시간이 소요되며, 계측과정, 계측기록의 유지·관리에 있어 단속원의 주관이 개입될 수 있는 소지가 있어 사회적 문제가 발생하기도 함



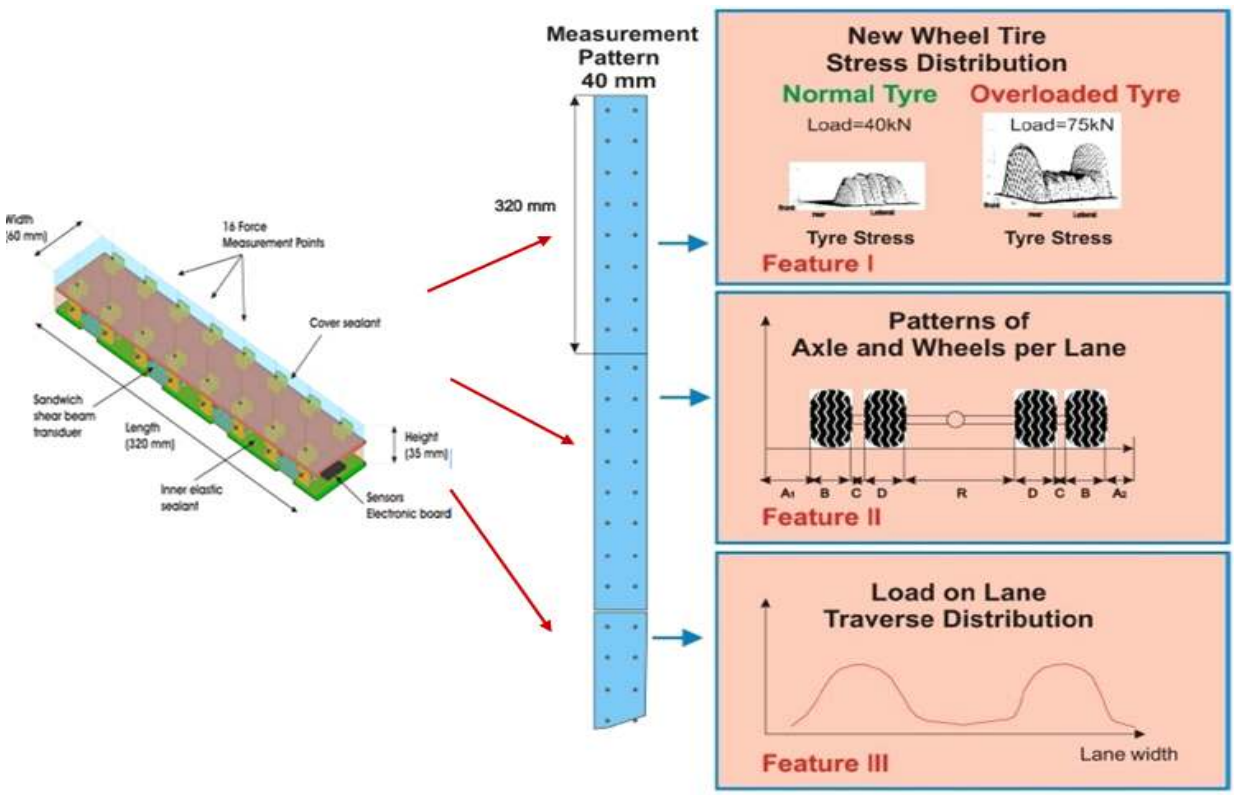
[그림 3-1-4] 화물차량의 축조작 모습 예시

❍ 한편 상기와 같은 저속 WIM 시스템의 운영적인 특성으로 인한 문제점 이외에 기존 고속 WIM 시스템의 설치·운영의 구조적인 특성에 따른 문제점 또한 발생하고 있다.

- 화물차량 운전자의 인위적인 가·감속 또는 교통 체증 및 신호제어로 가다 서다를 반복하는 운전 등과 같은 비정상적인 주행패턴으로 인해 측정정보의 오차율이 크게 발생함
- 주행 중인 무게를 측정할 때 관성력에 의한 무게중심 쏠림 현상으로 축의 무게가 왜곡 측정됨
- 화물차량이 고속 WIM 센서가 설치된 차로와 인접차로를 걸쳐서 주행하거나 갓길 차로를 걸쳐서 주행 시 이를 감지하여 축하중를 검측하는 경우 측정정보의 에러 및 오차가 발생

4) WIM 센서의 구조 및 기능 개선 방안

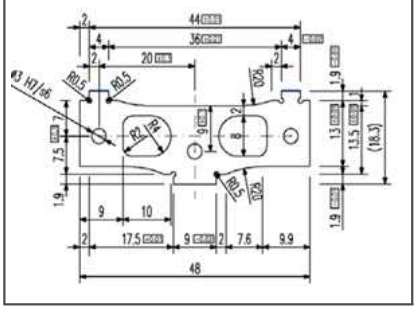
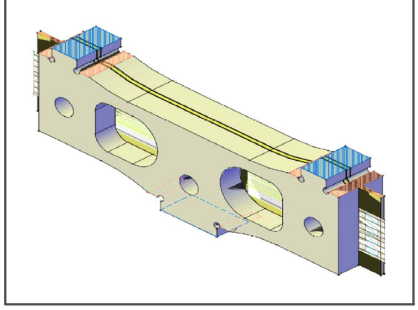
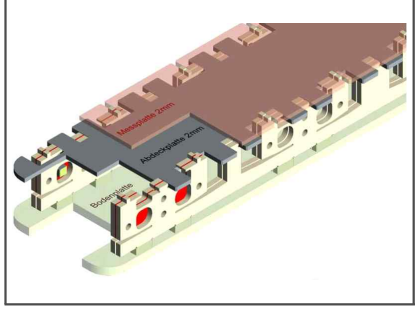
❍ 기존의 과적차량 단속시스템은 고정된 저속 WIM 측정 장비를 사용하므로 시간적 경제적인 손실을 가져와 과적 단속에 있어 다양한 문제점을 나타내고 있으며, 고속 WIM 시스템 또한 차량운전자의 비정상인 주행 및 센서 자체의 기능 부족 등으로 인해 실제 측정 오차는 크게 발생 할 수 있다. 따라서 WIM 시스템을 주 단속 장비로 활용되기 위해서는 이러한 오차를 최소화할 필요가 있다. 본 실용화사업에서는 앞 절에서 언급한 문제점들을 극복하여 오차율을 줄일 수 있으며 국내 실정에 적응할 수는 고속 WIM 시스템을 제시한다. [그림 3-1-5]는 제안된 센서의 기본 개념 및 개발 아이디어를 도식화한 것이다.



[그림 3-5] 제안 WIM 센서 시스템의 구조 및 기능 개념도

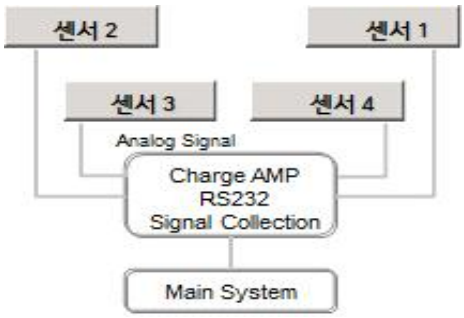
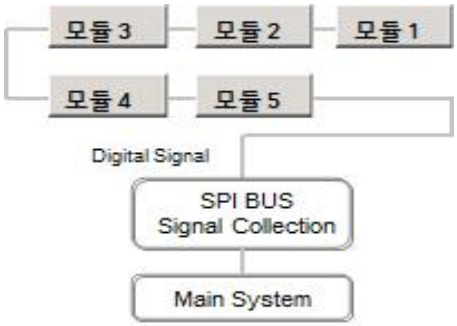
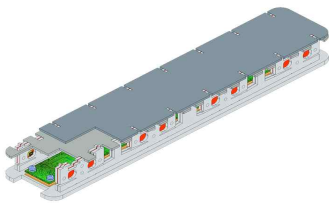
❍ 제안 및 개발되는 센서의 주요 내용은 다음과 같으며, [그림 3-1-6]은 개발하는 센서의 핵심기능인 하중측정을 수행하는 로드셀의 이미지를 그림으로 설명한 것이고 [표 3.1.2]는 기존 Kistler사의 Quartz 압전센서와 기본특성 및 기능을 비교해 설명한 것이다.

- 정확하고 안정적이며 상호 작동적인 소형형태로 구성된 무게 측정 포인트가 매트릭스 형태로 네트워크를 구축함으로써 데이터 품질을 향상시킴
- 이 같은 개념에 기초하여 WIN 센서당 최대 278 개의 측정 포인트를 실시간으로 처리 할 수 있는 센서 시스템
- 트럭 속도 최대 120km/h를 대상으로 이에 대한 분석 및 선택된 외부 측정 샘플 속도는 8000Hz로 설정(최대 피크 값을 얻는데 고질적인 문제가 있는 기존 벤딩 플레이트 저속 WIM에서 사용되는 것보다 5배 이상으로 설정)
- 상기 요구 사항를 만족하기 위해 특수 ASIC에 의한 센서 내 A/D 신호 변환 및 센서에 직접 내장 된 새로운 임베디드 시스템의 사용과 함께 스마트 센서(미니 전단 빔)를 생성
- 무게측정의 정확성 및 정밀성을 위해 스트레인 게이지가 장착된 로드셀(이중 쉐어 빔)을 중량측정의 센서로 사용함(온도와 습도에 대한 효과적인 보정, 사용 환경에 대응하여 낮은 SNR(Signal-to-Noise Ratio), 높은 선형성 유지)
- Stop-and-Go 및 타이어의 형태(단륜 및 복륜), 윤거 등의 측정이 가능토록 구성하여 운전자의 비정상 주행에 대응토록 함

레이아웃	로드셀 개념 이미지	센서 모듈의 구조
		

[그림 3-1-6] 개발 WIM 센서의 핵심요소인 로드셀의 개념도

[표 3.1.2] 기존 센서 대비 제안 WIM 센서의 특성 및 기능비교

구분 \ 성	기존 센서 특성 및 기능 Lineas Quartz Sensor	제안 센서 특성 및 기능 메트릭스형 로드셀 센서
단륜/복륜 등 타이어 형태 감지	센서 설치 필요	- 정확한 차종분류 및 단속 가능케 함
Stop and Go 운영기능	- 10km/h 이하 검지 불가 - 속도 변화시 측정 불가	보유
측정 정확성을 위한 최대 운 영 가능 속도	- 10km/h 이하 검지 불가 - 속도 변화시 측정 불가	〈 120 km/h
정확도	95 % (GW)	≥ 95 % (GW)
	90 % (AW)	95 % (AW)
센서 아키텍처	단지 하나의 신호 출력만 생 성함	5개의 모듈로 구성된 모듈구조 방식이며, 각 모듈은 16개의 측정지점을 포함하여 센서 전체는 80개의 측정지점으로 구성됨
Signal Connector		
개 략 도		

나. 유한요소해석을 이용한 WIM 센서 로드셀의 구조 설계

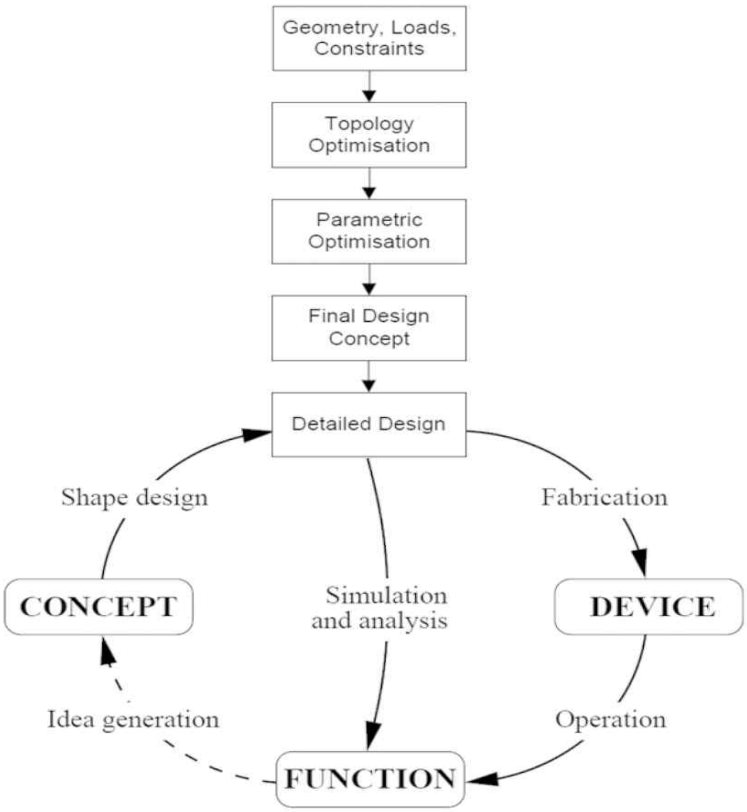
(1) 유한요소 해석을 통한 모델링 및 최적화

❍ 최근의 설계 방법은 소정의 단계에서 신뢰성 및 내구성의 측면에서 프로젝트 수행의 안전성 확보를 위해 FEA(Finite Element Analysis)의 사용을 필요로 하는 경우가 종종 발생한다. 설계 과정에서 FEA를 사용할 때 얻을 수 있는 주요 이점은 다음과 같다.

- 설계 비용의 절약
- 제작 비용의 절감
- 사용재료의 절감
- 약점 파악 및 보완
- 프로젝트의 수준 향상
- 부품 구성 및 조립의 최적화

❍ FEA를 사용하여 부품의 형상이나 크기를 최적화하기 위해서는 여러 단계를 거쳐야만 하는데 빠른 결과가 요구되는 초기 단계에서는 오류가 어느 정도 허용된다. 다음단계에서는 설령 많은 실행시간이 요구된다 할지라도 정확한 결과도출을 필요로 한다. 그리고 최종단계 동안에는 더욱 정교한 메시(mesh,격자)[2]가 필요하게 된다. 통상적으로 부품의 최종 형상과 치수를 결정하기 위한 설계 단계에서 FEA의 관리는 설계자의 직관과 판단에 주로 근거한다.

❍ [그림 3-7]은 제품 개발을 위해 반복적인 단계를 수행하는 과정을 도시한 흐름도 이며, 여기에는 FEA를 사용하여 부품의 최종형상과 크기를 결정하는 필수단계가 예시되어 있다.



[그림 3-1-7] 제품 및 부품개발의 반복주기

2) (Finite element analysis, FEA)은 공학분석에 사용되는 컴퓨터 시뮬레이션기술인데, 개략적인 유한요소가 생성되면 크게 3개로 나눌 수 있다. 하나의 격자를 메시(영어: mesh)라고 하며 메시의 꼭짓점을 이루는 점을 절점(영어: node)이라 하고, 절점으로 연결된 메시의 영역을 요소(영어: element)라고 한다.

❍ 유한요소방법(Finite Element Method)이 고수준의 계산 능력을 제공하고, 일반적으로 복잡한 구조에 대해 합리적인 정확한 분석을 보장하지만, FEM이 제공한 해결책은 종종 여러 가지 원인에 의해 생성된 특정한 왜곡에 의해 영향을 받을 수도 있다. 예를 들어 보강 형상의 최적화를 위해 FEM을 사용하는 경우 발생할 수 있는 단점은 변형 및 응력이 물성, 형상 특성, 적용된 솔루션 같은 중요 변수들로부터 어떻게 영향을 받는지 명쾌하게 나타나지 않는다는 것이다. 때론 분석자가 일부 오차를 발생시키는 경우도 있다.

❍ 모델링과 최적화 과정의 가장 중요한 기능은 아마도 FEA 소프트웨어를 사용하는 설계자의 경험과 직관 그리고 시작단계에 설정한 좋은 전략이 될 것이며, FEA로부터 획득한 수치 데이터를 가치 있는 결과로 도출하는 경험 역시 중요 기능으로 판단된다.

(2) WIM 센서

❍ 현재 WIM 센서는 차량의 축하중 및 총중량을 측정하는데 사용되며, 교통상황을 모니터링하기 위해서 이용되고 있다. 이 같은 WIM 센서는 도로포장 파손의 주범인 과적차량을 감지할 수 있으며 또한, 효율적이고 공정한 도로 시스템을 구축하여 도로 인프라 보호에 기여할 수 있다.

❍ 현재의 WIM 센서 시장은 세 가지 주요 기술이 장악하고 있는데, 두 가지는 전기적인 측정방법(단일 로드셀 및 벤딩 플레이트)을 사용하고 한 가지는 압전방식을 사용한다. WIM 센서와 관련하여 많은 전문가들은 연구를 통해 전기 스트레인게이지가 가장 높은 정확성(±6% ~ ±10%)과 수명을 제공한다고 얘기를 한다. 그러나 불행히도 가장 비싸다는 단점이 있다. 피에조 WIM 센서는 횡단면이 작고 가격이 싼데, 센서의 가격과 설치비용은 센서의 횡단면 크기에 비례한다. 특히 센서의 두께는 도로에 센서를 설치하는 비용에 영향을 끼친다. **본 기술사업화지원사업에 적용하는 센서는 전기 스트레인게이지를 사용하고 피에조 센서와 유사한 작은 횡단면을 갖고 있기 때문에 WIM 시장에서 필요로 하는 두 가지 장점을 모두 지니고 있다**. 이제 미래의 WIM 센서는 다음과 같은 실용적인 응용성에 대응하는 기술이 될 것이다.

- 높은 샘플링 레이트에 의한 동적 측정의 정확도 개선
- 유럽 표준 축하중 인자(ESAL, European Standard Axle Load) 결정방법을 개선하여 도로포장의 설계, 보호 및 비용절감에 기여함
- 차량검지 및 차종분류의 개선
- 과중 검지 및 단속의 자동화
- 센서의 설치비용이 센서의 횡단면 및 두께에 비례함을 감안하여 이를 소형화 함
- 차세대 WIM 시스템은 차량바퀴의 크기 및 타이어의 바람 빠짐 또한 감지

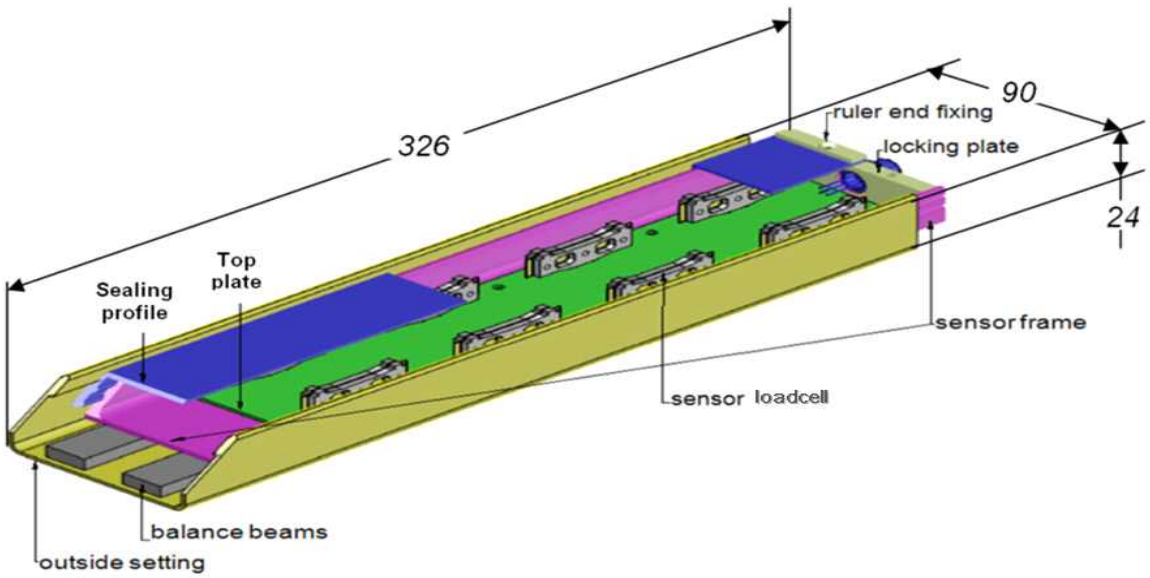
❍ 유한요소해석을 통해 새로운 매트릭스 WIM 센서를 설계하고 최적화하는 내용은 다음 절에 설명한다.

(3) 매트릭스 WIM 센서의 모델 초기화

❍ 본 기술사업화지원사업에 제안되는 매트릭스 WIM 센서는 꾸준히 개선되어 왔고 다음과 같은 장점을 지니고 있다.

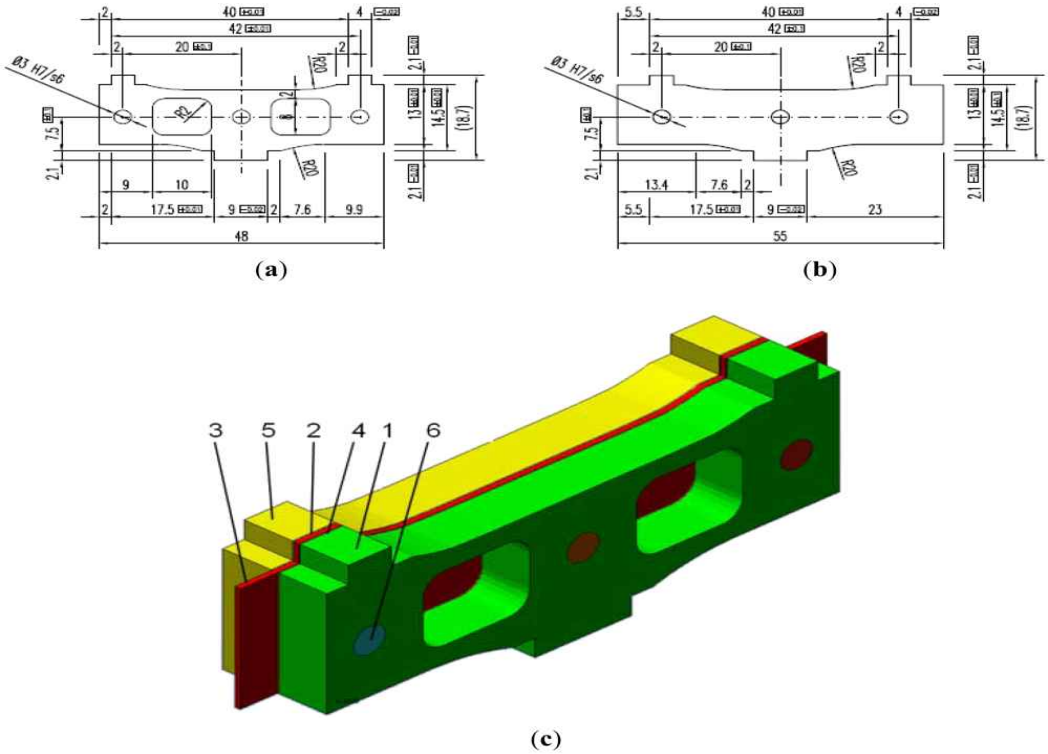
- 작은 횡단면과 평탄한 디자인 (90mm × 24mm)
- 높은 정확성과 반복성(계측의 산포)
- 높은 신뢰성
- 적정한 가격
- 낮은 설치비용

❍ 각각의 센서 박스(모듈)는 16개의 측정 포인트를 포함한 8개의 로드셀이 행렬 형태로 설계되어 있으며, 8개 로드셀은 전단 빔의 스프링 요소를 나타내는 형상이다. [그림 3-1-8]에서 볼 수 있듯이 이 WIM 시스템은 센서 박스(모듈)의 전체 길이를 따라서 여러 개의 로드셀이 양쪽으로 나열해 있는 형태이다.



[그림 3-1-8] WIM 센서 박스(모듈)의 구성

❍ [그림 3-1-9]는 센서 로드셀의 초기 디자인 모습을 나타낸 것이며 로드셀 부품들의 두께와 탄성 특성은 [표 3.1.3]에 설명되어 있다. 이 구성품의 전체 규격은 48 mm × 18.7 mm × 7.1 mm이며 [그림 3-1-9]에 나타나 있듯이 두 개의 외부 판 (1)과 (5), 중앙 탄성판 (3), 그리고 접합된 접착층 (2)와 (4)로 구성되어 있다. 세 개의 판 사이에 발생하는 상대 변위를 방지하기 위해 3개의 핀(6)이 조립 시 삽입된다. 센서 로드셀의 하부는 센서 박스(모듈)에 내장되어 있으며, 로드셀의 상부는 박스(모듈)의 윗 부분 패드를 통과하는 타이어의 하중이 전달된다. 중앙 탄성판 (3)에는 스트레인게이지가 부착되어 있고 여기서 출력되는 값은 데이터 수집시스템으로 전송된다.



[그림 3-1-9] 로드셀의 구성 요소 및 조립형태; a)외부 판, (b)중앙 판, (c)로드셀의 조립형태

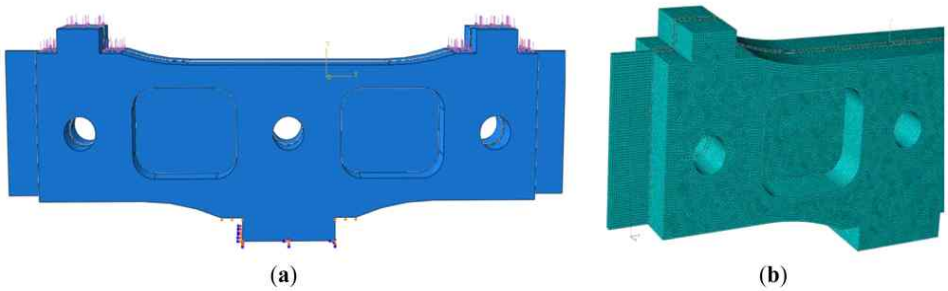
[표 3.1.3] 모듈 부품들의 두께와 탄성 특성

No	부품명	두께(㎜)	탄성 특성	
			영 모즐 E(GPa)	포아송 비 v
1 & 5	외부 판	3.18	200	0.29
2 & 4	접착층	0.12	15.2	0.23
3	중앙 탄성판	0.5	200	0.29
6	핀	3(지름)	200	0.29

(4) 모델링 및 유한요소해석 단계의 자료처리

(가) 모델 및 재료

❍ 정적하중의 조건 하에서 탄성범위의 유한요소해석은 Abaqus 소프트웨어를 사용하여 수행하였는데, 탄성요소는 바닥 부에 삽입하고 하부 다리 부근의 평탄면에 기대어 있는 것으로 간주하였다. 가장 무거운 차량에 대응하는 6,000N의 최대 하중을 탄성요소의 두 팔에 동일하게 분할하였고 탄성부재 상부표면과 부근의 평평한 표면에 균일하게 분산시켰다([그림 3-1-10] 참조). 세 개의 센서 플레이트는 접착제와 세 개의 핀으로 고정되어 있으며, 핀 홀 표면의 경계조건은 OZ축, OY축, OX 회전축 방향의 종방향 변위에 한정하여 연결하였다. 우선 외측 판과 중앙의 탄성판은 항복점이 $_{.2} = 1{,}170 \ \ Pa$ 인 균질한 등방성 재질로 알려진 석출경화형 스테인리스강 17-4PH (Precipitation Hardening Stainless Steel)을 사용하였다.



[그림 3-1-10] (a)하중 및 경계조건, (b)탄성요소의 메시

❍ 주로 벽돌 형식의 유한요소(Finite Elements)의 격자화는 하이브리드 네트워크를 사용하여 수행되었으며 172,202개의 유한 요소들을 생성하였다. 요소의 동일한 증가인자를 통해 모델 전반에 걸쳐 균일하게 분포되는 것으로 간주하였다. 위에서 언급한 유한요소 개수는 FE의 개수를 세 번 증가(73,181→112,300→172,202) 시키는 연속시험을 수행한 후 획득하였으며, 이에 따라 격자의 오차가 제거되고 실행 시간이 허용 수준이 되었다. 하중 전달은 다음과 같이 두 가지 경우를 고려한다.

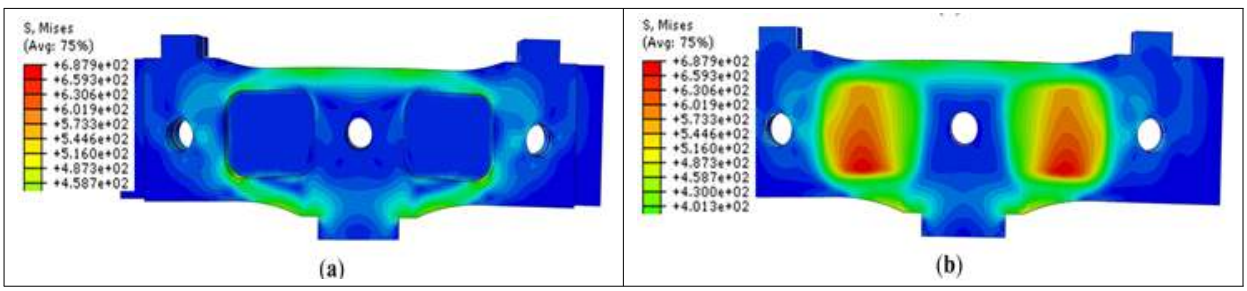
- case 1: 센서 모듈의 두 팔에 3,000 N씩 대칭하여 하중전달 ([그림 3-1-10]의 (a))
- case 2: 비대칭 하중전달. 즉 센서 한쪽 팔에만 3,000N의 하중이 전달되고, OY 축의 방향에서 다른 팔의 변위는 억제됨

(나) 하중이 대칭인 경우

❍ 특정 부위에 하중을 주고 분석을 마치면 응력이 얼마나 걸리는지 폰 미제스 응력[3] (von Mises stress)을 통해 알 수 있는데 폰 미제스 응력의 분포는 다음과 같이 나타난다.

- 조립 된 센서 모듈에서의 응력 ([그림 3-1-11]의 (a))
- 중앙 탄성판에서의 응력 ([그림 3-1-11]의 (b))

❍ 스트레인게이지는 최대 응력이 위치하는 지역 즉, 중앙 탄성판 지역에 위치하고 있으며 ($_{\max} = 687.92 \quad Pa$), 스트레인 게이지 영역에서의 최대 응력의 주방향은 통상적으로 45 ° 이고, 스트레인게이지의 필라멘트도 이 방향을 지향하고 있다.

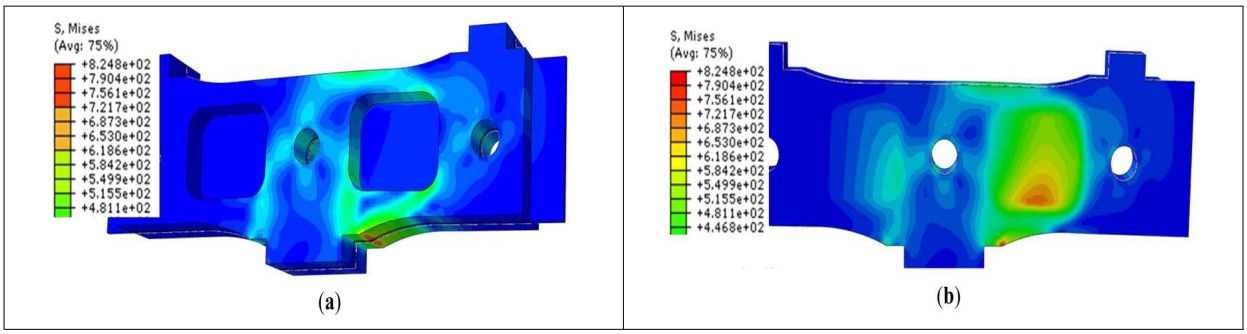


[그림 3-1-11] 대칭하중인 경우의 von Mises 응력의 분포상태: a) 조립된 로드셀; b) 중앙 탄성판

3) (effective or equivalent stress)이라고도 부르며 영국의 과학자 폰 미제스(von Mises, 1883~1953)의 이름을 따서 불리게 된 특수한 유형의 응력이다. 물체는 외부로부터 힘이나 모멘트를 받게 되면 어느 정도까지는 견디지만 얼마 이상의 크기가 되면 외력을 지탱하지 못하고 파괴된다. 이러한 파괴를 예측하는 기준이 되는 조건을 항복조건(yield criterion)이라고 부르며, 폰 미제스 항복조건과 Tresca 항복조건(Tresca yield criterion)이 대표적으로 사용된다.

(다) 비대칭 하중인 경우

❍ 두 번째는 하중이 비대칭으로 전달된 경우인데, 즉 센서 모듈 두 개의 팔 중에서 한쪽에만 3,000N의 하중이 전달된 경우이다. [그림 3-1-12]은 센서 로드셀과 중앙 탄성판에 대한 폰 미제스 응력의 분포상태를 예시한 것인데, 이 경우의 폰 미제스 응력의 최대값은 $_{\max} = 824.79 \quad Pa$ 로 나타났다. 이 스트레스는 스트레인게이지 영역에서 중앙 탄성판에 지역화되어 분포하고 있다. 대칭 하중인 경우에 687.92 MPa인 응력이 비대칭 하중에서는 824.79 MPa로 대폭 증가한 것을 알 수 있다. 다음 절에서 설명하겠지만 이 폰 미제스 응력값은 석출경화형 스테인리스강 17-4PH의 피로강도 보다는 크게 나타난다.



[그림 3-1-12] 비대칭 하중인 경우의 폰 미제스 응력분포 상태: a) 센서 로드셀; b) 중앙 탄성판

(5) 센서의 피로 해석

❍ 대칭 및 비대칭 하중이 전달된 경우 나타나는 주요 수직 응력과 최대변위를 [표 3.1.4]에 설명하였으며 비대칭으로 하중이 전달된 경우가 가장 심각한 상태임을 알 수 있다.

[표 3.1.4] 대칭 및 비대칭 하중이 전달된 경우의 수직 응력과 최대변위(스테인리스강 17-4PH)

하중	두께 (mm)	$_{\max}$(mm)	$\sigma_{\max}$(MPa)	$\sigma_{\min}$(MPa)
대칭 하중(2×3,000N)	7.1	0.087	395.173	-532.543
비대칭 하중(1×3,000N)	7.1	0.121	346.833	-711.383

❍ 유한요소해석은 정적 하중 조건에 대해서 수행되었으며, 피로 해석은 다음에 제시한 바와 같다. 최소 및 최대 응력 사이의 비율은 부호를 고려하여 사이클 특성이나 비대칭 사이클 계수로 설정한 R로 표현한다. 스테인리스 강의 피로강도를 추정하기 위해서 1,200 MPa의 1,800 MPa의 사이의 인장 응력을 가진 강철 종류에 적용하기 적합한 경험적 기법을 사용하였다.

$$\sigma_{\ 1} = 400 + \frac{\sigma_u}{6} \qquad \text{식 (3-1-1)}$$

기서, σ_{-1}; 대칭사이클의 피로한도($= -1$)
σ_u ; 최대인장강도

❍ 대칭 사이클(R = -1)은 재료의 피로해석에 있어 가장 위험한 시나리오로 간주된다. 따라서 만약에 재료의 구성요소가 대칭 사이클에 오래 동안 지속적으로 하중에 저항하도록 설계된다면, 동일한 진폭의 어떤 사이클이거나 다른 비대칭 계수의 R값을 갖더라도 더 많은 저항을 할 수가 있게 될 것이다. WIM 센서의 탄성요소는 R=0 또는 0을 기준으로 하는 변동주기에 하중이 실리는 것으로 설정하고 있다. 일반적으로 변동주기의 피로강도 는 대칭 사이클의 강도 σ_{-1} 보다는 크다. 일정한 주기의 진폭은 모든 차량이 최대의 축 하중을 갖는 트럭인 경우에 발생하는 것으로 가정하였다.

❍ 식 (3-1-1)로부터 대 칭 사이클인 경우, 석출경화형 스테인리스강 17-4PH의 최대 인장응력 $\sigma_u = 1{,}310 \quad Pa$, 그리고 피로강도는 $\sigma_{-1} = 618.33\,MPa$로 나타났다.

❍ [표 3-4]에 기술한 데이터를 이용하여 정상 응력의 절대 최소값($\sigma_{\min} = 711.383\,MPa$)이 대칭 사이클의 피로강도($\sigma_{-1} = 618.33\,MPa$) 보다 큰 것을 알 수 있다.

$$\sigma_{\min}| > \sigma_{1} \qquad \text{식 (3-1-2)}$$

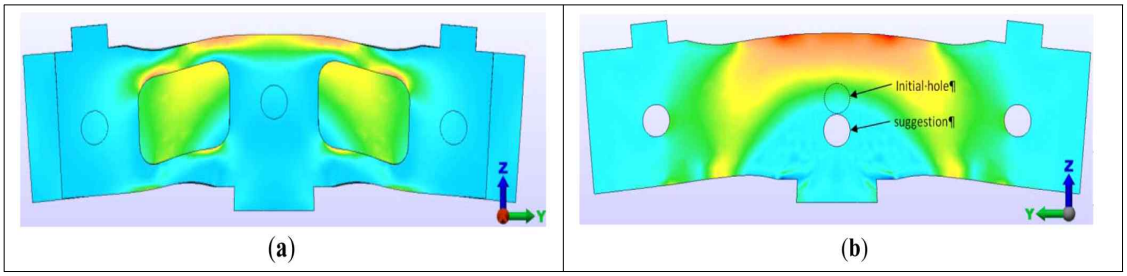
❍ 상기의 식 (3-1-2)를 통해 센서는 주기적인 응력에 무한히 저항할 수 없음을 알 수 있다. 따라서 초기 버전의 센서는 재설계 하는 것이 권장된다. 피로 수명에 영향을 미치는 주요 요인은 재료의 부피, 거칠기 및 응력의 집중도이며, 센서의 부피는 센서 내구성에 양호한 영향을 주는 특성, 즉 피로시험을 수행하는 샘플의 부피보다는 작다. 또한 샘플의 임계표면들의 거칠기는 작다(미세 분쇄). 유한요소해석은 응력집중을 감소시키는 것에 주력하고 있기 때문에 응력 집중 계수는 임계 영역에서 매우 적당한 값을 갖는다. 결론적으로 위에서 언급한 세 가지 요소의 제반적인 영향은 작다는 것을 의미한다. 다음과 같은 작업에 의해 WIM 센서의 피로거동에 대한 개선을 획득할 수 있다.

- 부분적인 최대응력을 감소시키기 위해 형상을 변화시킴
- 큰 피로 강도를 가진 강철 종류를 선택함
- 표면의 거칠기를 낮게 개조함
- 위의 모든 솔루션을 채택함

❍ 동시에 스트레인 게이지 영역에서 스트레인(변형률)은 좋은 감도를 충분히 크게 유지하여야 한다.

(6) WIM 센서 전단 빔 로드셀의 재설계

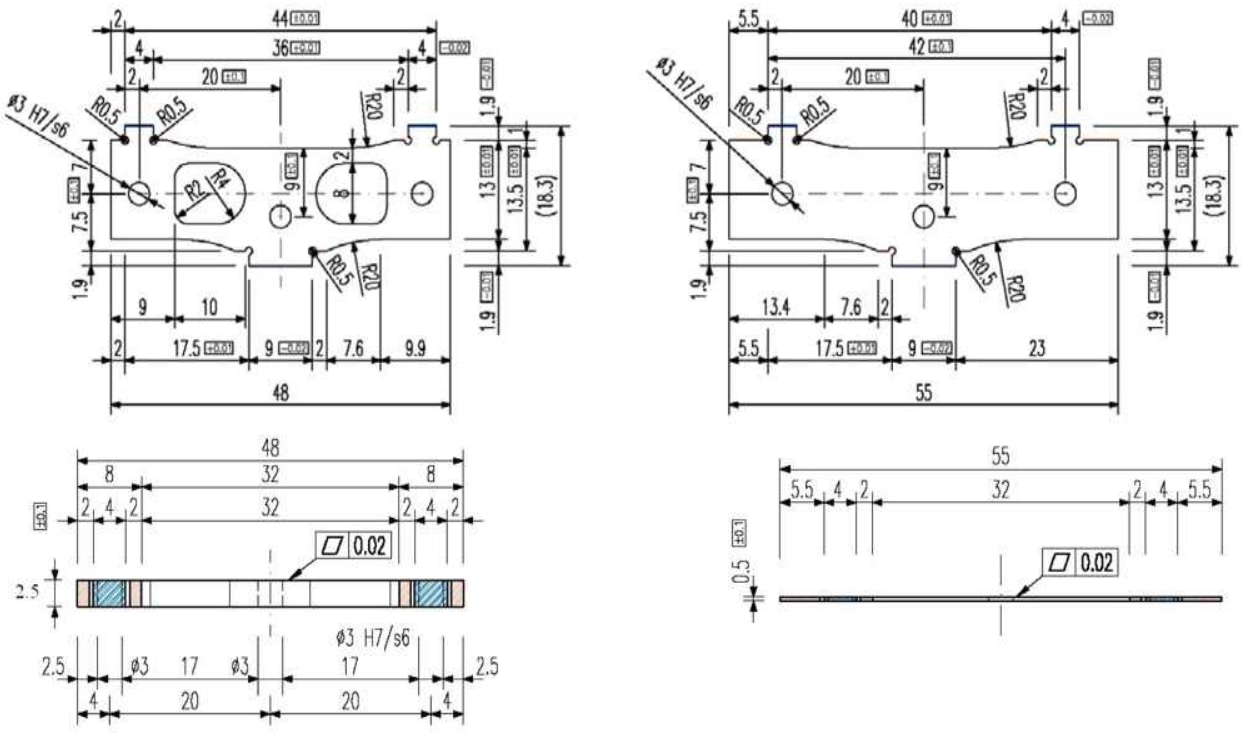
❍ 대칭적으로 하중이 전달되고 앞 절에서 언급한 경계조건을 적용할 경우, 변형된 센서 로드셀과 중앙 탄성판이 획득한 주요 응력의 상태는 [그림 3-1-13]과 같이 나타난다. 중앙 탄성판과 두 개의 외부판은 두 개의 접착층과 세 개의 핀으로 접합되어 있다. 이처럼 세 개의 판은 강하게 접착되어 있기 때문에 이들 사이에는 상대변위가 발생하지 않는다.



[그림 3-1-13] 변형된 센서 모듈 및 중앙 탄성판의 주요 응력 상태

❍ 중앙 핀 구멍은 중요한 응력 값들을 갖는 지역에 위치해 있다는 것을 인지해야한다. 유한요소해석을 통해 얻은 최대응력 값을 고려하여 센서의 내구성을 증가시키기 위해 다음과 같은 수정작업이 채택되었다.

- 중앙 구멍을 구멍의 직경 크기만큼의 아래 부분에 재배치하여 응력이 적게 작용토록 함 ([그림 3-1-13]의 (b))
- [그림 3-1-14]에 나타나 있듯이 외부 판에서 중심축까지의 두 개의 간극에 있어 높은 접촉 반경을 제공
- 기울기가 있는 표면은 연마하여 가공하고 내부의 모서리 부문들은 가공에 의해 특수하게 출시되도록 함
- 높은 응력이 작용하는 상면 또한 연마에 의해 가공되어야 함



[그림 3-1-14] 새로운 전단 빔 로드셀 센서 설계

❍ 상기와 같은 권고에 따라 센서 로드셀의 탄성요소를 위해 우수한 강도 특성($=1{,}600\ Pa$, 우수한 피로강도 등)과 좋은 성형 특성을 지닌 몰리브덴과 합금한 마르텐사이트계의 스테인리스 강을 선택하였고, 이 새로 선택된 종류의 철강은 스트립 형태로만 생산되기 때문에 작은 범위의 크기에서 치수를 변화시키는 작업이 실행되었다.

- 외부 판의 두께를 3.18mm에서 2.5mm로 변화시킴
- 이에 따라 탄성체 조립품의 두께가 5.74 mm로 바뀜(중앙 탄성판 및 접착층의 두께는 이전과 동일)

❍ 한편 외부 판의 두께 감소는 스트레인 게이지 출력 값을 크게 하여 민감도를 증가시킨다. 새로운 전단 빔 로드셀 센서의 모습은 [그림 3-1-14]와 같으며, 상기와 같은 변화에 따라 탄성요소에 대한 새로운 유한요소해석이 요구된다.

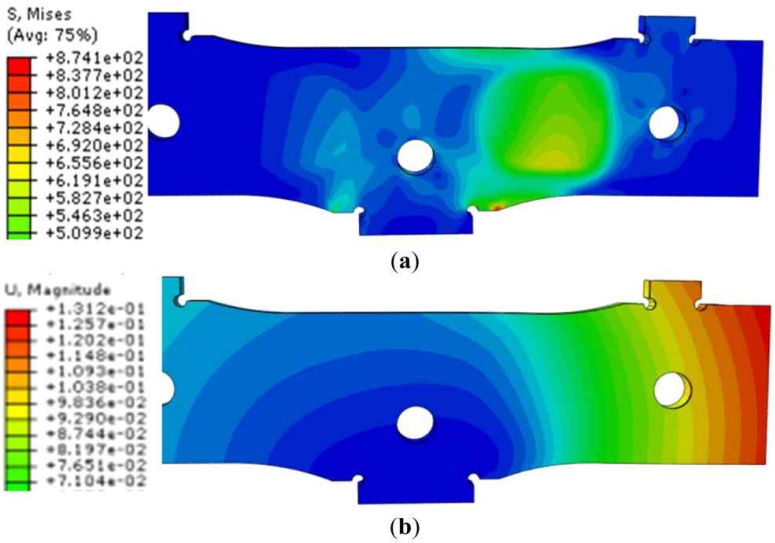
(7) 새로운 전단 빔 로드셀 센서 해석

(가) 유한요소해석

❍ 새로운 전단 빔 로드셀 센서에 대한 유한요소해석은 다음 사항을 고려하여 수행한다.

- 첫 번째 분석에서 나타났듯이 비대칭 하중이 전달되는 경우에 높은 응력이 발생하기 때문에 비대칭 하중 전달의 경우에 대해서만 해석을 수행한다.
- 변형 된 중앙 탄성판은 센서 상자의 바닥면에 닿지 아니한다.

❍ 첫 번째와 똑같은 하중과 경계조건이 새로운 전단 빔 로드셀 센서에 대한 유한요소해석에도 적용되었으며, 유한요소해석의 결과를 통해 폰 미제스 응력(von Mises strsses), 주요 응력(σ_{11}, σ_{22}), 변형률 및 변위에 대한 자료가 [그림 3-1-15]처럼 도출되었다.



[그림 3-1-15] 중앙 탄성판의 응력 및 변위 상태: (a)폰 미제스 응력($\sigma_{\max} = 874MPa$), (b)변위($\delta_{\max} = 0.131mm$)

❍ [표 3.1.5]는 새로 디자인한 WIM 센서에 대해 비대칭으로 하중이 전달된 경우, 최대 및 최소응력 그리고 중앙 탄성판의 자유 단부에 위치한 최대 변위값을 나타낸 것이다.

[표 3.1.5] 중앙 탄성판의 최대/최소응력 및 최대변위(비대칭 하중 전달인 경우)

새로운 전단 빔 로드셀 센서	총 두께 (mm)	$_{max}$(mm)	σ_{max}(MPa)	σ_{min}(MPa)
	5.74	0.131	360.507	-658.179

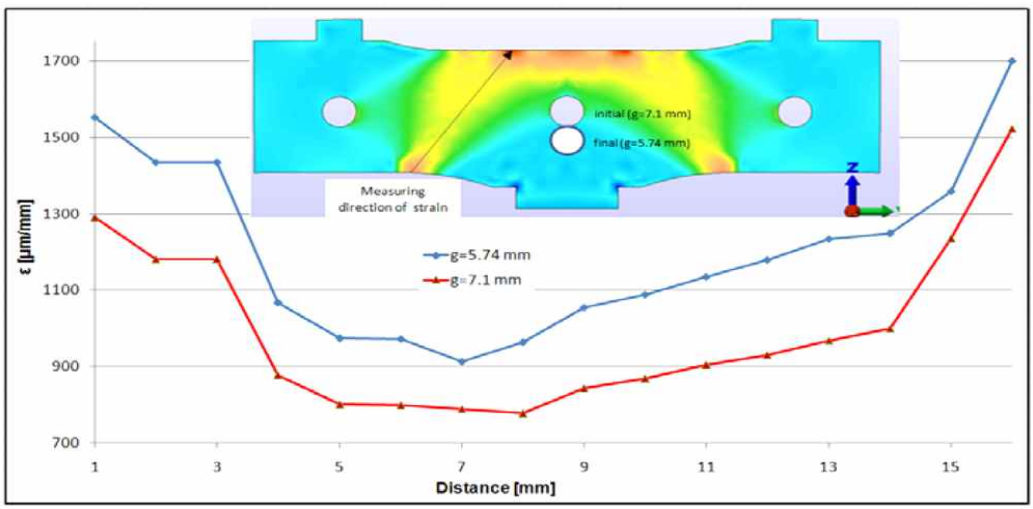
(나) 새로운 전단 빔 로드셀 센서의 피로강도

❍ 새로 선정한 마르텐사이트계의 스테인리스 강($=1{,}600$ Pa)에 대해 식 (3-1-3)을 이용하여 센서 로드셀에 대칭으로 하중이 전달되는 경우의 피로강도 $\sigma_{-1} = 667\,MPa$ 로 나타난다. 이 값과 [표 3.1.5]에 제시된 최대응력의 절대값을 비교해 보면, 새로운 전단 빔 WIM 센서의 수직 응력의 절대 최소값 ($\sigma_{\min} = 658.179\,MPa$)이 대칭 사이클의 피로강도 보다 작다는 것을 알 수 있다.

$$|\sigma_{\min}| = 658\,MPa < \sigma_{-1} = 667\,MPa \qquad \text{식 (3-1-3)}$$

❍ 상기 부등식 (3-1-3)에 의거하면 새로운 전단 빔 WIM 센서의 피로수명은 무제한으로 언급할 수 있다. 또한 [표 3.1.4]와 [표 3.1.5]으로부터 최대변위는 새로운 디자인이 기존대비 약간 큰 것으로 나타났다(0.131mm과 0.121mm 비교).

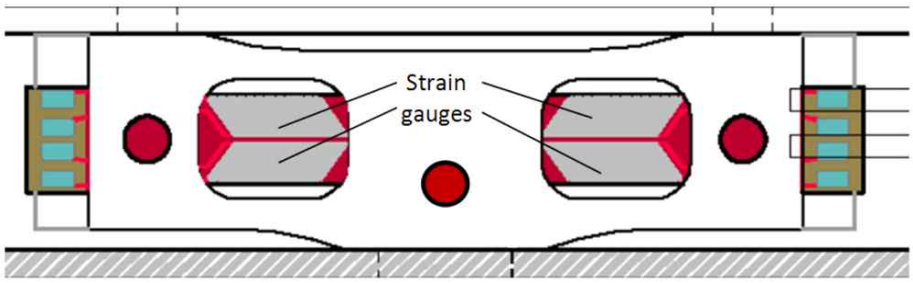
❍ [그림 3-1-16]을 살펴보면 변형률은 스트레인게이지 방향으로 나타나는 것을 알 수 있다. 두 개의 디자인을 비교했을 때 스트레인게이지 그리드의 모든 부분에서 새로운 디자인의 변형률이 높게 나타남을 알 수 있다. 이 같은 현상은 더 높은 스트레인게이지 출력을 의미하여 좋은 민감도를 나타낸다.



[그림 3-1-16] 새로운 WIM 센서 로드셀의 탄성 중앙판 변형률 변화

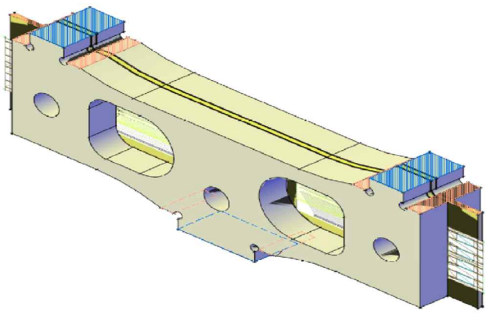
❍ 완성된 전체 센서 모듈은 4×2 행렬 형태로 모두 8개의 탄성소자가 설치된다. 탄성소자의 공칭 하중은 3 kN 이며 민감도는 1 N이다. 따라서 센서 박스의 공칭 하중은 24 kN 이 되며, 센서 모듈 전체 단면의 크기는 90×25 mm 이다.

❍ [그림 3-1-17]에 묘사된 스트레인게이지는 외부 판의 직사각형 형태의 영역에 적합하게끔 제작되었다. 다시 말해, [그림 3-1-17]에 나타나 있듯이 스트레인게이지 방향 중 하나는 최대 응력 방향과 일치하도록 구성하였다. 이러한 조건에 따라 스트레인게이지 측정에 대한 민감도는 상당히 증가한다.

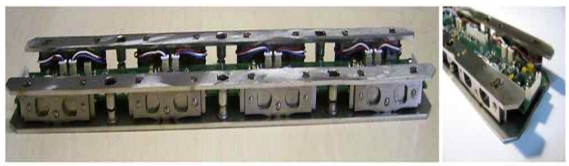


[그림 3-1-17] 스트레인게이지 트랜스듀서의 위치

❍ 새로 설계한 전단 빔 로드셀 센서의 3D 형상은 [그림 3-1-18]과 같으며, [그림 3-1-19]는 최종적으로 조립된 전체 센서 모듈의 모습이다.



[그림 3-1-18] 3D 형상의 최종 로드셀 모습

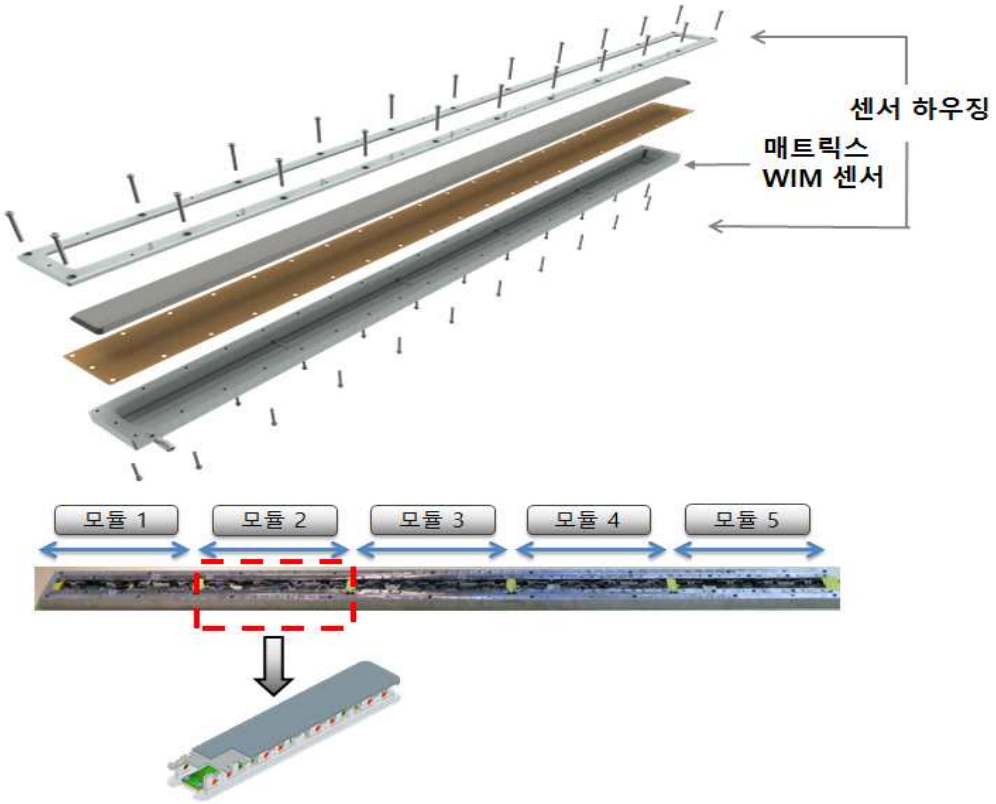


[그림 3-1-19] 최종 조립된 센서 모듈의 모습

다. WIM 센서의 내구성 강화

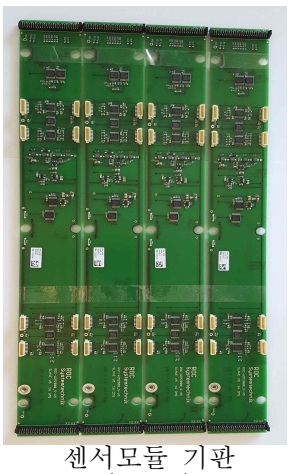
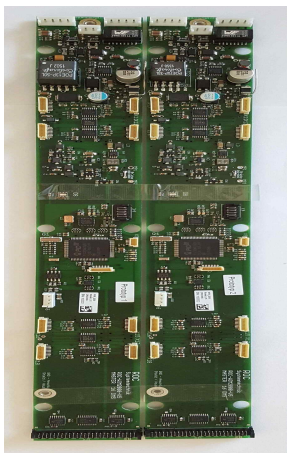
(1) WIM 센서의 구조개선

❍ 유럽 COST 323에 따르면 WIM 센서는 설치된 주변의 환경온도 -20℃ ~ +60℃의 범위에서 적정히 동작되어야 하고 습도 및 염분에도 민감하지 않아야 한다고 권고하고 있다. 이는 도로포장의 배수가 잘 안되어 강우 시에 센서의 처짐 현상을 우려하기 때문이다. 또한 센서 위를 통과하는 탱크(60톤 까지) 및 중차량에 견딜 수 있어야 하며 통과교통량이 많은 곳에서도 교체 및 제거 시까지는 도로포장에 견고히 고정되어 지속적으로 운영이 되어야만 한다. 이 같은 사항을 고려하여 본 기술상용화사업에서는 센서의 재질 및 형태의 개선을 통해 WIM 센서의 내구성을 강화하도록 한다.



[그림 3-1-20] 매트릭스 WIM 센서의 구조

[표 3.1.6] 매트릭스 WIM 센서의 구조 및 구성품

로드셀 및 센서모듈			
하우징 및 WIM 센서			
센서모듈 회로 및 기판 (Master 1개, Slave 4개)	 AMP V5	 센서모듈 기판 (Slave)	 센서모듈 기판 (Master)

❍ [그림 3-1-20]은 매트릭스 WIM 센서의 구조를 개념적으로 묘사한 것인데 기본적으로 로드셀의 재질은 스테인리스강을 사용하며, 각 모듈(5개의 모듈)은 센서 하우징 내에 장착되고 도로에 설치할 때에는 더미 센서 내에 이 센서 하우징을 설치한다. 즉, 내구성을 감안하여 센서모듈을 이중화(하우징+더미센서)하여 설치함으로써 운용 내구성을 강화시킨다.

(2) 스테인리스강을 이용한 내구성 강화

(가) 스테인리스강의 종류 및 특성

❍ 스테인리스강(stainless steel)은 최소 10.5% 혹은 11%의 크롬이 들어간 강철 합금이며 녹, 부식이 일반 강철에 비해서 적다. 스테인리스강은 1820 년대 영국의 패러디(Faraday)등이 크롬을 첨가하여 내식성을 향상시키는 연구를 하던 중 20 세기 초반 독일의 마우러(Maurer)와 스트라우스(Strauss)에 의해 크롬니켈(Fe-Cr-Ni)계, 영국의 벨리(Bearly)에 의해 크롬(Fe-Cr)계 스테인리스강이 개발되었다. 그 이후 10 년 동안 몰리브덴(Mo), 구리(Cu), 납(Nb), 티타늄(Ti)등을 첨가한 안정화된 스테인리스강이 개발되어 상업화가 이루어졌다.

❍ 스테인리스강은 여러 종류가 있는데 결정구조에 따라 크게 오스테나이트계, 마르텐사이트계, 페라이트계 3가지로 구분할 수가 있다. 오스테나이트, 마르텐사이트, 페라이트라는 것은 각각 금속 조직의 명칭을 의미하며 주요 특징은 [표 3.1.7]과 같다.

[표 3.1.7] 스테인리스강의 일반적인 특징

구분		금속(강)의 기본 조직(결정구조)		
		오스테나이트 계	마르텐사이트 계	페라이트 계
대표강종		STS304	STS410	STS430
대표성분		18%Cr-8%Ni	13%Cr	18%Cr
열처리		고용화열처리	풀림 후 급냉	풀림
경화성		가공경화	Quenching[4] 경화	비 Quenching 경화
주용도		- 건축물 내, 외장재 - 주방용기 - 화학 Plant - 항공기용	- 건축재 부품 - 자동차 부품 - 가전용, 사무기기 - 주방기구, 식기류	- 건축재 부품 - 자동차 부품 - 가전용, 주방기구 - 식기류
품질 특성	내식성	높음	보통	높음
	강도	높음	높음	보통
	가공	높음	낮음	보통
	자성	상자성	상자성	상자성
	용접성	높음	낮음	보통

4) 일반적으로 사용하는 열처리란 말은 주로 이 퀜칭을 의미하고 강을 연(軟)한 상태로부터 가장 경(硬)한 상태로 바꿔줌으로써 열처리 효과를 가장 실감나게 해주는 방법

(나) 스테인리스강의 종류별 특성

○ 오스테나이트 계 스테인리스강

- 스테인리스강 시장의 70%를 차지한다. 여기엔 0.15%의 탄소, 16%이하의 크롬과, 특별히 망간이나 니켈이 들어가 용융점부터 낮은 온도까지 오스테나이트 구조를 유지시킨다. 특히 18%의 크롬과 10%의 니켈이 들어간 것을 18/10 스테인리스라고 부르는데, 이것들은 식기류에 사용된다. 이와 유사하게 18/0, 18/8도 사용가능하다. AL-6XN과 254 SM0 같은 슈퍼 오스테나이트 계 스테인리스강은 질소와 몰리브덴이 포함(>6%)되어 좀 더 염화물과 균열을 견디며, 그리고 높은 니켈 함량을 가진 300계와 비교하였을 시에 응력에 대해 좀 더 잘 견디는 대신, 가격이 비싸다.
- 오스테나이트 계 스테인리스강은 기본적으로 그 표준 조성이 18%Cr-8%Ni이므로 보통 18-8 스테인리스강이라고 불리어진다. 그리고 이 조성을 기본으로 하고 사용 목적에 따라 C, Ni, Cr의 함유량을 변화시키거나 또는 Mo, Cu, Ti, 및 Se 등을 새로이 첨가한 강종도 있다.

[표 3.1.8] 오스테나이트 계 스테인리스강 종류 및 특성

구분	기호	기본조성과의 차이점
Cr-Ni 계	STS 301	가공 경화를 위하여 Cr-Ni량을 감소시킴
	STS 302	기본형, 18%Cr-8%Ni
	STS 303	절삭성을 위하여 P.S 첨가
	STS 303Se	절삭성을 위하여 Se 첨가
	STS 304	탄화물 석출을 방지하기 위하여 탄소량을 감소시킴
	STS 304L	용접성을 위하여 탄소량을 감소시킴
	STS 305	가공 경화를 줄이기 위하여 Ni량을 증가시킴
	STS 309s	탄화물 석출을 억제하기 위하여 탄소량을 감소시킴
	STS 310	내산화성을 위하여 Cr,Ni량을 최대로 함
	STS 316	내식성을 더욱 향상시키기 위하여 Mo량을 증가시킴
	STS 316L	용접성을 위하여 탄소량을 감소시킴
	STS 317	내식성 및 고온 강도를 위하여 Mo량을 증가시킴
	STS 321	탄화물 석출을 억제하기 위하여 Ti 첨가
	STS 347	탄화물 석출을 억제하기 위하여 Nb, Ta을 첨가
Cr-Ni-Mn 계	STS 201	가공 경화를 위하여 Ni량을 감소 시킴
	STS 202	기본형, 18%Cr-5%Ni-8%Mn

❍ 마르텐사이트 계 스테인리스강

- 다른 2개의 스테인리스강에 비해 부식 저항력이 떨어지지만 매우 단단하고 강하다. 또한 기계 가공을 하기가 좋으며 열 가공을 하는 경우 더 강해질 수 있다. 마르텐사이트 계 스테인리스강에는 크롬(12~14%), 몰리브덴(0.2~1%), 그리고 탄소(약 0.1~1%)가 포함된다.
- 마르텐사이트 계 스테인리스강의 주요 합금원소는 크롬이지만, 페라이트 계에 비해서 크롬의 함유량은 적고, 퀜칭(Quenching) 경화성을 갖는다는 것이 큰 특징이다. 이러한 이유 때문에 마르텐사이트 계 스테인리스강은 수냉이나 유냉과 같은 급랭을 하지 않고 단지 공기 중에서 방냉(放冷)만으로도 충분한 퀜칭 경화성, 즉 자경성(自硬性)을 갖는다.
- 강종별 특징을 보면 13Cr강 중에서는 STS410 강이 가장 일반적으로 사용되고 있고, 13Cr강에 탄소량을 0.12~0.18%로 약간 높여서 turbine blade나 고응력을 받는 부품에 사용되는 STS403, 그리고 HB500까지 경화할 수 있어 칼, 펌프축, 드라이브 스크류 등에 사용되는 STS420 등이 있다.

❍ 석출경화 마르텐사이트 계 스테인리스강

- 석출 경화형 스테인리스강(Precipitation Hardening Stainless Steel)은 오스테나이트계 스테인리스강의 우수한 내식성을 유지하며, 퀜칭 경화성이 있는 Cr계 스테인리스강과 동일 또는 그 이상의 강도를 나타내는 스테인리스강을 명명한다.

[표 3.1.9] 석출경화 마르텐사이트 계 스테인리스강의 특성

기호		합금명	화학조성					시효 조건	항복강도 (kg_f/mm^2)	인장강도 (kg_f/mm^2)	연신율 (%)
KS	AISI		C	Ni	Cr	Al	기타				
STS 630	630	17-4PH	0.06	4	17	-	4.0Cu 0.35Nb	H 900	130	140	14
								H 1025	116	119	15
								H 1075	105	116	16
								H 1150	88	102	19
STS 631	631	17-7PH	0.07	7	17	1.2	-	TH 1050	130	140	
								RH 950	137	151	
	632	15-7Mo	0.06	7	15	1.2	2.25Mo	RH950	>120.7	>137.9	.7
	633	AM 350	0.08	4.3	16.5	-	0.1N, 2.7Mo	-	123	145	12
	634	AM 355	0.13	4.3	15.5	-	1N, 2.7Mo	538℃	>106.9	>117.2	>12
	635	Stainless W	0.07	7	17	0.2	-	510℃	>120	>134	>8

- 이 스테인리스강은 석출 경화 현상을 이용하여 고장력화를 도모하기 때문에 붙여진 이름이며 흔히 영문명의 첫 글자를 따서 PH 스테인리스강이라고도 부른다. 일반적으로 합금명으로 더욱 잘 알려진 17-4PH, 17-7PH 강은 KS 규격에서 STS 630, STS 631으로 규격화되어 있고, 이들 강종의 기본적인 강화 열처리 방법은 오스테나이트 구조에서 마르텐사이트 구조로 변화시킨 후 마르텐사이트 기지로부터 석출물을 석출시켜서 강화 효과를 얻는 것이다. 한편 부식내구성은 오스테나이트 계와 비교할 수 있으며, 심지어 석출 경화되어 다른 마르텐사이트 계보다는 내구력이 높다. 이 석출경화 마르텐사이드 계의 스테인리스강은 항공기 동체나 부품에도 사용할 만큼의 강력한 내구성을 가지고 있다.

○ 페라이트계 스테인리스강

- 오스테나이트 계보다 엔지니어링 성질은 좋으나, 낮은 크롬과 니켈 함량 때문에 오스테나이트 계 스테인리스강보다 내구성은 떨어진다. 페라이트 계 스테인리스강은 일반적으로 값이 싸며, 대부분 페라이트 계에는 몰리브덴을 포함하며, 약간 알루미늄이나 티타늄을 포함한다. 일반적인 페라이트계의 등급에는 18Cr-2Mo, 26Cr-1Mo, 29Cr-4Mo, and 29Cr-4Mo-2Ni를 포함한다.
- 페라이트계 스테인리스강의 종류는 STS 405, STS 410L, STS 429, STS 430, STS 430F, STS 434, STS 436, STS 444, STS 447 J1, STS XM27 등의 종류가 있다.

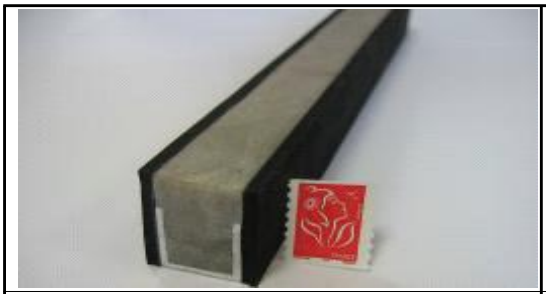
[표 3.1.10] 페라이트 계 스테인리스강의 종류 및 특성

기호	화학조성								특 징
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	
STS 403	0.12~0.18	~0.15	~1.00	~0.040	~0.030	(a)	11.50~13.00		
STS 410	0.12	~1.00	~1.00	~0.040	~0.030	(a)	11.50~13.50		기본형,12%Cr
STS 410 J1	0.08~0.18	~0.60	~1.00	~0.040	~0.030	(a)	11.50~14.00	0.30~0.6	
STS 416	0.15이하	~1.00	~1.25	~0.060	0.15이상	(a)	12.00~14.00	(b)	절삭성을 위해 P,S 첨가
STS 420 J1	0.16~0.25	~1.00	~1.00	~0.040	~0.030	(a)	12.00~14.00		절삭용을 위해 C량 증가
STS 420 J2	0.26~0.40	~1.00	~1.00	~0.040	~0.030	(a)	12.00~14.00		절삭용을 위해 C량 증가
STS 420F	0.26~0.40	~1.25	~1.25	~0.060	0.15이상	(a)	12.00~14.00	(b)	절삭성을 위해 P,S 첨가
STS 431	0.20이하	~1.00	~1.00	~0.040	~0.030	1.25~2.5	15.00~17.00		내식성을 위해 Cr 증가
STS 440A	0.60~0.75	~1.00	~1.00	~0.040	~0.030	(a)	16.00~18.00	(c)	절삭용을 위해 C량 증가
STS 440B	0.75~0.95	~1.00	~1.00	~0.040	~0.030	(a)	16.00~18.00	(c)	절삭용을 위해 C량 증가
STS 440C	0.95~1.20	~1.00	~1.00	~0.040	~0.030	(a)	16.00~18.00	(c)	내마모성을 위해 C량 증가
STS 440F	0.95~1.20	~1.25	~1.25	~0.060	0.15이상	(a)	16.00~18.00	(c)	

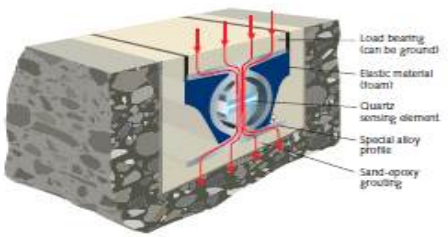
(다) 기존 압전센서의 역학적 특성 분석

❍ [그림 3-1-21]는 현재 국내외적으로 많이 사용되는 고속 WIM 센서인 프랑스 ECM사의 피에조 세라믹(Piezo-ceramic) 센서와 스위스 Kistler사의 피에조 석영(Piezo-quartz) 센서의 모습을 나타낸 것인데, 이 같은 압전센서는 작용한 하중에 의해 발생하는 전하를 측정 회로를 통해 전압의 변화량을 계산하여 센서 위를 통과하는 동적하중을 측정한다. 이 때 압전센서에 작용한 하중에 의해 발생하는 전하가 압전 재료와 측정 회로의 특성으로 인해 수초에서 수분밖에 지속하지 못하기 때문에 상대적으로 짧은 시간 동안의 응력(stress) 변화를 감지하여 통과 차량의 하중을 측정하는 것이 압전센서들의 특징이다.

❍ 모든 결정은 그 대칭관계에 의해 32개 결정군(point group)으로 분류된다. 그중 대칭중심을 갖는 12개 그룹은 압전성이 없고 나머지 20개 그룹 중에서 전기적으로 부도체인 결정에서 압전 특성이 존재한다.[5)]



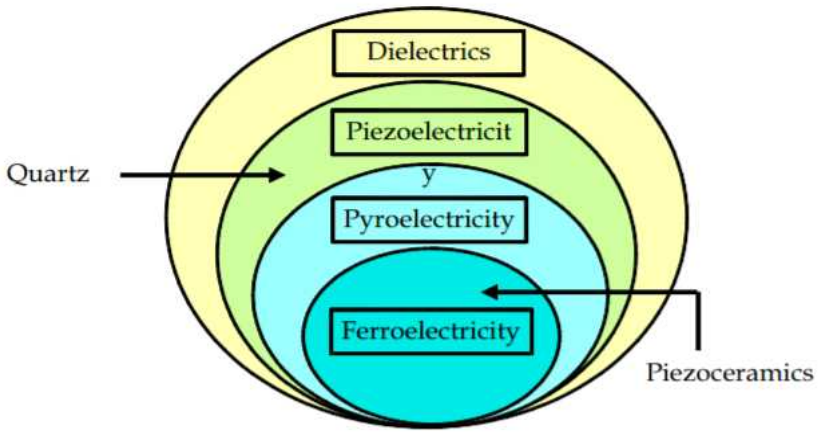
피에조 세라믹 센서



피에조 석영 센서

[그림 3-1-21] 기존 고속 WIM 센서 (압전센서)

❍ [그림 3-1-22]는 유전, 압전 세라믹스 재료의 결정학적 범위를 도식화 한 것인데, 석영(Quartz)은 압전기(Piezoelectricity) 범위에 속하고 피에조세라믹은 전계에 의해 극성의 방향이 바뀌는 것이 강유전성(Ferroelectricity) 결정범위에 속한다. 이 같은 압전 세라믹스에는 물리적 성질과 기능에 따라 다양한 종류가 있고, 제품에 따른 특성도 여러 형태이다. 즉 제품에 따라 여러 가지 물리적 상수나 성질이 미치는 영향이 다르게 나타난다.



[그림 3-1-22] 유전, 압전 세라믹스 재료의 결정학적 범위

5) , 압전 세라믹스, 2002. 12.

❍ 세라믹[6)]

- 압전센서인 피에조 세라믹의 주요 재료는 분말세라믹인데 단결정 및 다결정 세라믹스, 고분자 재료, 박막재료, 다결정재료와 고분자 재료를 복합한 복합재료로 나눌 수 있으며, 센서로는 우수한 압전효과로 인해 다결정 소재를 주로 사용한다.
- 세라믹의 이론 강도는 대단히 높으나 실제 강도는 이론 강도의 백분의 일~천분의 일에 지나지 않는다. 여기서 이론 강도라 함은 결합하고 있는 구성 원자끼리의 결합력을 의미 하는데 이와 같이 이론 강도와 실제 강도가 엄청난 차이를 보이는 이유는 세라믹이 구조적 결함을 반드시 가지기 때문이다. 이런 구조적 결함으로는 표면의 흠집, 기공, 개재물, 조대결정립 등을 들 수 있으며 특히 표면에 존재하는 결함은 파괴의 가장 큰 원인이 된다. 대체적으로 세라믹의 파괴강도가 낮은 이유는 이처럼 재료 내에 상존하는 작은 결함으로 인한 구조적 특성 때문이다.
- 일반적으로 **세라믹은 압축력에는 강하나 인장력에 취약하여 인장시험 또한 불가능하며, 이 같은 취약성이란 균열에 대한 저항이 약하다는 의미**이다.

[표 3.1.11] 압전 소재의 종류 및 특징

구분	압전 소재	특 징
단결정	α-AlPO4(Berlnite), α-SiO2(Quartz), LiTaO3, LiNbO3, SrxBayNb2O8, Pb5-Ge3O11, Tb2(MoO4)3, Li2B4O7, CdS, ZnO, Bi12SiO20, Bi12GeO20	▪ 좁은 공진주파수 대역 ▪ 매우 작은 온도계수 ▪ Oscillator 소자와 탄성표면파 필터 등으로 응용
다결정	PZT계, PT계, PZT-Complex Perovskite계, BaTiO3	▪ 우수한 압전 특성 ▪ 저렴한 가격 ▪ 초음파 진동자, 필터, 레조네이터, 착화소자 및 압력 등 가장 폭넓게 응용
박막	ZnO, CdS, AlN	▪ 탄성표면파 필터와 GHz 대역 FBAR Bandpass Filter 재료 등에 사용
고분자	PVDF, P(VDF-TrFe), P(VDFTeFE), TGS	▪ 키보드, 수중 음향부품, 의료용 탐촉자 등에 사용
복합	PZT-PVDF, PZT-Silicon Rubber, PZT-Epoxy, PZT-발포 Polymer, PZT-발포 우레탄	

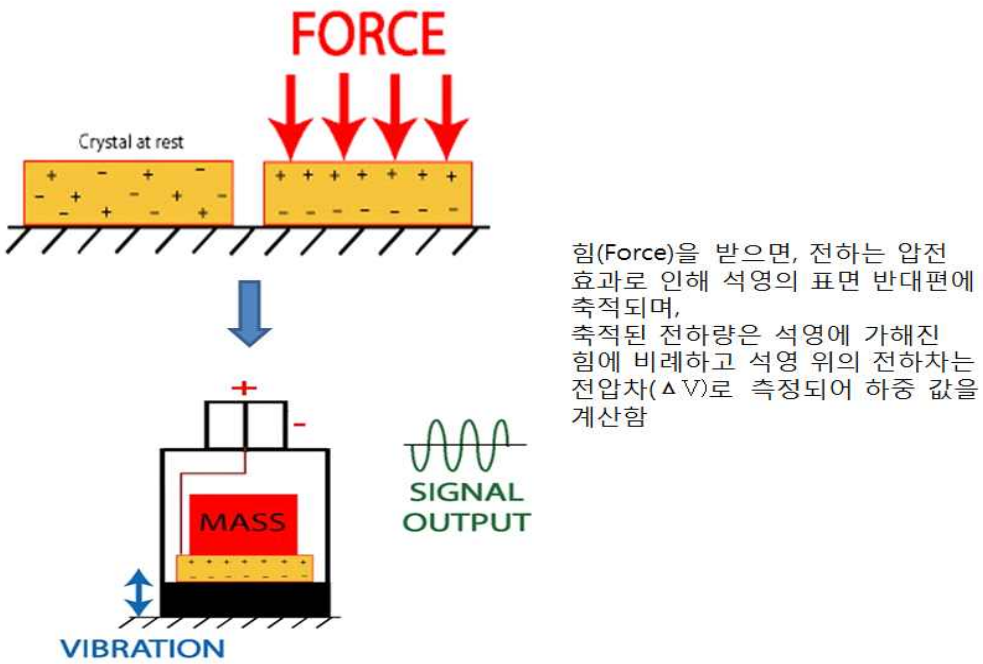
❍ Quartz(석영)

- 현재 고속 WIM 센서 시장의 주류를 이루고 있는 Piezo-Quartz는 몇 가지 독특한 특징을 가지고 있으며 그중 상업적으로 가장 중요한 특징이 압전형상(전기장에 의해 생겨나는 탄성적 변형)이며, 시간과 온도에 따른 특성 변화가 비교적 적고 안정적이

6) www.kadd.or.kr/dg/download.php?&bbs_id=data&page=3

다. 그러나 Quartz는 세라믹에 비하여 크기당 감도가 떨어지며 이에 따른 소음 또한 많다. 또한 천연제품인 관계로 원하는 방향으로의 극성을 갖도록 하기 위해 결정체를 가공하는데 어려움이 따른다. 비교적 사용 주파수가 좁아 고주파에서는 특성이 좋지 않으며, 압전상수를 조절하기 어려운 특징을 지니고 있다.

- Quartz의 밀도는 약 2.20 g/cm3이며 영율 73,900 kg/mm2, 포아슨비 약 0.17, 압축강도 약117,000 kg/cm2, 인장강도 약 510 kg/cm2 (510×0.098MPa = 50MPa), 모스 경도 5.3-7.0으로서 보통 유리보다 배 이상 튼튼하다[7]. Quartz는 강(Steel)에 버금가는 강성을 갖고 있으나 **세라믹과 마찬가지로 인장력은 압축강도에 비해 매우 약해 파괴에 취약하다.**



[그림 3-1-23] Quartz에서 힘을 전압으로 변환하는 메카니즘[8]

(라) 개발 매트릭스 WIM 센서(로드셀) 재질의 역학·물성적 특성

❍ 일반적으로 고체재료는 압축강도보다 인장강도가 약하여 인장 측에서 파괴가 발생한다. 그러나 강(Steel)은 압축과 인장에 모두 강한 역학적 특성을 지니고 있다. 강(Steel)의 이 같은 기본 특성에 착안하여 매트릭스 WIM 센서의 기본 재질을 스테인리스강으로 구현하여 WIM 센서의 내구성을 강화한다.

❍ 앞 절에서 이미 언급했듯이 스테인리스강은 여러 종류가 있는데 매트릭스 WIM 센서에서는 초기 시제품에는 균질한 등방성 재질로 알려진 석출경화형 스테인리스강 17-4PH (Precipitation Hardening Stainless Steel)을 사용하였고, 유한요소해석 등을 통해 WIM 센서의 피로거동에 대한 개선, 즉 센서의 내구성 증가를 위해 최종적으로 몰리브덴과 합금한 마르텐사이트계의 스테인리스강을 사용하였다.

7) https://namu.wiki/w/
8) http://www.ntrexgo.com/archives/27815, 측정/센서 필수 길라잡이

❍ [표 3.1.12]는 초기 시제품에 사용한 석출 경화형 스테인리스강 17-4PH(Bohler N700)의 역학적 성질을 나타낸 것이다 (시편 바의 지름이 200mm 이내). 또한, [표 3.1.13]은 재설계되어 로드셀의 최종 재질로 사용한 마르텐사이트계의 스테인리스강 Sandvik 7C27Mo2의 역학특성을 설명한 것이다.

[표 3.1.12] 석출 경화형 스테인리스강 17-4PH(Bohler N700)의 역학적 성질[9)]

Wärmebehand-lungszustand Condition	Härte [1)] (Anhaltswerte) Hardness [1)] (average values) HB / HV min.	0,2 Grenze 0.2% proof stress N/mm² min.	Zugfestigkeit Tensile strength N/mm² min.	Dehnung A_4 Elongation A_4 % min.		Einschnürung Reduction of area % min		Kerbschlagarbeit Impact strength (ISO-V) J min.	
				L	Q	L	Q	L	Q
Lösungsgeglüht Solution annealed	max. 363	--	--	--	--	--	--	--	--
H900 (480°C)	388	1170	1310	10	--	40	35	--	--
H925 (500°C)	375	1070	1170	10	--	44	38	7	--
H1025 (550°C)	331	1000	1070	12	--	45	--	20	--
H1075 (580°C)	311	860	1000	13	--	45	--	27	--
H1100 (600°C)	302	795	965	14	--	45	--	34	--
H1150 (620°C)	277	725	930	16	--	50	--	41	--
H1150-M (620°C-M)	255	520	795	18	--	55	--	75	--

L = Längs, Q = Quer

L = Longitudinal, Q = Transverse

1) Die Härte ist für die Abnahme nicht bindend, maßgebend ist die Zugfestigkeit.

1) Not valid for inspection purposes for which tensile strength is the ruling property.

Für andere Produkte oder Abmessungen sind die Werte zu vereinbaren.

The values for other products and dimensions shall be established by agreement.

[표 3.1.13] 마르텐사이트계의 스테인리스강 Sandvik 7C27Mo2의 물성 및 역학특성[10)]

Chemical composition (nominal) %

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
0.38	0.4	0.6	≤0.025	≤0.010	13.5	1.0

Mechanical properties

As-delivered	Tensile strength	Hardness	
	MPa (ksi)	HV	HRB
Annealed	max. 700 (102)	max. 215	max. 94.3
Cold rolled	850-1000 (123-145)	265-315	101.4-106.6

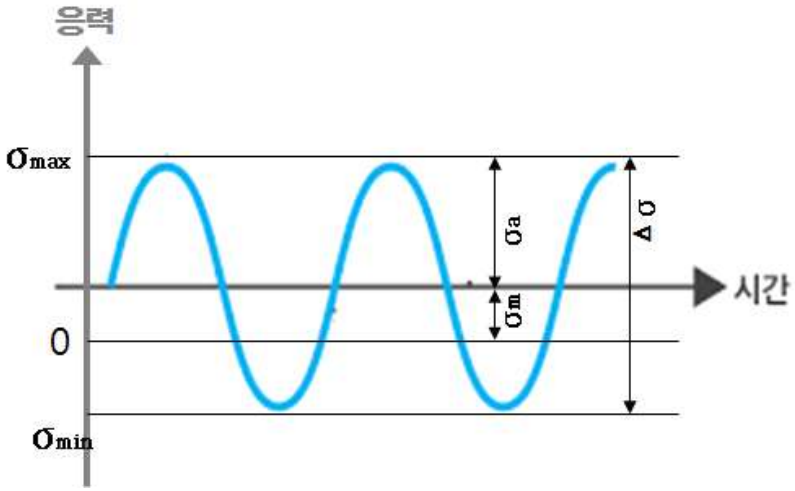
9) : http://www.bohler-uddeholm.it/media/N700DE.pdf

10)출처: www.smt.sandvik.com/contact-us SMT.SANDVIK.COM

(마) S-N 선도를 활용한 내구성 분석 방법

① S-N 선도의 활용

❍ [그림 3-24]에서 σ는 응력 범위(stress range), σ 는 응력 진폭(stress amplitude), σ_m은 평균 응력(mean stress) 그리고 은 하중비(load ratio) 인데, 응력 진폭과 피로 파괴 시까지의 사이클 수를 S-N 선도(Stress versus Number of cycles Curve) 라고 부른다. 일반적으로 금속구조물의 경우 재료시편을 이용하여 여러 응력크기 S에서 파괴에 이르는 사이클 N을 시험으로 구하며, 이때 해당하는 파괴응력을 피로강도라고 한다.



$$\Delta\sigma \equiv \sigma_{max} - \sigma_{min}$$

$$\sigma_a \equiv \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2}$$

$$\sigma_m \equiv \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2}$$

$$R \equiv \frac{\sigma_{min}}{\sigma_{max}}$$

[그림 3-1-24] 응력과 시간 곡선

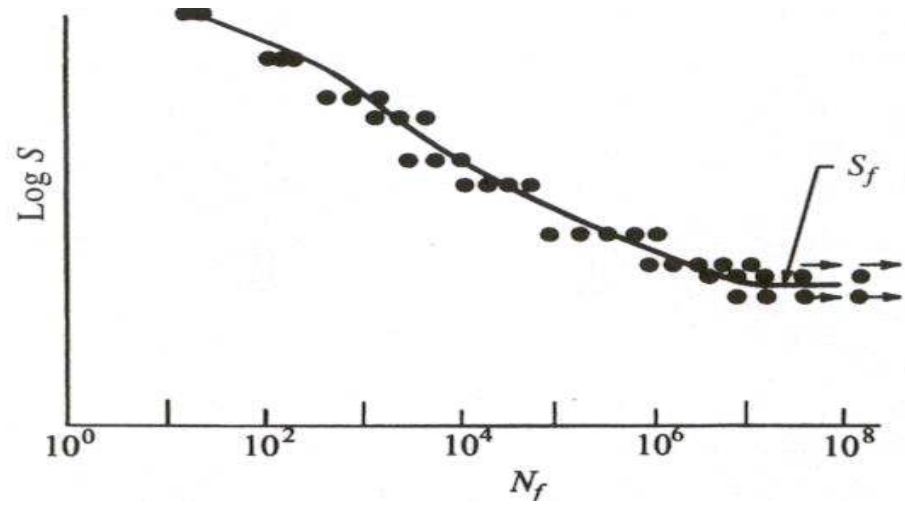
• 일반적으로 피로강도 대 수명간의 관계는 다음 식과 같이 주어진다.

$$S_f = aN^b \qquad \text{식 (3-1-4)}$$

• 상기 식에 로그를 취하면 로그강도 대 로그수명 간의 관계는 다음의 식 (3-1-5)와 같은 직선식으로 표현된다.

$$\log S_f = A + b\log N \qquad \text{식 (3-1-5)}$$

• 이때 절편 A와 기울기 b는 실험데이터로부터 근사화하여 구할 수 있으며 철(강) 재료의 경우 일반적으로 [그림 6]과 같은 선도를 얻는데, 103 사이클 이상을 고주기라 하며 [그림 3-1-25]에 나타나 있듯이 어느 응력값 이하에서는 아무리 오래 사이클이 반복되어도 파괴가 안 되는 임계값이 존재한다. 이를 내구한도(피로한도)라 하며 S_e로 표시한다. 이것은 약 N=106 사이클에서 발생한다.

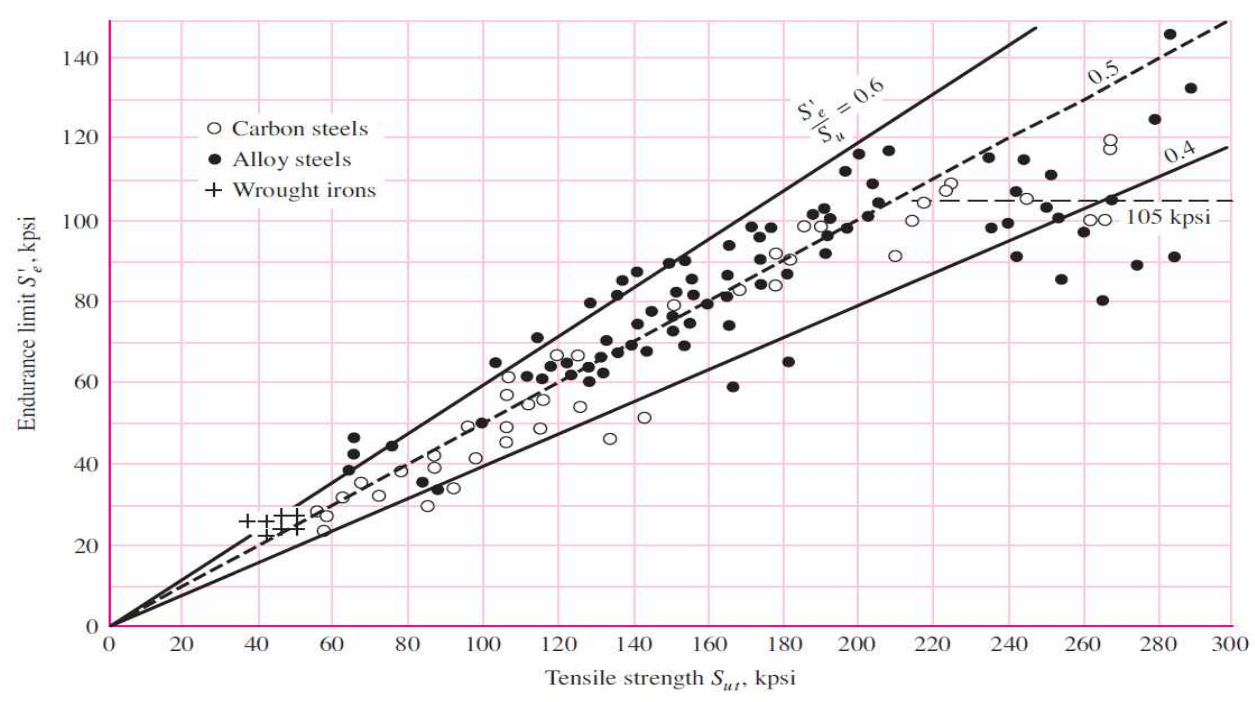


[그림 3-1-25] 철 재료의 S-N 선도 개념

❍ 철(강) 금속 피로 시험을 통해 얻을 수 있는 S-N 선도를 피로 시험에 의하지 않고 약산하는 방법이 있는데, [그림 3-26]과 같은 철(강)의 피로한도와 인장강도의 관계를 단순화하여 다음 관계식과 같이 추정하여 사용한다.

$$\left.\begin{array}{ll} 0.5\,S_{ut} & S_{ut} \quad 200\,kpsi\,(1400\,MPa) \\ 100\,kpsi & S_{ut} > 200\,kpsi \end{array}\right\} \qquad \text{식 (3-1-6)}$$

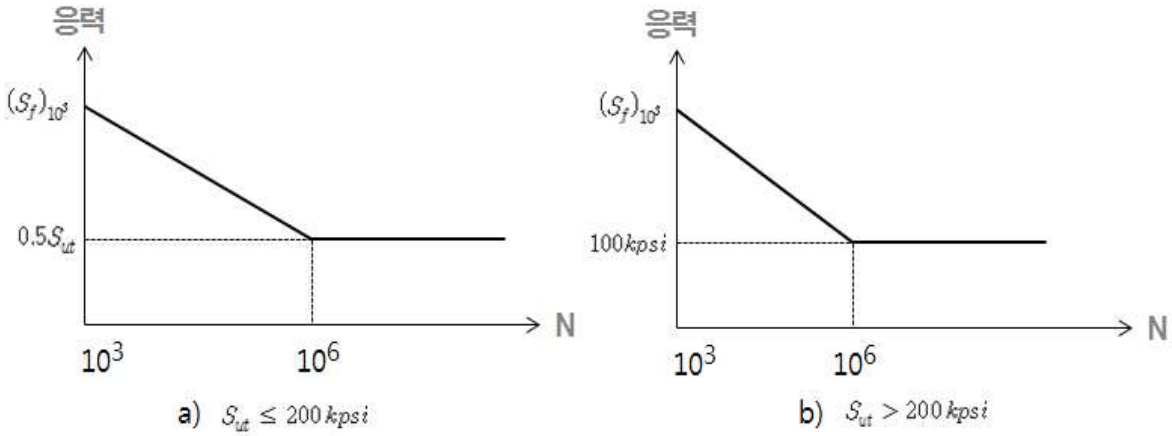
여기서 S_{ut}는 인장강도 그리고 $S_e^{'}$는 피로한도(추정치)를 의미한다.



[그림 3-1-26] 철 금속재료의 피로한도와 인장강도 관계도[11)]

11) : Fatigue Design Handbook, *SAE, 1968.*

❍ 앞의 식 (3-1-4)에서 N은 파괴까지의 사이클 수이고 상수 a와 b는 [그림 3-1-27]에 나타나 있듯이 10^3과 $)_{10}$ 값, 그리고 10^6과 S_e 값에 의해 구할 수 있으며, 이때 사이클의 응력 진폭을 나타내는 $(S_f)_{10^3} = fS_{ut}$ 로 설정한다.



[그림 3-1-27] S-N 선도의 약산 개념도

❍ 이제 이 두 점을 식 (3-1-1)에 대입하면 다음과 같은 결과를 얻을 수 있다.

$$a = \frac{(fS_{ut})^2}{S_e} \qquad \text{식 (3-1-7)}$$

$$b = -\frac{1}{3}\log\left(\frac{fS_{ut}}{S_e}\right) \qquad \text{식 (3-1-8)}$$

$$N = \left(\frac{\sigma_a}{a}\right)^{1/b},\ \sigma_a; completely\ reversed\ stress \qquad \text{식 (3-1-9)}$$

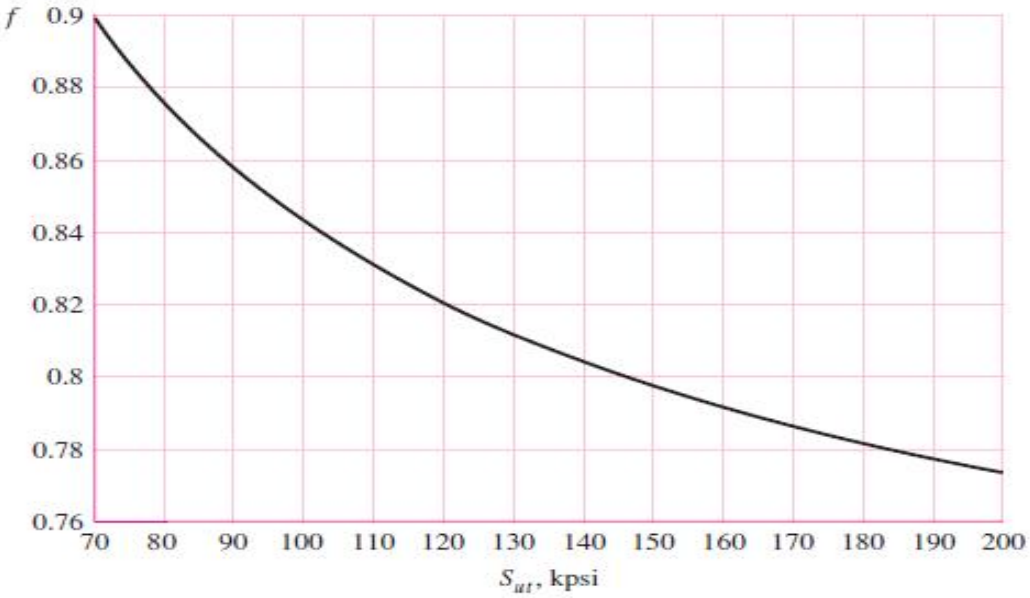
❍ 위의 식 (3-1-7)과 식 (3-1-8)에서 인장강도 S_{ut}의 일부인 f값은 10^3의 사이클에서 다음 식 (3-1-10)에 의하여 구해진다.

$$f = \frac{\sigma}{S_{ut}}(2 \quad 10^3)^b \qquad \text{식 (3-1-10)}$$

기서, $\sigma_F = S_{ut} + 50kpsi$

$$b = -\frac{\log(\sigma_F / S_e')}{\log(2 \quad 10^6)}$$

❍ 이제 식 (3-1-10)을 이용하여 인장강도 $_t$에 대응한 피로강도 값을 [그림 3-1-28]과 같이 나타낼 수 있다.



[그림 3-1-28] 10^3 사이클 수에서 인장강도에 대응한 피로강도 소수 f의 값

② 내구성 비교·분석

❍ 매트릭스 WIM 센서에 재질로 사용된 두 가지 철(강) 금속재료인 석출경화형 스테인리스강 17-4PH(Bohler N700)와 마르텐사이트계의 스테인리스강 Sandvik 7C27Mo2의 수명 사이클을 식 (3-1-4) ~ 식 (3-1-10)을 이용하여 비교하였으며, 그 결과를 [표 3.1.14]에 기술하였다.

❍ [표 3.1.14]에 기술되어 있듯이 매트릭스 WIM 센서의 재료로 사용한 두 철(강) 금속재료의 파괴 시까지의 사이클 수는 10^6 이상으로 무한수명으로 취급해도 무방하다. 경우에 따라 무한수명의 임계사이클이 10^6 ~ 10^7 이상에서 정해지기도 한다. 다만, 앞장에서 언급했듯이 17-4PH(Bohler N700)의 경우, **정상응력의 최소값이 대칭 사이클의 피로강도보다 큰 것으로 분석이 되었기 때문에 Sandvik 7C27Mo2를 사용하여 반복응력에 대한 내구성 강화를 추구한다.**

[3.1.14] S-N 선도 약식을 이용한 매트릭스 WIM 센서 재료의 내구성 비교 검토

구 분	17-4PH(Bohler N700)	Sandvik 7C27Mo2
인장강도 $_t$	189.950 kpsi	232 kpsi
피로한도 S_e	94.975 kpsi ($.5S_{ut}$)	100 kpsi ($S_{ut} > 200 kpsi$)
$\sigma = S_{ut} + 50 kpsi$	239.950 kspi	282 kpsi
$b = -\frac{\log(\sigma_F / S_e')}{\log(2 \quad 10^6)}$	-0.064	-0.0715
$f = \frac{\sigma_F}{S_{ut}} (2 \quad 10^3)^b$	0.777	0.706
$a = \frac{(fS_{ut})^2}{S_e}$	229.357	268.278
$\sigma_a = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2}$	76.633	73.805
사이클 수 $N = (\frac{\sigma_a}{a})^{1/b}$	2.75×10^7	6.91×10^7

라. WIM 시스템 데이터 통신 오류 처리 및 정정 알고리즘 설계방안

❍ 본 연구에서는 스트레인게이지에서 전달되는 WIM 데이터의 전송과정에서 발생할 수 있는 자료의 오류 및 누락현상을 검출하고 검출된 오류 데이터를 정정 및 복원하기 위해 기존 기법들을 검토하여 적용할 뿐만 아니라, 효율적인 기법을 개발하여 매트릭스 WIM 시스템에 적용한다.

(1) 데이터 전송 오류 제어 방안

❍ WIM 시스템 운영 시에 여러 가지 원인(전원, 주파수혼란, 감쇠, 잡음 등) 으로 인해 전송된 데이터에 발생할 수 있는 오류에 대한 해결을 위해 후진 오류 수정방식(Backward error Correction)을 적용토록 한다.

❍ 이 방식은 오류 발생 시 재전송을 요구하는 방식으로써 송신측에서 데이터 전송시 오류를 검출할 수 있는 정도의 부가정보를 함께 전송하고 수신측에서 이를 이용하여 오류를 검출하여 오류의 발생여부를 알고 송신측에게 데이터의 재전송을 요구하는 방식이다. 이를 위해서 후진 오류 수정방식에서는 다음과 같은 오류의 검출방식과 재전송 기법이 필요하다.

• 후진 오류 수정방식의 오류 검출 방식

- 패리티 검사 (Parity Check)
- 블록합 검사 (Block Sum check)
- 순환잉여검사(CRC : Cycle Redundancy Check)

• 오류 검출 후 재전송 방법(ARQ : Automatic Repeat Request)

- 정기-대기(Stop and Wait) ARQ방식
- 연속 ARQ 방식

(2) 오류 검출 설계 방안

❍ WIM 시스템 설계 시 오류에 대한 검출 검사 방법은 패리티 검사, 블록합 검사, 순환잉여검사 방식을 통해 각 검사방식의 장점들을 최대한으로 활용하여 오류 검출 후 시스템을 개선해 나가는 방법을 기본적으로 사용한다. 기존방식의 단점을 보완한 **(Burst Error)의 검출 및 정정이 동시에 가능하고, 고속 검출 및 정정이 가능한 SUM-Key Code XOR Combination 방법을 개발**하여 적용한다.

(가) 패리티 검사(Parity Check)

❍ 가장 간단한 오류검출 방식으로, 송신측에서 전송될 프레임에 오류 검출을 위한 특수한 비트(패리티 비트)를 추가하여 전송하고, 수신측에서 수신된 문자의 비트와 이 패리티 비트를 합하여 1의 총계를 계산하는 방식이다

❍ WIM 시스템에서는 인접한 비트 사이의 상관성(correlation) 정보를 패리티 비트로 사용하는 오류정정시스템을 사용한다. 인코더에서 만들어진 패리티부(parity bits)와 메시지부(message bits)는 함께 AWGN채널을 통해 전송이 되고, 디코더에서는 수신된 메시지부를 바탕으로 새롭게 패리티부를 형성한 후 수신된 패리티부와 비교과정을 하여 통신과정에서 발생한 오류를 정정하여 복호화된 메시지를 구성한다.

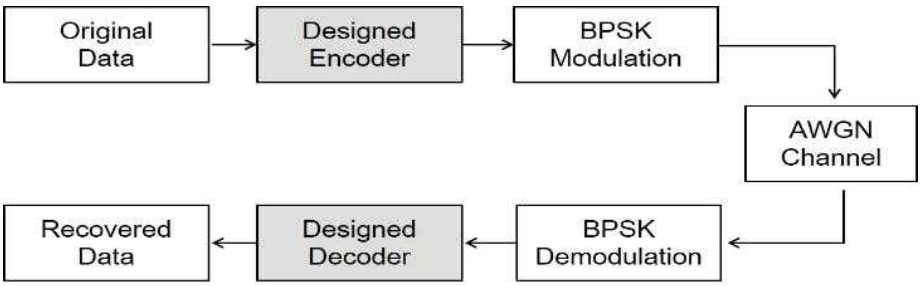
① 인코딩 알고리즘

❍ 적용한 인코더는 원본 코드와 패리티 비트를 함께 전송한다. 길이가 N인 원본 코드 $\boldsymbol{S}$={s1, s2, …, sN} 에 대하여 $\boldsymbol{S}$의 i 번째 비트에 해당되는 $s\ i$ 와 $s\ i$+1을 아래와 같은 과정을 통하여 패리티 비트 $\boldsymbol{P}$={p1, p2, …, pN−1}를 생성한다.

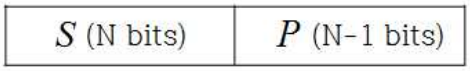
$$p\ i\ =\ s\ i \oplus s\ i+1,\ \ for\ \ i \le N-1,$$

여기서 $p\ i$는 $\boldsymbol{P}$의 i 번째 비트에 해당되며, ⊕는 XOR연산을 의미한다.

❍ 인코더 출력 값으로는 [그림 3-1-30]과 같이 메시지부 $\boldsymbol{S}$와 패리티부 $\boldsymbol{P}$를 함께 배열하여 길이가 2N−1인 데이터가 결정된다.



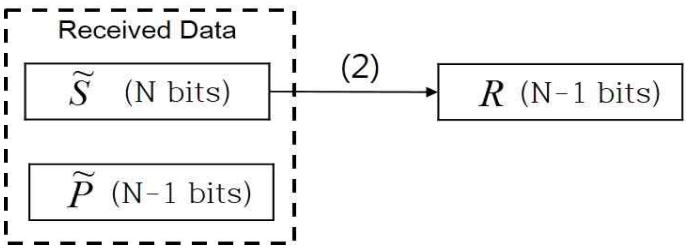
[그림 3-1-29] 제안된 통신시스템 개념

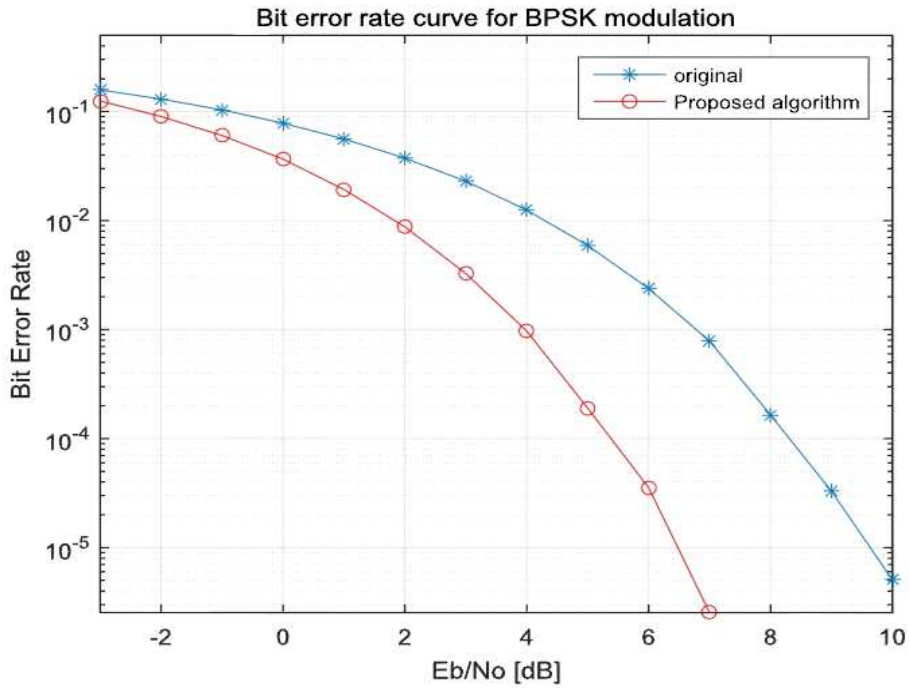


[그림 3-1-30] 설계된 인코더의 출력 값

② 디코딩 알고리즘

❍ 수신된 길이가 2N−1인 데이터는 메시지부 S와 패리티부 P로 분리된다. 만약 전송 과정에서 에러가 발생하지 않았다면 $S=S$, $P=P$가 성립한다. 그러나 이러한 조건이 성립하지 않은 경우에는 제안된 디코딩 알고리즘을 통해 오류를 정정한다.





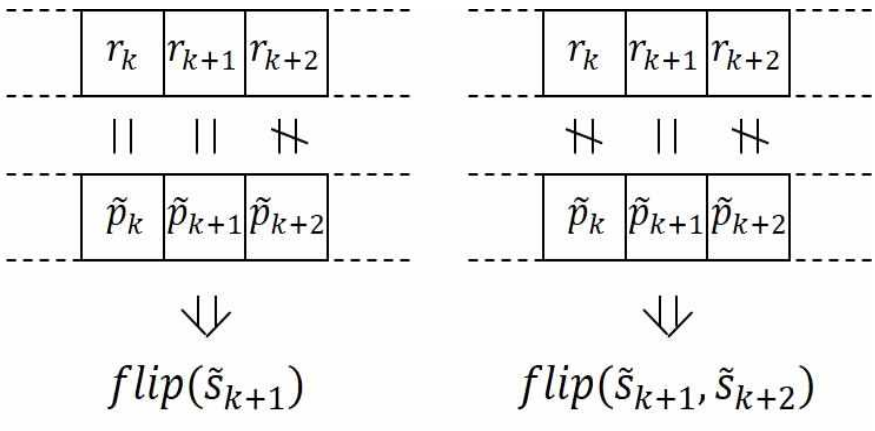
[그림 3-1-31] 디코딩에서 R 생성방법

❍ [그림 3-1-31]은 디코더에서 R을 생성하는 개념을 설명한 것인데, 먼저 수신된 $\boldsymbol{S}$를 바탕으로 길이 N − 1의 R = {r 1, r 2, …, r N−1}을 생성한다.

$$r\ i\ =\ s\ i\ +\ s\ i+1,\ for\ \ i\ \leq\ N\ -\ 1$$

이렇게 생성된 R의 인접한 세 비트 r k, r k+1, r k+2 와 수신된 $\boldsymbol{P}$ 의 세 비트 $p\ k$, $p\ k+1$, $p\ k+2$ 를 비교하여 오류를 검출한다. (1 ≤k ≤ L − 3)

❍ [그림 3-1-32]는 보다 상세하게 오류검출방법을 설명한 것인데, 먼저, r k ≠ $p\ k$, r k+1 ≠ $p\ k+1$, r k+2 = $p\ k+2$ 인 경우에는 $s\ k+1$에서 오류가 발생하였다고 판단하고 0 은 1로, 1 은 0 으로 반전시킨다. 또한 r k ≠ $p\ k$, r k+1 = $p\ k+1$, r k+2 ≠ $p\ k+2$ 인 경우에는 $s\ k+1$ 와 $s\ k+2$를 모두 반전시켜 오류를 정정한다.

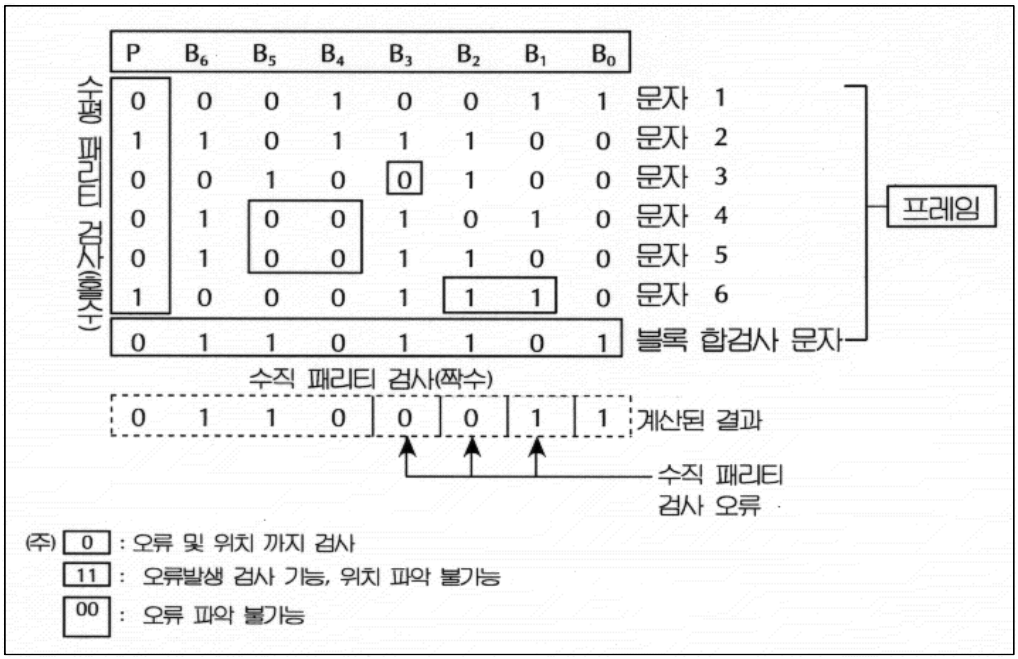


[그림 3-1-32] 오류검출방법의 예시

(나) 블록합 검사(Block Sum Check)

❍ 패리티 검사의 단점을 보완하는 방식으로, 각 문자 당 패리티 체크 비트(수평 패리티 체크)와 전송 프레임의 모든 문자들에 대한 패리티 문자 (블럭합 체크문자, 또는 수직 패리티 체크)를 함께 전송하는 방식이다. 즉, 각 문자 당 패리티 비트를 할당하고, 프레임의 전체 문자에 대해서 문자크기 만한 잉여 패리티 비트를 모두 검사하는 기법이다.

- 송신측에서 프레임의 끝에 블록합 문자를 추가하여 전송한다.
- 수신측에서 수신된 프레임의 문자들에 대해서 블록합을 계산하여 이것과 송신측에서 전송한 블럭합 문자를 비교하여 오류를 검토한다. 이때, 두 값이 같으면, 오류가 없는 것이다. 같지 않으면 1비트 오류는 위치까지 알 수 있다. 2비트 오류이면 위치는 알 수 없으나, 오류여부는 판단 가능하다.



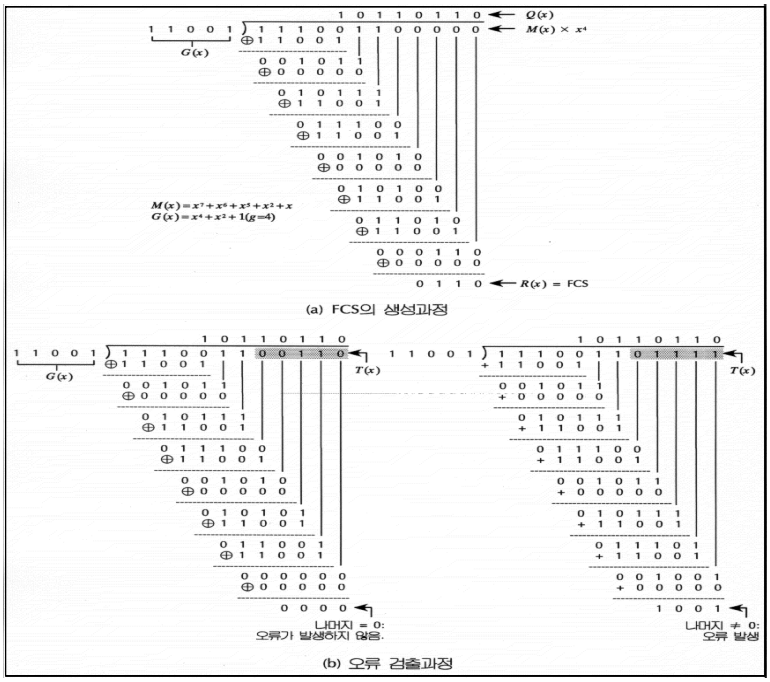
[그림 3-1-33] 오류검출의 블록합 검사 예시

(다) 순환잉여검사(CRC : Cycle Redundancy Check)

- 오류가 한꺼번에 많이 발생하는 비트들(burst error)에 대한 블록합 검사의 단 점을 해결할 수 있도록 하는 방식이다. 즉, 집단 오류를 해결하기 위한 오류 제어 방식이다. 이것은 생성다항식(generator polynomial) 코드를 사용한 오류 검출방법이며, 이외에도 모듈로 2산술, 쉬프트레지스터, 및 배타적 OR 게이트를 이용하는 방법도 있다. 이 방식에서는 프레임의 실제 내용에 의해서 계산되는 FCS(FRAME Check Sequence) 또는 BCC(Block Check Character)를 전송 프레임의 끝에 추가하여 전송한다.
- [표 3.1.15]는 통신전송 오류를 검출하는 생성다항식(generator polynomial) G(x)에 의한 오류검출 확률을 설명한 것이고, [그림 3-1-34]는 FCS의 코딩과 디코딩 모습을 예시한 것이다.

[3.1.15] 생성다항식 G(x)에 의한 오류 검출 확률

오류형태	G(x)의 조건	오류 검출확률
단일 비트 오류	G(x)가 1개 이상의 항으로 이루어짐	100%
2개 비트 오류	G(x) 3개 이상의 항으로 이루어짐	
기수 개의 비트 오류	G(x)가 (x+1)의 인수를 포함함	
집단오류	집단 오류의 길이 < g+1	100%
	집단 오류의 길이 = g+1	1-(1/2)g-1
	집단 오류의 길이 > g+1	1-(1/2)g

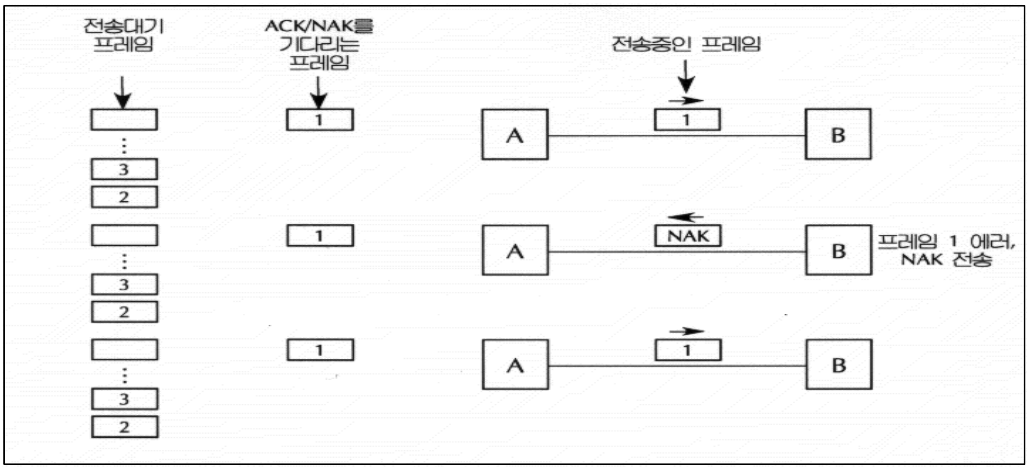


[그림 3-1-34] FCS의 코딩 및 디코딩

(라) 검출 후 재전송 방식(ARQ: Automatic Repeat Request)

❍ 수신측 오류검출방식으로 오류를 검출한 후 송신측에서 오류 발생 사실을 알리고 송신측으로 오류가 발생한 프레임을 재전송 하는 방식으로써 정지- 대기(Stop and Wait) ARQ방식과 연속(Continuous)ARQ 방식이 있는데, 매트릭스 WIM 시스템의 설계에는 정지- 대기(Stop and Wait) ARQ방식을 적용한다. 이 방식의 주요 기능은 다음과 같다.

- 송신측에서 한 번에 한 개의 프레임을 송신하고 수신측에서는 수신된 이 프레임의 오류 유무를 판단하여 송신측에 ACK 또는 NAK로 응답하는 방식이다. 이때 송신측은 이 ACK 또는 NAK를 받기 전에는 다음 프레임을 송신할 수 없다. 수신측의 응답을 받은 송신측에서 ACK를 받으면, 다음 프레임을 전송하고, NAK를 받으면 해당 프레임을 재전송한다.



[3-1-35] 정지- 대기(Stop and Wait) ARQ방식

(3) 매트릭스 WIM 시스템의 데이터 오류 검출 및 정정기술 개발

(가) 데이터 오류 검출 및 정정 기법 검토

❍ 데이터는 압축과정에서의 오류, 전송과정에서의 누락 등 다양한 이유로 오류가 발생할 수 있는데, 기존의 통신 과정에서 오류를 검출하는 방법들에는 앞 절에서 상세히 설명했듯이 패리티 비트를 이용하는 방법(parity Check), 순환중복 방식(Cyclic Redundancy Check), 그리고 해밍 부호(Hamming Code)를 이용하는 방법 등이 있다. 그러나 이 같은 방법들은 오류가 발생하는 비트 수에 따라 발생오류를 검출하지 못할 수도 있는 한계를 가지고 있다.

❍ [표 3.1.16]은 기존 데이터 오류검출 방식의 특성을 비교 요약한 내용이고, 이외에도 오류를 검출하기 위해 수평적 중복검사(LRC, longitudinal redundancy check), 여러 문자로 구성된 비트블럭을 대상으로 하는 체크섬(Checksum) 방식 등이 적용되고 있다.

[3.1.16] 데이터 오류검출 방식의 특성 비교

오류검출방식	특 징
패러티 체크	▪ 데이터 블록에 1비트의 검사 비트인 패리티 비트를 추가하여 오류 검출 ▪ 가장 간단한 구조 ▪ 2비트에 오류가 동시에 발생하면 검출이 불가능 ▪ 오류 검출만 할 수 있고, 수정 불가능 ▪ 홀수 패리티, 짝수 패리티체크가 있음
해밍 코드	▪ 수신측에서 오류가 발생한 비트를 검출한 후 직접 수정하는 방식 ▪ 1비트 이상의 오류는 검출하지 못하는 패리티비트의 한계를 극복하기 위해 제안된 방법 ▪ 1비트의 오류만 수정이 가능하며, 정보 비트 외에 잉여 비트가 많이 필요함 ▪ 전송비트 중 1,2,4,8,16…2번째를 오류 검출을 위한 패리티 비트로 사용
순환중복검사	▪ 다항식 코드를 이용하여 오류 검출하는 방식 ▪ 동기식 전송에 사용되는 오류 검출기법 ▪ 집단 오류를 검출할 수 있고, 검출률이 높으므로 가장 많이 사용됨

❍ 한편, 오류 정정 또는 오류 제어는 데이터의 오류를 감지하고 원본 데이터로 다시 구축하는 것으로 일반적으로 다음과 같은 두 가지 방법을 사용한다.

• 자동 반복 요청(ARQ, Automatic Repeat Request): “후방 오류 정정“이라고도 하며, 수신되는 모든 데이터 블록은 오류 검출구조를 사용하여 검사하고 검사가 실패하면 데이터의 재전송을 다시 요청하는 방식이다.

• 전진 오류 정정 (FEC, Forward Error Correction): 보내는 사람이 전송에 앞서 오류 정정 코드를 사용하여 데이터를 인코딩하며, 수신노드가 오류검출 및 오류수정 동시에 수행하는 방식이다.

• 상기의 두 가지 방식을 합쳐 놓은 하이브리드 ARQ 방식이 있다.

[3.1.17] 오류 정정 방법의 특성 비교

정정 방법	주요 특징	
전진오류정정 (Forward Error Correction)	수신 측에서 오류를 스스로 검출/복원할 수 있는 방법으로 송신 시 오류복구를 위한 잉여 비트를 추가하여 전송하는 방식	
	해밍 코드	수신측에서 오류가 발생한 비트를 찾아 재전송을 요구하지 않고 자신이 직접 오류를 수정(1개 오류 비트 정정)
	상승 코드	한계 값(경계 값), 순차적 디코딩을 이용하여 오류가 발생한 오류 비트를 모두 정정할 수 있는 방식으로, - 현재 값과 과거 값 사이의 상관관계에 의한 값을 얻음 - 미리 약속된 디코딩 트리를 갖고 있어야 함 - 해밍거리를 이용하여 에러에 대한 신뢰성 보장
후진오류정정 (Backward Error Correction)	전송된 데이터에 오류가 발생된 경우, 송신 측에 오류 사실을 알려 재전송으로 복원하는 방식	
	오류검출 방식	- 패리티 검사(Parity Check) 방식 - 블럭합 검사(Block Sum) 방식 - 순환중복 검사(CRC) 방식 - 검사합 검사(Check Sum) 방식
	자동반복 요청(ARQ)	- Stop and Wait 방식 - Go-back-N 방식 - Selective-Repeat 방식 - Adaptive ARQ 방식

(나) 매트릭스 WIM 데이터 오류 검출 및 정정 기술 개발

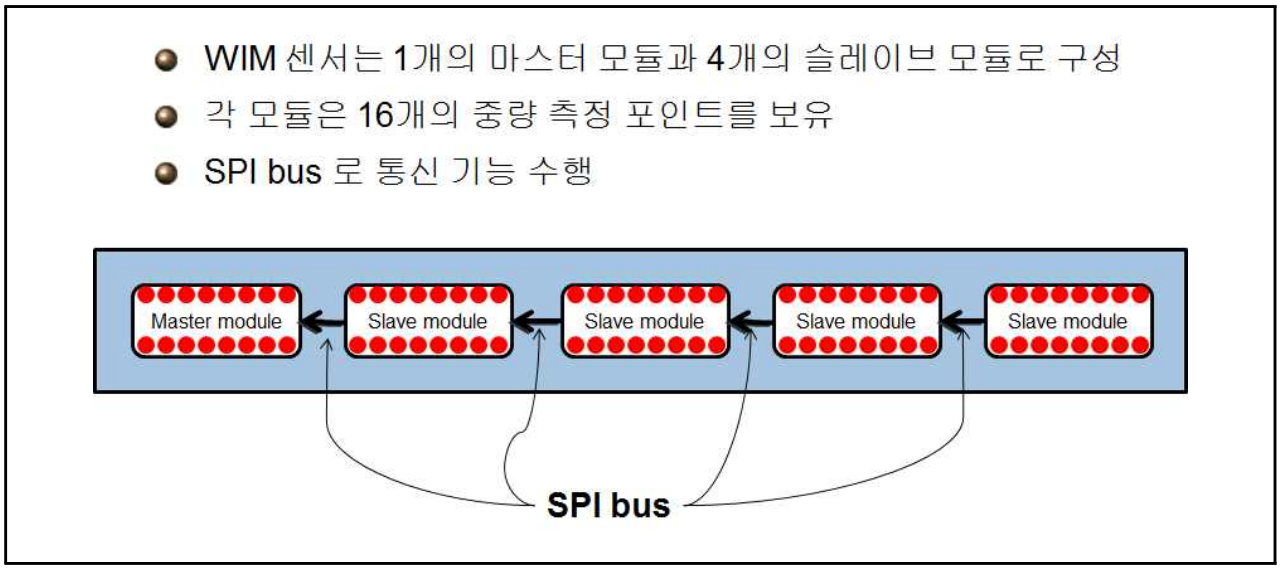
❍ 매트릭스 WIM 센서의 통신방식

• [그림 3-1-36]에 나타나 있듯이 매트릭스 WIM 센서는 5개의 모듈이 하나의 센서를 구성하는데, 5개의 모듈 중에서 1개는 마스터 모듈이고 나머지 4개는 슬레이브 모듈로 구성되어 있다.

• 센서 위를 통과하는 차량의 하중이 각 모듈에 설치된 측정 포인트(스트레인게이지)에 작용하면, 강철 재료로 만든 이중 미니빔 로드 셀에 전단력이 발생하고 이때 스

트레인 게이지가 생성된 전단력을 측정하고 전기적인 신호로 변환시키는데,

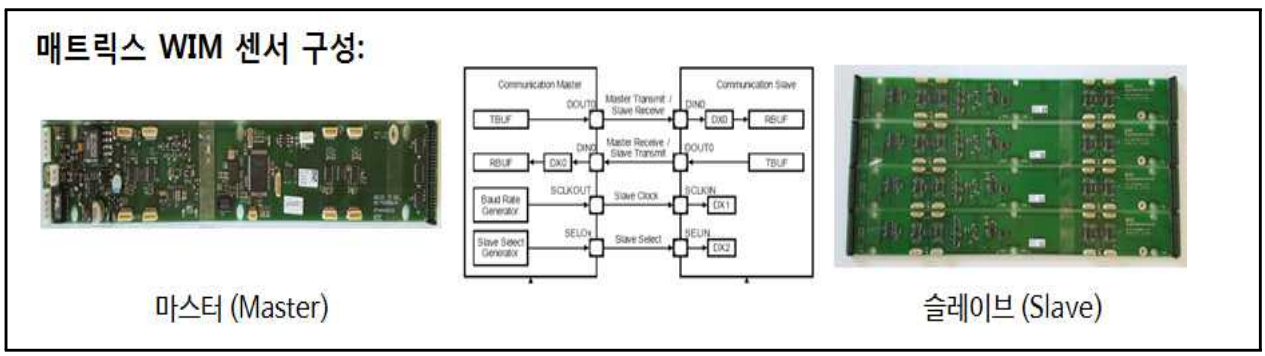
- 이렇게 발생한 스트레인 게이지의 신호값들은 SPI 버스 방식으로 마스터 모듈과 슬레이브 모듈들이 통신을 수행한다.



[3-1-36] 매트릭스 WIM 센서의 작동 개념

❍ SPI(Serial Peripheral Interconnect) BUS 특성[12)]

- SPI(Serial Peripheral Interconnect) 버스는 Motorola에 의해 개발된 전이중(full duplex) 통신이 가능한 동기 통신 규격으로 EEPROM, real-time clocks, sensor나 converters(ADC/DAC)들과 마스터-슬레이브 방식으로 동작하며 마스터가 동기를 위한 클럭을 출력한다. 각 슬레이브 장치는 chip enable 입력을 가지고 있으며 이 입력이 활성화되었을 때 동작한다. 따라서 마스터는 여러 개의 slave select 선을 슬레이브들의 chip enable에 연결하고 한 순간에 하나의 슬레이브만 선택하는 방법을 사용하여 두 개 이상의 슬레이브 장치들을 구동할 수 있다. 매트릭스 WIM 센서에서는 1 Master-4 Slave가 데이터를 교환한다. SPI의 통신 속도는 최고 70MHz에 이르기 때문에 타 방식보다 고속전송이 가능해서 본 연구에서 개발하는 매트릭스 WIM 시스템에 적합한 방식이다.



[그림 3-1-37] 마스터와 슬레이브의 연결 상황 예시

12) : http://eslectures.blog.me/80137860924

- SPI 버스의 가장 큰 장점으로는 최고 70 MHz에 이르는 빠른 통신 속도와 동시 양방향 통신이 가능하다는 점을 들 수 있다. 전송 데이터 단위에 대한 제약이 없어서 8 비트, 16 비트, 24 비트 등 원하는 길이를 한 워드로 설정할 수 있다. 비트 순서에 대한 제약도 없으므로 필요에 따라 MSB부터 전송할 수도 있고 LSB부터 전송할 수도 있다. I2C 슬레이브와 달리 SPI 슬레이브는 자체 주소를 가지고 있지 않으므로 주소 충돌의 문제도 발생하지 않는다.
- I2C 버스와 달리 SPI 버스에는 한 개의 버스 마스터만 있을 수 있으며 I2C 버스에 비해 필요한 핀의 수가 더 많다. SPI 버스는 기본적으로 4가닥의 선을 사용하며 마스터에 연결된 슬레이브의 숫자가 많아질수록 슬레이브를 선택하기 위한 SS 핀의 수 역시 슬레이브 수에 비례해서 늘어난다. 또한 I2C 버스의 **ACK와 같은 메커니즘이 없어서 마스터는 자신이 통신하고 있는 장치가 실제 존재하는지 오류 여부를 확인할 수 없는 단점을 지닌다.**



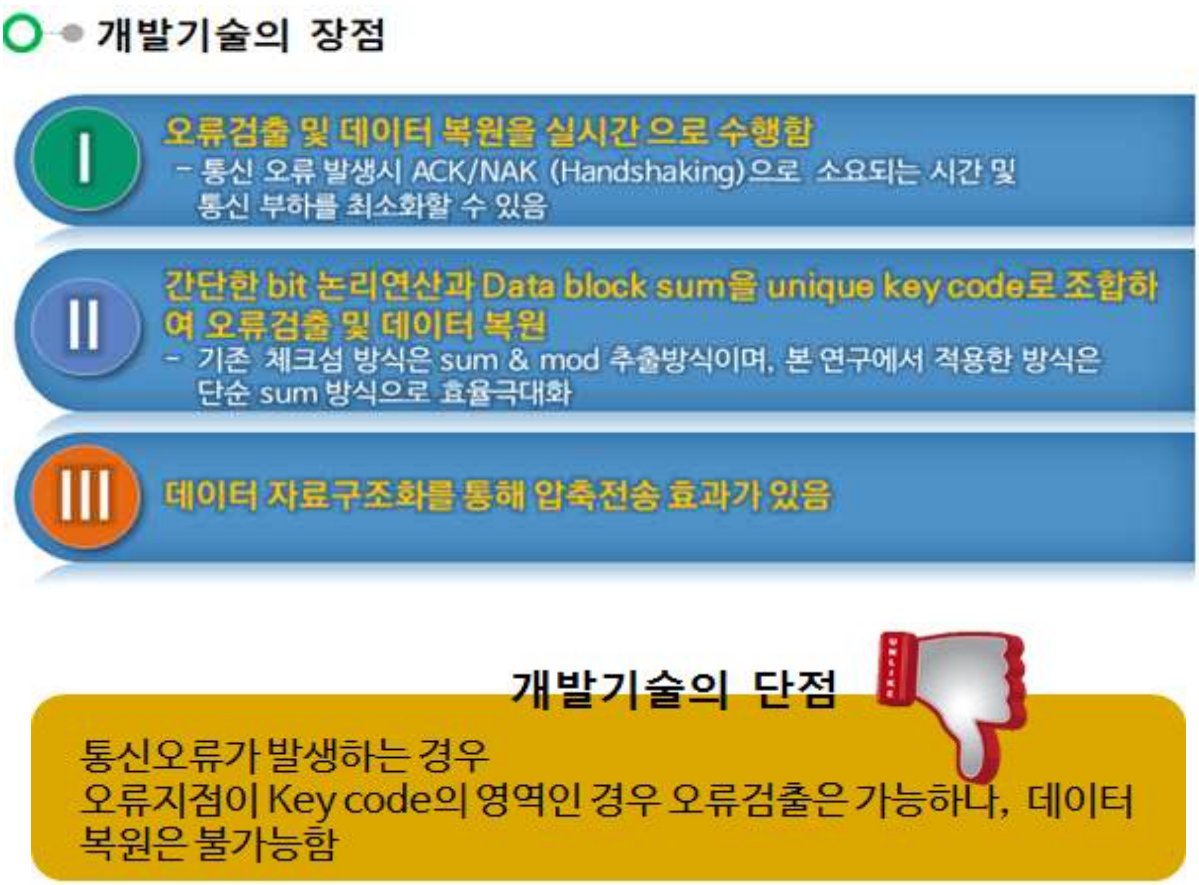
[3-1-38] SPI BUS 방식의 장단점

❍ 매트릭스 WIM 데이터 오류 검출 및 정정 기술

- 앞에서 설명했듯이 매트릭스 WIM 센서 시스템은 데이터 통신을 위해 SPI BUS 방식을 사용하고 있는데, 이 통신방식의 가장 큰 단점은 오류검사 프로토콜이 정의되어 있지 않을 뿐만 아니라 오류를 감지한다고 해도 이를 정정 및 복원할 수 있는 장치가 없다는 것이다.
- 따라서 본 연구에서는 이 같은 약점을 보완하고자 단순 오류검출뿐만 아니라 오류검출 후 정정까지 가능한 기술을 개발하여 하중정보인 디지털 데이터를 오류발생 시 그대로 저장하는 것이 아니라 오류정정코드로 변환하여 저장하도록 한다.
- 디지털 데이터는 그 표현이 0 또는 1이므로, 기본 개념은 오류가 표시된 부분이 1인 경우 0으로, 0인 경우는 1로 변경함으로써 쉽게 정정이 가능한 방법을 적용하되 폭주 오류(Burst Error)의 검출 및 정정이 가능하고, 고속 검출 및 정정이 가능토록 SUM-Key Code XOR Combination 방법으로 개발하였다.

• 개발된 WIM 데이터 오류 검출 및 정정 기술의 장단점은 [그림 3-1-39]와 같다.

• [그림 3-1-40]와 [그림 3-1-41]은 개발 프로그램의 실행 상황을 예시한 모습이다.



[3-1-39] 개발 데이터 오류 검출 및 정정 기술의 장단점

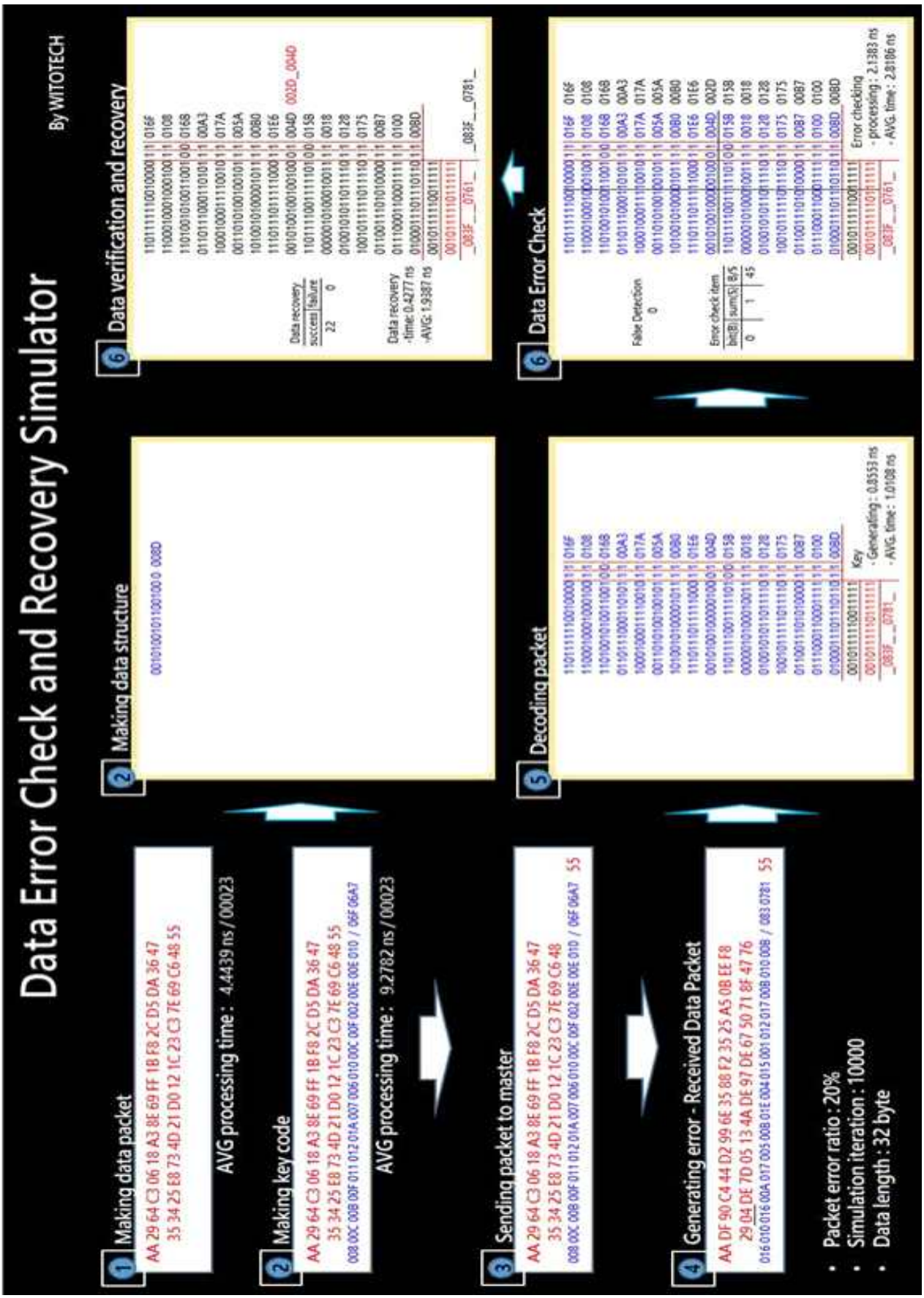
• 한편 개발 기술의 현장적용을 위한 요건은 다음과 같이 설정하였으며 이를 테스트한 결과는 [표 3.1.18]에 설명하였다.

- WIM센서의 sampling rate이 8KHz이므로 0.125msec 이내 처리
- Simulation 반복실험을 통해 성능검토 및 분석
  - 5,000회 이상 무작위 반복실험 수행
  - 오류검출정확도 및 데이터 복원 성공률, 연산소요시간 테스트

• 테스트 결과, 데이터 오류 검출율은 99% 이상이었으며, 오류 데이터에 대한 정정 성공률은 약 97% 수준으로 우수한 기능을 나타냈다.

[3.1.17] 개발기술의 적용실험 및 분석 결과

분석 항목	세부 항목	측정 결과	비고
연산 소요시간	Packet Decoding	1.007 ns	총 소요 시간 : 5.3247 ns/Packet
	Error Detection	2.8203 ns	
	Data Recovery	1.5037 ns	
오류검출 정확도	Bit 연산	91.73 %	Bit-Data Block Sum 기준
	Data Block Sum	99.98 %	
	Bit-Data Block Sum	99.92 %	
	오류 검출율	0.077 %	
데이터 정정	데이터 정정 성공률	96.96 %	정정 실패 원인 : 탐색시 예외사항 발생
	데이터 정정 실패율	3.04 %	



[3-1-40] 데이터 오류 검출 및 정정 프로그램 적용 테스트 예시 화면 1



[3-1-41] 데이터 오류 검출 및 정정 프로그램 적용 테스트 예시 화면 2

3.2 WIM 시스템 중량 보정 및 교정 방안

- 국립국어원(www.korean.go.kr) 표준국어대사전을 살펴보면 교정(較正)이라 함은 '계기류의 정밀도 따위를 표준기와 비교하여 바로잡음'으로 정의되어 있으며, 보정(補正)은 '물리 실험, 관측 또는 근삿값 계산 따위에서 결과에 포함된 외부적 원인에 의한 오차를 없애고 참값에 가까운 값을 구하는 것'으로 정의 되어 있다.
- 그리고 영문으로 교정은 Calibration(describes tools other devices that are moved slightly of have marking accurate measurements), 보정은 Correction(a change made to something in order to correct or improve it, or when you make such a change)을 주요 사용한다.
- 일반적으로 축중기에서 교정이라 함은 실제 정적인 상태에서 측정한 하중값과 비교해서 차이가 나는 정도만큼을 바로잡는 일련의 작업이며, 축중기의 측정오차를 발생시키는 원인을 없애는 과정은 보정작업에 속하며, 때론 교정 후 보정 등의 과정도 포함하고 있어 사실 혼용되어 사용되고 있다. 따라서 본 과제에서도 일부 내용은 혼용하여 사용한다.

가. 축중기 교정의 정의 및 법·제도적 근거

(1) 교정의 법·제도적 근거

- 국가표준기본법 제3조(정의)에 따르면 "교정"이란 특정조건에서 측정기기, 표준물질, 척도 또는 측정체계 등에 의하여 결정된 값을 표준에 의하여 결정된 값 사이의 관계로 확정하는 일련의 작업을 말한다고 정의되어 있으며,
- "소급성(遡及性)"이란 연구개발, 산업생산, 시험검사 현장 등에서 측정한 결과가 명시된 불확정 정도의 범위 내에서 국가측정표준 또는 국제측정표준과 일치되도록 연속적으로 비교하고 교정(較正)하는 체계를 명시하고 있다.
- 또한, "적합성평가"란 제품, 서비스, 공정, 체제 등이 국가표준, 국제표준 등을 충족하는지를 평가하는 교정, 인증, 시험, 검사 등을 말한다고 명시함으로써 교정에 대한 제반적인 정의를 언급하고 있다.
- 한편 같은 법 제14조에서는 교정업무를 수행하기 위한 체계에 대해 명시하고 있는데, 그 내용은 다음과 같다.

> 14조(국가교정제도의 확립) ① 정부는 국가측정표준과 국가사회의 모든 분야에서 사용하는 측정기기 간의 소급성을 높이기 위하여 국가교정제도를 확립하여야 한다.
> ② 정부는 전국적 교정망을 통하여 중소기업을 포함한 모든 측정현장에 주기적인 교정과 선진측정과학기술을 보급하도록 노력하여야 한다.
> ③ 산업통상자원부장관은 제1항의 교정제도 확립을 위하여 국가교정업무 전담기관을 지정하여 운영할 수 있다. <개정 2013.3.23.>
> ④ 제3항의 국가교정업무 전담기관의 지정 및 운영 등에 필요한 사항은 대통령령으로 정한다.

❍ 국가표준기본법 제14조 규정에 의한 국가측정표준과 국가사회의 모든 분야에서 사용하는 측정기기간의 소급성 제고를 위하여 측정기를 보유 또는 사용한 자는 주기적으로 해당 측정기를 교정하여야 하며, 이를 위하여 교정대상 및 적용범위를 규정으로 정하여 운용할 수 있다" 고 "국가교정기관지정제도운영요령 제42조"에 규정되어 있다.



[그림 3-2-1] 측정기 교정관리의 예시

(2) 교정의 정의 및 목적

❍ 한국표준과학연구원

- 국가측정표준대표기관인 한국표준과학연구원에서는 교정이란 교정대상인 측정기의 표시 값과 표준기의 표시 값을 비교하여 측정기와 표준기의 관계를 확립하는 과정이라고 정의하고 있으며, 교정의 목적은 한국표준과학연구원(KRISS)에서 확립, 유지하고 있는 국가측정표준을 산업계에 보급하여 공산품의 품질향상과 국제경쟁력을 제고하고 국민의 삶의 질 향상에 기여함을 목적으로 하고 있다.

❍ 한국인정기구(KOLAS, Korea Laboratory Accreditation Scheme)

- 한국인정기구에서는 교정(Calibration) 이란 측정기기나 측정시스템이 지시하는 양의 값, 또는 물적 척도나 표준물질이 표시하는 값과 표준에 의해서 현시된 이들에 대응하는 값 사이의 관계를 지정된 조건하에서 확립하는 일련의 작업을 말한다고 정의하고 있으며, 다음과 같은 일련의 과정 및 작업과 연계된다.
  - 교정의 결과는 측정량에 대한 값을 지시값으로 정하거나 또는 지시값에 대한 보정을 가능하게 한다.
  - 교정은 또한 영향량의 효과와 같은 기타 측정학적 특성도 결정할 수 있다.
  - 교정 결과는 때때로 “교정 증명서” 또는 “교정 성적서”라고 불리는 문서로 기록될 수 있다.
- 또한 측정기를 교정 관리하는 목적은 측정기의 체계적인 관리로 생산성 향상 및 원가절감에 기여하고, 또한 측정기의 정밀정확도 유지 및 정확한 측정 데이터의 제공으로 생산제품의 품질향상에 기여하는데 있다.

❍ 위에서 언급한 내용들을 정리해 보면, 교정(Calibration)은 국제표준과의 소급성을 유지하기 위해 기준기와 적합한 절차에 따라 계측기기의 정확도에 대한 편이를 검출하고 이를 조정 및 수정하는 행위라고 설정한다.

(다) 차량축중기 교정에 대한 법적근거

❍ 차량의 운행제한 규정

- 국토교통부훈령 제799호「차량의 운행제한 규정」 제14조(단속장비)에서는 과적차량을 단속하는 단속장비에 필요한 사항을 다음과 같이 규정하고 있는데, 특히 제2항과 제3항은 본 기술화지원사업의 대상이 되는 고속축중기 (High Speed Weigh-In-Motion System)와 관련이 되는 조항이다.

저속축중기는 시속 10킬로미터 이내의 속도로 운행하는 차량의 축하중 및 총중량을 측정할 수 있어야 한다.
② 고속축중기는 축하중 10톤, 총중량 40톤 초과 차량을 인식하고, 이를 이용한 제한차량 감시장치는 해당 차량의 번호판을 촬영하여 영상 또는 음향신호로 검문소와 유도초소에 알릴 수 있어야 한다.
③ 저속축중기와 고속축중기를 이용한 단속 시스템은 차량번호와 측정값(측정일시, 축하중, 총중량 등)을 표시 · 저장 · 출력할 수 있어야 한다.
④ 이동식축중기는 정지한 차량의 윤하중 또는 축하중을 측정할 수 있어야 하고, 하중표시기에 연결하여 측정값을 확인할 수 있어야 한다.
⑤ 이동식축중기는 다음 각 호에 따른 지정기관으로부터 형식승인 및 검정을 받은 제품이어야 한다.

1. 지정기관 :「계량에 관한 법률」에 따른 형식승인기관(비자동저울)

2. 검정 지정기관 : 「계량에 관한 법률」에 따른 검정기관 · 자체검정사업자(비자동저울)

⑥ 하중표시기는 유선 또는 무선 장치에 의해 측정값을 자동으로 표시 · 저장할 수 있어야 하고, 저장된 측정값을 열람 · 출력할 수 있어야 한다.

⑦ 제한차량 및 도주차량 감시장치는 자동으로 차량을 감지하고 차량의 번호판을 인식하고 차량 번호 정보(사진 정보를 포함한다) 등을 기록 · 저장할 수 있어야 하며, 특히 도주차량 감시장치는 단속원(유도요원)이 혐의차량에 대하여 검문소 진입을 유도(신호)하는 장면과 이에 응하지 아니하고 차량이 도주(운행)하는 장면 등을 영상 정보(사진 또는 동영상 정보)를 기록 · 저장할 수 있어야 한다.

⑧ 단속장비(이동식축중기, 저속축중기)는 「국가표준기본법」에 따른 국가교정업무 전담기관(이하 교정기관이라 한다)로부터 정기검사(교정)를 받아야 하며, 그 결과에 따라 다음 각 호와 같이 조치한다.

1. 이동식축중기는 정기검사(교정)의 결과에 따라 다음 각 목과 같이 조치할 것

   가. 사용오차 이내인 사실이 확인된 이동식축중기는 교정 관련 검사 결과서를 발급받아 이를 도로관리청에 보관할 것

   나. 사용오차를 초과하는 사실이 확인된 이동식축중기는 제조업자 · 수리업자(자체수리자를 포함한다. 이하 같다)를 통해 수리 또는 오차 보정을 받은 후 지정된 검정기관(자체검정사업자는 제외한다)으로부터 재검정을 받을 것

2. 저속축중기는 정기검사(교정)의 결과에 따라 다음 각 목과 같이 조치할 것

   가. 사용오차 이내인 사실이 확인된 저속축중기는 교정 관련 검사 결과서를 발급받아 검문소에 비치할 것

   나. 사용오차를 초과하는 사실이 확인된 저속축중기는 제조업자 · 수리업자를 통해 수리 또는 오차 보정을 받은 후 교정기관으로부터 교정 관련 검사 결과서를 재발급 받을 것

⑨ 단속장비(이동식축중기, 저속축중기)는 제8항에 따른 정기검사(교정)와는 별도로 다음 각 호에 따라 정기검사를 하여야 한다.

1. 이동식축중기는 매월 1회 이상 해당 장비의 신뢰성 유지를 위한 정확성 확보 여부, 검정 · 재검정 및 정기검사(교정) 이행 여부를 확인하여야 하며, 고장 등이 의심되는 경우에는 그 즉시 제8항에 따라 조치할 것

2. 저속축중기는 매월 1회 이상 해당 장비의 작동 여부 및 신뢰성 확보를 위한 정확성 유지 여부 등을 확인하기 위해 다음 각 목에 따라 조치할 것

   가. 제조업자, 수리업자, 교정기관 중 어느 하나로부터 고장 또는 사용오차 초과 여부를 확인하기 위한 점검(정기점검)을 받고, 저속축중기의 고장 또는 사용오차 초과 사실이 확인되는 경우에는 그 즉시 제8항제2호 나목에 따라 조치할 것

. 가목에 따른 정기점검과는 별도로 이동식축중기와의 상호 비교 점검을 자체적으로 실시하고, 저속축중기의 고장 등이 의심되는 경우에는 그 즉시 가목에 따라 조치할 것

⑩ 제8항 및 제9항에 따른 정기검사·점검과는 별도로 단속장비(이동식축중기, 저속축중기)의 고장 등이 특별히 의심되는 경우에는 그 즉시 다음 각 호에 따라 조치하여야 한다.

1. 이동식축중기는 제8항에 따른 검사를 받고 그 결과에 따라 조치할 것
2. 저속축중기는 제9항제2호 가목에 따른 점검을 하고 그 결과에 따라 조치할 것

⑪ 단속장비(이동식축중기, 저속축중기)의 검정 유효기간 및 교정주기는 다음 각 호와 같다.

1. 이동식축중기의 검정(재검정) 유효기간은 2년
2. 이동식축중기 및 저속축중기의 교정주기는「국가표준기본법」제14조 및 같은 법 시행령 제12조제3항에 따른「교정대상 및 주기설정을 위한 지침」에 따라 1년
3. 제1호 및 제2호에도 불구하고 검정 또는 재검정을 받은 단속장비(이동식축중기, 저속축중기)는 당해년의 교정검사는 받은 것으로 한다

⑫ 단속장비(이동식축중기, 저속축중기)의 최대허용오차와 사용오차는 다음 각 호와 같다.

1. 이동식축중기의 최대허용오차(검정기준)는 0.5%
2. 저속축중기의 최대허용오차(설치기준)는 2%
3. 이동식축중기 및 저속축중기의 사용오차는 제1호 및 2호에 따른 최대허용오차의 2배

⑬ 이동단속차량은 「도로교통법 시행령」 제2조제1항8호 및 제3조에 따라 경광등(1등당 광도는 135칸델라 이상 2천5백 칸델라 이하일 것)과 사이렌(음의 크기는 차량의 전방 30미터의 위치에서 90데시벨 이상 120데시벨 이하일 것)을 장치하여 긴급자동차로 지정하여야 한다.

⑭ 이동단속차량의 사이렌과 경광등은 일체형이어야 하고, 차량의 너비를 초과하여서는 아니 된다.

⑮ 이동단속차량은 단속요원의 승·하차 및 축중기의 적하가 용이한 차량이어야 하고, 차량의 시인성을 높여 주의를 유도하기 위해 별표 6의 운행제한 단속차량 외부 도색 표준에 따라 디자인하고 도색하여야 한다.

❍ 계량에 관한 법률

- 「차량의 운행제한 규정」과 더불어 현재 축중기의 교정과 관련이 있는 법률은「계량에 관한 법률」로서 이동식 축중기는 2007년 법정계량기로 등록되었으며,「계량에 관한 법률」 제39조(측정기기의 교정)에 의거하여 정기적으로 교정검사를 받아야 하고, 정당한 사유 없이 정기검사를 받지 아니한 때에는 「계량에 관한 법률」제76조(과태료) 규정에 의거하여 300만원 이하의 과태료 처분을 받게 된다.
- 측정기기의 교정에 관한 「계량에 관한 법률」의 주요 조항은 다음과 같다.

39조(측정기기의 교정) 국가표준기본법」에 따른 측정기기 중 상거래 또는 증명에 사용하기 위하여 교정이 필요한 대통령령으로 정하는 교정대상 측정기기를 사용하려는 자는 같은 법 제14조제3항에 따른 국가교정업무 전담기관으로부터 같은 법 제3조제16호에 따른 교정을 받아야 한다.

② 제1항에 따른 교정대상 측정기기를 사용하는 자는 대통령령으로 정하는 교정주기가 끝나기 전에 다시 교정을 받아야 한다.

③ 제1항 및 제2항에 따른 교정 및 재교정의 기준은 대통령령으로 정한다.

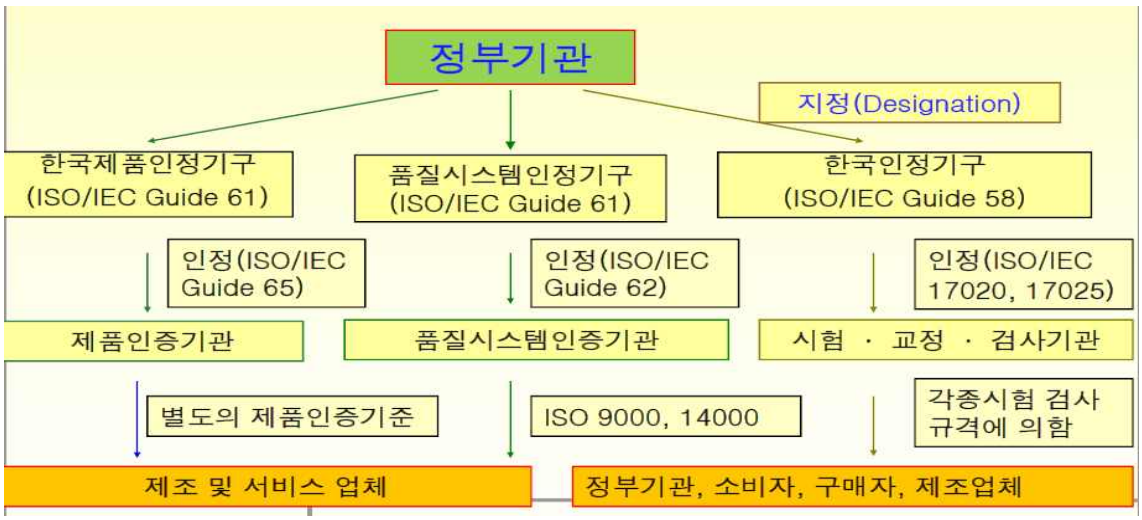
제40조(측정기기의 자율교정) ① 교정대상 측정기기 사용자가 자율적으로 교정할 필요가 있는 자율교정 측정기기의 종류를 대통령령으로 정한다.

② 산업통상자원부장관은 제1항에 따른 자율교정 측정기기를 효율적으로 관리하기 위한 교정주기, 교정절차 등을 정하여 고시할 수 있다.

(4) 측정기기 교정기관

❍ 1993년 12월 18일 116개국이 단일 안에 합의하여 세계무역기구(WTO) 설립하고, 각국의 상이한 표준 및 인증절차의 국제적인 조화를 모색하기 위해 TBT (Technical Barriers to Trade) 협정을 체결하고 다음과 같은 사항을 결정하였다.

- 표준(Standards), 기술규정(Technical Regulations), 적합성 평가(Conformity Assessment)에 관한 것을 협정한다.
- 무역상대국 간에 서로 상이한 표준, 기술규정, 인증절차, 검사절차 등을 채택 적용함으로써 상품 및 서비스의 자유로운 이동을 저해시키는 장애요소를 제거하자는 것이 TBT 협정의 기본취지이다.
- 따라서 국제표준의 채택, 인증제도의 비 차별원칙 준수, 강제적 기술규정 채택 시 사전 공표·시차적용, Enquiry point(관련 정보를 쉽게 볼 수 있는 조회처)를 운영한다.

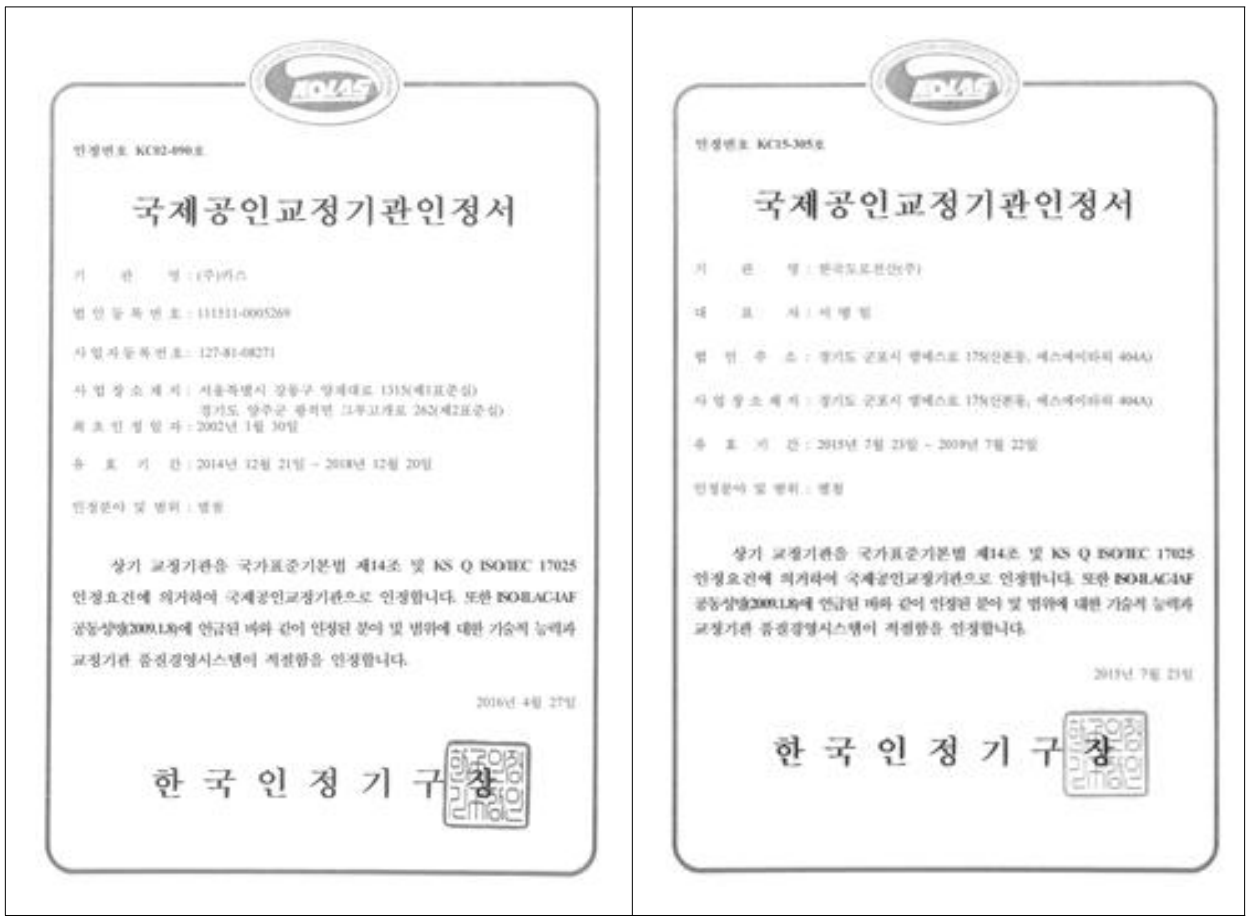


[그림 3-2-2] TBT 협정의 실행 권고사항

❍ [그림 3-2-2]에 설명된 KOLAS(한국인정기구)는 국가표준제도의 확립 및 산업표준화제도 운영, 공산품의 안전/품질 및 계량·측정에 관한 사항, 산업기반 기술 및 공업기술의 조사/연구 개발 및 지원, 교정기관, 시험기관 및 검사기관 인정제도의 운영, 표준화 관련 국가 간 또는 국제기구와의 협력 및 교류에 관한 사항 등의 업무를 관장하는 국가기술표준원 조직으로서 국가기술표준원장이 KOLAS장의 역할을 수행하고 있으며, 2016년 7월 현재 인정현황은 다음과 같다.

- 국가교정기관(209 기관) : 길이 및 관련량, 질량 및 관련량(질량, 힘, 토크, 압력, 부피, 밀도 등), 시간 및 주파수 등
- 공인시험기관(456기관) : 역학시험, 화학시험, 전기시험, 열 및 온도 측정, 비파괴시험, 음향 및 진동시험, 광학 및 광도측정 등
- 공인검사기관(53기관) : 산업용 설비 및 기계, 공산품 및 소비제품, 재료 및 부품, 교통(교통단속용 장비), 에너지 및 자원 등

❍ 현재 축중기 분야에서는 (주)SAT(전 한국도로전산(주)) 및 (주)카스가 이동식 및 고정식 축중기에 대한 국제공인교정기관으로 인정받고 있다. 그러나 고속축중기의 경우, 국내에는 공인된 인증, 검사, 교정기관은 없는 실정이다.


국제공인교정기관인정서

국제공인교정기관인정서

[그림 3-2-3] 국제공인교정기관 인정서 예시

나. WIM 센서의 교정방식 및 사례 검토

❍ 혹자는 센서의 교정(calibration)이라 함은 시간의 흐름 또는 교통량의 누적에 따라 발생하는 하중예측의 편향치를 바로잡는 행위라고 정의한 바 있는데(한대석 2007), WIM 센서의 교정(혹은 보정)과 관련하여 교정의 정의, 센서의 수명주기, 교정주기, 교정시점 및 교정방법 등에 대해 명확하게 규정한 매뉴얼이나 지침은 없다. 이는 WIM 센서 및 시스템이 설치되는 현장도로의 환경 즉 도로 기하구조, 포장의 상태, 주변 온습도, 교통특성 등이 다양할 뿐만 아니라 설치되는 WIM 센서의 종류 및 구조 또한 각각 다르기 때문이다.

❍ 특히 고속 WIM 시스템의 경우, 주행 중인 차량의 전체 무게를 동시에 측정할 수는 없기 때문에 관성력에 의한 무게중심 쏠림 현상으로 축의 무게가 왜곡되는 문제가 발생하며, 과적단속을 회피할 목적으로 차량 운전자가 의도적인 급 가·감속과 같은 비정상적인 주행을 할 경우에는 측정 자료에 대한 오차정도가 더욱 크게 발생하기도 한다.

❍ 이처럼 센서의 교정은 WIM 시스템의 정확도에 상당한 영향을 미치는데, 적정한 교정을 수행하기 위해서는 통상적으로 많은 인력과 시간 및 비용이 소요된다.

(1) WIM 센서의 교정 방법

❍ WIM 시스템을 설치한 이후 실제 사용하기 이전에는 교정을 해야 하며 최종 데이터는 교정절차 및 교정조건에 따라 많은 영향을 받는다[17]. 특히 중요한 것은 참조 값을 어떻게 선택하고, 교정 후 정확도가 허용된 범위를 만족하는가의 여부이며, 교정의 방법은 측정의 목적, 선세의 종류, 응용방안, 사용자 요구사항 및 기술조건 등에 따라 결정하는데 일반적으로 다음과 같은 방법을 사용한다.[17, 18]

- **static calibration** : 가능한 한 정적하중을 측정한 센서를 사용하는 시스템으로 포장조건과 도로-차량의 상호 작용을 고려하지 않는 방법임. 저속 WIM 시스템에 사용하기 편리한 방법
- **use of shock or pressure devices** : 반복적인 충격이나 압력변동에 대응하는 센서를 사용하는 방법으로 포장의 특성, 차량의 매개 변수 및 속도 또는 하중과는 독립적이며, 충격력 측정에 사용함
- **calibration by instrumented vehicle** : MS-WIM(Multi-Sensor WIM) 이나 차축에 가하는 힘을 측정하는 시스템으로 실제로 WIM 시스템에 의해 측정 된 실제 값을 기초로 보정 할 수 있는 방법이며, 고비용, 데이터 동기화 문제, 기술적인 어려움, 교정의 품질이 계측차량의 정확도에 의존하는 단점을 지님
- **automatic self-calibration** : WIM 시스템을 영구적으로 자동 교정하거나 축중센서, 포장, 온도변화와 같은 외부영향의 편향이나 추세 등을 수정하는 방법으로 WIM이 설치된 도로의 교통조건과 교통류에서 선택된 “참조 차량”에 대한 선험적인 지식이 있어야 한다. 이 방법의 효율성은 이 같은 사전적 지식 및 교통정도에 따라 달라짐

- pre-weighed calibration vehicles method : WIM을 차량의 정적하중 또는 총중량을 측정하는 시스템으로 설계할 때 추천하는 방식으로 다양한 WIM 시스템 구조에 적용됨. 이는 사전 교정된 차량을 수차례에 걸쳐 WIM 시스템을 통과시키는 방법으로 교정차량의 특성에 민감하기 때문에 차량 및 도로의 상호작용 일부분은 제거하여 사용함

(2) 국외 사례 및 교정기술 동향

(가) 유럽의 COST 323

① WIM 시스템 교정에 대한 일반적 권고사항

- WIM 시스템이 설치된 이후 사용되기 이전에 반드시 초기교정이 있어야만 함
- WIM 시스템과 목적에 따라 교정방법을 선택해야 하며, 반드시 참조값을 사용하여야 함
- 참조값은 차량 총중량 혹은 정적 축하중으로 사용함
- 온도는 교정절차 내내 기록되어야 하며, 온도에 대한 WIM 시스템의 민감도 역시 확인되어야 함
- 교정은 '자기교정'을 제외하고는 1-2일(연속적)동안 수행함

② 교정방법

❍ 정적교정

- 정적측정만 하는 계량시스템에만 사용. 시스템 자체로 인해 발생하는 편향치만 제거
- 시스템을 둘러싸고 있는 포장상태, 포장과 차량 간의 상호작용을 고려해야 함
- 좋은 포장상태에서의 저속 WIM을 조합하여 사용
- 다양한 무게(차량이 아님)를 측정함으로써 교정. 저울이 측정 가능한 하중의 범위 내에서 최소 3회 실시.
- 대량무게를 측정할 경우, 사전 측정된 대형트럭을 이용(추천할 만한 사항은 아님)
- 교량을 위한 B-WIM의 경우 최소한 1,2축 혹은 3축(1축+2축)의 고정형 트럭을 사용할 것을 권장함. 이 트럭은 사전에 무게를 측정한 트럭으로 하며, 공차 및 적하상태에서 측정하며, 정확도는 2대 이상의 트럭을 사용함에 따라 증가될 수 있음

❍ 사전 측정된 샘플차량을 이용한 교정

- 이는 WIM 시스템이 무게를 예측하고자 하는 경우에 권장함
- 가장 일반적으로 사용하는 방법으로 비교적 간단하고 직접적임. 또한 모든 종류

의 WIM 장비에 적합함. 그러나 샘플차량의 특성(서스펜션의 유형, 파라미터 등)에는 민감

- 테스트 조건에 따라 운영되어야 함
- 초기교정 및 시스템 교정에서는 제한된 재현성 조건으로 샘플차량을 운영해야 하는데 4, 5대는 운영하여야 함. 이때 차량은 다음과 같은 기준으로 사용한다.

2축 고정형 밴(최대적하, 3.5ton ±1ton) 2축, 3축, 4축 대형트럭(최대적하에 가까운 하중상태, 10-25ton) 2열 혹은 3열로 지탱하는 세미 트레일러 트렉터(3열추천) 30ton 이상급 트레일러형 대형트럭(2+2, 3+2, 2+3, 3+3) 최대 적하 상태

- 가능하면 마지막 두 대의 차량은 최대적하 혹은 절반적하 상태에서 운영하고 2열, 3열 축의 차량은 에어 서스펜션이 장작 되지만 기계형(역학적) 서스펜션의 경우 정적 축하중에 활용함
- 테스트 조건은 반드시 교정 전에 정의되어야 하고, 그에 따라 정확도 계산이 이루어 져야 함. 좀 더 실제 교통류와 가까운 테스트 조건에는 그만큼의 더 많은 비용이 소모 되지만, 그럼에도 불구하고 정지상태의 교통류에 대한 테스트는 이루어지지 않음 (즉, 완벽한 재현성 조건은 제외)
- 확장된 반복성 조건에서 교정하는 경우, 차량의 종류는 가장 일반적인 형태여야 하며, 하중은 공차, 절반, 최대적화 상태로 구분하여 시행





[그림 3-2-4] 샘플차량의 사전교정 모습

- 교정의 결과를 인정받기 위해서는 한 차량이 최소한 10번은 주행해야 함. 이 경우 속도는 WIM 사이트의 속도를 대표할 수 있는 2,3가지로 수행함. 적용이 가능한 간단한 규칙을 소개 한다면 V , 1.2V, 0.8V로 수행하며 각각의 비율은 60%, 20%, 20%로 설정함
- 초기교정의 경우 한 대로 시행하는 완전한 반복성 조건은 피해야 함. 정 다른 대안의 적용이 불가능한 경우에는 최대적하 상태에서 10회(3가지 속도로) 주행함
- 시행된 교정방법 및 절차는 반드시 기록함
- [그림 3-2-4]는 트레일러 형 트럭 5개 축의 하중을 사전에 측정하여 샘플 차량으로 사용하는 모습을 예시한 것

❍ 자기교정 절차와 소프트웨어

- 1980년대 초반 프랑스에서 개발된 방법으로 WIM시스템의 재교정을 영구적으로 시행하는 거대한 장점을 가지고 있음. 이는 센서, 장비, 포장변화, 외부적영향(온도변화)으로 인해 발생하는 특정한 경향이나 편향에 대한 교정이 가능함. 그러나 이는 사전에 교통량패턴에 대해 알고 있어야 하며, 몇몇 특정 환경에서는 아무것도 안하는 것보다도 좋지 못한 결과를 도출할 수 도 있음
- 이 원리는 특정장소의 교통특성에 따라 결정된 목적값에 WIM이 계산한 통계치를 맞추어가는 원리. 대부분의 나라 혹은 도로네트워크에는 “특성차량”이 존재하는데 이는 낮은 분산계수를 갖는 특정 축의 수, 총중량을 가지고 있고, 완전한 일정평균 값(목적값)을 갖는 차량을 의미함. 특정수준 이상의 샘플사이즈에 총중량 혹은 축의수의 평균이동이 발생하면 이를 목적값으로 하여 교정하게 되며. 이 같은 방법은 요구수준 이상의 특성차량의 수가 통과되면 새로운 교정계수를 출력하게 됨
- 그럼에도 불구하고 이 방법론은 특성차량의 샘플사이즈로 인해 통계적 오차가 발생함을 반드시 알아두어야 함. 그러므로 재교정간의 시간간격(새로운 교정계수를 계산하는 간격)은 재교정 기간의 ‘지연’과 샘플사이즈에 의한 기간감소간의 절충이 필요함
- 자기교정방법을 적용하기 위해서는 반드시 해당지역의 교통류 구성, 축과 차량하중에 대한 통계치에 대해서 사전 지식이 있어야만 한다. 자기교정의 효율성이 이 지식의 수준뿐만 아니라 교통강도에 따라 결정된다. 즉, 높은 교통강도에서 더욱 높은 효과를 갖는다. 그러므로 이 방법론을 교통량이 적거나 지방도로에 적용할 시에는 주의가 요구됨
- 자기교정은 차로를 기준으로 시행하며, 하나 이상의 차로가 존재하는 경우에는 차로별 교통특성을 개별적으로 고려함
- 자기교정은 교통특성(교통량과 구성비)에 따라 보통 1-5일의 시간이 필요

- 온도는 항상 기록되어야 함. 이는 교정 요소와 온도간의 상관관계를 확인하고 통계적 오차를 평가하기 위함 임
- 자기교정방법이 사전타당성 연구와 소프트웨어 개발 후에 적용되는 매우 쉽고 저렴한 방법일 지라도, 통제되지 않은 편향과 분산이 발생할 수 있음

(나) 미국의 ASTM(American Society of Testing Material)

❍ ASTM 위원회에서 제작된 WIM 장비를 위한 Standard E1318-00은 WIM 장비를 운영하는데 있어 장비에 대한 용어, 장비의 종류구분, 운영시 요구되는 조건, 설치지점의 조건, 장비의 보정, 장비의 시험방안 등의 내용을 포함하고 있다.

❍ E1318-00는 TMG(Traffic Monitoring Guide)의 한 부분인 Truck Weight Monitoring에서 개별차량의 Data를 수집하는데 이용되는 WIM 장비 운영의 기본이 되며, 또한 LTPP(Long Term Pavement Performance) program 수행을 위한 WIM 장비 운영의 기준을 제시한다.

❍ WIM 시스템은 교통 데이터-수집 현장에서 한 개 이상의 차로에 설치할 용도로 설계되어 15~80 mph (24~130 km/h) 속도로 달리는 고속도로 차량의 무게를 측정할 수 있는데, 시스템은 일반적으로 [표 3.2.1]에 언급된 자료항목을 생성하며, [표 3.2.2]는 이에 따른 WIM 시스템의 성능 요구사항을 기술한 것이다.

[표 3.2.1] WIM 시스템 생성 데이터 항목

1.	윤하중
2.	축하중
3.	축그룹 하중
4.	총차량무게
5.	속도
6.	한 축의 중간부터 다른 축의 중간까지의 간격
7.	차종 (축 배열로 분류)
8.	현장 식별코드
9.	통행 차로 및 방향
10.	통행 일자 및 시간
11.	연속 차량 기록번호
12.	차축 거리 (맨 앞 전축과 맨 뒤 후축 간의 거리)
13.	등가단축하중(ESALs)
14.	위반코드

[표 3.2.2] WIM 시스템 기능 성능 요구사항

기 능	95 % 적합성[A]에 관한 허용오차				
	1형	2형	3형	4형	
				값 $>lb (kg)[B]	±lb (kg)
윤하중	±25 %		±20 %	5000 (2300)	300 (100)
축하중	±20 %	±30 %	±15 %	12 000 (5400)	500 (200)
축그룹 하중	±15 %	±20 %	±10 %	25 000 (11 300)	1200 (500)
총중량	±10 %	±15 %	±6 %	60 000 (27 200)	2500 (1100)
속도	±1 mph (2 km/h)				
축거(축간거리)	±0.5 ft (0.15m)				

❍ 시험 차량의 무게를 측정하여 기준값을 구하는 절차는 교정 절차, 형식시험, 현장 인수검사/검증시험 시 두 대의 시험 차량을 사용하며, 다음의 절차를 두 대의 정지 상태 시험 차량에 적용하여 각각의 하중, 무게, 축 간격, 차축 거리의 기준값을 구한다.

- 각 시험 차량의 축과 축 사이 간격을 측정하여 0.1 ft (0.03m)에 가장 근접한 데이터를 축 간격의 기준값으로 설정함. 또한, 각 시험 차량에서 맨 앞 전축과 맨 뒤 후축 사이의 거리를 직접 측정하여 0.1 ft (0.03 m)에 가장 근사한 값을 차축거리의 기준값으로 설정
- 브레이크를 푼 상태에서 각 시험 차량 별로 최소 3차례 정지 상태에서 각 축의 양 끝 타이어에 가해지는 타이어 하중을 측정함. 측정 후 차량을 스케일 또는 계량기에서 완전히 벗어나게 이동 시킨 후 다른 타이어의 타이어 하중을 새로 측정하며 차량을 항상 무게를 측정하는 동일한 방향으로 계측장비에 접근하게 함. 해당 타이어 하중을 합산하여 차량 무게 측정 시의 총차량 무게는 물론 휠, 축, 복축하중을 구한다. 합산 후, 100 lb (50 kg) 에 가장 근접한 값을 기록함
- 산술평균을 계산하고 각 시험 차량을 3회 이상 무게를 측정하여 구한 모든 휠 하중, 축하중, 복축하중, 총중량 값으로 100 lb (50 Kg)에 가장 가까운 값을 정하며, 또한 해당 평균값을 계산 시 사용한 각 개별 값의 이 평균값과의 차이를 퍼센트로 계산 함
- 각 시험 차량 별로 각 하중 또는 무게 값에 대해 평균값과 다음의 지정 한계값 간의 퍼센트 차이를 비교함. 총중량 = 62 %, 복축하중 = 63 %, 축하중 = 64 %, 윤하중 = 65 %. 이러한 한계값은 정지 상태 차량의 무게측정 과정이 향후 WIM 시스템 추정값 평가 시 대비될 하중, 무게 기준값으로 사용하는 데 적합한 결과를 생성하고 있음을 입증하기 위해 개별 관찰 항목이 속해야 하는 실질적인 범위를 정의함

- 측정 또는 계산 하중 또는 무게 값이 이 지정된 범위를 벗어나면, 기준값 무게측정 과정에서 결함을 시정하고 각 시험 차량별 최소 3회 이상 무게를 측정
- 무게 측정과정에서 산출된 하중 및 무게 기준값이 지정 범위 안에 들어갈 때 까지 무게측정을 반복함
- WIM 시스템 측정값을 비교할 하중 및 무게 기준값을 구하기 위해, 각 시험 차량의 무게를 연속적으로 3회 이상 측정하여 나온 각각의 윤하중, 축하중, 복축하중, 총중량 값을 위해 계산된 산술평균값 (100 lb (50 kg)에 가장 근사한 값으로 구함)을 사용. 이러한 평균값을 향후 참고용으로 기록함

❍ WIM 시스템 교정 절차

- 적용범위 : WIM 시스템의 현장 교정 절차를 제공. 이 절차는 사용자 또는 사용자 대리인이 모든 형식시험의 주체가 되어 공급업체와 협력하여 실시하여야 하고 모든 현장 인수검사/검증시험에 포함하도록 권고하고 있음. 지정 속도로 각 차로에 설치된 WIM 시스템 센서 위를 수차례 통과할 때 사전에 무게를 측정한 하중이 가해지는 두 대의 시험차량을 준비
- 교정의 중요성 및 용도 : WIM 시스템의 타이어 힘 센서는 일반적으로 움직이는 차량의 타이어에 의해 도로면에 수직으로 가해지는 역동적 타이어 힘의 구성요소 크기에 선형으로 비례하여 시간에 따라 신호를 생성하도록 설계됨. 교정 기능의 목적은 관찰된 차량 속도와 타이어 힘 신호를 정지상태 차량의 타이어 하중, 축간격, 차축 거리 상대값과 상호 연관 짓기 위해 WIM 시스템 계산 내에서 이후 적용되는 요소들을 정의하는 것임. 역동적 타이어 힘은 차량 구성요소, WIM 시스템 센서, 센서 주변 도로면 센서, 기타 요소 간의 복합적 상호작용 결과임. 도로면 단면과 센서 설비는 각 WIM 현장마다 다르며 각 개별 차량마다 특유의 타이어, 서스펜션, 질량, 속도특징을 지닌다. 그러므로 이러한 현장 특성, 속도 특성, 차량 특성 영향이 WIM 시스템 성과에 미치는 영향을 인식하고 현장 교정을 통해 현실적으로 가능한 한 최대로 악영향을 보완하기 위해 노력할 필요가 있음. 교정 절차는 1형 또는 2형, 3형 WIM 시스템의 각 현장 초기 설치 후 즉시 시작하여야 하며, 시스템 재설치 시 또는 현장조건 또는 WIM 시스템 구성요소(소프트웨어와 설정 포함)의 대대적인 변경 시 마다 교정 절차를 다시 적용하여야 함. 재교정은 최소 일 년 마다 실시하여야 함

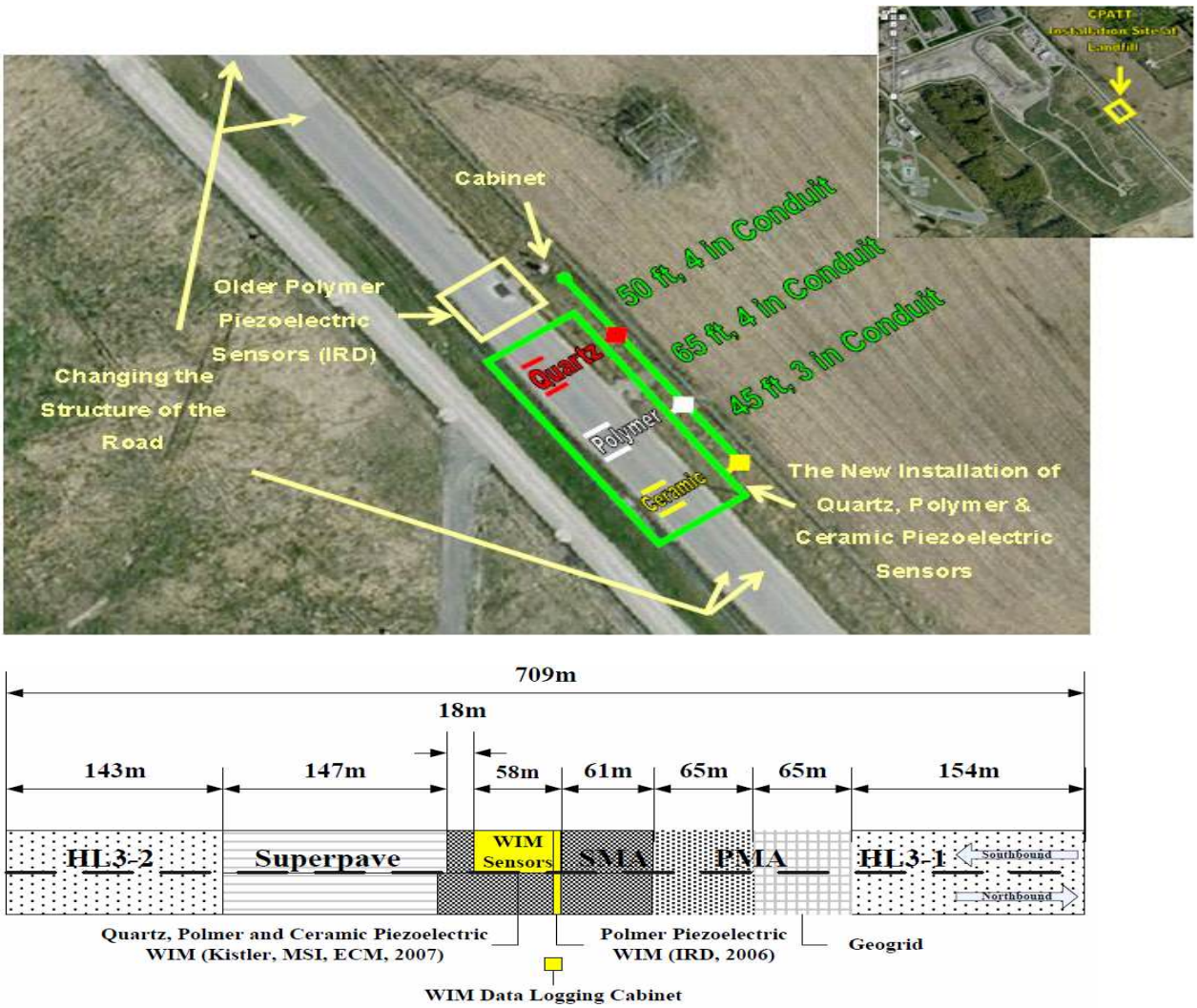
(다) 캐나다 온타리오 주

❍ CPATT(Center for Pavement and Transportation Technology)에서는 WIM 시스템의 다양한 성능시험을 위해 [그림 3-2-5]와 같이 온타리오 주 고속도로 401 인근에 시험 사이트를 구축하였으며 성능시험을 위해 설치된 주요 WIM 센서는 다음과 같다.

• Quartz piezoelectric sensors : 길이 1.0 미터/0.75미터의 센서를 차로당 2개씩 설치

• Polymer piezoelectric sensors : 길이 3.5미터의 센서를 양방향으로 설치

• Ceramic piezoelectric sensors : 길이 3.5미터의 센서를 양방향으로 설치

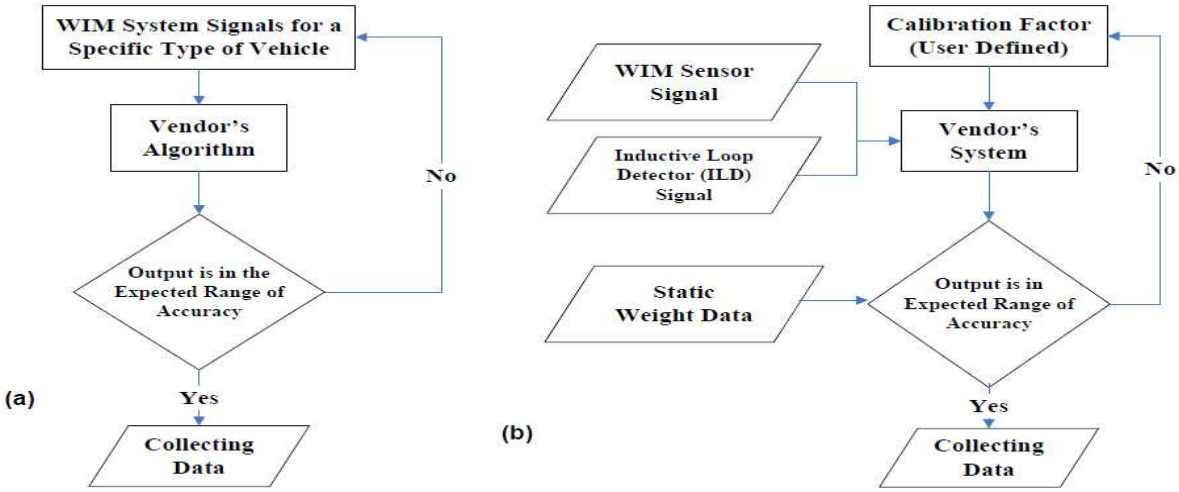


[그림 3-2-5] The CPATT WIM 시스템 테스트사이트

❍ 캐나다 CPATT(Center for Pavement and Transportation Technology)에서는 센서 시스템의 성능을 평가하기 위해 [그림 3]에 설명되어 있는 수동교정 및 시스템 공급자의 자동교정절차를 모두를 사용한다. 수동교정 과정은 사전에 중량이 계측된 시험차량을 설치된 센서 위를 주행시킴으로써 고정된 교정인자 값들을 구하는 방법이며, 특정한 기후 및 교통 조건에 대응하여 센서가 최적의 성능을 발휘하도록 교정인자를 조정한다. 수동 및 자동교정 절차의 주요 차이점은 다음과 같다.

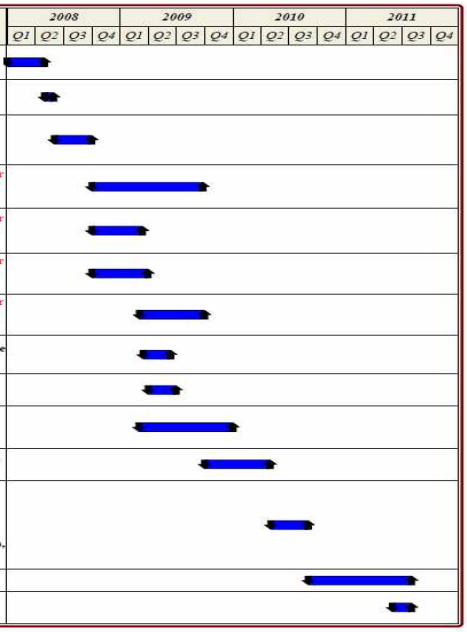
- 수동교정 방법에서는 센서를 설치하는 테스트 사이트의 특정조건에 따라서 사용자가 교정인자를 설정
- 자동교정 과정에서는 WIM 시스템의 소프트웨어가 WIM 센서를 설치한 장소의 차종에 따라 적절한 교정인자를 결정

❍ 자동교정 과정에서 교정인자는 일정한 절차에 따라 주기적으로 업데이트 되는데, 일반적으로 이 절차는 공유되거나 업체가 공개하지는 않는다. 센서가 설치되는 각각의 장소마다 기후, 포장표면, 교통량, 센서 형태, 차량의 통과속도 등이 다르기 때문에 일부 장소에서는 자동교정을 통해서도 신뢰성 있는 교정인자의 조정이 어려울 수 있다. 이 같은 경우 사용자는 수동교정 방법을 사용하여 센서를 교정할 수 있다.



[그림 3-2-6] (a) 캐나다 CPATT의 자동교정절차, (b) 캐나다 CPATT의 수동교정절차

ID	Tasks at the Landfill site	Start	Finish	Duration	Task Notes
1	Manual Pre-calibration: Sporty Limited Data	01/01/2008	30/04/2008	17w 2d	A few waveform recordings
2	Manual calibration : Interrupted data supply	01/05/2008	30/05/2008	4w 2d	
3	Auto-calibration (ceramic and polymer piezoelectric sensors): Continuous data supply	02/06/2008	30/09/2008	17w 2d	Request for static weight data from Waste Management, (Jan. 2008 to the end of May 2009)
4	Auto-cal procedure deactivated: Continuous Data Supply	01/10/2008	25/09/2009	51w 3d	Auto-cal procedure remained activated only for the polymer piezoelectric sensor system at the Landfill site (unknown reason)
5	Static data conversion (Jan. to Nov. 2008)	01/10/2008	13/03/2009	23w 3d	Auto-cal procedure remained activated only for the polymer piezoelectric sensor system at the Landfill site (unknown reason)
6	Preliminary matching file: (Jan. to Nov. 08)	01/10/2008	31/03/2009	26w	Auto-cal procedure remained activated only for the polymer piezoelectric sensor system at the Landfill site (unknown reason)
7	Manual Re-calibration: Continuous Data Supply	04/03/2009	30/09/2009	30w 1d	Auto-cal procedure remained activated only for the polymer piezoelectric sensor system at the Landfill site (unknown reason)
8	Static data conversion (Dec. 2008 to May 2009)	16/03/2009	12/06/2009	13w	Converted static data of Dec. 08 to May 09 to the Excel format
9	Prepared matching file: (Dec. 08 to May 09)	01/04/2009	30/06/2009	13w	
10	Preliminary Data analyses: (Jan. 2008 to May 2009)	02/03/2009	31/12/2009	43w 4d	1- General analyses of data 2- Factorial Experiment Design and Analyses
11	Continuous Data Supply	01/10/2009	30/04/2010	30w 2d	Analysis of static weights of heavy trucks (Jan. to Sept. 2009) were finished
12	Manual Re-calibration Using under developing CPATT's Manual Calibration Sheets	03/05/2010	31/08/2010	17w 2d	1- All sensors were manually calibrated 2- An algorithm for manual calibration of MS-WIM system was developed 3- 50 km/hr, CPATT Dodge Sprinter van (approx. 3.0 tons), main wheel path (path run 2), 30 to 35 runs
13	Continuous data supply	01/09/2010	01/08/2011	47w 4d	
14	Data analyses: (Jun. 2008 to Oct 2008)	01/06/2011	01/08/2011	8w 4d	1- Frequency and Regression Analyses 2- Box and Cox Analyses

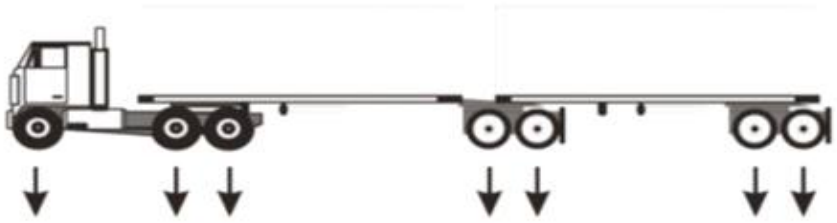


[그림 3-2-7] WIM 시험사이트의 교정 및 자료 분석에 대한 간트 차트

※ 출처: Shahram H. Vaziri, "Investigation of Environmental Impacts on Piezoelectric Weigh-In-Motion Sensing System", University of Waterloo, 2011

(라) 남아프리카 공화국

- 2006년부터 남아프리카공화국의 SANRAL(South African National Roads Agency Ltd)에서는 WIM에 대한 표준규격 및 교통자료의 수집 등에 기초로 활용하기 위해 유럽 WIM의 규격인 COST 323를 적용해 오고 있다. SANRAL에서는 비용 절감 등의 요인을 고려하여 WIM 시스템의 정확도 검증시험에 3축 트럭을 사용해 왔는데, 이를 통해 4종류의 정확도 테스트(단축, 축그룹, 축그룹내 축하중, 총중량)를 수행하고 있다. 그러나 이 같은 3축 차량을 이용한 정확도 검증은 하중의 전이로 인해 측정 및 교정에 부적절함이 나타난다.
- 빠른 속도로 주행하는 3축 차량은 후미가 들리는 현상이 발생하기도 하고, 두 번째 축이 세 번째 축보다 도로면에 강하게 하중이 작용하는 경향이 있는데 이때는 조향축이 들리기도 하는 등의 다양한 현상이 WIM 사이트에서 관찰된다. 따라서 이 같은 현상에 대응하여 최근에는 하중의 전이가 3축 트럭보다는 민감하지 않은 TT 방법(Truck-tractor method)을 일반적으로 사용하는 것을 권고하고 있다.
- TT 방법에서는 WIM 교정인자를 계산하기 위해 수집된 WIM 자료에 축적된 축 하중 자료를 사용하는데, 이는 WIM 데이터를 교정하고 WIM 실무자의 관심과 수요에 대해 인지할 뿐만 아니라 전체 데이터의 품질 검사에도 협업하는 것을 주요 목적으로 하고 있다. TT 방법은 남아프카 공화국의 WIM 시스템에 일상적으로 광범위하게 적용할 수 있는 정확하면서도 적당히 간편한 사용법으로 간주되고 있다.
- TT 방법은 [그림 3-2-8]에 설명되어 있듯이 트럭 트랙터에 하나의 조향축에 두 개의 구동축이 트럭과 연결된 총 여섯 축 또는 일곱 개의 축으로 구성된 관절 트럭을 사용하며, 이를 적격 트럭이라 명명한다.
- 적격트럭을 대상으로 한 트랙-트랙터의 월평균 하중은 모든 축을 대상으로 6.5톤에서 8.5톤의 범위였으며, 교정을 대상으로 한 트랙터의 전체 하중은 약 21.8톤으로 나타났다. 한편 앞 차축이나 트랙터의 차축 하중의 편차는 0.8에서 1.2% 이내로 제한적이며, 특히 이 같은 적격 트럭은 시스템의 계통오차의 교정계수를 결정하는데 사용한다.



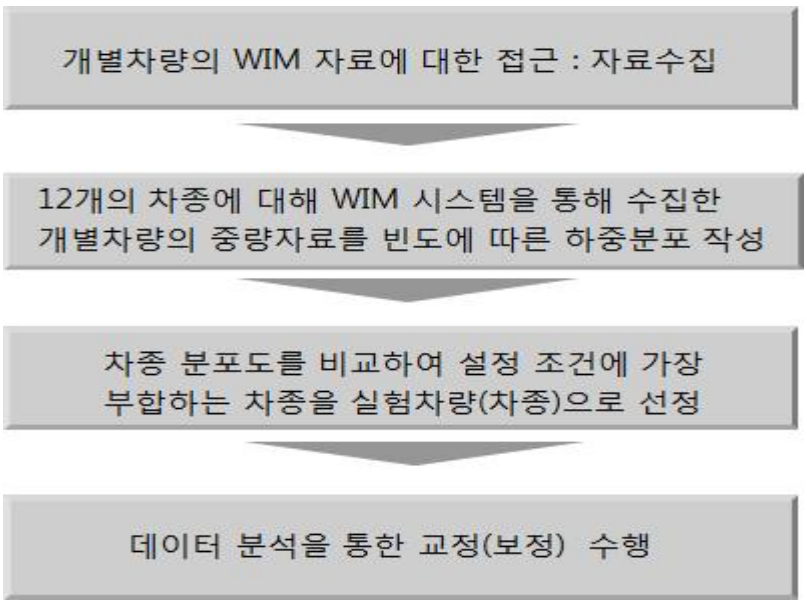
- Heavy vehicle with six or seven axles in total
- Axle spacing of 2,9-3,9 m between 1st and 2nd axle
- Axle spacing of 1,2-1,6 m between 2nd and 3rd axle
- Axle spacing of 4,5-9,0 m between 3rd and 4th axle
- The average axle load for Eligible Trucks typically ranges between 2.0 and 8.5 ton

[그림 3-2-8] TT 방법을 위한 적격 트럭

(3) 국내 접근 사례

(가) 대표 차종을 이용한 WIM 장비 교정방법[1)]

❍ 이 방법은 후처리 교정 방법으로써 WIM 센서를 설치한 이후 일정기간 동안 WIM 자료를 수집하여 특정 차종에 대한 중량분포의 특성을 분석하여 교정에 적용하는 방법인데, 앞에서 언급한 남아프리카공화국에서 '적격트럭'의 자료를 활용하여 WIM 센서 교정에 적용한 Truck-tractor method와 유사한 접근 개념을 지닌다.



[그림 3-2-9] 대표 차종을 이용한 WIM 장비의 교정방법

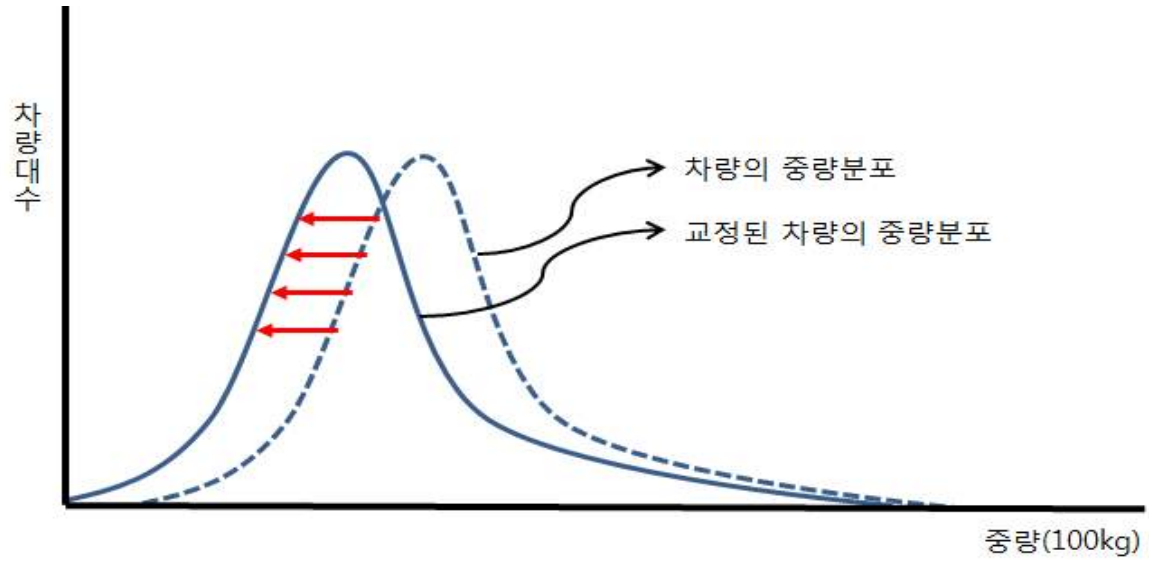
❍ [그림 3-2-9]에서 언급되었듯이 데이터 분석을 통한 교정이란 일정기간 동안의 WIM 자료를 수집하여 특정차종에 대한 중량분포를 검토한 후 비논리적인 분포가 발생하는 경우 WIM 시스템을 통해 이를 교정하는 거시적 개념의 교정방법이다.

❍ 예를 들어, 특정차량의총중량 분포를 분석한 이후 최빈치의 값이 일정범위를 벗어난 경우에는 교정을 실시하며, 그 과정은 다음과 같다.

- 최빈치 값이 기준 최빈치 값의 범위 내에 잇는 경우, 교정하지 않음
- 최빈치 값이 기준 최빈치 값의 범위 이외에 있는 경우에는 최빈치 값이 기준 최빈치의 중앙값에 오도록 조정한다.

$$\text{정계수} = \frac{\text{기준최빈치범위의중앙값}}{\text{최빈치}}$$

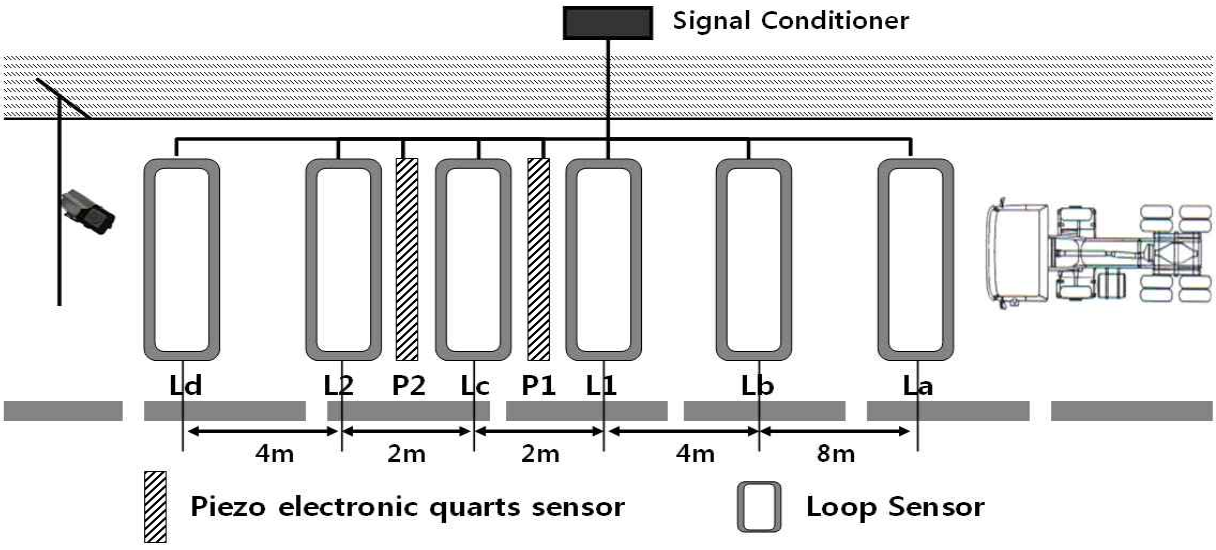
1) 김범진 외 2인, Weigh-In-Motion 장비 보정을 위한 대표차종 선정에 관한 연구, 한국도로학회, 2005



[그림 3-2-10] 대표차종 교정계수에 의한 교정의 예

(나) WIM 센서의 배치방법을 이용한 중량측정의 보정(교정) 방법

- 박제우 등은 비정상 주행패턴 분석을 통한 WIM 시스템 개선 연구에서는 운전자의 인위적인 주행조작 즉, 차량의 비정상적인 주행에서 발생할 수 있는 중량측정의 오차를 개선된 WIM 시스템의 구조를 이용하여 교정 계수를 구하고 적용하여 측정을 보정하는 방안을 제시하였다.
- 앞 절에서도 일부 언급하였듯이 온도와 습도 및 풍향 등의 주변 환경에 의해 센서의 측정오차가 발생 할 수 있으며 타이어 압력 및 차량 서스펜스와 같은 차량 상태에 따른 오차도 발생 할 수 있다. 특히 운전자가 과적단속을 회피하기 위해 WIM 센서가 설치된 지점에서 가·감속 등의 조작을 행하는 경우에는 중량측정의 오차 범위가 더욱 확대된다.



[그림 3-2-11] 비정상 주행패턴을 감지하기 위한 센서의 배치 방법

❍ [그림 3-2-11]은 기존의 WIM 시스템에 루프센서를 추가로 설치한 모습이며, 차량이 이 구간을 통과할 때 루프센서 간의 구간에서 측정된 신호의 상승 에지(Rising Edge)와 하강 에지(Falling Edge)를 이용하여 속도의 가·감속 등 변화를 분석하여 중량측정의 오차를 줄이기 위한 교정(보정)인자로 사용하였다.

[표 3.2.3] 주행패턴 분류와 오차의 원인

주행패턴 분류와 축하중 측정오차의 원인		
구분	**주행행태**	**측정 오차 원인**
1	운행	정상
2	조향축이 검지 센서 앞에서 급 가속	축 무게 분배율이 텐뎀축에 편중
3	조향축이 검지 센서 앞에서 급 감속	축 무게 분배율이 조향축에 편중
4	텐뎀축이 검지 센서 앞에서 급 가속	텐뎀축 무게의 증가
5	텐뎀축이 검지 센서 앞에서 급 감속	텐뎀축 무게의 감소
6	조향축이 검지 센서 앞에서 급 가속 텐뎀축이 검지 센서 앞에서 급 감속	조향축 및 텐뎀축 하중의 감소

❍ 이 연구에서는 속도 측정 구간별 반발계수와 [표 3.2.3]과 같은 비정상 주행패턴별 조정상수를 고려하여 교정계수(Q)를 구하였는데 그 내용은 다음과 같다.

• 조향축 무게의 평균값(FA)과 텐뎀축 무게의 평균값(TA):

$$FA = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} FWL, \quad TA = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} TWL$$

• 중량 교정계수 Q와 구간별 반발계수 e_j 및 조정상수 :

$$e_{(n)} = \frac{V_{(n)}}{V_{(n-1)}}, \quad Q = c_i \times e_j \times \frac{FA}{TA}$$

• 상기의 식들을 통해 만약 $e_{(n)} = 1$이면 등속을 나타내고 가변속도가 0 이므로 축무게의 비율변화가 없기 때문에 측정된 값들을 위치에 따른 영향선에 따라 속도에 교정하여 계산한다. $e_{(n)}$ 1이면 가속이고 가변속도가 0보다 크며 조향축은 $A \times Q$이 되고 템뎀축은 $TA \times \frac{1}{Q}$이 된다. 가변속도가 0보다 작으면 감속인데 이때 조향축은 $FA \times \frac{1}{Q}$이 되고 템뎀축은 $TA \times Q$가 된다.

(다) KICT(한국건설기술연구원)의 적용 방법

❍ 한국건설기술연구원에서는 건설교통부에서 설치한 고속 WIM 시스템의 효율적인 운영관리를 위해 2001년에 WIM 장비 설치 및 관리 요령 등에 관한 연구를 비롯해 다양한 관련 연구를 수행하고 있다. WIM 시스템의 측정오차 개선을 위해 기존 유럽의 COST 323과 미국 ASTM의 방법이나 적용기준을 참조하여 유사하면서도 대체적으로 국내 실정에 적합한 방법을 제시한 바 있다. [표 2.4]는 WIM 시스템의 교정 및 정확도 개선을 을 위해 KICT에서 제시한 테스트 조건을 COST 323 및 ASTM과 비교하여 설명한 내용이다.

❍ 당시 한국건설기술연구원에서는 6종과 10종을 기준차량으로 설정한 바가 있는데 우리나라 교통 특성에 적합하지 않은 차종특성이었으며, 일반적으로 살펴보면 우리나라의 경우는 4축 차량을 보정 및 교정특성에 적용하는 것이 효율적이라는 의견이 높다. 이는 대체적으로 4축 차량의 하중분포가 가정 안정적이기 때문인데, 보다 이상적인 테스트 조건을 만족하기 위해서는 다양한 조건의 테스트를 수행하는 것이 필요하며 바람직하다.

[표 3.2.4] 각 적용 기준의 교정조건 비교

구분	ASTM	COST 323	KICT 2001
교정방식	샘플차량 이용법	샘플차량 이용법 자기교정방법	샘플차량 이용법
샘플차량	5축 트럭 2대	2축밴 2,3,4축 트럭 대형 세미트레일러	5축 2단위 3축 1단위
하중변화	없음	최대, 반적하	없음
주행속도	구간대표속도	3가지 이상 (80,100,120%)	구간대표속도
최소주행 횟수	예비 3회 본 조사 20회 TYPE I, II는 50회	차량당 최소 10회 이상	차량당 최소 10회 이상
허용기준 (오차율)	단축하중 ±30% 축그룹 ±20% 총중량 ±15% 축거 ±0.5ft	대상구간 및 테스트 조건, 샘플 수에 의함 정확도 수준으로 출력	총 중량 기준 ±10%

※출처: WIM 시스템의 소개와 국내적용기준의 개선방향, 2008.

다. WIM 센서 정확도에 영향을 미치는 요인 분석

- WIM 센서 시스템에 대한 환경의 일반적인 영향에 대해서는 잘 알려져 있지만 잘 특징되어 있지는 않다. 실험실 실험에서는 다수의 센서가 허용 가능한 결과를 보여준다. 그러나 현장에 설치된 센서는 거의 동일한 정밀도를 표시하지는 않는다. 따라서 WIM 센서를 설치하는 환경이 센서의 성능 및 정확도에 상당한 영향을 미친다. 예를 들어 세라믹 압전센서의 경우 미국, 캐나다, 호주, 카타르 등 설치한 나라마다 다른 성능을 나타내는데, 이는 센서를 설치한 장소의 기후, 온도 및 습도 등이 모두 다르게 센서에 작용하기 때문이다.(Koniditsiotis 2000)
- 도로 현장에 설치된 WIM 시스템은 교체 및 수리가 용이하지 않고, 중량측정 시 기후환경 및 교통조건에 다양하게 영향을 받기 때문에 정적하중을 측정하는 축중기와 비교할 때 상대적으로 높은 결함을 지니고 있다. 따라서 센서설치, 센서가 설치된 사이트 앞뒤의 포장, 연결선 등 WIM 시스템의 장기적인 안정성과 기능성이 검문소에 설치된 고정식 축중기 보다 설계단계에서 더 신중히 고려되어야만 허용 가능한 수준의 신뢰성을 확보할 수 있다.(Scheuter 1998)
- 모든 센서나 축중기는 센서에 직접 전달되는 하중 부분에 대해서만 반응한다. 차량의 정적하중이란 측정하고자 하는 중량이 레벨 사이트, 적정한 차량 서스펜션, 마찰 및 브레이킹이 없는 지점 등 완벽한 조건 하에서 측정하는 것으로 정의하고 있다. 따라서 차량의 중량을 측정함에 있어서 WIM 센서의 측정오차라 함은 동일한 차량에 대해 센서의 추정값(동적하중)과 실제 정적하중값의 차이를 실제 정적하중값으로 나눈 것이며, 다음과 같이 표현한다.

$$IM \quad \text{서의측정오차} \quad \frac{W_d - W_s}{W}$$

여기서, W_d; 동적하중
W_s; 정적하중

- Weigh Bridge와 같이 정적하중을 측정하는 계중기와 비교했을 때 달리는 차량의 중량을 측정하는 고속 WIM 시스템에서 발생할 수 있는 에러는 시스템 자체에 의한 오차, 센서가 설치된 환경에 의한 오차 그리고 운전자의 의도적인 조작에 의한 오차로 구분할 수 있다.

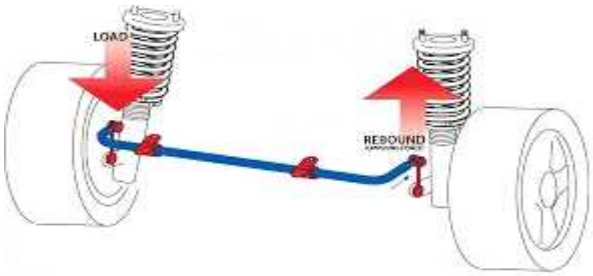
(1) 센서 자체의 내부 요인에 의한 부정확도

- WIM 센서에 실제 작용한 하중(총 하중 중에서 센서에 직접 작용한 부문)과 이 하중에 반응하여 센서가 표시한 하중값의 차이는 기기의 고유 오차로서 정의된다(Scheuter 1998). 이 같은 측정오차는 온도나 전자 감도, 부적절한 센서의 설치, 주변영향, 편심하중 등에 의해 발생한다.

(2) 외부 요인에 의한 부정확도

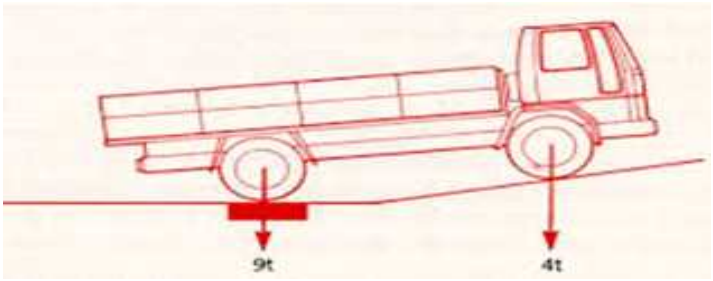
❍ 차량의 정적하중과 총 하중 중에서 센서에 작용하는 동적하중 간의 차이는 다른 주요한 오차 근원에 의거하여 발생한다. 설치 환경에 따라 센서 출력에 영향을 미치는 다양한 외부 요인이 발생하며 그 주요 내용은 다음과 같다.

- 차량의 기울어짐 및 하중의 전이: 축중 시 차량이 기울어지면 차량의 각 축에서 하중을 감지하는 비중이 변경된다. 수평하지 못하게 설치하지 못한 센서 또한 부적적한 설치에 의해 오차가 발생한다.



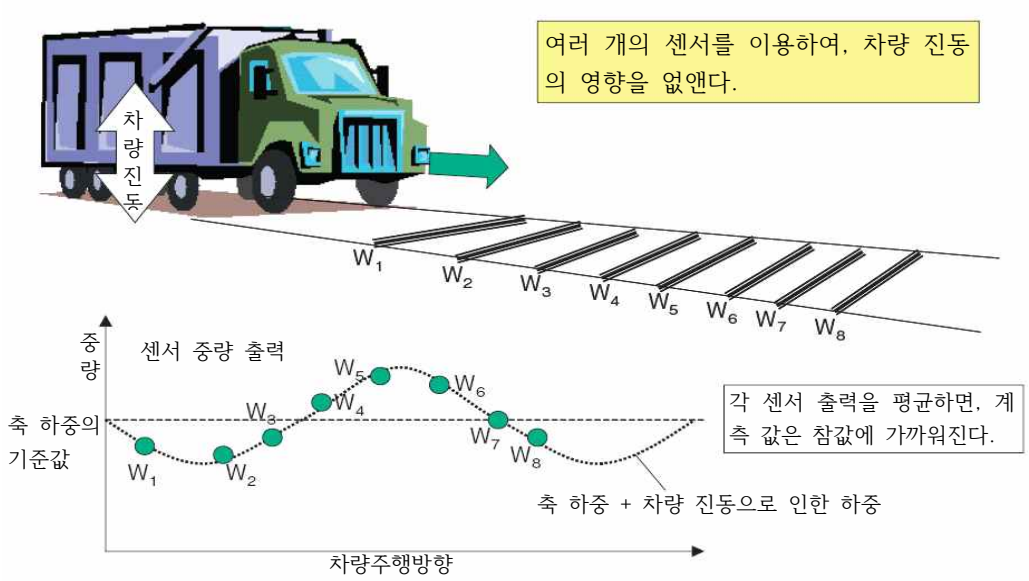
[그림 3-2-12] 비 수평 및 차량의 기울어짐에 의한 하중 전이

- 차량이 주행할 때는 공기저항과 비동력축(non-driven axle)의 저항에 의해 축 간의 하중 전이가 발생된다. 유사한 경우로 차량이 브레이크를 작동시키거나 가속을 하는 경우 또는 경사구간을 오르내릴 때 하중 전이가 발생한다.



[그림 3-2-13] 경사구간 주행 시 축하중의 전이 현상

- 차량의 진동 : WIM 시스템의 측정오차 중에서 가장 가능성이 높은 요인이다. 도로의 조건과 차량 서스펜션의 적정성에 따라 측정오차가 발생할 수 있으므로 포장의 IRI를 WIM 설치 이전에 측정하여 최적의 설치 장소를 선정함과 더불어 설치 이후의 유지관리에도 유의해야한다. 움직이는 차량은 타이어와 서스펜션에 반동이 오게 되며, 이 반동은 도로의 종단평탄성과 차량의 속도, 서스펜션의 유형에 의존하게 되는데, 만약 상태가 양호한 포장에서 65km/h의 속도로 주행하였을 때 일반적으로 10-20%의 표준편차가 발생한다.(COST 323)



[그림 3-2-14] 차량 축 진동에 따른 중량 측정의 영향

- 타이어의 트레드 : 타이어의 트레드 역시 센서 시스템에 영향을 준다. 특히 겨울용 타이어와 같이 크로스 홈을 갖은 타이어는 센서에 영향을 끼친다.



[그림 3-2-15] Cross grooves Tire 모습

- 후륜(bogie axle)높이의 차이 : 과속방지턱, 교량의 틈, 평탄하지 못한 도로, 경사의 변화 때 영향을 받아 측정오차가 발생한다.
- 주행속도 및 온도의 영향 : 피에조 세라믹 등과 같은 WIM 센서의 경우는 압전센서의 특성상 출력신호가 전하로 발생하기 때문에 Noise 발생이 쉽고, 높은 증폭도가 필요한 Charge Amp를 사용하므로 고수준의 정확도를 기대할 수 없으며, [표 3.2.5]에 나타나 있듯이 차량 주행속도 및 도로의 온도 변화에 따라 중량 측정의 오차가 발생한다.

[표 3.2.5] 차량 주행속도 및 도로의 온도 변화에 따라 중량 측정의 오차

속도	수정(Quartz)		필름(PVDF)		세라믹(Ceramic)	
	총중량(kg)	오차율	총중량(kg)	오차율	총중량(kg)	오차율
30Km/h	1936	-30.3%	2120	-23.7%	2506	-9.9%
50Km/h	2514	-9.6%	2281	-17.9%	3110	11.9%
70Km/h	2488	-10.5%	2314	-16.8%	3367	21.1%

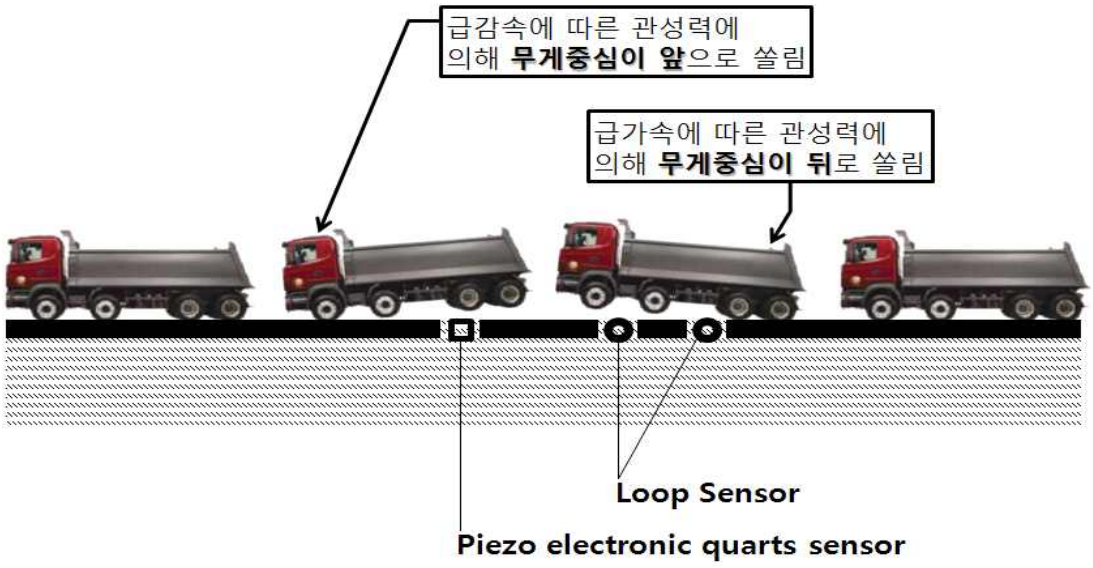
평균온도	수정(Quartz)		필름(PVDF)		세라믹(Ceramic)	
	총중량(kg)	오차율	총중량(kg)	오차율	총중량(kg)	오차율
10.2℃	2644	-4.9%	2077	-25.3%	1157	-58.4%
22.2℃	2604	-6.3%	2767	-0.5%	2059	25.9%
34.4℃	2631	-5.4%	3239	16.5%	2948	6.1%

※ 출처 : Xiaohua Jiang et al., Improvements in Piezoelectric Sensors and WIM Data Collection Technology, Annual Conference of the Transportation Association of Canada 2009

(3) 운전자의 인위적인 조작에 의한 오차

❍ 의도적인 가·감속 주행

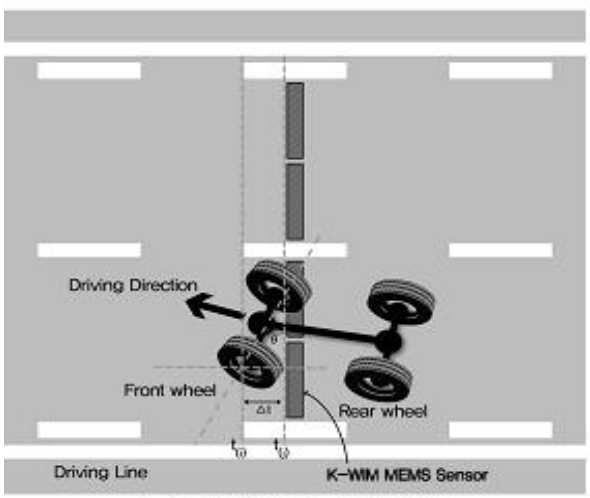
- [그림 3-2-16]은 운전자가 단속을 회피할 목적으로 WIM 센서가 설치된 지점에서 급가속 또는 감속하는 행태를 예시한 그림이다. 앞의 제2장 후반부에서 설명하였듯이 일반적으로 센서 위를 통과하는 차량의 중량은 등속을 기준으로 측정하며 차량의 속도가 일정한 상태에서 측정이 이루어진다. 그러나 [그림 3-2-16]과 같은 형태의 운전자의 인위적인 주행조작은 오차범위를 더욱 확대시킨다.



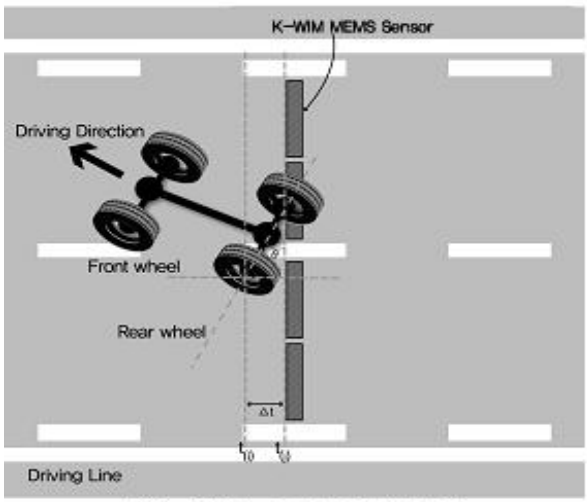
[그림 3-2-16] 차량 급 감속에 따른 축하중의 전이 현상

❍ 차선변경, 차로걸침 등의 비정상 주행

- 통상적으로 WIM 센서 위를 통과하는 차량의 중량(축하중)은 등속을 기준으로 측정할 뿐만 아니라 직선주행을 기준으로 하여 측정한다. 즉 차량의 진행방향이 일정한 상태에서 중량을 측정하는 것이 오차를 줄이는 방법이다. 그러나 중량측정을 피하기 위해 과적차량 운전자가 인위적으로 차선을 겹쳐서 주행하거나 차선을 변경할 경우에는 오차발생의 정도가 커진다.
- [그림 3-2-17]은 차량이 차선을 변경할 때 주행조작에 따른 휠의 각도에 따라 시간차가 발생한다. 이때 각 휠에서 검출된 트리거 타이밍을 분석하여 차량의 주행방향 및 주행각도를 산출하고 측정오차를 줄이기 위한 오차교정계수를 제시한 방법이다. 주행속도와 주행각도는 좌우측 휠의 무게 편중현상으로 나타나는데, 속도가 빠르고 주행각도가 클수록 무게의 편중현상은 커진다. 만약에 차량이 중앙선 또는 갓길로 침범하여 차로걸침의 행태로 주행하는 경우는 한쪽 휠만 감지되므로 이때는 교정(보정)된 한쪽 휠의 무게를 다른 쪽에도 적용하여 사용한다.



(a) 조향축의 주행각도



(b) 텐뎀 축의 주행각도

1) Δt 동안의 이동거리의 차이 D

주행변경 각도 $\tan(\Theta)$

$D = \Delta t \times V$, $\tan(\Theta) = \frac{D}{L}$

2) 편중상수 : C

좌측 휠에 편중된 무게 값에 대한 교정계수: QL

우측 휠에 편중된 무게 값에 대한 교정계수: QR

t(i) > t(j) 이면,	t(i) < t(j) 이면,
$QR = Q \times (1 - \tan(\Theta)) \times C$,	$QR = Q \times (1 + \tan(\Theta)) \times C$,
$QL = Q \times (1 + \tan(\Theta)) \times C$	$QL = Q \times (1 - \tan(\Theta)) \times C$

[그림 3-2-17] 주행방향 변경에 따른 중량측정의 오차교정 방안

※ 출처 : 박제우 외 3인, 트리거 타이밍 차이를 이용한 WIM 시스템 측정기법 연구, 인터넷 정보학회, 2010.

라. WIM 센서 교정을 위한 오차제거 방안

(1) WIM 측정오차의 정의

❍ 오차(에러)의 제거는 일정한 가정에 기초한다. 즉, 조정된 축 하중값은 정적하중값에 동적인 변화를 포함하여 랜덤 에러라 간주되는 모든 변화 값을 합한 값으로 가정한다.

$$= Ws_i + e_i \qquad \text{식 (3-2-1)}$$

기서, $Wa_i = i$ 축의 조정된 하중값
$Ws_i = i$ 축의 정적 하중값
$e_i = i$ 축 하중값의 랜덤 측정에러

❍ 한편 조정하중값 는 현장에서 측정되는 하중값에 조정계수 k값을 곱해서 얻을 수 있다.

$$Wa_i = Wr_i * k \qquad \text{식 (3-2-2)}$$

여기서, $Wr_i = i$ 축의 측정 하중(동적하중)값
$k =$ 조정계수

❍ 상기 식 (1)과 (2)를 이용하여 다음과 같은 결과를 도출한다.

$$Wr_i * k = Ws_i + e_i \qquad \text{식 (3-2-3)}$$

$$e_i = k * Wr_i - Ws_i \qquad \text{식 (3-2-4)}$$

위의 식을 통해 알 수 있듯이 오차(에러)는 조정된 축 하중값과 이에 대응하는 정적 축 하중값 간의 차이를 나타낸다.

(2) 시스템 오차(System Error)의 제거 방안

❍ 일반적으로 평균 에러, 다시 말해 에러의 합은 아래 식 (5)와 같이 제로가 될 것을 요구 받는다.

$$e_i = 0 \qquad \text{식 (3-2-5)}$$

이때,

$$= \sum(k^* \quad r_i - Ws_i)$$
$$= k^* \sum Wr_i - \sum Ws_i = 0$$

따라서

$k = \sum Ws_i / \sum Wr_i$ 는 식 (3-2-6)

$k = E[Ws_i] / E[Wr_i]$ 식 (3-2-7)

여기서, $E[Ws_i]$: 정적 축하중의 평균, $\sum Ws_i / N$
$E[Wr_i]$: 측정 축하중의 평균, $\sum Wr_i / N$
N : 주어진 시간 동안의 지정된 장소에서 측정된 축하중의 모수

❍ 실제 교정과정 중에는 위에서 언급한 모수인 N개의 축하중 개수 보다는 상대적으로 적은 n개의 트럭 축하중 표본이 취해진다. 각 축에 대해 동적하중 측정값 와 이에 대응하는 정적하중값 Ws_i 가 측정된다. 매우 정확하게 하기 위해서는 조정계수 k는 식 (3-2-7)로부터 계산해야 하나, 모수의 $E[Ws_i]$와 $E[Wr_i]$는 알 수가 없기 때문에 k값은 표본의 평균을 이용하여 식 (3-2-8)에서 구한다.

$k = Avg[Ws_i] / Avg[Wr_i]$ 식 (3-2-8)

여기서, n : 교정 샘플의 크기
$Avg[Ws_i]$: 정적하중의 표본평균
$Avg[Wr_i]$: 측정 축하중(동적하중)의 표본평균

❍ 샘플링에 오차가 생김에 따라 평균 $Avg[Ws_i]$와 $Avg[Wr_i]$는 모수의 평균 $E[Ws_i]$와 $E[Wr_i]$에는 어느 정도의 차이를 나타낸다. 사실 평균 $Avg[Ws_i]$와 $Avg[Wr_i]$는 확률변수를 나타내며, 중심극한정리에 따라 평균 $E[Ws_i]$와 $E[Wr_i]$에 대해 정규분포화하는 특성을 갖게 되고 표준오차 $SEM[Ws_i]$와 $SEM[Wr_i]$는 다음과 같이 표현한다.

$SEM[Ws_i] = SD[Ws_i] / \quad n$ 식 (3-2-9)

$SEM[Wr_i] = SD[Wr_i] / \sqrt{n}$ 식(3-2-10)

❍ 조정계수 k는 확률변수이기 때문에 어떤 평균과 분산값을 갖게 되며, 여기서는 k의 평균과 분산을 얻기 위해 점추정 방식(Point Estimate Method)을 사용하였다. k의 평균과 분산을 얻기 위해 다음과 같이 우선 두 개의 대체 값 $Y[low]$와 $Y[high]$를 구한다.

$$low] = Avg[Ws\ ] - SEM[Ws_i] \qquad \text{식 (3-2-11)}$$
$$Y[high] = Avg[Ws_i] + SEM[Ws_i]$$

❍ 이제 식 (3-2-8)을 이용하여 조정계수 값의 'low'와 'high'를 다음처럼 계산한다.

$$k[low] = Y[low] / Avg[Wr_i] \qquad \text{식 (3-2-12)}$$
$$k[high] = Y[high] / Avg[Wr_i]$$

❍ 점추정 방식(Point Estimate Method)에 따라 k의 평균 $E[k]$과 분산 $SE[k]$는 $k[low]$와 $k[high]$의 평균과 분산으로부터 구할 수 있다.

$$E[k] = \frac{k[low]+k[high]}{2} \qquad \text{식 (3-2-13)}$$

$$SE[k] = \frac{[k[low]^2+k[high]^2 - \frac{(k[low]+k[high])^2}{2}}{2} \qquad \text{식 (3-2-14)}$$

(3) 우연 오차(Random Error)의 제거

❍ 조정계수 k값을 알고 있으면 동적하중의 측정값 r 는 계산식 (3-2-2)에 따라 조정된 하중값 Wa_i로 쉽게 변환할 수 있다. 다음 작업은 조정된 하중값 Wa_i를 수정된 하중값 Wc_i로 전환하는 것이다.

❍ 계산식 (3-2-1)에 따라, 조정된 하중값 Wa_i는 정적하중 Ws_i에 우연오차인 e_i를 합한 $Wa_i = Ws_i + e_i$ 로 표현한다. 교정하는 동안을 제외하고는 실제 정적하중을 알 수가 없기 때문에 우리는 정적하중값 Ws_i를 수정된 하중값 Wc_i로 대체하여 사용한다. 따라서 계산식 (3-2-1)은 다음과 같이 표현된다.

$$Wa_i = Wc_i + e_i \qquad \text{식 (3-2-15)}$$

❍ 상기 식 (3-2-15)에서 Wa_i는 확률변수이며 두 확률변수의 합이다. 또한 이 확률변수의 평균은 두 변수의 평균의 합이고 분산은 두 변수의 분산의 합이다.

$$Wa\,] = E[Wc_i] + E[e_i] \qquad \text{식 (3-2-16)}$$

$$Var[Wa_i] = Var[Wc_i] + Var[e_i] \qquad \text{식 (3-2-17))}$$

평균에러 $e\,]$는 0 이어야 하므로 식 (3-2-16)은 다음과 같이 표현된다.

$$E[Wc_i] = E[Wa_i] \qquad \text{식 (3-2-18)}$$

상기 식 (3-2-18)으로부터 수정된 하중값의 평균($E[Wc_i]$)은 조정된 하중값의 평균($E[Wa_i]$)과 동일함을 알 수 있다.

❍ 식 (3-2-17)을 다음과 같이 다시 고쳐서 쓸 수 있는데,

$$Var[Wc_i] = Var[Wa_i] - Var[e_i] \qquad \text{식 (3-2-19)}$$

식 (3-2-18)과 (3-2-19)는 조정된 하중값을 수정하는 기초로 사용한다. 동적하중의 측정 평균값은 WIM 센서로부터 얻을 수 있고, 조정된 하중값은 측정 하중값에 k를 곱하면 되므로($Wa_i = k^* Wr_i$) 조정된 하중값의 평균은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$E[Wa_i] = k^* E[Wr_i] \qquad \text{식 (3-2-20)}$$

❍ 측정 하중값의 분산 $Var[Wr_i]$ 또한 WIM 측정 센서로부터 계산할 수 있으므로 조정된 하중값의 분산은 다음과 같이 정해진다.

$$Var[Wa_i] = k^2 * Var[Wr_i] \qquad \text{식 (3-2-21)}$$

랜덤 에러의 분산 $Var[e_i]$ 은 조정하중값과 정적하중값의 차이로부터 얻을 수 있으며, 교정 과정에서 제3의 상수로 적용된다.

❍ 상기의 식 (3-2-18) 및 (3-2-19)의 조건을 준수하기 위해 조정하중값을 수정하중값으로 변환하는 작업은 수정계수 f에 기초하여 선형변환에 의해 수행한다.

$$= E[Wa_i] + f^*(Wa_i - E[Wa_i])$$ 식 (3-2-22)

식 (3-2-22)와 같은 변환에 의해 수정하중값의 분포는 조정하중값의 분포로부터 진화한다. 수정된 하중값을 얻기 위해서는 조정된 하중값들을 평균 Wa] 에 가깝도록 '이동' 시킨다. 이때 이동하는 정도는 평균으로부터 떨어진 거리에 따라 달라진다. 즉 멀리 떨어져 있을수록 이동하는 거리가 크게 된다. 새로운 분포의 평균은 $E[Wc_i] = E[Wa_i]$ 가 되고, 이때 새로운 분포의 분산값 $Var[Wc_i]$ 는 $Var[Wa_i]$ 에서 $Var[e_i]$ 를 뺀 값이 된다. 따라서 새로운 분포는 평균을 중심으로 슬림화된다.

만약에 $Wc_i = f^* Wa_i$ 로 설정한다면, 수정계수 f는 다음 과정을 통해 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} Var[c_i] &= Var[Wa_i] - Var[e_i] \\ &= f^2\, Var[Wa_i] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f^2 * Var[Wa_i] &= Var[Wa_i] - Var[e_i] \\ f^2 &= 1 - Var[e_i]/Var[Wa_i] \\ f &= (1 - Var[e_i]/Var[Wa_i]) \end{aligned}$$

❍ 이제 Wc_i를 식 (3-2-20)과 식 (3-2-21)을 이용하여 식 (3-2-22)에 대입함으로써 측정하중값의 $E[Wr_i]$ 및 $Var[Wr_i]$ 형태로 표현이 가능하게 된다.

$$Wc_i = E[Wa_i] + f^*(Wa_i - E[Wa_i])$$ 식 (3-2-23)

$$\begin{aligned} Wc_i &= k^* E[Wr_i] + f^*(k^* Wr_i - k^* E[Wr_i]) \\ Wc_i &= k^* E[Wr_i] + (1 - \frac{Var[e_i]}{k^2 * Var[Wr_i]}) * k^* (Wr_i - E[r_i]) \\ Wc_i &= k^*(E[Wr_i] + (Wr_i - E[Wr_i]) * \sqrt{(1 - \frac{Var[e_i]}{k^2 * Var[r_i]})}\ ) \end{aligned}$$

❍ 식 (3-2-23)의 편리한 계산을 위해 분산 $Var[e_i]$ 와 $Var[Wr_i]$ 를 다음과 같이 표준편차로 변환하여 표현한다.

$SEA = \sqrt{Var[e_i]}$: 스템에러의 표준편차
$SD = \sqrt{Var[Wr_i]}$: 측정하중값의 표준편차

그리고 식 (3-2-23)는 아래 식 (3-2-24)과 같이 표현한다.

$$= k^*(E[r_i] + (Wr_i - E[Wr_i])^* \quad 1 - \frac{SEA^2}{(k^* SD)^2} \quad) \qquad \text{식 (3-2-24)}$$

상기 식 (3-2-24)의 우측의 모든 항은 현장에서 측정하는 축하중 측정 자료로부터 쉽게 구할 수 있는 값들이므로 수정된 하중값 Wc_i을 변형하는 도구로 사용한다.

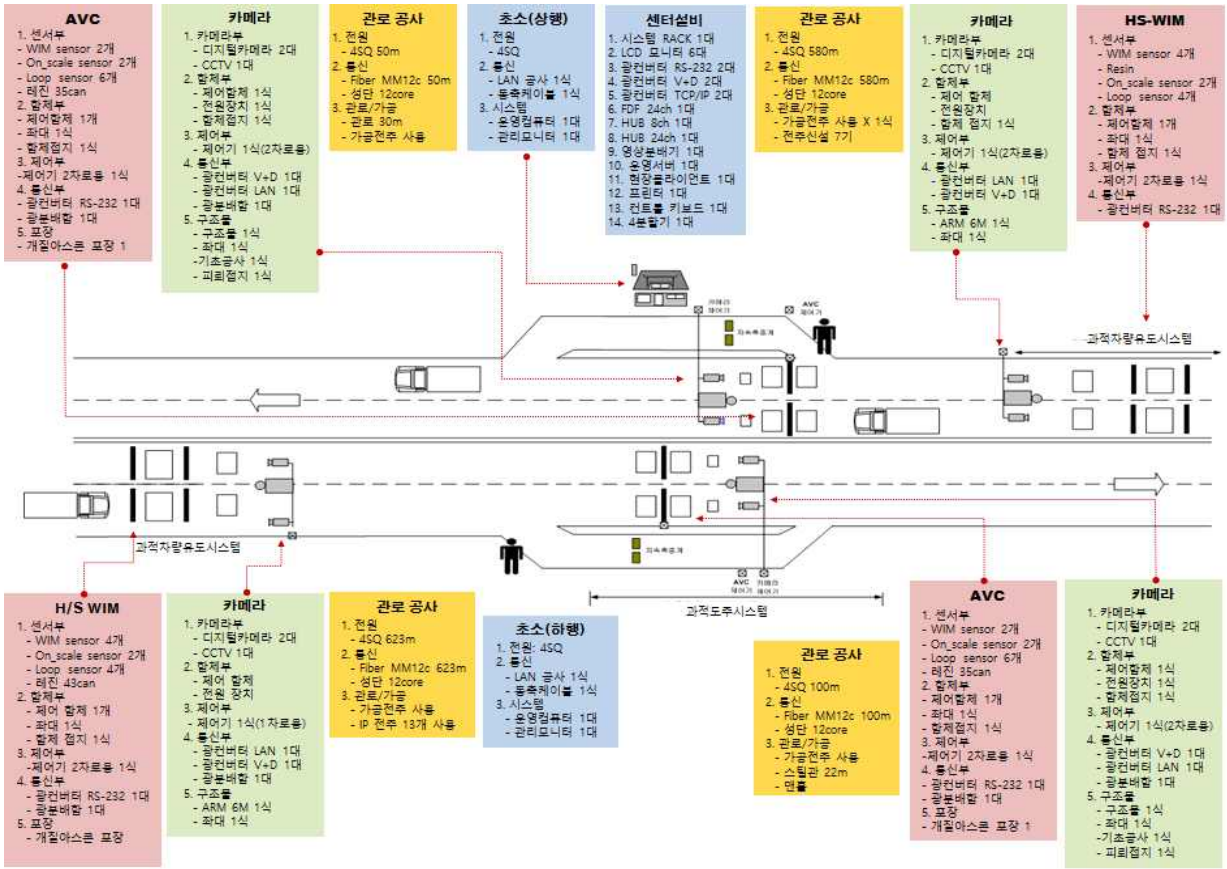
마. 특성차량에 의한 교정 과정 및 방법

- 「차량의 운행제한 규정」(2017.1.) 제2조(용어의 정의)제8호의 규정에 의해 "고정검문소란 계중기, 저속축중기 등을 측정차로에 설치하여 차량의 운행제한 위반을 상시 검사·단속할 수 있는 검문소"라 규정되어 있다. [그림 1]은 현재 일반국도에서 운영되고 있는 고정검문소의 구성 및 운영현황을 도시한 것으로 과적혐의차량을 선별하여 유도하는 시스템에는 고속축중기[2](HS-WIM)가 설치 운영되고 있다.
- 고속축중기의 검지부라 할 수 있는 센서는 프랑스 ECM사가 제조 공급하는 피에조세라믹 센서를 검문소 전방에 설치하여 Pre-Selection(Pre-Screen) 기능으로 운영하고 있으며, 스위스 Kistler사가 제조하는 Quartz센서의 경우 그 가격이 고가여서 일부 도로관리청에서 설치·운영하고 있다. 일반적으로 스위스의 Kistler사에서 제조하는 센서의 신뢰도가 가장 높은 것으로 인정되고 있으며, 그 이유는 온도에 대한 민감도가 낮고, 센서의 구조가 측방압 검지가 불가능한 구조로 이해되고 있다.

[3.2.6] 고정검문소 주요 기능

	내용	
유도	고정검문소 전방에 설치된 고속축중기에서 계측된 중량정보를 통해 과적 사실을 1차로 판정(예비판정)	
도주차량 단속	과적차량 유도시스템에서 과적으로 판정된 차량이 고정검문소의 계측차로로 진입하지 아니하고 주행차로로 통과하는 경우 단속	
	계측차로에 10km/h이내로 통과하는 차량의 축하중을 계측	

2) 차량의 운행제한 규정: "고속축중기(High-speed weigh-in-motion system)"란 고속으로 움직이는 차량의 축하중 또는 총중량을 측정할 수 있는 저울 또는 기계적 장치를 말한다.



[그림 3-2-18] 일반국도 과적차량 고정검문소 구성 및 개념

❍ 고정검문소에 설치된 “고속축중기는 축하중 10톤, 총중량 40톤 초과 차량을 인식하고, 이를 이용한 제한차량 감시장치는 해당 차량의 번호판을 촬영하여 영상 또는 음향신호로 검문소와 유도초소에 알릴 수 있어야 한다.” 고 「차량의 운행제한 규정」에 정의되어 있으며, 일반적으로 [표 3.2.7]과 같이 저속축중기가 정기검사를 받는 경우 검문소 전방에 설치된 고속축중기 시스템의 센서 점검 및 교정 등의 업무를 동시에 수행한다.

[표 3.2.7] 저속축중기의 정기검사 및 교정 내용

규 정	내 용
「차량의 운행제한 규정」 제14조 제8항	(이동식축중기, 저속축중기)는 「국가표준기본법」에 따른 국가교정업무 전담기관(이하 교정기관이라 한다)로부터 정기검사(교정)를 받아야 하며, 그 결과에 따라 다음 각 호와 같이 조치한다. 1. 이동식축중기는 ———————— 생략———————— 2. 저속축중기는 정기검사(교정)의 결과에 따라 다음 각 목과 같이 조치할 것 가. 사용오차 이내인 사실이 확인된 저속축중기는 교정 관련 검사 결과서를 발급받아 검문소에 비치할 것 나. 사용오차를 초과하는 사실이 확인된 저속축중기는 제조업자 · 수리업자를 통해 수리 또는 오차 보정을 받은 후 교정기관으로부터 교정 관련 검사 결과서를 재발급 받을 것

[표 3.2.7] 저속축중기의 정기검사 및 교정 내용(계속)

규 정	내 용
「차량의 운행제한 규정」 제14조 제9항	단속장비(이동식축중기, 저속축중기)는 제8항에 따른 정기검사(교정)와는 별도로 다음 각 호에 따라 정기검사를 하여야 한다. 1. 이동식축중기는 ---------- 생략---------- 2. 저속축중기는 매월 1회 이상 해당 장비의 작동 여부 및 신뢰성 확보를 위한 정확성 유지 여부 등을 확인하기 위해 다음 각 목에 따라 조치할 것 가. 제조업자, 수리업자, 교정기관 중 어느 하나로부터 고장 또는 사용오차 초과 여부를 확인하기 위한 점검(정기점검)을 받고, 저속축중기의 고장 또는 사용오차 초과 사실이 확인되는 경우에는 그 즉시 제8항제2호 나목에 따라 조치할 것 나. 가목에 따른 정기점검과는 별도로 이동식축중기와의 상호 비교 점검을 자체적으로 실시하고, 저속축중기의 고장 등이 의심되는 경우에는 그 즉시 가목에 따라 조치할 것

(1) 특성차량을 이용한 교정의 목적 및 방법

❍ 앞 절의 센서의 교정방법에서 언급했듯이 자동교정방법은 WIM이 설치된 도로의 교통조건과 교통류에서 선택된 “참조 차량”에 대한 선험적인 지식을 바탕으로 WIM 시스템을 영구적으로 자동교정하거나 축중센서, 포장, 온도변화와 같은 외부영향의 편향이나 추세 등을 수정하는 방법이다.

❍ 다음에 설명하고 있는 교정의 방법이나 절차 등은 현장에 설치된 고속축중기와 같은 동적하중 측정시스템을 교정하거나 운영을 조절하는 방법을 제시한 것이며, 일반적으로 다음과 같은 두 가지 교정방법이 가능하다.

- 사전에 하중이 측정된 차량을 이용한 교정
- 교통의 통계적 특성 연구결과를 통해 특성이 파악된 한 개 이상의 차종에서 선택한 차량을 이용한 자동교정 방안

❍ 이 같은 자동교정방법은 운영적인 측면이 강하기 때문에 다음에 언급한 요소들이 반드시 고려되어야만 한다.

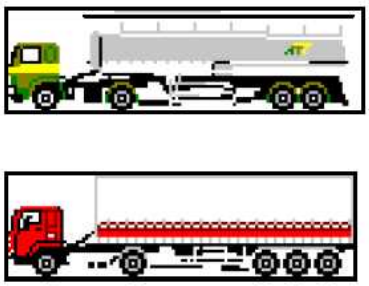
- 통과 교통 중에 반드시 1개 이상의 특성적인 차종의 차량이 존재할 것
- 차로당 특성적인 차량의 수가 충분할 것 : 100대/일 이상

(2) 특성차량에 대한 정의

❍ 첫 번째 축하중의 통계적인 분포가 주어진 평균값과 가장 낮은 표준편차를 갖고, 총중량 역시 주어진 평균값과 가장 낮은 표준편차를 갖는 동일한 종류의 차량의 집합을 “특성차량”이란 차종으로 정의한다.

(가) 프랑스의 특성차량

❍ 프랑스에서는 세미 트레일러인 T2R2 및 T2R3가 특성차량이다. 이 특성차량들의 총중량은 일반적으로 30톤 이상으로 앞 축의 하중은 약 6톤 그리고 총 중량은 대략 38톤 정도이다. 이 같은 값은 일반적인 경우의 사례를 언급한 것이며, 사용하는 각각의 WIM 시스템에 따라 조정하여야 한다.



- 7 -

- 10 -

[그림 3-2-19] 프랑스의 특성차량 T2R2 및 T2R3

(나) 미국의 특성차량

❍ 미국의 특성차량은 [그림 3-2-20]에 설명한 세미 트레일러인 T3R2이다. 이 차량의 총중량은 6만 파운드 이상인데, 앞 축의 하중은 약 10,600 파운드이며 총중량은 약 84,000파운드이다. 역시 이 값들은 일반적인 경우를 언급한 것이며 각각의 WIM 시스템에 따라 조정하여야 한다.



- 9/37 -
- 9/38 -

[그림 3-2-20] 미국의 특성차량 T3R2

(다) 국내의 특성차량

❍ 국내의 경우 고속축중기 시스템의 교정을 위해서 특성 있는 차량을 찾기 위한 별도의 연구나 방법 등이 설정되어 있지는 않다. 일반적으로 저속축중기의 점검을 위해 일반국도의 도로관리청에서는 도로 중앙선에서의 유턴 등이 용이한 이점을 고려해 [그림 3-2-21]에 예시된 3축 1단위의 덤프트럭 또는 4축 1단위의 덤프트럭을 교정 및 점검용 차량으로 사용하고 있다.

	
5종 차량 (3축 1단위 화물수송용 트럭)	6종 차량 (4축 1단위 화물수송용 트럭형식)

[그림 3-2-21] 국내 일반국도 상에서 축중기 점검 및 교정에 사용되는 차량 예시

(라) 특성차량을 결정하는 방법

❍ 해당 국가의 주어진 차종 중에서 하나 또는 여러 개의 “특성 있는” 차량을 구하기 위해서는 우선 차량 하중의 통계값을 알아야만 한다. 특성차량의 첫 번째 축하중 및 총중량의 분포는 가장 낮은 표준편차를 나타내는데, 이 같은 특성차량을 찾기 위한 사전 연구가 수행되지 않은 나라에서는 다음에 언급한 두 가지 방법을 사용할 수 있다.

① 기존의 중량(하중) 통계 이용 ; 각 차종에 대한 통계적인 연구를 통해 어떤 종류의 중차량이 특성차량이 될지를 결정함

② WIM 시스템의 이용

- 교통이 적은 이른 오전 시간에 사전에 중량이 측정된 차량을 이용하여 WIM 시스템을 보정함
- 하루 동안 모든 차량의 데이터를 WIM 시스템에 등록 저장함
- 사전에 중량이 측정된 차량제어를 통해 주기적으로 2시간 마다 WIM 시스템의 보정상태를 확인함
- 작업 종료 시 WIM 시스템에 저장된 모든 차량의 데이터를 수거함
- WIM 시스템에 저장된 모든 차량에 대한 통계적이고 세부적인 연구 수행

❍ 이와 같은 방법은 도로 또는 센서에서 발생할 수 있는 예기치 못한 변화를 피하기 위해 가능한 한 일정한 온도 조건에서 수행하는 것이 바람직하다.

(3) 사전에 중량이 측정된 차량을 이용한 교정방법

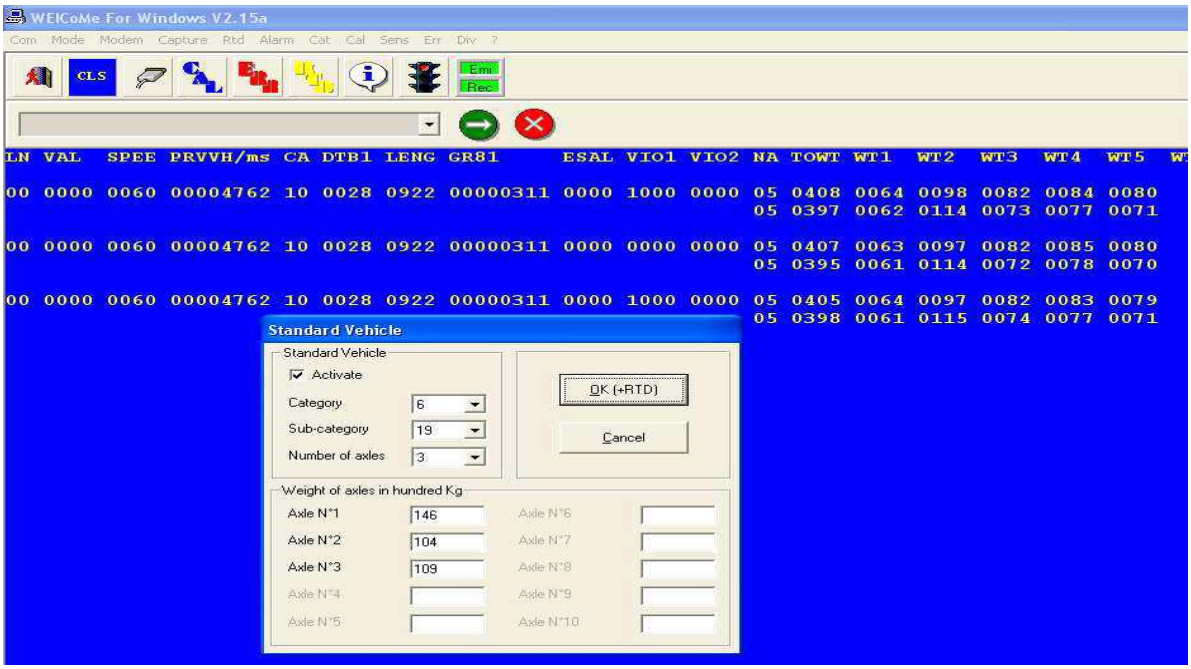
❍ 이 교정방법은 WIM 시스템을 처음 설치하는 경우나 자동교정방법을 사용하기에는 교통량이 충분하지 않을 때 사용한다.

❍ 이 방법은 모든 축의 하중, 축간거리(축거), 차량길이, 차종 및 세부차종 등이 사전에 측정되거나 결정되어 있어야 한다. 이처럼 결정된 차량을 특성차량과는 달리 “기준차량”이라고 설정한다.

❍ 일반국도에 설치된 ECM의 고속 WIM 시스템에서는 교정을 수행하기 위해 WELCOME이라는 운영소프트웨어를 사용하고 있으며, [그림 3-2-22]는 “Cal/Standard Vehicle”이란 메뉴에 기준차량의 특성을 입력한 화면을 예시한 모습이다.

❍ 이 프로그램에서는 차종, 축하중, 총중량 등 기준차량의 특성을 입력한 후, 기준차량이 WIM 센서 시스템이 설치된 지점의 전방 약 100 미터에 나타날 때까지 기다린 후 enter key를 클릭하고 관심 대상의 차종 중에서 차로를 처음으로 통과하는 차량이 기준차량으로 설정된다. 이때 차량이 WIM 센서 설치 지점을 통과 시에는 차로 중심을 기준으로 일정한 속도로 통과하는 것이 바람직하다. 사실 교정을 위해서는 운전자의 행태에 따른 동적하중의 변화가 발생하지 않아야 한다.

❍ 다시 “Cal/Standard Vehicle” 메뉴 화면으로 복귀하여 자동교정을 비활성화 상태로 설정하며, 이 때부터는 WIM 센서가 설치된 차로를 통과하는 모든 차량은 앞서 통과한 기준차량에 의해 만들어진 계수가 적용된 중량으로 측정된다.



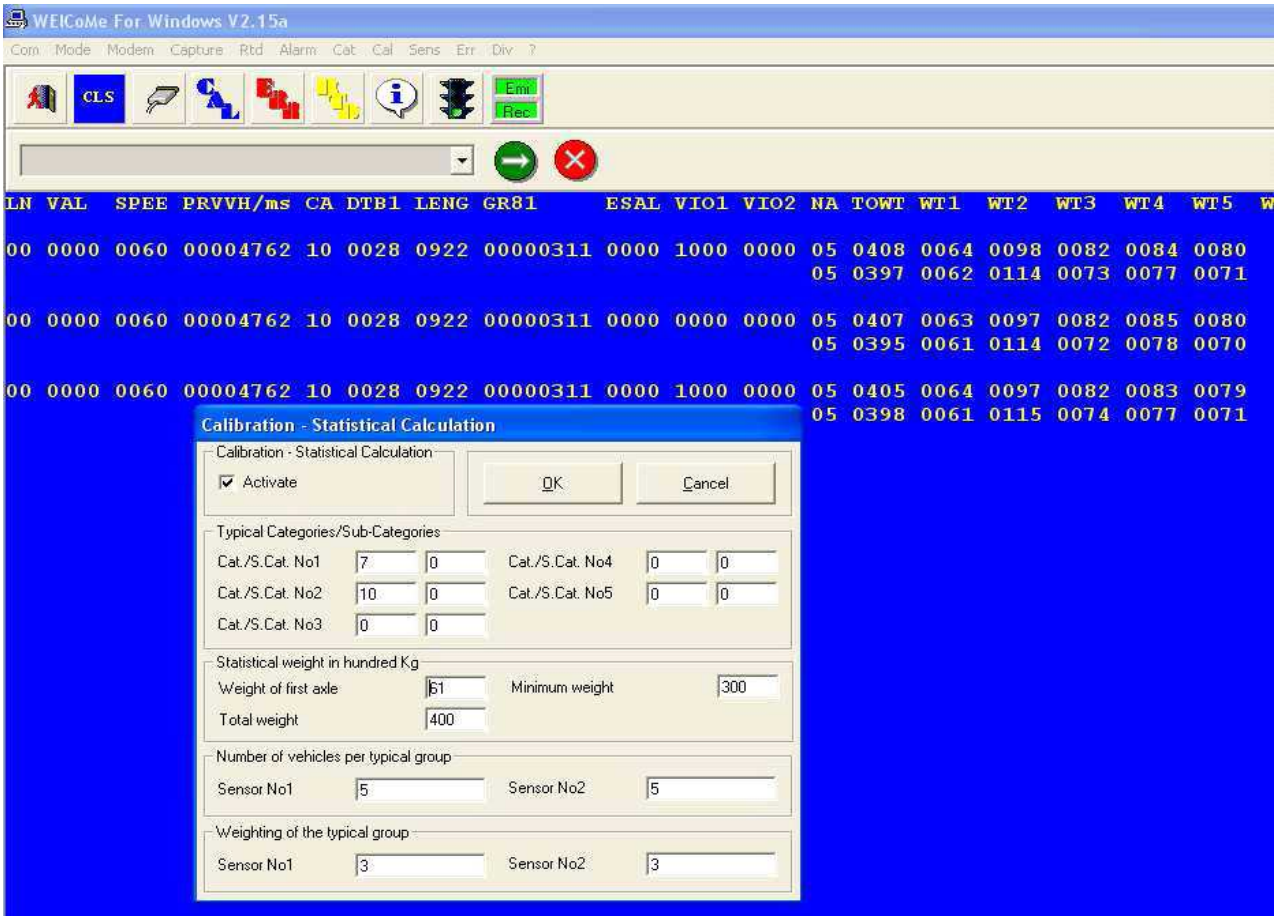
[그림 3-2-22] HESTIA Welcome 소프트웨어의 기준차량 정보 입력 화면

(4) 자동 교정 방법

❍ Welcome 프로그램에는 자동교정을 위해 [표 3.2.8]에 기술한 값과 동일하거나 유사한 값들이 기본적으로 프로그램화 되어 있다. 이 같은 기본 설정 값들은 WIM 장비공급업체가 해당 국가를 대상으로 사전에 마련해 놓은 것이며, 국내에는 자동교정을 위한 특성차량의 기본 값이 설정되어 있지는 않다.

[표 3.2.8] 자동교정을 위한 각국의 특성차량의 기본(default) 값

국가	차종	최소중량 (ton, KPound)	1st 축의 평균하중 (ton, KPound)	평균 총중량 (ton, KPound)	그룹 당 특성차량의 수	그룹의 수
프랑스 스위스 독일 헝가리 튀니지	7	30	6.1	40	5	3
	10					
네덜란드 벨기에	7/4	30	6.1	40	5	3
	10/5					
미국	9/37	60	10.6	84	5	3
캐나다	9/38					



[그림 3-2-23] 자동교정을 위한 특성차량 정보 입력 화면(HESTIA Welcome 소프트웨어)

❍ 특성차량을 이용하여 자동교정에 사용하는 변수가 적절하지 않은 경우에는 사용자에 의해 수정될 수가 있으며, 입력이 필요한 변수의 내용은 다음과 같다.

- 특성차량의 차종
- 특성차량의 최소 총중량
- 특성차량 첫 번째 축 하중의 평균값
- 특성차량의 평균 총중량
- 교정대상 그룹 내 특성차량의 수
- 교정계수의 이동평균을 계산하기 위해 사용된 그룹 수

❍ 교정에 사용될 그룹 수와 그룹 당 차량의 수(일반적으로 3개 그룹에 10대의 차량) 등 특성차량에 대한 변수를 컴퓨터에 설정한다. 이 같은 데이터가 대상 차로의 검지보드에 입력되는 시점부터 자동적으로 교정이 이루어지며, 특성차량들의 첫 번째 축하중과 총중량의 평균값은 점진적으로 사전 설정된 값에 근접하게 된다.

❍ 교정을 위한 통계적인 계산은 절차적인 접근에 의해 이루어지는데, 이 같은 방법은 최소 약 2,000대의 특성차량이 통과한 이 후에 실행하는 것이 바람직하다. 만약 교정 변수를 WIM 시스템에 설정하지 않은 경우에는 [표 3]과 같은 기본(default values) 변수값이 사용된다. 앞에서도 언급했듯이 국내의 경우는 추가적으로 특성 값들을 설정하는 작업이 필요하다.

(5) 혼합된 교정방법

❍ 혼합 교정방법은 자동화된 통계적 교정이 보다 빠르고 효과적이며 가동적이도록 하는 방법이다. 혼합된 교정방법을 적용하기 위해서는 먼저 사전에 중량이 측정된 차량으로 교정을 실행하고 관심 차로를 대상으로 자동교정을 이행하며, 그 과정은 다음과 같다.

- 앞서 언급한 사전에 중량이 측정된 차량으로 교정을 실행함
- 자동화된 통계적 교정을 실행함
- 그리고 사전에 중량이 측정된 차량을 통과시킨 후 첫 번째 교정결과를 수정한 후 이에 따라 시스템의 학습기간을 최소화시킴

(6) 교정의 수행 및 수정

❍ 다음 과정은 동적하중을 측정하는 WIM 시스템에 적용하는 교정방법이며, 모든 차로에 동일하게 적용된다. 이 같은 방법을 예시하기 위해 본 연구에서는 WIM 센서의 신호를 발생시키는 시뮬레이터 Resti Device를 사용하여 설명한다.

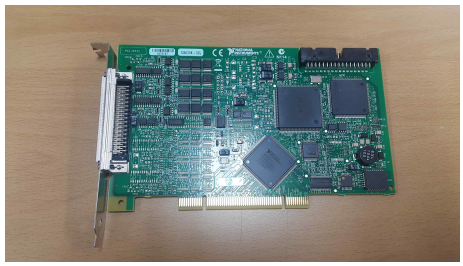
(가) 준비단계

❍ 시뮬레이터를 사용하여 실제 WIM 시스템이 설치된 현장과 유사하게 센서의 출력신호를 발생시킨다.

❍ 시뮬레이터에서는 4개의 WIM 센서와 8개의 루프센서를 가상하여 차량통과 시 출력신호를 송출하며 이를 WIM 제어시스템의 보드에 연결하여 실제상황과 유사한 작업을 수행할 수가 있다. 시뮬레이터(Resti Device 및 운영프로그램)의 개요 및 사용방법은 다음과 같다.

① 주요구성 내용

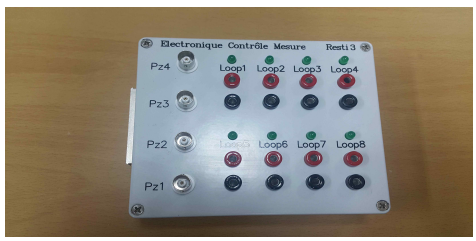
1. Digital I/O Card





- PCI카드 및 전용케이블
- 차량으로부터 추출된 타이어 형태별 아날로그 신호를 디지털로 변환 하여 신호 전송

2. Resti Device 및 프로그램

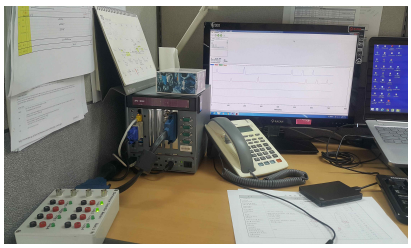




- 4개의 피에조센서 출력과 8개의 루프센서를 조합하여 출력
- 차량전환(센서신호, 루프신호) 출력용 알고리즘

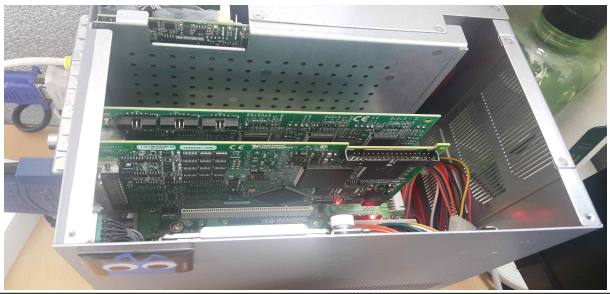
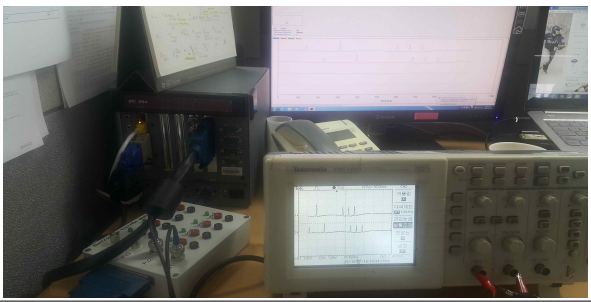
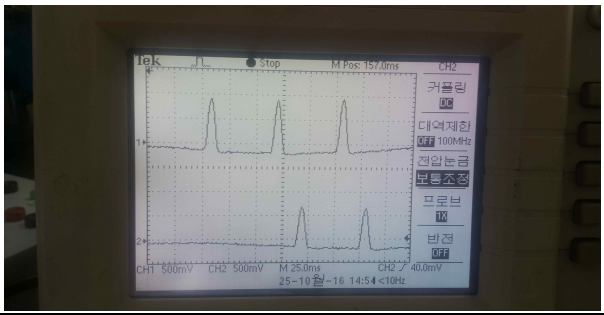
3. 운영 소프트웨어(프로그램)



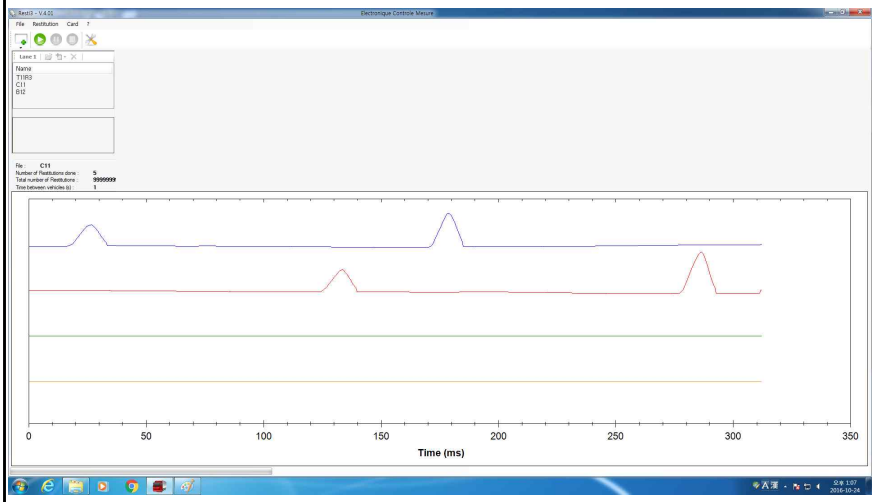
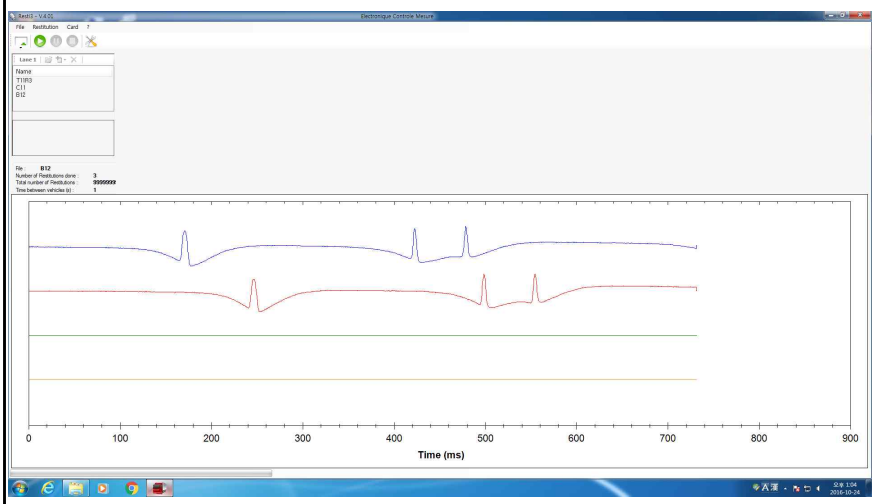
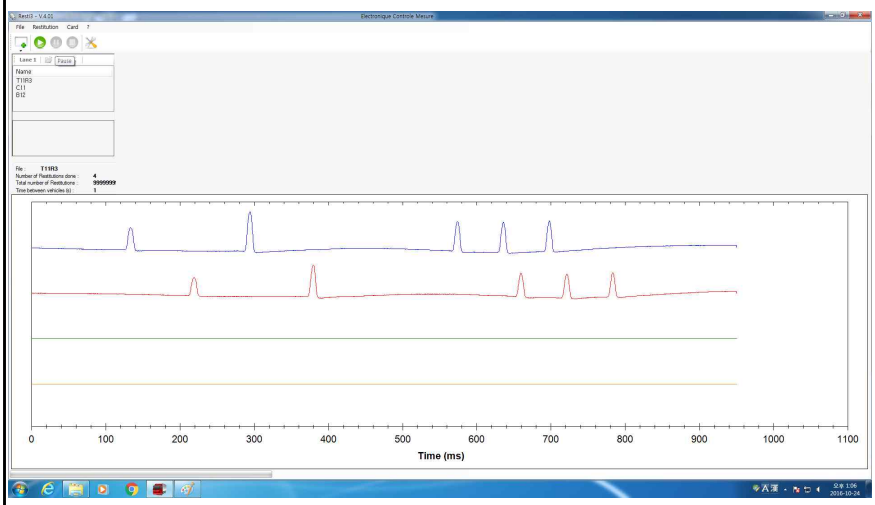


- PCI장착 전용 IPC 보드 및 모니터
- Resti Device 설치
- 운영프로그램(Resti3 V.4.01) set-up

② 수행과정 설명

[과정1] IPC Board 선정 	[과정설명] - 산업용 IPC 보드에 WIN7 등 OS설치
[과정2] Digital I/O카드 설치 	[과정설명] - 산업용 IPC 보드에 PCI방식의 Digital I/O카드 설치
[과정3] Resti Device 및 케이블 설치 	[과정설명] - Resti Device 설치 - 68pin 전용케이블을 사용하여 Digital I/O카드와 Resti Device와 연결
[과정4] Resti 출력 및 신호 측정 	[과정설명] - IPC 보드에 설치된 Resti 프로그램을 실행하여 Resti_Device에서 출력되는 Piezo센서의 신호를 오실로스코프에서 측정
[과정5] Resti 신호 출력 	[과정설명] - Piezo Sensor의 출력신호 파형 측정

③ 출력 신호 예시

[사례 1] Resti 신호 선정 및 2축차량 출력 	- IPC 보드에 설치된 Resti 프로그램을 실행하여 실주행하는 2축차량에 대한 제원의 신호를 얻을 수 있으며 이러한 과정을 시뮬레이션 할 수 있다.
[사례 2] Resti 신호 선정 및 3축차량 출력 	- IPC 보드에 설치된 Resti 프로그램을 실행하여 실주행하는 3축차량에 대한 제원의 신호를 얻을 수 있으며, 속도 및 축에 중량에 대한 여러 가지 신호를 다양하게 시뮬레이션 할 수 있다.
[사례 3 Resti 신호 선정 및 5축차량 출력 	- IPC 보드에 설치된 Resti 프로그램을 실행하여 실주행하는 5축차량에 대한 제원의 신호를 얻을수 있으며, Resti_Device에서도 LED 램프를 통하여 확인이 가능하다.

(나) 1 단계

❍ 시스템을 켜고 자동화된 통계 교정 값을 입력한다. 약 한 시간 동안 전반적인 기능을 살펴보고 “Cal/Standard Vehicle” 메뉴를 통해서 대상차로의 교정이 진전되는 상태를 점검한다. 다른 조정이나 작업 이전에 일정기간 동안 시스템이 작동되도록 나눈다.

(다) 2 단계

❍ 다음과 같은 두 대의 기준차량을 이용하여 각 차로를 대상으로 차종, 속도, 중량을 조정한다.

- 2축 트럭
- 2축 트랙터와 2개 또는 3개축의 트레일러로 구성된 세미 트레일러(특성차량으로 설정)
- 각 차로 당 해당 차량을 5번씩 통과시킴

(라) 3 단계

❍ 설정 값을 수정하기 위해 결과를 분석하고 정적하중 값과의 차이를 계산한다. 이 같은 마지막 조정 작업은 사전에 중량이 측정된 차량을 이용하여 정기적(일년에 최소 한번 이상)으로 수행되어야 한다.

❍ 측정된 중량값에 따라 필요한 경우, 자동으로 통계화된 설정 값들을 수정할 수 있다. 이는 정적하중과 동적하중의 차이를 보상하기 위한 것으로 이 때 조정을 위해 사용되는 설정 값들은 다음과 같다.

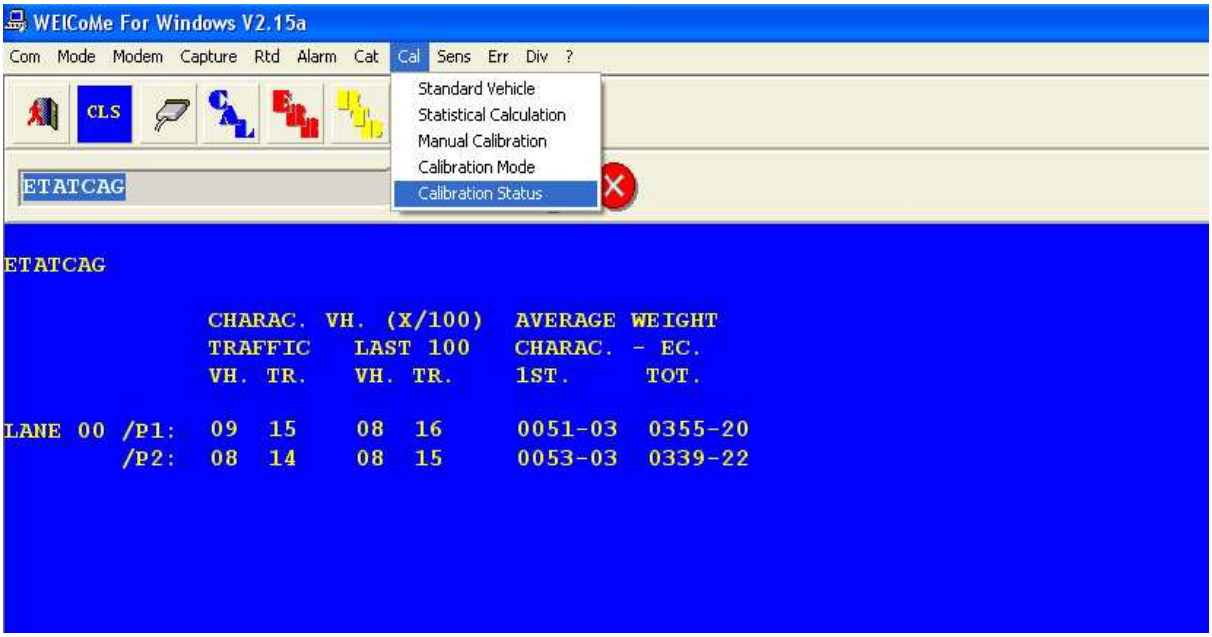
- 비 특성차량 보다 낮은 최소 총중량
- 특성차량들의 총중량
- 특성차량들의 첫 번째 축하중

❍ 이제까지 설명한 조정방법을 다음의 연속 과정을 통해 요약하여 설명한다.

① 약 20 대의 중 차량의 총중량을 이용하여 측정오차(동적하중/정적하중)를 계산한다. 다음과 같은 결과가 예시될 수 있다.

- 0% ; 검지보드가 교정. 조정이 필요 없음
- +10% ; 검지보드가 모든 측정값에 대해 10%를 초과하여 중량을 측정함
- -10% ; 검지보드가 모든 측정값에 대해 10%를 부족하게 중량을 측정함

② 검지보드의 교정 과정 중에 사용되는 모든 특성차량의 총중량 및 첫 번째 축하중의 평균값들을 다운로드 받는다. 이는 “Cal / Calibration Status“ 메뉴에서 “Automatic Gain Control“ 이라는 보고 명령어를 사용하여 얻을 수 있다.



[그림 3-2-24] "Cal / Calibration Status" 메뉴 화면

[그림 3-2-24]의 경우를 예를 들어 설명하면, 특성차량 첫 번째 축하중의 평균값은 (5.1 + 5.3)/2 = 5.2 톤이며, 총중량의 평균값은 (35.5 + 33.9)/2 = 34.7 톤이다.

③ "Cal / Calibration Status" 메뉴에서 설정된 현재 값을 다운로드 받는다. 그리고 (4) 자동 교정 방법에서 설명한 메뉴([그림 3-2-23])를 살펴본다.

④ 다음의 세 가지 규칙을 고려하여 새로운 설정 값을 계산한다.

- 사전에 계산된 측정오차와 비율은 같고 반대 방향(+, -)으로 설정값을 증가/감소시킴(① 참조)
- 만약에 측정된 중량이 과소평가 되었다면 설정값 모두가 전체적으로 증가할 것이며, 측정된 중량이 과대평가 된 경우는 설정값이 전반적으로 감소할 것이다.
- 만약에 필요하다면 설정값을 보상하여 "Automatic Gain Control"에 의해 획득한 값에 비례하도록 한다.(예를 들어 ②번에서 설정한 5.2톤 및 34.7톤)

⑤ 새로운 설정값 "Set 1" 및 "Set T" 의 계산 사례

a. 동적하중/정적하중의 측정오차: -10%

승수계수 "Coef" = 1.10

b. 특성차량의 평균:

- 첫 번째 축하중 = 5.2톤, 따라서 "Car 1" = 5,200 kg
- 총중량 = 34.7톤, 따라서 "Car T" = 34,700 kg

c. 현재 설정값:

- 첫 번째 축하중 = 4.7톤, 따라서 "Set C1" = 4,700 kg
- 총중량 = 42.1톤, 따라서 "Set CT" = 42,100 kg
- 최소 중량 = 30.0톤

d. 새로운 설정값 "Set 1" 및 "Set T"의 계산:

- 앞의 ④번에서 언급한 세 가지 규칙을 고려하여 다음 두개의 공식에 따라 새로운 설정값을 계산한다.

  - 첫 번째 축하중의 새로운 설정값:

$$t1 = Coef \times (Set\,C1 + Set\,CT) \times \frac{Car\,1}{(Car\,1 + Car\,T)}$$
$$= 6.7$$

  - 총중량의 새로운 설정값:

$$Set\,1T = Coef \times (Set\,C1 + Set\,CT) \times \frac{Car\,T}{(Car\,1 + Car\,T)}$$
$$= 44.7\,톤$$

e. 이전 계산의 확인:

- 새로 적용된 설정값 대비 이전 설정값의 증가/감소 비율을 다음 공식을 사용하여 재계산 한다.

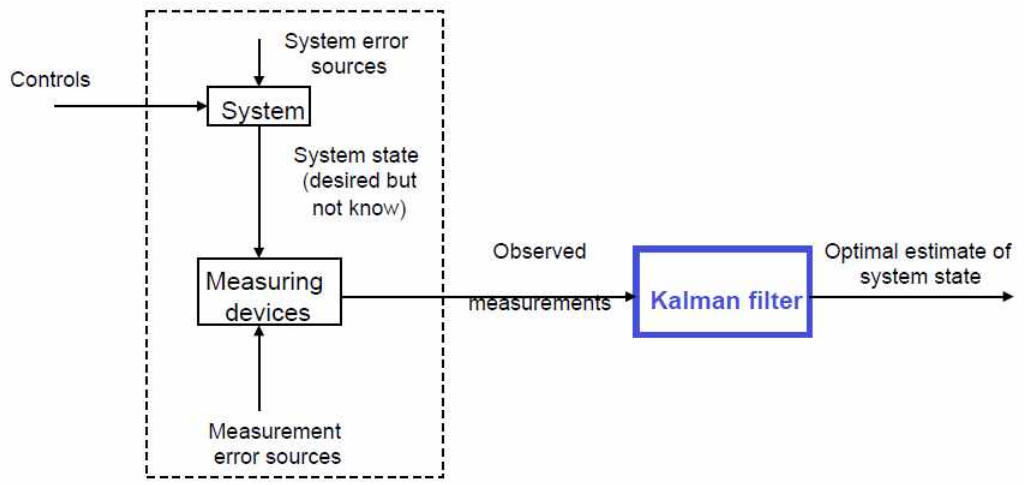
$$Coef = (67+447)/(47+421) = 1.098 \quad 1.10$$

- 새로운 설정값으로 인해 전체적으로 10%의 원하는 값으로 증가되었다는 것을 알 수 있다.

바. 칼만 필터를 적용한 교정방안

(1) 스칼라 칼만 필터를 적용한 교정방안

❍ 칼만 필터는 1960년 R.E.Kalman (Kalman, Rudolph, Emil)의 논문 "A New Approach to Linear Filtering and Prediction Problems"에 그 시초를 두고 있는데, 이는 최적의 반복적 자료처리 과정(Optimal Recursive Data Processing Algorithm)으로써 어떤 가정 하에서 의미가 있는 모든 기준에 대한 최적을 나타내는 기법으로 사용되며 기본 개념은 [그림 3-2-25]와 같이 설명할 수 있다.



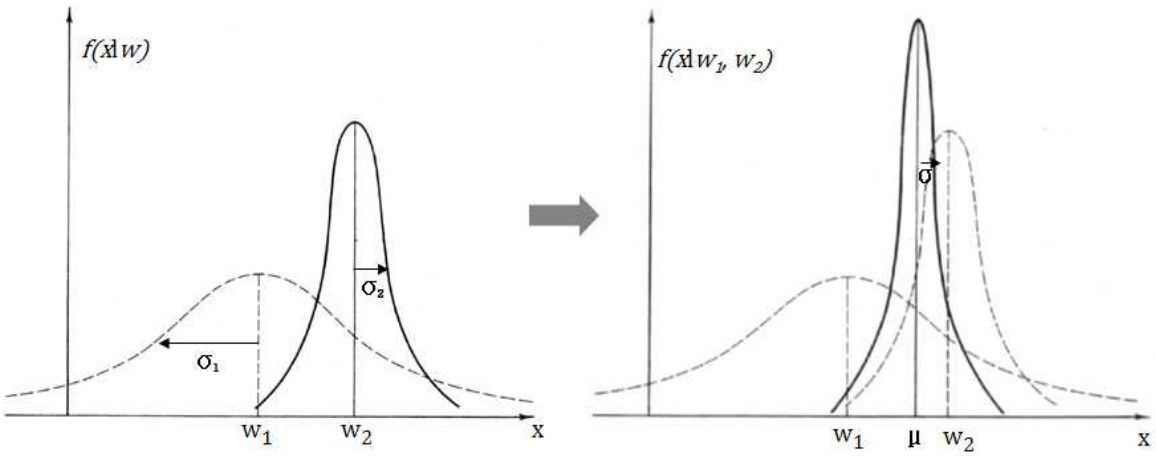
[그림 3-2-25] 칼만필터의 일반적인 개념

※출처; PETER S. MAYBECK(1979). Stochastic models, estimation, and control: ACADEMIC PRESS

❍ 칼만 필터의 개념을 쉽게 설명하기 위해 Maybeck[22]은 [그림 3-2-26]의 왼편과 같이 임의의 두 개의 측정값에 대한 최적의 평균값을 W1, W2으로 설정한 후, 이 두 개의 확률변수를 결합한 가우시안 밀도 함수를 [그림 3-2-26]의 오른편과 같이 묘사하고 결합된 평균값 와 분산 σ를 다음 식 (3-2-25)과 (3-2-26)와 같이 표현하였다.

$$= \frac{\sigma_2^2}{\sigma^2+\sigma_2^2} \quad {}_1 + \frac{\sigma_1^2}{\sigma_1^2+\sigma_2^2} W_2 \qquad \text{식 (3-2-25)}$$

$$\frac{1}{\sigma^2} = \frac{1}{\sigma_1^2} + \frac{1}{\sigma_2^2} \qquad \text{식 (3-2-26)}$$



[그림 3-2-26] 두 개의 가우시안 밀도함수를 결합하는 개념

상기 식 (3-2-25)를 변환하여 일반화 하면

$$= \frac{\sigma_2^2}{\sigma^2+\sigma_2^2}\ {}_1 + \frac{\sigma_1^2}{\sigma_1^2+\sigma_2^2} W_2 \qquad \text{식 (3-2-27)}$$

$$= \frac{W_1\sigma_1^2 - W_1\sigma_1^2 + W_1\sigma_2^2 + W_2\sigma_1^2}{\sigma_1^2+\sigma_2^2}$$

$$= W_1 + \frac{\sigma_1^2}{\sigma_1^2+\sigma_2^2}(W_2 - W_1)$$

- 위의 식 (3-2-27)은 앞 절에서 정정된 동적하중을 구하기 위해 조정된 하중값을 변환하는 식 (3-2-22) $= E[Wa_i] + f^*(Wa_i - E[Wa_i])$ 와 동일한 형태를 나타내며, 또한 이 식은 칼만 필터에 있어서 시스템 출력 값(상기 식에서는 W_1)과 새로운 입력값(W_2)을 이용하여 새로운 최적값(optimized state variables)을 계산하는 "관측갱신 알고리즘(measurement update algorithm)"의 스칼라 형태를 나타낸다.
- 식 (3-2-27)에서 W_2을 현장에서 측정한 동적하중값, W_1을 이에 대응하는 정적하중값으로 설정한다면 이는 고속 WIM 시스템에 의해 측정된 동적하중값을 저속 WIM 또는 고정식 저울에 의해 측정된 중량값에 기준하여 고속 WIM 시스템의 중량측정의 오차를 줄이기 위한 보정(교정) 및 가중치를 부여하는 방법으로 사용할 수 있다. 한편 상기 식 (3-2-27)은 다음 절에 기술한 과정을 통해서 얻을 수 있다.

(2) 2개의 평균 및 표준편차를 이용하여 결합된 평균값 구하기

- 우리는 일반적으로 참값을 얻기가 어렵기 때문에 많은 관측값으로 부터 최확값[3](Most probable value)을 구해 참값으로 대신한다. 이때 최확값은 참값에 가장 가까운 값으로 여러 번 반복 측정하여 얻은 값의 평균값이며, 통계적으로는 관측 표본집단 자료에서 보아 미지수의 값으로서 가장 확률이 높은 값이며, 다음과 같이 표현한다.

중률이일정할때;

$$M_0 = \frac{M_1 + M_2 + \qquad + M_n}{n}$$

경중률을고려할때(일정치않을때);

$$M_0 = \frac{P_1M_1 + P_2M_2 + \qquad + P_nMn}{M_1 + M_2 + \qquad + M_n}$$

여기서, $M_1, M_2, \ldots\ldots, M_n$; 관측값

$P_1, P_2, \ldots\ldots, P_n$; 경중률

식(3-2-28)

3) 대한토목학회: 반복관측에 의해서는 참값을 알 수 없기 때문에 사용하는 가장 확실한 값. 일반적으로 조정 환산한 평균값을 이용함

❍ 상기 식 (3-2-28)에서 표현한 경중률이란 한 측정값과 이와 연관된 다른 측정값에 대한 상대적인 신뢰성을 표현하는 척도로써 오차의 제곱의 합이 최소일 때 최확값을 얻을 수 있다. 따라서 경중률(정밀도[4])은 분산의 크기에 반비례($P_2 : P_3 = \frac{1}{\sigma_1^2} : \frac{1}{\sigma_2^2} : \frac{1}{\sigma_3^2}$)하며, 만약 상기 식(3-2-28)에서 n=2 일 경우에는 경중률을 고려한 최확값은 다음의 식 (3-2-29)와 같이 구할 수 있다.

$$
\begin{aligned}
M_0 &= \frac{P_1 M_1 + P_2 M_2}{P_1 + P_2} \\
&= \frac{M_1/\sigma_1^2 + M_2/\sigma_2^2}{1/\sigma_1^2 + 1/\sigma_2^2} \\
&= \frac{(M_1\sigma_2^2 + M_2\sigma_1^2)/(\sigma_1^2\,\sigma_2^2)}{(\sigma_2^2 + \sigma_1^2)/(\sigma_1^2\sigma_2^2)} \\
&= \frac{\sigma_2^2}{\sigma_2^2+\sigma_1^2} M_1 + \frac{\sigma_1^2}{\sigma_2^2+\sigma_1^2} M_2
\end{aligned}
\qquad \text{식 (3-2-29)}
$$

이제 상기 식 (3-2-29)는 앞 선 계산 식(3-2-27)과 동일함을 알 수 있다.

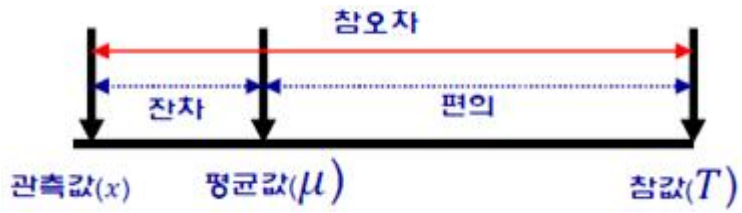
❍ 한편, 관측 갱신 알고리즘을 업데이트하기 위해서는 두 가우시안 밀도함수를 결합했을 때의 식 ((3-2-26)에 표현되어 있는 variance[5]를 구해야만 한다.

- 만약에 를 상수 m을 추정하는 측정값 중에 하나라고 하면 확률변수 z는 평균 m에 노이즈 v로 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$z = m + v \qquad \text{식 (3-2-30)}$$

- 노이즈 v의 평균은 0 이고 분산은 σ^2이다. 이제 우리가 재귀적인 추정을 하여 m에 대해 편의가 없는 첫 번째 추정값을 얻었으며 이를 확률변수 x_1라 하면 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$x_1 = m + w \qquad \text{식 (3-2-31)}$$



[그림 3-2-27] 오차의 분류

4) 정밀도(precision):측정값들의 상대적인 편차가 적은 것
- 측정 과정과 밀접한 관계
- 측정 방법과 장비에 크게 영향을 받음
- 우연오차와 매우 밀접

5) 이는 칼만필터에서 오차공분산 추정값으로 사용되며, 알고리즘을 반복하면서 추정값을 계산하는 가중치를 매번 조정한다. 즉, 식 (3-2-22)에서 수정계수 f를 업데이트할 때 사용할 수 있다.

• 이때 노이즈 의 평균은 0 이고 분산은 σ^2 이다. 식 (3-2-22)에서와 마찬가지로 선형변형에 의해 새로운 추정값 x_2 는 다음의 식 (8)처럼 나타낸다.

$$x_2 = x_1 + k(z - x_1) \qquad \text{식 (3-2-32)}$$

• 상기 식 (3-2-32)에 식 (3-2-30)의 z와 식 (3-2-31)의 x_1의 값들을 대입시키면

$$\begin{aligned} &= m + w + k(m + v - m - w) \\ &= m + w + k(v - w) \end{aligned} \qquad \text{식 (3-2-33)}$$

$$[x_2] = m \qquad \text{식 (3-2-34)}$$

• 여기서 노이즈 v가 x_1와는 독립적이라고 가정하면, 추정값 x_2 의 분산 σ^2는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\sigma^2 = E[x_2 - m]^2 = E[w + k(v - w)]^2 \qquad \text{식 (3-2-35)}$$

• 만약에 두 개의 노이즈 v와 w를 상호 독립이라고 가정한다면 새로운 추정값의 분산 σ^2는 다음과 같이 정리된다.

$$\begin{aligned} \sigma^2 &= (1-k)^2 E[w]^2 + k^2 E[v]^2 \\ &= (1-k)^2 \sigma_w^2 + k^2 \sigma_v^2 \end{aligned} \qquad \text{식 (3-2-36)}$$

• 상기 식에서 추정값 x_2는 k와 연관하여 최소화하여 구하는 것이 타당하므로 σ^2는 k의 이차함수 형태로 표현한다.

$$\begin{aligned} \sigma^2 &= (1 - 2k + k^2)\sigma_w^2 + k^2 \sigma_v^2 \\ &= \sigma_w^2 - 2k\sigma_w^2 + k^2(\sigma_w^2 + \sigma_v^2) \end{aligned} \qquad \text{식 (3-2-37)}$$

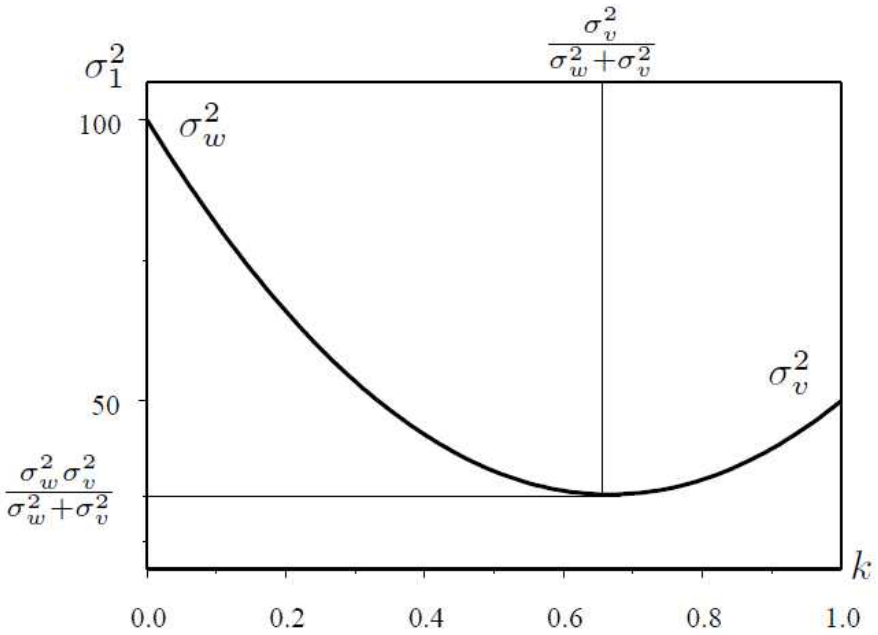
• 계산의 편리를 위해 식 (3-2-37)를 변형하여 정리하면

$$\begin{aligned} \sigma^2 &= \sigma_w^2 - 2 \frac{\sigma_w^2}{\sigma_w^2 + \sigma_v^2} k\sqrt{\sigma_w^2 + \sigma_v^2} + k^2(\sigma_w^2 + \sigma_v^2) \\ &= \sigma_w^2 - \frac{\sigma_w^4}{\sigma_w^2 + \sigma_w^2} + \left(\frac{\sigma_w^2}{\sqrt{\sigma_w^2 + \sigma_v^2}} - k\sqrt{\sigma_w^2 + \sigma_v^2}\right)^2 \end{aligned} \qquad \text{식 (3-2-38)}$$

• 식 (3-2-38)에서 의 최소값은 [그림 3-2-28]에도 설명되어 있듯이 $k=\frac{\sigma_w^2}{\sigma_w^2+\sigma_v^2}$ 일 때 구할 수 있으며, 그 값은 다음과 같다.

$$\sigma^2=\sigma_w^2-\frac{\sigma_w^4}{\sigma_w^2+\sigma_v^2}=\frac{\sigma_w^2\sigma_v^2}{\sigma_w^2+\sigma_v^2} \qquad \text{식 (3-2-39)}$$

• 상기 식 (3-2-19)의 역수를 구하면 식 (3-2-26)과 같게 된다.



[그림 3-2-28] k함수로 표현한 새로운 추정값의 분산치

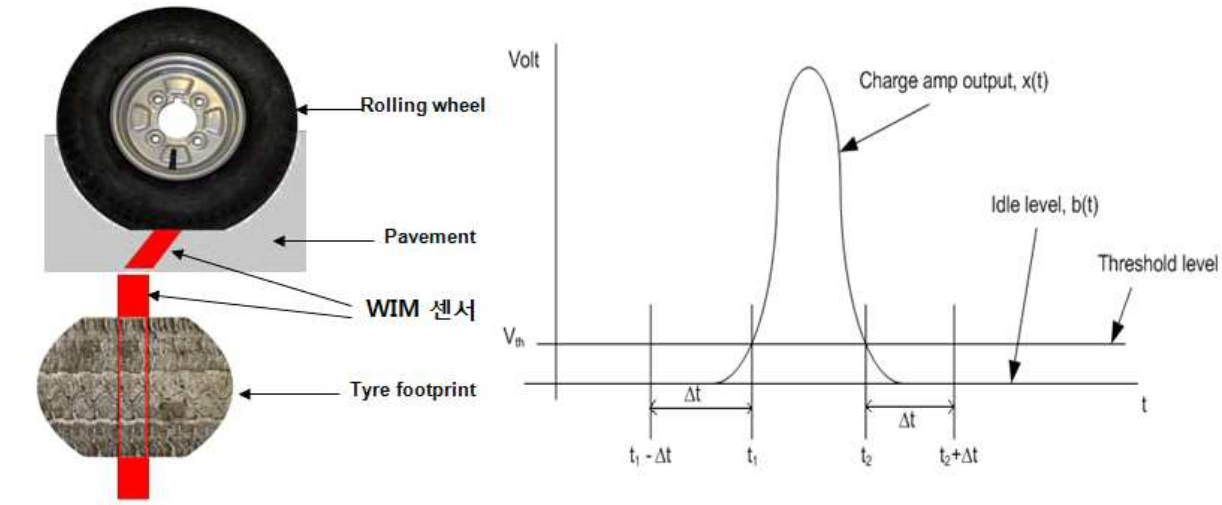
사. 매트릭스 WIM 시스템의 중량 알고리즘

(1) 기존 스트립 바 형태의 WIM 시스템의 하중 알고리즘

- ❍ 현재 고속 WIM 시장에서 주로 설치·운영되고 있는 중량센서는 센서의 너비가 5~6 cm 정도인 스트립 바 구조를 지닌 Piezoelectric Ceramic, Piezoelectric Quartz 등 압전 계열의 센서가 주를 이루고 있다.
- ❍ 이 같은 이유는 설치의 용이성, 운영 편리성, 가격, 정확도 등 다양한 사유가 존재하나, 여러 측면에서 스트립 바 형태의 중량센서가 트렌드를 이루고 있다.
- ❍ 그러나 5~6 cm 정도의 폭을 가진 스트립 바 형태의 WIM 센서는 일반 타이어의 전체

면적을 포용하기에는 센서의 폭이 좁기 때문에 타이어는 항상 센서 전후 지면에 부분적으로 앉아 있으며 특정 부분만이 센서에 접촉 된다. 따라서 차량 바퀴를 모두 지탱해서 바퀴의 하중을 측정하는 플레이트 방식의 저울과는 하중을 계산하는 방식이 다르다.

❍ [그림 3-2-29]의 신호 다이어그램은 Kistler사의 디지털화 된 WIM 센서 신호를 사용하는 축하중의 계산 방법을 나타낸 것이다. 하중 신호는 신호 진폭이 유휴 레벨(Idle level)에서 사전 설정된 임계값을 초과 할 때 감지된다. 축하중 신호가 감지되면 [t1 - Δt, t2 + Δt] 사이의 신호가 하중값 계산에 사용되는데, 여기서 Δt는 임계값에 비례하는 상수이다. 단, 여기서 신호 유휴 레벨은 전하 증폭기(charge amplifier)의 출력값이기 때문에 그 값이 일정하게는 유지되지 않는다는 것을 인지하여야 한다. 전하 증폭기(charge amplifier)의 출력은 두 개의 신호로 생각해야 한다. 즉 유휴 신호는 시간이 지남에 따라 천천히 변화하는 반면 윤하중 신호는 유휴 레벨보다 빠르게 변한다. 따라서 유휴 레벨 b(t)는 전체 신호로부터 천천히 변하는 신호를 분리함으로써 결정하게 된다.



[3-2-29] 단일 축 또는 윤하중으로부터 생성되는 전하증폭기의 출력신호

※ 출처 : Planning of a WIM Station Type 9195E, KISTLER에서 재가공

❍ 스트립 바 형태의 압전 센서를 사용하는 WIM 시스템에 사용할 수 있는 하중부하 계산에는 몇 가지 방법이 있으며, 그 중 주요 방법은 다음과 같다.

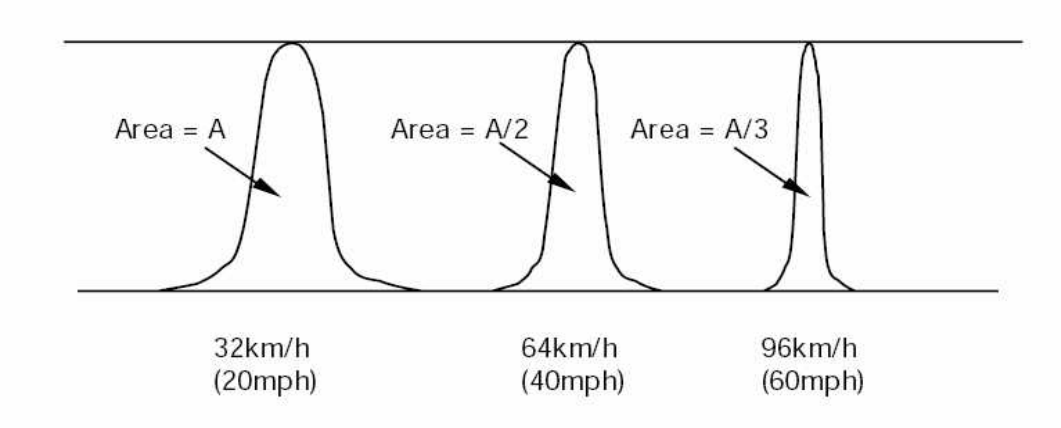
① 방법 1 : 최고 전압을 이용하는 방법

- 이 계산 방법은 일부 상용 제품에서 사용되며 매우 간단하다. 축하중 값은 단순히 신호의 피크 전압을 사용하여 계산한다.

$$w = \alpha * peak\_signal\_voltage(x_i) \quad \text{식 (3-2-40)}$$

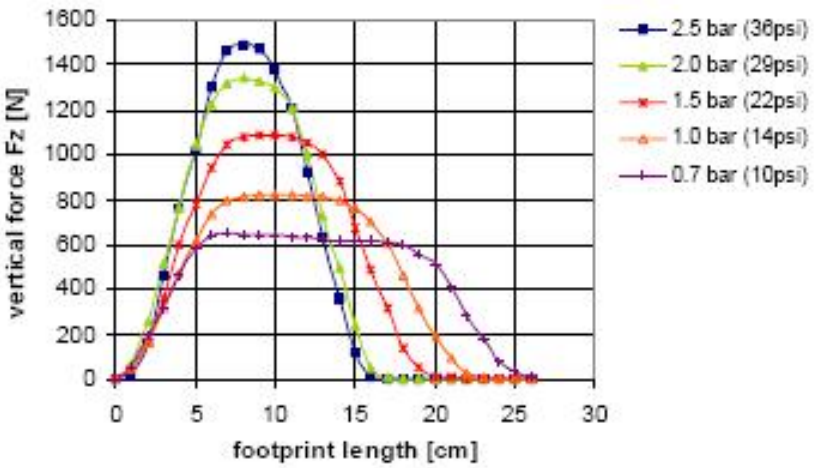
여기서 peak _ signal _ voltage(x_i)는 디지털화 된 신호 x(t)의 피크 전압 값이고, α 는 알려진 축하중을 사용하여 결정해야 하는 교정 계수이다 [25].

- 이 방법은 축 하중과 속도 사이의 관계를 기반으로 하는 방법이며 [그림 3-2-30]에 나타나 있듯이 동일한 차량에서 생성 된 피크 전압은 속도가 달라도 변하지 않는다는 가정 하에 사용한 방법인데, [그림 3-2-31]에서 알 수 있듯이 타이어의 팽창 압력이 일정하지 않으면 피크가 변하기 때문에 이 가정은 옳지가 않으며 따라서 정확도 또한 많은 오차가 발생한다.



[3-2-30] 속도에 따른 축하중 신호 파형

※ 출처 : Planning of a WIM Station Type 9195E, KISTLER



[그림 3-2-31] 다양한 타이어 팽창 압력에 따른 타이어자국의 길이

※ 출처 : Planning of a WIM Station Type 9195E, KISTLER

- 이 방법의 가장 큰 장점은 속도의 측정이 필요하지 않다는 것이다. 그러나 단순화 된 방법을 사용하면 단순성을 위해 정확성은 떨어진다. 따라서 이 방법은 하중의 정확성이 중요하지 않은 용도, 예를 들어 교통량 계산 또는 차종분류 등에 사용함이 적합하다.

② 방법 2 : 신호아래의 영역(면적)을 적분하는 방법

- 이 축하중 계산 방법은 원래 Kistler와 많은 상용 제품에서 사용하고 있는 방법이며 [26], 이 방법은 신호 곡선 아래 영역과 차량의 주행 속도를 사용하여 차축의 하중을 계산하는데 다음의 식(3-2-41)을 사용하여 하중을 계산한다.

$$\frac{\alpha \cdot S}{L} \int_{-\triangle t}^{t_2-\triangle t} (x(t) - b(t))dt \qquad \text{식 (3-2-41)}$$

여기서, L은 센서 폭, S는 차량의 속도, x(t)는 하중 신호, b(t)는 느리게 변하는 유휴 레벨(idle level)이다.

- 상기 식(3)은 다음과 같이 이산형태의 방정식으로 변환할 수 있으며,

$$W = \frac{\alpha \cdot S}{L} \sum_i (x_i - b_i) \qquad \text{식 (3-2-42)}$$

식 (3-2-41)과 식 (3-2-42)에 나타나 있듯이 무게의 정확한 측정은 속도(S) 측정에 직접 비례한다는 점에 주의하여야 한다. 따라서 이 방법에서는 정확한 속도 측정이 필수적이며 이 같은 이유 때문에 두 줄의 센서가 사용된다. 이 방법 역시 피크 전압 방법과 같이 α를 결정하기 위해서는 보정이 필요하다.

(2) 매트릭스 WIM 센서의 중량 알고리즘

- 정상적인 작동 상태에서 차량은 바퀴 이외에 차량무게를 지탱할 수 있는 다른 지지력을 가지고 있지 않기 때문에 차량의 바퀴가 지면에서 누르는 힘의 합이 차량의 전체 하중이다.
- 따라서 차량 단일바퀴(단륜)의 하중을 측정하기 위해서는 타이어의 어떤 부분도 지면에 접촉시키지 않으면서 바퀴를 지탱할 수 있는 계량 장치를 사용하거나, **타이어의 타이어자국을 찾아서 슬라이스 단위로 측정해야만 한다.**
- 타이어 폭보다 크기가 작은 스트립 바 형태의 센서는 자세히 살펴보면 [그림 3-2-29]의 신호 곡선 아래의 영역은 실제 차축의 하중값을 표현한 것이 아니라 센서 너비만큼 하중이 여러 번 중첩(convolution)된 것이라는 것을 알 수가 있다.
- 차축의 하중을 타이어자국(Footprint)과 같은 크기의 너비와 차축 하중과 같은 무게를 갖는 직사각형 블록이라고 가정하고, 직사각형 블록을 센서 위로 밀게 되면 움직이는 차량이 센서 위를 통과하는 것과 동일한 효과를 갖게 된다. 블록이 천천히 움직이면서 센서에 하중이 작용하는데, 센서의 폭(너비)만큼 여러 번 통과하는 시간동안 하중 또

한 여러 번 겹쳐지게 된다. 즉, 앞에서 얘기했듯이 슬라이스 단위로 하중을 측정하는 개념이다.

- 하중의 측정주기는 센서의 폭(너비)과 차량의 속도를 사용하여 다음과 같이 결정한다.

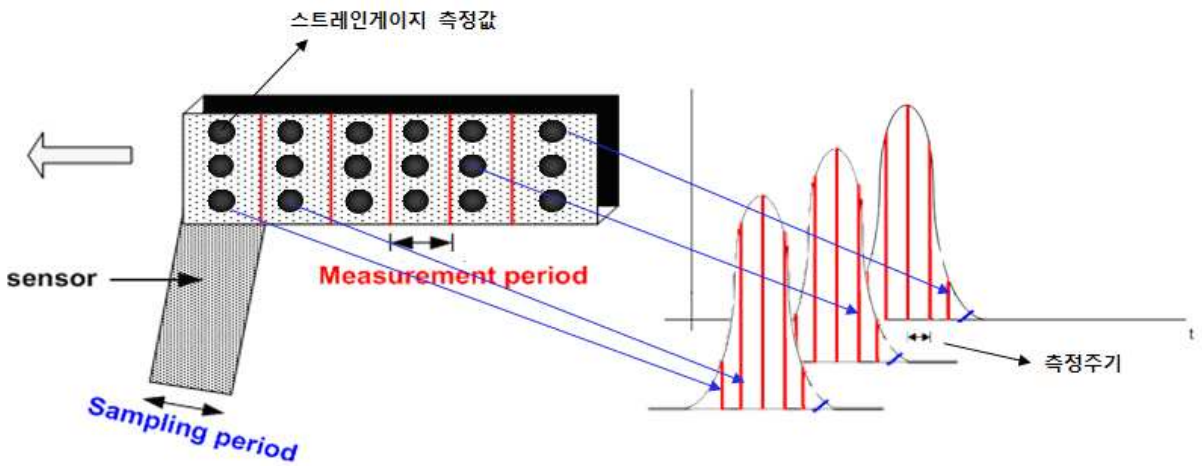
$$L/S \qquad \text{식 (3-2-43)}$$

- 따라서 하중을 측정하는 시간지점은 다음과 같이 결정된다.

$$[t - \Delta t + T_L, t_2 - \Delta t + 2T_L, ..., t_1 - \Delta t + NT_L]$$

여기서,

$$N = \frac{(t_2 - t_1) + 2\Delta t}{T_L} \qquad \text{식 (3-2-44)}$$



[3-2-32] 매트릭스 WIM 센서의 윤하중 계산 기본개념

- 직사각형의 하중 블록이 센서 너비와 동일한 크기의 너비로 N 개의 슬라이스로 세로로 분할되었다고 가정한다면, 분할된 각 슬라이스는 센서에 정확하게 정렬하여 개별적으로 측정된다. [그림 3-2-32]에서와 같이 각 슬라이스는 측정주기 동안에 한번만 측정해야 하므로 슬라이스는 곧 측정주기와 동일함을 나타낸다. 그런 다음 각 슬라이스의 하중값은 측정주기 동안 측정된 값으로 계산하면 된다. 예를 들어 j번째 슬라이스의 측정값이 x_j로 표시되면, 다음과 같이 나타낼 수 있다.

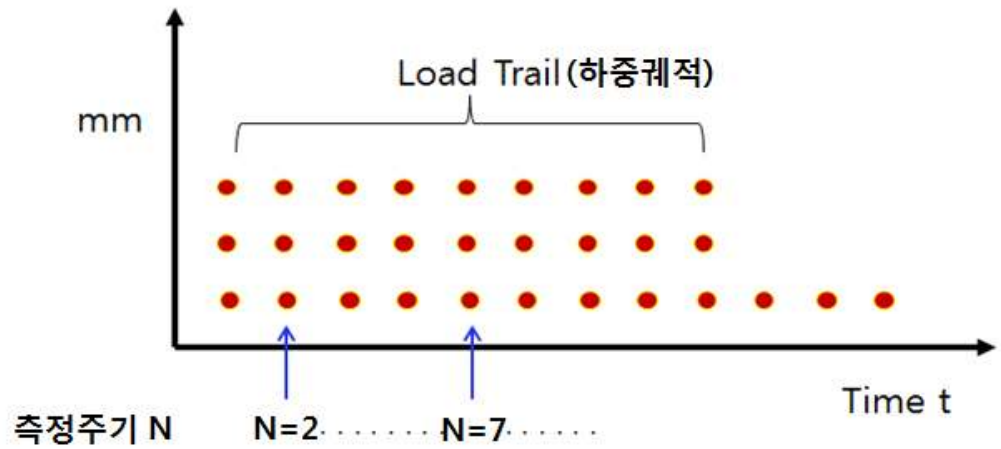
$$= \alpha \cdot w_j \qquad \text{식 (3-2-45)}$$

- 식 (3-2-45)에서 α는 스트레인게이지 신호의 감도 또는 게인값을 나타내며, w_j는 j 번째 슬라이스의 하중(N)을 나타낸다. 매트릭스 WIM 센서 시스템은 횡방향(타이어 자국의 세로방향)으로 다수개의 MP(Measurement Point)가 존재하므로 하나의 슬라이스가 받는 하중값은 아래의 식 (3-2-46)과 같이 타이어자국 너비만큼의 슬라이스 내에 포함된 MP들의 합계로 나타내며, 블록의 총중량은 아래의 식 (3-2-47)과 같이 개별 슬라이스의 합계로 나타낸다.

$$_s = \frac{1}{\alpha}_{j=1} x_j \qquad \text{식 (3-2-46)}$$

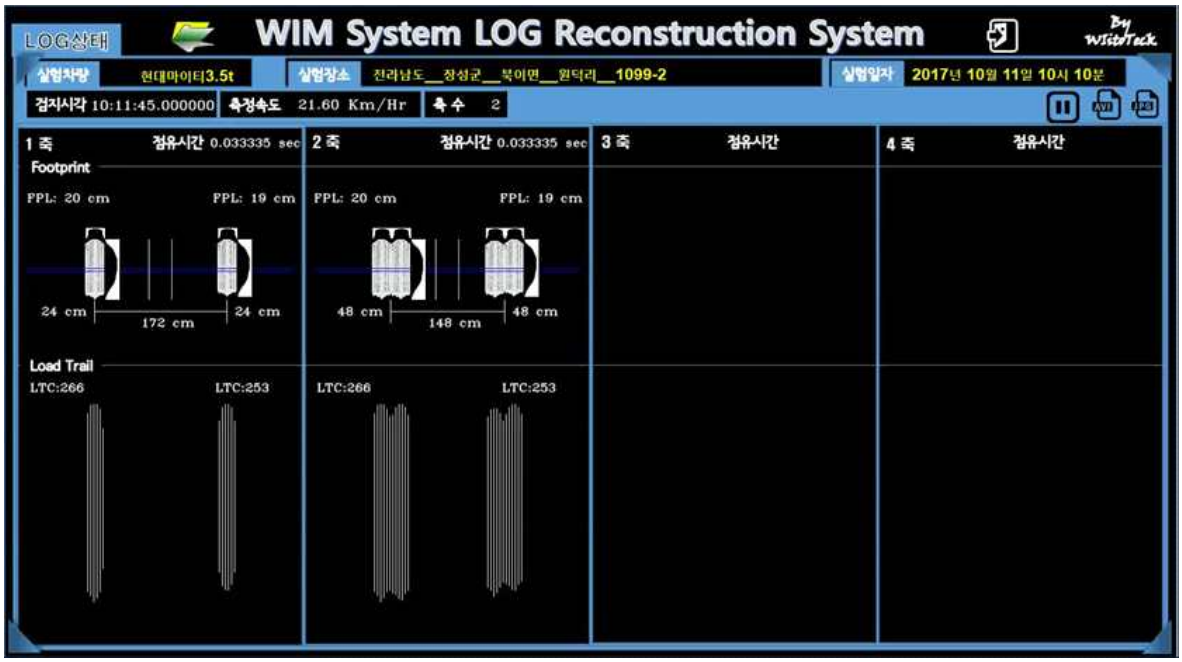
$$W_{tot} = \frac{1}{\alpha} \sum_{i=1}^{N} \sum_{j=1}^{M} x_{ij} \qquad \text{식 (3-2-47)}$$

❍ 제3장 3절에서 매트릭스 WIM 시스템의 데이터 구조에 대해 상세하게 설명하겠지만, [그림 3-2-32] 오른편 그림의 붉은색 막대는 측정주기 동안에 각각의 MP(Measurement Point)에서 생성되는 하중궤적(Load Trail) 값을 나타내는 것이다. 즉, 피에조 센서의 경우는 이 붉은 막대가 신호에서 발생하는 Volt 값을 의미하지만 매트릭스 WIM 센서에서는 [그림 3-2-33]에 설명된 것과 같이 스트레인게이지로 구성된 MP에서 신호값(하중)이 측정주기 동안 슬라이스 개수만큼 생성된다.



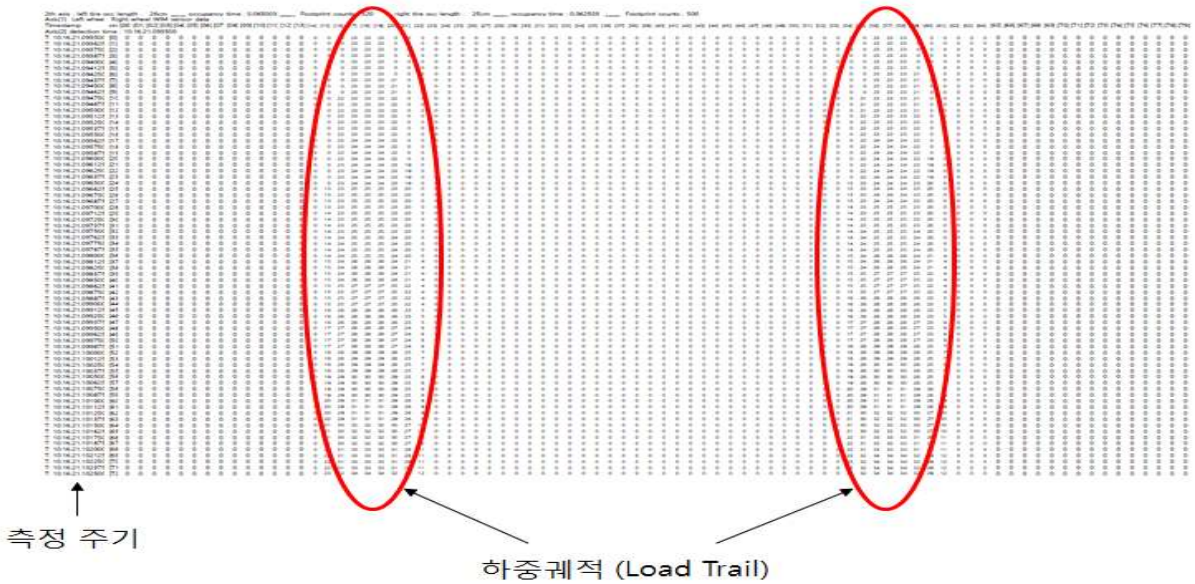
[3-2-33] 매트릭스 WIM 센서의 하중궤적 개념

❍ [그림 3-2-33]에서는 차량이 센서 위를 통과할 때 생성되는 하중궤적(Load Trail)을 개념적으로 설명한 것이며, [그림 3-2-34]는 하중궤적(Load Trail)이 생성되고 이에 따라 타이어의 footprint가 만들어지는 것을 시각적으로 나타낸 프로그램이다.



[3-2-34] 타이어자국(Footprint) 및 하중궤적(Load Trail) 생성 모습

❍ [그림 3-2-35]는 [그림 3-2-34]의 프로그램에서 생성된 하중궤적을 엑셀파일로 변환한 모습이며, 붉은 타원으로 표시된 부분이 측정주기 동안 스트레인게이지에서 발생한 하중값을 나타낸다. 그림에서 0으로 표현된 부분은 차량바퀴가 닫지 않아 하중전달이 없음을 의미한다.



[그림 3-2-35] MP 하중값 로그 파일

❍ 한편, A/D 변환기의 샘플링 주기는 식 (3-2-43)의 측정주기와 다르다는 것을 명확히 인지해야만 한다. A/D 변환기의 샘플링 속도는 속도 측정 시 요구되는 정확도에 의해 결정되는 것이 바람직하다. 일반적으로 고속 WIM 시스템에서 속도 측정의 합리적인 정확도는 100km/h 속도에서 오차 2km/h 미만이다. 속도 측정의 정확도는 다음의 식 (3-2-48)과 식 (3-2-49)을 사용하여 얻는다.

$$\text{정 샘플수} \quad \frac{\text{센서 이격거리}}{\text{속도}} \times ampling\ Rate \qquad \text{식 (3-2-48)}$$

$$\text{속도 측정 정확도} = \frac{\text{속도}}{\text{측정 샘플수}} \qquad \text{식 (3-2-49)}$$

만약에 매트릭스 WIM 센서를 1.4m 간격으로 설치하였다면, 식 (3-2-48)으로부터 403개(8KHz Sampling rate)의 측정 샘플수를 획득하게 된다. 이 값을 식 (3-2-49)에 적용하면 속도 측정오차는 0.25km/h가 되므로 충분한 샘플링 속도를 확보했다고 판단할 수 있다.

(3) 블로킹 된 측정 지점에 대한 보정

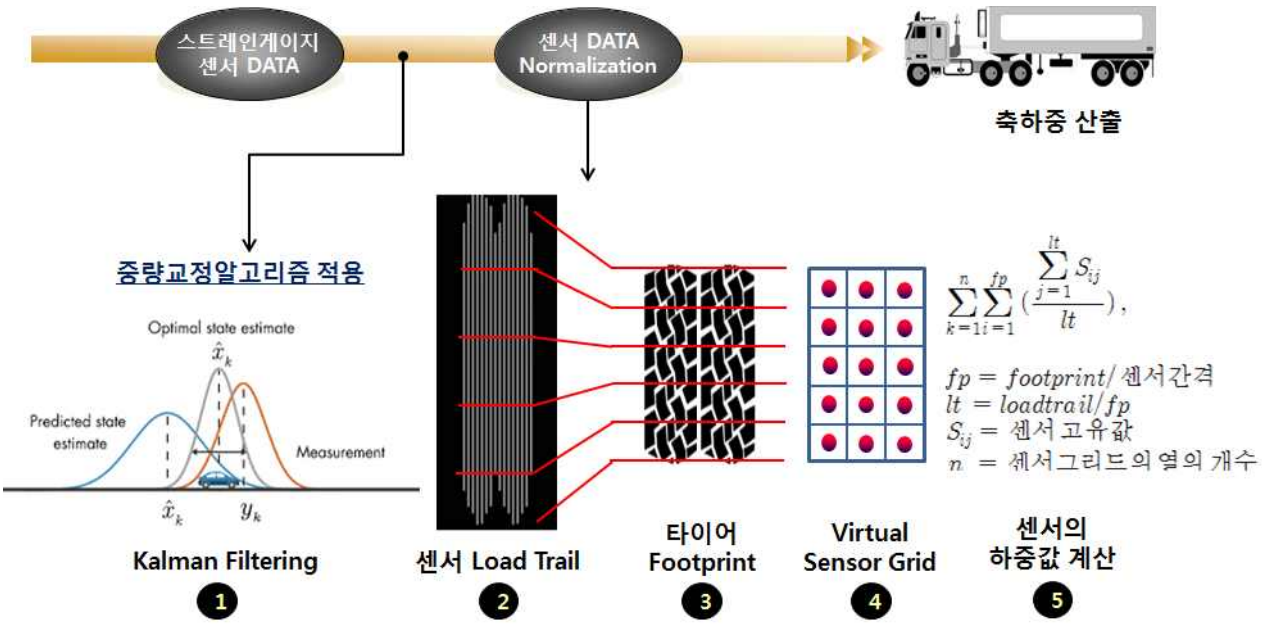
❍ 측정 지점(MP)이 잘못된 값을 전송하는 경우 소프트웨어 측면에서 차단 할 수 있다. 이 경우 펌웨어는 더 이상 값을 전달하지 않으며 차단된 MP가 측정된 타이어의 자국 내에 위치하면 이것이 해당 타이어에 대해 계산된 결과에 큰 영향을 미치므로 보정이 필요하다.

❍ 차단된 MP가 타이어자국 안에 있으면 타이어자국이 하중궤적이 없는 MP에서 끝나도록 정의되어 있으므로 타이어자국을 2로 분할한다. 차단된 MP에는 하중궤적도 없으므로 하나의 일반 타이어자국 대신 WIM 관리자가 2개의 좁은 타이어자국을 등록한다. WIM 프로그램에서는 차단된 모든 MP를 추적하므로 누락된 하중궤적 대신에 센서의 2번째 MP 라인에 해당하는 하중궤적을 사용하여 이처럼 배치된 MP를 보정할 수 있다. 물론 타임스탬프는 선·후행라인의 시간 간격에 따라 조정해야 한다.

❍ 만약 차단된 MP가 타이어자국 경계에 있을 경우에는 그 영역이 너무 좁아서 타이어자국을 분할하지 않는다. 타이어자국의 평균 너비는 25~30cm 이며, 이는 4cm의 간격에서 MP의 값을 떨어지게 함으로써 실제 하중의 13~16%가 손실된다. 따라서 차단된 MP의 누락된 하중궤적은 위에 설명된 것처럼 두 번째 MP 라인의 등가하중 자국으로 대체한다.

(4) 측정 하중값의 교정

❍ [그림 3-2-36]은 매트릭스 WIM 센서 시스템에서 차량의 하중을 산출하는 과정을 나타낸 것이다. 매트릭스 WIM 센서에서는 스트레인게이지로 구성된 MP(Measurement Point)에서 생성되는 하중궤적(Load Trail) 값을 디지털화하여 슬라이스 개념의 측정주기 동안 발생한 하중값을 합계하여 축하중을 산출한다.



[3-2-36] 매트릭스 WIM 센서 시스템의 축하중 산출 프로세스

❍ [그림 3-2-36]과 같은 개념으로 차량의 축하중을 측정하기 위해 매트릭스 WIM 센서는 2개의 라인(선행 및 후행라인)으로 구성되어 있으며 시간 경과에 따라 하중을 측정하고, 타이어의 속도를 이용하여 판별이 불가능한 타이어자국(차량진행 방향)은 재구성한다.

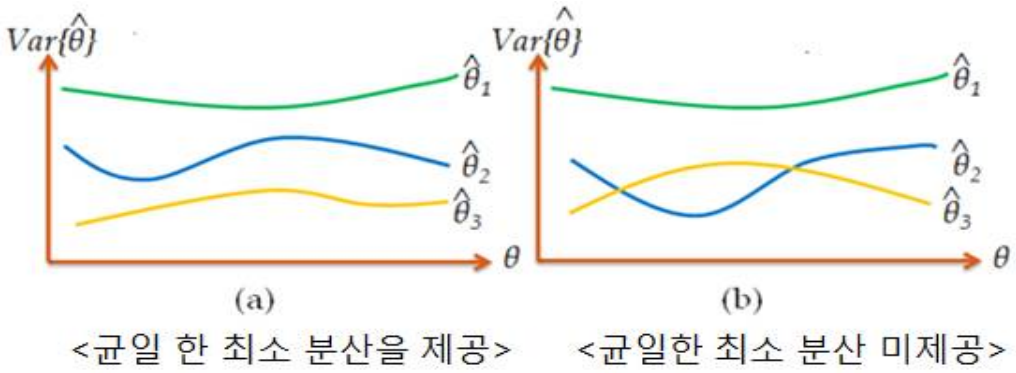
❍ 만약 센서와 차량의 타이어가 이상적으로 일정한 속도를 유지한다면, 선행라인의 MP의 하중궤적(Load Trail)은 후행라인의 동일한 x-좌표에 위치한 MP의 하중궤적(Load Trail)보다 조금 더 일찍 시작하고 일찍 끝난다. 뿐만 아니라 정해진 타임스탬프 오프셋에서는 두 개의 하중자국이 정확히 동일한 하중값을 표시한다.

❍ 그러나 불행하게도 센서나 타이어 모두 이상적이지 않기 때문에 산출한 차량속도는 일정하지 않으며, 측정 또한 8kHz의 짧은 시간 간격으로 이루어진다. 따라서 이 같은 접근 방법은 차량 속도가 증가함에 따라 점점 더 부정확해진다. 일정한 frequency로 센서를 측정하는데 있어서 다음 측정을 시작할 때 타이어자국에 측정된 모든 슬라이스가 이미 센서에서 벗어난 것은 아니다. 따라서 이미 측정된 슬라이스의 일부가 사실상 두 번 또는 더 자주 측정되는 문제가 발생하기도 한다.

❍ 따라서 이 같은 문제를 해결하기 위해 측정된 하중값을 정규화하고 편향되지 않는 최소 분산값을 갖는 센서하중의 추정값을 제공한다. 이를 위해 본 연구에서는 앞 절에서 조사 검토한 스칼라 칼만 필터를 사용하였으며, 스칼라 칼만 필터를 사용하여 개발한 매트릭스 WIM 시스템의 중량교정알고리즘은 [표 3.2.9] 및 [그림 3-2-37]과 같은 특성을 제공한다.

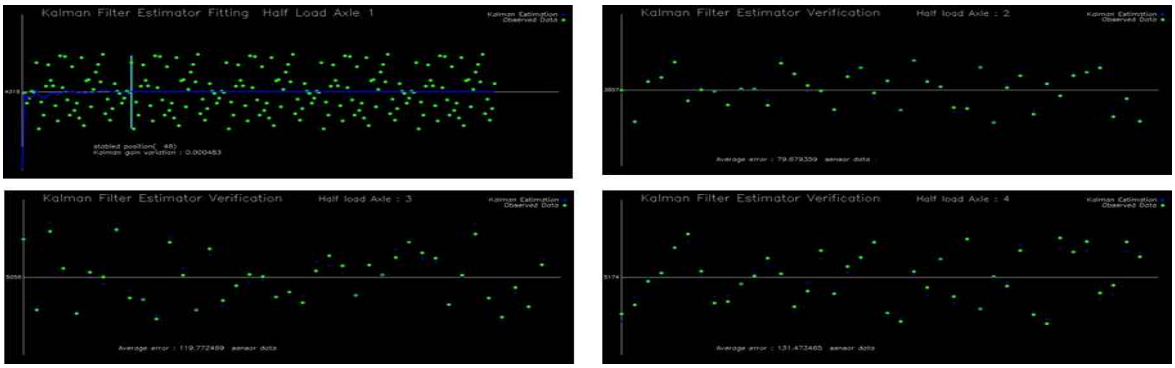
[표 3.2.9] 매트릭스 WIM 센서의 중량교정알고리즘 장단점

장 점	단 점
▪ 데이터 양산 적용에 유리 ▪ Deterministic Model 보다 안정된 결과 도출 ▪ Worst한 경우라도 추정값에 편향되지 않는 최소한의 편차를 제공함 ▪ Scala kalman Filter의 경우 최소의 연산으로 최적의 효과를 발휘할 수 있음	▪ 모델링 수립시 관련 방정식의 수립 필요 - R 방정식 - Q 방정식 ▪ 연산량이 증가할 위험이 있음



[3-2-38] 매트릭스 WIM 센서의 중량교정알고리즘 특성

❍ [그림 3-2-39]은 테스트베드 실험차량이었던 현대 트라고 25톤 화물차량에 7톤의 화물을 적재하고 주행한 경우 스칼라 칼만 필터를 이용한 알고리즘으로부터 추정한 센서 데이터를 예시한 화면이다.



[그림 3-2-38] 스칼라 칼만 필터를 이용한 센서 데이터 추정 예시

3.3 WIM 프로그램의 기능 및 데이터 구조 설계

가. 개요

- WIM 관리자(WIM-Manager)는 WIM 시스템을 운영하는 주요 프로그램이며, 연결된 WIM 센서와의 모든 상호 작용을 조정하고 동시에 사용자 인터페이스 (GUI)를 처리하며, 카메라 및 데이터베이스 등과 같은 다른 구성 요소와의 상호 작용을 조정하는 주 프로그램의 일부인 동시에 PC 응용 프로그램의 일부분으로 설계되었다.
- 따라서 WIM-Manager는 연결된 모든 센서로부터 데이터를 수집하고 수신 된 센서 데이터를 차량의 WIM 데이터로 변환한다. 차량에 대한 데이터 처리가 완성되면 차량 객체 자료는 주 프로그램에 전달된다.
- 테스트 및 개발을 위해 추가적인 메인 프로그램 없이 WIM 관리자를 시작하고 실행할 수 있는 클래스 WimManagerMain이 구축되었고, 일부 시뮬레이터는 WIM 소프트웨어의 특별한 특성을 작업하기 위해 개발되었다.

(1) WIM Sensor Communicator

- 단일 센서의 펌웨어와 통신하는 간단한 응용 프로그램으로서 펌웨어에 명령을 보내고 들어오는 응답과 들어오는 데이터 패킷을 표시한다.

(2) WIM Sensor Simulator

- 저장된 센서 데이터를 파일에서 읽어 TCP/IP를 통해 실행 중인 수신기 (WIM Sensor Communicator 또는 WIM-Manager)로 보낸다. 이 응용 프로그램을 통해 하나의 센서 또는 병렬로 실행되는 두 개의 센서 데이터를 전송할 수 있으며, 이를 통해 물리적으로 센서를 사용할 필요 없이 다양한 센서 설정을 에뮬레이트 할 수 있다.

나. WIM 관리자 내의 데이터 흐름

(1) Sensor와 PC 간의 패킷 형식

- 센서와 PC 간의 통신은 TCPIP 프로토콜을 사용하여 두 장치 간에 전송되는 패키지를 기반으로 한다. TCP/IP 프로토콜은 일부 장애로 인한 잘못된 데이터가 감지되어 올바르게 재전송되도록 한다.
- 센서와 PC 사이의 모든 데이터는 발신자와 수신자에 관계없이 패킷으로 전송되며, 센서에서 오는 모든 종류의 데이터와 센서로 전송되는 명령은 추가 데이터 유무와 상관없이 사용하는 패키지의 기본구조는 항상 [표 3.3.1]과 같다.

[표 3.3.1] WIM 데이터의 기본 구조

Description	Length [byte]	Offset
Start Byte 0xAA	1	0
Length of the packet	2	1
Content Descriptor	1	3
Optional Data	0 - ?	4
End Byte 0x55	1	?

❍ 위의 [표 3.3.1]에서 볼 수 있듯이 패키지의 길이는 다양 할 수 있으며 패키지 내용의 의미는 바이트 “내용 설명자“에 의해 결정된다.

(2) WIM 데이터 패키지의 구조

❍ WIM 데이터 패키지의 내용 설명자(Content Descriptor)의 길이는 는 1에서 31 비트 사이이며 WIM 데이터 패키지의 기본 구조는 [표 3.3.2]와 같다.

[표 3.3.2] WIM 데이터 패키지의 기본 구조

Description	Length [byte]	Offset
Start Byte 0xAA	1	0
Length of the packet	2	1
Content Descriptor (1 - 31)	1	3
WIM-Data Header	14	4
WIM-Data	2 - ?	18
End Byte 0x55	1	?

❍ 상기의 [표 3.3.2]의 내용설명자(Content Descriptor)의 의미는 [표 3.3.3]과 같이 그 비트가 포함되어 있는 패키지의 데이터 유형을 설명한 것이며, 데이터는 패키지의 오른쪽에서 왼쪽 순으로 순서대로 저장된다. (예 : 중량 데이터, 온도, 가속도, 습도). 데이터 유형의 비트가 0이면 해당 데이터가 패키지에 포함되지 않았다는 것을 의미한다. 특정 데이터를 PC에 보내도록 센서를 구성하는 명령이 있으며, 세부 내용은 “WIM 통신 패키지 구조“를 참조한다.

[표 3.3.3] 내용설명자(Content Descriptor)의 사용 비트

Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
Most significant							Least significant
Last in data package							First in data package
X	X	X	X	Moisture	Acceleration	Temperature	Weight Data

❍ WIM 데이터 헤더의 변수

[표 3.3.4] WIM 데이터 헤더의 변수

Description	Length [byte]	Offset
Time Stamp	8	4
Status of Sensor	4	12
Packet Number	2	16

❍ 무게(하중) 데이터의 구조는 [표 3.3.5]와 같고 각 비트 마스크는 다음 [표 3.3.6]]과 같이 작동하거나 센서의 모듈로 전송한다.

[표 3.3.5] 무게(하중) 데이터의 구조

Description	Length [byte]	Offset
Bitmask of working WIM Modules	1	18
Bitmask of transmitted WIM Data	1	19
Data of 1st transmitting module	32	20
Data of 2nd transmitting module	32	52
…		

[표 3.3.6] 센서 모듈의 비트 사용

Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
Most significant							Least significant
Last in data package							First in data package
X	X	X	Module 4 (Slave 4)	Module 3 (Slave 3)	Module 2 (Slave 2)	Module 1 (Slave 1)	Module 0 (Master)

❍ 단일 측정지점의 값은 16 비트 길이의 부호 없는 자릿수에 포함되며 측정지점 숫자는 모듈 0부터 시작하여 모듈별로 전송되고 모듈 4로 끝난다. 모듈에 전송할 데이터가 없으면(즉, 해당 측정지점으로 측정 된 하중치가 없음) 해당 비트가 0이고, 해당 길이가 32 바이트인 데이터 부분은 전송하지 않는다.

❍ 온도 데이터의 구조

- 센서 온도는 1 / 100 섭씨온도의 16 비트의 부호 있는 정수로 전송된다. (예 : 값 4100은 마스터 보드에서 측정한 온도값 41° C를 나타낸다.)

❍ 가속 데이터 구조

- 가속 데이터는 시퀀스 x, y, z 구성 요소에서 각각 길이가 16 비트 인 3 개의 값으로 구성한다.

❍ 습도 데이터 구조

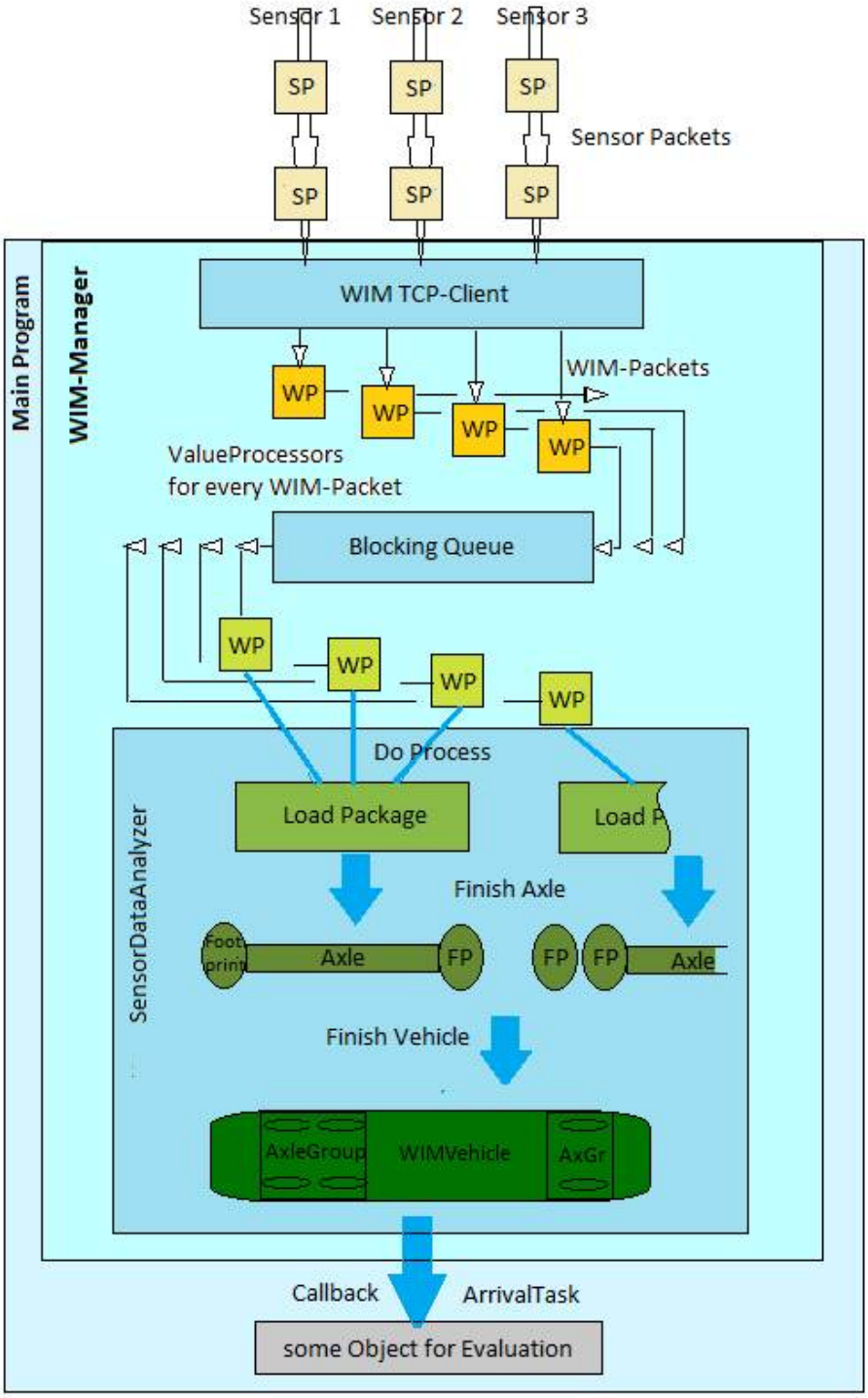
• 센서 내의 습도자료는 16 비트 길이의 부호 없는 정수로 전송한다.

[표 3.3.7] WIM 데이터 전체 패킷

오프셋	명칭	크기	제한 값	세부사항	설명
0	시작 바이트	1	0xAA		
1	길이	2	19 - 192	패킷 길이 - 3	데이터없는패킷은전송되지않음!
3	데이터 유형	1	1 - 31	현재데이터: 0:WIM-센서데이터 (값1), 1:온도(값2) 2:가속기(값4) 3:가속기모듈온도(값8) 4:마이크로폰(값16)	해당 바이트가 < 0 또는 > 31인 경우, 다양한 분석 데이터가 있는 요청 패킷이 전송됨. 요청은 PC로부터의 전송 명령에 의해 시작됨.
4	타임 스탬프	4			
8	상태	4			신뢰할만한상태, ExceptionCount
12	리셋 값	4		최종 리셋 타임 스탬프	
16	패킷 번호	2		unsigned short	++
18	작동 모듈	1	0 - 31	작동하는경우,모든모듈은그자체의비트세트를 가지고있음	바이트"데이터유형"의비트0이zero인경우,생략!
19	데이터 모듈	1	0 - 31	해당 패킷에 데이터가 있는 경우, 모든 모듈은 그 자체의 비트 세트를 가지고 있음	바이트"데이터유형"의비트0이zero인경우,생략!
20	모듈 데이터	32		모듈의 데이터 0.	바이트 18, 19의 비트 0은 반드시 전송됨!!
52	모듈 데이터	32		모듈의 데이터 1.	바이트 18, 19의 비트 1은 반드시 전송됨!!
84	모듈 데이터	32		모듈의 데이터 2.	바이트 18, 19의 비트 2는 반드시 전송됨!!
116	모듈 데이터	32		모듈의 데이터 3.	바이트 18, 19의 비트 3은 반드시 전송됨!!
148	모듈 데이터	32		모듈의 데이터 4.	바이트 18, 19의 비트 4는 반드시 전송됨!!
180	보드 온도	2			바이트 3의 비트 1은 반드시 전송됨!
182	가속기	6			바이트 3의 비트 2는 반드시 전송됨!
188	가속기-온도	2			바이트 3의 비트 3은 반드시 전송됨!
190	마이크로폰	4			바이트 3의 비트 4는 반드시 전송됨!
194	종료 바이트	1	0x55		

(3) WIM 데이터 패킷의 프로그램 내 흐름 및 기능

❍ [그림 3-3-1]은 WIM 데이터가 센서로부터 전송되어 하중을 표출과는 전체 프로세스의 개념을 설명한 것인데, 우선 들어오는 WIM 패킷은 readWIMPacket() 메서드 내에서 WIMTCPClient에 의해 검색된다. 이 메소드는 들어오는 데이터에 대한 TCP/IP 연결을 폴링하고 데이터가 없는 경우에는 2½ 초 후에 귀환한다.



[그림 3-3-1] WIM 데이터 패킷의 흐름

- 또한, 들어오는 패킷은 버퍼(wimPacketContent)에서 읽혀져 오류를 검사하고 오류가 발견되지 않으면 ValueProcessor(WIMTCPClient의 내부 클래스)로 넘겨진다.
- 모든 ValueProcessor는 자체 스레드에서 실행되며 이후 활동을 위해 적절한 객체에 데이터를 저장하고 해당 객체를 BlockingQueue에 넣은 직후에 종료된다.
- 2개의 BlockingQueues가 있는데, 하나는 센서 데이터 패킷용이고 다른 하나는 명령 응답용이다. 두 개의 Queue 모두 호출자가 소유하며 생성자 호출시에는 WIMTCPClient에 알린다. readWIMPacket()은 ValueProcessor가 시작되도록 트리거 한 직후, 가져와야 할 데이터들이 대기하고 있는 응답코드를 호출자에게 알리기 위해 즉시 귀환한다.
- WIMTCPClient의 호출자는 WIM 센서에 접근하려는 응용 프로그램에서 시작된 “endless“ 스레드이다. WIMSensorCommunicator의 경우, 이것은 FXMLDocumentController 내에서 startReading()이고 WIM 관리자의 경우에는 이것은 WIMSensor 내의 startReaderThread()이다.
- WIMSensor의 ReaderThread는 WIMTCPClient의 ValueProcessor처럼 자체 스레드에서 실행되는 새로운 작업을 통해 Queue에서 가져온 센서 데이터 패킷을 SensorDataAnalyzer로 전달한다.
- 테스크 DoAnalyse()는 SensorDataAnalyzer의 내부 클래스로서 실험실 조건에서 센서의 각 측정 지점에 대해 교정기능을 사용하여 센서의 원시 데이터를 kg 데이터로 변환한다. 그런 다음 변환된 중량 데이터는 “LoadTrails“에 배포되고 수집된다. LoadTrail은 데이터 흐름이 일시 중지 될 때까지 단일 측정점의 모든 연속 데이터를 유지하며, 또한 모든 센서의 모든 흔적을 동시에 포함하여 LoadPackages에 보관한다. 모든 데이터가 해당 loadTrails에 분배되면 DoAnalyse() 테스크가 타이머를 사용하여 작업을 시작하고 종료한다. 더 많은 데이터가 도착하면 타이머 (및 해당 테스크)가 중지되고 새 데이터가 loadTrails에 추가된다. 한편 타이머가 만료되면 즉, 데이터 흐름이 200ms 이상 일시 중지되면 대기 중인 작업은 현재 LoadPackage를 처리하기 위해 실행을 시작한다. 이 작업의 이름은 SensorDataAnalyzer의 내부 클래스인 ProcessLoadPackage()라고 한다.
- 테스크 ProcessLoadPackage()은 하중 패키지의 데이터로부터 타이어자국과 축하중값을 생성하게 되는데, 이때 하중 패키지는 센서 라인을 따라 만들어진 모든 하중궤적들(Load Trails)로 구성되어진다(센서 라인 = 구동 방향에서 동일한 y 좌표를 갖는 모든 센서의 라인). 하중이 없는 측정 지점에는 하중 흔적이 없으므로 타이어자국을 구분하는데 쉽게 적용할 수 있다. 즉 측정 지점에 하중 흔적이 없으면 타이어자국이 끝난 것으로 판단한다. 각 타이어자국은 타이어에서 도출되고 이는 차축을 만든다. 이 같은 작업은 센서의 선이 x 방향(도로의 측면에서 중앙까지의 방향)의 모든 범위를 측정영역으로 다루기 때문에 수행 할 수 있다. 작업이 끝나기 전에 ProcessLoadPackage()는 타이머를 사용하여 새 작업을 시작하여 축을 완료한다.
- 작업 FinishAxle()은 측정 지점의 측정이 차단 된 경우, 측정하지 못 한 하중 흔적에 대해 간단한 보상을 수행한다. 측정 지점이 막히면 하중 흔적이 없기 때문에 일반적인

크기의 타이어자국 2개가 아니라 좁은 타이어자국 2개가 발생한다. 또는 타이어자국 측면에서 측정지점이 차단되면 타이어자국이 너무 좁아서 타이어자국의 하중이 너무 낮게 계산된다.

- 누락 된 하중 흔적은 다른 측정 선의 동일한 흔적으로 대체된다. 모든 센서 라인은 두 개의 측정 라인, 즉 한 개의 선행 라인과 한 개의 후행 라인으로 구성되어 있으며 한 라인의 모든 포인트(측정지점)에는 자체의 하중 흔적이 있기 때문에 누락된 하중값을 대체 수행하여 얻을 수 있다. 또한 동일한 x 좌표에서 앞뒤 하중 흔적 간의 시간차가 차축의 속도를 계산하는 데 사용된다. 이 속도를 이용하여 타이어자국의 시간 길이를 길이의 연장으로 변환 할 수 있으며, 타이어자국의 기하학적 확장으로 알려진 타이어 자국의 측정 데이터는 타이어의 하중 측정에 사용한다(자세한 내용은 다음 장의 알고리즘 참조). 속도에 따라, FinishAxle()이 끝나기 전에 이 과정의 마지막 작업을 위한 타이머가 설정된다.
- 작업 FinishVehicle()은 최종 계산을 수행하고. 센서를 통과한 차량에 대한 결과값을 WIM-Manager 소유자에게 넘기는 일련의 과정의 마지막 작업이다. FinishVehicle()은 모든 축의 타임스탬프와 속도를 사용하여 축 사이의 거리(축거 또는 축간거리)를 계산하고 모든 축을 각각의 축 그룹에 배치한다. 측정된 축간거리가 설정한 임계값(현재 RocWimManager.properties 파일의 특성 “threshold.axlegroupDist“, 1,9m) 보다 작은 경우, 이 축은 동일한 축그룹의 일부로 판정한다. 프로그램 흐름의 구조를 단순화하기 위해 그룹에 단 하나의 축만 있어도 모든 축은 축그룹에 속한다고 정의한다. 통과차량의 평균속도와 총중량을 계산 한 후 작업을 완료하고, “ArrivalTask“라는 콜백 메커니즘을 사용하여 WIM-Manager 소유자에게 결과를 전달한다.

(4) WIM 관리자의 호출 인터페이스 및 기능

- WIM 관리자를 호출하는 주 프로그램은 작업-객체를 제공해야 하며, 이 객체는 차량에 대한 작업이 완료되자마자 WIM 관리자가 시작할 수 있도록 해야 한다. 이 같은 목적을 달성하기 위해 주 프로그램은 WIM 관리자 클래스 “VehicleArrived“에서 파생된 클래스를 구현해야한다. “VehicleArrived“ 자체는 “Task“에서 파생되므로 WIM 관리자는 현재 Vehicle을 “VehicleArrived“의 전역 변수에 저장 한 다음 JavaFX의 주 스레드에서 이 작업을 시작한다(GUI로 출력이 가능토록 한다).
- “Task“ 클래스의 객체는 두 번 사용할 수 없으므로 새 Task 객체를 WIM 관리자에게 전달하기 위해 getNewTask() 메소드를 덮어씌운다. 첫 번째 작업 개체는 setTaskToReturnVehicle() 메서드의 호출을 통해 WIM 관리자에게 전달한다. 이 작업을 통해 차량으로부터 모든 데이터를 추출할 수 있으며, GUI를 통한 표출 및 추가 작업을 수행할 수 있다. 이때 응용 프로그램인 JavaFX의 메인 스레드에 부하가 발생하지 않도록 다른 스레드에서 새 작업을 사용하면 처리 속도가 더 빨라질 수 있다.

다. WIM 관리자의 데이터 구조

- WIM 관리자의 주요 데이터 구조는 들어오는 센서 데이터를 쉽고 빠르게 처리하고 분석 할 수 있도록 설계하였다. 따라서 데이터 구조는 센서의 물리적인 구성 요소는 반영하지 않으며 바퀴, 차축과 같은 기본항목을 제외하고는 트레일러와 같은 실제 차량은 데이터 구조에 반영하지 않는다. 이전에는 소프트웨어의 개발을 통해서 센서를 개선하고자 했었으나, 이 같은 방법은 MP(측정 지점)를 해당 모듈에 적정하게 재배치해야 하는 등 전반적인 작업이 훨씬 복잡하고 추가적인 노력이 요구되었다. 그러나 MP의 데이터를 사용하는 경우, 프로그램이 MP의 좌표를 사전에 인지하고 있기 때문에 MP가 어떤 모듈이나 배열에 위치하든 적절한 데이터를 제공하기만 하면 정확한 자료 획득에 전혀 상관이 없다.
- WIM 관리자와 같은 프로그램의 구조가 갖는 주요 문제는 센서의 정확한 동기화이다. 모든 센서는 데이터가 동시에 측정 된 경우 동일한 타임스탬프로 데이터를 제공해야한다. 이와 같은 시간의 평준화는 WIM 관리자가 모든 센서를 대상으로 연결을 설정하는 시작시간에 실행된다. 따라서 WIM 관리자 소프트웨어의 데이터 수신 및 분석 부분에는 기본적으로 타임스탬프를 조정하는 추가적인 루틴은 존재하지 않는다. 모든 타임스탬프가 유효하다고 간주하고 다른 타임스탬프와 비교하며, 모든 소프트웨어를 간단하고 빠르게 유지한다.

(1) WIMPacket

- WIMPacket에는 수신 된 모든 센서 데이터가 준비된 방식으로 포함되어 있어 추가적인 변형 방법을 사용하지 않고도 쉽게 액세스 할 수 있다. 모든 MP(측정 포인트) 데이터는 센서의 선행 라인과 후행 라인에 할당되는데, 선행 및 후행 라인 사이에서 MP는 물리적으로 서로 45mm 떨어져 있다. WIMPackets은 WIMTCPClient 내에서 동시에 수행하는 작업 “ValueProcessor ()“로 작성된다.

(2) WIMSensor

- 클래스 WIMSensor는 WIM 관리자에 연결된 단일 센서의 모든 정보를 캡슐화한다. 시스템의 각 센서에는 자체 WIMSensor 객체가 존재한다. 객체의 주요 데이터는 public sensorIndex(내부 센서 ID, 0부터 시작)와 상호 연결된 센서와의 통신을 유지하기 위한 WIMTCPClient 유형의 tcp 인터페이스이다. startReaderThread() 메소드 내에서는 모든 WIMSensor 객체로 들어오는 센서 패킷을 폴링한다. 데이터 패킷이 들어오면 새로운 작업인 DoAnalyze()를 시작하여 데이터 대기열에서 검색하여 SensorDataAnalyzer에 게시하도록 한다(앞 절의 프로그램 흐름 참조).

(3) SensorLine

❍ SensorLine은 일정한 타임스탬프 내에서 항상 같은 y-좌표(운전방향)에 해당하는 한 개의 센서의 데이터를 보유하는데, 이때 x-좌표(도로측면에서 차로 중앙 방향)의 값은 증가한다. 데이터는 원시 형식이거나 kg로 변환하여 표현할 수 있다. 모든 센서는 2개의 별도 라인의 MP(측정 지점)로 구성되기 때문에 모든 WIMPacket에는 2개의 SensorLine 객체, 한 개의 선행 라인 및 한 개의 후행 라인이 있다.

(4) SensorConfiguration

❍ WIM 관리자는 SensorConfiguration 클래스에 단일 정적 개체를 포함하고 있어, 포함하고 있는 모든 센서에 대한 위치 정보에 빠르게 접근할 수 있다. 특히 연결된 센서를 기준으로 센서 라인의 MP 오프셋에 대한 정보에 빠르게 액세스 할 수 있으며, SensorConfiguration은 센서가 측정을 시작하기 전에 설정된다.

(5) LoadTrail

❍ Loadtrail은 사전 정의된 임계값을 초과하는 단일 MP(측정 지점)의 모든 연속 데이터를 포함하고 있다. 이 MP에 부하(하중)가 없으면(측정 된 값이 사전 정의 된 임계 값 미만) 시작된 Loadtrail이 종료되는 반면, 하중(부하)이 임계값 이상으로 다시 올라 오자마자 새로운 Loadtrail이 시작된다. Loadtrail의 주요 요소는 MP의 ID(sensorIndex 형식, sensorLine의 상대 위치, 선행라인 또는 후행라인) 및 kg 데이터와 타임스탬프가 있는 2개의 목록으로 구성되어 있다.

(6) LoadPackage

❍ LoadPackage는 들어오는 데이터를 수집하기 위한 임시 데이터 구조이며 센서 라인의 모든 LoadTrails를 포함한다. SensorLine의 데이터 구조와는 달리 센서의 라인이라 함은 동일한 Y 좌표(주행 방향)값을 갖는 실제 선상에 위치한 모든 센서로 이루어져 있으며 도로를 가로 지르고 있다. 따라서 LoadPackage는 가능한 모든 x 좌표(도로의 측면에서 차로 중간 방향)값을 포괄하며 단일 축과 관련된 모든 측정값을 연속적으로 유지한다. 또한 속도 계산을 위해서 모든 LoadPackage에는 프론트(선행) 라인과 백(후행) 라인에 대하여 고유한 Loadtrails이 존재한다. 하중(부하)이 없는 MP(측정 지점)에는 Loadtrail이 없기 때문에, 순차적으로 X 좌표를 증가시키면서 간격을 두지 않고 서로 인접한 Loadtrails를 확인함으로써 타이어와 타이어자국을 쉽게 식별할 수 있도록 한다.

(7) Footprint

❍ 타이어자국은 x-방향(도로의 측면에서 차로 중앙으로 향하는 방향)으로 빈틈없이 서로 옆에 붙어 있는 Loadtrails 패키지로 구성한다. 시작 지점에서 타이어자국은 기하학적

단위로는 x-방향으로 정보를 포함하지만 타임스탬프 단위로는 y 방향(차량주행 방향)으로 정보를 포함한다. 데이터 처리 중에는 모든 시간 단위가 변환되어 기하학적 단위로 표준화된다. 이 같은 정규화 작업 이후 타이어자국은 타이어가 땅에 닿는 땅의 영역으로 정의된다.

(8) Axle

- 차축은 실제 차축과 타이어에 의해 생성되는 모든 타이어자국을 담는 컨테이너이다. 차축의 y-좌표(차량주행 방향)값은 타이어의 모든 Loadtrails의 중간 타임스탬프에 계산된 값으로 유지하지만 선행라인과 후행라인에 대한 2개의 y-좌표값은 별개로 유지한다.ㅍㄷ

(9) AxleGroup

- 각 축은 그룹에 축이 1개 이상 있는지 여부에 상관없이 무조건 AxleGroup에 보관한다. 이는 분석이 완료된 차량에 대한 표출 및 프로그램의 흐름을 간소화하여 준다. AxleGroup 내에 속해있는 모든 차량 축들은 WimManager.properties 파일의 “threshold.axlegroupDist“ 속성에 정의된 최대값 보다 작은 거리를 가지고 있다.
- AxleGroup의 수를 확인하면 트레일러 및 세미 트레일러를 쉽게 식별 할 수 있다. 현재 많은 국가에서 축그룹에 기반한 중량 제한 제도를 운영하고 있으며. 빠른 정보의 접근을 위해 AxleGroup에 관련한 변수는 대부분 공개되어 있다.
- y 좌표(차량주행 방향)는 차량의 첫 번째 차축(y 좌표값이 0)과 관련하여 mm 단위를 사용하며, AxleGroup에는 변수 totalLoad도 포함하고 있다.

(10) WIMVehicle

- WIMVehicle은 WIM 관리자가 호출자에게 전달하는 결과 개체이다. 주로 차량의 AxleGroup과 축그룹과 축그룹 사이의 거리를 나타내는 2개의 배열 형태로 구성된다. 물론, 차량의 무게를 얻는 것이 모든 노력의 최종 목표이기 때문에 변수 totalLoad(총중량)도 존재한다.

3.4 과적단속시스템의 구성 및 기능

가. 시스템의 개요 및 구성

(1) 개요

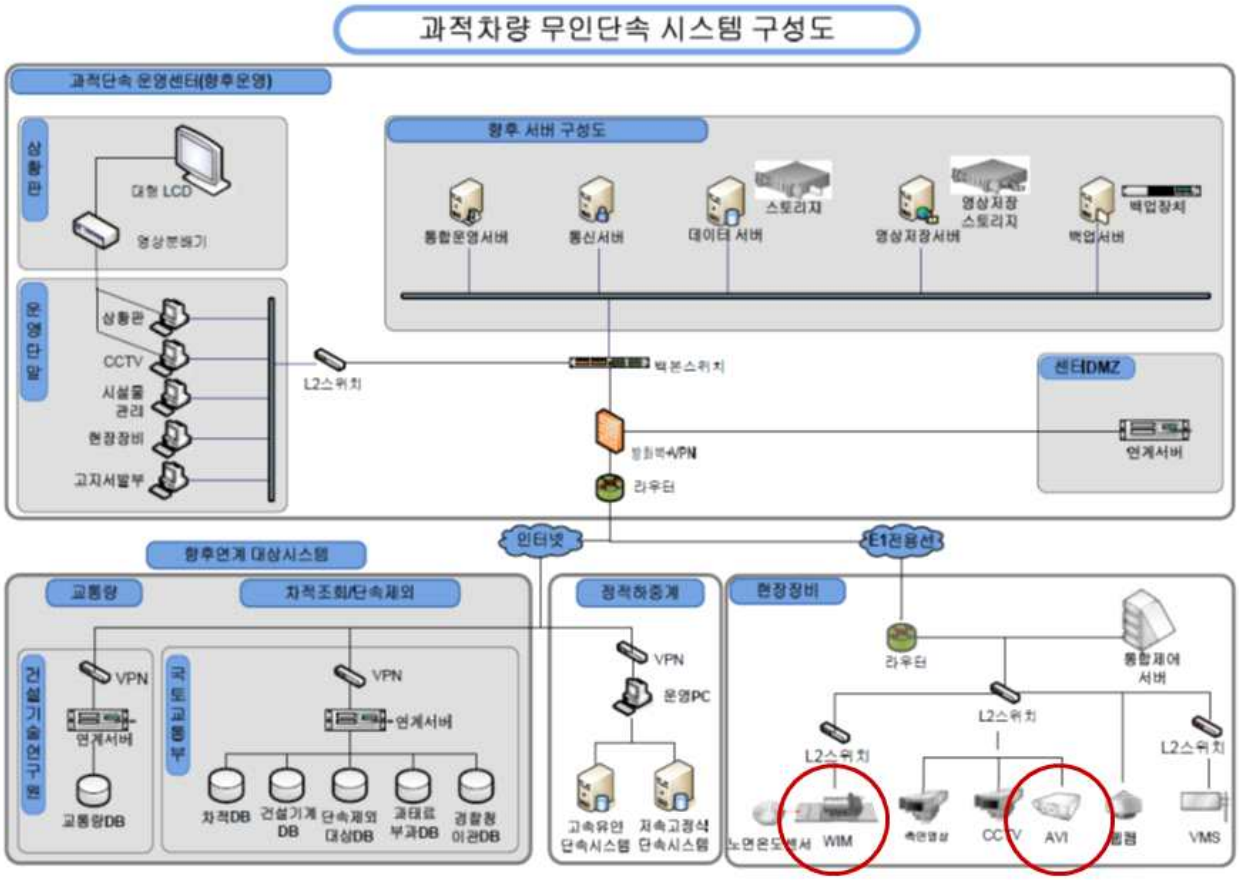
- 운행제한(과적)차량은 국가의 주요시설인 도로 및 교량 구조물의 내구 연한을 단축시켜 이에 따른 유지·보수비용을 증가시키고, 교통의 안전측면에서는 차량의 조종 및 제동 능력이 떨어지므로 대형 사고의 원인으로 지적되고 있으며, 주행성능이 승용차 등 타 차량에 비해 상대적으로 저하되어 도로용량의 감소 등 도로자원의 효율적 활용이 제한되고 매연, 소음 및 진동 등이 많아져 주요 환경오염원으로 지적되고 있다.
- 따라서 운행제한(과적)차량으로 인하여 발생되는 이러한 국가차원의 직·간접적인 손실을 줄이고 대형 교통사고로부터 국민의 생명과 재산을 보호하기 위해 정부는 운행제한 고정검문소와 순찰차량을 이용하여 운행제한(과적) 차량을 수시로 검문하는 이동검문소를 운영하는 등 과적차량단속시스템을 차량의 운행제한 업무에 사용하고 있다.
- 이 같은 과적차량단속시스템을 구성하는 장비에 대한 정의 및 관련 내용은 국토교통부 훈령 「차량의 운행제한 규정」에 일목요연하게 정리 설명되어 있으며, 특히 본 과제의 핵심인 고속 WIM 시스템과 차량번호판 자동인식장치는 과적차량단속시스템을 구성하는 주요 장치이다.

(2) 시스템 구성

- WIM 센서를 이용하여 위반차량을 적발한 후[1], 위반차량의 영상(위반사항, 장소, 시간, 영상 등)을 중앙처리센터로 전송하여 자동적으로 과태료 납부고지서를 발부하는 기능을 수행한다. 물론 계측을 거부하고 도주하는 차량 또한 적발하여 고발하도록 되어 있는데, 이 시스템은 위반차량을 검지하는 지역제어장치(Remote Site), 검지데이터를 중앙처리장치에 전송하는 통신장치, 그리고 전송된 데이터를 수신하여 처리, 저장하는 중앙처리장치(Central Unit)로 구성한다. 시스템 운영은 각 관련 기관 단위로 설치된 중앙처리장치에서 분산처리 한다.
- 향후 무인단속으로 진행될 과적차량단속시스템의 제반적인 구성 방안은 [그림 3-4-1]과 같이 구축·운영될 것으로 예측되는데, 본 과제에서는 붉은 색으로 표시된 WIM 장치, 차량번호판 자동인식장치 그리고 이를 운영할 수 있는 로컬호스트 개념의 지역 센터 컴퓨터 장치를 시스템의 구성요소로 설정하여 테스트베드 운영 및 평가시험 등을 수행하는데 적용토록 한다.

---

1) 현행 과적차량단속시스템에서는 고속축중기를 이용하여 과적혐의차량을 선별한 후, 이를 저속축중기로 또는 총중량을 계측하여 위반여부를 판단한다. 그러나 과제에서는 무인단속(주행차로 또는 검문소 내의 측정차로에 차량 제원을 자동으로 측정할 수 있는 장치를 설치하여 차량의 운행제한 위반을 무인 방식으로 상시 검사·단속하는 방법)의 개념으로 운영방식을 설정함



[그림 3-4-1] 과적차량단속시스템의 제반적인 구성 방안 개념도

나. 지역 센터 중앙 처리장치의 기능

❍ 지역 센터(현장)의 중앙 처리장치는 중앙제어부, 운영관리부, 통신제어부, 출력부, 그리고 전원부로 구성된다. 중앙 처리장치는 전체 지역 제어장치를 총괄 관리하며 현장에서 전송된 데이터로부터 자동 차적 조회, 영상출력, 위반 사실 통지서 발부, 각종 통계자료를 산출하는 기능을 수행한다.

❍ 중앙 처리장치의 주요 구성요소인 중앙제어부, 운영관리부, 통신제어부, 출력부, 그리고 전원부의 세부 사항은 다음과 같다.

(1) 중앙제어부(DB 서버)

❍ 중앙제어부는 현장 제어장치에서 전송된 데이터를 저장 관리하고 운영 컴퓨터 및 중앙 시스템을 관리하여야 한다. 이를 위하여 대용량의 보조기억장치를 가지고 있어야 하며 안정적인 시스템을 구축 한다. 중앙제어부는 운영컴퓨터와 네트워크로 구성되어 있어 복수개의 운영 컴퓨터를 설치 운영할 수 있으며, 기존 제품과 호환성을 유지하면서 온라인 통신 및 중앙 집중관리를 할 수 있다. 중앙제어부에 저장되는 영상 및 위반

증거자료의 보관 규모는 지역 제어장치 수에 따라 다르므로 적정 규모로 설계 한다. 지역 제어장치에서 전송 받은 데이터 중 고지서 발부와 과태료 납부 등 일련의 과정이 완료된 것은 2년 동안 보관한다. 단, 미처리된 차량의 데이터는 영구 보관이 가능하다.

❍ 중앙제어부의 수행기능

중앙 처리장치의 중앙제어부는 현장제어기에서 전송된 단속 정보, 제어기 상태정보, 기타 교통정보의 저장기능 및 자기진단기능을 DB서버를 통하여 수행한다. 중앙제어부의 수행기능은 다음과 같다.

• 온라인 설계 및 운영 기능

현장제어장치와 중앙처리장치 등은 독립적으로 오픈 아키텍처형태의 구조를 가지도록 설계하였으며, 모듈별로 업그레이드가 가능하다. 기능 및 시스템(현장제어장치) 추가 시 모듈의 호환성 문제로 인하여 시스템의 동작에 지장을 초래하지 않는다.

• 자기 진단 기능

중앙제어부는 시스템 부팅 및 운영 중 자기 진단 기능을 가져야 한다. 중앙제어부는 시스템에 이상이 있을 때에는 즉각적으로 조치할 수 있도록 자동적으로 다음의 항목들의 내용을 포함하여 모니터 상에 경보 표시와 함께 상태 내용 설명 문구를 표시 한다.

- 보조기억장치의 연결 상태
- 통신망의 접속 상태
- 각 서버의 연결 상태
- 전원관리시스템 및 중앙처리장치의 운영상태 감시

(2) 운영관리부

❍ 중앙 처리장치의 운영관리부는 중앙제어부에서 데이터를 읽어 현장제어장치 상태 감시, 현장제어장치 제어, 위반차량 관리, 데이터베이스 관리, 자동 차적 조회 및 추적, 데이터 백업, 통계관리 등의 기능을 수행한다. 운영관리부는 컴퓨터 운영자 및 일반 관리자가 온라인 무인 감시 시스템 전체를 운영 컴퓨터를 통하여 관리가 가능하도록 구성 한다. 온라인 상태에서 중앙 처리장치는 전체 시스템을 관할하므로, 중앙 처리장치의 운영관리부는 특정 사용자만이 조작할 수 있도록 보안 프로그램으로 구성 한다. 저장된 영상 및 자료들은 특정인에 의해서만 암호로 접근 할 수 있다. 수정 등의 행위가 발생될 시에는 수정 내용을 파일로 자동 저장되도록 자료의 관리가 이루어진다.

❍ 운영관리부의 수행기능

중앙 처리장치의 운영관리부는 위반차량 관리, 데이터베이스 관리, 현장제어기 제어 및 감시, 자동 차적 조회 및 추적, 데이터 백업, 그리고 교통특성 분석 및 통계관리 등의 기능을 운영컴퓨터를 통하여 수행한다. 운영관리부의 수행기능은 다음과 같다.

• 위반차량 관리 기능

중앙 처리장치의 운영관리부는 과적 등의 위반 항목에 대해 다음과 같은 정보를 제공하고, 각각의 데이터베이스에 동시 기록하여 운영자에 의한 조회 기능을 수행한다.

- 일련번호(지역 코드)
- 날짜, 시간
- 차량 번호
- 차량 소유주
- 관할 부서 통보서 출력
- 차종분류

• 데이터베이스 관리 기능

중앙 처리장치의 운영관리부는 다음의 데이터베이스를 관리 한다.

- 과적 위반 데이터베이스
- 갓길 통행 위반 데이터베이스
- 계측불응 및 도주차량 데이터베이스

• 현장 제어장치의 감시 및 제어 기능

운영관리부는 통신제어부를 통하여 원격지 지역제어장치 운영 상태를 감시하고 필요한 경우에는 원격 제어를 할 수 있도록 다음 기능을 가진다. 중앙제어부는 현장제어장치에 이상이 있을 경우 즉각 조치가 가능하도록 모니터 상에 고장 표시를 나타낸다.

- 지역제어장치의 전원 상태
- 카메라 및 플래시의 동작 상태 확인과 조절 기능(민감도, 모드 선택 등)
- 타 장비와의 접속 상태
- 각 지역제어장치와의 통신 상태
- 원격 전원 제어
- 센서 등 검지기의 작동 상태

• 차적 조회 기능

중앙 처리장치의 운영관리부는 일반 차량의 차적 조회는 물론 특정 차량(특수 번호판 장착 차량)에 대한 정보가 필요한 경우 데이터베이스에 접속시켜 정보의 검색이 가능하다. 또한, 등록 지연 및 미등록 차량에 대한 데이터는 별도 관리되어 비정기적으로 수동 차적 조회 기능을 수행한다.

- 검색 정보 : 개인 정보(성명, 주소, 주민등록번호) 등

• 데이터 백업 기능

중앙 처리장치의 각 시스템은 어떠한 경우에도 데이터를 보관 한다. 중앙 처리장치의 운영관리부는 중앙 처리장치에 저장되는 데이터를 백업하는 기능을 수행한다. 운영관리부는 다음의 내부 및 외부 보조 기억장치를 이용하여 중앙 처리장치에 저장되는 데이터에 대하여 백업 및 장기간 보관기능을 수행한다.

- 내부 보조기억 장치(Hard Disk)
- 외부 보조기억 장치(Disk Array, Juke Box 등)

(3) 통신제어부

❍ 중앙 처리장치의 통신제어부는 각 현장제어장치의 통신제어부를 통하여 현장 데이터를 수신 받고 각 제어 신호를 현장 제어시스템으로 보낸다. 중앙 처리장치의 통신제어부는 각 현장 통신제어기에 오류 체크(Error Check)신호를 주기적으로 발생시킨다. 이를 수신한 현장 통신제어기는 통신오류의 유무를 파악하고 중앙 처리장치의 통신제어부로 결과를 전송한다. 통신제어부는 이러한 일련의 네트워크 연결기능을 통신서버를 통하여 수행한다.

❍ 네트워크 연결 기능

중앙 처리장치와 현장 제어장치의 개별 장비는 고속 네트워크로 연결되어 다음 기능을 가진다.

- 현장 제어장치와 중앙 처리장치의 시간 일치 확인(정기적(1일 2회 이상) 또는 비정기적) 및 재설정 기능
- 파일 전송 기능
- 메시지 전송 기능
- 리모트 부팅(REMOTE BOOTING) 기능
- 시스템의 IP 주소(ADDRESS) 자동 인식 기능
- 원격지 프로그램 다운로드(DOWN LOAD) 기능
- 리모트 로그인(REMOTE LOGIN) 기능
- 중앙 처리장치 시간 확인은 일주일 간격으로 운영자가 자동 또는 수동으로 표준시간을 맞출 수 있도록 별도의 기능을 부여

❍ 통신제어부 통신 요건

- 통신 규약은 국제 표준안을 준수하며 프로토콜 등을 공개하여 추후 시스템 추가시 호환성을 갖춰야 한다.
- 현장제어장치와 중앙처리장치 간에는 TCP/IP 또는 1:1 시리얼 통신이 가능하여야 한다.

• 에러 보정을 위하여 1:1 시리얼 통신기능이 제공되어야 한다.

(4) 출력부

❍ 중앙 처리장치의 출력부는 현장 제어장치에서 수신된 정보를 근거로 하며 외부 및 내부 데이터베이스 정보를 참조하여 위반차량 사진 출력, 위반차량 처리부를 출력한다.

❍ 출력부는 위반사실 통지서 발부기능 및 각종 출력 기능을 프린터를 통하여 수행한다.

❍ 위반 사실 통지서 발부 기능

중앙 처리장치의 출력부는 현장 제어장치에서 수신된 정보를 근거로 하며 외부 및 내부 데이터베이스 정보를 참조하여 고지서를 수동 및 자동으로 발부할 수 있으며, 수동으로 발부한 데이터에 대해서는 별도로 관리할 수 있다. 출력부는 차량 사진 출력 및 해상일지, 위반 차량 처리부를 출력한다. 출력 영상 및 업무 출력은 칼라 또는 흑백으로 한다. 시스템에서 단속된 차량을 인지하여 고지서 발급까지는 1개의 단속 자료를 기준으로 할 경우 60초 이내에 출력되어야 한다. 보관되는 영상은 원래의 촬영 영상과 동일하며 인위적인 처리를 하지 않아야 하고 일정 기간 임의로 삭제되지 않는다. 다만 출력(고지서 발급)시에는 초상권 침해를 막기 위해 자동 혹은 인위적 처리에 의해 동승자의 얼굴을 가리는 기능을 가진다. 출력 부분에는 다음과 같은 내용이 포함 한다.

- 위반 사항(과적위반)
- 위반차량 번호 및 차량 영상(운전자 확인 가능한 영상)
- 제한 속도, 위반 일시, 주행 속도, 위반 장소

(5) 전원부

❍ 중앙 처리장치의 전원부는 무정전 전원장치를 설치하여 자동전압 조정 기능 또는 정전시 전원 절체 기능을 수행 한다.

❍ 자동전압 조정 기능

중앙 처리장치의 전원부는 사용 전원의 변동에 따른 장애 요소를 제거하는 자동 전압 조정기능과 정전 시 시스템을 정상적으로 동작시킬 수 있는 전원 절체 기능을 가진다. 전압 조정 기능은 과전압, 과전류, 서지, 과충전, 과방전 등을 방지하는 기능이다.

(6) 중앙 처리장치의 SW 기능

❍ 중앙 처리장치는 앞에서 언급했듯이 전체 현장 제어장치를 총괄 관리하며 현장에서 전송된 데이터로부터 자동 차적 조회, 영상출력, 위반 사실 통지서 발부, 각종 통계자료를 산출하는 기능을 수행한다.

❍ 따라서 현장 과적단속시스템 중앙처리 장치의 소프트웨어는 [표 3.4.1]과 같은 기본 요구기능을 만족하고 수행하여야 한다.

[표 3.4.1] 과적단속시스템 중앙처리 장치의 SW 요구기능

	구 기 능
DB	▪ 과적위반차량정보, 교통정보, 영상자료 및 통계정보 등 데이터베이스 관리 ▪ 차적조회 추적 ▪ 교통정보 처리 및 관련자료 통계처리 ▪ 자가진단 및 보완 프로그램 ▪ 데이터 백업
통신서버	▪ 현장제어장치 상태정보 처리 ▪ 과적위반차량정보 처리 ▪ 통과차량, 교통정보, 영상정보, 시간정보 등 처리 ▪ 제어정보 처리 및 통신관리
운영단말	▪ 과적위반차량 관리 ▪ 차적조회 관리 ▪ 과적위반차량통지서(과태료 고지서) 발부 ▪ 교통정보 및 통계정보 관리 ▪ 현장제어장치 환경설정 및 제어 ▪ 시스템 유지관리 ▪ 사용자 관리

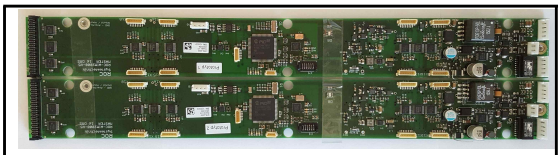
다. 과적차량단속 장비 H/W 구성 및 기능

❍ 과적차량단속시스템의 구성은 지역제어기 [단속용 부제어기는 중앙제어유닛 모듈(CCU : Central Control Unit, 이하 CCU 모듈이라 함), 전원장치, 단자대, 함체 등]와 촬영부, 검지부, 제어부, 중앙감시부, 중량측정장치부, 함체부, 구조물부로 구성되며, 과적단속시스템의 함체 외형 및 설치된 모습은 [그림 3-4-2]와 같다.

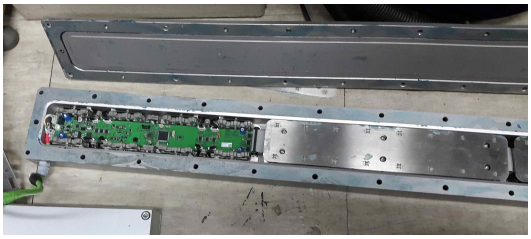
❍ 일반적으로 WIM 제어기는 아래 오른쪽의 그림과 같은 모습으로 WIM 센서가 설치되는 도로변 주변에 설치된다.

그러나 본 기술사업화지원사업에서 개발 적용한 매트릭스 WIM 센서 시스템 장치는 [그림 3-4-2]의 a)에 표현된 것과 같이 차량의 중량을 측정하는 WIM 센서(로드셀)와 이를 제어하고 정보를 전송하는 등의 역할을 수행하는 주기판(1개의 Master Board) 및 보조기판(4개의 Slave Board)이 센서 하우징에 장착되어 있는 일체형 타입의 센서 시스템이다. 따라서 매트릭스 WIM 센서와의 성능비교를 위해 테스트베드 현장에 설치된 오른쪽 그림과 같은 Kistler 센서의 현장제어기와는 다른 형태의 모습을 나타낸다.





[매트릭스 WIM 제어 주기판]



[하우징에 WIM 제어 주기판 장착 모습]



[현장 설치된 모습]

a) WIM 제어기 장치



b) 번호판 자동인식 제어기 장치

[그림 3-4-2] 과작차량단속시스템 현장 제어시스템 구성

(1) 현장 차량번호 판독장치의 구성

- ❍ 차량번호 판독 시스템은 촬영부, 검지부, 제어부, 함체부 와 센터운영부를 포함하여 구성되며 중량측정장치부와 연동하여 작동한다.
- ❍ 촬영부는 촬영에 기본적인 카메라, IR-LED 조명, 렌즈, 하우징, 팬틸트, 제어보드, PT제어보드로 구성된다. 조명은 야간에 안정적인 영상을 확보하기 위하여 장착되며, 차량 검지 트리거 신호에 따라 카메라와 동기화 되어 동작하도록 구성된다.
- ❍ 검지부는 차량의 진입을 검지하기 위한 수단으로 기본적으로는 루프 검지방식으로 또는 매설식 또는 비매설식 레이저 방식으로 구성되며, 현장 상황 또는 이중화를 위해 혼용이 가능하다.
- ❍ 제어부는 촬영부의 영상을 가공, 처리를 수행하여 차량번호를 인식하며, 시스템 장치의 상태를 모니터링하고 전원을 제어하여 시스템의 운영을 제어하고, 차량검지를 통해 주행 차량을 검지고, 통신장치를 통하여 인식/수집된 차량정보를 센터에 전송한다.
- ❍ 센터운영부는 제어부에서 가공하여 전송하는 차량정보를 수신하여 실시간 모니터링/저장 기능을 수행하고. 이를 토대로 영상을 손쉽게 검색하고, 특정차량의 알람기능과 통계 및 보고 기능을 기본으로 수행하며, 저장용량이나 네트워크 구성에 따라 선택적으로 서버를 구성한다.

❍ 특히 DB 서버 또는 대용량 DB 서버에서는 수십 대의 차량번호 판독장치의 정보를 수신하여 가공 및 처리가 가능하도록 구성이 가능하며, 이기종간의 통합을 가능하게 하는 기능을 제공한다.



[그림 3-4-3] 현장치의 구성요소

❍ 국토교통부 훈령「차량의 운행제한 규정」에는 ‘“차량 번호판 자동인식 장치“란 자동으로 차량을 감지하고 차량의 번호판을 인식하여 차량 번호 및 사진자료 등을 기록·저장할 수 있는 장치를 말한다.’고 정의되어 있으며, ‘“제한차량 감시장치“란 혐의차량을 선별하기 위한 장치로서, 고속축중기와 차량 번호판 자동인식 장치 등의 조합을 말한다.’ 따라서 차량번호 판독장치는 과적단속시스템의 중요 현장장비로 사용되며, 이에 적합한 영상취득을 위한 카메라의 기본규격은 다음과 같이 설정한다.

- 카메라 기본규격

  현장 제어장치의 영상취득부의 카메라는 위반 사항의 영상을 포착하는 중요한 입력 장치이다. 영상취득부의 카메라는 차량번호판 자동인식율이 90% 이상(오인식율 2%미만)을 갖을 수 있도록 가시영역 및 적외선 영역의 영상을 감지하는 고해상도를 가져야 한다.

• 카메라 렌즈 기본규격

지역 제어장치 영상취득부의 렌즈는 촬영 위치를 변경할 수 있는 기능을 가지고 있어야 하며 줌 및 초점은 원격 조정이 가능하여야 한다.

• 조명기기 기본규격

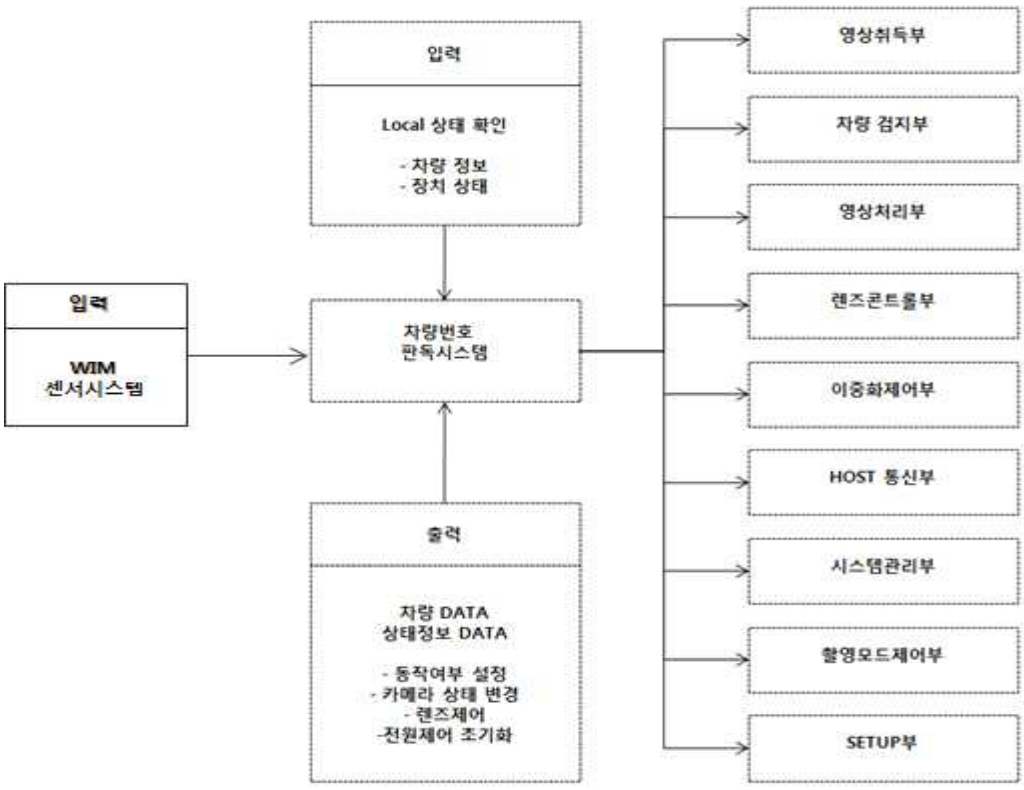
현장 제어장치 영상취득부의 조명기기는 카메라가 작동하여 촬영이 가능하도록 원하는 차량에 정확히 주사하여 운전자를 확실히 구분 가능하도록 하여야 하며 운전자의 시각을 방해하지 않아야 한다. 또한 주위의 밝기 또는 영상의 상태에 따라 자동으로 조명조절이 가능하여야 한다. 영상취득부 조명기기는 적외선 필터(700nm 이상)를 사용하여야 한다.

• 카메라 하우징 기능

지역 제어장치 영상취득부의 카메라 하우징은 필요시 조명 기기와 카메라를 동시 또는 분리하여 장착할 수 있어야 하며 열악한 환경(혹한, 혹서, 강설, 강풍 등의 기상 변화, 공해 등에 의한 부식 등)에서도 시스템의 안정성을 보장할 수 있게 산업용(NEMA) 규격 이상으로 설계한다.

(2) 차량번호 판독장치의 주요 기능 및 성능

❍ 기능 구성도



[그림 3-4-4] 주요 기능 구성도

❍ 차량번호 판독장치(차량 번호판 자동인식 장치)는 영상촬영 및 검지가 주요기능이며 관련 세부 기능은 다음과 같다.

(가) 영상 촬영 기능

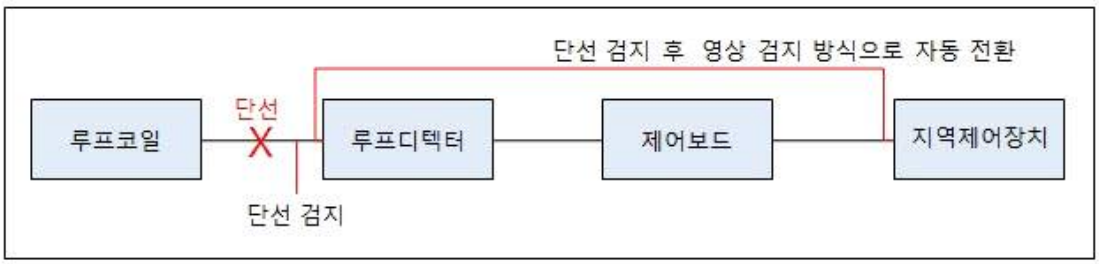
- 차량 검지부의 차량검지신호에 따라서 촬영을 수행하며, 촬영된 영상을 지역제어장치에서 수신하여 영상처리, 번호인식 및 전송하는 기능을 수행한다.
- 특히 차량의 전면부를 포함하여 3 frame의 영상을 획득하며, 또한 정상차로와 반대로 중앙선을 넘어 역주행 차량의 판별기능을 제공한다.



[그림 3-4-5] 차량번호 판독장치의 영상 촬영 기능 예시

(나) 검지방식의 이중화 기능

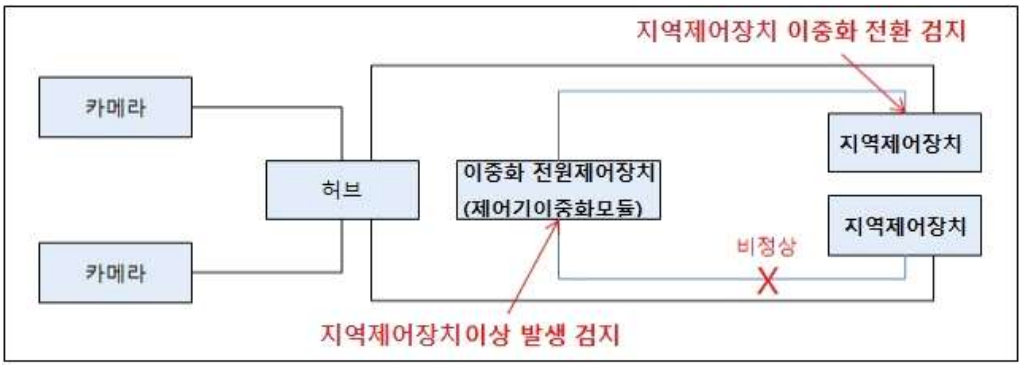
- 검지 방식 및 현장제어장치의 이상 발생 시 주행 차량의 정보를 수집할 수 없는 상황이 발생하는 방지하기 위하여 자동으로 이상을 검지하고, 상황의 대처하도록 시스템을 구성한다.



[그림 3-4-6] 차량번호 판독장치의 이상상황 대처 기능

(다) 현장(지역) 제어장치의 이중화 기능

- 두 대의 현장제어장치가 설치되어 운영되는 환경에서 한 대의 현장제어장치에 이상이 발생할 경우 다른 정상 현장제어장치에서 이상이 발생한 현장제어장치와 연결된 촬영부의 장치를 컨트롤하여 두 대의 카메라 영상을 모두 처리 가능하도록 구성한다.



[그림 3-4-7] 차량번호 판독장치 이중화 방안

- 현장제어장치 이상이 발생시 안정적으로 차량 촬영 및 영상처리를 통한 번호인식
- 현장제어장치 이상 검지 후 번호판인식 듀얼 실행
- 정상 현장제어장치는 이상이 발생한 현장제어장치의 상태 정보를 센터에 전송

(라) 검색 및 차량등록 기능 (센터 운영부 기능)

- 센터운영부에서는 현장 카메라의 제어부에서 데이터를 처리 및 전송한 데이터를 수신하여 표출하고, 저장 및 검색기능을 수행하며, 또한 다수의 현장 카메라 시스템의 작동상태를 확인 가능하도록 구성한다.
- 차량 조회 및 검색, 출력기능
  - 차량 번호 검색시에 차량정면과 적재함 영상(3frame)동시 검색 가능
  - 보안기능 : 데이터 조회시 PASSWORD 입력 기능
  - 차량 데이터 정보관리 및 차량번호 검색 기능
  - 날짜/시간, 차종, 차량번호 등 다양한 검색 조건 제공
  - 자료 리스트 및 통계자료 출력기능(엑셀 출력기능)
  - 차량 사진 출력, 일지, 각종 통계 자료를 출력하는 기능 수행
- 차량번호 등록기능
  - 차적 조회 DB 연동 및 실시간 조회

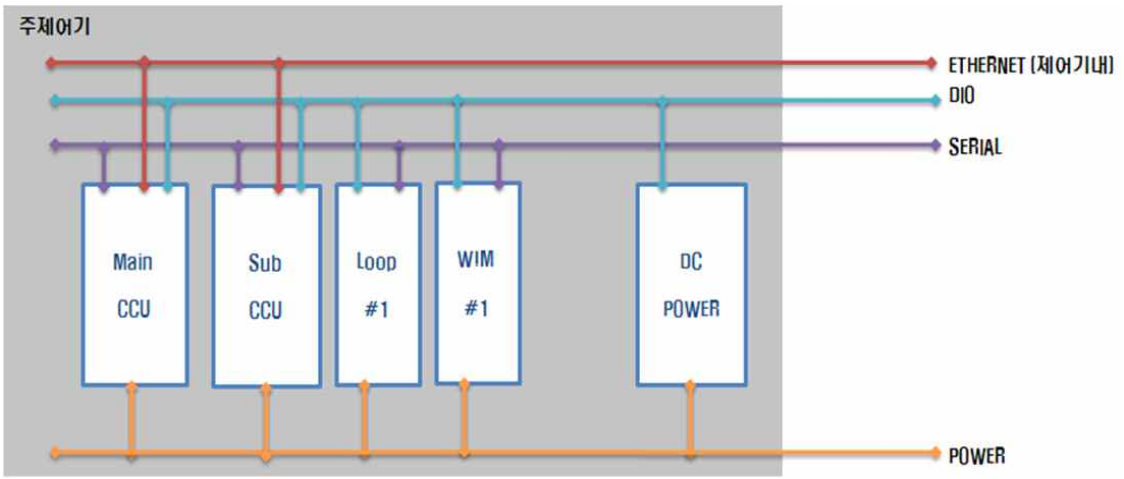
(3) 제어기

❍ 제어기는 과적단속시스템의 중추적 역할을 하는 현장장치로써 현장의 검지기 트리거 신호에 의해 수집된 영상 과 WIM 센서에서 계중결과를 이용하여 과적여부를 판단하고, 이를 센터 서버로 전하하는 기능을 수행한다. 제어기는 기본적으로 약 5개의 주요 핵심모듈로 구성되어 있으며, 각 구성 모듈 간의 데이터 교환은 메인보드(CPU 보드라고도 칭함)을 통하여 이루어진다. 제어기를 구성하는 핵심모듈의 구성은 다음과 같다.

- 주기판 및 입출력 데이터 통신장치
- 주/부 CCU 모듈
- 차량 검지 모듈
- WIM 인터테이스 모듈
- DC Power 모듈

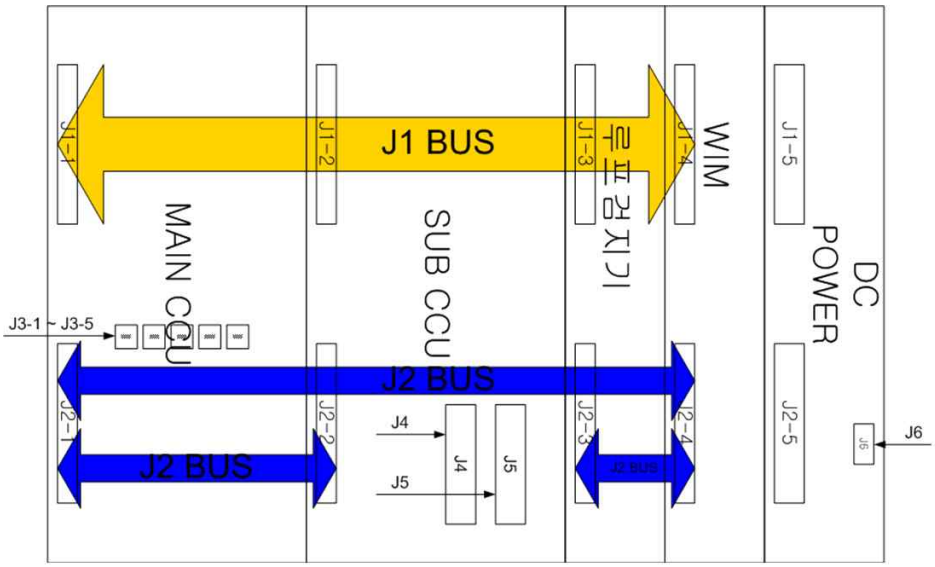
❍ 각 구성 모듈 간 접속은 [그림 3-4-8]과 같이 버스를 통해 이루어지며, 관련 요건은 다음과 같다.

- 1개의 Ethernet (10/100 Mbps)을 지원하여야 한다. (주CCU - 부 CCU간)
- 각 보드들은 Ethernet Transceiver에 Transformer를 붙인다.
- 시리얼 버스를 지원하여야 한다(CCU, 차량 검지 모듈 연결 및 외부 확장). 각각의 시리얼 통신방식은 RS-232ㅇ로 한다.
- 각종 I/O 기능이 있다(CCU, 차량 검지 모듈을 연결). 각 보드의 신호 레벨은 +5V 이다.



[그림 3-4-8] 제어기 통신버스 구성도

❍ CCU와 기타 모듈간의 통신은 상기의 [그림 3-4-8]에서와 같이 Ethernet과 DIO 및 Serial 총 3개의 의 방식으로 이루어지며, 주로 Main CCU와 Sub CCU의 경우 Ethernet 통신과 DIO 및 Serial 등 모든 통신포트와 접속되며, DIO는 Main CCU 및 모든 모듈들이 DIO를 통해 접속된다. 다만 전원부는 상태정보 전송 및 제어를 위해 Main CCU와 Serial 통신으로만 접속된다. 메인보드에 대한 블록다이어그램은 [그림 3-4-9]과 같다.



[그림 3-4-9] 메인보드 블록다이어그램

❍ 각 장치들의 통신을 위한 장치로서 CCU, WIM센서모듈, 차량 검지 모듈, DC Power 모듈 등이 장착된 다. 또한 여러 종류의 접속장치(Connector)들이 첨부되어 있어서 전원 및 신호 전달이 이루어진다. 주기판은 각 장치들 간의 데이터 전송 시에 에러를 최소화하고 시스템의 기능을 최적화하는데 결정적인 역할을 하는 시스템의 심장부이다. J1과 J2는 모두 주기판을 통하여 모든 보드가 공통버스로 연결된다. J1, J2는 CCU가 다른 모듈들 및 외부 설비와 원활히 연결되도록 설계하며 CCU의 입장에서 Pin 제공한다.

(4) LOOP 검지부

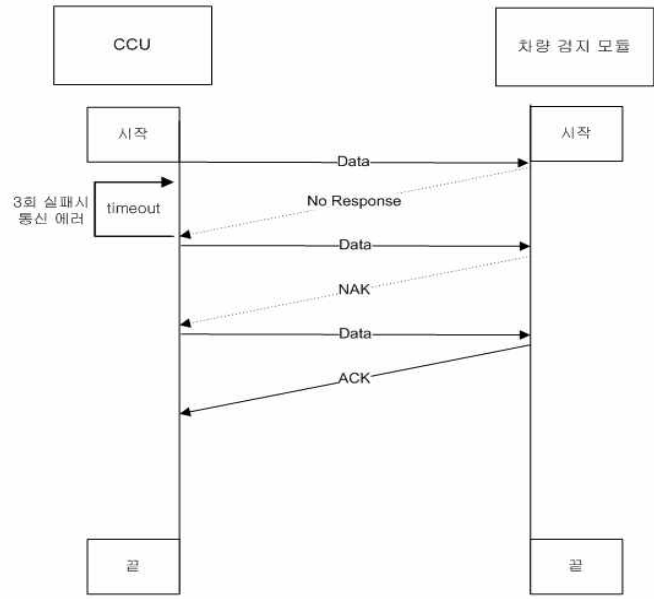
❍ LOOP 검지부는 도로에 매설된 검지기 위를 차량이 통과될 때, 차량의 영상 취득을 위한 트리거 신호를 발생시키는 기능을 수행한다. LOOP 검지기는 주파수 계수(Frequency Counting) 방식으로 차량의 On/Off를 판단하며, 차량이 도로의 검지 코일(Loop Detector Head Coil)에 접근하여 활성화되는 순간 LOOP 검지부는 트리거 신호를 현장의 카메라에 신호를 전송한다.

(가) LOOP 검지부의 모듈 간 인터페이스

- 차량 검지 모듈 간 인터페이스는 CCU 모듈과 차량 검지 모듈간의 과적 정보 설정 및 응답에 대한 프로토콜로서 정의한다.

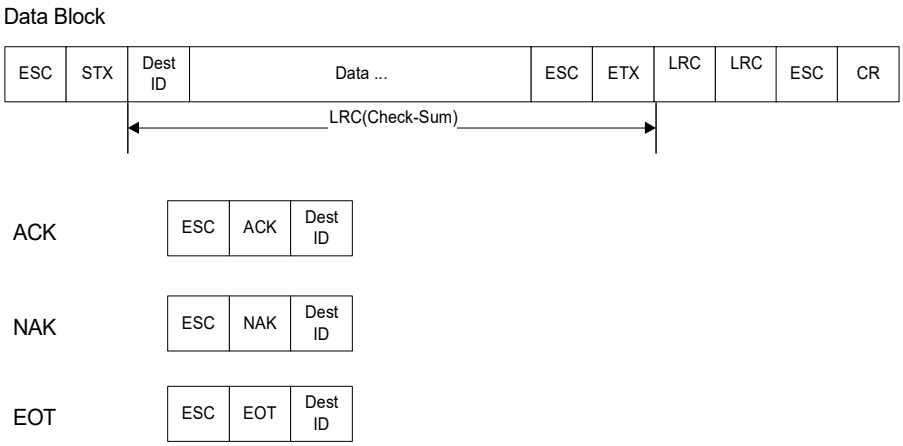
- 차량 검지 모듈은 루프로부터 차량을 감지하고, WIM 센서를 통하여 통과 차량의 중량을 산출하며, CCU 모듈로 차량의 속도 및 상태를 전송한다. 모듈 간 인터페이스를 위한 프로토콜 및 메시지전송방식은 [표 3.4.2]와 같다.

[표 3.4.2] 모듈정보 설정 시 메시지 전송순서 및 프로토콜

규격	메시지 전송 방식
▪ 통신방식 : RS-232 ▪ 통신속도 : 38400bps ▪ 데이터 길이 : 8 Bit ▪ Stop 비트 : 1 Stop Bit ▪ Parity : None Parity ▪ 통신모드 : Binary Mode	 CCU 초기정보 설정 메시지 전송

(나) 메시지 Data Block의 구조

• Data Block은 메시지 전송시 사용하며, Data Block과 ACK, NAK, EOT는 [그림 3-4-10]과 같은 형태를 갖는다.



[그림 3-4-10] 데이터 블록 구성 형태

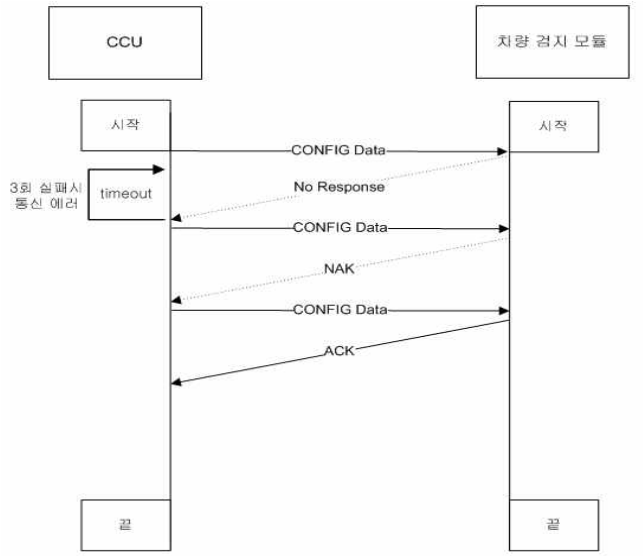
• Data Block 첫 바이트에는 OP코드를 탑재하며, ACK, NAK, EOT Message는 제어 Message로 사용된다. 각종 Control 문자는 ESC가 앞에 붙여 Data내에 제어문자와 구분함으로써 Binary Mode 전송이 가능하다. 또한, ESC가 붙는 문자는 STX, ETX, CR, ACK, NAK, EOT가 붙으며 Destination ID나 Data의 내용 중에 제어문자와 같은 문자가 존재할 경우는 ESC를 붙이지 않는다.

(다) 주요 메시지의 구조

• 메시지의 구조는 통신 프로토콜 상의 OP Code의 정의에 따라 다양한 구조와 크기 및 그에 따른 기술내용이 포함된다. 각 메시지 종류 및 주요 세부 메시지 구조는 [표 3.4.3]과 같다.

[표 3.4.3] 메시지의 종류 및 구조

번	데이터 종류	Size	설 명
1	단속 중량 설정	1	화물차 측정 위반 중량 : 0~255 [위반 속도와 같을 경우 단속 안함]
2	Loop간 거리 설정	1	Loop 거리 설정 (0~255M/10)
3	Trigger 발생 조건 설정	1	0:위반차량 Trigger, 1:전차량 Trigger
4	Trigger 발생 모드 설정	1	0:정상운영 1:기술시험 2:인수시험
5	주/야 Mode 설정	1	주간 / 야간 Mode 설정(0:주간, 1:야간)
7	Traffic On/Off 설정	1	0:Off, 1:On
8	단속 차선 설정	1	단속차선 설정 (1:1차선, 2:2차선, 3:3차선, 4:4차선)
9	차량 검지 기능 On/Off 설정	1	0:Off, 1:On
10	단속 Mode 설정	1	단속 Mode 설정 1:과적위반
11	단속차선 Type 설정	2	1Byte:1차선, 2Byte:2차선 차선정보(0:사용 안함,1:좌회전,2:직/좌,3:직진)
12	차선별 감시 카메라 설정	2	1Byte:1차선 감시 카메라 번호(1~4), 2Byte:2차선 감시 카메라 번호(1~4)
13	WIM 센서 검지 Mode 설정	1	Auto / Manual Mode 설정 (0:Auto, 1:Manual, 2:Simulation)
14	업체고유번호	1	업체별 별도 부여



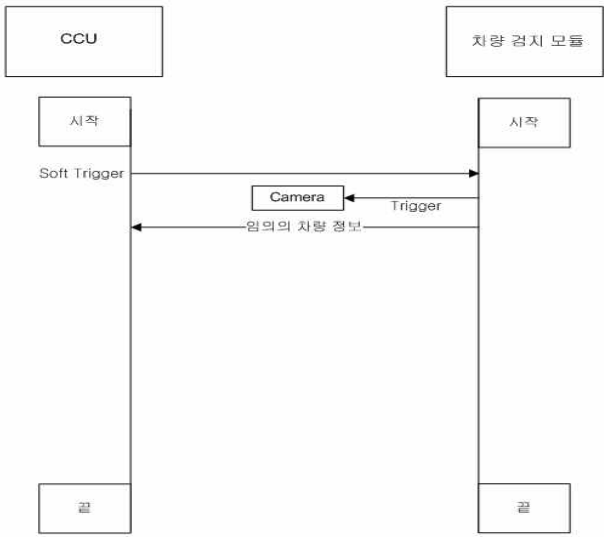
[그림 3-4-11] 차량 검지 모듈 메시지 전송 순서도

[표 3.4.4] 검지기 상태 ON/OFF 메시지 구조

번	데이터 구조	Size	설 명
1	On/Off	1	0:검지기 Off, 1:검지기 On

[표 3.4.5] 검지기 소프트 트리거(임의의 차량 검지 데이터를 전송) 메시지 구조 및 전송방식

순 번	데이터 구조	Size	설 명
1	검지기 상태	1	Default : 0
2	위반 중량	1	진입시 위반 중량 (Default : 000kg)
3	위반 중량	1	진입시 위반 중량 (정수부 : 150)
		1	진입시 위반 중량 (소수부 : 0)
4	진입 Loop 점유시간	2	점유시간 (msec) (Default : 60)
5	진출 Loop 점유시간	2	점유시간 (msec) (Default : 60)
6	과적위반 단속 기준	1	화물단 단속 구분 (Default : 0)
7	위반 Index	1	위반 Index 정보(0~99) (Default : 0)
8	감시 차선	1	감시 차선 (Default : 1차선)
9	차선 정보	1	감시차선의 차선정보 (Default : 1-좌회전차선)
10	WIM 센서 정보	1	WIM 센서 상태 정보
11	단속 모드	1	현재 단속 Mode 정보
12	주/야 모드	1	현재 주간 / 야간 Mode
13	위반 시간	4	신호 변경 후 위반시간 (Default : 150)



[그림 3-4-12] 소프트 트리거 발생 요청시 메시지 전송 순서도

[표 3.4.6] 검지기 단속정보 메시지 구조

순 번	데이터 구조	Size	설 명
1	상태	1	검지기의 현재 상태를 표시 -Bit 0 : 검지기 동작 여부 -Bit 1 : Reserved -Bit 2 : Trigger Mode -Bit 4 : 메세지 순번 0 - 진출루프 진입시 전송할 경우 1 - 진출루프 진출시 전송할 경우
2	위반 중량	1	진입 / 진출 평균 위반 중량 (0000kg) - 정확도가 가장 높음 : Main에서 사용함 * Trigger 순번이 0일 경우는 속도 정보 없음
3	위반 중량	1	진출 WIM 센서 진입시 위반 속도 (정수부)
		1	진출 WIM 센서 진입시 위반 속도 (소수부)
5	진입 Loop 점유시간	2	점유시간 (msec)
6	진출 Loop 점유시간	2	점유시간 (msec)
7	위반 Index	1	위반 Index 정보(0~99) 순차적으로 증가, 99이후 다시 0으로 설정
8	감시 차선	1	감시 차선
9	차선 정보	1	감시차선의 차선정보 0:사용 안함, 1:좌회전 차선, 2:직/좌 차선, 3:직진 차선
10	단속 모드	1	단속 Mode 정보 1:과적위반
11	주/야 모드	1	현재 주간 / 야간 Mode
12	위반 시간	4	신호 변경 후 위반시간 1~65535 (n/10 ms)

(5) 통신부

❍ 통신장치는 주로 주제어기의 CCU 모듈에 내장되는 Ethernet과 시리얼 통신포트로 구성된다. Ethernet과 시리얼 통신포트는 각각 [표 3.4.7]에 기술한 목적에 따라 그 용도를 정의한다.

[표 3.4.7] 제어기 통신장치의 유형별 용도

	Ethernet 통신포트	시리얼통신 포트
및 용도	제어기의 CCU와 제어기를 구성하는 제반 모듈의 CCU간 통신기능과 유지보수를 위한 외부 S/W접속시 통신기능을 수행한다.	제어기와 센터와의간의 통신에 사용되며, 그 외 제어기 함체 내에 구성되는 또한, GPS 장치, 전원장치 간의 직렬 통신기능을 수행한다.
접속방식	로컬 통신용 10/100 Mbps	J2 후면

❍ 또한 통신장치가 기능을 수행함에 있어서 그 접속 우선순위는 [표 3.4.8]과 같다.

[표 3.4.8] 제어기 내 통신접속 우선순위

우 선 순 위	보 드 명
1	주 CCU 모듈
2	부 CCU 모듈
3	WIM 센서 모듈
4	차량 검지 모듈
4	전원 장치
5	기타

❍ 제어기는 내부 통신에 있어서 실질적인 우선순위에 대한 의미는 없다. 그러나 시스템의 운영목적을 기준으로 볼 때, 통신장치는 CCU 모듈이 아닌 이상 WIM 센서 모듈에 의한 접속을 최우선으로 한다.

❍ [표 3.4.9] ~ [표 3.4.14]는 프레임의 기본구조, OP Code의 정의, 원격제어정보 OP Code, 시스템 상태 정보, 과적위반 정보에 관한 정의 내용을 설명한 것이다.

[표 3.4.9] 프레임의 기본구조(헤더부)

조	HEADER부 : 30Byte								
	SCODE		SND_ID	RCV_ID	CODE	LENGTH	Pack No	RESERVED	
의미	Msg Start	Frame Length	CLI_ ID	SVR_ ID	OP CODE	Data부Length	Packet No	장비 코드	동일 시분초 구분
크기	2B	7B	1B	1B	2B	7B	4B	5B	1B
Type	HEX	Asc	Asc	Asc	Asc	Asc	Asc	Asc	Asc
예	0 x 9 8 98	'0003036'	'0'	'1'	'20'	'9999999'	'0001,	'F9999'	'0'

[표 3.4.10] 프레임의 기본구조(데이터부)

조	DATA부 : 가변 Max 300KByye	Tail부 : 6Byte	
	DATA	Tail	
의미	전달할 Data 내용	CRC32	Msg End
크기	가변형 Max 3000B	4B	2B
Type	Asc / Binary / Hexa	Binary	HEX
예	가변형		0x89 89

[표 3.4.11] OP Code의 정의

프로토콜	OP Code	수행내용	응답구조	비 고
시스템초 기정보	50	자동전송	<-- 요청 시스템상태정보 -->| <-- 응답	유지보수 SW 최초 접속시 초기 정보 요청 장비코드 / SITE 이름
원격제어 정보	01 ~ 03 05 ~ 10		<-- 설정값 세팅요청 응답 -->	차로변경 / 단속모드 / 제한속도 / 시간설정 / 리셋 / 팬틸트 / 줌 / 포커스, 조명 On/Off
시스템 상태정보	11	10초주기 자동전송	<-- 요청 시스템상태정보 -->| <-- 응답	지역제어기의 단속속도, 현재동작모드 등
과적위반 정보	12	요청 받은 후 위반자료 발생시 자동전송	<-- 과적위반 요청 과적위반정보 -->| <-- 응답	-

[표 3.4.12] 원격제어정보 관련 OP코드의 정의

OPCode	분	크 기	코드 및 의미	예
1	(A)	1 B	1: 1차로, 2: 2차로, 3: 3차로	1차로 : 1
2	시스템 단속모드(A)	1 B	1:속도위반, 2:버스전용차로, 5:단속안함, 6: 갓길위반	신호위반: 3
3	과적설정 (AAABBBCCDDDEEEFF)	8 B	대형차종별 제한중량(3) + 대형차 단속중량(3) + 대형차 초과중량(2)	00000000
5	시간설정(YYYYMMDDHHmmSS)	14 B	년월일시분초 예)2017년 6월 19일 오전8시 58분 09초	20170706190858
6	시스템리셋(A)	1 B	0: 현상태유지, 1: 시스템 Reset	1 : Reset
7	팬/틸트(A)	1 B	1:좌로 1칸, 2:우로 1칸, 3:위로 1칸, 4:아래로 1칸, 5:설정(저장)	1:좌로 1칸 이동
8	줌(A)	1 B	1: 줌인(Zoom In) 1 step, 2 : 줌아웃(Zoom Out) 1 step, 3 : 설정(저장)	1 : 줌인 1 step
9	포커스(A)	1 B	1: Near 1 step, 2 : Far 1 step, 3 : 설정(저장)	2 : Far 1 step
10	조명 On/Off (A)	1 B	1 : 조명 On 2 : 조명 Off (5분후 자동으로 조명 off)	1 : 조명 점검을 위해 조명 On

[표 3.4.13] 시스템상태정보(OP code 11)

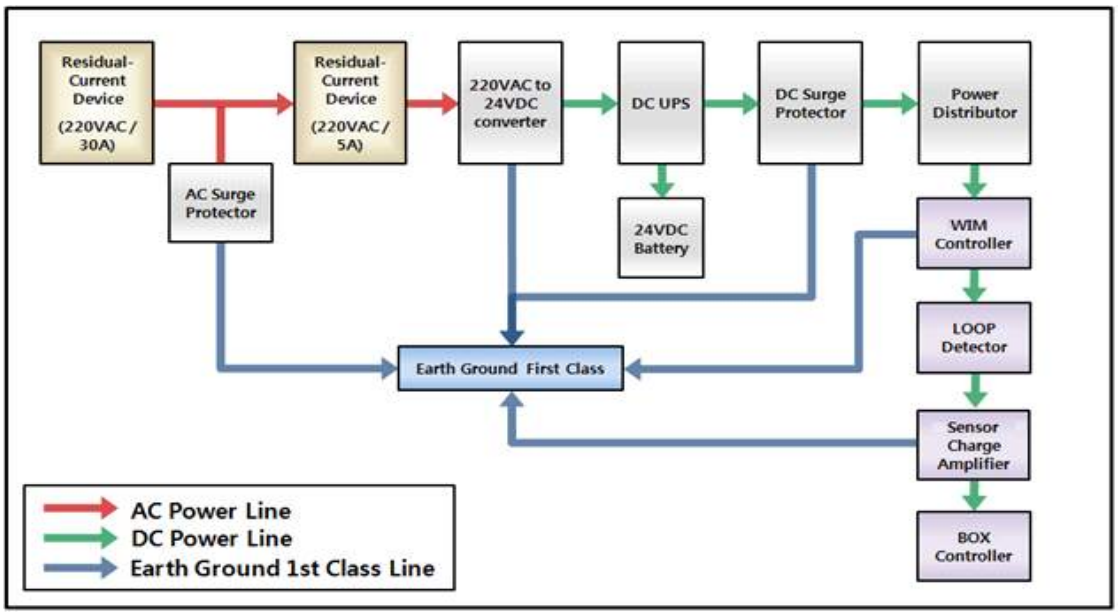
OPCode	구 분	크 기	코드 및 의미	예
11	A	1 B	시스템동작상태 - 캡쳐 (1:정상, 0:비정상)	정상 : 1
	B	1 B	검지기동작상태 - 속도 (1:정상, 0:비정상)	정상 : 1
	C	1 B	렌즈콘트롤상태 (1:정상, 0:비정상)	비정상 : 0
	D	1 B	카메라동작상태 (1:정상, 0:비정상)	정상 : 1
	E	1 B	조명동작상태 (1:정상, 0:비정상)	정상 : 1
	F	1 B	영상(I/F)보드상태 (1:정상, 0:비정상)	정상 : 1
	G	1 B	차로설정 값(실제차로) (1:정상, 0:비정상)	정상 : 1
	H	1 B	시스템동작여부 (1:On, 2: Off)	시스템정상동작 : 1
	I	16 B	대형차종별 제한중량(3) + 단속중량(3) + 초과중량(2)	07008040: 제한중량: 70
	K	1 B	1:과적위반	과적위반 : 1
	L	14 B	현재 지역제어기의 시간(YYYYMMDDHHmmSS)	20030506190858
	N	3 B	현재 CDS 값 (0~255)	120 : CDS 값 120
	O	3 B	조명 켜지는 옵셋 값 (0~255)	170 : CDS 170에서 조명이 켜지도록 함

[표 3.4.14] 과적위반 정보(OP code 12 및 20)

OPCode		분	크 기	코드 및 의미	예	과적
12, 20	트	SIZE	7 B	TEXT부의 SIZE(LocalNo부터 S까지의 사이즈)	과적:0000106	과적
		LocalNo	5 B	지역제어기번호, 장비코드	: ‘F9999’ or ‘M9999’	과적
		B	1 B	위반차량의 차종(1:1톤트럭,2:2톤트럭,3:2.5톤트럭,4:3톤트럭,5:3.5톤트럭)	1톤트럭 : 1	과적
		C	1 B	위반차로 (1:1차로, 2:2차로, 3...4)	2차로 : 2	과적
		DDDDDDDD	8 B	위반날짜 (YYYYMMDD)	2003년6월7일 : 20030607	과적
		EEEEEE	6 B	위반시간 (HHMMSS)	오후7시8분9초 : 190809	과적
		FFFFFFFFFFF F	12 B	위반차량번호 ()	: 서울02라1742	과적
		GGGG	4 B	차량번호판의 시작 X위치	:020	과적
		HHHH	4 B	차량번호판의 시작 Y위치	:130	과적
		IIII	4 B	차량번호판의 WIDTH	:220	과적
		JJJJ	4 B	차량번호판의 HEIGHT	:090	과적
		K	1 B	번호판 유/무 (1:존재,0:미존재)	존재 : 1	과적
		L	1 B	위반코드 (1:과적)	과적 : 1	과적
		PP	2 B	연속영상 프레임수	8장 : 08	과적
		XXXX-XXXX-XXXX-XXXX	19 B	단속시 카메라 상태 (ZOOM, FOCUS, P/T)	0460-0372-0600-0300 : ZOOM=460, FOCUS=372, PAN=0600, TILT=0300	과적
	이미지	TTTTTTT	7 B	위반차량 영상이미지 사이즈	83123 bytes : 0083123	과적
		Image	N B	위반차량 영상이미지 (파일형식JPG파일)	JPG 파일	과적
		UUUUUUU	7 B	위반차량 번호판이미지 사이즈	456 Bytes : 0000456	과적
		Image	N B	위반차량 번호판이미지 (파일형식JPG파일)	JPG 파일	과적
		VVVVVVV	7 B	위반차량Tracking이미지 사이즈	8회반복	과적
		Image	N B	위반차량Tracking이미지 (파일형식JPG파일)	8회반복	과적

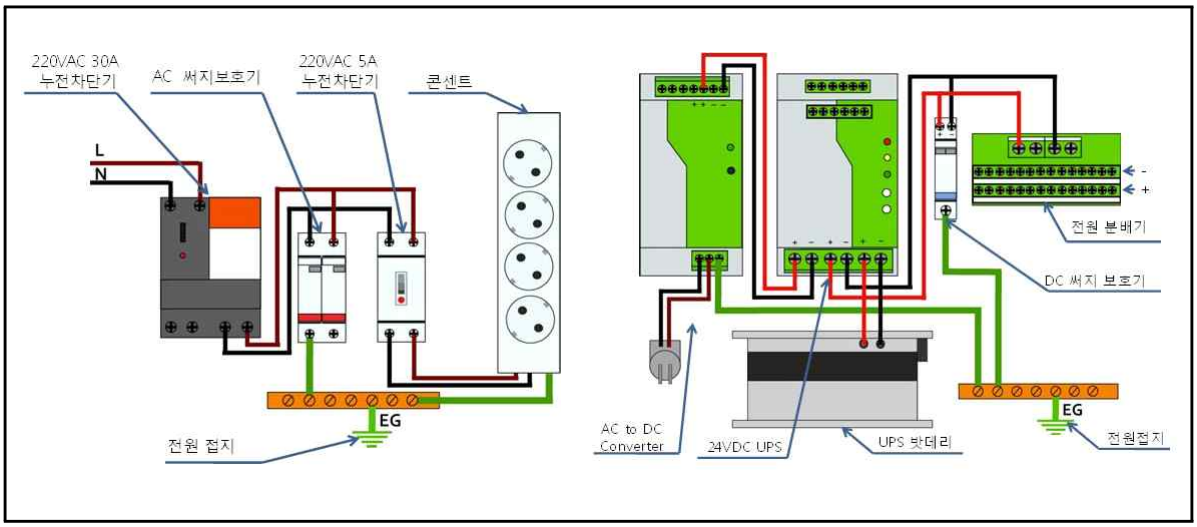
(6) 전원부

❍ 전원부는 220v 교류전원을 인가 받아 24VDC로 변환하여 DC UPS로 공급하고, DC UPS는 제어기를 구성하는 모듈들에게 전원을 공급하과 동시에 UPS 배터리에 전원을 공급한다. 또한 접지는 제어기의 전원을 이용하는 모든 모듈들이 공동접지에 접속되도록 구성된다, 이와 관련한 전원시스템에 대한 구성은 다음과 같다.



[그림 3-4-13] 제어기의 전원공급 개통 구성도

❍ 제어기의 함체 내 전원부와 관련된 상세 구성도는 [그림 3-4-14]와 같다.



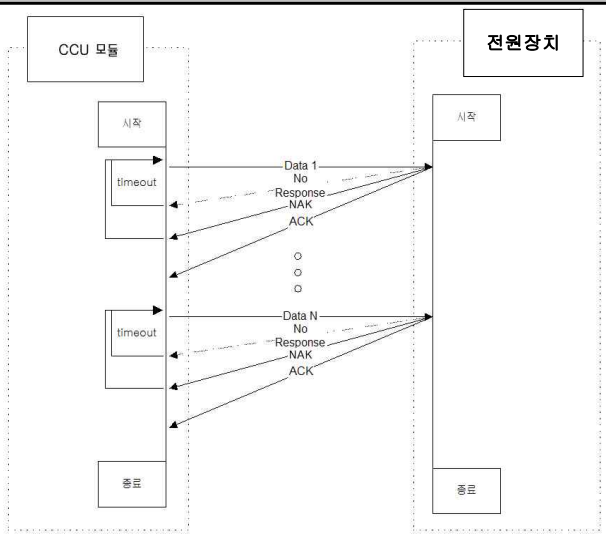
[그림 3-4-14] 전원시스템의 상세구성도

❍ 전원부의 모듈 인터페이스는 CCU 모듈과 전원부 간의 환경 모니터링 정보 요청과 응답에 대한 프로토콜로 정의된다.전원장치는 환경 모니터링 회로를 내장하여 함체 내의 온도를 검지하고, 설정된 온도 기준에 의해 팬과 히터를 동작시키고, 함체의 문 열림을 검지하여 CCU로부터 환경 모니터링 정보 요청이 있을 경우 그 정보를 전송한다. 또한, 5분 동안 CCU에서 환경 모니터링 결과 요청이 없을 경우 전원장치는 제어기의 전원을 리셋하여 시스템을 재 구동시킨다.

(가) 프로토콜 규격 및 Message 전송 방법

• 전원부와 모듈 간 통신은 기본적으로 RS-232 통신을 하며, 관련 메시지 전송방식은 [표 3.4.15]와 같다.

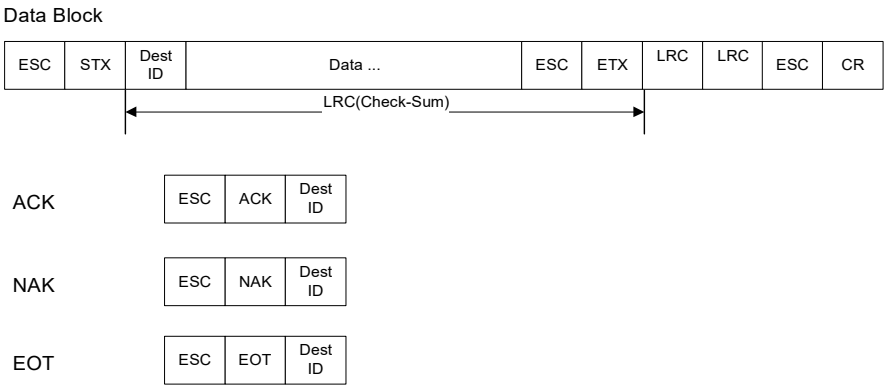
[표 3.4.15] 전원부와 모듈 간 메시지 전송방식

규격	메시지 전송 방식
· 통신방식 : RS-232 · 통신속도 : 9600bps · 데이터 길이 : 8 Bit · Stop 비트 : 1 Stop Bit · Parity : None Parity · 통신모드 : Binary Mode	

(나) 메시지의 Data Block구조

• 메시지의 Data Block과 Data Block 내에서의 ACK, NAK, EOT는 [그림 3-4-15]와 같은 형태를 갖는다. Data Block은 Data 전송시에 사용하며 ACK, NAK, EOT Message는 제어 Message로 사용된다.

• 각종 Control 문자는 ESC가 앞에 붙여 Data내에 제어문자와 구분함으로써 Binary Mode 전송이 가능하다. ESC가 붙는 문자는 STX, ETX, CR, ACK, NAK, EOT가 붙으며 Destination ID나 Data의 내용 중에 제어문자와 같은 문자가 존재할 경우는 ESC를 붙이지 않는다.



[그림 3-4-15] 데이터 블록 구성 형태

(7) WIM 시스템 인터페이스부

(가) 통신 프로토콜의 정의 내역 및 범위

❍ 중앙처리장치 통신 소프트웨어의 통신 프로토콜은 TCP/IP통신 또는 Serial통신을 이용하여 로컬에서 올라온 운행제한 위반정보, 위반영상을 데이터베이스와 하드디스크에 저장하고, 제어명령 (차로 및 속도설정, 카메라 줌/포커스, 시스템종류-과적위반, 날짜 및 시간 설정)을 로컬에 전송할 수 있도록 [표 3.4.16]과 같이 정의된다.

[표 3.4.16] 과적단속시스템 통신프로토콜의 정의내역 및 범위

구 분 1	구 분 2	구 분 코 드	적 용 방 향	비 고
시스템동작 상태정보		□ 11	로컬부->센터부	
과적위반 정보	위반정보	□ 12	로컬부->센터부	
	위반차량영상	□ 13	로컬부->센터부	
	번호판영상	□ 14	로컬부->센터부	
원격제어 정보	단속차로변경	□ 1	센터부->로컬부	
	시스템 동작	□ 2	센터부->로컬부	
	제한속도설정	□ 3	센터부->로컬부	
	렌즈/팬필트 변경	□ 4	센터부->로컬부	
	시간설정	□ 5	센터부->로컬부	
교통특성 처리분석 정보		□ 30	로컬부->센터부	

(나) 통신 프로토콜

❍ 시스템 동작 상태 정보의 통신 프로토콜과 세부내역은 [표 3.4.17], [표 3.4.18]과 같이 설정한다.

[표 3.4.17] 시스템 동작 상태 정보 통신 프로토콜

구 분		HEADER부								DATA부
약어		SCODE		SND_ID	RCV_ID	CODE	LENGTH	CRC	RESERVED	DATA
의미		시작 코드	예약	제어기번호 or 서버 ID	서버 ID or제어기번호	구분 CODE	(헤더+데이터) 크기	error check	예약 (XXX)	전달할 DATA 내용
크기		2B	1B	1B	1B	2B	4B→7B	2B	6B	N BYTE
시스템 동작 상태	시스템 동작상태정보	0X98 0X98	X	'1'	'0'	□ 11	(헤더+데이터) 크기		예약	ABCDEFGH

[표 3.4.18] 시스템 동작 상태 정보 통신 프로토콜 세부내역

	구 분	크 기	코 드	의 미
HEADER부	SCODE	CHAR(3)	0x980x98, X	시작코드,예약
	SND_ID	CHAR(1)	'1'	제어기번호 or 서버 ID
	RCV_ID	CHAR(1)	'0'	서버 ID or 제어기번호
	구분 CODE	CHAR(2)	□ 11	시스템 동작상태정보의 경우(Text)
	LENGTH	CHAR(7)		(헤더+데이터)크기
	CRC	CHAR(2)		error check용
	RESERVED	CHAR(6)		예비영역의 일련번호, 동일한 시분초에 1대 이상의 위반차량 검지시 이용 일련번호, 장비코드 자리로 이용
DATA부 (TEXT)	A	CHAR(1)	('1':정상, '0' :비정상)	A: 시스템동작 상태-캡처
	B	CHAR(1)	('1':정상, '0' :비정상)	B: 검지기동작 상태-속도
	C	CHAR(1)	('1':정상, '0' :비정상)	C: 렌즈콘트롤 상태
	D	CHAR(1)	('1':정상, '0' :비정상)	D: 카메라동작 상태
	E	CHAR(1)	('1':정상, '0' :비정상)	E: 조명 동작 상태
	F	CHAR(1)	('1':정상, '0' :비정상)	F: 영상 보드 상태(I/F 보드 상태)
	G	CHAR(1)	('1':1차로, '2' :2차로)	G: 차로설정 값
	H	CHAR(1)	('1':ON, '2' :OFF)	H: 시스템 동작 여부

❍ 과적차량 위반정보의 통신 프로토콜과 그 세부내역은 각각 [표 3.4.19] 및 [표 3.4.20]과 같이 설정한다.

[표 3.4.19] 과적차량 위반정보 통신 프로토콜

구 분		HEADER 부							DATA부
약어		SCODE		SND_ID	RCV_ID	CODE	LENGTH	CRC	RESERVED	DATA
의미		시작코드	예약	제어기번호 or 서버 ID	서버 ID or 제어기번호	구분 CODE	(헤더+데이터) 크기	error check	예약 (XXX)	전달할 DATA 내용
크기		2B	1B	1B	1B	2B	4B→7B	2B	6B	N BYTE
과적 위반 정보	위반 정보	0x98 0x98	X	'1'	'0'	12	(헤더+데이터) 크기		예약	AAABCDDDDDDDDEEEEEEFFFFFFFFFFFFFGGGHHHHIIIIJJJJKLM
	위반 차량 영상	0x98 0x98	X	'1'	'0'	13	(헤더+데이터) 크기		예약	JPG파일 1KB
	번호판 영상	0x98 0x98	X	'1'	'0'	14	(헤더+데이터) 크기		예약	JPG파일 1KB

[표 3.4.20] 과적차량 위반정보 통신 프로토콜 세부내역

	구 분	크 기	코 드	의 미
HEAEDR 부	SCODE	CHAR(3)	0x980x98, X	시작코드, 예약
	SND_ID	CHAR(1)	'1'	제어기번호 or 서버 ID
	RCV_ID	CHAR(1)	'0'	서버 ID or 제어기번호
	구분CODE	CHAR(2)	□,□,□ 12 13 14	과적위반의 경우 (text, image1image2),
	LENGTH	CHAR(7)	□,□,□,□ , 20 21 22 23	과적위반의 경우 (text,image1,image2,image3)
	CRC	CHAR(2)		error check용
	XXX	CHAR(6)	예비영역의 일련번호	동일한 시분초에 1대이상의 위반차량 검지시 이용 장비코드 5자리로 이용
DATA 부 (이미지)	파일형식	JPG파일	1KB씩 전송하고, 파일의 끝은 TCPFile의 nSize가 0 일때	마. Ack 정보 참조
			번호판 영상이 다 도착하면 ,LOCAL로 ACK를 전송한 후 데이터베이스에 위반정보를 등록	

[표 3.4.20] 과적차량 위반정보 통신 프로토콜 세부내역 (계속)

DATA 부 (TEXT)	AAA	CHAR(3)		위반중량(Kg)
	B	CHAR(1)	1: 트럭, 2:특수차량	위반차량의 종류
	C	CHAR(1)	1: 1차로, 2: 2차로	위반차로
	DDDDDDDD	CHAR(8)	YYYYMMDD	위반날짜
	EEEEEE	CHAR(6)	HHMMSS	위반시간
	FFFFFFFFFFFF	CHAR(12)	서울 02 라 1742	위반차량번호
	GGGG	CHAR(4)		차량번호판의 시작 X 위치
	HHHH	CHAR(4)		차량번호판의 시작 Y 위치
	IIII	CHAR(4)		차량번호판의 WIDTH
	JJJJ	CHAR(4)		차량번호판의 HEIGHT
	K	CHAR(1)	1: 존재, 0:미존재	번호판 유무
	L	CHAR(1)	1: 과적	위반코드

라. 사용자 인터페이스

(1) 센터 프로그램 기능 및 구조

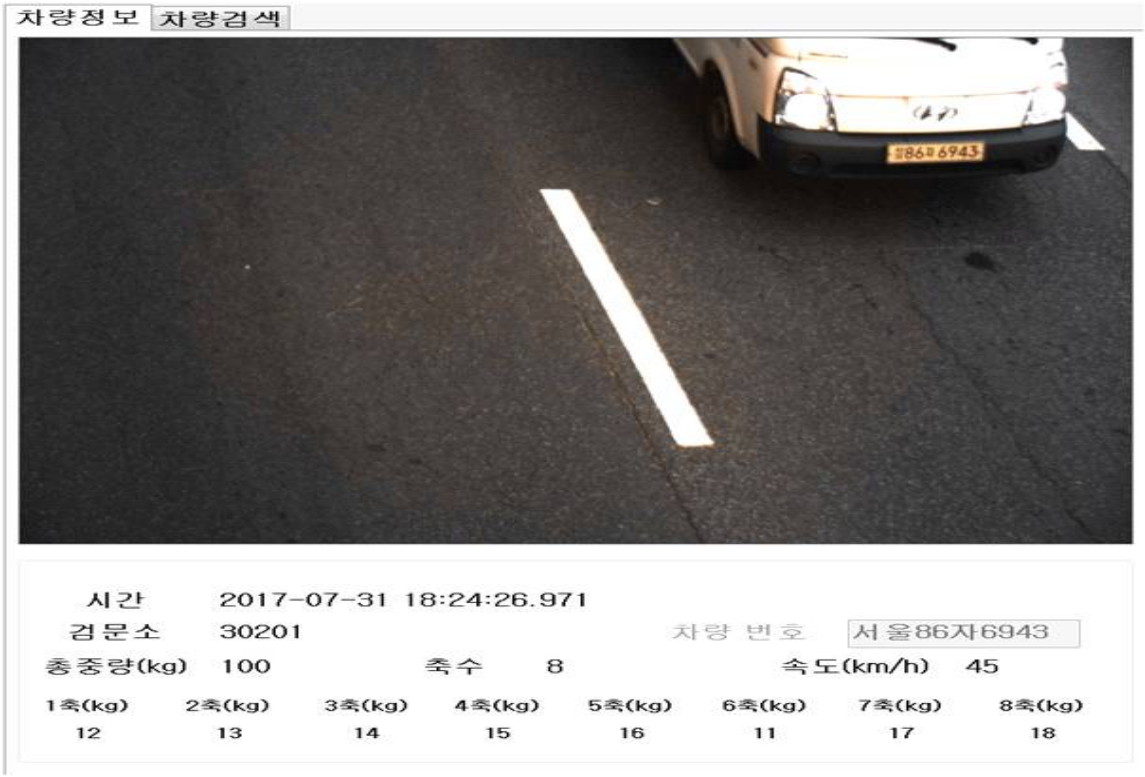
(가) 센터 운영 메인화면



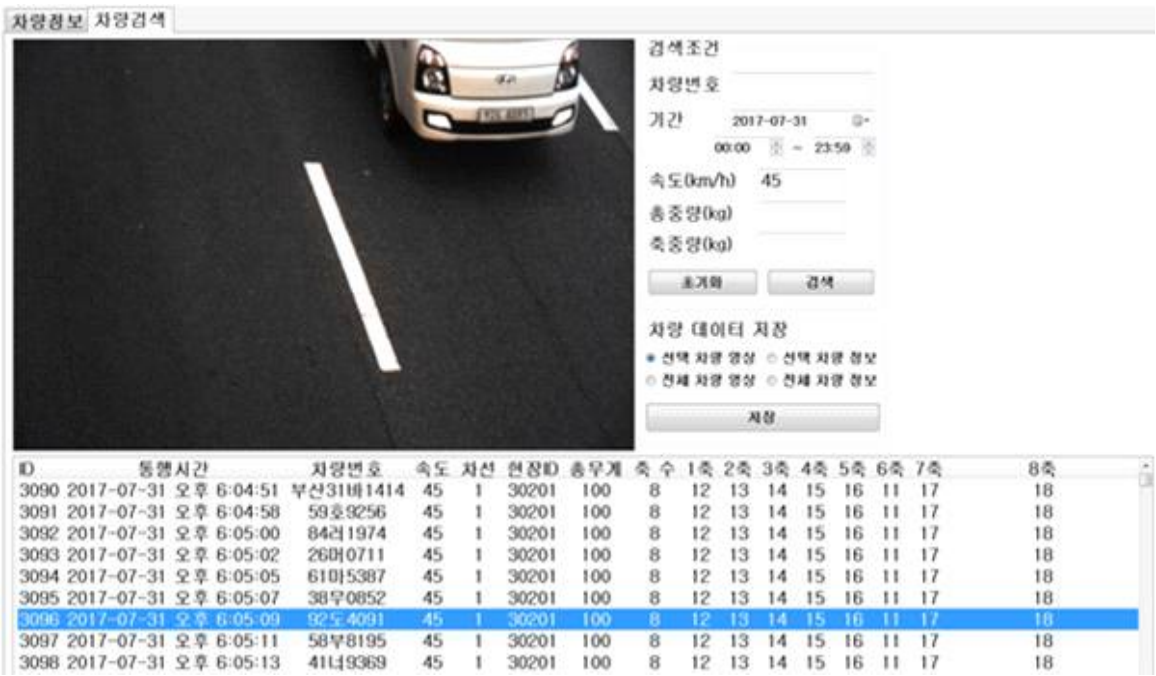
[그림 3-4-16] 센터 운영 메인화면

(나) 차량정보 및 검색 표출 화면

❍ LOCAL로부터 들어온 차량에 대한 정보를 실시간으로 보여주는 화면이다.



[그림 3-4-17] 차량정보 표출 화면



[그림 3-4-18] 차량 정보 검색 메인 화면

```
                from
                (
                        select VehicleNumber, VehicleName, RegistDateTime, EnterDateTime, NoEntryDateTime, Visible,
                        Note, UserCode, SeasonTicketCode from Vehicle
                        where 1=1
                        AND
                        (
                                (               @LEN  =  4 AND  VehicleNumber LIKE  '%' +  @SelectedVehicleNumber ) OR
                                ( @LEN  =  5 AND  SixNumber LIKE  '%' + @SelectedVehicleNumber  ) OR                    ------ 5자리 인식 추가
                                ( @LEN  =  6 AND  SixNumber = @SelectedVehicleNumber) OR
                                (  VehicleNumber LIKE  '%' +  @SelectedVehicleNumber + '%' )
                        )
                        AND  Visible = '1'

                        -- SJM
                        --AND 1 = CASE WHEN @LEN = 4 AND RIGHT(SixNumber, 4) = @SelectedVehicleNumber THEN 1
                        --            WHEN @LEN = 6 AND SixNumber = @SelectedVehicleNumber THEN 1
                        --                                                  WHEN @LEN > 6 AND VehicleNumber = @SelectedVehicleNumber THEN 1
                        --                                                  ELSE 0 END

                ) as tempVehicle
                left join Member as A on tempVehicle.UserCode = A.UserCode
                left join SeasonTicket as B on tempVehicle.SeasonTicketCode = B.SeasonTicketCode
                left join UserGroup as C on A.UserGroupCode = C.UserGroupCode
                left join SGroup as D on C.SGroupCode = D.SGroupCode
                left join MGroup as E on C.MGroupCode = E.MGroupCode
                left join BGroup as F on C.BGroupCode = F.BGroupCode
                left join MemberOption as G on A.MemberOptionCode = G.MemberOptionCode
                left join MOption_AccessAlarm as H on G.AccessAlarmCode = H.AccessAlarmCode
                left join MOption_AccessTime as I on G.AccessTimeCode = I.AccessTimeCode
                left join MOption_BasicDiscount as J on G.BasicDiscountCode = J.BasicDiscountCode
                left join MOption_NoEntry as K on G.NoEntryCode = K.NoEntryCode

                left join VehicleAddInformation as VA on VA.UserCode  = tempVehicle.UserCode   -- 김용미 2013-10-28  추가


                -- 방문자 처리추가 (방문자 테이블 검색)
                DECLARE @Number varchar(12)

                IF @SelectedVehicleNumber = ''
                        SET @Number = NULL
                ELSE
                        SET @Number = @SelectedVehicleNumber

                EXEC [dbo].[sp_GetVisitRecord] @Number
END
```

```
USE [SPMS]
GO
/****** Object:  StoredProcedure [dbo].[sp_GetVehicleInfo]    Script Date: 2017-08-01 오후 4:55:33 ******/
SET ANSI_NULLS ON
GO
SET QUOTED_IDENTIFIER ON
GO
-- =============================================
-- Author:                <Author_Name>
-- Create date: <Create Date,>
-- Description:        <Description,>
-- =============================================
ALTER PROCEDURE [dbo].[sp_GetVehicleInfo]
@SelectedVehicleNumber varchar(12)
AS
BEGIN

        DECLARE  @LEN int
        SET @LEN =  LEN(@SelectedVehicleNumber)


        select  ROW_NUMBER() OVER ( ORDER BY tempVehicle.VehicleNumber  ) AS No,

        tempVehicle.VehicleNumber, tempVehicle.VehicleName, tempVehicle.RegistDateTime, tempVehicle.EnterDateTime,
        tempVehicle.NoEntryDateTime, tempVehicle.Visible as VehicleVisible, tempVehicle.Note as VehicleNote ,
        A.UserName, A.UserCode, A.Phone, A.Note as MemberNote, A.Visible as MemberVisible,
        --A.NoDriving, ISNULL(A.NoDrivingDay, '0') AS NoDrivingDay,
        A.NoDriving, A.NoDrivingDay,
        B.SeasonTicketCode, B.SeasonTicketName, B.Unit, B.Period,  ISNULL(CONVERT(int, B.Money),0) as 'Money' , B.Note as SeasonTicketNote,
        A.UserGroupCode, F.BGroupName, F.BGroupCode, E.MGroupName, E.MGroupCode, D.SGroupName, D.SGroupCode,
        G.MemberOptionCode, G.OptionName,
        H.AccessAlarmCode, H.AlarmType, H.BackGroundColor, H.FontColor,
        I.AccessTimeCode, I.StartTime, I.EndTime, I.AccessTimeType,
        J.BasicDiscountCode, J.BasicDiscountName, J.DiscountCode,
        K.NoEntryCode, K.LPRCode,
        VA.Dong, VA.Ho, VA.UseNotify
```

[그림 3-4-19] 차량 정보 검색용 프로시져

[표 3.4.21] ALPR WIM 테이블 예시

테이블명	TB_VehicleInfo			
테이블정의	차량 정보 테이블			
칼럼명	설명	키유형	데이터 유형	길이
ID	테이블인덱스	기본키	정수	
TriggerIndex	트리거인덱스	N/A	정수	
Channel	차선	N/A	정수	
VehicleNum	차량번호	N/A	텍스트	12
EntryTime	차량진입시간	N/A	시간	
VehicleImage	차량사진	N/A	이미지	
PlateImage	번호판사진	N/A	이미지	
CDS	조도	N/A	정수	
BR	밝기	N/A	정수	
Gain	게인	N/A	실수	
Speed	속도	N/A	실수	
VehicleLength	차량길이	N/A	실수	
Light	조명	N/A	정수	
ReverseFlag	역방향	N/A	정수	
ColorFlag	주야	N/A	정수	
PlateLocation_x	번호판x좌표	N/A	정수	
PlateLocation_y	번호판y좌표	N/A	정수	
PlateLocation_Width	번호판width	N/A	정수	
PlateLocation_Height	번호판height	N/A	정수	
RecognitionTime	인식소요시간	N/A	정수	
RecognitionWaitTime	인식반환시간	N/A	정수	
SendFlag	백업플래그	N/A	정수	
Axis1	축1하중	N/A	실수	
Axis2	축2하중	N/A	실수	
Axis3	축3하중	N/A	실수	
Axis4	축4하중	N/A	실수	
Axis5	축5하중	N/A	실수	
Axis6	축6하중	N/A	실수	
Axis7	축7하중	N/A	실수	
Axis8	축8하중	N/A	실수	
GrossWeight	총중량	N/A	실수	

(2) 운영 및 검색 프로그램

(가) 기능 및 구조

❍ 운영 프로그램의 메인화면은 [그림 3-4-20]과 같이 차량번호인식, 동영상 재생 모드, 보정 차량 관리, 카메라 정보, 센터 정보, 영상정보 확인 기능 탑재되어 운영된다.



[그림 3-4-20] 운영 프로그램 메인화면

(나) 실시간 동영상 재생

❍ 버튼 클릭 시 실시간 동영상이 재생되며 해당 화면에서 마우스 왼쪽을 더블 클릭하면 인식하고자 하는 영역 설정이 가능하도록 기능을 설정하였다.



[그림 3-4-21] 실시간 동영상 재생 기능



```
USE [ILPR2015]
GO
/****** Object:  StoredProcedure [dbo].[Camera History]    Script Date: 2016-05-18 오후 
SET ANSI_NULLS ON
GO
SET QUOTED_IDENTIFIER ON
GO



Create PROCEDURE [dbo].[Camera History] (@svcID varchar(12))  as
begin

declare @sql varchar(1000)
declare @sql2 varchar(1000)
declare @tableName varchar(30)
set @tableName='Camera1_History_' + @svcID


if not exists(select * from information_schema.tables where table_name=@tableName)
    begin
    print 'Not Exists..' + @tableName + ' so CREATE'
    set @sql='CREATE TABLE [dbo].[Camera1_History_' + rtrim(@svcID) + ']('
[SeqNum] [int] NOT NULL,
[PlateNumber] [varchar](50) NULL,
[ShotTime] [varchar](50) NOT NULL,
[CarImage] [image] NULL,
[CarPlateImage] [image] NULL,
[CarImageWidth] [int] NULL,
[CarImageHeight] [int] NULL,
[CarPlateImageWidth] [int] NULL,
[CarPlateImageHeight] [int] NULL,
[CarPlateImageSX] [int] NULL,
[CarPlateImageSY] [int] NULL,
[CarPlateImageEX] [int] NULL,
[CarPlateImageEY] [int] NULL,
[UseFlag] [int] NULL,
[CDS] [int] NULL,
[BR] [int] NULL,
[Gain] [int] NULL,
[Speed] [int] NULL,
[ImageLength] [int] NULL,
[Light] [int] NULL,
[ReverseFlag] [int] NULL,
[ColorFlag] [int] NULL,
[RecognitionFlag] [int] NULL,
[RecognitionTime] [datetime] NULL,
[RecognitionWaitTime] [int] NULL,
[KindofVehicle] [int] NULL
 CONSTRAINT [PK_Camera1_History_' + rtrim(@svcID) + '] PRIMARY KEY CLUSTERED
(
[ShotTime] ASC
)) ON [PRIMARY] TEXTIMAGE_ON [PRIMARY]'
    exec (@sql)
set @sql2='CREATE TABLE [dbo].[Camera2_History_' + rtrim(@svcID) + ']('
[SeqNum] [int] NOT NULL,
[PlateNumber] [varchar](50) NULL,
[ShotTime] [varchar](50) NOT NULL,
[CarImage] [image] NULL,
[CarPlateImage] [image] NULL,
[CarImageWidth] [int] NULL,
[CarImageHeight] [int] NULL,
[CarPlateImageWidth] [int] NULL,
[CarPlateImageHeight] [int] NULL,
[CarPlateImageSX] [int] NULL,
[CarPlateImageSY] [int] NULL,
[CarPlateImageEX] [int] NULL,
[CarPlateImageEY] [int] NULL,
[UseFlag] [int] NULL,
[CDS] [int] NULL,
[BR] [int] NULL,
[Gain] [int] NULL,
[Speed] [int] NULL,
[ImageLength] [int] NULL,
[Light] [int] NULL,
[ReverseFlag] [int] NULL,
[ColorFlag] [int] NULL,
[RecognitionFlag] [int] NULL,
[RecognitionTime] [datetime] NULL,
[RecognitionWaitTime] [int] NULL,
[KindofVehicle] [int] NULL
 CONSTRAINT [PK_Camera2_History_' + rtrim(@svcID) + '] PRIMARY KEY CLUSTERED
(
[ShotTime] ASC
)) ON [PRIMARY] TEXTIMAGE_ON [PRIMARY]'
exec (@sql2)
    return 1
end
else
    begin
    print 'Exists..' + @tableName
    return 0
end
end
```

[그림 3-4-22] 영상이 저장시 자동으로 일자별 DB 및 테이블을 생성하는 사용 프로시져 : dbo.Camera_History

마. 과적 단속 시스템 센터 DB구성

❍ 과적차량단속시스템 센터 DB 데이터 형식 구축을 위해 중앙처리장치 데이터베이스의 데이터 테이블 목록은 [표 3.4.22]와 같이 정의되며, 무인단속시스템의 표준 소프트웨어 ERD는 [그림 3-4-23]같이 구성한다.

[표 3.4.22] 중앙처리장치 데이터베이스의 테이터 테이블 목록

테 이 블	
마스터	통보서 템포러리
위반정보 템퍼러리	년도별 일련번호
지역제어기 마스터	사용자 관리
교통특성 처리분석정보	로그 관리
관할경찰서 마스터	환경설정화일
차적조회결과	



[그림 3-423] 과적차량 단속시스템 표준 소프트웨어 ERD

3.5 테스트베드 구축 및 실험계획

가. 개요

- ❍ 본 기술사업화지원사업에서 개발되는 매트릭스 WIM 센서 시스템의 시험설치를 통해 성능을 검증하고, 추가 개선 및 보완사항 수정 등 개발시스템의 실용화/사용화 가능성을 극대화하기 위해 테스트베드를 구축· 운영한다.
- ❍ 이를 위해 국내 테스트베드 운영사례 및 국외사례 등을 고찰하여 본 과제에 적용여부 등을 검토하고, 현장실험 및 평가에 필요한 장비설치 등의 계획수립과 설계 등을 이행한다.
- ❍ 테스트베드 구축· 운영하기 위해서는 행정적인 측면, 구축비용, 테스트베드 운영 목적에 부합하는 일반적인 요구사항 등을 마련하고 이에 부응하는 대상지를 선정함이 바람직하나, 본 과제에서는 수행의 제한적인 여건 등을 고려하여 테스트베드를 선정하여 시험설치 및 평가실험을 수행한다.

나. 고속 WIM 시스템 시험 사이트 사례

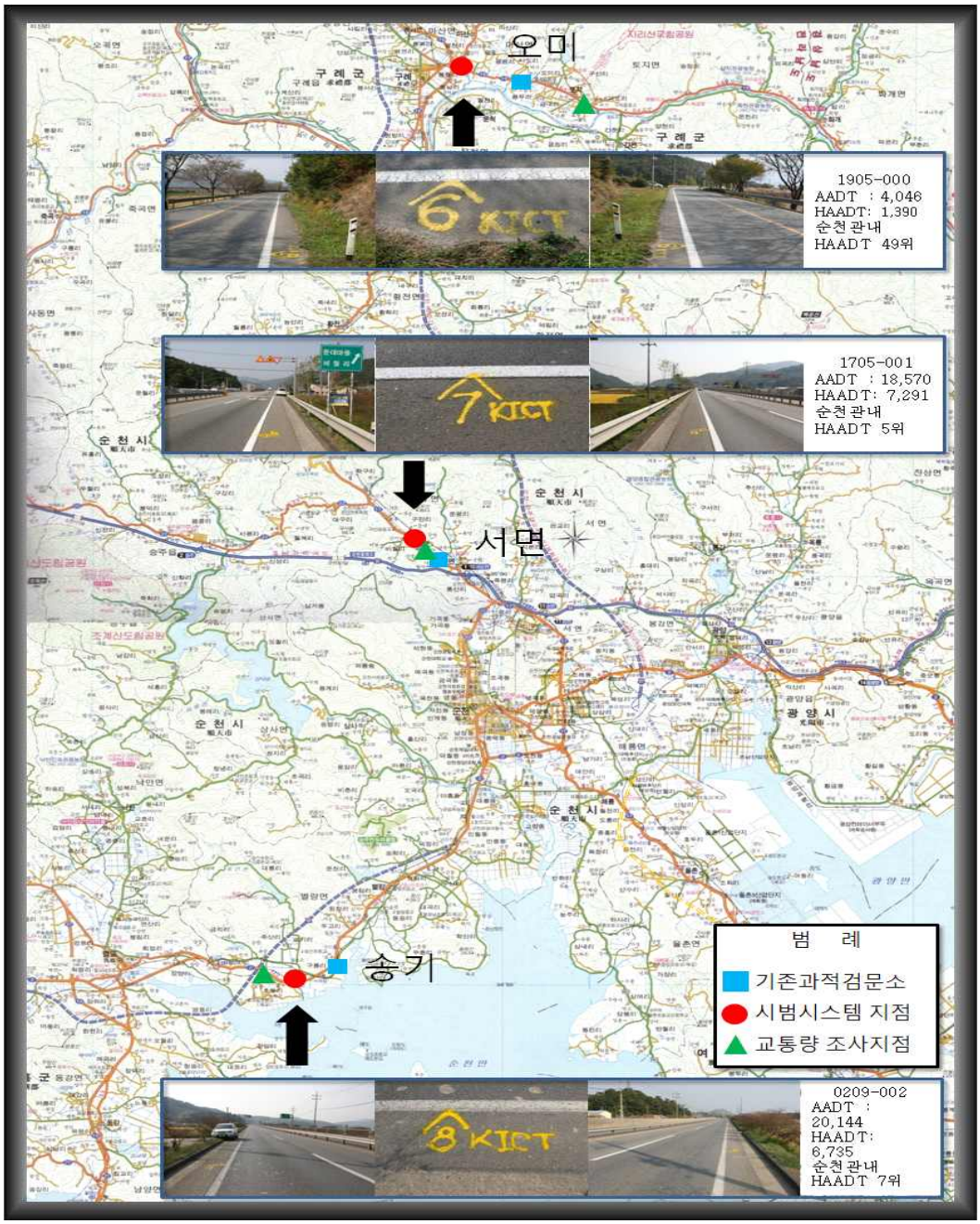
(1) 국도 무인과적 단속시스템 시범사업

- ❍ 과적차량 단속의 무인화를 위한 시범사업으로써 전 세계적으로 널리 활용되고 있는 다양한 고속축중기 센서(Quartz, Ceramic, PVDF Film)를 각각 적용하여 각 센서의 특성, 신뢰도 및 장·단점 등을 테스트하여 향후 전국적인 확대 구축에 대비하기 위하여 설치 운영한 바 있다.
- ❍ 설치 장소: 순천국도관리사무소 내에 위치한 여수국가산업단지와 '광양제철소 등의 과적차량 주요 근원지와 인접한 일반국도 17호선, 19호선, 2호선에 3년간의 화물차량 교통량, 다양한 계측 환경, 계측자료 검증(실험)의 용이성 등을 고려하여 지점을 선정하여 2011년 시스템 및 관련 장비를 설치 운영하였다.

[표 3.5.1] 국도 무인과적 단속시스템(시범) 구축지점별 축중센서 및 포장공법

점	센서 종류	센서 배열 방법	포장 공법
(순천방향)	PVDF	부등간격	초속경 PCTP(15cm)
송기검문소(벌교방향)	Ceramic	부등간격	초조강 PCTP(20cm)
서면검문소(곡성방향)	Quartz	부등간격	초속경 PCTP(15cm)
오미검문소(구례방향)	PVDF	등간격	초속경 PCTP(15cm)

※ 출처; 운행제한 선진화방안 연구, 국토해양부, 2011

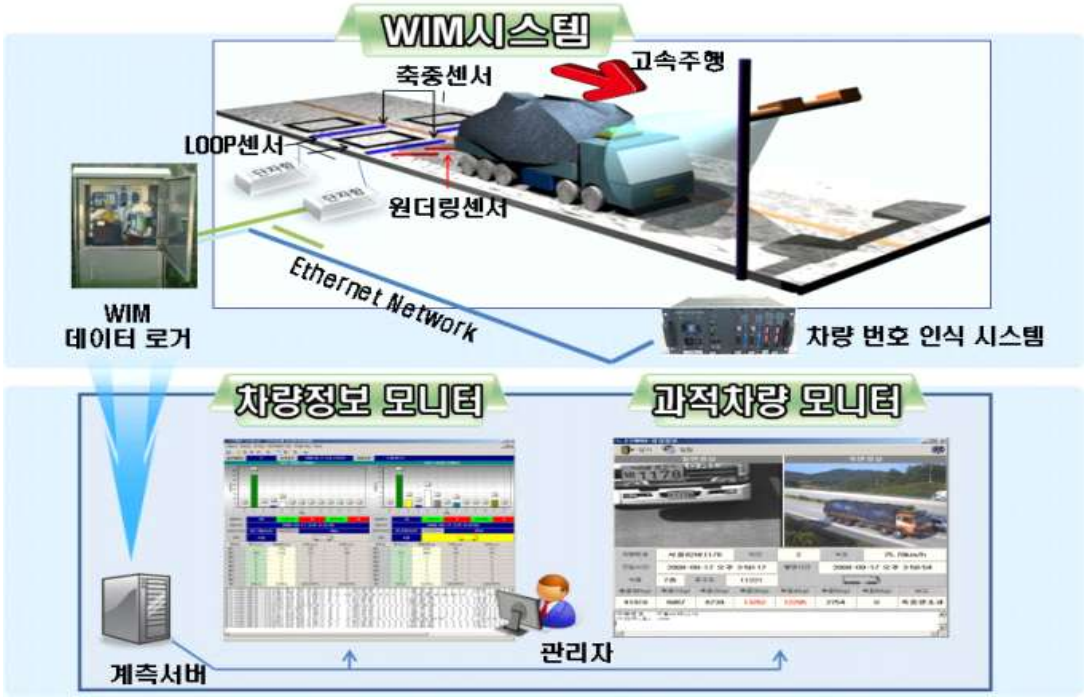


[그림 3-5-1] 국도 무인과적 단속시스템(시범) 구축지점별 설치 모습

※ 출처; 운행제한 선진화방안 연구, 국토해양부, 2011

(2) 한국도로공사 중부내륙고속도로 시험사이트

❍ 2002년 12월 중부내륙고속도로 편도2차로의 시험도로에 도로포장 공용성 자료분석의 정보활용을 위해 고속 WIM 시스템을 설치·운영하기 시작했으며, 2008년부터 고속 WIM 시스템을 과적차량 단속시스템으로 활용하기 위해 원더링(wondering) 개념을 도입하는 등 시험시스템을 지속적으로 개선하여 운영하고 있다.



[그림 3-5-2] 중부내륙고속도로 시험사이트 WIM 시스템 초기모델 개념도

※ 출처: 권순민, 서영찬, '고속축하중측정시스템 개발과 과적단속시스템 적용방안 연구', 한국도로학회 논문집제11권4호,2009.12

❍ [그림 3-5-2]는 중부내륙고속도로 시험사이트에 설치된 고속 WIM 시스템의 초기모델 개념도를 설명한 것이고 시험 성능을 위한 주요 테스트 내용은 다음과 같다.

- 시험차량 : 3차종(3축 화물차, 4축 화물차, 5축 화물차)
- 하중조건 : 각 차량별 공차, 적재정량, 과적재(또는 만차)
- 속도조건 : 30 ~ 90 Km/h 범위에서 3 ~ 5 단계 시험
- 주행회수 : 각 조건별 10회 이상
- 총 샘플수 : 744(1차로 363개, 2차로 381개)
- 측정항목 : 축하중, 총중량, 실제하중(정적하중)
- 샘플링비 : 2KHz

(3) 국외 고속 WIM 시스템 시범사이트 (독일 아우토반 A8 시범사이트)

❍ 뮌헨으로 향하는 아우토반 A8 고속도로(일교통량 100,000대 이상, 중차량 비율 20% 이상) 상에 구간관리, 운전자 지원, 운행패턴 분석 및 과적차량 단속을 목적으로 첨단 시스템 및 장비를 설치하여 일정기간 동안 테스트를 수행하였다.

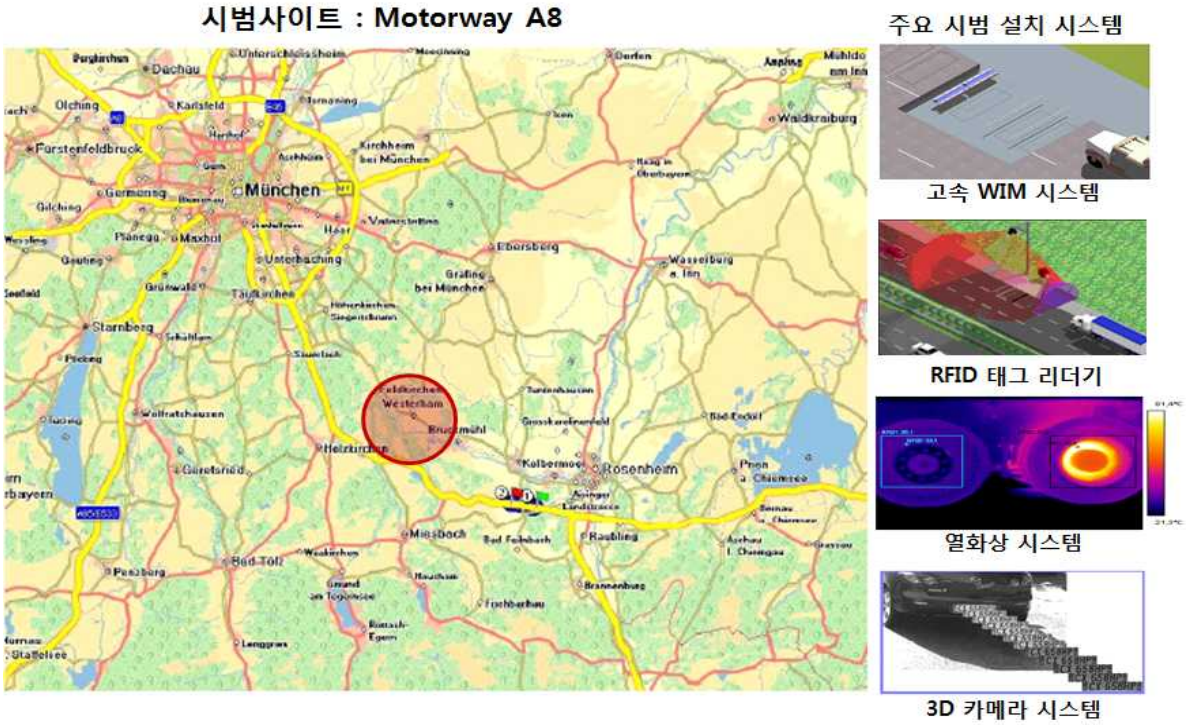
❍ [표 3.5.2]는 독일 아우토반 A8 시범사이트에서 수집하는 자료의 사용 및 운영 목적에 대해 설명한 것인데 대부분의 자료는 고속 WIM 시스템으로부터 수집하는 자료이며, 이 같은 시스템 운영의 주요 목적은 도로안전 일환임을 알 수가 있다.

[표 3.5.2] 독일 아우토반 A8 시범사이트의 구축 및 운영 목적

자료	목적	목표
• 시각 • 축수 • 축간거리(축거) • 차량길이 • 차종 • 축하중 • 총중량	• 과적행위 확인 및 검증	• 도로의 급격한 마모 및 파손 방지 • 사고에 의한 차량의 피해 방지 • 운행안전성 향상
• 차량규격(높이/길이/너비)	• 차량 높이 모니터링	• 과고차량에 의한 도로시설물의 파손 및 사고 방지 • 운행안전성 향상
• 온도변화 • 온도패턴	• 차량의 브레이크, 베어링, 타이어 상태를 모니터링	• 사고에 의한 차량의 피해 방지 • 운행안전성 향상
• 주행속도 • 차간거리 • 구간 내 차량위치	• 운행패턴 모니터링	• 사고 방지 • 운행안전성 향상

❍ 구축 및 시범운영 기간 : 2008년 7월 ~ 2011년 12월

❍ 시범사이트의 위치는 뮌헨과 남부 바바리안 지역 및 오스트리아를 연결하여 일정량 이상의 교통량이 발생하는 주요 간선축인 Motorway A8을 선정함으로써 시범시스템의 운영을 통해 자료수집 및 분석 등을 충분히 수행할 수 있는 위치를 사용하였다.



[그림 3-5-3] 독일 고속 WIM 시스템 시범사이트 위치 및 설치 장비

다. 테스트베드 대상지 검토 및 선정

(1) 테스트베드 선정 시 검토사항

- 행정적인 측면에서의 이용가능성, 테스트사이트 고유의 목표달성도, 구축비용, 기존 시설과의 관계 등 다양한 측면을 고려하여 대상지를 선정한다.
- 도로의 선형(종단, 횡단, 곡선반경 등), 차로 폭, 차로 수 등 기하구조가 양호하고 포장상태가 양호한 구간을 선정(COST 323 및 ASTM 설치기준 참조)한다.
- 성능테스트 및 실험평가 등을 위한 컨테이너 및 부대시설의 설치가 가능한 공간부지가 확보된 도로구간을 선정한다.
- 국토교통부의 도로교통량 통계연보 등의 자료를 통해 일교통량 중 일정비율 이상의 중차량이 통과하는 도로구간을 선정한다.
- 최대한 논리적이고 객관적인 기준에 의하여 과제의 실현 가능성을 높일 수 있는 대상지를 선정한다.
- 과제의 특성을 감안하여 대표성이 강한 도로구간을 선정한다.

(2) 유의 및 고려사항

- 고속 WIM 시스템을 설치·운영하는 도로관리청과의 사전협의 및 협조를 통해 시험설치 구간을 선정한다.
- 과적차량 단속시스템을 운영 중인 국토교통부와의 협의를 통해 기존 과적검문소를 활용하는 방안 또는 시험사이트를 운영 중인 한국도로공사와 협의하여 시험시스템을 설치·운영하는 방안 등을 사전 검토한다.
- 향후 적절한 전문 실행자에게 책임을 위양할 수 있는 대상지를 선정한다.

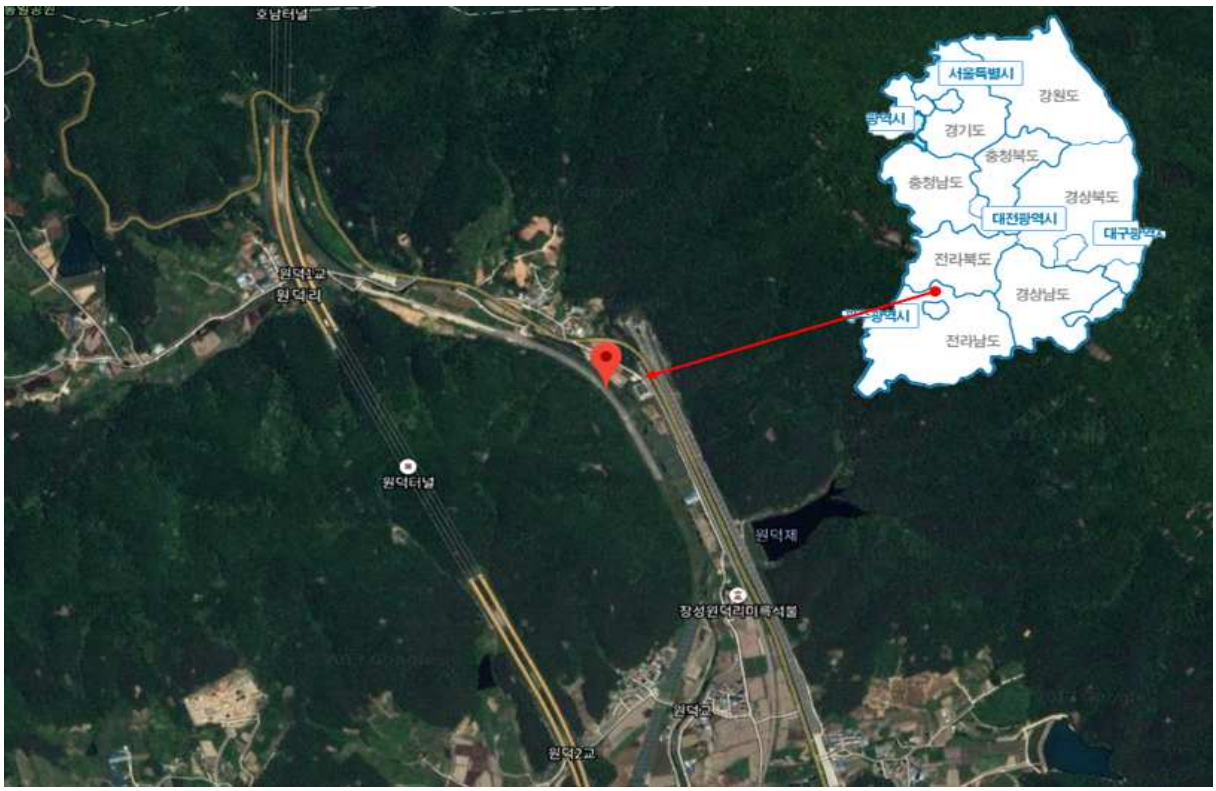
(3) 테스트베드 선정

- 본 과제에서 구축하고자 하는 테스트베드는 개발하는 WIM 시스템을 실험하고 성능 등을 평가하여 그 결과를 피드백 함으로써 시스템을 개선하는 것이 주요 목적이다. 즉 실험의 고유한 목적은 이미 알려진 지식을 객관적으로 예증하거나, 새로운 사실을 발견하거나, 어떤 가설을 검증하기 위한 조작·활동으로서 일반적으로 본 사업을 시행하기 전에 운영하는 시범사이트와는 다소 의미가 다르다.
- 따라서 본 기술화지원사업에서는 위에서 언급한 검토 및 고려사항 이외에 현장실험에 적합한 안전성, 이용성, 편의성 등을 시험사이트 대상지 선정의 우선 사항으로 고려하였다.
- 결국 이용가능성, 비용적인 측면 및 안전성과 현실적인 측면 등의 요소에 의거하여 한국도로공사의 폐쇄도로 중의 일부 구간을 테스트베드로 선정하였다.

라. 고속 WIM 시스템 테스트베드 구축

(1) 테스트베드 위치

❍ 매트릭스 WIM 센서시스템, 비교평가를 위해 Kistler사의 Linears Quartz 압전센서를 사용하는 WIM 시스템이 설치된 테스트베드의 지정학적 위치는 전라남도 장성군 북이면 원덕리 1099-2번지에 위치한 길이 약 1km의 폐쇄도로 구간이다.



[그림 3-5-4] 고속 WIM 시스템의 테스트베드 위치

(2) 테스트베드 환경

❍ 주변도로

- 테스트베드가 구축되는 폐쇄도로 구간은 호남고속도로 내장산 IC와 백양사 IC 사이에 위치한 원덕터널에서 직선거리로 약 600m 이격된 장소에 위치해 있고,
- 일반국도 1호선 갈재로 옆으로 평행하게 위치하여 있다.

❍ 주변시설 등 운영환경

- 길이 약 1km의 폐쇄도로 구간 초입에는 A사에서 설치한 하이브리드 트럭스케일 시스템이 시험운영 중에 있고, 중간 부분에는 B사에서 설치하여 테스트하고 있는 스마트톨링 요금징수 시스템이 위치하고 있다. 폐쇄도로이기 때문에 시험환경이 안전하고 주변 시험시설과의 협업 등으로 운영의 용이성이 높다.



[그림 3-5-5] 테스트베드 주변시설 및 환경

❍ 도로환경

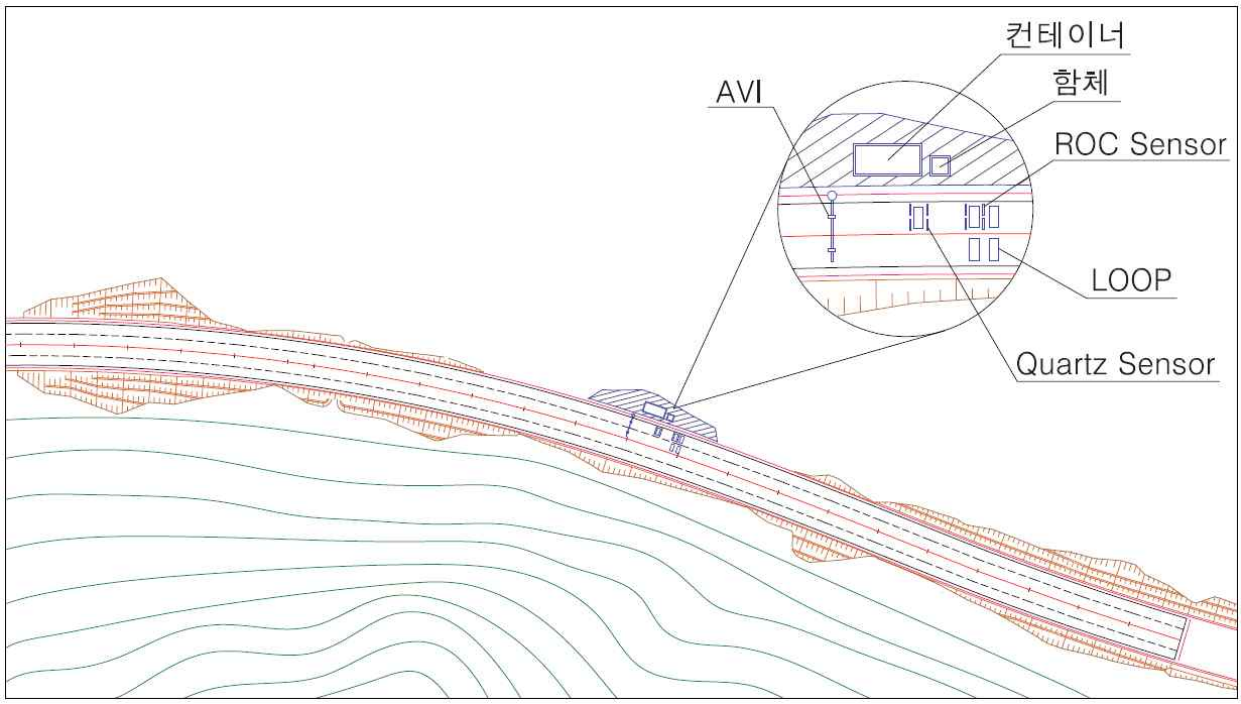
- [그림 3-5-5]에 나타나 있듯이 테스트베드의 기하구조는 왕복 4차로 도로구간이며, 차로 폭은 347mm 이고 약 1.2m 가량의 갓길이 있다. 포장상태는 그림에서 알 수 있듯이 양호한 상태는 아니다.
- 패쇄도로 구간은 중간에서 곡률반경을 갖으면서 도로가 휘어진 상태이고, 폐쇄도로 구간 초입에는 트럭스케일 시험장비가 설치되어 있기 때문에 고속 WIM 실험을 실행할 수 있는 직선구간의 거리는 약 400m 가량으로 다소 길이가 짧아 대형화물차량이 고속으로 주행하기에는 어려움이 따른다.



[그림 3-5-5] 테스트베드 도로환경

(3) 테스트베드 고속 WIM 시스템 및 AVI 배치

- 본 기술화지원사업에서 시험평가를 위해 테스트베드 사이트에 설치되는 주요 현장장비는 매트릭스 WIM 센서(ROC 센서), Linears Quartz 압전센서(Kistler 센서), Loop 센서, WIM 제어기(ECM Hera Station), 차량번호판 자동인식장치 등이며, 시험기간 동안 테스트베드 운영을 위해 사용할 컨테이너가 설치된다.
- [그림 3-5-6]은 테스트베드에 설치되는 주요 현장장비들의 레이아웃을 표현한 것인데, 1차로에 개발하는 매트릭스 WIM 센서와 기존의 Kistler 압전센서를 앞뒤 직렬형태로 설치함으로써 각각 또는 동시에 비교실험이 가능하도록 배치계획을 수립하였다. 세부 설치내역은 부록에 첨가한 도면을 참조한다.
- 차량번호판 자동인식장치(AVI)는 차량이 검지영역내로 진입하면 번호판 인식이 양호하도록 WIM 센서와 15m 이상의 이격거리에 배치하였으며, 야간에도 적외선 조명에 의해 촬영이 가능하도록 IR LED 조명장치를 함께 설치토록 하였다.



[그림 3-5-6] 테스트베드 시험장비 레이아웃

(4) 테스트베드 구축

- 테스트베드 구축의 목적은 전라남도 장성군 북이면 원덕리 1099-2번지에 위치한 길이 약 1km의 폐쇄도로 구간에 고속 WIM 센서 시스템과 관련 장비들을 설치함으로써 본 기술사업화 지원사업에서 추진하는 개발기술의 성능실험 및 평가를 수행하고 특히 테스트베드 운영결과를 토대로 매트릭스 WIM 센서 시스템의 상용화를 가속화 하는데 있다. 구축하는 설비의 구성은 다음과 같으며, 장비의 설치는 [표 3.5.4]에 계획된 공정표에 따라 수행한다.

- 고속축중기(WIM) 검지부(중량센서 및 루프센서) s
- 고속축중기 제어부
- 차량번호인식 및 카메라(구조물 포함)
- 통신 및 전원설비
- 현장운영을 위한 컨테이너

[표 3.5.3] 테스트베드 설치 내역

품명	규격	단위	수량	비고
매트릭스 WM 센서	1600×110×56mm	EA	4	ROC
Quartz 압전센서	1750×56×44mm	EA	4	Kistler
PoE 스위치	16port, 24V	EA	1	ROC
Power Supply Unit	24 VDC Output	EA	1	Kistler
8-채널 Charge AMP	18~30 VDC, ±60000 pC, 0~±5V/2mA, < 10KHz	EA	2	Kistler
Output Cable	L=30m	EA	2	
Grouting Compound Set		EA	30	
고속 WIM 제어기	- Main CPU (32bit ARM7) - 4Channel Lane Controller - Ethernet/RS-232 - TCP/IP (XML format)	EA	1	ECM
루프센서	직사각형	EA	4	
함체	알루미늄, 옥외형	EA	2	
디지털 카메라	Color CDD, 1624*1224 이상	EA	2	
카메라 렌즈	10배 줌 이상	EA	2	
카메라 하우징	알루미늄, 옥외형	EA	2	
팬틸트 줌	Out Door, 30kg 이하	EA	2	
조명장치	IR LED, 740nm	EA	2	
번호인식 시스템 제어기	2차로용	EA	2	
운영컴퓨터		EA	2	
케이블 A'SSY설치	전원, 통신, 영상	EA	2	
포장 절단	2차로	100m	0.496	
좌대	콘크리트 강도 180kg/㎠ 이상	EA	2	
컨테이너	20 feet	EA	1	

[표 3.5.4] 테스트베드 장비 구축 공정표

공종명	2017년														
	6월										7월				
	1	3	6	9	12	15	18	24	27	30	3	6	9	12	15
현장조사 및 시공협의															
설치 및 제작사양 작성															
자재수급 및 제작															
카메라 및 제어기 설치															
컨테이너 설치															
고속 WIM 시스템 설치(1차)															
고속 WIM 시스템 설치(2차)															
송수신 제어 및 시험															
시험운영 및 수정보완															

(가) 고속 WIM 센서 설치

❍ 포장의 표면은 고속 WIM 센서 시스템이 필요로 하는 수준의 평탄성을 확보해야 한다. 따라서 설치대상 도로의 노면이 평탄하지 않은 경우 시공에 앞서 재포장, 면갈이 등 소정의 방법을 적용하여 요구하는 수준의 평탄성을 확보하여야 한다. 해당 테스트베드의 경우는 재포장은 불가하여 면갈이로 평탄성을 확보토록 한다. 이때 면갈이의 실시는 가능한 절삭 깊이를 종방향으로 자동 조정할 수 있는 장비를 사용한다.

❍ 축중센서(고속 WIM 센서) 및 노면에 매설된 케이블을 이용하여 차량의 진출입 여부

를 감시하는데 사용하는 루프센서는 도로의 포장체를 컷팅한 후 센서를 매립하고 포장체 특성을 고려한 그라우트제로 마감처리 한다.

❍ 축중센서(고속 WIM 센서)의 충진제로는 경화시간이 짧으며 작업성을 고려해야 하며, 경화후 포장체와의 일체성이 우수한 그라우트제를 사용하여야 한다. 시공 시 외부 온도가 낮을 경우 온풍기와 닥트를 사용하여 25℃ 이상의 온도를 유지하거나 계절에 적합한 용도의 충진제를 사용한다.



[그림 3-5-7] 매트릭스 WIM 센서 설치 모습

(나) 차량번호판 자동인식장치(AVI) 설치

❍ 도로현장에서 이루어지는 작업이므로 비록 폐쇄도로이긴 하나 안전조치를 한 후 작업한다.

❍ 공사에 임하는 종사원에게는 충분한 전방거리에서 작업자를 확인 할 수 있도록 안전모, 작업복을 착용하도록 한다.

❍ 기 시설된 시스템 및 기타 설비에 장애가 발생하지 않도록 유의하여 시공한다.

❍ 카메라를 설치하기 위한 구조물은 기상 악천후 풍압 등에 넘어지지 않는 구조로 설치한다.

❍ 구조물은 안전하고 외관이 수려하고 카메라 점검 등 유지관리 업무를 손쉽게 수행할 수 있는 구조이어야 하며, 기기의 형상 및 기능문제로 인하여 구조물 변경이 필요한 경우는 제작 전 발주자에게 사전승인을 얻는다.

❍ 설치를 위해 준비한 자재(카메라, 렌즈, 하우징, 브라켓, 케이블류, 함체 등)를 사전에 확인한다.

❍ 카메라 설치작업 시 외부의 충격을 받지 않도록 주의하여야 하며 가변조정형 렌즈의 초점조정을 하여야 하고, 조리개는 현장여건을 고려하여 최적의 상태를 유지하도록 조정한다.

❍ 카메라 렌즈의 줌조절 및 상, 하, 좌, 우의 카메라 설치각도 조절은 최적의 검지영역을 설정할 수 있도록 하며, 카메라 각도 조절 후에는 진동에 의한 틀어짐이 최소화되도록 카메라 팬/틸트를 견고히 고정시킨다.

❍ 카메라 제어기 설치 후 수집된 데이터의 정확도가 기준이상이 되도록 세부조정(각도, 위치, 검지영역 등)을 한다.

❍ 제어기 및 카메라부 설치 후 야간램프 동작상태, 검지율, 인식율 등을 확인한다.

❍ 카메라 시스템별 각 케이블의 단말처리는 압착단자 및 케이블타이를 사용하여 미려하게 한다.

❍ 커넥터 접속은 핀과 핀 사이의 절연특성을 고려하여 심선 납땜 후 절연 튜브를 사용하여 절연을 하여야 하고 외부로부터 먼지나 습기 침투를 방지토록 한다.

❍ 제어기 함체 및 폴 내부에 포설되는 각종 케이블은 적절한 여장이 있도록 한다.

❍ 전원케이블의 접속, 성단 작업시 주 차단기를 차단시킨 후 작업에 임하여야 하며, 통신선에 영향이 없도록 적정거리를 확보 설치한다.

❍ 설치된 기기 및 각종 배선에는 Label을 부착한다.

❍ 작업장에서 발생되는 부산물은 작업장에서 완전 제거하여야 하고, 노면청소를 실시한 후 철수한다.



[그림 3-5-8] 차량번호판 자동인식장치(AVI) 설치 모습

(다) 함체 및 좌대 설치

❍ 함체 설치

- 함체는 습열로 부터 부식을 방지한 제품을 사용한다.
- 도어 잠금 시 함체의 기밀을 유지하기 위해 견고한 구조 재료를 사용해야 하며, 외부 함 내의 기기를 외부의 비인가자로부터 보호하기 위하여 특수 전용자물쇠로

시건 한다.

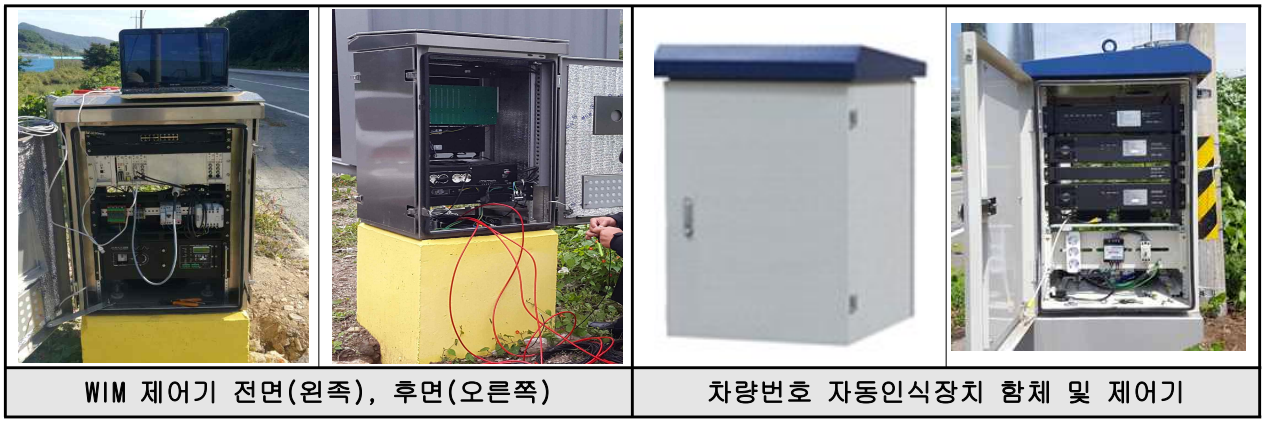
- 외부함의 내부에 19" 랙이 장착될 수 있는 Frame을 장착한다.
- 함체 바닥부위는 설치될 제선로가 올라오는 도선관을 통해 습기가 유입되지 않도록 필요한 처리한다.
- 함체 외부에는 발주기관(국토교통과학기술진흥원)의 로고와 과제책임자 성명 및 연락처 등을 표시한다.
- 외부환경(온도, 습도, 비, 먼지 등)에 대한 대비책을 세워 Stainless(SUS 304 1.5t)로 제작, 설치한다.
- 함체의 보호와 외부온도 유입방지를 위하여 2중 구조로 제작한다.
- 함체외부의 모든 모서리부분은 부드럽게 가공한다.
- 광케이블 연결 및 통신장치 설치를 위한 공간을 확보한다.
- 함체 바닥면처리는 절연, 진동, 먼지 방지를 위해 고무판을 설치한다.
- 함체좌대는 제어함체 및 케이블 보호를 위해 견고히 제작하며, 장비의 보호 및 안전사고 방지를 위해 제어함체와 견고히 연결한다.
- 손쉬운 유지보수(장비 및 케이블 교체 등)를 위해 앞, 뒷문 개폐가 용이하도록 한다.
- 인입되는 케이블은 현장 보행인이나 차량에 대비하여 파손 및 훼손되지 않도록 보호구조로 설치한다.
- 열 발생에 대비하여 필요시 장비간의 여유 공간을 확보하여야 하며 Blank처리를 하여 미려하도록 한다.
- 작업에 필요한 전원단자 및 각종 접점단자 등은 전면에 배치하여야 하며, 케이블 정리는 미려하게 처리한다.
- 함체는 각종 염화물에 대비하여 방염코팅을 하여야 하며, 기기 점검시 사용할 수 있는 노트북용 점검대를 설치한다.
- 함체 구조는 온도변화(-25℃ ~ 70℃), 물, 습도, 충격을 잘 견딜 수 있는 구조로 제작한다.

❍ 좌대 설치

- 좌대는 장비가 침수되지 않도록 하며, 지면으로부터 300mm정도 돌출시키도록 한다.
- 좌대에 사용되는 콘크리트 강도는 180kg/㎠이며, 모서리 부분의 깨짐, 부서짐, 금감이 없도록 한다.
- 좌대의 단면크기는 제어기 이중덮개를 제외한 하부단면과 같아야 한다.
- 터파기 및 거푸집 제작은 콘크리트 좌대의 설치 위치가 확정되면 가로 1,300mm, 세로 1,500mm, 깊이 800mm의 직사각형 구조로 터파기를 한다. 거푸집 크기는

600×600×1500mm 합판으로 견고하게 한다.

- 배선용 덕트 가설은 콘크리트 좌대용 거푸집의 조립이 완료되면 표에 나타낸 배선용 덕트의 규격을 참조하여 방수용 플렉시블 덕트를 가설한다. 플렉시블 덕트는 좌대 상부에서 100mm 이상 올라와야 하며 양단의 구멍은 수분 및 기타 이물질의 침입을 방지하기 위하여 비닐 테이프 등으로 꼼꼼하게 막아 놓는다.



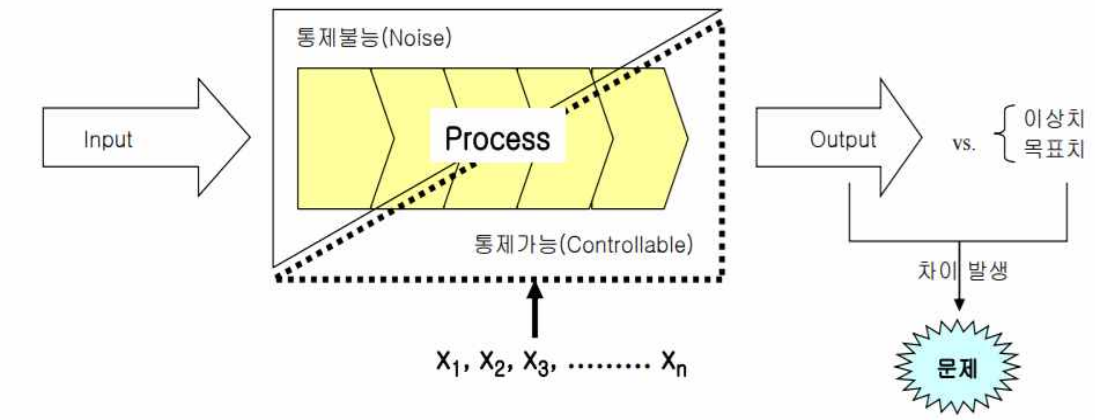
WIM 제어기 전면(왼쪽), 후면(오른쪽)	차량번호 자동인식장치 함체 및 제어기

[그림 3-5-9] 제어기 함체 및 좌대 설치 모습

마. 실험계획 수립

❍ 실험계획이라 함은 일반적으로 해결하고자 하는 문제에 대하여 실험을 어떻게 행하고, 데이터를 어떻게 취하며, 어떠한 통계적 방법으로 데이터를 분석하면 최소의 실험횟수에서 최대의 정보를 얻을 수 있는가를 계획하는 것이다.

❍ 전통적인 실험계획은 [그림 3-5-10]을 살펴보면 통제 용이한(가능한) 요인을 조절하여 발생한 차이를 해결하여 최적의 결과를 얻는 것이며, 최소의 실험(시간/비용 절감)을 통하여 유용한 결과를 도출하는 것이다.



[그림 3-5-10] 실험계획의 개념도

❍ 고속 WIM 시스템을 대상으로 앞에서 언급한 실험계획을 수립 또는 설계하기 위해서는 WIM 시스템의 실험방법, 즉 필요한 차종 및 차량대수, 시험차량의 주행속도, 시험차량의 무게, 수집해야 하는 정보항목, 테스트 횟수 등 다양한 항목에 대한 검토가 선행되어야 할 것이다. 따라서 본 과제에서는 국내외 유사한 사례를 검토하고, 현장 테스트베드의 여건 및 실험 목적 등에 따라 실험계획을 수립한다.

(1) 국내외 사례 검토

(가) 고속 WIM 시스템 성능검증 적용기준 검토

❍ 현재 WIM 시스템에 관한 연구 및 적용이 꾸준히 진행되고 있는 유럽에서는 COST323 (Co-Operation Study in the field of Technical Research 323)의 적용기준에 따라 WIM 시스템의 성능을 검증하고 있고, 미국은 재료시험협회(ASTM, American Society of Testing Material)에서 정확도, 평가방법, 설치방법 등을 제시하고 있으며, 일반적으로 국제법정계량기구인 OIML(International Organization of Legal Metrology)에서는 성능검증 후 인증업무를 수행하고 있다.

❍ 한편 국내에서는 계량에관한법률 및 국가표준기본법, 차량에 관한 운행제한규정에 의거하여 WIM 시스템의 검사, 교정 및 보정을 수행하고 있는데, 최근(2016년 11월 15일 국토교통부 고시 제2016-627호)들어 고속축중기(고속 WIM 시스템)에 대해 [표 3.5.5]와 같이 성능기준과 평가대상 선정 및 평가방법 등과 같은 세부규정을 마련한 바 있다.

[표 3.5.5] 고속축중기 평가등급별 성능기준

평가항목		중량정확도(%)		회피주행 검지율(%)	차량번호 인식률(%)	매칭 정확도
		총중량	축하중			
평가 등급	최상급	≧95%	≧90%	≧90%	≧95%	100%
	상급	95>, ≧93	90>, ≧85	90>, ≧80%	95>, ≧85%	100%
	중급	93>, ≧90	85>, ≧80	-	85>, ≧80%	-
	중하급	<90%	<80%	-	<80%	-

❍ 위에서 언급한 COST 323, ASTM, OIML에서 WIM 시스템에 적용하는 기준은 일반적으로 대상구간의 정의 및 등급, 적용환경, 정확도 산출, 보정 및 시험절차, 데이터베이스 등을 대상으로 하고 있는데, COST 323은 다른 기관과 비교해 대상구간의 등급, 적용환경, 정확도 검증방법 및 수준 등에 있어 상세한 방안을 제시하고 있어 세계의 많은 나라들이 COST 323의 WIM 시스템 적용기준을 참조하고 있다.

❍ 그러나 COST 323의 적용 방법이 다소 복잡하고 작성된 지도 오래된 기준이라 최근들어서는 OIML(International Organization of Legal Metrology)의 국제 권고규격인

R-134(Automatic instruments for weighing road vehicles in motion and measuring axle loads)를 많이 참조하는 추세이다.

(나) 고속 WIM 시스템의 정확도 분석방법

- WIM 시스템에서는 측정 정확도를 평가하여 등급을 구분하여 적용기준을 제시하고 있는데, 미국의 ASTM에서는 95% 신뢰수준에서 발생하는 % 오차를 사용하며 COST 323에서는 정해진 신뢰수준의 허용오차를 통계적 방법으로 분석하여 정확도에 대한 등급을 구분하고 있다.
- COST 323에서는 WIM 시스템의 정확도 평가시 통계적으로 발생할 수 있는 불확실성을 감소시키기 위해 테스트의 반복성, 샘플 크기, 신뢰도 수준을 조합하여 평가를 수행하기 때문에 테스트 조건이 까다롭고 계산방법 또한 복잡하다. 그러나 통계적인 이론을 바탕으로 하여 정확도 측정에 영향을 미치는 대상구간의 요건과 테스트 조건 등을 조합하여 평가하기 때문에 신뢰성은 높은 평가방법으로 인식하고 있다.
- 한편, 2016년 11월 15일 국토교통부에서 고시한 고속축중기의 평가항목은 중량정확도, 회피주행검지율, 차량번호인식률, 매칭정확도로 하고 있으며, 중량정확도는 다음 식 (3-5-1)을 이용하여 "¦100(%)-오차백분율(PE)¦" 로 하며, 중량정확도 평가 시 평가차량의 차량번호와 평가대상 장비에서 측정된 차량번호가 일치하지 않을 경우 불합격 처리한다.

$$E\,\%) = \frac{E}{Y} \times 100 \qquad \text{식 (3-5-1)}$$

여기서, E = 유효중량 이상을 갖는 평가차량의 총중량 또는 축하중이 평가대상 장비(HS-WIM)에서 측정된 값

Y(기준값) = 유효중량 이상을 갖는 평가차량의 총중량 또는 축하중

(다) 평가방법

- COST 323
  - COST 323은 WIM 시스템의 정확도 평가를 위해 정확도 등급([표 3.5.6 참조])은 일반적으로 정적하중과 관련하여 얻어지는 상대적 오차의 신뢰수준인 , 그리고 테스트 조건에 따라 π로 나타내지는 최소 신뢰수준으로 설명하는데, 이를 통계적으로 정의하는 방법을 사용한다.

[표 3.5.6] 정확도 등급의 허용기준

측정항목	적용 범위	정확도 등급/ 신뢰수준범위 δ(%)						
		A(5)	B+(7)	B(10)	C(15)	D+(20)	D(25)	E
1. Gross weight	>3.5t	5	7	10	15	20	25	>25
axle load	>1 t							
2. group of axles		7	10	13	18	23	28	>28
3. single axle		8	11	15	20	25	30	>30
4. axle of a group		10	14	20	25	30	35	>35

• 수행에 필요한 세 가지의 환경 반복성/재현성 조건과 네 가지의 무게측정 반복성/재현성 조건에 따른 European specification의 값은 유효한 테스트 수행을 통해 얻은 결과를 사용한다. [표 3.5.7]은 세 가지의 환경 반복성/재현성 조건에 대해 만들어진 π_0 값을 나타낸 것이다.

4가지 측정조건 :

(r1) 반복성 : 하나의 차량이 같은 속도로 여러 회 통과. 차량의 하중과 통과 위치는 동일함

(r2) 확장된 반복성 : 하나의 차량이 다른 속도로 여러 회 통과. 다른 하중과 통과 위치 변화

(R1) 제한된 재현성 : 차량군(예:2-10대)이 적용됨. 각각의 차량은 다른 속도, 하중, 통과 위치를 조합하여 통과

(R2) 완벽한 재현성 : 대형사이즈의 샘플 수(수십-수백 대)가 적용. 차량은 교통류에서 추출되거나 대표차량을 적용, 오직 한번 만 WIM 시스템을 통과.

[3.5.7] 환경적 반복성 조건(I)의 경우, 중앙 신뢰구간에 대한 최소 신뢰수준 π_0 (단위: %)

측정조건 \ 샘플수	10	20	30	40	60	120	∞
완전한 반복성	95	97.2	97.9	98.4	98.4	98.7	99.2
확장된 반복성	90	94.1	95.3	96.4	96.4	97.1	98.2
제한된 재현성	85	90.8	92.5	94.2	94.2	95.2	97.0
완벽한 재현성	80	87.4	89.6	91.8	91.8	93.1	95.4

• [표 3.5.8]은 COST 323에서 WIM 시스템을 테스트 하는 경우 적용하는 일반적인 조건을 설명한 것이며, 이 같은 정확도 테스트을 위해서 사전 또는 사후에 중량이 측정된 시험 차량을 이용한다. 시험차량의 정적하중은 COST 323에서 설명한 일반 규칙에 따라 지정된 정확도로 승인된 정적 스케일로 측정한다.

[표 3.5.8] COST 323의 테스트 조건

무게측정조건	적재 조건	차량 조건	속도 조건	횟수
확장된 반복성	공차/반차/만차	일반 대표차량	▪고속도로: 70 및 95km/h ▪일반도로: 50, 70, 90km/h	최소 10회 이상씩
제한된 재현성	반차/만차	3 ~ 4 대 차량 ▪1단위 트럭 ▪세미 트레일러 ▪트럭 트레일러	3 speed levels	최소 10회 이상씩

❍ 미국 재료시험협회(ASTM, American Society of Testing Material)

• 미국 ASTM에서 WIM 시스템의 정확도라 함은 WIM 시스템이 측정 또는 추정한 값과 승인된 기준값 간의 근접성 또는 일치 정도로 정의하고 있다. (기술된 허용오차와 퍼센트 준수 여부)

[3.5.9] WIM 시스템 기능 및 성능 요구사항

기 능	95 % 적합성[A]에 관한 허용오차				
	1형	2형	3형	4형	
				값 $>lb (kg)	±lb (kg)
휠 하중	±25 %		±20 %	5000 (2300)	300 (100)
축하중	±20 %	±30 %	±15 %	12 000 (5400)	500 (200)
축그룹 하중	±15 %	±20 %	±10 %	25 000 (11 300)	1200 (500)
총중량	±10 %	±15 %	±6 %	60 000 (27 200)	2500 (1100)
차량 속도	±1 mph (2 km/h)				
축간격 및 차축거리	±0.5 ft (0.15m)				

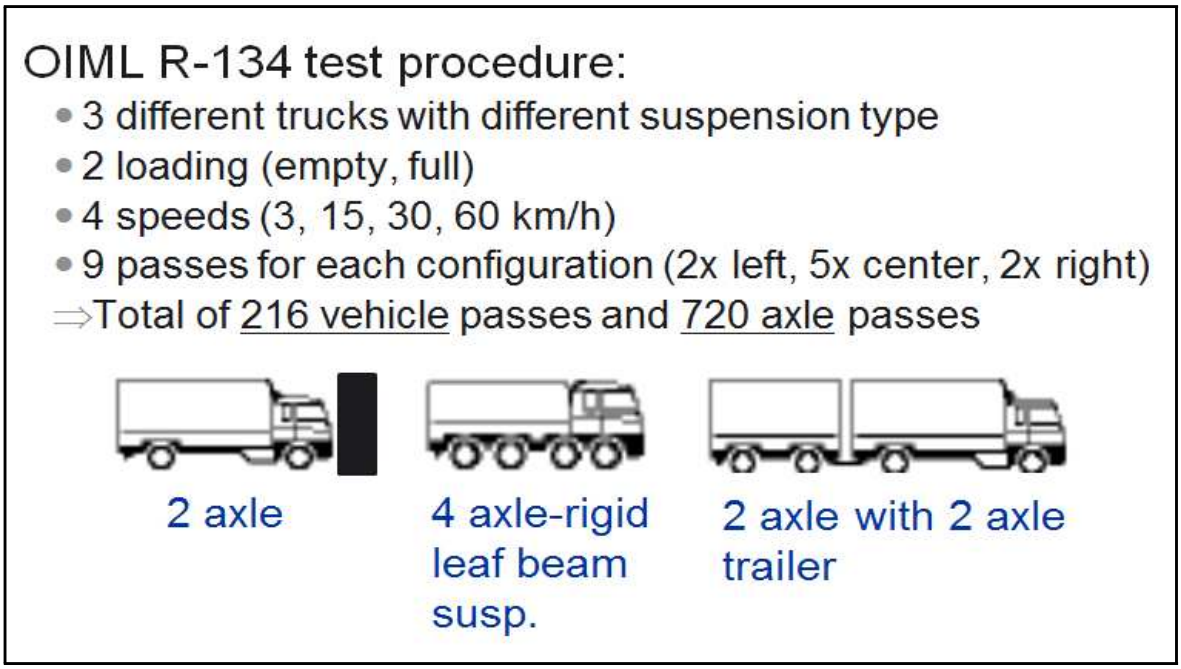
[A] WIM 시스템이 생성하는 데이터 항목의 95 %는 반드시 허용오차 범위 내에 있어야 한다.

• 미국 ASTM의 1형, 2형, 3형 WIM 시스템의 현장 검증 시험은 다음과 같은 내용 및 절차로 수행된다.

- 사용자와 공급업체 모두가 합의한 값으로 WIM 시스템를 설정함
- 교정을 한 두 대의 시험 차량을 각각 5회 이상 레인에 설치된 센서 위를 최대 속도 보다 약 5 mph (8 km/h) 느린 속도로 지나가게 하고 그 다음 5회 이상 최소 속도 보다 약 5 mph (8 km/h) 빠른 속도로 지나가게 함
- 각 속도에서, 1회 이상은 시험 차량 타이어를 레인의 좌측 가장 자리에 가깝게 붙여 지나가게 하고 1회 이상은 시험 차량 타이어를 레인 우측 가장 자리에 가깝게 붙여 지나가게 하고, 나머지 운행에서는 시험 차량을 레인 중앙부를 따라 지나가게 함
- 시험 차량의 20회 이상 운행 (두 대의 시험차량으로 두 개의 다른 속도로 5회 이상)에 대한 계산을 하고 WIM 시스템의 기능 및 성능을 하중, 무게, 속도, 축거, 차축 거리를 포함한 모든 사양의 요구사항과 비교 함
- 두 대의 시험 차량의 지정 횟수 운행에서 나온 특정 데이터 항목의 계산 값의 편차가 [표 4]에 있는 그 항목의 허용오차를 5% 이상 초과하고 도로면 평활성 또한 규정 값 이상이면 불합격으로 기록
- 시험 결과가 정량적이 아니고 합격 또는 실패 중 하나이기 때문에 1형, 2형, 3형 WIM 시스템에 대한 현장 시험의 정밀성 또는 바이어스에 관한 정보는 제공되지 않음

❍ OIML(International Organization of Legal Metrology) R-134

- 국제법정계량기구(OIML, International Organization of Legal Metrology)은 회원국의 관련기관 또는 국가계량서비스에 의해 적용된 규정 및 계량 관리의 통일을 주요 목적으로 하는 세계 정부 간 기관이다.
- OIML R은 특정 측정기구에 요구되는 계량 특성을 설정하는 모형 규정 및 그 준수를 확인하기 위한 방법과 기구를 구체화한 것으로 국제법정계량기구 회원국은 최대 가능 범위로 이러한 권장사항을 이행한다는 국제간 권고규격이며,
- OIML R-134은 '주행 중인 차량의 계측 및 축하중 자동 측정장치', 즉 WIM 시스템에 대한 국제 권고규격을 의미한다.
- [그림 3-5-11]은 OIML R-134의 테스트 방법 및 내용을 설명한 사례인데, 타 기관의 테스트 방법과는 달리 테스트 속도는 신청자가 설정하여 평가를 신청한다.
  - 참조차량은 「3축/4축의 1단위 차량」, 「4축 이상의 굴절식 차량」, 「2축/3축의 1단위 차량과 2축/3축의 견인 트레일러」중에서 최소한 2 개 이상의 다른 차량이 선택하여야 하며,
  - 각 참조차량(2축 1단위 차량과 2개 이상의 다른 차량)은 공차 및 하중적재의 두 가지 조건 하에서 3개의 속도에서 최소 5회의 시험(하중수용 중심부를 통과하는 시험 3회, 하중수용 왼편을 통과하는 시험 1회, 하중수용 오른편을 통과하는 시험 1회) 을 실행한다.



[그림 3-5-11] OIML의 고속축중기 평가방법 개요

❍ 국내의 평가방법 (국토교통부 고시 제2016-627호 : 자동차・도로교통분야 ITS 성능평가기준)

• WIM 시스템의 중량 정확도에 대한 평가는 평가시간 동안 차량별 각 10회/차로 주행하는 것을 원칙으로 하고, 주행 회수가 특정시간대에 편중되지 않도록 주간(일출 30분후 - 일몰 30분전), 야간(일몰 30분후 - 일출 30분전)으로 구분하여 시행하며, 차로별 시험회수는 [표 3.5.10]과 같다

[표 3.5.10] 중량 정확도 평가 시 차로별 시험회수

구분	차량 종류	평가 종류	
		기본	준공, 정기, 변경/이설
시험회수	3축 1단위	10	-
	4축 1단위	10	-
	5축 1단위(가변축)	10	10
	5축 2단위	10	10
	총 회수	40	20

(2) 실험계획 수립

❍ 실험계획은 본 기술사업화 지원사업에서 추구하는 매트릭스 WIM 센서 시스템의 기능 및 성능이 일정수준 이상으로 발휘되는지를 평가실험하고 자료를 분석하는데 필요한 내부적인 기준, 절차, 방법 등에 대한 사항을 설정한다.

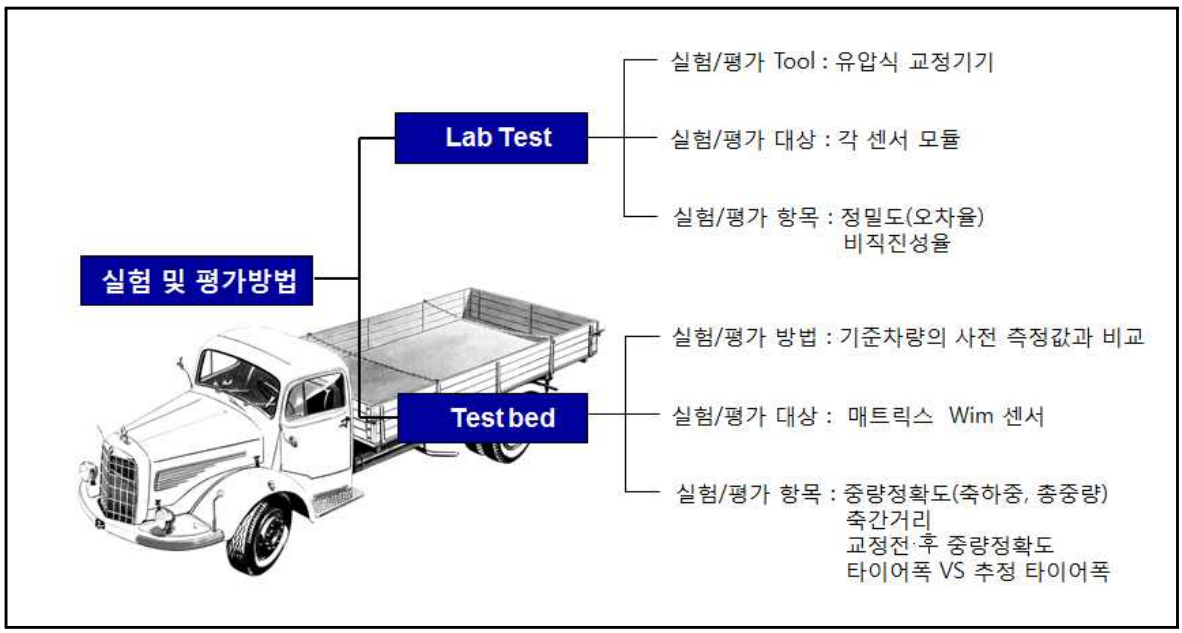
❍ 또한, 실험평가 이후 발생하는 개발 WIM 시스템의 문제점 및 이슈 등을 해결하는데 사용할 수 있는 실험계획을 수립하여 테스트베드를 운영토록 한다. 즉 기본성능평가, 운영평가 등의 성능평가 개념과 더불어 실험에서 나타나는 결과를 토대로 수정·보완 등 피드백을 통해 개발제품을 개선할 수 있고, 현장여건 및 운영비용 등을 고려하여 실용적인 접근방법으로 계획을 수립한다.

(가) 실험 및 평가방법

❍ 실험 및 평가는 [그림 3-5-12]와 같이 크게 실내테스트 및 실외 테스트베드 평가 2가지로 구분하여 수행하였다.

❍ 실내평가는 WIM 시스템을 대상으로 수행할 수 있는 일반적인 실험을 수행하고,

❍ 테스트 베드 평가는 앞 절에서 검토한 유럽의 COST 323, 미국의 (ASTM, American Society of Testing Material), 국제법정계량기구(OIML, International Organization of Legal Metrology)의 권고규격인 OIML R-134 그리고 국토교통부 고시(제2016-627호)인 자동차・도로교통분야 ITS 성능평가기준)을 바탕으로 평가방법을 설정하여 실험을 수행하였다.



[그림 3-5-12] 고속 WIM 시스템 실험 및 평가방법

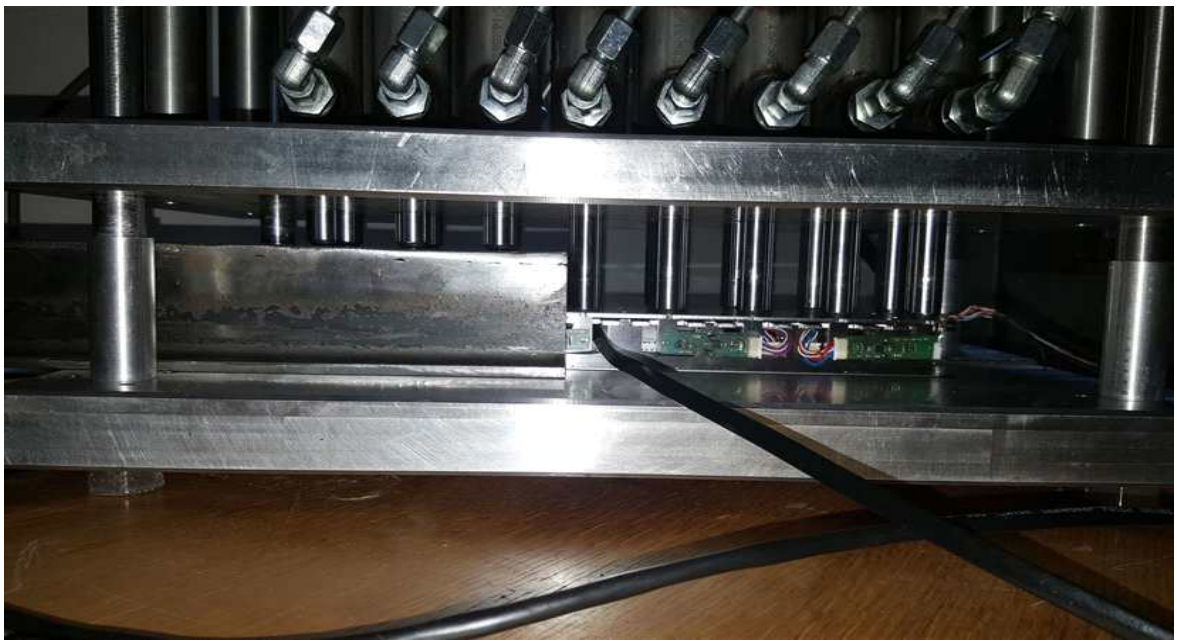
(나) 실내 테스트 (Lab Test)

- Lab에서 매트릭스 WIM 센서 모듈의 비직진성율의 정밀도, 편하중, 반복성 등을 실험하기 위해서는 [그림 3-5-13]에 표출된 ROC의 유압식 교정기기를 사용한다.
- 그림에서 볼 수 있듯이 센서 모듈의 모든 측정지점(16개 측정지점)에 하나씩 실린더 상단에는 압력계가 있다. 즉 16개의 압력 실린더가 있는 프레스를 Lab Test 기기로 사용한다.



[그림 3-5-13] ROC 유압식 Calibration Tool 사용 모습

- 실린더 상단에는 압력계가 있고 이 압력계는 탁자 중앙의 프레스 왼쪽에 있는 노트북에 연결되며, 힘(하중)이 적용되면 적용된 힘만큼 노트북 화면에 주황색 막대그래프로 표출된다.
- 실린더 아래에는 센서 모듈이 있으며, 16개의 플런저가 센서의 모든 측정 지점을 누르게 된다. [그림 3-5-13]의 테이블 오른쪽 모서리 보이는 모자 형태의 도구는 측정 지점을 몇 개만 선택하여 힘을 가할 수 있는 기기이다.
- 한편, 프레스 앞에 있는 작고 진한 빨간색 장치는 센서 모듈(모듈 중앙의 케이블)에 연결되는데, 이것이 센서 모듈의 펌웨어 프로그램을 설정하고 작동하도록 하며 테이블 왼쪽에 있는 노트북과도 연결되어 있다. 노트북은 LAN 케이블을 통해 센서 모듈에 직접 연결 된다(프레스의 오른쪽에서 모듈에 들어가는 검정색 라운드 케이블). 이 케이블을 통해 측정 된 모든 데이터가 노트북으로 전송된다.
- 노트북에서는 특별한 유틸리티 프로그램이 실행되어 모든 단일 측정 지점을 실시간 그래픽으로 표시 할 수 있다(모든 주황색 막대는 측정 지점을 나타내며 막대의 높이는 적용된 힘과 함께 위아래로 움직인다.).
- [그림 3-5-14]는 프레스 아래의 센서 모듈을 보다 자세하게 보여주는 모습인데, 16기통의 플런저는 하나의 유압 회로 내에 결합되어 있기 때문에 모든 플런저는 항상 동기식으로 아래에 놓여있는 물체(센서 모듈)에 힘을 가한다.
- 모듈의 일부 또는 단일 측정 지점만을 테스트하기 위해 플런저가 측정 지점을 누르는 것을 차단하는 간단한 도구를 사용한다. [그림 3-5-14]에서와 같이 왼쪽의 6개 측정 지점은 프레스로부터 차단되고 차량의 타이어가 모듈의 오른쪽 부분의 위로 굴러가는 것처럼 10개의 측정 지점에만 힘을 가할 수 있다.



[그림 3-5-14] ROC 유압식 Calibration Tool의 상세 모습

(다) 실외 테스트 (Test Bed)

❍ [그림 3-5-12]와 같이 실외 테스트(Test Bed)는 사전에 중량 및 제원이 측정된 평가차량을 활용하여 매트릭스 WIM 센서 시스템에서 측정된 총중량, 축하중, 축간거리 등의 산출값을 평가차량의 기준값과 비교하여 실험평가 한다.

❍ 이외에도 매트릭스 WIM 센서의 핵심 특성인 타이어폭(Footprint)에 대한 분석 자료도 실험하여 제시하도록 한다.

❍ 앞서 언급했듯이 평가항목 및 분석방법 등의 평가방법은 국내외의 사례를 검토한 결과를 토대로 설정하였다.

① 평가항목 및 분석방법

❍ 실외 테스트에서 수행할 평가항목은 다음과 같다.

- 센서 모듈 교정전·교정후 축하중 정확도 시험평가
- 평가차량의 축별 하중 정확도
- 평가차량의 축간거리(축거) 정확도
- 타이어폭 VS 매트릭스 WIM 센서의 추정 타이어폭 실험
- 타이어자국(Footprint) 크기 실험
- 기존 Kistler 센서 측정값과 비교평가

❍ 평가항목에 따른 평가내용 및 분석방법은 다음과 같다.

- 중량정확도(축하중 및 총중량)는 법정계량기 또는 검교정을 받은 이동식 축중기를 이용하여 측정한 평가차량의 총중량 및 축하중의 기준값과 대상장비(매트릭스 WIM 센서 및 Kistler WIM 센서)에서 측정된 평가차량의 총중량 및 축하중의 중량값을 비교하여 평가한다.
- 중량정확도는 식 (3-5-1)을 이용하여 다음과 같이 "｜100(%)-오차백분율(PE)｜"로 계산한다.

$$E\,\%) = \frac{\mathrm{E}}{\mathrm{Y}} \times 100$$

여기서, E = 평가차량의 축하중(총중량)이 평가대상장비(HS-WIM)에서 측정된 값

Y(기준값) = 평가차량의 정적 축하중(총중량)

- 교정전·교정후 축하중 정확도도 상기의 중량정확도를 각각 산출한 후 비교한다.
- 축간거리의 실험평가 또한 중량정확도 분석방법과 동일하게 "｜100(%)-오차백분율(PE)｜"을 사용하여 비교평가 한다.

• 타이어폭 및 타이어자국(Footprint)dp 대한 실험결과 분석은 평균(Mean), 평균제곱오차(MSE), 절대평균백분율오차(MAPE) 등과 같은 일반적인 통계분석 방법으로 제시한다.

② 평가방법

❍ 중량 정확도 평가 시 시험회수는 [표 3.5.11]과 같은 시험차량 및 하중조건에 테스트베드 현장여건을 감안하여 속도조건 10 ~ 60 Km/h 범위에서 3단계 시험을 수행하며, 실험테스트는 총 540회 이상의 샘플수를 획득하도록 한다.

[표 3.5.11] 테스트베드 중량 정확도 평가 시 차로별 시험회수

구분	차량 종류	차량 중량			비 고
		공차	적재중량	만차	
시험회수	2축 (승용차)	20			예비테스트
	2축 화물차량	20	20		실험테스트
	3축 화물차량	20	20		실험테스트
	4축 화물차량	20	20		실험테스트
	4축 덤프트럭	20	20	20	교정테스트

③ 평가차량(시험차량) 및 분동 등 평가사용 장비

❍ 테스트베드에서 사용할 “평가차량(시험차량)”이라 함은 평가대상 장비인 매트릭스 WIM 센서 시스템의 성능실험을 위해 중량 기준값을 갖는 차량으로 정적인 상태에서 이동식 축중기를 이용하여 총중량 및 축하중을 계중한 차량을 말한다.

❍ “이동식축중기(Portable wheel load scale)“란 정지한 차량의 윤하중 또는 축하중을 측정할 수 있는 이동식 저울을 말한다. 이동식축중기는 「계량에 관한 법률」에 따른 지정기관으로부터 형식승인 및 검·교정을 받은 제품을 사용하도록 한다. 본 실험에서는 스위스 HAENNI사의 아날로그 축중기를 임대하여 사용하였다.



[그림 3-5-15] 이동식축중기와 테스트베드에서 사용 모습

❍ 일반적으로 분동이란(balance weight, counterweight) 저울로 무게를 달 때, 무게의 표준이 되는 추를 의미한다. 물건을 올린 후 판의 반대쪽에 분동으로 올려 물건의 무게를 재는데 사용하는데 쇠와 같은 금속으로 많이 제작하고, 원기둥, 사각형, 육각형, 얇은 철판 등 여러 가지 모양으로 만든다. 즉 질량을 계량하는데 사용한다. 테스트베드에서는 시험차량에 무게를 적재하기 위해 1톤 크기의 표준분동을 사용하였다.



[그림 3-5-16] 표준분동(1톤) 및 시험차량에 적재하는 모습

❍ 평가차량(시험차량)

- 센서 설치 후 기본실험 등의 사전 예비테스트(preliminary test)는 2축 SUV 차량인 스포티지를 사용하였고,
- 본격적인 시험에는 2축(현대 마이티 II 3.5톤), 3축(현대 메가 6.5톤-후축 8.5톤 승인축), 4축(현대 Trago 카고 25톤) 차량을 시험평가 차량으로 사용하였으며,
- SCANIA 124c 420 DUMP는 센서 교정작업을 위한 실험 및 타이어자국, 타이어폭 등 추가적인 실험을 위해 사용되었다.



[그림 3-5-17] 테스트베드 실험에 사용된 시험차량들

1. 예비테스트 차량



- 사전테스트 차량의 공차중량 : 1,970 kg, - 사전테스트 차량의 정적하중 : 2,070 kg

2. 차량 1 : 마이티 II 3.5톤



- 테스트 차량의 공차중량 : 3,465 kg
- 테스트 차량의 정적하중 : 3,650 kg
- 축거 : 3,775 mm
- 타이어 : 8.50R17.5-12PR(S)_전
  8.50R17.5-12PR(D)_후

3. 테스트 차량 2 : 현대 메가 6.5톤-후축 카고 트럭(8.5톤 승인축)



- 테스트 차량의 공차중량 : 8,500 kg
- 테스트 차량의 정적하중 : 8.560 kg
- 축거 : 5,695 mm
- 타이어 : 245/70R19.5-18PR_전(싱글)
  245/70R19.5-18PR_후(더블)

4. 테스트 차량 3 : 현대 Trago 카고 25톤



- 테스트 차량의 공차중량 : 14,000 kg
- 테스트 차량의 정적하중 : 14,710 kg
- 축거 : 8,260 mm
- 타이어 : 315/80R22.5-20PR_전축
  12R22.5-16PR_후축

[그림 3-5-18] 시험평가차량 제원

5. 추가테스트 차량 1 : 현대 메가 트럭 7.5톤 GOLD



- 테스트 차량의 공차중량 : kg
- 테스트 차량의 정적하중 : 1.360 kg
- 축거 : 5,695 ㎜
- 타이어 : 245/70R19.5-18PR-전(싱글)
  245/70R19.5-18PR_후(더블)

6. 추가 테스트 차량 2 : 스카니아 124c 420 덤프



- 테스트 차량의 공차중량 : kg
- 테스트 차량의 정적하중 : 25,340 kg
- 축거 : 1,940+2,960+1,350 ㎜
- 타이어 : 385/65ㄲ22.5_전륜
  12R22.5-16PR_후륜

[그림 3-5-18] 시험평가차량 제원 (계속)

(라) 실험 일정

❍ 시험평가차량을 이용한 테스트베드의 실험 운영 및 평가는 [표 3.5.12]과 같이 수행한다.

[표 3.5.12] 테스트베드의 실험 운영·평가 일정

구 분	실험일자	대상차량	실험·평가 내용
1차 (교정테스트)	2017. 07.	SCANIA 덤프트럭	3단계 속도 및 3단계 하중 조건(공차, 적재, 만차)
2차 (예비테스트)	2017. 08.	SUV 스포티지	3단계 속도 및 공차조건
3차 (실험테스트)	2017. 09.	화물 차량	3단계 속도 및 2단계 하중 조건(공차, 적재시)
4차 (실험테스트)	2017. 09	화물 차량	3단계 속도 및 2단계 하중 조건(공차, 적재시)
5차 (실험테스트)	2017. 10.	화물 차량	3단계 속도 및 2단계 하중 조건(공차, 적재시)

3.6 매트릭스 WIM 센서 시스템 시험평가 결과

가. 실내 테스트(Lab Test) 분석 및 결과

(1) 비직진성율의 정밀도 평가

- 센서 모듈의 비직진성율의 정밀도를 평가하기 위해 직진성 정도를 테스트하였으며, 실제 하중 값을 1,000 kg 단위로 실내에서 측정을 수행함
- 이상적인 직선은 측정시료인 로드셀의 측정 지점(Measure Point)의 최대값과 최소값의 차를 구하여 측정 횟수에 대한 분해능으로 등분한 직선으로 정의한다.
- 센서 모듈의 직진성 최대 오차는 이상적인 직선과 대비하여

  - 모듈1의 경우 실제 하중값이 4000kg 일 때 0.63% 의 오차율을 나타냄
  - 모듈2의 경우 실제 하중값이 3000kg과 4000kg 일 때 0.67% 의 오차율을 나타냄
  - 모듈3의 경우 실제 하중값이 4000kg 일 때 0.63% 의 오차율을 나타냄
  - 모듈4의 경우 실제 하중값이 3000kg 일 때 0.73% 의 오차율을 나타냄
  - 모듈5의 경우 실제 하중값이 3000kg 일 때 0.71% 의 오차율을 나타냄

- [그림 3-6-1]은 모듈게이지 프로그램(그림의 왼쪽 화면) 및 유압식 압력계를 포함하는 교정기기를 사용하여 한 개의 모듈당 16개의 측정지점을 갖고 있는 5개의 센서 모듈(1개의 Master와 4개의 Slave 모듈)에 대해 직진성 즉, 히스테리시스를 평가하는 모습이다.



[그림 3-6-1] 유압식 교정기기를 이용한 센서 모듈의 Lab Test 모습

[표 3.6.1] 센서 모듈 1에 대한 비직진성율의 정밀도 평가결과

평가 대상	센서 모듈 1 (Master 모듈)
평가 방식	측정자료를 통한 평가
증분률(R) (Increment Rate)	3,333 (분해능 - 측정횟수)

	실제 하중값	측정값	이상적인 직선	이상적인 직선공식	오차량 (측정값-이상적인 직선)	정밀도
측정데이터	0 kg	848	848	= 0 kg	0	0.00%
	1,000 kg	4,278	4,181	= 0 kg + R	97	0.32%
	2,000 kg	7,676	7,515	= 0 kg + R X 2	161	0.54%
	3,000 kg	11,021	10,848	= 0 kg + R X 3	173	0.58%
	4,000 kg	14,371	14,181	= 0 kg + R X 4	190	**0.63%**
	5,000 kg	17,699	17,515	= 0 kg + R X 5	184	0.61%
	6,000 kg	21,026	20,848	= 0 kg + R X 6	178	0.59%
	7,000 kg	24,348	24,181	= 0 kg + R X 7	167	0.56%
	8,000 kg	27,678	27,515	= 0 kg + R X 8	163	0.54%
	9,000 kg	30,848	30,848	= 9,000 kg	0	0.00%



[그림 3-6-2] 센서 모듈 1에 대한 비직진성율 정밀도

[표 3.6.2] 센서 모듈 2에 대한 비직진성율의 정밀도 평가결과

평가 대상	센서 모듈 2 (Slave 모듈)
평가 방식	측정자료를 통한 평가
증분률(R) (Increment Rate)	3,333 (분해능 - 측정횟수)

	실제 하중값	측정값	이상적인 직선	이상적인 직선공식	오차량 (측정값-이상적인 직선)	정밀도
측정데이터	0 kg	1,168	1,168	= 0 kg	0	0.00%
	1,000 kg	4,630	4,501	= 0 kg + R	129	0.43%
	2,000 kg	7,986	7,835	= 0 kg + R X 2	151	0.50%
	3,000 kg	11,368	11,168	= 0 kg + R X 3	200	**0.67%**
	4,000 kg	14,701	14,501	= 0 kg + R X 4	200	**0.67%**
	5,000 kg	18,031	17,835	= 0 kg + R X 5	196	0.65%
	6,000 kg	21,326	21,168	= 0 kg + R X 6	158	0.53%
	7,000 kg	24,658	24,501	= 0 kg + R X 7	157	0.52%
	8,000 kg	27,988	27,835	= 0 kg + R X 8	153	0.51%
	9,000 kg	31,168	31,168	= 9,000 kg	0	0.00%



[그림 3-6-3] 센서 모듈 2에 대한 비직진성율 정밀도

[표 3.6.3] 센서 모듈 3에 대한 비직진성율의 정밀도 평가결과

평가 대상		센서 모듈 3 (Slave 모듈)				
평가 방식		측정자료를 통한 평가				
증분률(R) (Increment Rate)		3,333 (분해능 - 측정횟수)				
	실제 하중값	측정값	이상적인 직선	이상적인 직선공식	오차량 (측정값-이상적인 직선)	정밀도
측정데이터	0 kg	1,008	1,008	= 0 kg	1,008	0.00%
	1,000 kg	4,442	4,341	= 0 kg + R	101	0.34%
	2,000 kg	7,818	7,675	= 0 kg + R X 2	143	0.48%
	3,000 kg	11,171	11,008	= 0 kg + R X 3	163	0.54%
	4,000 kg	14,531	14,341	= 0 kg + R X 4	190	**0.63%**
	5,000 kg	17,849	17,675	= 0 kg + R X 5	174	0.58%
	6,000 kg	21,186	21,008	= 0 kg + R X 6	178	0.59%
	7,000 kg	24,518	24,341	= 0 kg + R X 7	177	0.59%
	8,000 kg	27,828	27,675	= 0 kg + R X 8	153	0.51%
	9,000 kg	31,008	31,008	= 9,000 kg	0	0.00%



[그림 3-6-4] 센서 모듈 3에 대한 비직진성율 정밀도

[표 3.6.4] 센서 모듈 4에 대한 비직진성율의 정밀도 평가결과

평가 대상	센서 모듈 4 (Slave 모듈)
평가 방식	측정자료를 통한 평가
증분률(R) (Increment Rate)	3,333 (분해능 - 측정횟수)

	실제 하중값	측정값	이상적인 직선	이상적인 직선공식	오차량 (측정값-이상적인 직선)	정밀도
측정데이터	0 kg	1,584	1,584	= 0 kg	0	0.00%
	1,000 kg	5,066	4,923	= 0 kg + R	143	0.48%
	2,000 kg	8,439	8,262	= 0 kg + R X 2	177	0.59%
	3,000 kg	11,819	11,600	= 0 kg + R X 3	219	**0.73%**
	4,000 kg	15,155	14,939	= 0 kg + R X 4	216	0.72%
	5,000 kg	18,492	18,278	= 0 kg + R X 5	214	0.71%
	6,000 kg	21,809	21,617	= 0 kg + R X 6	192	0.64%
	7,000 kg	25,124	24,955	= 0 kg + R X 7	169	0.56%
	8,000 kg	28,451	28,294	= 0 kg + R X 8	157	0.52%
	9,000 kg	31,633	31,633	= 9,000 kg	0	0.00%



[그림 3-6-5] 센서 모듈 4에 대한 비직진성율 정밀도

[표 3.6.5] 센서 모듈 5에 대한 비직진성율의 정밀도 평가결과

평가 대상		센서 모듈 5 (Slave 모듈)				
평가 방식		측정자료를 통한 평가				
증분률(R) (Increment Rate)		3,333 (분해능 - 측정횟수)				
	실제 하중값	측정값	이상적인 직선	이상적인 직선공식	오차량 (측정값-이상적인 직선)	정밀도
측정데이터	0 kg	1,248	1,248	= 0 kg	0	0.00%
	1,000 kg	4,758	4,591	= 0 kg + R	167	0.55%
	2,000 kg	8,126	7,935	= 0 kg + R X 2	191	0.64%
	3,000 kg	11,491	11,278	= 0 kg + R X 3	213	**0.71%**
	4,000 kg	14,831	14,621	= 0 kg + R X 4	210	0.70%
	5,000 kg	18,149	17,965	= 0 kg + R X 5	184	0.61%
	6,000 kg	21,496	21,308	= 0 kg + R X 6	188	0.62%
	7,000 kg	24,818	24,651	= 0 kg + R X 7	167	0.55%
	8,000 kg	28,148	27,995	= 0 kg + R X 8	153	0.51%
	9,000 kg	31,338	31,338	= 9,000 kg	0	0.00%



[그림 3-6-6] 센서 모듈 5에 대한 비직진성율 정밀도

(2) WIM 센서 모듈의 편하중(Weigh balance) 평가분석

❍ Master 센서 모듈을 대상으로 로드셀의 스트레인게이지에서 발생하는 A/D 값에 대해 0톤, 5톤, 10톤의 중량값으로 연속적인 측정하여 센서 모듈의 Weigh-balance에 대한 영향 변화를 평가하고 분석하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

- [표 3.6.6]에 나타나 있듯이 5톤의 중량인 경우 최대 상대오차는 90kg으로 1.8%의 최대오차율를 나타내며,
- 10톤의 중량으로 측정한 경우의 weigh-balance의 최대 상대오차는 210kg으로 최대 오차율 2.1%이 발생함
- 영점 복원력은 연속적인 측정으로 변화를 측정한 결과 0 ~ -70kg 범위의 변화를 나타냄

❍ 한편, 랩 테스트의 실험환경은 다음과 같았다.

- 측정시 환경온도 : 20℃
- 측정시 상대습도 : 50 Rh

[표 3.6.6] Master 센서 모듈의 편하중(Weigh balance) 평가결과

선행 MP 라인	AD 1	AD 2	AD 3	AD 4	AD 5	AD 6	AD 7	AD 8
0 kg	0	-50	-70	-10	-20	40	35	50
5,000 kg	30	20	25	10	-20	40	55	60
10,000 kg	0	12	165	-50	60	200	210	160

후행 MP 라인	AD 1	AD 2	AD 3	AD 4	AD 5	AD 6	AD 7	AD 8
0 kg	0	-60	-30	-10	-40	-40	-35	40
5,000 kg	30	30	50	25	-20	55	-5	90
10,000 kg	0	0	-65	50	60	00	110	-10

(3) WIM 센서 모듈의 반복성 테스트

❍ Master 센서 모듈을 대상으로 스트레인게이지에서 발생하는 AD 값에 대해 [표 3.6.7]에 나타난 결과를 살펴보면 AD 1의 값을 측정값의 기준 특성이라고 설정한 후,

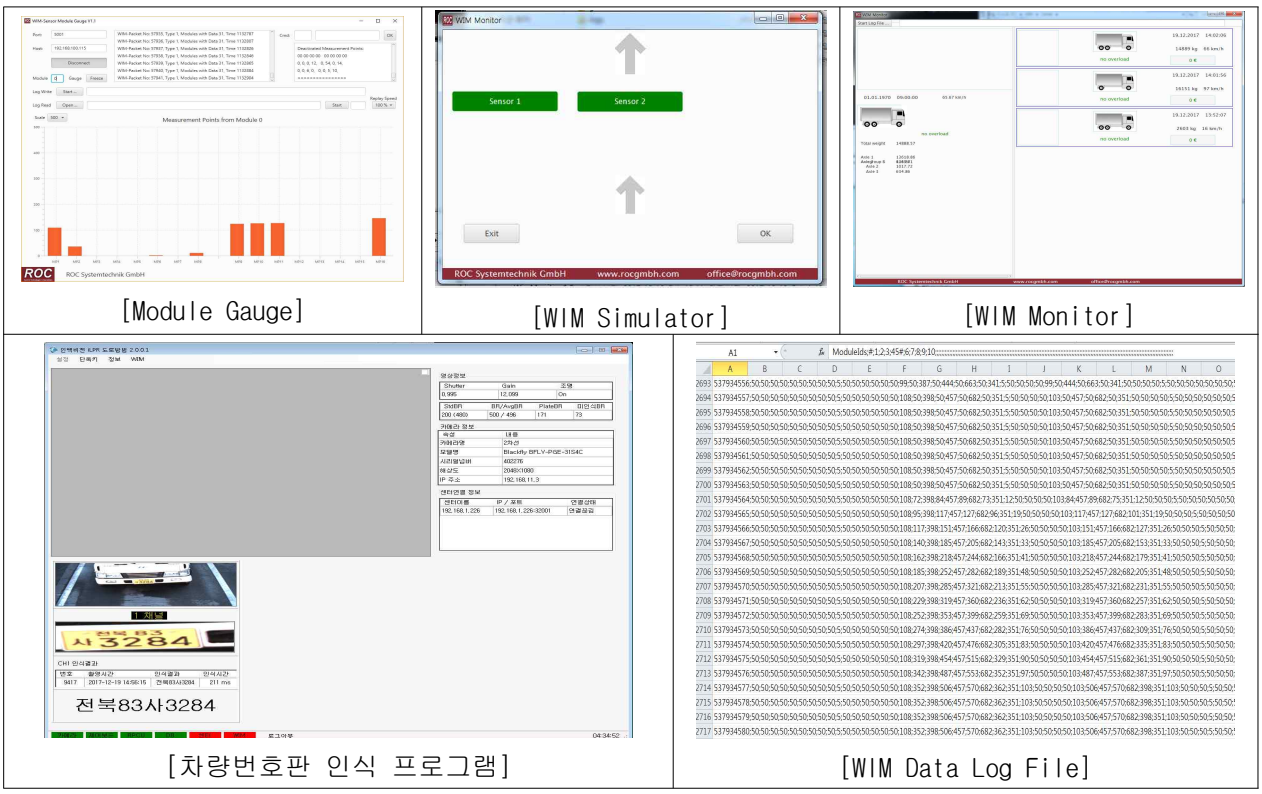
- 5톤을 3회 반복 측정한 결과 ±0.45%의 반복적인 오차가 발생했고
- 10톤을 3회 반복 측정한 결과 ±0.25%의 반복적인 오차가 발생하였다.
- 반복재현성의 정밀도에 대해서 0.5% 이내의 오차율을 보여주고 있다.

[표 3.6.7] Master 모듈의 반복성 테스트 결과

AD 1	1회	2회	3회	평균	평균 오차		
					1회	2회	3회
0 kg	-4,541	-3,016	-2,997	-3,518	-1003	622	381
					0.00%	0.00%	0.00%
5,000 kg	126,100	125,500	126,000	125,867	-440	-160	520
					-0.34%	-0.12%	0.45%
10,000 kg	245,000	255,100	245,600	248,567	-505	150	280
					-0.35%	-0.12%	0.25%

나. 테스트베드 현장 실험결과

- 전라남도 장성군 북이면 원덕리 1099-2에 위치한 테스트베드 현장의 실험(시험) 평가는 앞의 5절에서 언급했듯이 크게 교정시험, 예비시험, 그리고 1, 2, 3차에 걸친 현장실험 등 5차례의 실험을 수행한 바 있으며,
- 이 같이 실행한 실험 중에는 기존 Kistler사의 WIM 센서 시스템과의 비교테스트 및 산출된 타이어자국 크기의 정확도 등의 분석 내용도 포함되어 있다.
- 한편, 테스트베드 실험을 위해서 [그림 3-6-7]에 표현되어 있는 WIM Manager 프로그램이 하중자료 수집을 위해 사용되었으며, 로그파일은 엑셀로 호출하여 손쉽게 사용할 수가 있다.



[Module Gauge] [WIM Simulator] [WIM Monitor]

[차량번호판 인식 프로그램] [WIM Data Log File]

[그림 3-6-7] WIM Manager 프로그램을 이용한 중량 자료 수집 예시

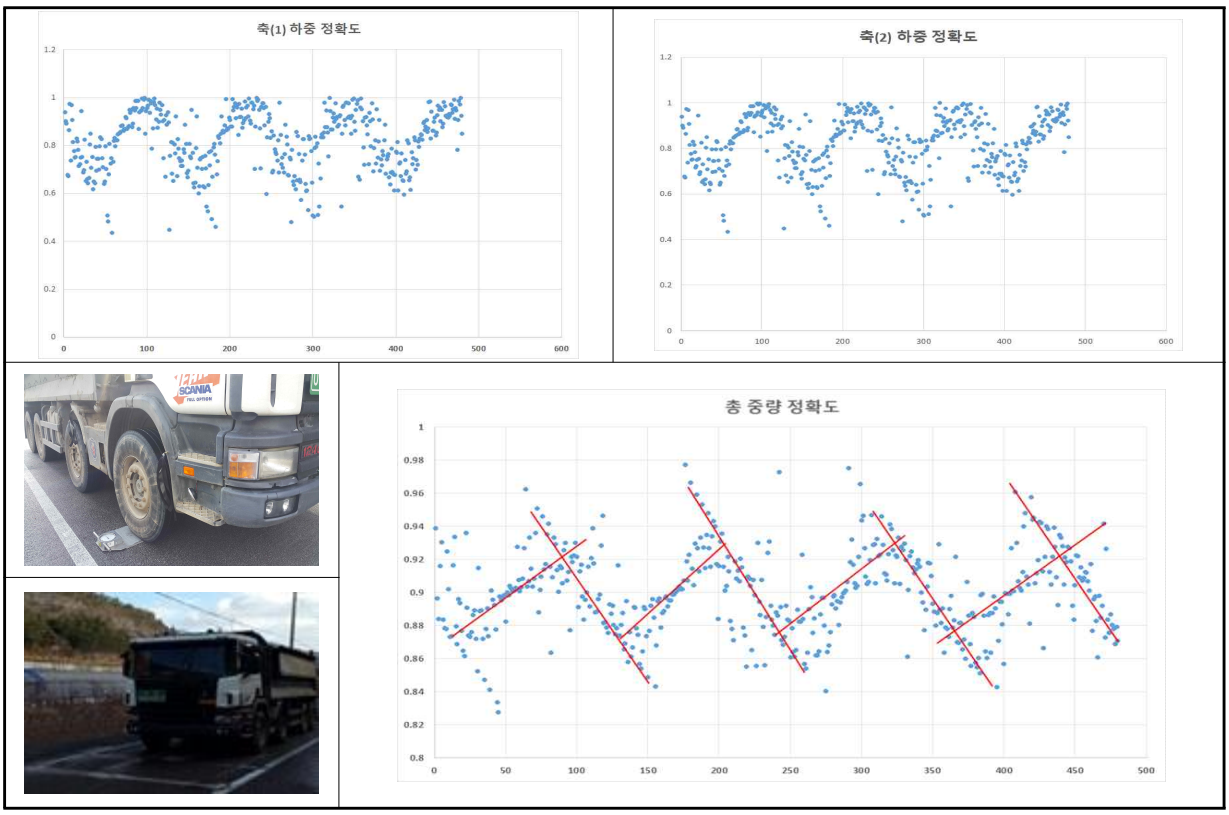
(1) 매트릭스 WIM 센서 시스템의 교정실험

❍ 본격적인 현장실험에 앞서 테스트베드에 설치한 매트릭스 WIM 센서에 대한 교정실험을 수행하였다. 실험 조건은 20km/h와 50km/h의 2단계 속도로 구분하고, 하중조건은 공차, 적재1, 적재2 3가지 조건을 기준으로 각 20회씩 총 120회 교정을 위한 자료를 수집하였고 세부내용은 [표 3.6.8]과 같다.

[표 3.6.8] 매트릭스 WIM 센서 교정을 위한 실험조건

항 목	실험 조건			수집자료의 유형	자료의 수
교정실험속도	20km/hr	50km/hr		축중자료 : 운행수 x 축수	480
적재중량(kg)	공차	적재1	적재2	축간거리 : 운행수 x (축수-1)	360
	15,000	22,000	25,000	타이어폭 : 운행수 x 축수	480
반복실험횟수	20회			하중궤적(Load trail)	1 set
총 운행수	120회			-	-

❍ 중량자료의 분석은 축하중 및 총중량에 대한 정확도 및 오차분석을 수행하였으며, 전체 자료를 분석한 패턴은 [그림 3-6-8]과 같이 나타난다. 그림에 나타난 패턴의 결과를 수치적으로 표현한 것이 [표 3.6.9]인데, 축하중/총중량의 측정 정확도는 약 82%로 나타났으며, 축하중의 오차율은 10.5% ~ 17.6% 그리고 총중량은 17.8%의 오차율이 나타났다.

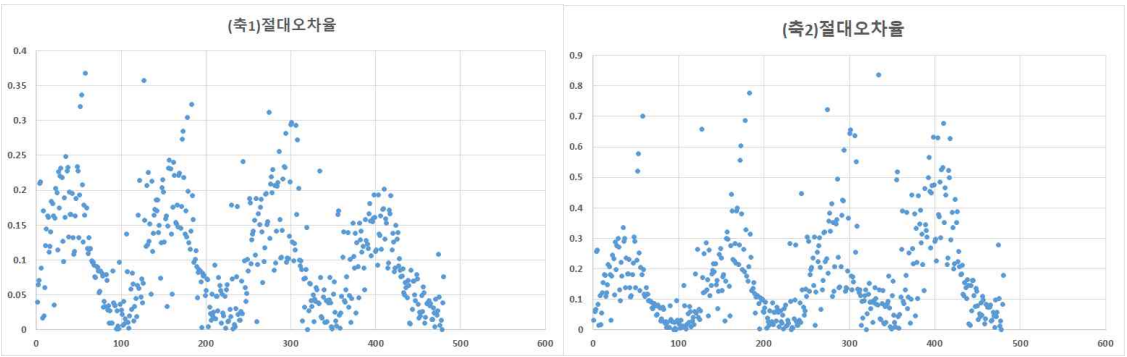


[그림 3-6-8] 교정실험값의 분석 결과

[표 3.6.9] 교정실험값의 분석 결과

축하중/총중량 평균 정확도			평균 오차율		
축(1) 하중	축(2) 하중	총중량	축(1)하중	축(2)하중	총중량
0.821186993	0.82118299	0.82120066	0.105228736	0.1762253	0.17879934

❍ 그러나 각 축별 정확도 추세선의 패턴으로 살펴보면 일정한 패턴이 있음을 알 수가 있다. 정확도에 대한 추세패턴은 결과적으로 오차율의 추세선에서도 유사하게 나타나고 있으며, 이는 결과적으로 오차보정을 위한 교정이 필수적임을 나타내고 있다.



[그림 3-6-9] 교정실험값 오차율의 추세

❍ 교정실험을 통해 나타난 각 축별 정확도 및 오차율, 표준편차 등에 대한 속도별 종합적인 분석 평가지표는 [표 3.6.10]과 같다.

[표 3.6.10] 교정실험에 대한 종합적인 분석 평가지표

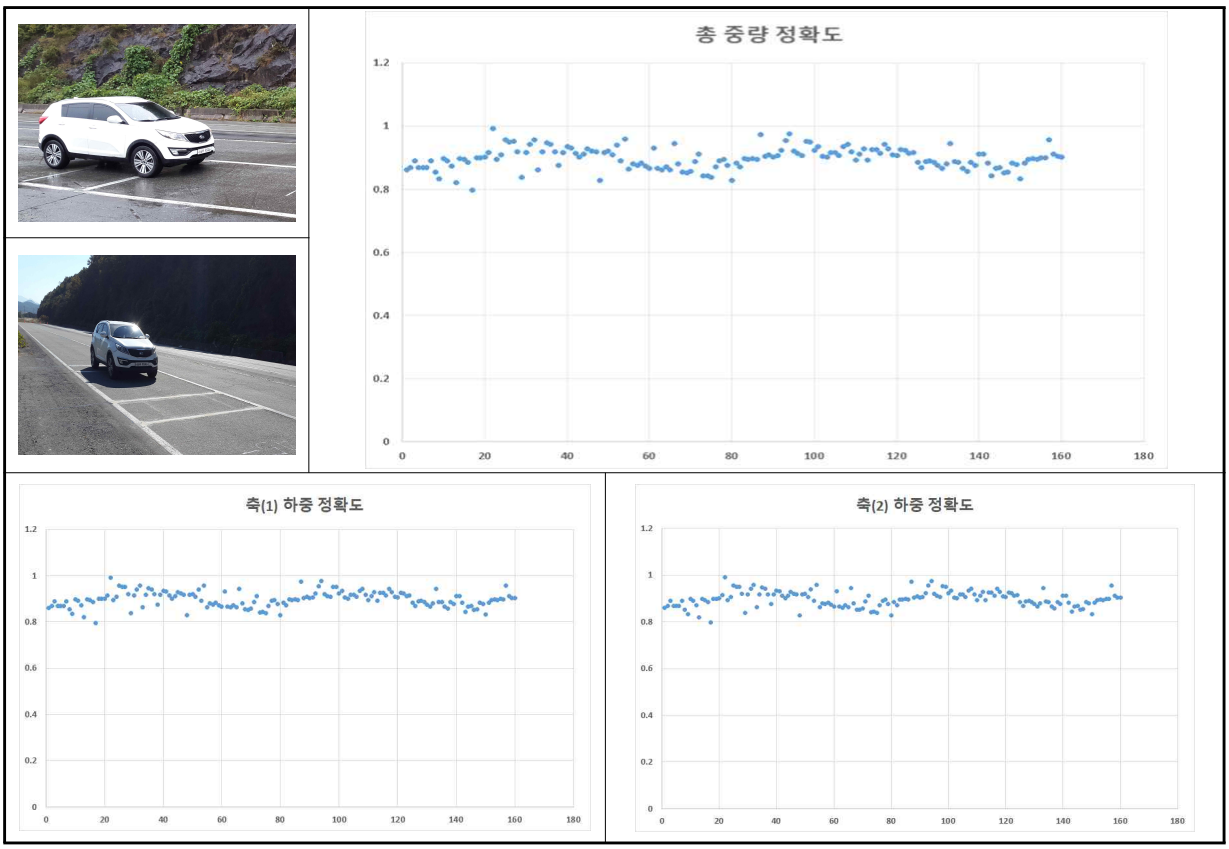
속 도	하중조건	분석지표	(축1)하중	축(2)하중	총중량
20km/hr	공차	평균정확도	0.77794817	0.77793561	0.77795802
		표준편차	0.10863788	0.10865511	0.1086352
		절대평균오차	2123.0375	1143.1875	3266.2375
50km/hr		평균정확도	0.85373784	0.85373446	0.8537449
		표준편차	0.11936444	0.11937702	0.11936133
		절대평균오차	1398.4125	752.975	2151.4125
20km/hr	적재 1	평균정확도	0.84129221	0.84129176	0.8413055
		표준편차	0.13369428	0.13370341	0.13368293
		절대평균오차	2209.2125	1472.8125	3681.7125
50km/hr		평균정확도	0.76171965	0.76171202	0.76174515
		표준편차	0.12184816	0.12185378	0.12185093
		절대평균오차	3316.8625	2211.3125	5527.5125
20km/hr	적재 2	평균정확도	0.84469231	0.84469231	0.84470243
		표준편차	0.11151193	0.11151193	0.11150493
		절대평균오차	1918.05	1918.05	3835.85
50km/hr		평균정확도	0.84773178	0.84773178	0.84774798
		표준편차	0.10655814	0.10655814	0.10655018
		절대평균오차	1880.5125	1880.5125	3760.625

(2) 예비실험

❍ 예비실험은 교정실험을 통해 교정된 WIM을 통해 보다 안정적인 중량자료를 수집하는 것을 목적으로 실행하였다. 예비실험은 2축 SUV 차량을 이용하여 다양한 속도 변화에 따른 실험을 통해 현장에 설치된 WIM의 안정적 운영 상태를 확인하였다. 자료 수집은 적재중량은 공차로 고정하였고 매번 속도 변화에 따른 20회 반복 실험을 하였으며, 수집된 자료의 항목 및 샘플 수는 [표 3.6.11]과 같다.

[표 3.6.11] 예비실험의 테스트 조건 및 수집자료 유형

항 목	실험조건				수집자료의 유형	자료의 수
실험속도(km/h)	10	30	60	90	축중자료 : 운행수 x 축수	160
적재중량(kg)	공차	반차		만차	축간거리 : 운행수 x (축수-1)	80
	2070	-		-	타이어폭 : 운행수 x 축수	160
반복실험횟수	20회				하중궤적(Load trail)	1 set
총 운행수	80회				-	-



[그림 3-6-10] 예비실험 하중값의 분포

❍ [그림 3-6-10]에 제시되어 있는 바와 같이, 예비실험의 경우 교정실험에서와 같이 심각한 추세 패턴은 최소화된 것으로 나타났으며, 예비실험에서의 하중을 분석한 결과 약 89.8%의 정확도와 약 5% ~ 10%의 오차율을 보여준다. 각 축별 평균정확도 및 오차율은 다음의 [표 3.6.12]와 같다.

[표 3.6.12] 예비실험값의 분석 결과

축하중/총중량 평균 정확도			평균 오차율		
축(1) 하중	축(2) 하중	총중량	축(1)하중	축(2)하중	총중량
0.898019248	0.89756689	0.89781099	0.055030193	0.09863437	0.10218901

❍ 한편, 예비실험에서 목적한 바와 같이 다양한 속도변화에 따른 하중측정 실험결과는 [표 3.6.13]과 같이 나타났는데, 속도변화에 따른 계측된 하중의 정확도는 60km/h에서 약 91.79%로 가장 높았다. 그러나 상대적으로 저속과 고속의 경우 다소 정확도가 떨어지는 현상이 나타났으며, 이상의 결과로 볼 때, 교정실험을 통해 수행된 교정결과에 의해 비교적 추이가 안정적인 상태로 결과를 얻을 수 있음을 보여주고 있다.

[표 3.6.13] 예비실험에 대한 종합적인 분석 평가지표

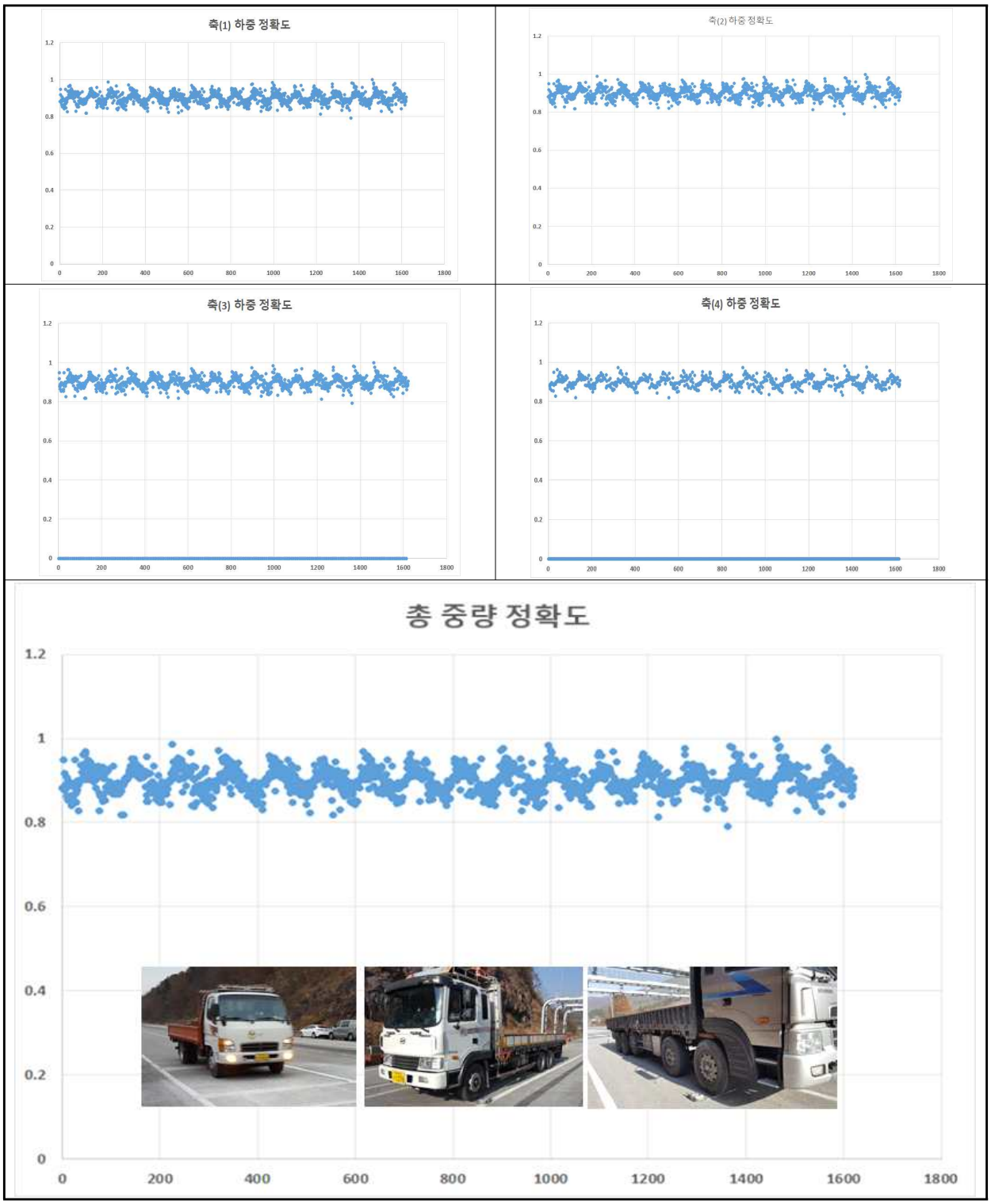
속 도	분석지표	(축1) 하중	축(2) 하중	전체 하중
10km/hr	평균정확도	0.8979	0.89756034	0.89778986
	표준편차	0.0407	0.04074861	0.04072939
	절대평균오차	0.0550	0.09925958	0.10221014
30km/hr	평균정확도	0.8873	0.88690976	0.88713768
	표준편차	0.0334	0.03343534	0.03340743
	절대평균오차	0.0608	0.11006346	0.11286232
60km/hr	평균정확도	0.9179	0.91744491	0.91770531
	표준편차	0.0228	0.02270940	0.02275482
	절대평균오차	0.0443	0.07728088	0.08229469
90km/hr	평균정확도	0.8888	0.88835257	0.88861111
	표준편차	0.0255	0.02548541	0.0254873
	절대평균오차	0.0600	0.10793354	0.11138889

(3) 1차 현장실험

❍ 예비시험결과를 토대로 다양한 차종에 의한 축별 하중계측에 대한 중량측정 정확도 평가실험을 수행하였다. 현장실험에서는 도로의 여건상 대형 트럭이 고속주행에 한계가 있어 최소 10km/hr ~최대 50km/hr 수준에서 실험을 수행하였다.

[표 3.6.14] 1차 현장실험의 테스트 조건 및 수집자료 유형

항 목	실험 조건			수집자료의 유형	자료의 수
실험속도(km/h)	10	30	50	축중자료 : 운행수 x 축수	1620
적재중량(kg)	공차	적재 1	적재 2	축간거리 : 운행수 x (축수-1)	1080
2축 트럭	3650	5650	6650	타이어폭 : 운행수 x 축수	1620
3축 트럭	8560	11650	15000		
4축 트럭	14710	23200	24700		
반복실험횟수	20회			하중궤적(Load trail)	1 set
총 운행수	180회			-	-



[그림 3-6-11] 1차 현장실험 화물차량들의 축하중/총중량 분포

❍ [그림 3-6-11]에 나타나 있는 바와 같이, 시험차량들의 중량측정 정확도는 평균 90.03%에 수렴하고 있다. 다만 추세선에 일정한 패턴이 존재하는데 이는 교정실험 단계에서 나타난 추세패턴과 일치하고 있다. 이는 교정실험단계에서 이를 교정했음에도 불구하고 센서단위의 교정에 다소 한계가 있었을 것으로 판단된다. 상기의 정확도와 관련하여 각 축 및 총중량의 정확도와 이에 대한 오차율은 [표 3.6.15]와 같다.

❍ 또한 속도별 각 축별 하중에 대한 정확도는 속도변화에 무관하게 평균적으로 90%대의 정확도를 유지하는 것으로 나타났으며, 그 결과는 [표 3.6.16]과 같다.

[표 3.6.15] 1차 현장실험값의 분석 결과

축별 평균 정확도					축별 평균 오차율				
축(1)	축(2)	축(3)	축(4)	총중량	축(1)	축(2)	축(3)	축(4)	총중량
0.9003	0.9003	0.9000	0.8999	0.9003	0.03672	0.09279	0.09645	0.04990	0.0996

[표 3.6.16] 1차 현장실험에 대한 종합적인 분석 평가지표

속 도	분석지표	축(1) 하중	축(2) 하중	축(3) 하중	축(4) 하중	총중량
10㎞/hr	평균정확도	0.9000	0.9001	0.9001	0.8995	0.9001
	표준편차	0.0275	0.0275	0.0375	0.0448	0.0270
	절대평균오차	0.0368	0.0930	0.1237	0.1129	0.0998
30㎞/hr	평균정확도	0.9002	0.9003	0.9005	0.9016	0.9003
	표준편차	0.0279	0.0279	0.0274	0.0254	0.0279
	절대평균오차	0.0369	0.0925	0.1235	0.1101	0.0996
50㎞/hr	평균정확도	0.9005	0.9006	0.8994	0.8987	0.9006
	표준편차	0.0290	0.0290	0.0371	0.0447	0.0290
	절대평균오차	0.0364	0.0927	0.0970	0.0505	0.0993

(4) 2차 현장실험

❍ 1차 현장실험과 같이 적재하중 측정 및 이에 대한 정확도 분석을 위한 목적으로 수행되었으며, 현장여건 및 실험방법은 1차 실험에서와 같다. 이와 같은 방식으로 총 3차 현장실험을 통해 정확도분석을 수행하였다.

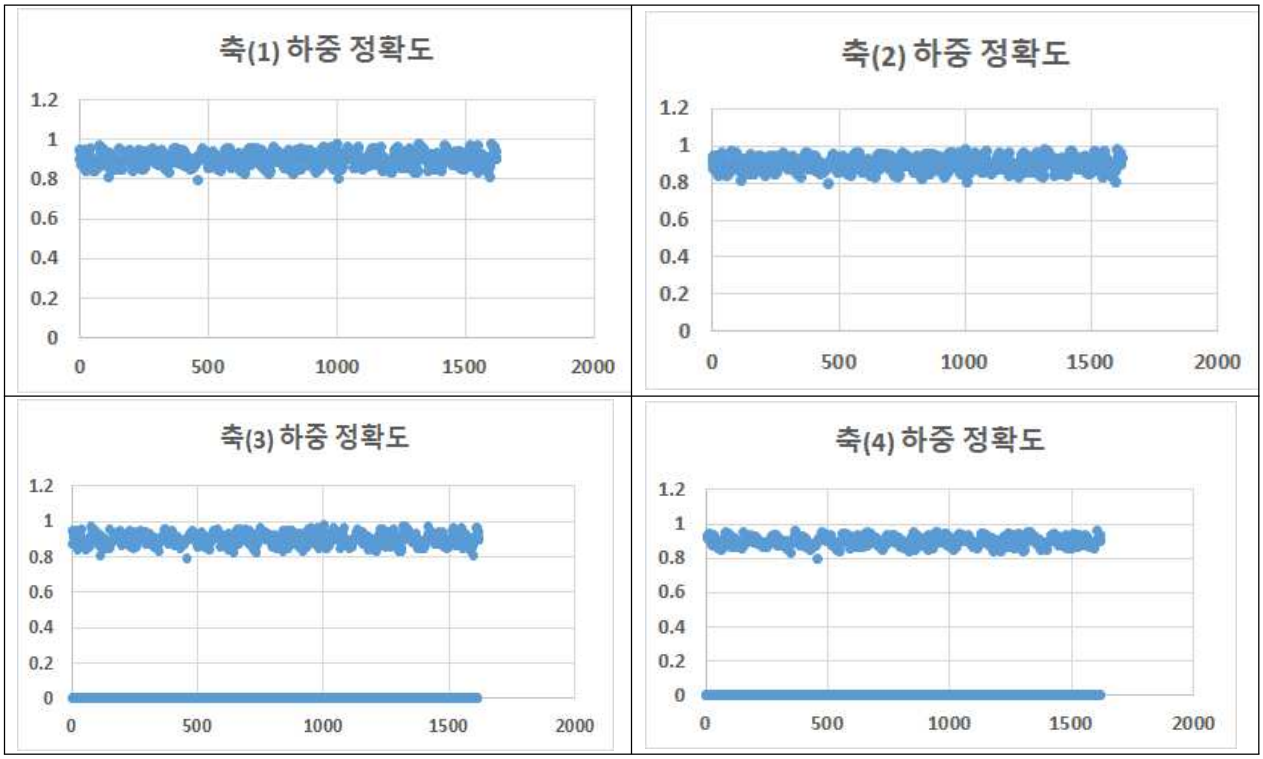
[표 3.6.17] 2차 현장실험값의 분석 결과

축별 평균 정확도				
축(1)	축(2)	축(3)	축(4)	전체
0.8997	0.8997	0.8998	0.8989	0.8997

축별 평균 오차율				
축(1)	축(2)	축(3)	축(4)	전체
0.0370	0.0936	0.0964	0.0505	0.1003

축별 절대평균오차				
축(1)	축(2)	축(3)	축(4)	전체
451.4784	383.5086	368.2580	240.4074	1443.6525

축별 절대평균오차의 표준편차				
축(1)	축(2)	축(3)	축(4)	전체
174.5085	171.8389	260.0461	299.1034	829.6825



[그림 3-6-12] 2차 현장실험 화물차량들의 축하중 분포

- [표 3.6.17]와 [그림 3-6-12]에 제시되어 있는 바와 같이 모든 축에 대해 약 90%의 측정 정확도를 나타내고 있으며, 1차 실험에서와 같이 정확도 추세선은 일정한 변동패턴을 보이고 있다.
- 한편, 3단계 속도의 변화에 따른 각 축별 정확도 분석결과는 [표 3.6.18]에 기술하였는데, 각 축 및 총중량의 경우 90% 가량의 정확도를 보이고 있으며 축 및 총중량의 계측결과 큰 변동성은 보이고 있지 않고 있다.

[표 3.6.18] 2차 현장실험에 대한 종합적인 분석 평가지표

속도	분석지표	(축1) 하중	축(2) 하중	(축3) 하중	축(4) 하중	전체 하중
10km/hr	평균정확도	0.8996	0.8996	0.8999	0.8998	0.8997
	표준편차	0.0275	0.0275	0.0375	0.0448	0.0275
	절대평균오차	0.0371	0.0941	0.1226	0.1122	0.1003
30km/hr	평균정확도	0.8996	0.8997	0.8997	0.8982	0.8997
	표준편차	0.0269	0.0269	0.0265	0.0233	0.0269
	절대평균오차	0.0372	0.0934	0.1242	0.1149	0.1003
50km/hr	평균정확도	0.9000	0.9000	0.8998	0.8999	0.9000
	표준편차	0.0287	0.0287	0.0364	0.0451	0.0287
	절대평균오차	0.0361	0.0936	0.1248	0.1110	0.1000

(5) 3차 현장실험

❍ 3차 현장실험의 경우, 2차실험과 동일한 조건으로 수행되었으며, 분석된 결과지표는 [표 3.6.19]에 설명하였다. 중량측정의 정확도는 평균 89.96%수준이었으며, 이때 평균 오차율은 약 10%로 나타났다. 이러한 결과는 예비실험을 포함한 총 4차례의 현장실험 결과에 의한 정확도 평가결과와 일관성을 가지고 있다.

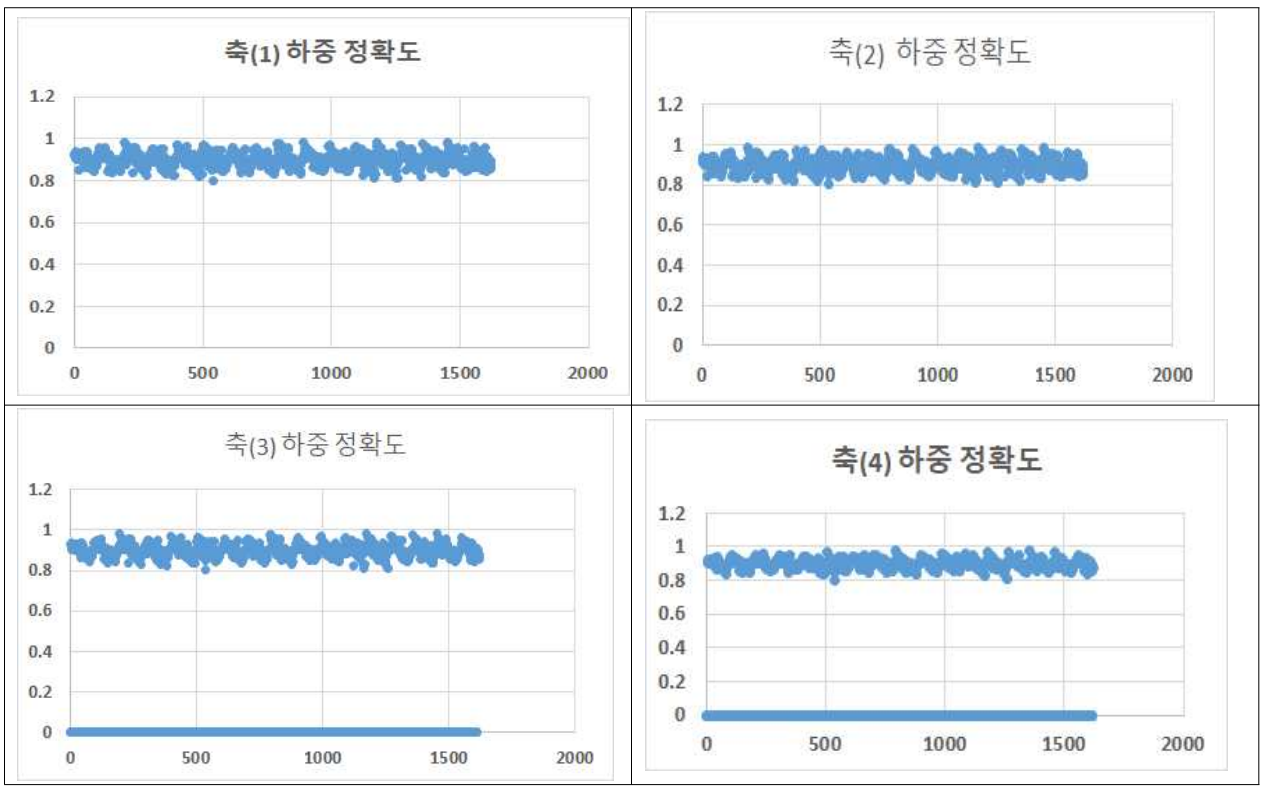
[표 3.6.19] 3차 현장실험값의 분석 결과

축별 평균 정확도				
축(1)	축(2)	축(3)	축(4)	총중량
0.8996	0.8997	0.8997	0.8991	0.8997

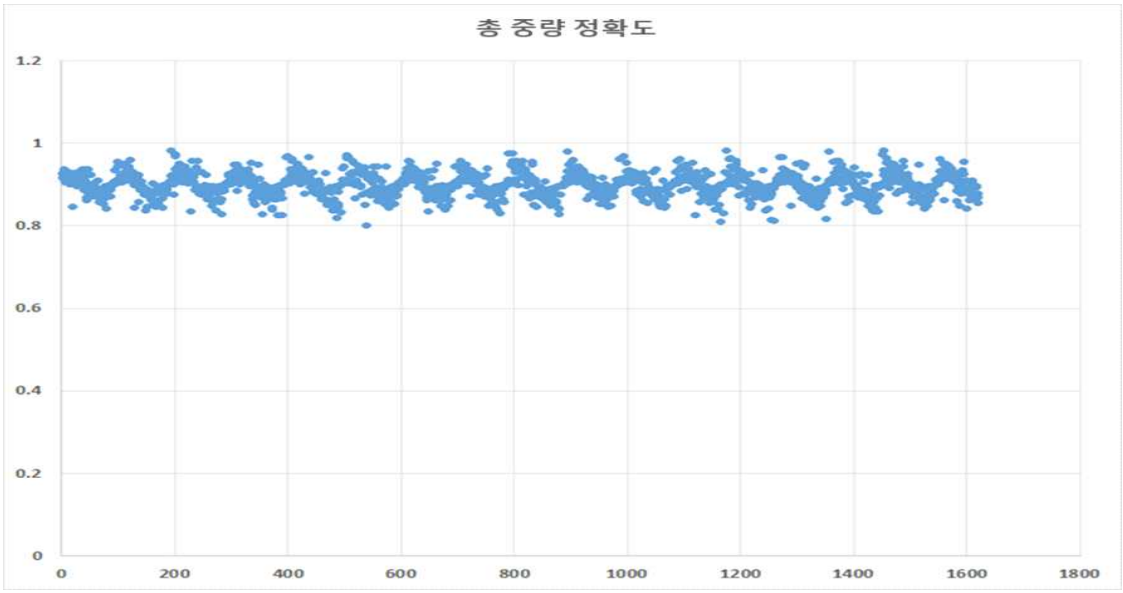
축별 평균 오차율				
축(1)	축(2)	축(3)	축(4)	총중량
0.1004	0.1003	0.1003	0.1009	0.1003

축별 절대평균오차				
축(1)	축(2)	축(3)	축(4)	총중량
451.5543	383.2981	474.4556	541.3375	1444.4679

축별 절대평균오차의 표준편차				
축(1)	축(2)	축(3)	축(4)	총중량
177.2403	172.9146	262.8791	301.3883	838.3398



[그림 3-6-13] 3차 현장실험 화물차량들의 축하중 분포



[그림 3-6-14] 3차 현장실험 화물차량들의 총중량 분포

❍ 3단계 속도의 변화에 따른 중량계측 정확도의 평가결과는 [표 3.6.20]에 제시하였는데, 기존 1차 및 2차 실험의 결과와 거의 유사하게 나타났으며, 비록 미비한 변화는 있지만 전반적으로 측정정확도는 약 90% 수준이며, 오차율은 최대 10% 이내인 것으로 나타났다.

[표 3.6.20] 3차 현장실험에 대한 종합적인 분석 평가지표

속 도	분석지표	축(1)	축(2)	축(3)	축(4)	총중량
10km/hr	평균정확도	0.8996	0.8997	0.8999	0.8992	0.8997
	표준편차	0.0286	0.0286	0.0379	0.0446	0.0286
	절대평균오차	0.1004	0.1003	0.1001	0.1030	0.1016
20km/hr	평균정확도	0.8983	0.8983	0.8991	0.8992	0.8983
	표준편차	0.0273	0.0273	0.0355	0.0450	0.0273
	절대평균오차	0.1016	0.1016	0.1008	0.1007	0.1016
50km/hr	평균정확도	0.9016	0.9016	0.8994	0.8984	0.9016
	표준편차	0.0301	0.0301	0.0387	0.0447	0.0301
	절대평균오차	0.0983	0.0983	0.1005	0.1015	0.0983

(6) 타 시스템과의 비교분석

❍ 과제 대상시스템인 매트릭스 WIM 시스템의 정확도를 타 시스템과 비교 평가하기 위한 목적으로 Kistler사의 WIM을 설치하여 동일 실험차량에 대해서 자료를 수집하였으며, 수집된 자료군들에 대해서 자료가 가장 많은 속도군집을 선정하여 샘플링하여 정확도를 비교하였다. 각각의 WIM 센서 시스템으로부터 수집한 중량 자료들은 [표 3.6.21]에 제시하였다.

[표 3.6.21] 두 개의 WIM 시스템으로부터 추출한 중량측정 자료

KISTLER'S WIM					
속도	축수	총중량	1축하중	2축하중	3축하중
43	3	11100	4200	3000	3900
48	3	10700	4100	2800	3800
46	3	11200	4300	3000	3900
47	3	10800	4100	2900	3800
44	3	11100	4200	2900	4000
40	3	11600	4300	3100	4200
43	3	11300	4300	2800	4200
43	3	12100	4400	3200	4500
45	3	11100	4200	2800	4100
48	3	11000	4200	2800	4000
45	3	11200	4300	3000	3900
45	3	11100	4200	2900	4000
43	3	11400	4300	2900	4200
44	3	11000	4200	2900	3900
45	3	11200	4200	3000	4000

매트릭스 WIM 센서					
속도	축수	총중량	1축하중	2축하중	3축하중
46	3	10736	4036	2845	3855
46	3	10564	3972	2799	3793
46	3	10802	4061	2862	3879
47	3	10195	3833	2701	3661
47	3	9945	3739	2635	3571
47	3	10064	3784	2666	3614
47	3	10519	3955	2787	3777
47	3	10502	3948	2783	3771
46	3	10608	3988	2811	3809
47	3	11274	4239	2987	4048
46	3	10583	3979	2804	3800
46	3	10658	4007	2824	3827
43	3	10746	4040	2847	3859
44	3	10734	4035	2844	3855
44	3	10831	4072	2870	3889

KISTLER'S WIM						
속도	축수	총중량	1축하중	2축하중	3축하중	4축하중
46	4	22000	5700	5200	5500	5600
42	4	22400	5600	5300	5500	6000
44	4	21600	5500	5200	5400	5500
47	4	22800	5800	5300	5700	6000
47	4	22300	5800	5300	5500	5700
47	4	22800	5800	5400	5700	5900
46	4	23600	5900	5500	5800	6400
46	4	22800	5800	5400	5800	5800
45	4	22500	5800	5300	5500	5900
47	4	24400	6100	5700	6100	6500
47	4	22500	5800	5400	5500	5800
47	4	23000	5800	5400	5700	6100
47	4	22800	5800	5300	5700	6000
45	4	23000	5800	5400	5800	6000
46	4	24000	6100	5700	6000	6200

매트릭스 WIM 센서						
속도	축수	총중량	1축하중	2축하중	3축하중	4축하중
44	4	21332	5055	4458	5972	5847
44	4	21388	5068	4470	5988	5862
43	4	21180	5019	4426	5930	5805
43	4	20837	4938	4354	5834	5711
44	4	20359	4825	4255	5700	5579
44	4	20591	4880	4303	5765	5643
43	4	20676	4900	4321	5789	5666
43	4	20694	4904	4325	5794	5671
47	4	20988	4974	4386	5876	5752
46	4	21296	5047	4450	5962	5837
46	4	22080	5232	4614	6182	6052
47	4	21656	5132	4526	6063	5935
46	4	20604	4883	4306	5769	5646
47	4	20984	4973	4385	5875	5751
47	4	21198	5023	4430	5935	5810

❍ 이 자료들을 대상으로 중량측정의 정확도 평가를 실시하였고 그 시행결과는 [표 3.6.22]와 같이 도출되었다. KISTLER 센서의 정확도는 평균 93.83%으로 나타났으며, 반면 매트릭스 WIM 센서의 정확도는 90.80%로 나타났다. 다만, KISTLER 센서의 경우 4축 화물차량의 2번째 축과 3번째 축의 경우 정확도가 상대적으로 떨어지는 현상이 나타났다. 반면, 매트릭스 WIM 센서의 경우는 측정정확도가 평균 90%로써 KISTLER 센서 보다 약 3% 정도 떨어지는 정확도를 나타내고 있으나 전반적으로 일정한 정확도를 나타내며 안정감을 보여주고 있다.

[표 3.6.22] 두 개의 WIM 시스템의 중량측정 정확도 비교

구 분	축수	평균정확도	1축 정확도	2축 정확도	3축 정확도	4축 정확도	총중량 정확도
KISTLER	3	0.9543	0.9659	0.9447	0.9508	-	0.9556
	4	0.9222	0.9438	0.8888	0.8743	0.9335	0.9704
	소계	0.9383	0.9549	0.9168	0.9126	0.9335	0.9630
매트릭스 WIM 센서	3	0.9084	0.9084	0.9084	0.9085	-	0.9085
	4	0.9076	0.9076	0.9077	0.9075	0.9076	0.9076
	소계	0.9080	0.9080	0.9081	0.9080	0.9076	0.9081

(7) 분석 및 결과

(가) 축하중 계중 오차율 분석

❍ 1차 ~ 3차의 현장 계측실험에서 계중 오차율 분석을 수행하였으며, 오차율 분석에서 실측치와 계측치 간에 편기(Bias) 존재여부는 다음의 식을 이용하여 확인하였다.

$$\%) = \frac{D_r - D_m}{D_r} \times 100 \qquad \text{식 (3.6.1)}$$

기서, $E_r(\%)$ = 오차율 백분율
D_r = 실측치 데이터
D_m = 계측치 데이터

❍ 상기의 식 (3.6.1)에 사용하여 1차 ~ 3차의 현장 계측실험의 오차율을 분석한 결과는 다음의 [표 3.6.23]와 같다.

[3.6.23] 1차~3차의 현장 계측실험의 오차율

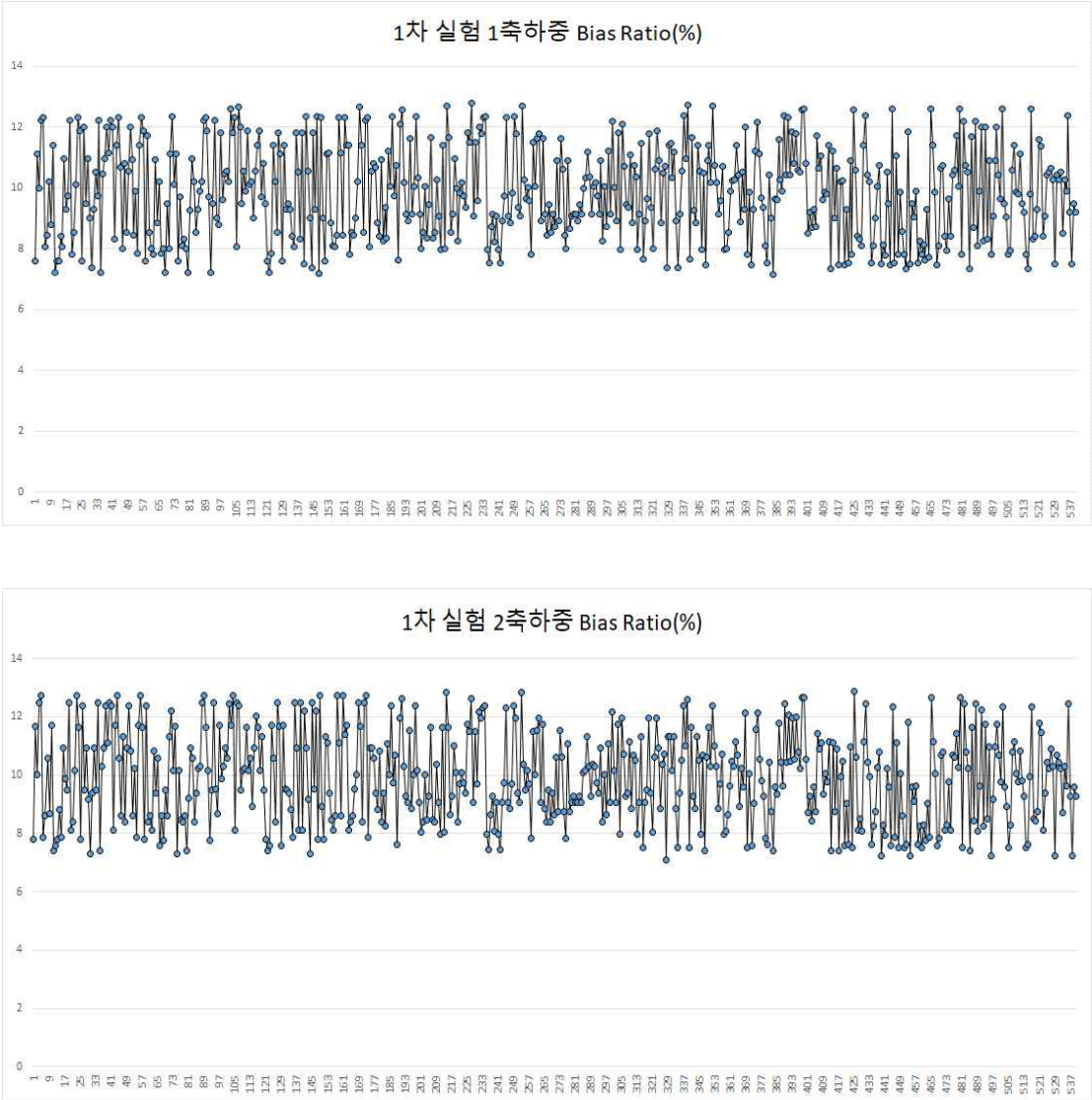
구분	1축 하중 평균 Bias(%)	2축 하중 평균 Bias(%)	3축 하중 평균 Bias(%)	4축 하중 평균 Bias(%)	전체평균 Bias(%)
1차실험	9.87	9.93	9.93	9.72	9.86
2차실험	9.86	9.93	9.91	9.87	9.89
3차실험	9.96	10.03	10.00	9.99	10.00

❍ [표 3.6.23]에 설명되어 있는 바와 같이 오차율은 평균 9.9%수준으로 나타났으며, 모든 자료는 실측치 기준보다 낮은 negative bias로 나타났다. 교정실험, 예비실험 및 1차 ~ 3차 현장실험에 대한 정확도 분석결과 평균은 90% 그리고 편차는 약 5% 이내의 유사 결과가 나왔는데, 이는 최소한 교정 및 계중 알고리즘이 안정성을 갖추고 있다는 근거로 판단할 수 있으며

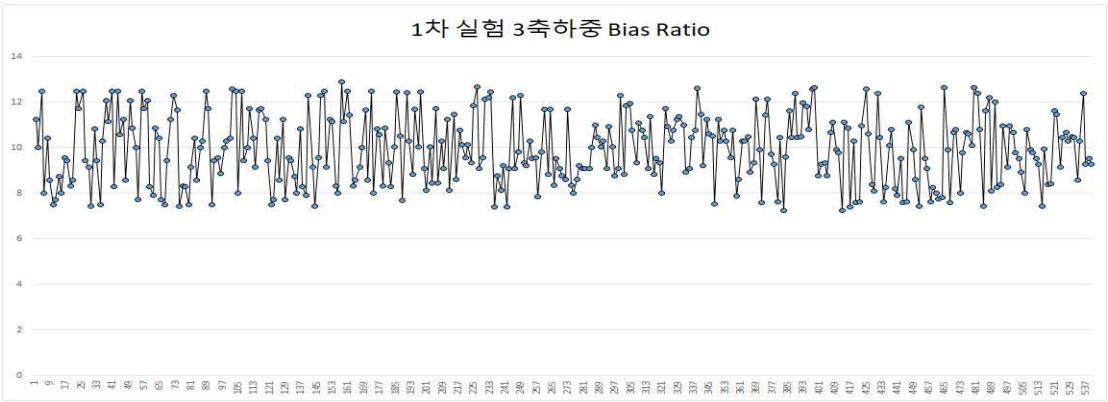
❍ 한편, 오차를 분석한 결과 나타난 negative bias는 교정 및 계중 알고리즘 내에서 일방적으로 negative bias를 유발시킬 만한 특별한 요인을 발견할 수 없었다. 다만 유추할 수 있는 사항은 센서인 스트레인게이지의 교정오류, 즉 Systematic Error로 인하여 일괄적으로 모든 하중 계측시 약 10% 수준의 negative bias의 유발 요인이 존재할 수도 있다고 판단한다.

[3.6.24] 1차 실험 오차율 Bias 분석

1축 하중 평균 Bias(%)	2축 하중 평균 Bias(%)	3축 하중 평균 Bias(%)	4축 하중 평균 Bias(%)	전체평균 Bias(%)
9.87	9.93	9.93	9.72	9.86



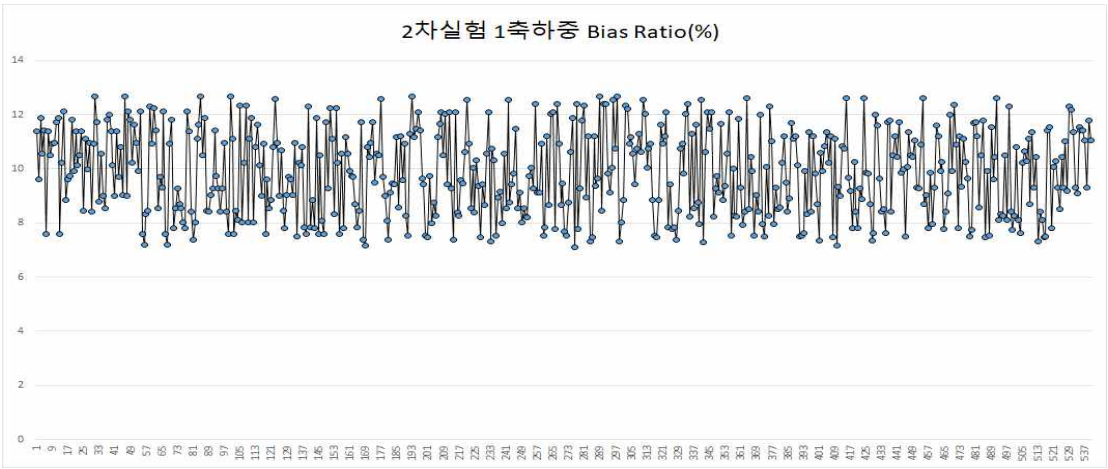
[그림 3-6-15] 1차 실험 축하중 bias 비율(%)

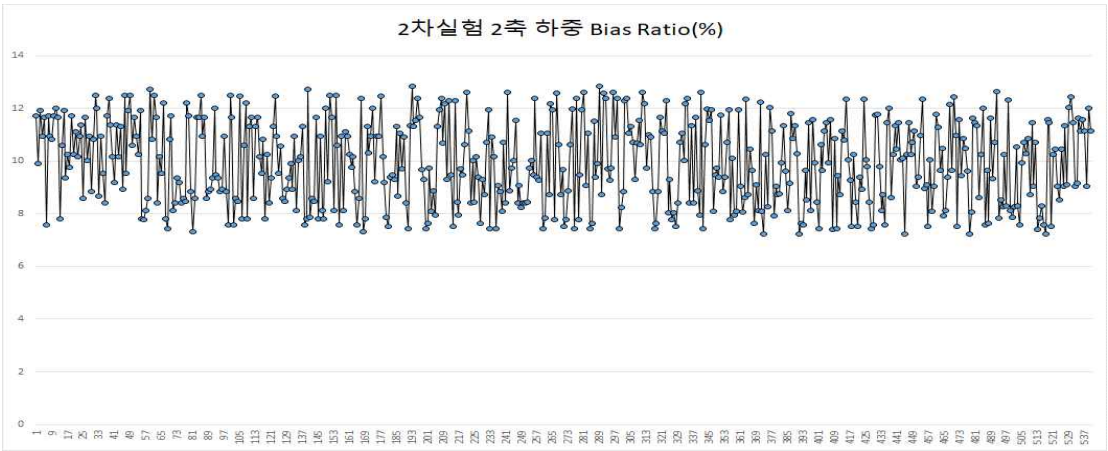


[3-6-15] 1차 실험 축하중 bias 비율(%) (계속)

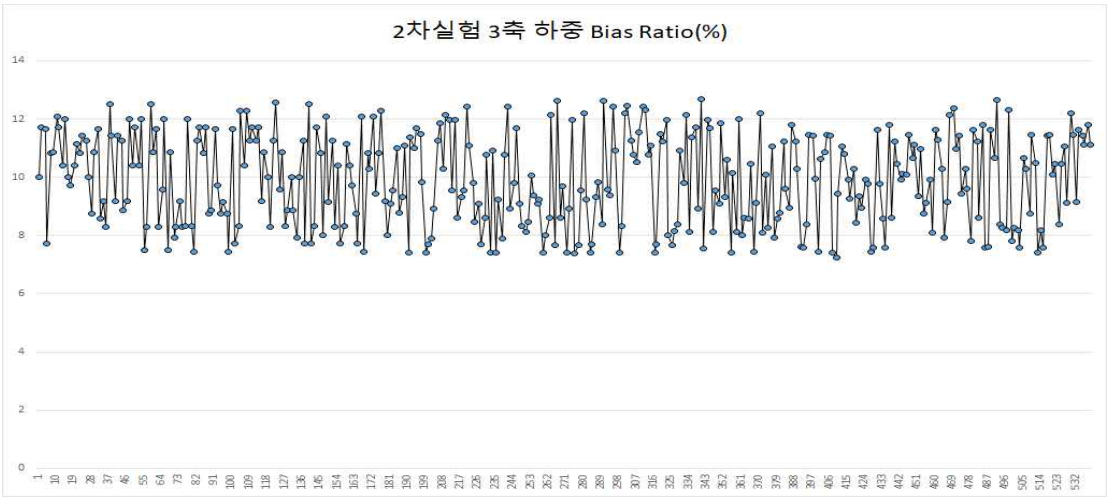
[표 3.6.25] 2차 실험 오차율 Bias 분석

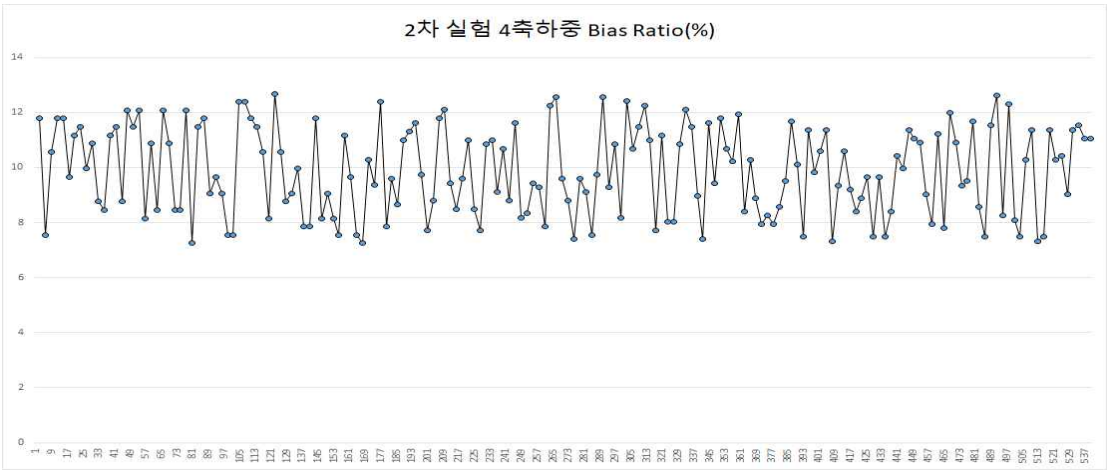
1축 하중 평균 Bias(%)	2축 하중 평균 Bias(%)	3축 하중 평균 Bias(%)	4축 하중 평균 Bias(%)	전체평균 Bias(%)
9.86	9.93	9.91	9.87	9.89





[그림 3-6-16] 2차 실험 축하중 bias 비율(%)

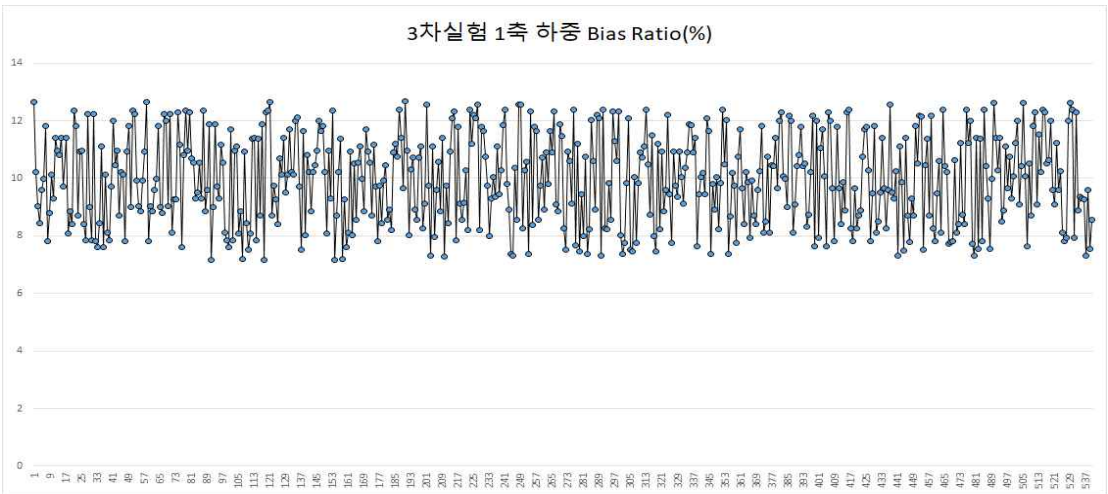




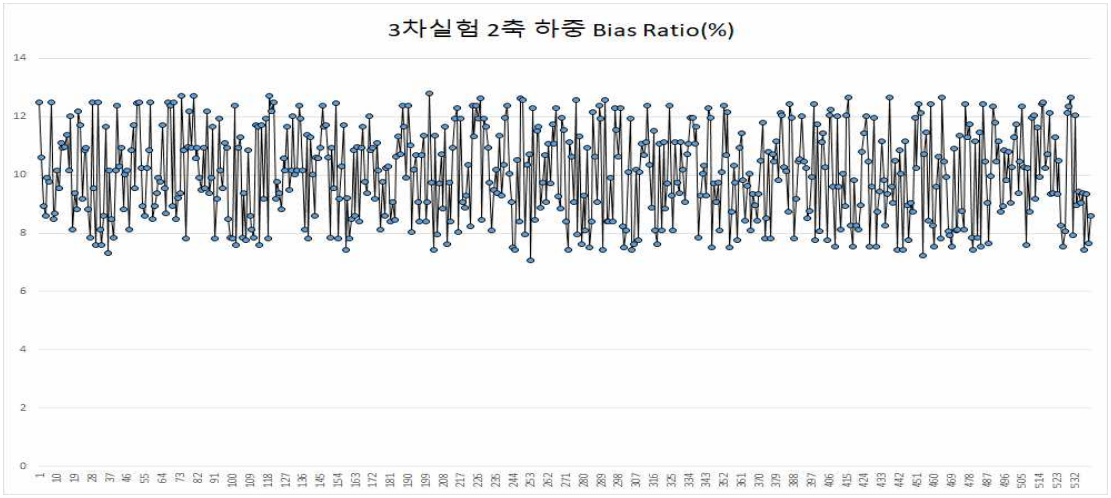
[3-6-16] 2차 실험 축하중 bias 비율(%) (계속)

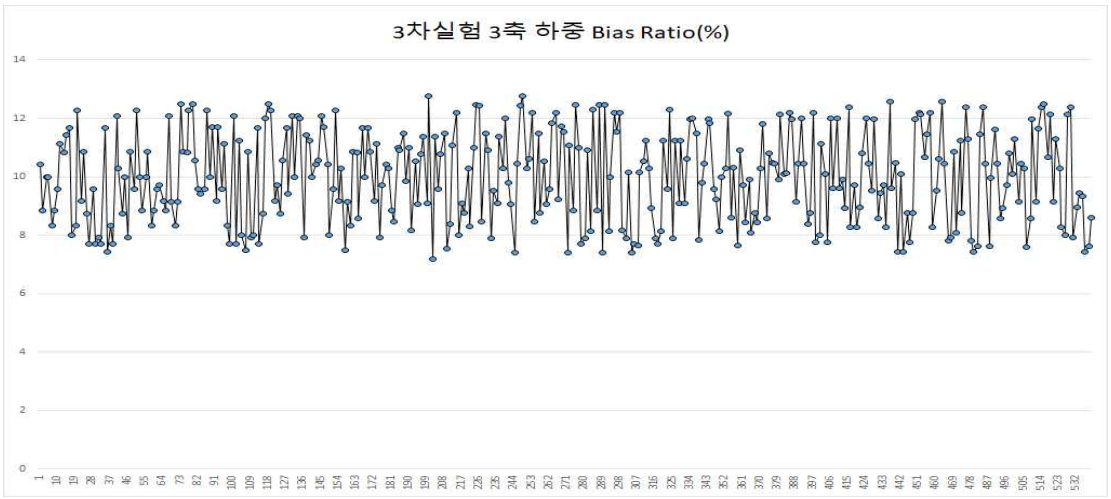
[표 3.6.26] 3차 실험 오차율 Bias 분석

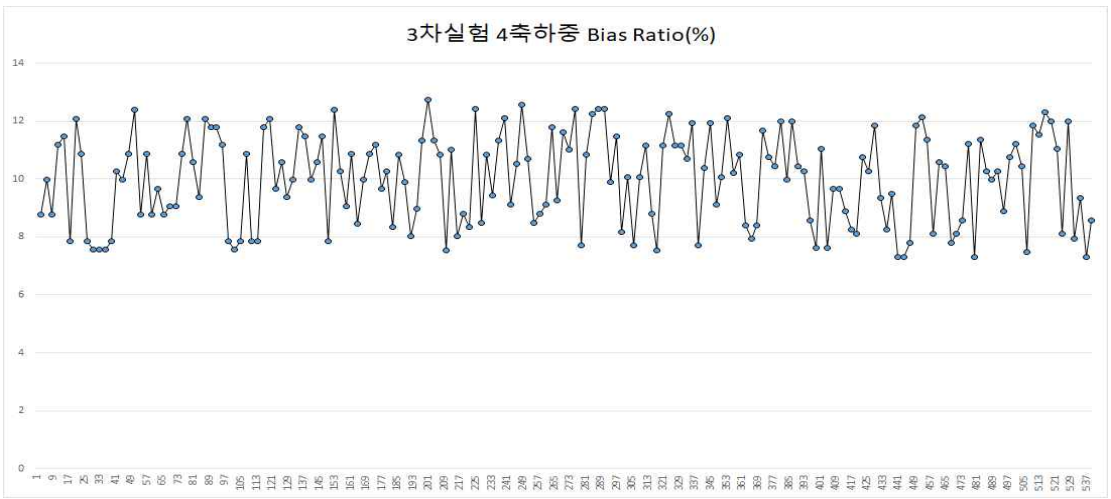
1축 하중 평균 Bias(%)	2축 하중 평균 Bias(%)	3축 하중 평균 Bias(%)	4축 하중 평균 Bias(%)	전체평균 Bias(%)
9.96	10.03	10.00	9.99	10.00



[그림 3-6-17] 3차 실험 축하중 bias 비율(%)







[3-6-17] 3차 실험 축하중 bias 비율(%) (계속)

(나) 종합 결론

- WIM의 정확도 평가를 위해 1회의 교정단계와 1회의 예비실험을 포함하여 총 4회의 현장실험을 수행하였다.
- 교정단계에서는 정확도가 약 87%수준이었으며, 반복적인 편기(bias)를 최소화하기 위한 교정 조치를 수행하였고 그 결과를 1차 현장실험을 통해 확인하였다.
- 1차 현장실험의 수행 결과 교정단계에서 조치된 결과를 통해 약 3% 수준의 정확도 증가 효과를 얻었으며, 부분적으로는 반복적인 편기추세(bias trend)가 발견되었지만 미세한 것으로 판단되었다.
- 1차, 2차, 3차 현장실험을 통해 2축 ~ 4축을 포함하는 중차량 실험을 수행하였으며, 그 결과 모든 현장실험에서의 결과와 거의 같은 수준의 정확도를 유지하고 있음을 확인하였다.
- 1차 ~ 3차 현장실험의 전 과정을 통해서 볼 때, 주목할 만한 정확도 증감변화는 없었었으나 단계별 속도변화에 따른 정확도 평가 시 미미하지만 50km/hr일 때 계측정확도가 비교적 높게 나타나는 것으로 확인되었다.
- 테스트베드의 정확도 분석 및 평가 결과 정확도는 평균 90%, 오차율 10% 수준이며, 궁극적으로 축 하중이 큰 차량의 경우 반복적인 편기추세가 발견됨에 따라 이를 제 2차 교정할 경우 더 우수한 정확도를 유지할 수 있을 것으로 판단된다.

제4장. 목표 달성도 및 관련 분야 기여

4.1 목표 달성도

핵심연구성과	단위 성과	최종 성과점검기준					정량목표	달성도 (%)
		질적성과지표	목표치	측정방법	검증방법	가중치		
센서 성능 확보를 위한 구조 개발 및 검증	논문(KCI)	표준화된 영향력지수	≥ 0.20	학술진흥재단 공고자료확인	KCI IF(5년)	2	특허 : 출원 1 건 논문 : 1 건	100
	기술혁신	개발기술 성능목표 달성도	센서모듈 : 0.5%≤ 직진성 : ,0.8% 이내 정적하중 : 0.8%≤ 동적하중 : 5%≤ 타이어자국 : 2.5cm 이내	기준차량 테스트	기준차량 3회 이상 주행 테스트	1	시제품 : 1 건 성능테스트 수행: (테스트베드)	100
다중 입력을 통한 실시간 측정 차량 특성 처리 시스템 개발	제품개발	시험평가	1%≤	데이터 통신 에러율		1	특허 : 출원 1 건 등록 1 건	100
	특허	표준특허	≥ 1	특허 청구 출원 및 등록	특허 청구 출원서, 등록결정서 및 등록증	2		
센서 교정 방법의 개선 및 시험 기술	기술혁신	개발기술 성능목표 달성도	≥ 95%	기준차량 테스트	기준차량 3회 이상 주행 테스트	1	논문 : 1 건	100
	단독활용 시설장비	계획대비 공정률	100%	구축진척도	구축완료	2		
	논문(KCI)	표준화된 영향력지수	≥ 0.20	학술진흥재단 공고자료확인	KCI IF(5년)	2		
시스템 통합 및 자료 시각화	컨텐츠・SW	가치평가	80점	관련 전문가의 평가 보고서	3인 이상의 평가(100점 기준)	2	특허 : 출원 건 등록 건 논문 : 건 시제품 : 건 SW : 1 건	100
	컨텐츠・SW		1건	SW 등록증서	NTIS등록 완료	1		
	시설장비 DB구축	계획대비 공정률	100%	구축진척도	구축완료	2		
E 실용화	경제효과	해외장비 대체효과	≥100개	압전센서 적용 개수	2018년 이후 실시한 사업 결과 확인	3		100
	기술활용 효과	매출액기여	≥2억/yr	센서 판매 매출액	2018년 이후 연간 센서 판매액	1		
						20	특허 : 출원 2 건 등록 1 건 논문 : 2 건 시제품 : 1 건 SW : 1 건	100

4.2 관련 분야 기여도

- ❍ 기존 고속 WIM 센서 기술에 비해 비교우위가 높은 고속 과적검지 센서 기술의 원천기술을 확보함으로써 외국기술의 의존성을 탈피하며 외화의 유출을 차단하고 적극적인 해외시장 진출로 역수출할 수가 있다.
- ❍ 저가형으로 커스토마이징하는 경우 현재 고속 WIM 센서(압전센서) 시스템과 유사하게 설치·운영되고 있는 교통량조사장비(Automatic Vehicle Classification, AVC)에도 적용할 수 있어 AVC 장비의 성능 및 기능 개선에 기여할 수 있다.
- ❍ 개발시스템은 저속 주행시에도 차량의 중량 측정이 가능한바 고가의 저속 WIM 시스템이나 Weighbridge 대용으로 사용이 가능하다.
- ❍ 현재 한국도로공사에서 준비 중인 스마트톨링 및 무인과적단속 업무에 적용할 수 있는 기반을 마련하였다.
- ❍ 축적된 기술의 활용과 지속적인 연구에 의한 기술혁신으로 국내 및 세계시장을 선도할 수 있다.
- ❍ 과적단속 관련 요소기술의 확보로 단속 성능은 제고하고, 비용은 감소시켜 녹색성장 분야에 기술적으로 기여한다.
- ❍ 성능시험 테스트베드 운영경험으로 기술의 성능검증을 피드백하여 개발기술의 완성도를 높여 제품 상용화의 가능성을 극대화 한다.

제5장. 연구개발성과의 활용계획

5.1 연구성과물의 상용화 추진

❍ 매트릭스 고속 WIM 시스템의 제품상용화 추진

- 국내에서 적용되는 일반도로에서의 WIM은 크게 현재 일반국도 과적검문소나 고속도로 요금징수소에 설치되어 있는 저속축중기(LS-WIM)와 일반국도 과적검문소, 광안대교의 과적검문소 등에서 활용되는 과적혐의차량 사전선별용 및 고속국도 김천JC 주변과 일반국도 순천 주변에 과적차량 무인단속용으로 시범설치된 고속축중기(HS-WIM)으로 분류된다.
- WIM 시스템의 국내기술은 센서보다는 제어기 분야에 개발이 집중되어 있고 또한 저속 WIM 센서가 주요 대상이었으며, 고속응답에 효과적인 중량센서의 국산화 개발은 상대적으로 부진한 상황이다.
- 저속축중기에 주로 적용되는 검지(Sensing) 방식은 스트레인게이지 방식으로 현재는 외산(캐나다의 IRD/PAT사의 SAW 및 SLC) 제품과 국산(카스사의 RW, 기타 중소기업 일부) 제품이 고루 사용되고 있으며, 센서는 외국 제품으로 하고 시스템부분은 국산화하여 사용목적에 맞게 활용되기도 한다.
- 고속축중기에 주로 적용되는 검지(Sensing) 방식은 압전(Piezo-Electronic)방식이 채택된 센서들이 사용되고 있으며, 전부 외국산(스위스 Kistler사의 Quartz, 프랑스 ECM사의 Ceramic, 미국 MSI사의 PVDF)이 사용되고 있어 고속축중기 센서 관련기술의 확보가 시급한 상황이다. 특히 스위스의 Kistler사는 현재 세계적으로 압전방식(Piezo-electronic)의 중량측정센서 부문에서 가장 신뢰도 높은 센서로 인정받고 있으며, 전체시장의 상당부분을 장악하고 있다.
- 따라서 매트릭스 WIM 센서의 제품상용화가 성공한다면, 현재 도로법 등 차량의 운행제한 관련 제도적으로 선언한 운행제한 중량기준 위반차량의 단속업무의 효율성과 투명성을 향상시킬 수 있는 대안으로 받아들여질 것으로 예상한다.

❍ 제품상용화 추진내용 및 절차

- 상용화의 협의의 개념은 자체 연구개발 혹은 외부로부터 기술이전을 통하여 획득한 새로운 기술을 제조공정 및 엔지니어링과 같은 생산활동에 투입하여 대량생산을 통한 제품의 제작, 출하 및 판매에 이르는 과정으로 정의하고 있으며,
- 광의의 개념으로는 연구개발된 기술이 이전을 통하여 시제품을 제작하고 제조공정 및 엔지니어링 기술과 결합하여 시장에 제품을 출하하기 직전까지의 과정으로 설명한다.
- 위와 같은 개념을 토대로 다음과 같이 제품상용화를 추진한다.
  - 현재 시작품은 제작된 상태이며, 본 사업을 통해 테스트베드에서 얻은 문제점과 이슈를 피드백하여 제품성능을 개선한다.

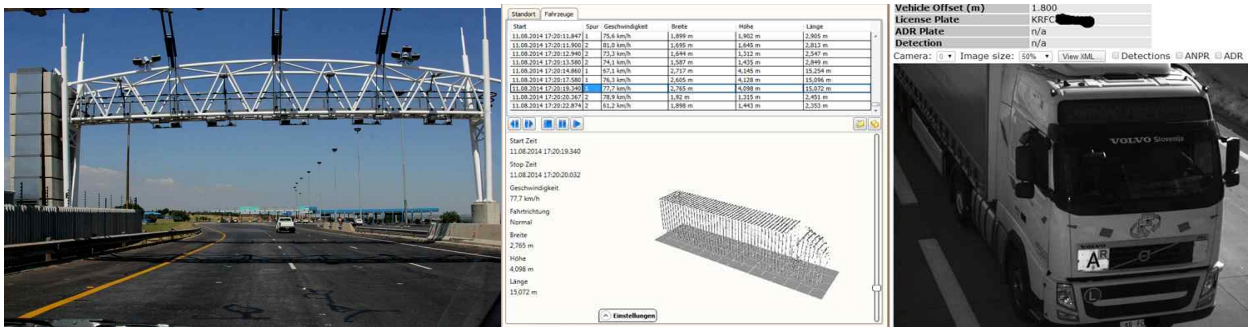
- 재료의 가격추이, 조달용이성 및 생산규모를 검토하여 생산의 용이성을 마련한다.
- 시장경쟁력 확보를 위한 제작비용 등 경제성을 검토하고 마련한다.
- 국내외 공인인증기관을 통한 성능검증 및 인증을 확보하여 정확도에 대한 우수성을 확보한다.
- 국토교통신기술, NET, NEP 등 주요 신기술을 획득하여 판매의 가능성을 증대한다.

5.2 무인과적단속 업무에 적용

❍ 고속국도의 경우, 무선주파수 인식의 원리를 활용한 새로운 교통정보체계인 C-ITS의 도입을 위한 시범사업을 추진 중이며, 주행 중인 화물차량의 중량정보를 정확하게 계측함으로써 C-ITS의 핵심 사업 중에 하나인 스마트톨링 등의 무정차 요금징수의 전면 도입을 가능하게 할 수 있다.

❍ 한편 2015년 10월부터는 4.5톤 이상의 화물차량도 하이패스 이용이 가능하여 고속 WIM 시스템의 새로운 시장으로 등장하고 있으며, 본 개발 기술은 로드셀 방식의 센서들을 모듈화 및 매트릭스화 된 구조와 형태로 개발함으로써 기존 센서 대비 정확한 차종분류 및 측정방법이 적용되기 때문에 기존 센서시장을 대체할 수 있는 장비로 활용 가능할 것으로 예측된다.

❍ 운행제한 중량기준 위반차량의 단속업무가 무인화 된다면, 이후에는 주행 중인 차량의 규격(높이, 길이, 폭)을 정확하게 측정할 수 있는 시스템을 개발하여 도로법에 따라 추진 중인 운행제한 기준 위반차량의 제한업무를 자동화 시킬 수 있도록 관련계획과 연구를 추진한다.

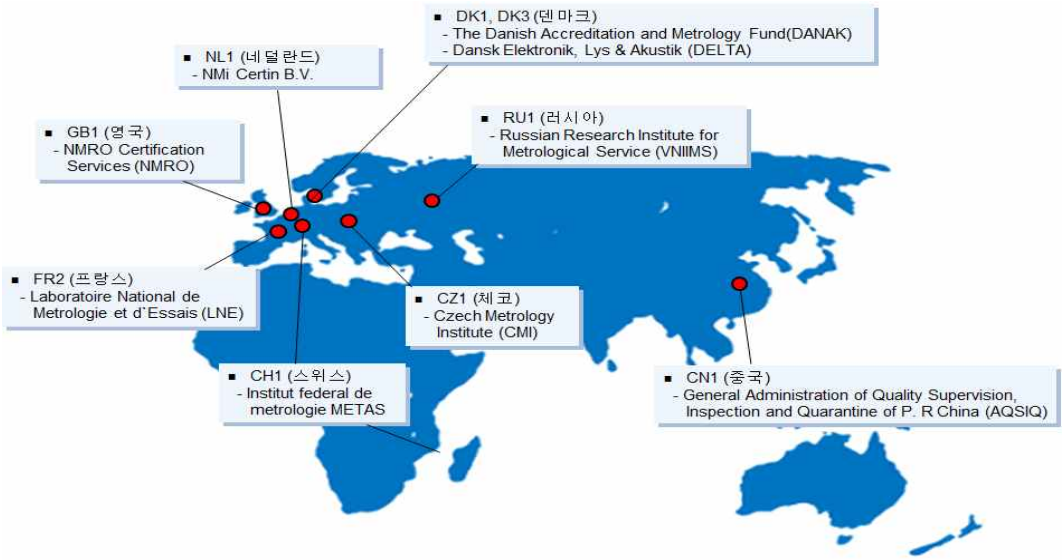


[그림 5-2-1] 주행차량 규격 측정 사이트 예시

제6장. 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보

6.1 고속축중기 성능검증 및 평가 관련 보고서 정보

❍ 고속축중기(HS-WIM)에 관련된 국제표준 및 국제공인시험 규격은 OIML R-134 (International Organization Legal Metrology)를 따르고 있으며, 이를 인증해 주는 기관은 [그림 6-1-1]과 같이 해외에 9개 기관이 존재하고 있는데 아직 국내에는 고속 WIM 분야에서 국제공인시험을 수행하여 인증서를 발급하는 기관은 없는 실정이다. 한편, OIML에 대한 개략적인 설명은 [표 6.1.1]과 같다.



[그림 6-1-1] OIML R-134 인증기관

[표 6.1.1] 국제법정계량기구 주요 내용

구 분	내 용
정의	International Organization of Legal Metrology (국제법정계량기구)
개요	- 계량기의 사용상 야기되는 행정상, 기술적 문제점을 국제적으로 해결하고. 법정계량에 관한 일반원칙 결정으로 국제적 계량체계의 통일를 목적으로 설립 - 이 시스템은 제시된 측정기구 형식이 OIML 국제권고안에 관련된 요구사항에 일치한다는 사실을 제조자가 시험결과 보고서로 확인하게 하고, OIML 인증을 획득할 수 있다.
대상품목	- 계량기구류 등
주관기관	- OIML Secretariat (www.oiml.org) : The Bureau International de Metrologie Legale (BIML) : International Bureau of Legal Metrology : 국제법정계량사무국
기타	OIML 인증서는 자발적인 토대위에 국가간 계량 종사자에게 상호 인정되어 지고, 시험결과보고서의 인정으로, 인증시스템은 제조자와 계량 당국자에 대한 형식승인 절차를 간단하게 하고, 신청과 시험절차의 이중 비용을 줄일 수 있다.

❍ OIML은 국제권고 및 국제문서를 발간하여 법정 계량의 국제 규격을 통일하는 것이 이 기구의 주된 목적이며, 본 연구와 관련해서는 국제권고인 OIML R-134(Automatic instruments for weighing road vehicles in motion. Total vehicle weighing)에서 고속축중기의 성능평가 및 인증과 관련한 세부기준 및 방법 등을 제시하고 있다. 현재 국내에서는 비자동저울 분야에서는 OIML R-76을 적용하여 기술기준을 고시하여 운용하고 있다. OIML 국제권고(Inernational Recommendations : RI)의 주요 내용은 다음과 같다.

- 법정계량에 관한 국가 규정의 모델
- 국내 규격이나 법에 채용할 도의적 의무
- 매 4년 주기로 작성되는 작업계획에 따라 개발
- 발간 후 5년이 경과되면 개정 필요성을 검토
- 현재 총 98개 규격 발간
- 강제 규정 표현 shall, 추천 성격의 규정 should 또는 it is advised
- 국제 흐름을 적용으로 기술적인 검사, 교정, 시험방법 수록
- 해당 분야의 규격 검토와 적용 필요

❍ 또한 OIML의 인증제도(OIML Certificate System for Measuring Instruments)는 측정기기가 OIML 권고 규격에 일치함을 증명하고, 수출·입 국가 상호간의 인증으로 측정기기 검사 업무를 통일하기 때문에 향후 고속축중기 사업발전에 중요한 역할을 수행한다.

❍ 한편, OIML 같은 국가 간의 규약은 아니지만 유럽의 COST 323은 EU 15개국과 OECD가 참여한 COST 323 action을 중심으로 WIM 시스템에 대해 광범위한 테스트 및 활용방안에 대해 연구한 결과를 제시하고 있다. 연구결과가 다소 오래되기는 했으나 미국의 ASTM(American Society for Testing and Materials)의 보고서와 함께 WIM의 평가방법, 적용방법과 활용방안에 대해 자세히 설명하고 있다. 따라서 WIM 시스템의 정확한 도입 및 운영을 위해서는 참조해야 할 보고서로 인식된다.

❍ COST 323에서는 고속 WIM에 대해서 교통류에 영향을 끼치지 않고 도로를 주행하는 모든 차량의 무게를 측정할 수 있으며, 이는 과적단속 시 차량의 사전선택, 과적수준의 모니터링, 자동하중단속의 효율성을 증가시킨다고 언급하고 있으며 주요 이슈는 다음과 같음을 제시하고 있다.

- WIM 하중과 정적 무게의 비교 ; 센서의 정확성, 결과도출 프로세스, 포장 건설, 차량속도와 서스펜션, 기타 등은 WIM의 하중과 정적하중간의 차이로 나타날 수 있다.
- 각 개별차량의 최대허용 적재중량에 대한 정보 획득이 필요하다.
- 차량검지 : 트랜스 폰더를 차량에 장착함에 따라 도움을 받을 수 있다. 이는 운전자에게 해당 정보(예를 들면, ‘단속지역으로 가시오.)를 줄 수 있다. 향후 국내 스마트톨링 시스템의 과적차량 단속업무에 필요할 것으로 예상된다.
- 저속 WIM 시스템은 믿을 만한 단속장비 일 수 있으나 뒤축(bogie) 높이의 차이를 최대한으로 줄이는 등 성능을 개선할 필요가 있다.

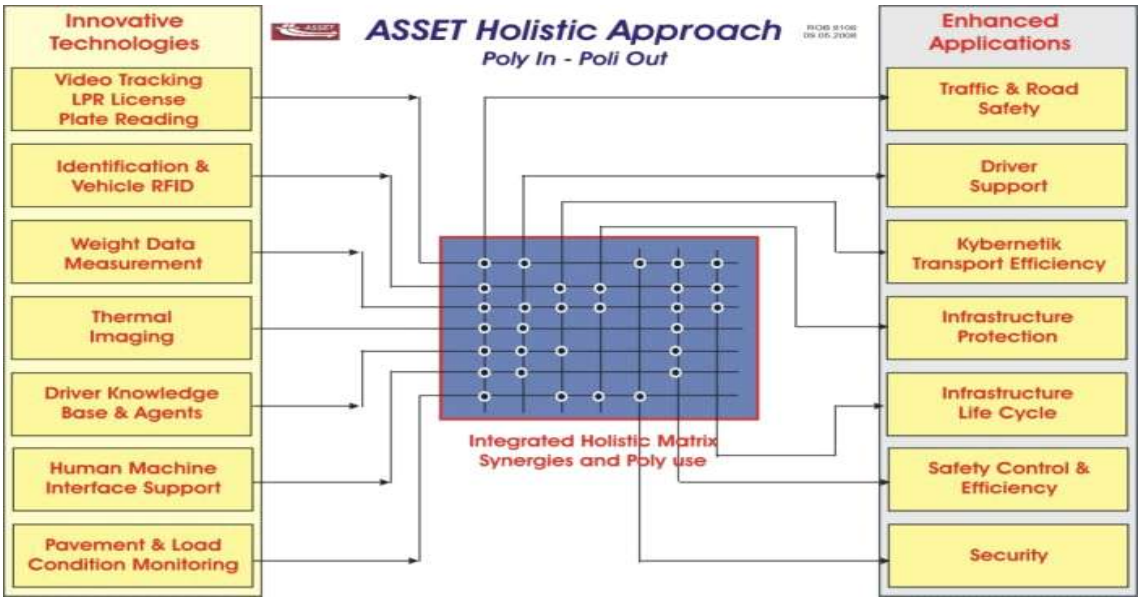
6.2 고속축중기 적용을 통한 유럽의 도로안전 기술정보

❍ 2008년 7월1일 부터 2011년 12월31일 까지 812만 유로(추가예산: 615만 유로)를 투입하여 민·관학 19개 기관이 컨소시엄 형태로 ASSET(Advanced Safety and Driver Support for Essential Road Transport) 프로젝트를 수행하여 과적차량 자동감지, 주행차량 안전감시, 도로환경 모니터링 등 도로안전에 관련한 다양한 시스템을 독일, 핀란드, 오스트리아의 고속도로에 설치하여 시범 운영한 바 있으며, 주된 목적은 다음과 같다.

- 새로운 “교통안전시스템 이론“의 개발
- 통합 안전 시스템에 필요한 실용적인 방법과 이론을 통해 실행
- “전체 시스템 설계“를 포함한 기술 및 아키텍처를 개발하고 통합
- 다양하고 유용한 여러 응용 프로그램과 기 구축된 테스트 사이트를 통합
- 향후 사용을 위해 시스템의 기능, 성능 및 운영성을 조사하고 최적화 함

❍ 한편 ASSET 프로젝트는 다음에 내용에 기초하여 개념을 정립하였다.

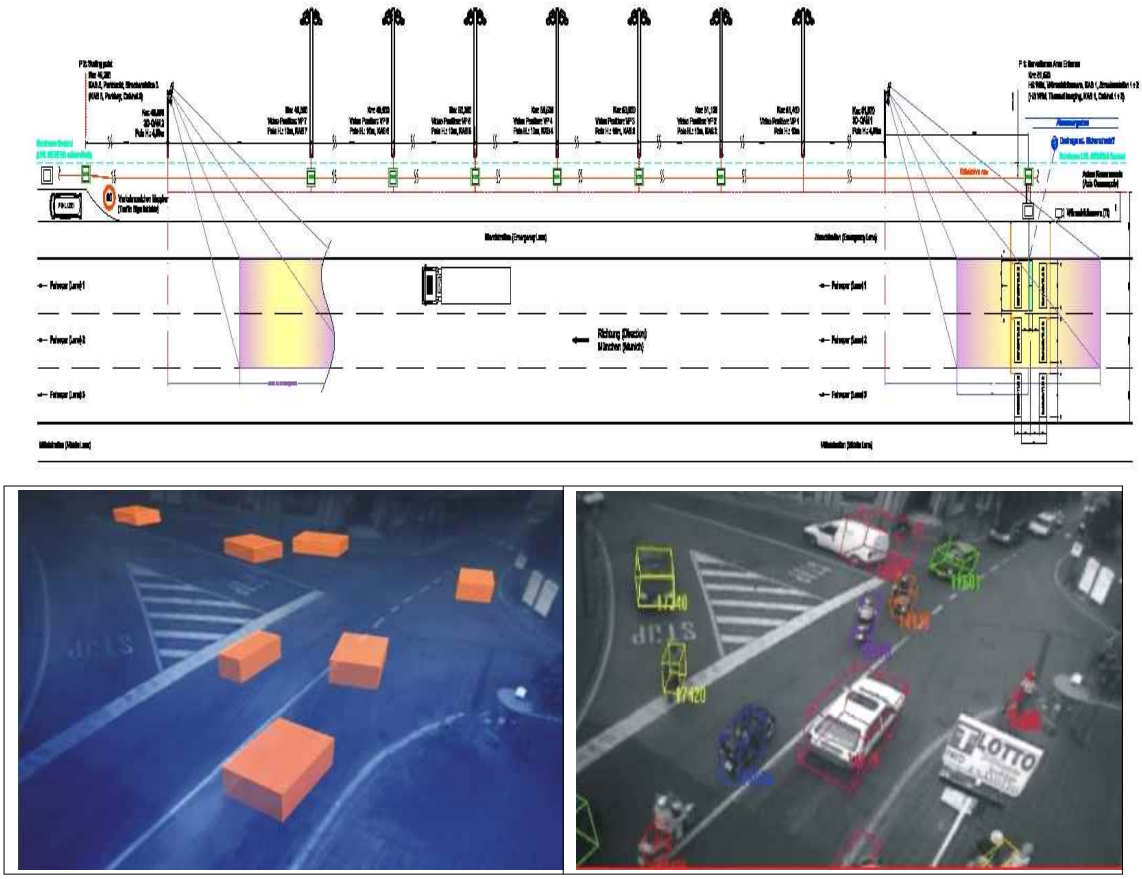
- 증가 된 안전성(운전자, 차량, 기반 시설 및 통제)을 위한 주요 운송 요소의 통합
- 복잡한 상호작용을 관리하는 전반적인 안전이론을 생성하기 위해 실용적이면서도 전체론적인 방법으로 접근
- 상호 의존성 및 프로세스의 연계성을 분석하여 도로 안전에 영향을 미치는 주요 매개 변수를 식별함
- 도로 사용자 및 행정 기관이 지원하는 ASSET의 기술 및 응용 프로그램을 다루는 다양한 테스트 사이트를 개발 및 운영
- 경험 많은 전문 분야 전문가로 프로젝트팀 구성



[그림 6-2-1] ASSET 프로젝트의 전체론적 접근법

❍ 한편, ASSET 프로젝트에 사용된 주요 혁신기술은 다음과 같다.

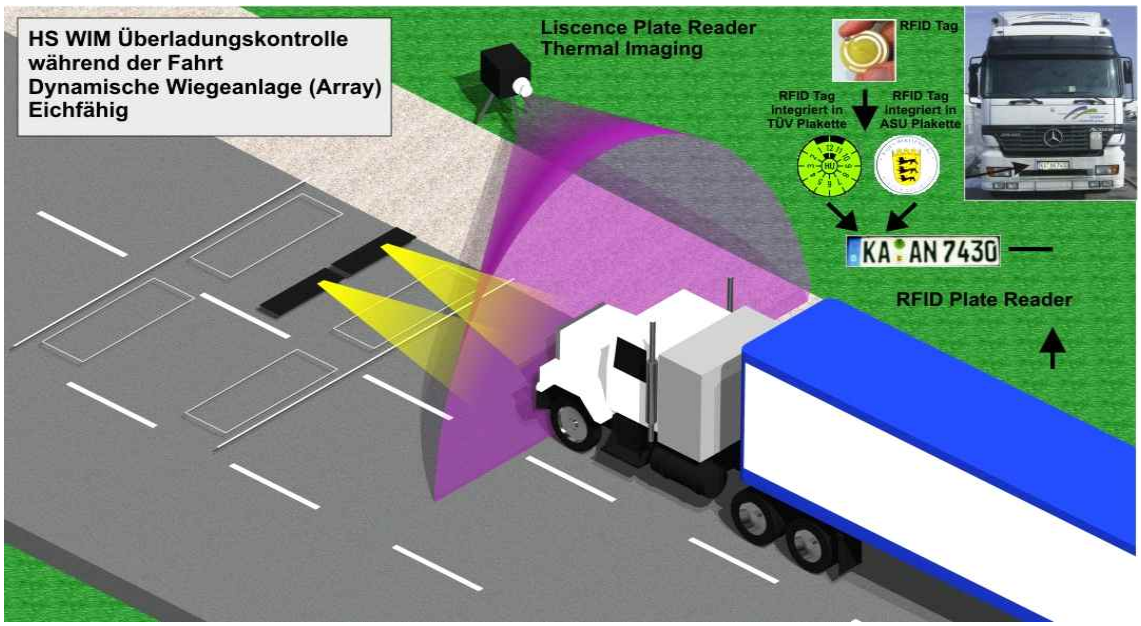
- **식별을 포함한 이동체 자취확인 및 추적 기술** : ASSET은 다른 센서 시스템과 함께 지나가는 차량을 추적하는 애플리케이션을 구현한다. 이 애플리케이션은 RFID 시스템과 함께 카메라 비전 시스템을 기반으로 하며, 긴 도로 구간에서는 운전행동을 모니터링한다. SFM(Structure from Motion) 패러다임을 채택하고 있으며 추적 모듈은 가상 드라이버 에이전트 시스템에 대한 기본 데이터를 생성한다.



[그림 6-2-2] ASSET 프로젝트의 이동체 추적기술 개념도

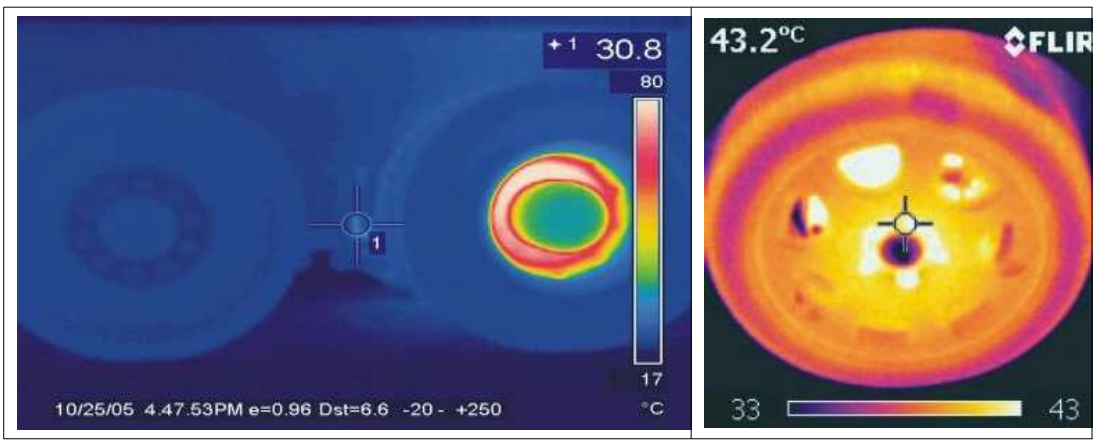
- **가상 드라이버 에이전트 시스템** : 가상 운전자 에이전트는 운전자에게 연료 및 운전 비용을 절약하도록 지시하고, 지역 교통 규칙 또는 날씨 관련 조건에 따라 환경을 보호하고 안전한 주행을 지원하는 보조 도구이다. 주요 목적은 전방의 문제를 사전에 운전자에게 경고하여 능동적인 ADAS(Advanced Driver Assistance Systems) 상호작용을 준비토록 하는 것이다.
- **전자동 과적차량 제어시스템** : 차세대 WIM 시스템(도로 포장에 내장 된 전자 장치 및 데이터 버스)은 도로 포장에 설치된 평탄한 센서 어레이를 사용하여 개별 바퀴, 축 및 차량의 중량을 정확하게 측정 할 수 있다.
  - 총중량/축하중 과적의 완전자동 탐지 및 단속(교통 속도)을 위한 매우 정확한 WIM 시스템

- 차량번호판 자동인식장치와 연동 및 동기화
- WIM 센서 시스템에 RFID 리더기 내장
- WIM 측정시 다양한 동적하중 측정의 정확도를 위한 센서 어레이 기술
- 포장 열화 모델 및 수명주기 최적화를 위해 향상된 동적 중량 측정
- 새로운 교통하중 변화 데이터 매개변수 및 알고리즘
- 차량바퀴 안전검사와 연동(열화상 이미지)



[그림 6-2-3] ASSET 프로젝트의 고속 WIM 시스템 개념

• **열화상(차량 상태 제어)** : 초 고감도 원적외선 카메라는 안전 모니터링을 위해 HGV 브레이크 및 타이어의 상태를 감지하는 데 강력한 기능이 있다. 열화상 기술은 결함 있는 바퀴, 타이어 및 브레이크를 자동으로 감지하는 데 적합하다.



[그림 6-2-4] 열화상 검지기를 이용한 안전 모니터링 개념

제7장. 연구개발성과의 보안등급

해당사항 없음

제8장. 국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설·장비 현황

구입 기관	연구시설/ 연구장비명	규격 (모델명)	수량	구입 연월일	구입 가격 (천원)	구입처 (전화번호)	비고 (설치 장소)	NTIS장비 등록 번호

해당사항 없음

제9장. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전조치이행 실적

해당사항 없음

제10장. 연구개발과제의 대표적 연구 실적

번호	구분 (논문/ 특허/ 기타)	논문명/특허명/ 기타	소속 기관명	역할	논문 게재지/ 특허 등록 국가	영향력 지수	논문 게재일 /특허 등록일	사사 여부 (단독 사사 또는 중복 사사)	특기 사항 (SCI 여부/인용 횟수 등)
1	특허	하중 검출장비를 이용한 교통정보 수집 시스템	(주) 인펙 비전	주관	한국		2017.04.04. (10-1725582)		
2	특허	고속 축중기 및 이를 이용한 고속 축중 검출시스템	㈜인펙 비전, ㈜와이 투텍	공동 출원	한국		2017.01.20 (10-2017-0009664)		
3	논문	WIM 센서 설치에 적합한 실런트 개발 연구	전북대	주 저자	한국도로 학회논문 집/한국		2017.02		비SCI
4	논문	아스팔트 콘크리트 채움재로 TDF Fly Ash 적용에 따른 아스팔트 혼합물 기초 물성 평가	전북대	주 저자	대한토목 학회 논문집/한 국		2017.04		비SCI
5									
6									

제11장. 기타 사항

해당사항 없음

제12장. 참고 문헌

1. 한국건설기술연구원. (2011). “운행제한차량(과적차량) 선진화 방안 연구”, 국토해양부
2. 권순민 외 1인. (2009). “고속축하중측정시스템 개발과 과적단속시스템 적용방안 연구”, 한국도로학회 논문집, 제11권 제4호, pp. 69-78.
3. 한대석 외 2인. (2007). “WIM시스템의 소개와 정책적 활용방안”, 교통 기술과 정책, 제4권 제4호, pp. 61-82.
4. 한대석 외 3인. (2008). “ WIM 시스템의 소개와 국내적용기준의 개선방향”, 토목학회지 제56권 제1호.
5. 박제우 외 3인. (2010). “비정상 주행패턴 분석을 통한 WIM 시스템 개선 연구”, 한국인터넷 정보학회, 제11권 제4호.
6. 김범진 외 2인. (2005). “Weigh-In-Motion 장비 보정을 위한 대표차종 선정에 관한 연구”, 한국도로학회.
7. 김동호 외 4인. (2010). “고속축중시스템 설치구간 PTCP 공법의 현장 적용성”, 한국콘크리트학회 2010년 봄 학술대회.
8. 채영석. (2007). “타이어 수막현상의 ABC”, 글로벌오토뉴스, 6월 26일.
9. 강철구 외 5인. (2012). 메카트로닉스와 계측시스템, 교보문고, 서울
10. 제무성. (2014). 계통신뢰도 공학, 시그마프레스.
11. 신동신 외3인. (2011). 공학도를 위한 수치해석, McGraw-Hill Education Korea.
12. 이강용. (2003). 응용해석 및 재료 거동학, 연세대학교출판부, 서울
13. 김진경. (2015). 확률론 강의, 자유아카데미.
14. 안승철 외 2인. (2011). 최신 수리통계학, 경문사.
15. 고형준 외 5인. (2015). 최신선형대수, 교보문고, 서울.
16. 윤복식 외 2인. (2016). 로스의 확률모형, 사이플러스.
17. 조규진. (2016). 오차의 조사방법, 박영사.
18. 김재관. (2012). 오차분석 입문, 서울대학교출판문화원, 서울
19. B. Jacob, E.J. O’Brien, S. Jehaes, (2002). “Final Report of Project COST 323 on Weigh-in-Motion of Road Vehicles”, COST 323, Paris.
20. Huhtala M. (1999). “Factors Affecting Calibration Effectiveness”, *Proc. of the final symposium of the project WAVE*, Paris.
21. Stańczyk D. (1999). “New Calibration Procedure by Axle Rank”, *Proc. of the final symposium of the project WAVE*, Paris.
22. Janusz Gajda, Ryszard Sroka, Tadeusz Zeglen, (2007). “ACCURACY ANALYSIS OF WIM SYSTEMS CALIBRATED USING PRE-WEIGHED VEHICLES METHOD”, METROLOGY

AND MEASUREMENT SYSTEMS VOL. XIV.

23. Gajda, J., Sroka, R., Żegleń, T. (2007). "Accuracy analysis of WIM systems calibrated using pre-weighed vehicles method", *Metrology and Measurement Systems*, 14(4), pp. 517-527.
24. Maybeck, Peter S. (1979). *Stochastic models, estimation, and control : VOLUME 1* , ACADEMIC PRESS, New York, San Francisco, London.
25. Kistler. (2010). "Planning Manual : Planning of a WIM (Weigh In Motion) Station Type 9195E", Lineas® Documentation.
26. C. Helg and L. Pfohl, "Signal processing requirements for WIM LINEAS Type 9195," Kistler Instrumente Corp., Amherst, NY.
26. ASSET-Road consortium. (2011). "Test site requirements and specifications", ASSET Road, EU.
27. Taek Kwon, Bibhu Arya. (2007). "Development of a PC-Based Eight-Channel WIM System ", Minnesota Department of Transportation, USA.
28. Krzysztof Dariusz Sekuta. (2013). "Real-Time Dynamic Load Identification", *Ph.D. Thesis,* Institute of Fundamental Technological Research Polish Academy of Sciences, Poland. 182 pages.
29. Patrick J. Szary, Ali Maher. (2009). "Implementation of Weigh-in-Motion (WIM) Systems", FINAL REPORT, NJ DOT/U.S. DOT, USA.
30. Barbour, I.A., and Newton, W.H. (1992). Improving the Accuracy of Weigh-In-Motion Systems. Proceedings of the Third International Symposium on Heavy Vehicle Weights and Dimensions, pp. 381-386.
31. (2007). *Weigh-in-Motion Handbook,* Center for Transportation Research and Education, Iowa State University, Ames, IA.

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 교통물류연구사업의 연구보고서입니다.

2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 교통물류연구사업의 연구 결과임을 밝혀야 합니다.

3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.

비매품

93530

9 791195 529148

ISBN 979-11-955291-4-8

주 의

1. 이 최종보고서는 국토교통부부에서 시행한 국토교통기술사업화 지원사업의 연구보고서입니다.

2. 이 최종보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 사업의 연구개발성과임을 밝혀야 합니다.

3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.