제 출 문

국토해양부장관(한국건설교통기술평가원장) 귀하

본 보고서를 "주행차량 과적검지시스템 기반기술 개발"의 최종(중간)보고서로 제출합니다.

2011 . 07

주관연구기관 : 이씨엠아시아아이티에스(주)

대표이사 최 영 규

협동연구기관 : 경북대학교 산학협력단

단장 김 인 산

협동연구기관 : (주) 우진티엔에스

대표이사 최 영 익

■ 총 괄 연 구 책 임 자 / 책임연구원 박 제 우

■ 주관연구기관 참여연구원 / 책임연구원 최 영 규 / 선임연구원 조 영 길

/ 선임연구원 이 재 명 / 선임연구원 이 홍 석

/ 선임연구원 안 형 민 / 연 구 원 김 해 진

■ 협동연구기관 참여연구원 / 책임연구원 최 시 영 / 책임연구원 안 광 선

/ 책임연구원 정 성 호 / 선임연구원 신 규 삼

/ 연 구 원 정 경 호 / 연 구 원 이 재 강

/ 연 구 원 김 성 수 / 연 구 원 김 용 환

/ 연 구 원 이 상 권 / 연 구 원 류 상 혁

요 약 문

I. 제 목

주행차량 과적검지시스템 기반기술 개발

II. 연구개발의 목적 및 필요성

운행제한(과적)차량의 통행은 국가의 주요시설인 도로 및 교량 구조물의 내구연한을 단축시켜 이에 따른 유지·보수비용을 증가시키고 차량의 조종 및 제동 능력이 떨어지므로 대형사고의 원인으로 지적되고 있으며, 매연·소음 및 진동 등이 많아져 주요 환경 오염원으로도 지적되고 있다. 이러한 국가차원의 직·간접적인 손실을 줄이고, 대형 교통사고로부터 국민의 생명과 재산을 보호하기 위해 정부는 지속적인 계몽과 함께 과적차량의 통행을 단속해 오고 있다.

현재 도로관리청에서는 과적차량을 단속하기 위해 저속축중기(Low Speed WIM, LS-WIM)와 고속축중기(High Speed WIM, HS-WIM)를 도입하여 사용하고 있는데, 저속축중기는 계측대상차량 운전자가 잘못된 계측결과를 의도하여 축조작 등 계측방해 행위를 일삼고 있어 단속의 실효성이 저하되어 있고, 고속축중기는 정확도가 낮아서 단속용 장비로 활용하기에는 부적절한 실정이다. 한편 센서를 비롯한 관련 장비 일체가 대부분 외국산이어서 장비 가격이 고가(高價)이고, 운영·관리기술도 해외의 제조·공급사에 의존할 수밖에 없어 전문기술을 가진 전문가가 드물어 그 활용에 제약을 가지고 있다.

따라서 기존 과적차량 단속체계의 중량계측의 문제점과 한계성을 극복하여 높은 정확도와 안정성을 확보할 수 있는 과적검지 기반기술의 개발이 필요하며, 궁극적으로는 무인운영이 가능한 첨단 과적차량 단속시스템을 개발 운영함으로써 과적차량으로 인한 도로 유지보수 비용 절감, 국산화를 통한 수입대체 효과 및 해외시장 개척, 화물차량 운전자에게는 신뢰성 있는 단속정보를 제공해야 한다.

III. 연구개발의 내용 및 범위

본 연구개발은 최종목표를 달성하기 위해 2년 8개월(2010. 12. 28 ~ 2013. 8. 27) 동안 진행하며 1차년도에는 과적검지 시스템 현황분석, 과적검지 기반기술 개발 및 시범사이트 구축 계획을 주요 연구내용으로 수행한다. 특히 1차년도에는 과적검지 시스템의 핵심요소인 신소재의 과적검지센서 시제품을 개발하는 것이 핵심 연구내용이며 연차별 연구내용은 [표 1]과 같다.

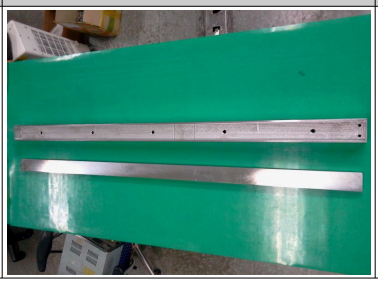
[표 1] 연차별 연구목표 및 내용

연 차	연구목표	주요 연구내용
1차년도	• 과적검지시스템 현황분석 및 연구 개발방향 정립	• 과적검지시스템에 대한 국내외 사례조사 및 기술동향 파악 • 과적단속 관련 법/제도 분석 • 기존 과적검지 시스템의 문제점 분석 및 개선방안 도출 • 개발로 인한 수입대체 등 경제적 파급효과 분석 • 연구 방향 설정 및 로드맵 수립
	• 과적검지 기반기술 개발 ⇨ 신소재 과적검지센서 시제품 제작	• 센서 셀 구조와 곡률에 관한 시뮬레이션 실시 • 최적 소재 선정 및 센서 사양 결정 • 센서 알고리즘 모델링, 설계 및 시작품 제작 • 센서부, 통신부, 제어부 구성·배치 등 제어기 최적설계
	• 시범사이트 구축 계획	• 국내외 WIM 시스템 시범사이트 현황조사 • 시범사이트 대상지 검토 • 시범사이트 구축 로드맵 • 성능검증 및 평가기술 방법 검토 분석
2차년도	• 과적검지 기반기술 개발 ⇨ 과적검지 제어기 제작	• 제어 알고리즘 모델링 • 입출력 신호처리 프로토콜 개발 • 과적검지 제어기 프로토타입 개발
	• 과적검지 정확도 향상을 위한 알고리즘 개발	• 차로변경 감지 알고리즘 개발 • 가감속 주행패턴 감지 알고리즘 개발 • 과적검지 알고리즘 및 S/W 개발
	• 시범사이트 설계 및 구축	• 과적검지 시스템 성능인증 시험방법론 개발 • 평가 및 검증 프로그램 개발 • COST 323 Action Class 만족 여부 판단 매뉴얼 제작 • 시범사이트 설계 • 과적검지 시스템 시범설치
3차년도	• 과적검지 시스템의 성능보완	• 센서 정확도 성능 보완 • 제어기 운영 기능 검증 및 보완 • 검지 알고리즘 검증 및 보완
	• 시범사이트 현장시험 및 최종평가	• 요소기술 단위시험 및 성능 검증 • 기존 검지 시스템과 성능 비교검증 • 시범사이트 최종평가 • 시범사이트 현장 평가의 종합 결과 및 결론 도출
	• 상용화 방안도출	• 개발 기반기술에 대한 국내외 시장분석 • 제품화/상용화 방안(기술 전수/벤처 창업/도로관리청 협업) • 사업화·상용화를 위한 중점 홍보

IV. 연구개발결과

○ 센서 프로토타입 시작품 제작

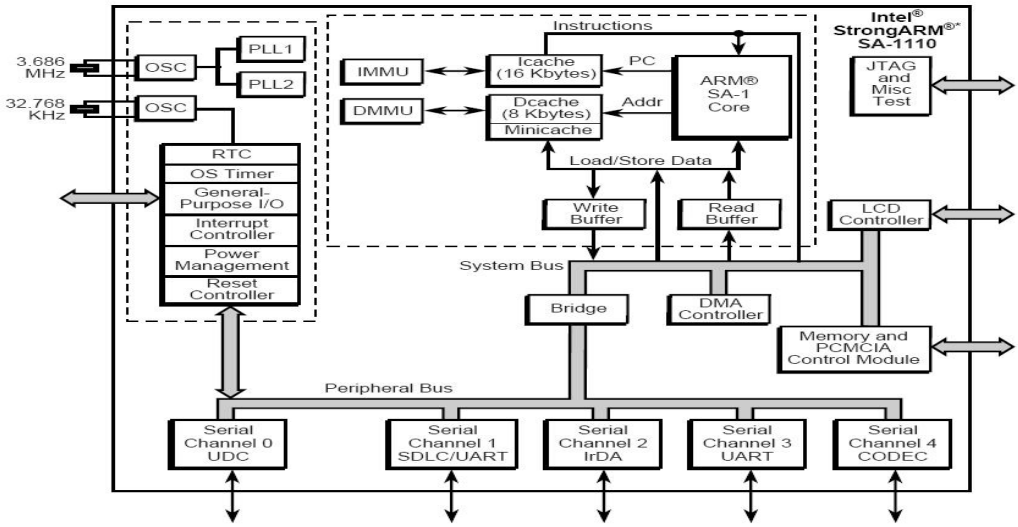
본 연구개발 1차년도의 주요 연구결과로 과적검지 시스템의 핵심요소인 중량센서를 개발하였는데, 반도체 공정기술을 이용하여 MEMS(Micro-Electro-Mechani cal Systems)형의 압력센서 시제품을 개발하였다.

Type A: 기본형	Type B: Multi-Channel 형	Type: 파이프 형
		

[그림 1] 개발된 MEMS형 실리콘 압력센서

○ WIM제어기 설계

과적검지 시스템의 또 다른 핵심요소인 제어기는 2차년도에 제작될 예정이며, 이를 위해 1차년도에는 제어부, 통신부 및 신호처리부 등에 대한 설계를 수행하였다.



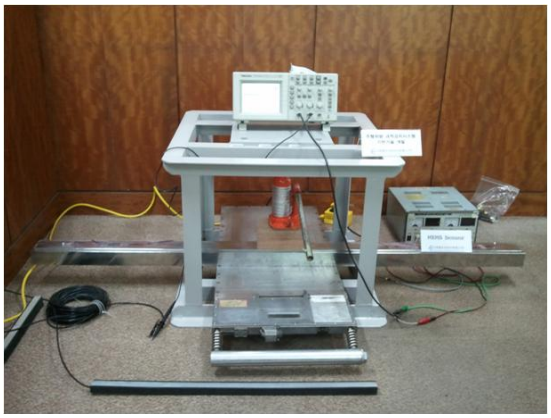
[그림 2] 개발 제어기의 보드 구성 블록도

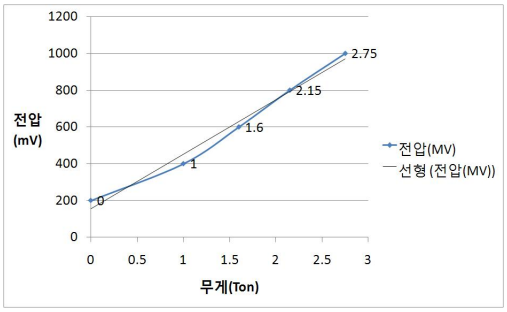
○ 센서의 랩 테스트

본 과제에서는 프로토타입으로 제작된 센서의 출력 전압 변화량 시험

- 랩 테스트 내용 및 결과

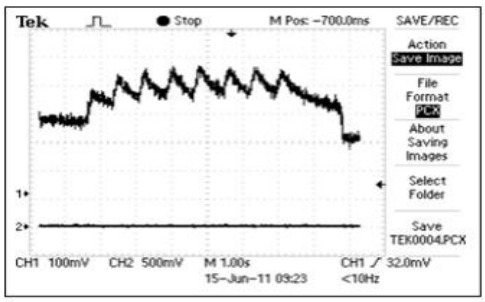
실내 환경에서의 압력 조절 장치 및 이동식축중기를 사용하여 압력인 가시 출력 변화량을 측정 할 수 있었으며 최고 5ton까지 실험이 가능하였음

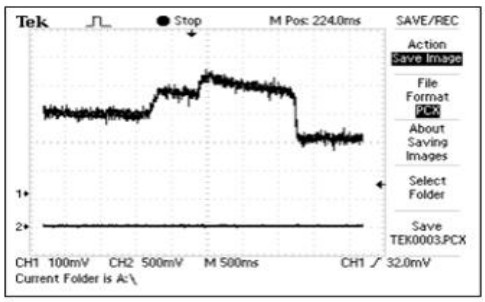


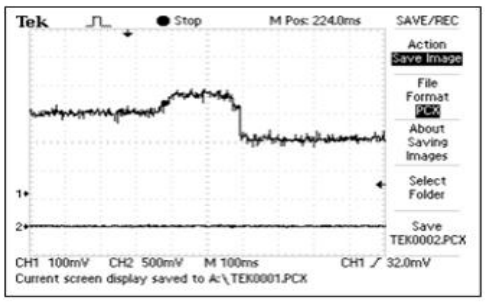


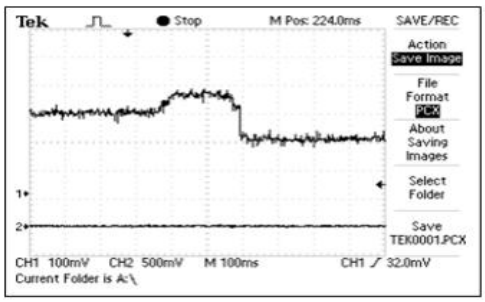
[그림 3] 제작센서의 랩 테스트 환경

[표 2] 압력에 의한 전압 변화량









○ 시범사이트 구축 로드맵 수립

한편 본 연구과제에서 개발되는 과적검지 시스템(센서 및 제어기)의 시범설치를 통해 성능을 검증하고, 개발시스템의 실용화/사용화 가능성을 극대화하기 위한 시범사이트를 구축·운영할 예정이며, 이를 위해 1차년도에는 구축계획을 수립하였다.

[표 3] 시범사이트 구축 로드맵

	1차년도	2차년도	3차년도
	분석단계	구축단계	운영단계
세부계획	• 시범사이트 목적 수립 • 국내외 WIM 시스템 현황 조사 • 시범사이트 대상지 검토 • 성능평가 방법 검토 분석		
기능 요구서	• 대상지 선정 • 일반요구사항 작성 • 기능요구사항 작성 • 성능요구사항 작성 • 운영요구사항 작성 • 서브시스템의 사양정의 • 구축비용 계획수립		
설 계	• 기본/실시설계 -각 서브시스템 설계 -센터시스템 설계(H/W, S/W) -현장 사이트 설계 • 포장설계		
시스템 구축		• 계발 고속 WIM 시스템 -개발센서 -개발제어기 -통신시스템 • 이기종 고속WIM 시스템 • 운영 소프트웨워 • 컨테이너 등 평가를 위한 기타 관련시설	• 평가검증용 카메라
성능평가	• 국내외 중량계측기 성능 인증 방안 검토 • 국외 고속 WIM시스템 성능검증 및 평가 방안 검토 -Cost 323 기준 검토 -ASTM 기준검토	• 성능인증 방안검토 -국내기준 검토 -국외기준 검토 • 성능검증 및 평가방안 마련 -평가기준 및 척도 마련 -단위시스템 평가방법 -통합시스템 평가방법 • 고속WIM시스템 성능평가 및 검증방안 마련	• 개발 고속WIM시스템 성능평가 • 이기종 고속WIM시스템 성능평가 • 비교평가 • 개발 알고리즘 평가 • 시스템 종합평가

V. 연구개발결과의 활용계획

본 연구에서 개발된 기술은 고성능과 높은 가격 경쟁력을 갖는 과적검지 센서기술을 국내 기술로 확보함으로써 과적검지 시스템의 신뢰성 및 활용성을 높일 수 있으므로, 현재 과적단속 업무를 수행하는 국토해양부(국도관리사무소), 한국도로공사 및 지방자치단체 과적단속 시스템에 적용할 수 있다. 또한 현재 고속 WIM 시스템과 유사하게 설치·운영되고 있는 교통량조사장비(Automatic Vehicle Classifica tion, AVC)에 직접적으로 적용할 수 있다.

한편 개발된 과적검지 센서 및 제어기술은 반도체식 공정을 이용한 MEMS 기술이기 때문에 정보통신, 컴퓨터, 제어기술, 교통, 항공, 의학 등에 적용이 가능한 기술로 다학제 연구 및 관련 산업에 활용할 수 있다.

SUMMARY

(영문요약문)

I. A Development of Technique for Dynamic Vehicle Overload Detecting System

II. The object of research and development and necessity

The transit of the limit on operation (overload) vehicle reduces the endurance period of the major public facility of nation, road and bridge structure. Back the overloaded vehicles service is maintained. Since the maintenance cost is increased and vehicle control and brake capacity is decreased, it is pointed out as the cause for the big accident. And the smoke, noise and vibration, and etc. is increased, it is pointed out with the environmental pollution sources.

The government reduces the loss, that is indirect of the dimension of state because of the overloaded vehicles service. The government checks the transit of the overloaded vehicles with the continued enlightenment in order to protect the life of the people and property from the large-scale traffic accident.

Presently, in the road administrator, the low speed axles measuring apparatus (Low Speed WIM, LS-WIM) and high-speed axles measuring apparatus (High Speed WIM, HS-WIM) is introduced and we use in order to control the overloaded vehicle. Because the measuring result in which the measuring object vehicle driver becomes wrong is intent and the low-speed axles measuring apparatus does the measurement act of hindering including axis manipulation, and etc. habitually, the effectiveness of the secure is degraded. For that the accuracy is low and it utilizes for regulation equipment, the high-speed axles measuring apparatus is the improper actual condition.

Meanwhile, the overseas manufactured equipments are expensive the related equipment integration, including the sensor is mostly the overseas. The expert who cannot help

depending on the supply corporation and has the professional skill is rare and it has the restriction on this application.

Presently, in the road administrator, the low speed axles measuring apparatus (Low Speed WIM, LS-WIM) and high-speed axles measuring apparatus (High Speed WIM, HS-WIM) is introduced and we use in order to control the overloaded vehicle. Because the measuring result in which the measuring object vehicle driver becomes wrong is intent and the low-speed axles measuring apparatus does the load measurement act of hindering including axis manipulation, and etc. habitually, the effectiveness of the secure is degraded. For that the accuracy is low and it utilizes for regulation equipment, the high-speed axles measuring apparatus is the improper actual condition.

Meanwhile, the equipments are expensive because the related equipment integration, including the sensor is mostly the overseas. The expert who it cannot help depending on the overseas equipment manufacture supply corporation for the operation and management technique and who has the professional skill is rare and it has the restriction on this application.

Therefore, the problem of the weight measurement of the existing overloaded vehicles regulatory system and limit are overcome and the development of the high accuracy and overload inspection foundation technique securing the stability is needed. And since the development runs the leading edge overloaded vehicles traffic enforcement system in which the unmanned operation is ultimately possible trustworthy regulation data have to be provided to the overloaded vehicles, back, overloaded vehicles, back, the maintenance cost reduction, import substitution effect through the localization and overseas market pathfinding, and loaded vehicle operator.

C O N T E N T S

(영 문 목 차)

Chapter 1. Introduction ····· 1

Section 1. The Goal of R&D ····· 1

Section 2. The Necessity of The Research and Summary ····· 3

Section 3. Importance of Research and Development ····· 7

Section 4. Research and Development Range ····· 11

Chapter 2. Status of the Domestic and Foreign Technology ····· 16

Section 1. The Interior of a Country Present Condition of Technology Analysis ····· 16

Section 2. The overseas present condition of technology ····· 27

Section 3. The problem of the existing WIM system and improvement plan derivation 63

Chapter 3. Contents and Conclusion of T&D ····· 69

Section 1. WIM Sensor Development ····· 69

Section 2. The Overload Inspection Controller Design ····· 103

Section 3. The Showing an Example Site Construction Plan Establishment ····· 123

Chapter 4. Attainment of the R&D and Contribution ····· 138

Section 1. The Objective of Research Performance ····· 138

Section 2. The Contribution to Development of Technology of The Interest world ····· 140

Chapter 5. Application Plan of R&D Project Results ····· 141

Section 1. The Necessity of The Further Study ····· 141

Section 2. Application Plan ····· 142

Chapter 6. The Overseas Science Collection Information ····· **145**
Section 1. Overview ····· 145
Section 2. ASSET Objectives and Approach ····· 147
Section 3. ASSET System concept and Workpackages (WP) ····· 149
Section 4. ASSET Innovations and Technologies ····· 150
Section 5. ASSET Details ····· 152
Section 6. ASSET Project partners ····· 153

Chapter 7. References ····· **154**

목 차

제1장 서론 ····· 1
제1절 연구개발의 목표 ····· 1
1. 연구개발의 최종목표 ····· 1
2. 당해년도(1차년도) 연구개발의 목표 ····· 3
제2절 연구의 필요성 및 개요 ····· 3
1. 연구의 필요성 ····· 3
2. 연구개발 개요 ····· 6
제3절 연구개발의 중요성 ····· 7
1. 기술적 측면 ····· 7
2. 경제・산업적 측면 ····· 8
3. 사회・문화적 측면 ····· 10
제4절 연구개발의 범위 ····· 11
1. 연구개발 내용 ····· 11
2. 연구개발 방법 ····· 14

제2장 국내외 기술개발 현황 ····· 16
제1절 국내 기술현황 분석 ····· 16
1. 국내 WIM(Weigh-In-Motion) 시스템 운영 현황 ····· 16
2. 국내 WIM(Weigh-In-Motion) 시스템 기술 현황 ····· 20
3. 성능검증 및 평가 현황 ····· 22
4. 과적차량 단속 관련 법・제도 현황 ····· 24
제2절 국외 기술 현황 ····· 27
1. 국외 WIM(Weigh-In-Motion) 시스템 운영 현황 ····· 27
2. 국외 WIM(Weigh-In-Motion) 관련기술 현황 ····· 34
3. 고속 WIM 시스템 성능검증 및 평가 기술 현황 ····· 43
4. 과적차량 단속 관련 제도 현황 ····· 54

제3절 기존 WIM 시스템의 문제점 및 개선방안 도출 ····· 63
1. 기존 WIM 시스템의 문제점 ····· 63
2. 개선방안 도출 ····· 65

제3장 연구개발수행 내용 및 결과 ····· 69
제1절 WIM 센서 개발 ····· 69
1. 최적 센서소재 선정 ····· 69
2. 개발센서의 특성, 기능 및 사양 ····· 76
3. MEMS형 압력센서의 설계 및 마스크 제작 ····· 82
4. 센서제작을 위한 3차원 시뮬레이션 ····· 83
5. MEMS형 실리콘 압력센서 개발 및 제작 ····· 89
6. MEMS형 실리콘 압력센서 설계도 및 결과 ····· 99
제2절 과적검지 제어기 설계 ····· 103
1. 과적검지 제어기의 용도 및 기능 ····· 103
2. 개발제어기 시스템 구성 및 개발환경 ····· 104
3. 센서 신호처리 ····· 106
4. 프로토콜 및 통신 인터페이스 ····· 111
5. 개발 제어기의 특징 및 사양 ····· 113
6. 개발 제어기 보드 구성내용(블록도) ····· 116
7. 사용자 인터페이스 ····· 117
제3절 시범사이트 구축 계획 수립 ····· 123
1. 시범사이트 구축의 목적 ····· 123
2. 국내외 고속 WIM 시스템 시범사이트 현황 ····· 123
3. 시범사이트 대상지 검토 ····· 128
4. 시범사이트 구축 로드맵 ····· 129
5. 성능검증 및 평가 방법 검토 ····· 133

제4장 연구개발 달성도 및 관련분야 기여도 ····· 138
제1절 연구목표 달성도 ····· 138
1. 연구개발 수행 진도율 ····· 138

2. 연구개발 목표의 달성도 ····· 139
제2절 관련분야에의 기술발전 기여도 ····· 140

제5장 연구개발결과의 활용계획 ····· 141
제1절 추가연구의 필요성 ····· 141
제2절 활용 방안 ····· 142
1. 연구결과의 활용방안 ····· 142
2. 연구결과의 기업 활용방안 ····· 143

제6장 해외과학 수집정보 ····· 145
1. Overview ····· 145
2. ASSET Objectives and Approach ····· 147
3. ASSET System concept and Workpackages (WP) ····· 149
4. ASSET Innovations and Technologies ····· 150
5. ASSET Details ····· 152
6. ASSET Project partners ····· 153

제7장 참고 문헌 ····· 154

<표 차례>

[표 1-1] 기반기술 주요 연구 범위 ····· 7
[표 1-2] 과적단속의 실효성 ····· 10
[표 1-3] 연차별 연구 목표 및 연구개발 내용 ····· 12
[표 1-4] 연구수행방향 ····· 14
[표 1-5] 연차별 추진전략 ····· 15

[표 2-1] 과적차량 단속제도 추진 경위 ····· 16
[표 2-2] WIM 시스템 관리상의 문제점 ····· 22
[표 2-3] 위반행위에 따른 과태료 처분 방법 ····· 24
[표 2-4] 과적차량 단속 관련법 ····· 24
[표 2-5] 세계적으로 활용되는 고속 WIM 센서 비교(압전센서) ····· 35
[표 2-6] 정확도에 따른 포장 사이트 등급 ····· 44
[표 2-7] COST 323에서 제시하고 있는 WIM 설치 포장 등급 ····· 45
[표 2-8] 온도에 따른 포장계수 ····· 45
[표 2-9] COST 323의 WIM 정확도 등급의 허용기준 (A~E) ····· 46
[표 2-10] WIM 시스템의 정확도 등급별 활용방안 ····· 46
[표 2-11] LTPP검사 프로그램 ····· 48
[표 2-12] WIM(Weigh-In-Motion)시스템 형태의 비교 ····· 49
[표 2-13] LTPP의 장비·시스템 교정검사 ····· 50
[표 2-14] NETP의 중량 측정기기의 분류 기준 ····· 51
[표 2-15] 미네소타 교통국의 검·교정체계 ····· 52
[표 2-16] OIML의 총중량 측정 허용오차 ····· 53
[표 2-17] OIML의 2축 측정용 차량에 대한 최대허용오차 ····· 54
[표 2-18] OIML의 2축 측정용 차량을 제외한 다른 차량에 대한 최대허용오차 ····· 54
[표 2-19] 일본의 과적차량 벌칙 규정 ····· 58
[표 2-20] 유럽의 운행제한차량 기준 ····· 59
[표 2-21] EU 국가의 과적차량 벌금기준 ····· 61
[표 2-22] 네덜란드의 과적차량 벌금기준 ····· 62
[표 2-23] 차량 주행속도 및 도로의 온도 변화에 따라 중량 측정의 오차9) ····· 65
[표 2-24] 반도체식 센서 기술을 이용한 센서 적용 사례 ····· 66

[표 3-1] 반도체식 MEMS형 압력센서의 종류 ····· 72

[표 3-2] 반도체식 MEMS형 압력센서의 특징 ····· 73
[표 3-3] 기존 상용화된 센서와 MEMS형 센서의 장단점 비교 ····· 74
[표 3-4] 기존 센서와 MEMS형 센서의 차이점 분석 ····· 75
[표 3-5] MEMS형 압력센서의 요구기능 ····· 81
[표 3-6] 개발센서의 규격 및 사양 ····· 82
[표 3-7] 3D 시뮬레이션의 CASE별 해석내용 ····· 84
[표 3-8] 3D 시뮬레이션 해석 결과표 ····· 87
[표 3-9] 압력에 의한 전압 변화량 ····· 98
[표 3-10] MEMS형 압력센서의 입출력 특성값(사양) ····· 99
[표 3-11] 센서제작도(A Type) ····· 100
[표 3-12] 센서제작도(B Type) ····· 101
[표 3-13] 센서제작도(C Type) ····· 102
[표 3-14] 과적검지 제어기 설계 및 개발 내용 ····· 105
[표 3-15] 센서부와 제어부 통신을 위한 메시지 포맷 ····· 111
[표 3-16] 제어기의 기본사양 ····· 116
[표 3-17] 원시자료 조회(축하중 총중량) ····· 117
[표 3-18] 원시자료 조회(속도, 차두간격, 축수, 차량길이, 축거 등) ····· 118
[표 3-19] 원시자료 조회(접지 위치) ····· 118
[표 3-20] WIM 센서 설치관리 조회 ····· 119
[표 3-21] 기기 상태 관리 ····· 119
[표 3-22] 개별자료 상세 조회 ····· 120
[표 3-23] 차륜 위치 분석 ····· 120
[표 3-24] 과적단속 총괄조회 ····· 121
[표 3-25] 과적단속 패턴 및 통계조회 ····· 121
[표 3-26] 과적단속 패턴 및 통계조회 ····· 122
[표 3-27] 과적차량 예경보 ····· 122
[표 3-28] 국도 무인과적 단속시스템(시범) 구축지점별 축중센서 및 포장공법 ····· 124
[표 3-29] 독일 아우토반 A8 시범사이트의 목적 ····· 126
[표 3-30] 시범사이트 구축 로드맵 ····· 132
[표 3-31] 각 기관의 WIM 시스템 적용기준 비교 ····· 134
[표 3-32] WIM 시스템의 활용 목적별 정확도 수준 비교 ····· 134
[표 3-33] COST 323의 정확도 테스트 조건 ····· 137

[표 4-1] 연구개발 수행 진도율 ····· 138
[표 4-2] 연구개발 목표 및 내용 ····· 139
[표 4-3] 센서개발 성과 달성도 ····· 139

[표 5-1] 센서의 1차년도 성과 및 2차년도 개발 목표 ····· 142

<그림 차례>

[그림 1.1] 연구개발의 최종목표 ····· 1
[그림 1.2] 연구의 필요성 및 비전 ····· 5
[그림 1.3] 연구개발의 개념도 ····· 6
[그림 1.4] 과적차량 운행에 따른 경제적 손실(2003년) ····· 9
[그림 1.5] 고속 WIM 시스템(Multi-WIM Sensor) 테스트 사례(유럽) ····· 14

[그림 2.1] 일반국도 고정식검문소 개념도 ····· 18
[그림 2.2] 축조작으로 발생하는 저속축중기와 이동식축중기 사이의 오차 ····· 19
[그림 2.3] 순천국도관리사무소 과적차량 무인단속시스템 개념도 ····· 20
[그림 2.4] 독일 아우토반의 과적차량 단속 시스템 구성도 ····· 28
[그림 2.5] 네덜란드의 이동식 단속차량 및 모니터링 시스템 ····· 29
[그림 2.6] 슬로베니아의 이동식 단속차량 및 이동식 단속장비 ····· 30
[그림 2.7] 차량의 중량기준 위반 및 제원기준 위반 단속 시스템(스위스) ····· 30
[그림 2.8] 오클라호마와 캔사스 주 과적검문소의 시스템 개략도 ····· 31
[그림 2.9] Greenwich 과적검문소의 시스템 ····· 32
[그림 2.10] 캘리포니아 주 과적검문소 Class A and B ····· 33
[그림 2.11] 고정식 단속검문소의 Virtual Weigh Station 시스템 적용방안 ····· 33
[그림 2.12] 일본의 주행차량 과적단속 시스템 ····· 34
[그림 2.13] 전기 양극화 현상에 의한 분자 구조의 변화 ····· 35
[그림 2.14] 압전재료의 하중측정 ····· 35
[그림 2.15] 광섬유 센서 ····· 37
[그림 2.16] 스트레인 게이지 센서의 벤딩 플레이트 및 로드셀 형태 ····· 38
[그림 2.17] 유럽 ASSET 프로젝트의 과적차량단속 자동화시스템 개념도 ····· 39
[그림 2.18] 독일 ROC사의 압력 센서 ····· 39
[그림 2.19] IM-WIM 센서의 구조도 ····· 40
[그림 2.20] IM-WIM 센서 임베디드 전자 다이어그램 ····· 40
[그림 2.21] IM-WIM 센서 모듈 ····· 40
[그림 2.22] IM-WIM 시스템 레이아웃 및 자료 출력 ····· 41
[그림 2.23] WIM 다중센서를 활용한 중량계측 정확도 향상 원리 개념 ····· 42
[그림 2.24] 유럽 TOP TRIAL WIM 다중센서 배치도 ····· 43
[그림 2.25] 미네소타 교통국의 차량검지 시스템S/W 운영사례 ····· 52
[그림 2.26] 미국 관할주별 중량 및 제원에 대한 제한기준 ····· 55

[그림 2.27] 일본의 과적차량 단속에 관한 법령 체계 ····· 57
[그림 2.28] 과적단속 회피를 위한 비정상적인 주행 조작 ····· 64
[그림 2.29] 차량의 비정상적인 주행패턴 ····· 68

[그림 3.1] 센서 종류 사례 ····· 69
[그림 3.2] MEMS형 압저항식 압력센서의 구조 ····· 72
[그림 3.3] 실리콘 압저항형 압력센서의 일반적인 특성 ····· 78
[그림 3.4] 온도 및 농도에 따른 p형 압저항계수의 변화 ····· 79
[그림 3.5] 온도 및 불순물 농도에 따른 확산저항의 변화 ····· 79
[그림 3.6] 반도체식 MEMS형 압력센서 구조 개념도 ····· 80
[그림 3.7] MEMS형 실리콘 압력센서의 레이아웃과 브리지회로 ····· 83
[그림 3.8] 타이어 위치 설정 모델 ····· 85
[그림 3.9] WIM 센서와 Wheel/Tire 위치 ····· 85
[그림 3.10] 타이어 공기압 변화 ····· 86
[그림 3.11] 자중에 의한 타이어 처짐 현상 ····· 86
[그림 3.12] 개발센서 제조공정 순서 ····· 90
[그림 3.13] 진공정전 접합 장치도 ····· 92
[그림 3.14] 개발제작된 MEMS형 실리콘 압력센서 ····· 93
[그림 3.15] 하중인가를 위한 가압측정 장치 ····· 93
[그림 3.16] 압력의 변화에 따른 압저항의 저항변화율 ····· 94
[그림 3.17] 압력에 대한 압력센서의 출력전압 특성 ····· 95
[그림 3.18] 압저항의 비선형성 테스트 ····· 96
[그림 3.19] MEMS형 압력센서의 비선형성 ····· 97
[그림 3.20] 제작센서의 랩 테스트 환경 ····· 98
[그림 3.21] 제어기 전체시스템 구성도 ····· 104
[그림 3.22] 제어기 운영 소프트웨어 구성도 ····· 105
[그림 3.23] 크로스 개발 환경 ····· 106
[그림 3.24] 정적/동적 하중값의 차이 ····· 107
[그림 3.25] 아날로그 신호의 디지털 신호 변환 ····· 108
[그림 3.26] A/D변환에 있어서 Sampling 주파수의 문제 ····· 109
[그림 3.27] Sampling주파수와 Data길이와의 관계 ····· 110
[그림 3.28] 센서부에서 제어기로의 데이터 전달 형태 ····· 111
[그림 3.29] 센서부와 제어부의 RS-485 통신방법 ····· 112

[그림 3.30] 제어보드 블록도 ····· 116
[그림 3.31] 중부내륙고속도로 고속 WIM 시험사이트 ····· 125
[그림 3.32] 독일 고속 WIM 시스템 시범사이트 위치 ····· 127
[그림 3.33] 독일 시범사이트에 설치된 새로운 WIM 센서 모듈 ····· 127
[그림 3.34] 일반국도 고속 WIM 시스템 운영 현황 ····· 129
[그림 3.35] 오스트리아 WIM 시범사이트 현장 설계 사례 ····· 130
[그림 3.36] COST 323 정확도 등급 만족 여부 프로그램 ····· 137

제1장 서론

제1절 연구개발의 목표

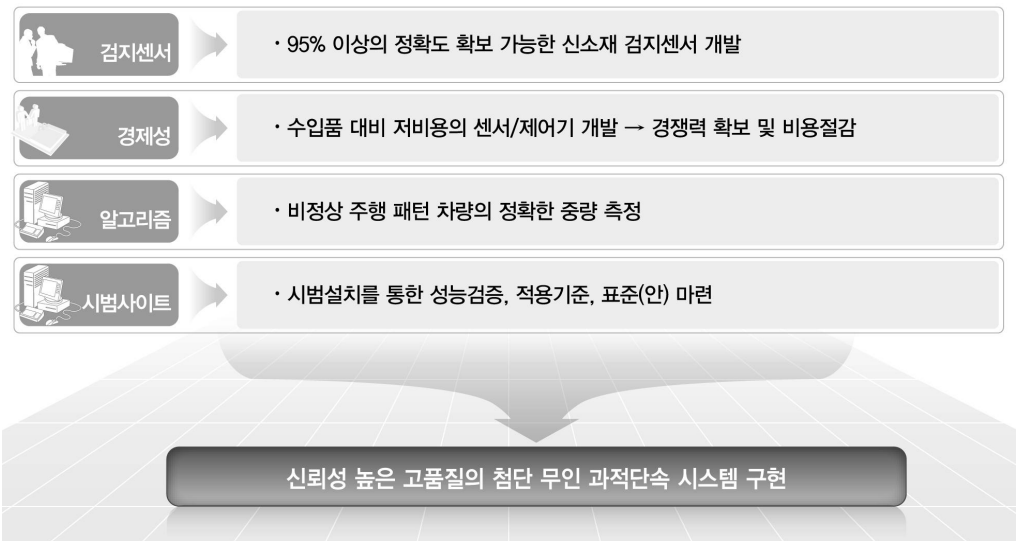
1. 연구개발의 최종목표

○ 고속 WIM 시스템의 핵심요소인 중량 측정센서와 제어기의 기능을 제고하여 궁극적으로 주행속도와 상관없이 95%의 측정 정확도가 가능한 최고수준의 과적차량 검지시스템을 개발함

○ 기술 국산화를 통해 중량센서 및 제어기술의 해외 의존도를 탈피함과 동시에 수입품에 비해 저렴하고, 고품질의 제품을 생산하는 것을 추구함

○ 현재 과적차량 단속의 어려움을 발생시키는 갓길 운행, 차로 변경 및 가감속 등 비정상으로 주행하는 화물차량의 중량 또한 감지할 수 있는 알고리즘을 개발함

○ 향후 국내에 적용 및 사용하고자 하는 과적차량 검지시스템의 성능인증 방법, 적용기준 및 표준(안)의 기틀 마련



[그림 1.1] 연구개발의 최종목표

가. 최종목표의 성격

○ 본 연구의 최종목표는 사회적으로 요구되는 투명성 제고, 단속의 방해행위 근절, 단속자 신분의 제약을 해소에 관한 요구에 부응할 수 있는 주행차량 과적검지시스템 기반기술을 개발하고자 하는데 있음

○ 기존 과적차량 단속시스템의 센서 신뢰성 및 제어 알고리즘의 단점을 극복한 진보된 중량 검지기술의 개발

○ 국내 기술력 확보를 통한 제품의 국산화 및 국외 기술 경쟁력 확보

○ 센서응용 분야의 확대

나. 최종목표의 설정 근거

○ 현재 국내에 설치·운영 중인 과적차량 단속체계의 핵심 시스템인 고속 WIM 시스템은 차량의 중량검지 신뢰성의 약점을 지니고 있어, 단속의 투명성 제고 및 과학적 근거 제시에 어려움을 겪고 있음

○ 관련기술의 국산화가 극히 미비하여 오랫동안 WIM 관련 요소기술에 연구투자와 개발이 이루어지고 있는 선진국과의 격차를 줄이고 원천기술을 확보함으로써 관련 요소기술의 독자개발 및 실용화를 목적으로 설정하고 있음

○ 최근에는 Multi-WIM Sensor 기법, 반도체 및 압력센서 등을 적용하여 중량 측정에 사용하고 있는 등 중량 검지기술의 다양화를 추구하고 있는 추세임

○ 본 연구개발은 3년의 연구기간을 가지며 연구대상 기술도 센서 및 제어, 알고리즘 및 설계요소 등 다양한 성격의 기술이 혼재되어 있음. 따라서 세부요소 기술들을 유기적으로 연계시키고 종합화하기 위한 노력이 연구단계마다 필요하며, 시범사이트의 운영 및 평가 과정을 거쳐 과적검지시스템의 성능검증 기준을 제시하여 향후 국가에서 운영하고자 하는 무인 과적단속 시스템에 대한 신뢰성과 기술력 확보 및 해외시장 개척의 경쟁력을 확보함

2. 당해년도(1차년도) 연구개발의 목표

○ 과적검지시스템의 현황 분석 및 연구개발 방향의 정립

○ 과적검지 기반기술 개발

- 신소재의 과적검지 센서 시작품 개발
- 과적검지 제어기 최적 설계

○ 시범사이트 구축계획 수립

제2절 연구의 필요성 및 개요

1. 연구의 필요성

○ 운행제한(과적)차량은 국가의 주요시설인 도로 및 교량 구조물의 내구연한을 단축시켜, 이에 따른 유지·보수 비용을 증가시키고[1], 교통의 안전측면에서는 차량의 조종 및 제동 능력이 떨어지므로 대형 사고의 원인[2]으로 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 지적[3]되고 있음

○ 운행제한(과적)차량으로 인하여 발생되는 이러한 국가차원의 직·간접적인 손실을 줄이고, 대형 교통사고로부터 국민의 생명과 재산을 보호하기 위해 정부는 운행제한 고정검문소와 순찰차량을 이용하여 운행제한 차량을 수시로 검문하는 이동검문소를 운영중임

---

1) 도로 유지보수비로 1억5,000만원/km(평상시 5,800만원/km)(http://news.naver.com/main/read.nhn?mode=LSD&mid=sec&sid1=102&oid=084&aid=0000010180)
2) 과적차량 교통사고 발생시 사망자가 일반승용차의 4배 이상 발생(http://news.naver.com/main/read.nhn?mode=LSD&mid=sec&sid1=102&oid=003&aid=0002444630)
3) 과적·과승에 의한 무리한 부하는 2배 이상의 매연 배출(http://junggu.newsk.com/bbs/bbs.asp?exe=view&group_name=124&section=6&category=0&idx_num=8624&page=1&search_category=&search_word=&order_c=bd_idx_num&order_da=desc)

○ 그러나 고정식 검문소의 경우, 그 위치가 노출되어 운행제한기준을 초과한 차량이 주변 접속도로로 우회를 하거나, 화물차량 운전자가 검문소 계측장소에서 고의로 가변축을 조작[4]하여 단속효과가 저조함. 한편 순찰차량을 이용한 이동단속의 경우, 과적혐의 차량을 선별하거나 지시에 불응하는 도주차량을 검문하기 어렵고 계측장비의 특성으로 인해 상당한 단속시간이 소요되며, 계측과정, 계측기록 유지·관리에 있어 단속원의 주관이 개입될 수 있는 소지가 있어 사회적 문제가 발생[5]하고 있는 등 현행 과적차량 단속시스템의 문제점에 대한 개선 요구가 증대됨

가. 법·제도 등 국가정책과의 연관성

○ 화물차량이 과적 운행 중 적발 단속되는 경우에는 1년 이하의 징역 또는 200만원 이하의 벌금을 부과하였으나, 운행제한기준(과적기준)을 위반한 자에 대한 처벌의 일부가 과태료로 전환됨에 따라(2010년 3월 22일 과적 수위에 따라 50만원 ~ 500만원의 과태료를 부과하도록 도로법 개정) 과적차량의 단속자(도로관리청)는 경찰청의 과속차량 무인단속시스템과 같이 과적차량의 무인단속시스템에 대한 관심이 높아지고 있음

○ 이와 관련하여 국토해양부에서는 2009년 12월에 과적차량 무인단속시스템 구축공사를 실시하였으며, 시범운영을 시행하고 있음

○ 기존 시장의 고속 Weigh-In-Motion(이하 WIM) 시스템은 정확도 측면에서 법적요건을 충족하지 못하고 있으며, 저속 WIM만이 정확도 요구 값에 부합하고 있으나, 이 역시도 특정도로에서는 기준에 미달되고 있음. 따라서 WIM 시스템의 정확도 및 내구성 수준 등 실제성능을 분명히 하기 위해서는 성능검증, 승인기준 등의 제도적 절차 마련을 위한 연구가 필요함

나. 과적단속시스템의 기술력 향상

○ 주행 중 차량의 중량을 측정하는 과적단속시스템의 핵심요소인 중량 측정센서는 Piezo-ceramic 센서, Quartz(Crystal) 센서, Load Cell 센서, Fiber-Optic 센서 등 다양한 종류가 사용되고 있으나, 외부 환경요건 및 차량속도에 따라 부정확한 측정 결

4) http://news.naver.com/main/read.nhn?mode=LSD&mid=sec&sid1=115&oid=214&aid=0000036603
5) http://news.nate.com/view/20100127n03714

과를 나타내는 특성을 지니고 있음. 따라서 정확한 중량 측정이 가능한 센서 개발의 필요성이 대두됨

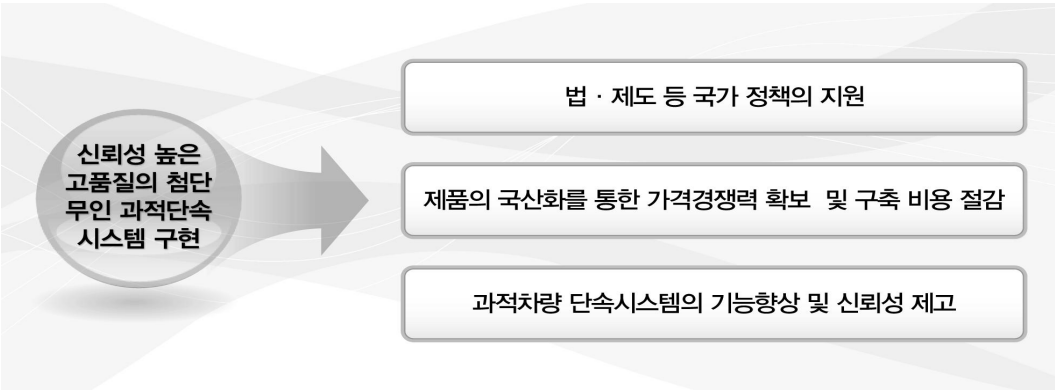
○ 센서 뿐 아니라 관련 장비 일체가 대부분 외국산이어서 운영·유지관리기술도 해외의 제조·공급사에 의존할 수밖에 없어 전문기술을 가진 전문가가 드물어 그 활용에 제약을 가지고 있음. 국외 기술력에 의존하거나 지배받는 등 수요에 대한 공급탄력성이 낮아 수요자의 불만이 높은 실정

다. 비용 및 사회기능의 향상을 위한 접근 필요

○ 과적차량 단속에 사용되는 중량 측정센서 및 제어기 등은 고가의 장비 임에도 불구하고 전량 외국에서 수입하여 설치 운영하고 있어 저렴한 가격의 장비 개발이 필요하며, 국산화를 통해 신속한 사후관리가 가능하여야 함

○ 무인과적단속시스템을 도입하여 유인 단속시 발생하는 화물차량의 저속 및 정지 횟수를 줄여 온실가스 저감을 유도하고 과적차량으로 인한 교통사고 발생률을 줄일 필요가 있음

○ 궁극적으로 무인 운영이 가능한 첨단 과적차량 단속시스템을 개발 운영함으로써 과적차량으로 인한 도로 유지보수 비용 절감, 국산화를 통한 수입대체 효과 및 해외시장 개척, 화물차량 운전자에게는 신뢰성 있는 단속정보를 제공함



[그림 1.2] 연구의 필요성 및 비전

2. 연구개발 개요

가. 연구개발 기술의 정의

○ 본 개발연구는 주행 중인 차량의 중량을 실시간으로 검지할 수 있는 센서와 제어시스템을 개발하여 무인과적단속시스템의 운영 효율성 및 신뢰성을 획기적으로 개선하기 위한 공공기술 개발과제로서,

○ 개발 요소기술의 융합 및 효과 검증을 거쳐 최종적으로 실용화 및 사업화를 위한 교통체계효율화 사업임

○ 시범설치(Test-Bed)를 통한 성능검증은 사업의 수행 실효성을 검증하기 위해 구현하는 실물 연구로서 새로 개발하는 고속 WIM 시스템의 정확성, 활용성 및 기술수준을 과학적인 방법으로 평가하고, 추진하는 연구내용을 체계적으로 정리하여 원활한 개발이 이루어지도록 수행하는 연구임

[그림 1.3] 연구개발의 개념도

나. 연구개발의 주요내용

○ 주행 중인 차량의 중량을 실시간으로 검지하여 과적을 분별하기 위한 본 연구과제의 핵심 기반기술의 내용은 다음과 같음

[표 1-1] 기반기술 주요 연구 범위

기반기술	주요 연구 범위
기존 과적검지 시스템 현황 분석 및 개발방향 분석	• 국내외 현황분석 • 관련 법/제도 분석 • 기존 과적검지 시스템 문제점 분석 및 개선방안 도출
과적검지 시스템 기반기술 개발	• 고속과적검지 정확도 향상기술 개발 - 센서부 시스템 구성·배치 등 최적설계방안 수립 - 고속 과적검지 센서 개발 (최적 소재선정 및 구현) • 과적검지 알고리즘 및 제어시스템 개발 • 과적검지 시스템 성능검증 시험방법론 개발
시범설치를 통한 성능 검증	• 과적 검지센서 및 시스템 단위시험 • 기존 상용 과적검지 센서와 성능 비교검증 • 개발된 과적단속시스템의 구축 및 최신 사양 무인과적단속시스템과 비교검증 • 과적검지시스템 성능검증 방안 마련

제3절 연구개발의 중요성

1. 기술적 측면

○ 정밀한 센서기술의 개발은 주행 중 과적차량을 검지하는 WIM 시스템의 핵심요소 기술로서 차량중량 측정의 정확도를 높일 뿐만 아니라 전체 과적단속시스템의 신뢰성을 크게 향상시킬 수 있다는 측면에서 기술개발의 중요성이 큼

○ 주행 중인 과적차량이 단속지점을 사전에 인지하여 차로변경, 갓길 주행 및 가감속 운행 등 비정상적인 운행을 하였을 경우에는 차량의 중량 측정이 불가능하거나 측정하더

라도 오차율이 매우 크므로 이를 개선할 수 있는 센서 배치 방법 및 제어 기술이 매우 중요함

○ 동적 주행특성을 적절하게 반영할 수 있는 소재의 발굴 및 센서개발을 통해 과적차량 단속에 관한 기술을 자립화하여 국내 WIM시장의 확대 및 관련 센서시장의 본격진입을 통해 국가 경쟁력 강화에 기여

○ 유럽의 경우 1993년부터 「COST323(Co-Operation Study in the field of Technical Research 323)」 Action 등 고속 WIM 시스템에 대한 많은 조사와 연구가 이루어져 왔으나, 우리나라는 상대적으로 미흡한 실정으로 고속 WIM 시스템에 대한 종합적이고 체계적인 연구가 절실히 요구되고 있음

○ 시범설치(Test-Bed)를 통한 성능검증은 공공적인 R&D 사업의 가장 중요한 성과물로써 국가정책의 일환으로 추진하는 과적차량 단속시스템의 수행을 준비하는 중요한 과정임

○ 개발하는 기술(센서 및 제어기)에 대한 실현의 장을 제대로 마련하지 못함으로써 기술이 사장되거나 실용화가 늦어지는 악순환이 반복되는 경향이 존재하였음. 따라서 순차적으로 개발된 기술을 실제 구현하고 과학적으로 시험·검증할 수 있는 시범사이트를 구축 운영하여 연구를 실행하는 것이 바람직함

○ 현재 해외 의존도가 매우 높은 중량 검지센서 기술에 대해 원천기술을 확보함으로써 외국기술에 대한 의존성을 탈피하고 지속적인 연구를 통해 기술을 축적하고 타 분야에도 활용함

2. 경제·산업적 측면

○ 현재 정부의 지속적인 단속 정책에도 불구하고 도로의 연장 및 운송비용의 절감 등의 이유로 과적차량의 운행은 단절되지 않아 파손된 도로의 복구 및 유지 보수비용은 매년 증가하고 있는 추세로 도로 관리의 예산 낭비가 발생함

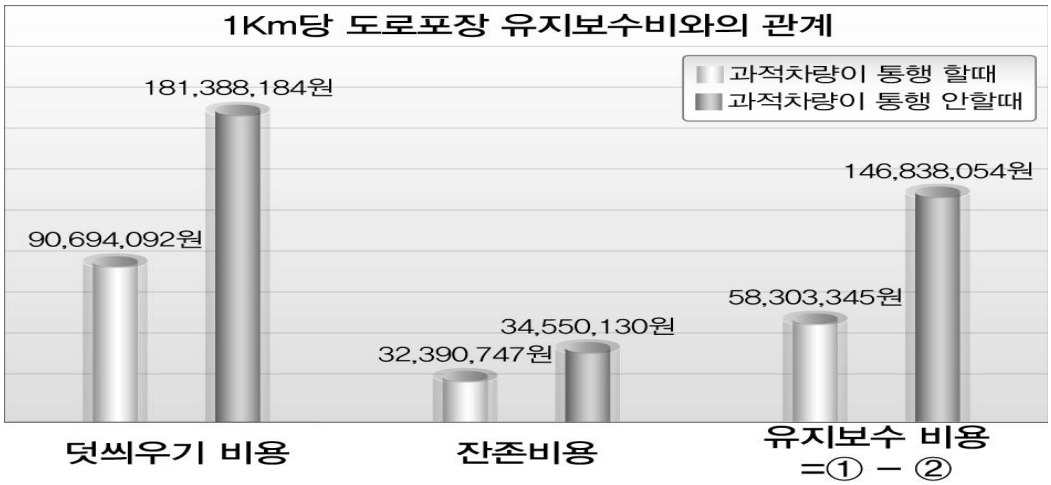
따라서 효과적이고 정확한 과적단속을 통한 도로 및 교량의 보수·보강 비용 감소가 필요

○ 무인 과적단속 시스템의 기술개발 및 현장적용을 통해 인건비의 감소를 기대할 수 있고, 전국에 산재되어 있는 과적검문소의 간소화 및 통합운영으로 정부 유지관리 예산의 상당 부문 절감 가능

○ 과적차량의 단속효율을 향상시켜 과적운행 시 엔진의 과다 출력으로 인한 배기가스의 다량 방출을 방지함으로써 온실가스의 배출량을 저감시킴

○ WIM은 센서의 소재, 패키징, 레진, 센서의 배치, 신호가공·처리, 제어기, 검·교정 기술, 관련 포장, 교통정보 등 다양한 요소기술의 복합체이므로 WIM산업의 발전은 여러 기반·응용산업의 발전을 동시에 이룰 수 있는 산업으로써 국가경제 발전에 기여

○ WIM을 기반으로 하는 과적차량 무인단속시스템을 중앙정부, 지방자치단체 뿐 아니라 민간 도로관리자들도 도입하게 될 것이며, 이 경우 생산·공급자 뿐 아니라, 전문 유지관리인력 등 다양한 전문 인력의 수요가 발생하여, 국가차원에서의 일자리 창출에 기여하게 되고 이는 다시 국가경제산업발전에 기여



[그림 1.4] 과적차량 운행에 따른 경제적 손실(2003년)

[표 1-2] 과적단속의 실효성

구 분	과적단속의 실효성(단위 : 억원/년)	
	50%	100%
수송비용증가	3,894	7,789
유지보수 비용감소	13,204	26,408
과적단속의 국민경제편익	9,310	18,619

[출처 : 교통개발연구원, 화물과적의 원인과 대책]

○ 과적단속에 사용되는 장비는 고가품으로 센서 또는 제어기 등을 외국에서 수입하여 사용하고 있으나 국산화로 대체 가능하여 수입 대체 효과를 얻을 수 있음

○ 한국형 고속 WIM 시스템의 개발을 통해 관련 산업기술을 향상시켜 과적차량 단속체계에 IT 기술수요 증대

○ 고속 WIM 시스템의 Specification 및 표준화 과정에서는 WIM 장비관련 생산자들에게 주요기술의 진보 혹은 새로운 수요를 뒷받침할 수 있는 내용을 제공함

3. 사회・문화적 측면

○ 정확한 과적단속을 통해 운송업체(운전자)들의 과적재량 만큼의 불공정 거래를 감소시키는 효과 발생

○ 기존 단속시스템의 경우, 측정 정확도의 불확실성 및 단속기준의 과학적인 근거 미비 등으로 인해 화물차량 운전자와 단속원 간에 많은 시시비비가 발생함. 이와 같은 부정적인 이미지를 해소하기 위해 체계적인 검증방법을 구현하여 운전자들에게 신뢰성 높은 단속정보를 제공하여 불신감을 제거하고 단속공무원의 투명성 제고

○ 현재 화물차량에 대해서는 고속도로 요금징수소나 일반국도의 고정식 검문소에 설치되어 있는 저속축중기(LS-WIM)를 통과할 때 중량계측을 실시하고 있으나 저속축중기의 시스템적 약점을 이용한 장치(축조작 장치 등)를 설치하여 단속자의 검문행위를

사실상 무력화 시키고 있음. 그러나 이러한 축조작 장치는 고속주행(30km/h이상)에서는 불가능하므로 고속주행의 조건에서 정확한 중량계측이 가능하다면 단속행위를 무력화하려는 시도는 사라지게 됨

○ 현재 국가에서는 과적차량 단속시스템의 무인화를 추진하고 있으나, 단속기준에 부합하는 고속 WIM 시스템의 정확성, 성능인증, 표준화 방안 등에 대한 법적장치 마련에 어려움을 겪고 있음. 따라서 본 연구를 통해 법률 제정 및 표준화 마련의 기본 틀을 제공하는 중요성을 지님

제4절 연구개발의 범위

1. 연구개발 내용

○ 본 연구는 주행 중인 차량을 정지시켜 중량을 계측하지 않고, 무정차 중량계측이 가능한 주행차량 과적검지시스템 기반기술을 개발하는 것이며, 이를 위해 센서개발, 센서의 정확도 확보를 위한 요소기술, 신호처리 기술, WIM(Weigh-In-Motion) 시스템의 평가검증 및 WIM의 도입·활용을 위한 제도적 방안을 통해 본 연구과제의 최종목표를 달성하고자 함

○ 1차년도의 핵심 연구내용은 주행차량 중량계측에 적합한 소재를 발굴하여 센서를 개발하고, 정확도 확보를 위한 요소기술 및 신호처리 기술을 개발하여 중량계측 자료의 정확도와 안정성을 향상시키는 것이 주요 연구내용이며, 3차년에 걸친 종합적인 연구내용과 범위는 [표 1-3]과 같음

○ 최종목표 달성을 위해 1차년도(당해연도)에서는 다음과 같은 연구를 수행함

- 과적검지 시스템 현황 분석 및 연구개발 방향 정립
- 과적검지 기반기술 개발
- 시범사이트(Test-Bed) 구축계획 수립

[표 1-3] 연차별 연구 목표 및 연구개발 내용

연 차	연구목표	주요 연구내용
1차년도	• 과적검지시스템 현황분석 및 연구 개발방향 정립	• 과적검지시스템에 대한 국내외 사례조사 및 기술동향 파악 • 과적단속 관련 법/제도 분석 • 기존 과적검지 시스템의 문제점 분석 및 개선방안 도출 • 개발로 인한 수입대체 등 경제적 파급효과 분석 • 연구 방향 설정 및 로드맵 수립
	• 과적검지 기반기술 개발 ⇨ 신소재 과적검지센서 프로토타입 개발	• 센서 셀 구조와 곡률에 관한 시뮬레이션 실시 • 최적소재 선정 및 센서 사양 결정 • 센서 알고리즘 모델링, 설계 및 시작품 제작 • 센서부, 통신부, 제어부 구성·배치 등 제어기 최적설계
	• 시범사이트 구축 세부기획	• 국내외 WIM 시스템 시범사이트 현황조사 • 시범사이트 대상지 검토 • 시범사이트 구축 로드맵 • 성능검증 및 평가기술 방법 검토 분석
2차년도	• 과적검지 기반기술 개발 ⇨ 과적검지 제어기 제작	• 제어기 보드 제작 • 입출력 신호처리 프로토콜 개발 • 운영 소프트웨어 개발 • 과적검지 제어기 프로토타입 개발
	• 과적검지 정확도 향상을 위한 알고리즘 개발	• 차로변경 감지 알고리즘 개발 • 가감속 주행패턴 감지 알고리즘 개발 • 축하중 보정 알고리즘 개발 • 차종분류체계 알고리즘 개발
	• 시범사이트 설계 및 구축	• 과적검지 시스템 성능검증 시험방법론 개발 • 평가 및 검증 소프트웨어 개발 • 시범사이트 설계 • 과적검지 시스템 시범설치
3차년도	• 과적검지 시스템의 성능보완	• 센서 정확도 성능 보완 • 제어기 운영 기능 검증 및 보완 • 검지 알고리즘 검증 및 보완
	• 시범사이트 현장시험 및 최종평가	• COST 323 Action Class 만족 여부 테스트 • 기존 검지 시스템과 성능 비교검증 • 시범사이트 최종평가 • 시범사이트 현장 평가의 종합 결과 및 결론 도출
	• 상용화 방안도출	• 개발 기반기술에 대한 국내외 시장분석 • 제품화/상용화 방안(기술 전수/벤처 창업/도로관리청 협업) • 사업화·상용화를 위한 중점 홍보

가. 과적검지 시스템 현황 분석 및 연구개발 방향 정립

○ 과적검지시스템에 대한 국내외 사례조사 및 기술동향을 파악하고 과적검지 시스템의 기반기술인 고속 WIM 시스템의 문제점을 분석하여 개선방안을 도출하고 전체 연구 방향을 정립함

- 과적검지시스템에 대한 국내외 사례조사 및 기술동향 파악
- 과적단속 관련 법/제도 분석
- 기존 과적검지 시스템의 문제점 분석 및 개선방안 도출
- 개발로 인한 수입대체 등 기술/사회/경제적 효과 분석
- 연구 방향 설정 및 로드맵 수립

나. 과적검지 기반기술 개발

○ 과적검지의 기반이 되는 센서개발을 위해 기존 센서에 대한 분석 결과를 토대로 신뢰성 높은 고품질의 소재를 선정하여 센서 Cell의 구조설계 및 알고리즘을 모델링하고 시제품을 제작함. 또한 제어기 구성장치에 대한 최적의 설계를 수행

- 과적검지 센서 최적소재 선정
- 과적검지 센서 사양 및 요구기능 설정
- 개발센서 설계 및 시제품 제작
- 개발센서(시제품)의 특성 테스트
- 센서부, 통신부, 제어부 구성・배치 등 제어기 최적설계

다. 시범사이트(Test-Bed) 구축계획 수립

○ 향후 개발되는 과적검지 시스템(센서 및 제어기)의 시범설치를 통해 성능을 검증하고, 개발시스템의 실용화/사용화 가능성을 극대화하기 위한 시범사이트를 구축・운영 할 세부절차 마련

- 국내외 WIM 시스템 시범사이트 현황조사
- 시범사이트 대상지 검토
- 시범사이트 구축 로드맵 수립
- 성능검증 및 평가기술 검토

[그림 1.5] 고속 WIM 시스템(Multi-WIM Sensor) 테스트 사례(유럽)

2. 연구개발 방법

가. 연구수행 방향

○ 주행차량 과적검지시스템 기반기술 개발연구는 다양한 IT기술이 융합되어 새로운 과적단속시스템의 모습을 구현하는 것으로 기술 분야와 더불어 법·제도 및 정책 등의 가치사슬에 의한 혼합형태의 성능검증 연구를 수행함

[표 1-4] 연구수행방향

구 분	타당성	계획	설계	시공(제작)	운영
정책/법/제도	○	○			
센서 개발		○	○	○	
제어기 개발		○	○	○	
시범설치 및 성능검증	○	○	○	○	○

○ 추진전략: 단계별/연역적 방법

- 연구개발은 연구기반구축단계, 기술개발 및 검증단계, 현장적용 및 실용화 단계 등 3단계로 나누어서 추진하고 각 단계별 세부추진전략은 다음과 같음
- 연구개발은 현황 분석과 검토를 토대로 방향을 정립하고 과제를 수행하며, 모든 단계별 과정에서 관련전문가 및 관련기관의 의견 및 요구사항을 수렴하여 진행하는 연역적인 방법으로 추진

[표 1-5] 연차별 추진전략

단 계	기본추진전략	세부추진전략
1단계 (1차년도)	연구기반구축	• 국내외 기술현황 분석 • 기술 요구사항 분석 • 개발기술의 개념정립 및 구조(아키텍처) • 세부기술 도출 • 중량알고리즘 및 기초기술개발 • 신소재 과적검지센서 프로토타입 개발
2단계 (2차년도)	기술개발 및 검증	• 개발기술 시제품 제작 및 성능시험 • 단위기술 성과품의 시범사이트 적용 및 평가 • 기존 시스템과의 비교 평가
3단계 (3차년도)	현장적용 및 실용화	• 개발기술 및 성과품의 통합 성능평가 및 검증 • 최종 성과품의 실용성 및 효과 평가

제2장 국내외 기술개발 현황

제1절 국내 기술현황 분석

1. 국내 WIM(Weigh-In-Motion) 시스템 운영 현황

○ 1970년 7월 7일 경부고속도로가 개통되면서 불법과적차량 운행에 대한 규제의 필요성이 인식되었으며, 1973년 7월에 서울, 부산, 인천 톨게이트에 국내 최초로 계중기가 설치되어 차량의 중량 측정을 시작하였음. 한편 일반국도는 1980년 11월 포항국도관리사무소 관내에 축중기를 설치한 검문소를 운영하기 시작한 이후 현재까지 전국적인 규모에서 지속적인 단속을 수행해 오고 있으며 세부 추진 경위는 [표 2-1]과 같음

○ 과적차량 단속업무의 추진 경과에 있어 가장 큰 전환점이 된 것은 1994년 10월의 '성수대교 붕괴' 사건이며, 교량 붕괴의 간접적 원인으로 불법과적차량 통행이 지적[6]되면서부터임. 그 이후 「도로법」에 따른 차량의 운행제한 업무와 관련된 벌칙 규정이 대폭 강화되었고, 차량의 운행제한 업무의 강화를 목적으로 담당 공무원에 대한 사법경찰권 부여, 공익근무요원 활용 및 청원경찰제도의 도입 등 기존 단속 체계에 큰 변화가 발생함

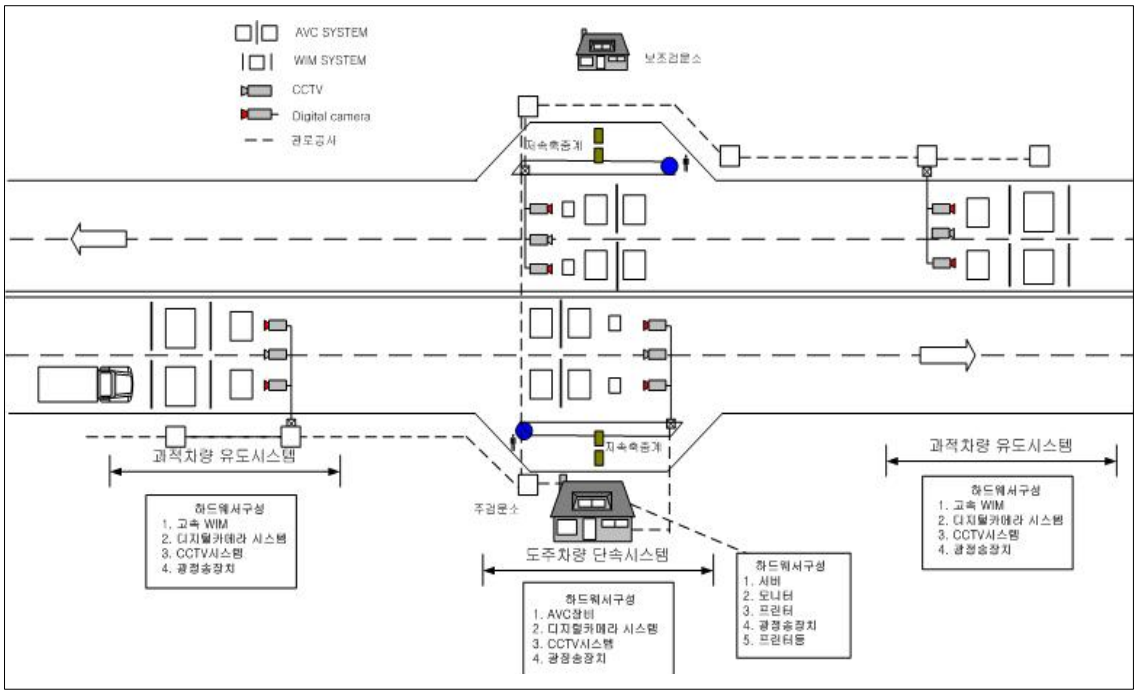
○ 국내에서의 최초 WIM 도입 필요성은 국토해양부의 도로교통량조사 및 관리제도 개선 연구에서 언급되었으며, WIM 장비의 기술사양과 지점 결정은 "과적차량 단속체계 개선방안 연구"에서 제시되어 현재 도로교통량조사사업의 일환으로 32개 지점에서 운영되고 있음

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

[표 2-1] 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[7] 부여	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

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



[그림 2.1] 일반국도 고정식검문소 개념도

○ 지금까지 국내에서 추진한 과적차량 단속체계에서의 고속축중기는 국토해양부 및 일부 지방자치단체(부산광역시 등)에 의해 설치·운영되고 있으며, 이를 통해 국가의 주요 기반시설인 도로의 구조를 보전하고 운행의 위험을 방지하고자 사전선별(pre-selection)용으로 활용하고 있으며, 국토해양부의 경우 일반국도에 고정식 검문소 76개소, 이동식 검문소 103개소가 운영되고 있음(2005년 기준현황)

○ 현재 국내에서는 고속 WIM 시스템을 활용하여 과적혐의 차량을 검문소 통과 전에 우선 선별하고 혐의정보를 검문소에 제공하면 단속자가 대상차량을 검문소로 유도하는 방식으로 활용되고 있으나([그림 2.1] 참조), 실제 정확도의 수준이 70~80%에 불과하여 무인단속을 시행하기에는 어려운 실정임

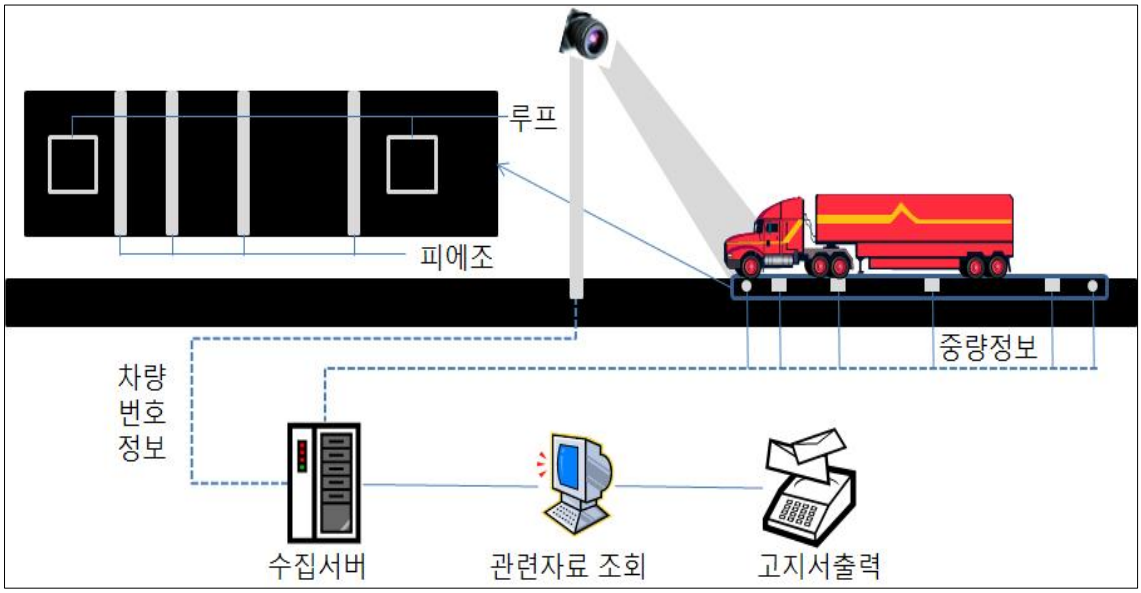
○ 고속 WIM 시스템의 정확도 확보가 어렵기 때문에 현재 과적차량 단속 체계에서의 중량계측은 이동식축중기와 저속축중기가 그 수단으로 활용되고 있으며, 고속 WIM 시스템은 과적 혐의차량 선별 및 중량정보 수집 등 제한적으로만 활용되고 있음

○ 그러나 저속축중기 및 이동식축중기의 경우 과적차량 운전자가 가변축 조작 등의 특

성을 악용하는 사례가 빈번하여 단속의 실질적인 효과를 거두기 어렵고, 단속자 역시 운전자와의 대면이 필연적이어서 금품 수수 등의 사회적 문제가 발생하고 있음

○ 이러한 사회적 기술적 한계를 극복하고자 국토해양부(순천국도관리사무소)는 2009년 한국건설기술연구원의 기술지원을 통해 과적차량 무인단속시스템 구축공사(시범사업)를 시행하고 있음

[그림 2.2] 축조작으로 발생하는 저속축중기와 이동식축중기 사이의 오차



[그림 2.3] 순천국도관리사무소 과적차량 무인단속시스템 개념도

2. 국내 WIM(Weigh-In-Motion) 시스템 기술 현황

가. 센서 및 제어기 기술 현황

○ WIM센서의 국내기술은 광섬유 센서나 스트레인게이지 분야에 개발이 집중되어 있었으며 고속응답에 효과적인 압전센서나 다른 소재를 활용한 센서의 국산화 개발은 상대적으로 부진한 상황

○ 현재 국내 도로에서 적용되는 WIM은 크게 현재 일반국도 과적검문소나 고속도로 요금징수소에 설치되어 있는 저속축중기(Low Speed-WIM)와 일반국도 과적검문소, 광안대교의 과적검문소 등에서 사전선별(Pre-Selection)용으로 활용되는 고속축중기(High Speed-WIM)로 분류됨

- 저속축중기에 주로 적용되는 검지(Sensing) 방식은 스트레인게이지 방식으로 현재는 외산(캐나다 IRD사의 SAW, 독일의 PAT Traffic사의 SLC 등)제품과 국산(카스사의 RW, 기타 중소기업 다수)제품이 고루 사용되고 있으며, 센서는 외국 제품을 사용하고 시스템부분은 일부 국산화하여 사용목적에 맞게 활용되기도 함

- 고속축중기에 적용되는 검지(Sensing) 방식은 압전(Piezo-Electronic)방식이 채택된 센서(프랑스 ECM사의 Piezo-Ceramic, 미국 MSI사의 PVDF)들이 주로 사용되고 있으며, 일부 시스템은 스위스 Kistler사의 Quartz 소재를 이용한 센서가 사용되고 있어 고속축중기 센서 관련기술의 확보가 시급한 상황임

○ 축중기에 적용되는 제어기 역시 외산(영국의 TDC사의 HI-Trac, 프랑스 ECM사의 Hestia, 캐나다의 IRD사 등)에 대부분 의존하고 있으며, 국내의 경우 WIM 제어기와 유사한 자동차종분류기(AVC)의 제어기를 제작하는 (주)에이프로, 코스텍 시스템, 뉴컨스텍, 한국도로전산 등이 있으나 아직 시장도입단계이며, WIM 제어기는 아직 시장에 출시한 회사가 없어 제어기와 관련된 기술의 확보 또한 시급한 상황임

나. 센서 배치 방법 및 알고리즘 현황

○ WIM 센서는 현장에 설치되면서 현장의 다양한 특성에 따라 그 오차가 발생하고 있음. 그러나 오차요인의 규명이 100% 검증되지 않은 상황이며 다양한 오차요인 중 주행차량의 진동특성을 반영하여 오차요인을 제거하고자 하는 사례가 있음

○ 이 같은 사례 연구를 위해 한국도로공사에서는 무인·무정차 과적단속시스템 구축 시범사업에 차로당 3열로 WIM 센서를 설치·운영하여 테스트하고 있으며, 국토해양부(순천국도관리사무소)에서는 시범적으로 운영하고 있는 과적차량 무인단속시스템에 차로당 4열로 센서를 설치하면서 특정차량군(과적위험군)의 평균 통행속도와 진동특성을 반영하여 연구함

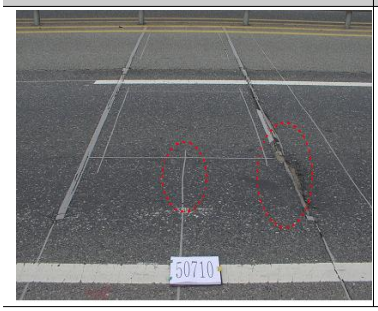
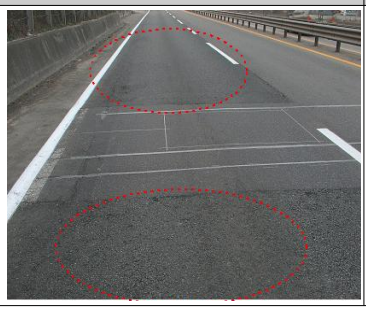
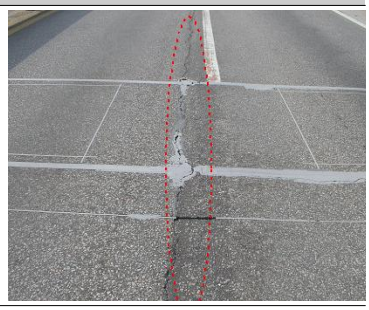
○ 센서에서 출력되는 신호는 차량주행으로 인해 발생하는 동적요인으로 본래의 하중 이외에도 여러 가지 신호가 복합적으로 내재되어 있어 신호를 중량으로 환산하기위한 과정에서 여러 가지 함수를 이용하여 신호를 분석하고 연산처리과정을 거쳐야 하지만 외산장비의 특성으로 구입 후 국내실정에 맞게 제어할 수가 없는 실정임

○ 중량보정 알고리즘은 과적검지시스템 설치 지점의 현장조건에 따라 행하여지고 주행하는 차량의 주행 특성 및 축배열 등 차종특성에 따라 구분하여 적용해야하지만 외산장비의 경우 차종 및 차량특성이 국내 생산되는 차종과 상이하고 차종구분의 기준도 국가마다 다르기 때문에 국외제조사의 국가실정에 맞게 설정된 알고리즘을 국내에 적용하여 사용하기에는 한계가 있음

다. 기타 현황

○ 본 연구개발 과제의 연구 범위에는 포함되어 있지 않으나, 도로에 설치하는 매설형 센서의 특성상 센서 설치과정에서 사용하는 도로봉합제인 레진 및 포장의 재질(콘크리트, 아스팔트)과 관리 상태에 따라 WIM 시스템의 신뢰성에 영향을 끼침

[표 2-2] WIM 시스템 관리상의 문제점

파 손	패 칭	균 열
		

3. 성능검증 및 평가 현황

○ 현재 국내에는 과적차량 단속체계와 관련된 장비에 대해서는 국토해양부 훈령 제 2010-638호에 의거하여, 차량의 운행제한 및 허가업무에 관한 책임자는 단속장비와 관련하여 다음과 같은 임무를 수행토록 하고 있음

- 「계량에 관한 법률」 및 「국가표준기본법」에 따른 단속장비의 검사 및 교정
- 단속장비(저속축중기, 이동식축중기, 고속축중기 등)의 오차보정 및 정기점검(월1회 이상)
- 고정식검문소의 저속축중기와 이동식축중기 간 비교점검(월 1회 이상 정기점검과 별도 시행)

○ 그러나 선진외국과 달리 WIM 시스템의 성능인증, 적용기준, 세부 평가기준 등에 대한 상세한 정의나 기준 제시가 부재하여 WIM 시스템의 신뢰성 및 내구성 수준 등 실제 성능을 판별하기 어려워 과적차량 단속체계 적용에 한계가 있음

○ 한편, 지능형교통체계 분야에서는 국가통합교통체계효율화법에 의거 지능형교통체계 기능이 일정수준으로 유지될 수 있도록 관련 시설장비의 성능을 평가하는데 필요한 사항을 규정하고 있음

○ ITS 업무요령 제2조제11항에 의거, ITS 요소장비 및 시스템에 대한 시험·검사를 위하여 국토해양부장관이 성능평가기관을 지정·고시하고,

- ITS 성능평가의 종류는 ITS 업무요령 제52조제2항의 규정에 따라 기술시험, 준공전 성능검증, 정기검사로 구분하며,
- 성능평가대상 ITS장비는 차량검지기(Vehicle Detection System), 자동차량인식장치(Automatic Vehicle Identification)이며 레이져 검지방식을 이용한 기준장비를 이용하여 평가대상 장비에 대해 평균절대오차 백분률(MAPE)를 이용하여 평가하고 있음

○ 이와 같은 노력은 최근 교통체계효율화법이 「국가통합교통체계효율화법」으로 전면 개정 되면서, ITS 성능평가, 품질인증사업의 법적인 구속력을 강화시키면서 교통정보에 대하여 일정수준의 품질을 확보하여 대국민 서비스 수준을 제고하기 위함임

4. 과적차량 단속 관련 법・제도 현황

○ 국내의 과적차량과 관련된 단속제도는 크게 도로법령에 의한 단속과 도로교통법령에 의한 단속으로 구분됨

○ 「도로법」제59조 및 동법 시행령 제55조에 따라 축하중 10톤을 초과하는 차량 또는 총중량 40톤을 초과하는 차량의 운전자 및 관련자는 동법 제97조, 제98조, 제101조 및 동법 시행령 제74조의 규정에 따라 500만원 이하의 과태료 처분 및 700만원 이하의 벌금형에 처하도록 하고 있음

[표 2-3] 위반행위에 따른 과태료 처분 방법

위반행위	근거 법조문	과태료 금액		
		1회	2회	3회
도로법 제59조제1항을 위반하여 차량의 총중량을 5톤 미만으로 초과하거나 축하중을 2톤 미만으로 초과하여 운행한 경우	도로법 제101조제1항 제1호	50	70	100
도로법 제59조제1항을 위반하여 차량의 총중량을 5톤 이상 15톤 미만으로 초과하거나 축하중을 2톤 이상 4톤 미만으로 초과하여 운행한 경우	도로법 제101조제1항 제1호	80	120	160
도로법 제59조제1항을 위반하여 차량의 총중량을 15톤 이상 초과하거나 축하중을 4톤 이상 초과하여 운행한 경우	도로법 제101조제1항 제1호	150	220	300
정당한 사유없이 도로법 제59조제4항에 따른 관리청의 요구에 따르지 아니한 경우	도로법 제101조제1항 제3호	500		

[표 2-4] 과적차량 단속 관련법

법 령	조 항	내 용
도로법	제59조	① 관리청은 도로의 구조를 보전하고 운행의 위험을 방지하기 위하여 필요하다고 인정하면 대통령령으로 정하는 바에 따라 차량(「자동차관리법」 제2조에 따른 자동차와 「건설기계관리법」 제2조에 따른 건설기계를 말한다. 이하 같다)의 운행을 제한할 수 있다. 다만, 차량의 구조나 적재화물의 특수성으로 인하여 관리청의 허가를 받아 운행하는 경우에는 그러하지 아니한다. ② 차량의 운전자(건설기계의 조종사를 포함한다. 이하 같다)는 제1항에 따른 운행제한을 위반하여서는 아니 된다. ③ 차량 임대차 계약의 임차인(건설공사인 경우에는 「건설산업기본법」에 따른 수급인·하수급인 또는 시공참여자를 말한다. 이하 같다)으로서 차량의 화물적재를 사실상 관리하는 자는 임차한 화물적재 차량이 제1항에 따른 운행제한을 위반하여 운행되지 아니하도록 관리하여야 한다

법 령		조 항	내 용
		제60조	① 차량의 운전자는 자동차의 장치를 조작하거나 그 밖에 대통령령으로 정하는 방법으로 차량의 적재량 측정을 방해하는 행위를 하여서는 아니 된다.
		제97조	다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 자는 2년 이하의 징역이나 700만원 이하의 벌금에 처한다. 9. 제60조제1항을 위반하여 적재량 측정을 방해한 자
		제98조	① 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 자는 1년 이하의 징역이나 200만원 이하의 벌금에 처한다. 4. 임차한 화물적재 차량이 제59조제1항에 따른 운행제한을 위반하여 운행된 경우에는 제59조제3항에 따른 관리를 하지 아니한 자
		101조	① 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 자에게는 500만원 이하의 과태료를 부과한다. 다만, 제98조제1항제4호에 따라 차량의 임차인을 처벌하는 경우 그 차량의 운전자와 소유자에 대하여는 대통령령으로 정하는 바에 따라 과태료를 면제하거나 감액할 수 있다. 1. 제59조제1항에 따른 운행제한을 위반한 자 2. 제59조제1항에 따른 운행제한을 위반하도록 지시하거나 요구한 자 3. 정당한 사유 없이 제59조제4항에 따른 관리청의 요구에 따르지 아니한 자
	시행령	제55조	② 관리청이 법 제59조에 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, 제13조제1항 내지 제3항 및 제5항, 제14조제2항 내지 제4항, 제15조제3항(제61조제2항에서 준용되는

법 령		조 항	내 용
			경우를 포함한다), 제15조의2제3항, 제17조제3항, 제18조, 제19조제1항·제3항 및 제4항, 제21조제1항·제3항 및 제4항, 제24조, 제25조 내지 제28조, 제32조, 제33조, 제37조, 제38조제1항, 제39조제1항 내지 제4항, 제48조, 제49조, 제50조제5항부터 제7항까지, 제51조, 제53조제1항 및 제2항, 제62조, 제73조제2항(제2호 및 제3호에 한한다) 또는 제92조제1항의 규정을 위반한 차마의 운전자
	시행령	제22조	법 제39조제1항에 따른 운행상의 안전기준은 다음 각 호의 구분과 같다. 3. 화물자동차의 적재중량은 구조 및 성능에 따르는 적재중량의 11할 이내

○ 한편, 국토해양부는 훈령 제2010-638호 「차량의 운행제한 규정」을 별도로 제정하여 운행제한기준위반(과적) 차량 단속에 관한 전반적인 업무절차 및 처리에 관한 상세한 내용을 규정하여 운영하고 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

제2절 국외 기술 현황

1. 국외 WIM(Weigh-In-Motion) 시스템 운영 현황

가. 유럽

○ 유럽국가에서는 고정식 검문소를 활용하는 국내와는 달리 대체적으로 이동식 단속을 수행

○ 대부분의 유럽국가들은 WIM(Weigh-In-Motion) 기술을 활용하여 다음과 같은 3단계 과정으로 화물차량의 크기와 중량을 단속

- 이동식 단속을 위한 단속시기의 실시간 사전 선택
- 단속활동 시간 및 장소의 일정계획 수립
- 불이행 화주/운송업체에게 경고문 등의 권고사항 발송 및 예방차원의 방문

(1) 독일(Germany)

○ 독일에서는 아우토반(Autobahn)을 운행하는 과적차량을 단속하기 위하여 40여 지점에 고속 WIM 시스템을 설치 운영하고 있으며, 화상인식 시스템을 도입하여 활용하고 있음

○ 고속 WIM 시스템이 과적 혐의차량을 1차 선별하고 이를 화상인식 시스템(Video System)이 촬영함. 촬영한 혐의차량의 영상을 고속 WIM 시스템으로부터 3km 후방 갓길(shoulder)에 배치된 경찰차량 내부의 출력 장치로 출력하도록 하여 단속경찰이 해당 차량을 확인한 후 수신호로 정밀 계측이 가능한 장소로 유도함
이 후 정밀 계측을 시행한 후 관제실에서 과적에 대한 판정을 실수하고 신호등을 이용하여 과적 여부를 표출함. 여기에 경찰을 배치하여 과적운행으로 적발된 화물차량의 운전자에게는 벌금(과태료)을 부과함

[그림 2.4] 독일 아우토반의 과적 단속차량

[출처: FHWA, "Commercial Motor Vehicle Size and Weight Enforcement in Europe", 2007]

(2) 네덜란드(Netherlands)

○ 네덜란드에서는 국립경찰(KLPD), 교통사찰단, 검찰, 교통부가 협력하여 화물차량의 크기/중량 단속업무를 수행함

○ 1990년대 후반부터 WIM과 비디오 시스템을 이용하여 화물차량단속에 활용하고 있으며, 차량이 과적으로 판명되면 해당 운송업체에 소환장을 발부함

○ 네덜란드에서는 다른 유럽국가와 유사하게 과적차량 선별 및 단속일정을 계획하기 위해 WIM 시스템을 사용하고 있는데, 가장 최근의 7주간의 WIM 자료를 이용해 요일, 시간, 장소를 결정함

○ 국립경찰과 교통사찰단 모두 과적단속의 권한을 갖고 있지만 WIM/VIDEO 시스템이 도입된 이후 교통사찰단은 도로에 나가 직접 단속하는 업무 대신 위반업체를 대상으로 권고사항 발송 혹은 예방 방문에 중점을 두고 있음

[그림 2.5] 네덜란드의 이동식 단속차량 및 모니터링 시스템

[출처: FHWA, "Commercial Motor Vehicle Size and Weight Enforcement in Europe", 2007]

(3) 슬로베니아(Slovenia)

○ 슬로베니아의 경우, 화물차량의 크기/중량 단속은 내무부 경찰청 산하 교통단속처에서 수행

○ 고정식 단속장비는 사용하지 않고 이동식 단속차량을 이용하여 화물차량의 크기/중량 뿐 만 아니라 가스배출량, 차량안전, 자격증명 등을 검사하며, 이동차량에는 본부와의 통신을 위한 장치까지 장착되어 있음

○ 특이사항은 타 국가와 달리 교량 WIM 시스템을 활용하고 있으며 다음과정을 통해 단속업무 수행

- 차량선별 : 교통흐름 중 과적차량을 사전에 선별하기 위해 교량 WIM 시스템, 비디오카메라 및 이동식 컴퓨터를 사용하며 차종, 총중량, 축하중, 속도 등의 차량정보와 비디오 이미지를 통해 과적의심차량을 도로 밖 이동식 단속 장소로 호송해 검사함
- 단속활동 수립 : 이동식 단속차량의 일정계획을 수립하기 위해 교량 WIM 시스템의 누적 자료를 활용하며, 단속팀은 한달 이전에 단속장소와 시간을 설정함(단속팀과 교량 WIM 시스템을 지원하는 민간으로 구성된 세 그룹이 매일 다른 장소에서 단속업무 수행)

[그림 2.6] 슬로베니아의 이동식 단속차량 및 이동식 단속장비

[출처: FHWA, "Commercial Motor Vehicle Size and Weight Enforcement in Europe", 2007]

(4) 스위스(Switzerland)

○ 스위스는 WIM 센서의 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

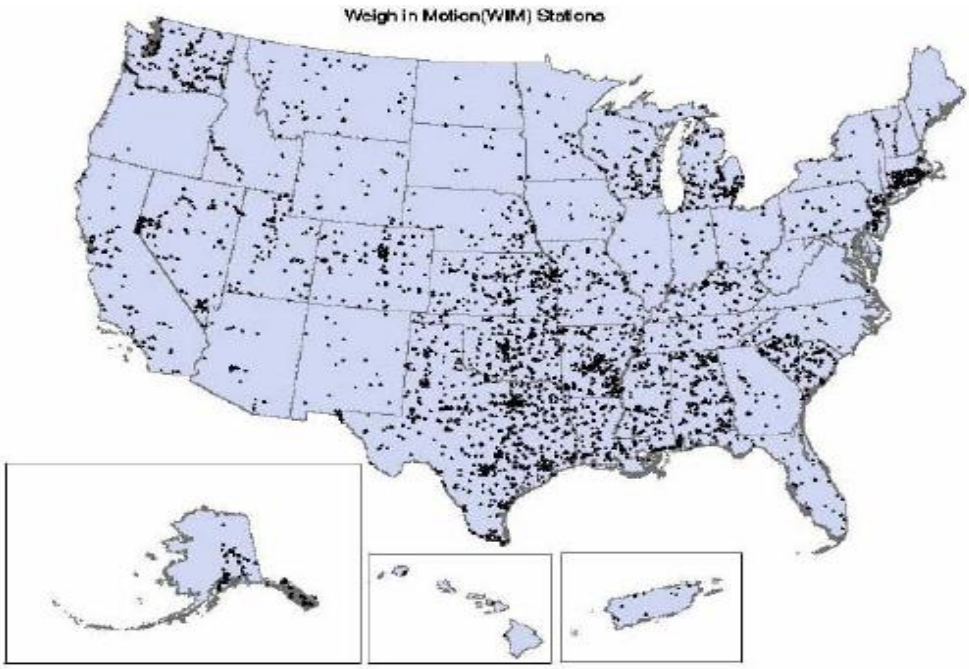
○ 과적이 의심되는 차량의 사전 선별의 정확도를 높이기 위해 피에조콰르츠(piezo-quartz)센서와 멀티센서 조합을 활용함. 통과차량의 무게, 높이, 비디오 데이터는 중앙센터로 전송되어 운행제한 여부를 판단하고 동시에 인근의 단속시설을 갖춘 경찰에게 통보됨. 약 100여개 지점에서 과적단속업무가 시행되고 있음

[그림 2.7] 차량의 중량기준 위반 및 제원기준 위반 단속시스템(스위스)

[출처: FHWA, "Commercial Motor Vehicle Size and Weight Enforcement in Europe", 2007]

나. 미국

○ 미국은 특성상 각 주마다 다양한 방법으로 과적차량 단속시스템을 운영 중임



[그림 2.8] 미국의 WIM 시스템 설치 현황

[출처: Richard Liu, et al., "Evaluating Innovative Sensors and Techniques for Measuring Traffic Loads]

○ 오클라호마 주와 캔사스 주에서는 전자 요금징수 및 교통관리(Electronic Toll and Traffic Management, ETTM) 사업을 통해 차량에 자동인식 시스템(Automatic Vehicle Identification, AVI) 트랜스폰더를 장착하였고, 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

○ 코네티컷 주에서는 총 6개의 과적단속검문소가 설치되어 있으며, 그 중 Greenwich (Northbound)와 Union(Westbound) 검문소의 경우 WIM(Weigh in-Motion)시스템이 적용되어 있음. Greenwich 과적검문소는 검문소 진입부에 설치된 저속축중기 (LS-WIM) 시스템을 이용하여 과적이 의심되는 차량을 1차적으로 선별하여 단속업무를 수행하고 있음. 또한 저속축중기가 설치된 구간과 검문소 진입부와의 거리가 짧기 때문에 운영기술자는 검문소 진입로의 대기행렬 길이를 모니터링 하여야 하며, 본선까지 그 대기행렬이 이어질 경우 검문소의 운영을 잠시 멈추도록 지시함으로써 본선의 흐름을 방해하지 않는 범위 내에서 단속업무를 수행하고 있음

[그림 2.9] Greenwich 과적검문소의 시스템

○ 캘리포니아 주에는 16개의 고정식 검문소와 37개의 이동식 검문소에서 단속이 수행되며 특이사항은 과적검문과 함께 트럭의 결함검사(Inspection)를 동시에 수행함

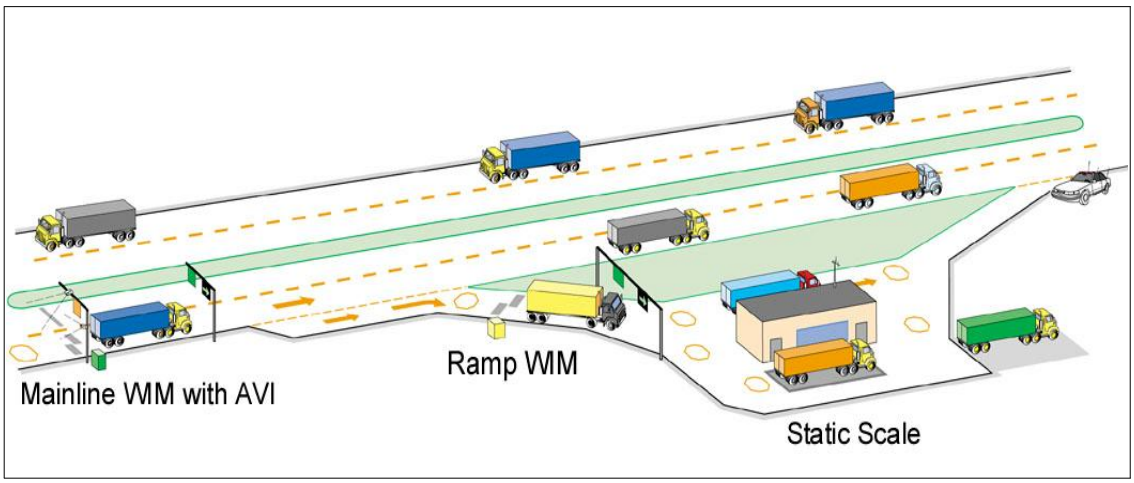
- 고정식 검문소는 24시간 운영되며 규모에 따라 6~20인이 2교대로 근무하고 경찰과 민간인(차량검사 기술자)이 함께 근무
- 검문소는 그 시설의 기능, 규모, 인원에 따라 A, B, C, D의 4가지 등급으로 구분하여 운영되고 있으며, 과적차량 단속을 위해 WIM 시스템을 설치·운영하고 있음
- 최근에는 과적단속의 효율을 높이고자 가상 계근소(Virtual Weigh Station)라고 명칭한 고속 WIM 시스템 기술을 활용한 새로운 과적단속 시스템의 개발 및 적용방안에 대해 연구를 수행하고 있음

Class "A" - Calexico

Class "B" - Cottonwood

[그림 2.10] 캘리포니아 주 과적검문소 Class A and B

[출처: Dept. of California Highway Patrol. "2001 Weigh Station Inventory of Needs]



[그림 2.11] 고정식 단속검문소의 Virtual Weigh Station 시스템 적용방안

[출처: FHWA, "Investigation of Cost Effective Truck Weigh Enforcement", Final Report, 2010]

다. 일본

○ 일본에서는 지난 10여년간 고속 WIM 시스템을 이용하여 과적단속을 시행하기 위한 연구 및 시범사업을 꾸준히 수행해 왔으며, 지난 2008년부터 본격적으로 고속 WIM 시스템을 이용한 과적단속을 시행하여 최근 2009년 3월부터는 전국 38개소 지점으로 확대하여 운영 중임

○ 과적검문소 전방 도로에 설치된 본선 시스템에는 중량을 측정하는 고속 WIM 시스템 뿐 만아니라 차량의 높이, 너비, 길이를 측정할 수 있는 화상시스템이 연계 운영되고 있음

[그림 2.12] 일본의 주행차량 과적단속 시스템

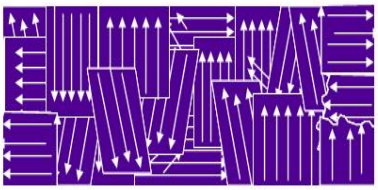
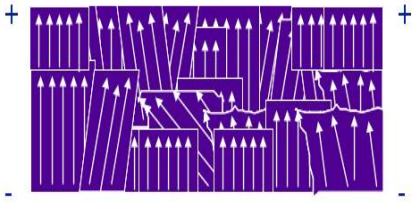
2. 국외 WIM(Weigh-In-Motion) 관련기술 현황

가. 중량 측정 센서

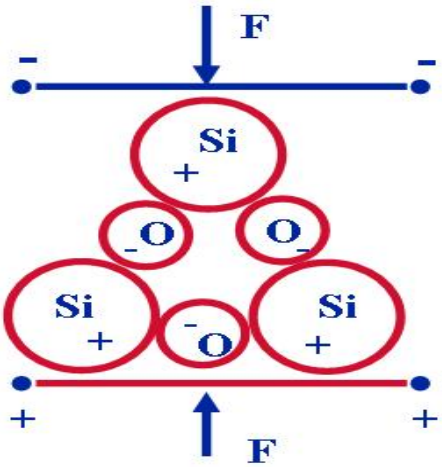
(1) 기존 상용기술

○ 앞서 언급한 바와 같이 주행차량의 중량검지에 적용되는 센서는 국내에서 생산되는 제품은 없으나 이미 세계적으로 개발된 센서들의 품질 수준에 대한 평가는 어느 정도 결정되어 사용되고 있는 실정임

○ 현재 고속 WIM에는 Kistler사의 Linear Quartz, ECM사의 Piezo-Ceramic, MSI사의 PVDF 등 압전소자를 기본으로 하는 센서들이 주로 사용되고 있는데, 압전(Piezo Electric)은 “Pressure Electricity” 즉, 압전기(壓電氣)를 의미하는 그리스어에서 유래함. 압전은 전기의 양극화 현상(Polarization)에 의해 설명할 수 있으며 세라믹이나 PVDF[8)]와 같은 압전 재료를 이용하여 발생시킬 수 있음. 아래의 [그림 2.13]은 전기의 양극화 현상에 의해 변화하는 압전 재료의 분자 구조를 나타내고 있음

양극화 현상 발생이전	양극화 현상 발생이후
BEFORE POLING 	AFTER POLING 

[그림 2.13] 전기 양극화 현상에 의한 분자 구조의 변화

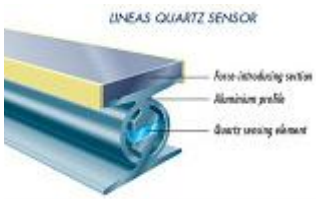
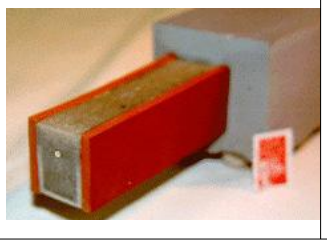


[그림 2.14] 압전재료의 하중측정

[표 2-5] 세계적으로 활용되는 고속 WIM 센서 비교(압전센서)

재질	석영(Quartz)	세라믹(Ceramic)	PVDF Polymer Film
제조국 (제조사)	스위스(KISTLER)	프랑스(ECM)	미국(MSI)
주요성능	측정범위 : 0~150 kN 균 일 성 : <±3% 직 선 성 : ≤±2% FSO Hysteresis : ≤2% FSO 온도계수 : 0.02%/℃ 절연저항 : >100GΩ 사용온도 : -40~+80℃	측정범위 : 0~250 Km/h 균 일 성 : <±60% 직 선 성 : ≤±4% FSO Hysteresis : - 온도계수 : 0.02%/℃ 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℃

8) PVDF(polyvinylidene fluoride)비닐리덴 플로리드 모노머(디클로로디플루오로에탄의 설염소(說鹽素) 또는 모노클로로디풀로오로에탄의 열분해로 합성)를 900기압이상의 고압하에서 80~100℃로 가열해서 얻어지는 불소수지.

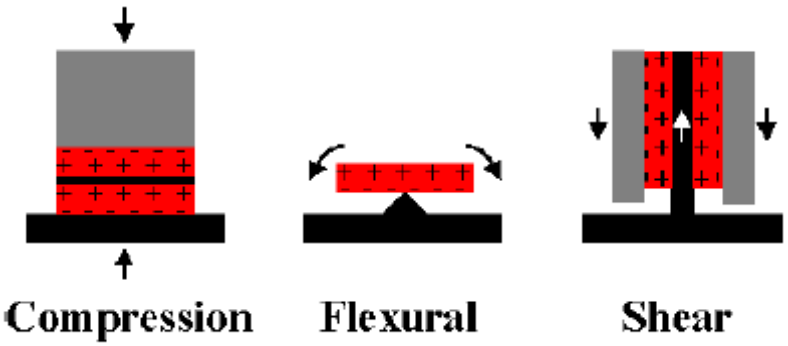
재질	석영(Quartz)	세라믹(Ceramic)	PVDF Polymer Film
운용안정성 및 센서특징	- Ghost Axle 현상 방지 - 정적인 신호특성을 가지고 있어 교정작업 용이 - 온도영향을 거의 받지 않아 장기간 운용에도 매우 안정적	- Ghost Axle 현상 발생 - 온도특성이 좋지 않으므로, 장기간 사용 시 안정성에 관한 고려가 이루어져야 함	- Ghost Axle 현상 방지 - 신호특성은 좋으나 온도특성이 좋지 않으므로, 장기간 사용 시 안정성에 관한 고려가 이루어져야 함 - AVC용으로 적합
측정정확도 (신뢰도)	±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			

○ 압전재료는 세라믹 파우더 등의 원료와 배합 후 양극화 작업을 하여 압전 재료의 성질 및 감도를 인위적으로 가공할 수 있는데, 일반적으로 자연석인 석영(Quartz)방식이 세라믹이나 필름방식 비해 상대적으로 온도 안정성이 높아 온도변화에 민감하지 않음

○ 스위스의 Kistler사는 중량계측 센서에 석영(Quartz)이라는 소재를 채택하였고 차량의 축으로부터의 압력만을 검지(Sensing)하기 위해 구조화시켰으며, 소재부분을 철재로 포장(casing)하여 센서를 개발하였는데 현재 세계적으로 압전(Piezo Electronic) 중량 센서 부문에서 가장 신뢰도 높은 센서로 인정받고 있음

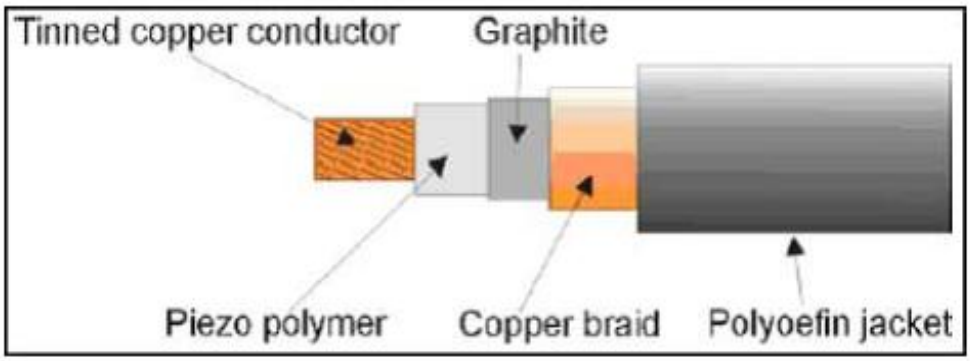
○ 미국의 MSI(Measurement Specialty Inc.)사는 중량계측 센서에 PVDF (polyvinylidene fluoride)필름 소재를 채택하였고, 이의 내구성 확보를 위해 구리로 포장(casing)하여 센서를 개발

○ 프랑스의 ECM(Electronic Control Measurement)사는 중량계측 센서에 세라믹 (Ceramic)계열 소재를 채택하였고, 이의 내구성 확보를 위해 아교성분의 소재로 포장 (Casing)하여 센서를 개발



[그림 2.15] 압전센서의 작동원리

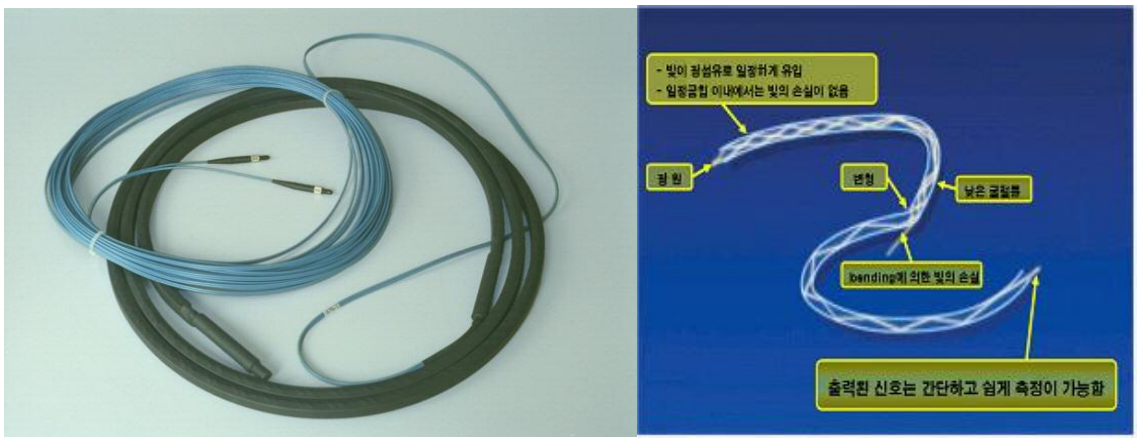
[출처: Richard Liu, et al., "Evaluating Innovative Sensors and Techniques for Measuring Traffic Loads]



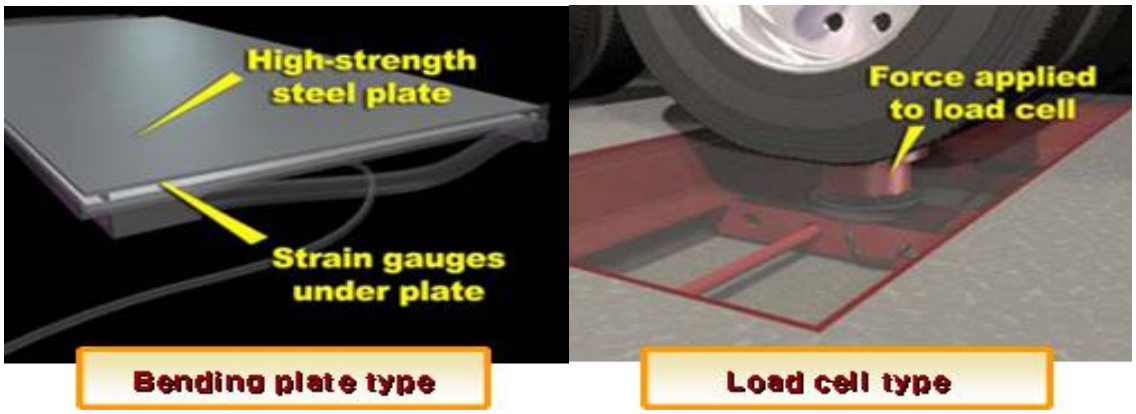
[그림 2.16] 케이블 형태 압전센서의 일반적인 구성

[출처: Richard Liu, et al., "Evaluating Innovative Sensors and Techniques for Measuring Traffic Loads]

○ 광섬유 센서(Fiber Optic Sensor)는 광섬유 브래그 격자(FBG)를 의미하며, 광섬유 코어 부분의 굴절률을 변화시켜 입력광의 특정 파장만을 반사시키는 특성을 가지고 있으며, 반사된 파장은 인장/압축 및 온도의 변화에 따라 선형적으로 변화되기 때문에 이 변화량을 이용하여 스트레인을 값을 구할 수 있음. 그러나 광섬유센서는 주로 굽힘에 의한 물리량을 측정하는 방식으로 움직이는 차량의 중량을 분석하기 위해서는 수직응력과 굽힘량의 함수를 최적화해야 하는데 이 과정이 매우 불안정하며, 레이저 소스의 안정성이 국산화기술로는 달성하기 어려운 실정이어서 실용화에 한계가 존재함



[그림 2.17] 광섬유 센서



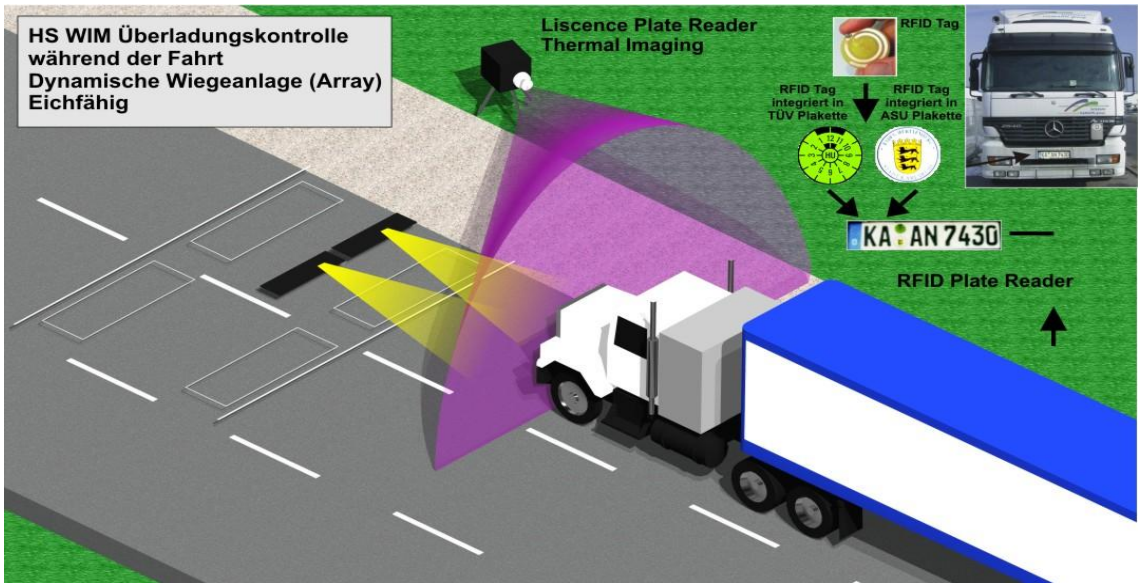
[그림 2.18] 스트레인 게이지 센서의 벤딩 플레이트 및 로드셀 형태

○ 스트레인 게이지 센서(Strain Gage Sensor)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 방향으로의 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 밀리볼트(mV) Signal 신호로 출력하고 이 신호를 증폭하여 하중 값을 나타냄
- 이러한 원리를 바탕으로 선형적 운동을 하는 금속탄성체와 결합하여 센서화 시킨 것이 스트레인 게이지 방식 로드셀(Load Cell)이며, 이 로드셀을 바탕으로 플레이트화하여 축중기로도 사용하고 있음

(2) 최근 기술개발 동향

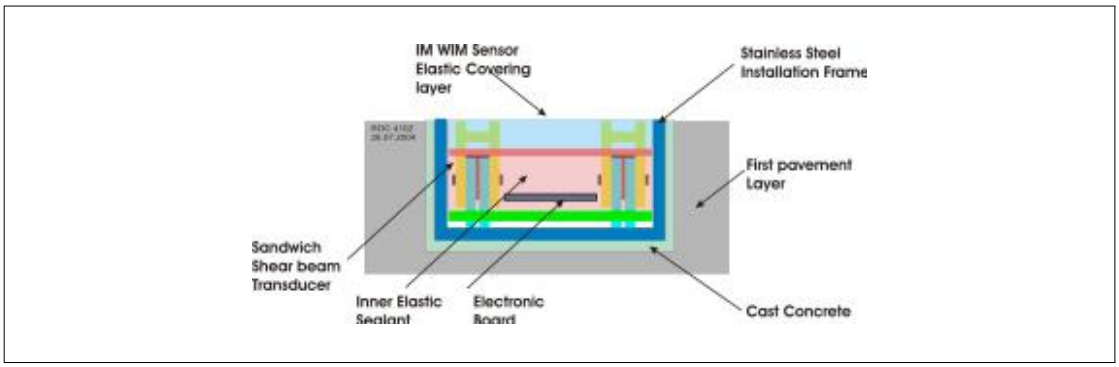
○ 최근 유럽에서는 2008년 7월1일 부터 2011년 12월31일 까지 812만 유로(추가예산: 615만 유로)를 투입하여 민・관학 19개 기관이 콘소시엄 형태로 추진하고 있는 연구 프로젝트인 Asset Road(Advanced Safety and driver Support for Essential road Transport) 프로젝트에서는 과적차량을 자동으로 감지하기 위해서 독일의 고속도 등에 카메라와 다양한 센서를 설치하여 시범 운영 중임



[그림 2.19] 유럽 ASSET 프로젝트의 과적차량단속 자동화시스템 개념도

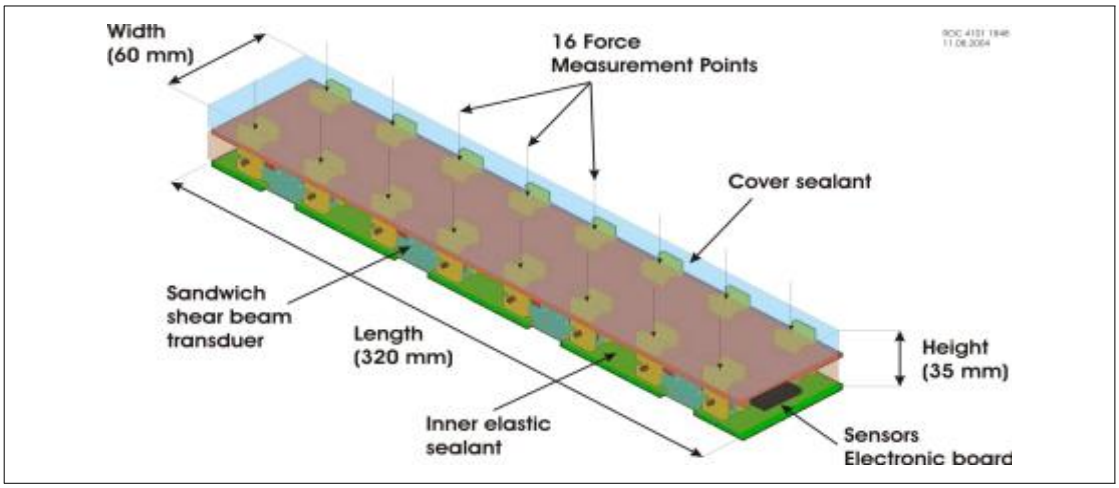
[출처: ROC System Engeering, "Advanced Safety and Driver Support for Essential Road Transport", ASSET-Road, 2009]

○ Asset 프로젝트의 일원으로 참여하고 있는 독일의 ROC(Rigobert Opitz Consulting & Engineering)사에서는 기존의 스트레인 게이지를 소량화, 개량화하여 278지점을 측정할 수 있도록 센서를 메트릭스화 함과 동시에 특수한 ASICs와 새로운 RISC 프로세서를 센서에 직접 임베디드한 형태의 중량 측정센서를 개발하여 IM-WIM (Integrated Matrix WIM)라 명명하고 시범 운영 중임



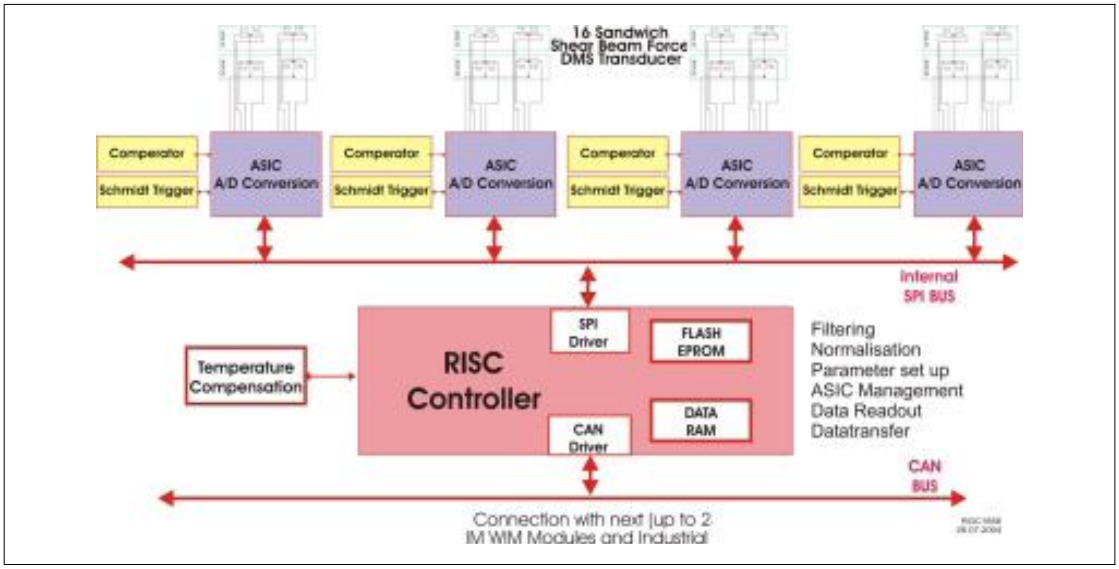
[그림 2.20] 독일 ROC사의 IM-WIM 센서 모듈

[출처: The ASSET-Road Consortium, "ASSET - DEL 6.1 Test site requirements and specifications"]



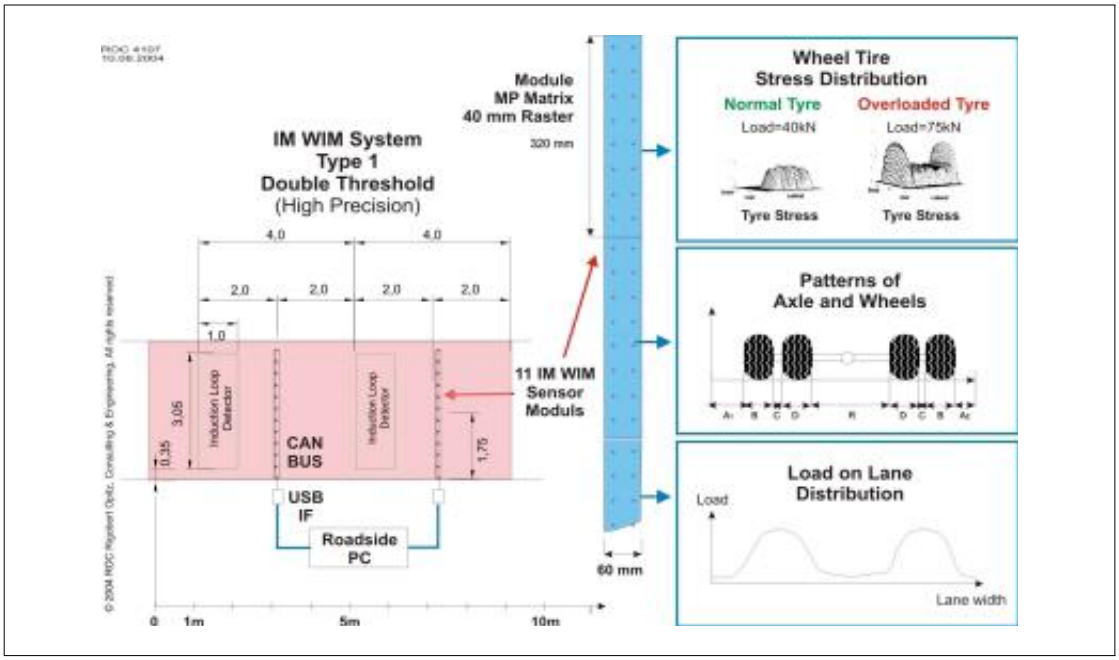
[그림 2.21] IM-WIM 센서의 구조도

[출처: The ASSET-Road Consortium, "ASSET - DEL 6.1 Test site requirements and specifications"]



[그림 2.22] IM-WIM 센서 임베디드 전자 다이어그램

[출처: The ASSET-Road Consortium, "ASSET - DEL 6.1 Test site requirements and specifications"]



[그림 2.23] IM-WIM 시스템 레이아웃 및 자료 출력

[출처: The ASSET-Road Consortium, "ASSET - DEL 6.1 Test site requirements and specifications"]

나. 제어기 및 센서 배치

(1) 제어기

○ 프랑스 ECM사는 HESTIA라는 제어기를 개발하여 고속 WIM에 적용하고 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 생산하고 있으며, 자동차종분류기 및 주행차량 축중기 두 가지 모드 동일하게 2Piezo, 1Loop 시스템으로 제어기를 구성하고 있음

○ 일본의 옴론사는 MS-WIM용 제어기를 개발 생산하고 있으며, 국내에서는 안산시에 시험 적용한 사례가 있음(센서는 Kistler사 제품 사용)

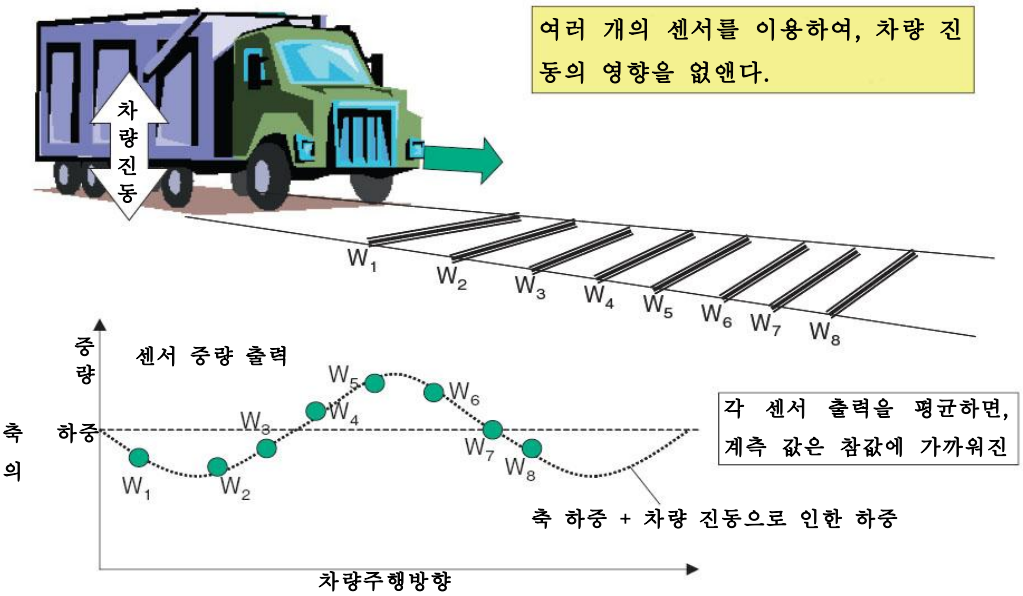
(2) 센서배치

○ 기존의 WIM 시스템에서는 중량계측 센서인 피에조 센서를 2개를 설치하여 계측하였으나, 그 정확도를 확보하는데 한계가 있다는 것을 인지하고 3개 이상의 피에조 센서를 설치(Multi Sensor WIM)하여 정확도를 확보하고자 함

○ WIM 다중센서는 [그림 2.24]과 같이 차량의 이동에 따른 축하중의 공간적 변화(차량의 진동이 원인)를 평균하여 측정값의 정확도를 향상시키는데 있음

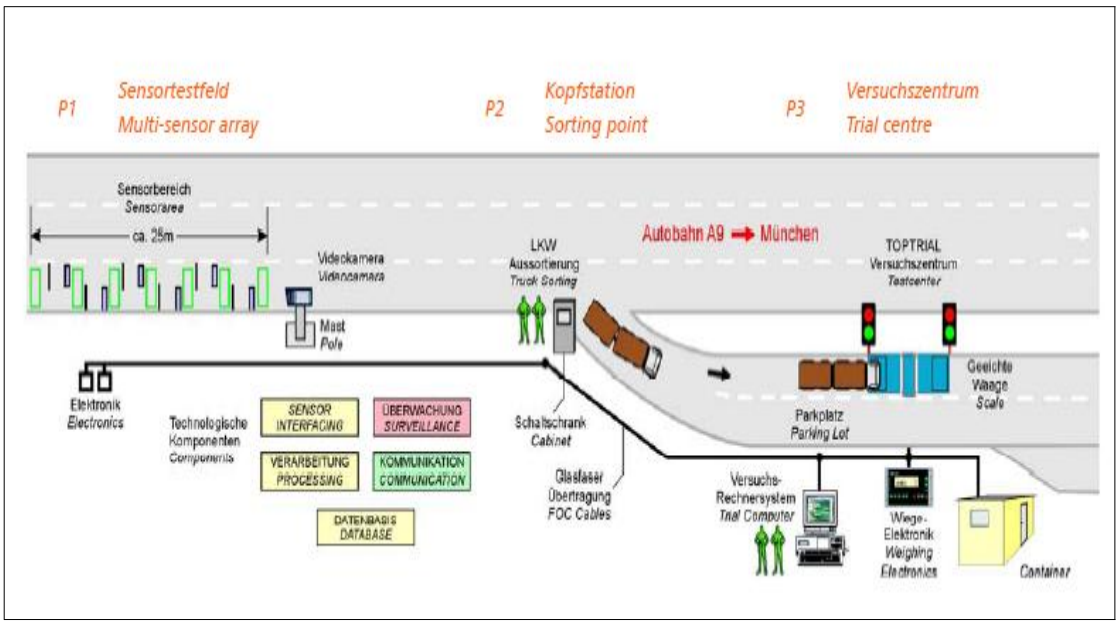
○ WIM 다중센서에 있어 쟁점은 '차로에 몇 열의 센서를 설치하느냐'로 귀결되며, 이의 해결을 위해 차량 진동과 평균 통행시간을 이용하여 센서의 배치간격과 설치 열수를 결정함

○ 일본의 옴론사는 한개 차로에 8개의 Quartz 피에조 센서를 등간격 및 부등간격으로 배치한 두 가지 경우의 실험을 비교 평가하여 부등간격 배치의 계측오차가 양호하다는 결과를 제시하였으며, 부등간격 배치 중에서도 4번째 센서 이후에는 계측오차의 감소폭이 현저하게 줄어든다는 결과를 제시함



[그림 2.24] WIM 다중센서를 활용한 중량계측 정확도 향상 원리 개념

[출처: Hideshi Nishida, et al, "Special Vehicle Automatic Measurement System and Its Application", International Conference on Heavy Vehicles, Paris 2008]



[그림 2.25] 유럽의 TOP TRIAL의 WIM 다중센서 운영개념

[출처: Eugene Obrien, et al, "A Statistical Spatial Repeatability Algorithm for Multiple Sensor Weigh In Motion", International Conference on Heavy Vehicles, Paris 2008]

3. 고속 WIM 시스템 성능검증 및 평가 기술 현황

가. 유럽의 COST 323

○ 유럽 28개의 국가에서는 공동으로 1970년대 초반부터 COST라는 프로젝트를 수행하였는데, 유럽의 COST(Co-operation in the field of Scientific and Technical Research)란 유럽의 국가들이 여러 분야의 과학과 기술에 대해 상호 협력하여 연구활동을 실시하는 장비를 의미함. 그 연구들 중에서 COST 323번의 주제는 'Weigh in Motion of Road Vehicle'로 설정되어 있음

○ 유럽의 다양한 환경에서 기존형 또는 시범형, 유럽형 WIM 시스템을 평가함. 유럽의 필요조건과 WIM 시스템의 공용특성을 비교하고, 통계적 연구 및 조사를 위한 데이터의 확보를 위해 다양한 WIM 시스템과 센서를 주기적으로 테스트하고 있음

○ WIM이 정확한 중량자료를 취득하기 위한 도로의 기하구조, 포장의 성질 및 포장의 평탄성에 관한 등급 또한 제시하고 있으며, 그에 따른 가능한 WIM 자료의 정확도를 제시하고 있음

○ 또한 WIM 센서의 주변 온도조건은 영하 20℃에서 영상 30℃ 이내로 제시하고 있으며, 그에 따른 포장계수를 [표 2-8]과 같이 제시하고 있음

[표 2-6] 정확도에 따른 포장 사이트 등급

Accuracy	site Ⅰ (Excellent)	site Ⅱ (Good)	site Ⅲ (Acceptable)
Class A (5)	적합	부적합	부적합
Class B+ (7)	적합	부적합	부적합
Class B (10)	적합	적합	부적합
Class C (15)	적합하지만 불필요	적합	적합
Class D+ (20)	적합하지만 불필요	적합하지만 불필요	적합
Class D (25)	적합하지만 불필요	적합하지만 불필요	적합

[표 2-7] COST 323에서 제시하고 있는 WIM 설치 포장 등급

포 장			WIM 설치대상구역 등급		
			I (Excellent)	II (Good)	III (Acceptable)
소성변형(3m-beam)		최대깊이.(mm)	≤4	≤7	≤10
변형(Deflection) 준-정적 (quasi-static) (13t-axle)	반강성	평균 변형정도(10^{-2}mm) 좌우 차이	≤15 ±3	≤20 ±5	≤30 ±10
	역청질	평균 변형정도(10^{-2}mm) 좌우 차이	≤20 ±4	≤35 ±8	≤50 ±12
	연성	평균 변형정도(10^{-2}mm) 좌우 차이	≤30 ±7	≤50 ±4	≤75 ±15
변형(Deflection) 준-동적 (5t-axle)	반강성	변형(10^{-2}mm) 좌우 차이	≤10 ±2	≤15 ±4	≤20 ±7
	역청질	평균 변형정도(10^{-2}mm) 좌우 차이	≤15 ±3	≤25 ±6	≤35 ±9
	연성	평균 변형정도(10^{-2}mm) 좌우 차이	≤20 ±5	≤35 ±7	≤55 ±10
평탄성	IRI index	m/km	0-1.3	1.3-2.6	2.6-4
	APL	rating(SW,MW,LW)	9-10	7-8	5-6
종단경사			<1%	<2%	<2%
횡단경사			<3%	<3%	<3%

[표 2-8] 온도에 따른 포장계수

Temperature	-15℃	0℃	15℃	30℃
Scale factor of the pavement modulus	10	8	5	1

○ COST 323에서 제시하고 있는 WIM의 품질수준은 다음 [표 2-9]와 같으며 각 등급에 따른 활용수준은 [표 2-10]과 같음

[표 2-9] COST 323의 WIM 정확도 등급의 허용기준 (A~E)

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
IF								
속도	V >30km	2	3	4	6	8	10	>10
축간거리		2	3	4	6	8	10	>10
교통류		1	1	1	3	4	5	>5

[표 2-10] WIM 시스템의 정확도 등급별 활용방안

1. Class A (5)
- 무게제한 및 그 밖의 관련단속과 연관된 제도적인 목적으로 활용 가능 - 정확도가 B(10), C(15), D+(20), D(25)일 경우 측정된 차량의 하중이 올바른 수치인지 비교할 수 있도록 기준 중량값으로 활용 가능
2. Class B+ (7)
- 요구되는 정확도 A를 만족시키지 못하지만, 법적권한이 별도로 주어진 경우에 대하여 단속의 목적으로 활용 가능 - 정확도가 C(15), D+(20), D(25)일 경우 측정된 차량의 하중이 올바른 수치인지 비교할 수 있도록 기준 중량값으로 활용 가능
3. Class B (10)
- 수집된 자료는 도로포장면 및 교량부 설계 및 유지관리, 평가에 활용 가능 (시설(도로포장면 및 교량부)의 노후화정도 및 적정 교체시기 산정 등) - 차량 또는 축에서의 초과중량 산정 - 하중을 기초로 한 정밀한 차종 분류
4. Class C (15) or D+ (20)
- 상세한 통계학적 연구에 활용 가능 - 하중을 기초로 한 정밀한 차종 분류 - 도로 및 교량부의 기반시설 연구 및 노후화 평가
5. Class D (25)
- 통계학적인 목적을 위하여 요구되는 무게 추정 - 경제 및 기술연구에 활용 가능 - 세밀하지 않은 무게 등급을 이용한 표준화된 차종 분류

나. 미국

(1) ASTM(American Society of Testing Material)

○ 미국은 중대형 차량의 장거리 통행이 많은 만큼 중량 자료 수집에 있어 170년의 역사를 가지고 있음. FHWA(Federal Highway Administration)을 비롯한 대부분 주의 교통국에서는 WIM 네트워크를 구축하여 하중관련 정보를 조사 및 가공하여 통계를 구축하고 있으며, 특히 등가단축하중(ESAL; Equivalent Single Axles Load)을 중심으로 정보를 제공하고 있으며, 미국의 재료시험협회(ASTM, American Society of Testing Material)에서 정확도, 평가방법, 설치방법 등을 제시하고 있음

○ ASTM 위원회에서 작성한 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 포함

○ Standard E1318-00은 TMG(Traffic Monitoring Guide)의 한 부분인 Truck Weight Monitoring에서 개별차량의 자료를 수집하는데 이용되는 WIM 장비 운영의 기본이 되며, 또한 LTPP(Long Term Pavement Performance) 프로그램 수행을 위한 WIM 장비의 운영기준으로 사용함

○ 이와 같은 ASTM Standard E1318-00과 LTPP 프로그램을 바탕으로 미국 연방도로청에서는 States' Successful Practices Weigh-in-Motion Handbook을 발행한 바 있으며, 이 핸드북은 각 주의 성공 사례를 이용하여 그 연구결과를 정리・작성함

○ 벤딩 플레이트(Bending Plate)는 캘리포니아 주, 압전센서(piezo-electronic sensor)는 미주리 주(州), 하중 셀(Load Cell)은 오리건 주(州)의 사례를 이용하였음. 이 핸드북은 WIM 장비의 요구 조건, 센서별 특성, 장비의 종류, 설치 지점의 조건, WIM 장비의 설치, 교정(Calibration), 품질관리, 현장관리 등 여러 분야를 다루고 있으며, 핸드북 전체를 통해 사용되고 있는 성공적인 WIM 장비의 활용을 위해 여러 가지 노하우를 추가하여 강조함

○ LTPP 프로그램의 검·교정 사례:

FHWA의 전략적 도로연구 프로그램(Strategic Highway Research Program)에 준하여 수행하는 LTPP(Long Term Pavement Performance)프로그램은 교통모니터링 성과에 대한 교통자료 수집장비의 정상작동 여부와 유효자료수집여부를 확인하기 위한 장비교정검사, 현장 품질관리, 센터내의 품질관리의 절차를 가짐

[표 2-11] LTPP검사 프로그램

사용방식	장비
검사일정	현장검사 년 2회
	모니터링 매월
검사항목	- 차의 앞축무게(the front axle weight) - GVW분포(the gross vehicle weight distribution) - 축간 간격(the spacings of tandem axles) - 분류차종별 교통량(traffic volume)
교정검사항목	차의 산출무게(weight) 및 차종분류(vehicle classification), 속도(speed), 축 간격(axle spacing)에 대한 장비의 성능검사

[표 2-12] WIM(Weigh-In-Motion)시스템 형태의 비교

	형태 I	형태 II	형태 III	형태 IV	
속도범위의 형태	10-70mph (16-113km/h)	10-70mph (16-113km/h)	15-50 mph (24-80km/h)	15-50 mph (24-80km/h)	
적용	교통자료수집	교통자료수집	weight station	weight station	
차선수	4차선 이상	4차선 이상	2차선 이상	2차선 이상	
기능	Tolerance for 95% Probability of Conformity(이행오차)				
				Value± lb(kg)	± lb (kg)
Wheel Load	± 25%		± 20%	5000(2300)	250(100)
Axle Load	± 20%	± 30%	± 15%	12,000(5400)	500(200)
Axle-Group Load	± 15%	± 20%	± 10%	25,000 (11,300)	1200(500)
Gross-Vehicle Weight	± 10%	± 15%	± 6%	60,000 (27,200)	2500(1100)
Vehicle Speed	± 1 mph (2km/h)				
Axle-Spacing	± 0.5 ft (150mm)				

[출처 : FHWA "States' Successful Practices Weigh-in-Motion Handbook", ASTM E 1318-94]

○ 장비 교정검사 단계:

LTPP 프로그램에서는 주로 검사 장비를 사용하며, 1년에 적어도 2회의 현장검사와 교정된 장비에서 자료를 확보하기 위해 매달마다 [표 2-13]의 항목이 모니터링 되도록 하고 있음

○ 장비시스템 교정의 이행 오차는 차종이나 장소(site)에 따라 95%신뢰도 한계에서 [표 2-12]와 같이 허용됨

○ 장비시스템의 오차(errors)는 축의 등위(axle rank)를 근거로 도로의 포장상태나 차의 동력, 그리고 센서의 작동에 의해 발생함. 축의 등위교정으로 오차를 감소 및 제거시키고 기준치(static weight)나 적재측정에 대한 장비시스템의 정확도를 개선할 수 있으며, 장비시스템 교정검증 후 최소한 100대의 표준시험차량을 수집 확인하면 장래 자료수집 성과 예측 가능

[표 2-13] LTPP의 장비·시스템 교정검사

분류	교정시	비 교정시
확인 대상	최소한 100대의 표준시험차량	
내용	평균 WIM 축중량 (mean WIM axle weight)= 평균기준스케일(mean static scale)	WIM축 중량 (WIM, axle weight)과 기준 스케일(static scale)의 축중량간의편차(bias) -> WIM축중량-기준스케일=오차(errors)
결과물	설치 장소(site)에 적합한 새로운 GVW 패턴형성	

(2) NTEP(National Type Evaluation Program)

○ 『The National Conference on Weights and Measures(NCWM)』은 1905년 설립된 미국의 비영리 조직으로 중량과 측정에 관한 미국의 표준을 개발 운영하고 있으며, NCWIM의 National Type Evaluation Program(NTEP) 위원회에 의해 중량과 측정에 관한 미국의 표준을 개발하고 권고하고 있음

○ NTEP에서는 [표 2-14]와 같이 중량 측정의 기준을 분류하여 권고하고 있음

[표 2-14] NETP의 중량 측정기기의 분류 기준

중량 측정기기의 분류 기준	
Class	중량측정 방법 또는 측정기기
I	Precision laboratory weighing
II	Laboratory weighing, precious metals and gem weighing, grain test scales
III	All commercial weighing not otherwise specified, grain test scales, retail precious metals and semi-precious gem weighing, animal scales, postal scales, vehicle on-board weighing systems with a capacity less than or equal to 30 000 lb, and scales used to determine laundry charges
III L	Vehicle scales, vehicle on-board weighing systems with a capacity greater than 30 000 lb, axle-load scales, livestock scales, railway track scales, crane scales, and hopper (other than grain hopper) scales
IV	Wheel-load weighers and portable axle-load weighers used for highway weight enforcement(도로상에서 중량 단속용으로 사용되는 고정식/이동식축중기)

[출처: NCWIM Handbook 44 -2007]

다. 일본

○ “특수차량자동계측장비” 사양서를 통해 장비의 기능 및 구성 내역에 대해 언급하고 있으나, 시스템 검증방법 및 평가, 표준화 방안 등에 대한 수준이나 기준은 제시되고 있지 않으며 국내의 기존 과적검문소와 유사한 형태의 검문소를 운영하면서 데이터를 수집 분석함

라. OIML(International Organization of Legal Metrology)

○ International Organization of Legal Metrology(OIML)은 국제법정계량기구로서 측정방법, 측정기기 등에 대한 법적인 요구사항을 규정 권고하는 세계적인 기구임

○ OIML에서는 차량의 총중량을 측정하는 WIM 시스템의 정확도를 6개(0.2, 0.5, 1, 2, 5, 10)의 Class로 분류하고, 단축이나 축그룹의 정확도는 A, B, C, D, E, F로 분류하고 있음

[표 2-15] OIML의 총중량 측정 허용오차

총중량 측정정확도 분류	차량 총중량 측정에 대한 에러율	
	초기 검증값	운영중 검사값
0.2	±0.10%	±0.20%
0.5	±0.25%	±0.50%
1	±0.50%	±1.00%
2	±1.00%	±2.00%
5	±2.50%	±5.00%
10	±5.00%	±10.00%

[표 2-16] OIML의 측정용 차량 축하중에 대한 최대허용오차

축하중 측정정확도 분류	차량 총중량 측정에 대한 에러율			
	초기 검증값		운영중 검사값	
	2축차량	2축외 차량	2축차량	2축외 차량
A	±0.25%	±0.50%	±0.50%	±1.00%
B	±0.50%	±1.00%	±1.00%	±2.00%
C	±0.75%	±1.50%	±1.50%	±3.00%
D	±1.00%	±2.00%	±2.00%	±4.00%
E	±2.00%	±4.00%	±4.00%	±8.00%
F	±4.00%	±8.00%	±8.00%	±16.00%

4. 과적차량 단속 관련 제도 현황

가. 미국

○ 미국은 연방 보조 도로법(Federal-Aid Highway Act)과 육상 운송 보조 법에서 주간(Interstate) 고속도로를 운행하는 차량의 중량 제한 기준을 단축인 경우는 20,000 파운드, 탄뎀축은 34,000 파운드, 총중량은 80,000 파운드로 규정. 그러나 이 같은 연방 제정법과는 달리 주가 관할하는 州內의 도로나 특정 도로에서는 주제정법에 따라 중량 및 제원에 대한 제한 기준을 달리 적용

State	Truck tractor and 2 trailing units		Truck tractor and 3 trailing units		Other[a]	
	Length (meters)	Weight (kilograms)	Length (meters)	Weight (kilograms)	Length (meters)	Weight (kilograms)
Alabama	no	no	no	no	no	no
Alaska	28.96	NA	33.53	NA	25.30	NA
Arizona	28.96	58,510	28.96	58,510	21.03 – 29.87[b]	no
Arkansas	no	no	no	no	no	no
California	no	no	no	no	no	no
Colorado	33.83	49,900	35.20	49,900	23.77	no
Connecticut	no	no	no	no	no	no
Delaware	no	no	no	no	no	no
District of Columbia	no	no	no	no	no	no
Florida	32.31	c	no	no	no	no
Georgia	no	no	no	no	no	no
Hawaii	19.81	c	no	no	no	no
Idaho	28.96	47,850	28.9	47,850	23.77 – 29.87[b]	no
Illinois	no	no	no	no	no	no
Indiana	32.31	57,790	31.85	5,779	17.68	no
Iowa	30.48	58,510	30.48	58,510	23.77[b]	no
Kansas	33.22	54,430	33.22	54,430	no	no
Kentucky	no	no	no	no	no	no
Louisiana	no	no	no	no	no	no
Maine	no	no	no	no	no	no
Maryland	no	no	no	no	no	no
Massachusetts	31.70	57,790	no	no	no	no
Michigan	17.68	74,390	no	no	19.20	no
Minnesota	no	no	no	no	no	no
Mississippi	19.81	c	no	no	no	no
Missouri	33.53	d	33.22	d	no	no
Montana	28.35	62,510	30.48	59,450	26.82 – 31.39[b]	no
Nebraska	28.96[e]	43,090	28.96[e]	c	20.73	no
Nevada	28.96	58,510	28.96	58,510	29.87	no
New Hampshire	no	no	no	no	no	no
New Jersey	no	no	no	no	no	no
New Mexico	f	39,190	no	no	no	no
New York	31.09	64,860	no	no	no	no
North Carolina	no	no	no	no	no	no
North Dakota	31.39	47,850	30.48	47,850	31.39	no
Ohio	31.09	57,790	28.96	52,160	no	no
Oklahoma	33.53	40,820	28.96	40,820	no	no
Oregon	20.73	47,850	29.26	47,850	21.46	no
Pennsylvania	no	no	no	no	no	no
Puerto Rico	no	no	no	no	no	no
Rhode Island	no	no	no	no	no	no
South Carolina	no	no	no	no	no	no
South Dakota	30.48	58,510	30.48	58,510	22.25 – 23.77[b]	no
Tennessee	no	no	no	no	no	no
Texas	no	no	no	no	no	no
Utah	28.96	58,510	28.9	58,510	26.82 – 32.00[b]	no
Vermont	no	no	no	no	no	no

(continued)

[그림 2.26] 미국 관할주별 중량 및 제원에 대한 제한기준

State	Truck tractor and 2 trailing units		Truck tractor and 3 trailing units		Other (a)	
	Length (meters)	Weight (kilograms)	Length (meters)	Weight (kilograms)	Length (meters)	Weight (kilograms)
Virginia	no	no	no	no	no	no
Washington	20.73	47,850	no	no	20.73	no
West Virginia	no	no	no	no	no	no
Wisconsin	no	no	no	no	no	no
Wyoming	24.69	53,070	no	no	23.77 – 25.91[b]	no

NA=Not applicable because Alaska has no Interstate highway system.

a Other vehicles may include a truck towing one trailer, or a semitrailer and trailer; an automobile/boat transporter; or a saddlemount combination. Please refer to individual State lisitings found in 23 CFR Part 658, Appendix C, for detailed information about these "other" vehicles.

b State submission includes multiple vehicles in this category. The values listed represent the range of cargo-carrying length for the vehicles covered by this regulation. For details on specific vehicle combinations, see 23 CFR 658 appendix C.

c No maximum weight is established as this vehicle combination is not considered an "LCV" per the ISTEA definition. Florida's combinations are not allowed to operate on the Interstate System, and the combinations for Hawaii, Mississippi, and Nebraska are not allowed to exceed 80,000 pounds.

d Different weights apply to these two Missouri LCVs. The truck tractor and 2 cargo carrying units of 110 feet may weigh up to 120,000 pounds when entering the State from Kansas; 95,000 pounds when entering from Nebraska; and 90,000 pounds when entering from Oklahoma. The truck tractor and 3 cargo carrying units of 109 feet may weigh up to 120,000 pounds when entering from Kansas and 90,000 pounds when entering from Oklahoma.

e 95 feet is allowed if combination units travel empty. Combination units carrying cargo are allowed 65 feet, except for those carrying seasonally harvested products, which are allowed cargo carrying length of 71.5 feet.

f No maximum cargo-carrying length is established for this combination. Because State law limits each trailing unit to not more than 28.5 feet in length, this combination is allowed to operate on all NN routes under the authority of the STAA of 1982. The maximum weight listed is New Mexico's maximum allowable gross weight on the Interstate System under the grandfather authority of 23 U.S.C. 127.

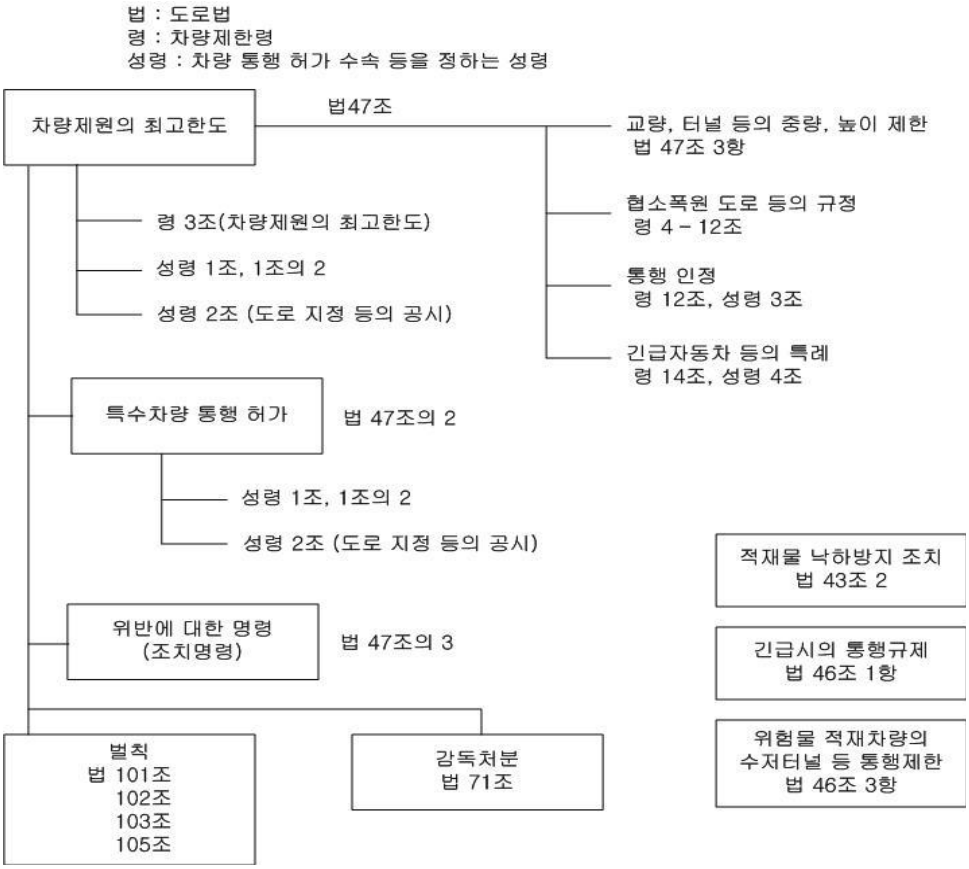
[그림 2.26] 미국관할 주별 중량 및 제원에 대한 제한기준(계속)

[출처: FHWA, "Comprehensive Truck Size and Weight Study", 2000]

나. 일본

○ 일본의 경우 운행제한차량(특수차량 통행허가 제도)과 관련된 법체계는 기본적으로 도로법 및 차량제한령으로 이루어짐. 또한 도로구조 측면의 도로법과 더불어 교통안전 측면의 도로교통법(도로교통시행령)과 차량기능 측면의 도로운송차량법(보안기준)에 차량의 폭, 중량, 높이, 길이 및 최소 회전반경에 대한 한도를 규정

- 도로법 제47조 제2항에서는 차량제원의 최고한도를 넘는 차량은 도로를 통행 시키면 안된다고 규정하고 그 구체적인 수치는 '차량 제한령 제3조' 및 '차량 통행 허가 수속 등을 정하는 성령(省令)에 규정
- 또한, 법 제47조 제3항에서는 도로관리자는 교량, 터널 등에 있어서 중량, 높이의 최고 한도에 대하여 개별적으로 제한하는 것이 가능하도록 함
- 허가를 받지 않고 통행하거나 허가조건에 위반을 할 경우에는 허가최소 등의 감독 처분을 받게 되며, 벌칙이 적용됨



[그림 2.27] 일본의 과적차량 단속에 관한 법령 체계

○ 위반차량에 대한 벌칙:

허가 없이 혹은 허가조건에 반하는 특수한 차량을 가지고 통행한 자 또는 도로감리원(道路監理員)의 명령을 위반한 자 등에 대해서는 벌칙 적용(이 벌칙은 위반한 자뿐만 아니라 사업주체인 법인 또는 사업주도 마찬가지로 적용)

[표 2-17] 일본의 과적차량 벌칙 규정

위반사유		위반의 내용	벌칙	적용조항
일반제한위반		차량의 폭, 길이, 높이, 중량, 최소회전반경 등의 제한을 초과한 차량을 도로관리자의 허가 없이 통행하는 행위, 또는 허가조건에 위반하여 차량을 통행하는 행위	100만엔 이하의 벌금	법 제102조 제1항
조치 명령 위반	일반제한위반	도로관리자 또는 도로감리원의 통행 중지 등의 명령에 위반하여 차량을 통행하는 행위	6개월이하 징역이나 30만엔의 벌금	법 제101조 제5항
	교량 등의 제한	교량 등 차량의 통행이 금지 혹은 제한되어 있는 도로에 차량을 통행하여 통행의 중지, 총중량의 경감, 서행 등의 도로관리자의 명령을 받았음에도 이에 위반하여 차량을 통행하는 행위	100만엔 이하의 벌금	법 제102조 제5항
	폭의 개별 제한	차량의 폭 등 개별적으로 제한되어 있는 도로에 차량을 통행시켜 통행의 중지, 총중량의 경감, 서행 등의 도로관리자의 명령을 받았음에도 이를 위반하여 차량을 통행하는 행위	50만엔 이하의 벌금	제 103조
교량 등의 제한위반		교량 등의 차량의 통행이 금지 혹은 제한되어 있는 경우, 이를 위반하여 차량을 통행시키는 행위 또는 허가조건을 위반하여 차량을 통행하는 행위	6개월이하 징역이나 30만엔의 벌금	법 제101조 제4항
허가증 불비치 자		특수한 차량을 통행하는 경우, 허가증을 비치하지 않는 행위	100만엔 이하의 벌금	법 제102조 제2항
법인 벌칙		법인 등 혹은 법인 등의 대표자 등이 위의 각 위반행위를 한 경우에는 행위자 이외에 그 법인 등 혹은 법인 등의 대표자에 대해 동일한 벌칙이 적용된다. (단, 위반행위를 방지하기 위한 타당한 주의 및 감독을 위해 노력한 것을 증명할 수 있는 경우에는 예외로 함)	각 조의 벌칙	법 제105조

다. 유럽

○ 국내와는 다르게 축의 수나 차량의 형식, 축간거리에 따라 축 하중 제한기준에 대한 세부규정이 마련되어 있음

[표 2-18] 유럽의 운행제한차량 기준

국가	높이	너비	길이		
			차량 혹은 트레일러	로드트레인	관절형 차량
알바니아	4m	2.50m	12m	18.35m	16.50m
독일	4m	2.55m (3)	12m	18.75m	16.50m
오스트리아	4m	2.55m (3)	12m	18.75m	16.50m
아제르바이젠	4m	2.50m	12m	20m	
벨로루시	4m	2.55m	12m	20m	20m
벨기에	4m	2.55m (3)	12m	18.75m	16.50m
보스니아 헤르체코비나	4m	2.50m	12m	18m	17m
불가리아	4m	2.55m	12m	18.75m	16.50m
크로아티아	4m	2.55m (3)	12m	18.75m	16.50m
덴마크	4m	2.55m (3)	12m	18.75m	16.50m
마케도니아	4m	2.50m	12m	18m	16.50m
스페인	4m	2.55m (3)	12m	18.75m	16.50m
에스토니아	4m	2.55m	12m	18.75m	16.50m
핀란드(1)	4.20	2.60m	12m	25.25m	16.50m
프랑스	제한없음	2.55m (3)	12m	18.75m	16.50m
그루지야	4m	2.50m	20m		20m
그리스	4m	2.55m (3)	12m	18.75m	16.50m
헝가리	4m	2.55m (3)	12m	18.75m	16.50m
아일랜드	4.25	2.50m (3)	12m	18.35m	16.50m
아이슬랜드	4.20	2.55m	12m	22m	18m
이태리(2)	4m	2.55m (3)	12m	18.75m	16.50m
레토니아	4m	2.55m (3)	12m	18.75m	16.50m
리히텐슈타인	4m	2.55m	12m	18.75m	16.50m
리투아니아	4m	2.55m (3)	12m	18.75m	16.50m
룩셈부르크	4m	2.55m (3)	12m	18.75m	16.50m
몰타섬	4m	2.55m (3)	12m	18.75m	16.50m
몰디브	4m	2.50m	12m	20m	16.50m
노르웨이	제한없음	2.55m (3)	12.40m	18.50m	17m
네덜란드	4m	2.55m (3)	12m	18.75m	16.50m
폴란드	4m	2.55m (3)	12m	18.75m	16.50m
포르투갈(2)	4m	2.55m (3)	12m	18.75m	16.50m
체코공화국	4m	2.55m (3)	12m	18.75m	16.50m
루마니아	4m	2.55m (3)	12m	18.75m	16.50m
영국	제한없음	2.55m (3)	12m	18.75m	16.50m
러시아	4m	2.55m (3)	12m	20m	20m
세르비아	4m	2.50m	12m	18m	16.50m
슬로바키아	4m	2.55m (3)	12m	18.75m	16.50m
슬로베니아	4m	2.55m (3)	12m	18.75m	16.50m
스웨덴	제한없음	2.60m	24m	24m	25.25m
스위스	4m	2.55m (3)	12m	18.75m	16.50m
터키	4m	2.55m (3)	12m	18.75m	16.50m
우크라이나	4m	2.65m	12m	22m	22m

(1) 유럽경제지역(EEA)에 등록된 차량의 경우

(2) 수송 타입(예: 콘테이너, 자동차등)에 따라 보다 큰 값이 적용됨

(3) 냉동차 = 2.60m

최대 허용 중량							
국가	축 하중	축 하중 (동력)	복축 하중	3축 차량	4축 로드 트레인	5개 이상 차축 로드 트레인	5개 이상 차축 관절 차량
알바니아	10		18	25	40	44	38
독일	10	11.5	18	26(1)	36	40	40
오스트리아	10	11.5	18	26	38(2)	38(2)	38(2)
아제르바이젠	10				37	37	37
벨로루시	10		18	25(1)	36	38	38
벨기에	10	12	19	26	39	44	44
보스니아	10		20	26	40	40	40
불가리아	10	11.5	18	26(1)	36	40	40
크로아티아	10	11.5	18	26(1)	36	40	40
덴마크	10	11.5	18	26(1)	38	42/48	42/48
마케도니아	10		16	22	36	40	40
스페인	10	11.5	18	26(1)	36	40	40
에스토니아	10	11.5	18	26(1)	36	40	40
핀란드(3)	10	11.5	18	26(1)	36	44	42/48
프랑스	13	13	19	26	38	40	40
그루지야	10				44	44	44
그리스	10	11.5	18	26(1)	36	40	40
헝가리	10	11	20	24	36	40	40
아일랜드	10	10.5	17	26(1)	35	40	40
아이슬랜드	10	11.5	18	26	37	40	44
이태리	10	12	18	26(1)	40	44	44
레토니아	10	11.5	18	26(1)	40	40	40
리히텐슈타인	10	11.5	18	26	36	40	40
리투아니아	10	11.5	18	26(1)	36	40	40
룩셈부르크	10	12	19	26	44	44	44
몰타섬	10.8	11.5	18	25	36	40	40
몰디브	10		18	24	36	40	40
노르웨이	10	11.5	19.5	29.5	50	50	47
네덜란드	10	11.5	21.5	33	40	50	50
폴란드	10	11.5	18	26(1)	36	40	40
포르투갈	10	12	19	26	37	40	40
체코공화국	10	11.5	18	26(1)	36	44(1)	42/48
루마니아	10	11.5	18	26(1)	36	40	40
영국	10	11.5	18	26(1)	36	40	40/44
러시아	10		18	25	36	38	38
세르비아	10		18	24	36	40	40
슬로바키아	10	11.5	18	26(1)	40	40	40
슬로베니아	10	11.5	18	25		40	40
스웨덴	10	11.5	18	26(1)	60	60	60
스위스	10	11.5	18	26(1)	40	40	40
터키	10	11.5	18	25	36	40	40
우크라이나	10				38	38	38

(1) 공기 서스펜션 혹은 유사사항 적용

(2) 38톤 : 일반적으로 화물운송시 유럽연합에 등록된 차량의 경우 최대 중량이 5% 가중됨

(3) 유럽경제지역(EEA) 회원국에 등록된 차량의 경우

(4) 수송타입 (예: 콘테이너, 자동차 등)에 따라 보다 큰 값이 적용됨

[출처: M/JURIDIQUE/NOREMES/Maximum authorized weights in Europe.xls]

○ EU 멤버국에서 현재 적용되고 있는 벌금과 상습범에 대한 정책, 벌금부과 대상, 다른 제재에 관한 내용은 [표 2-19]과 같이 해당 국가의 환경에 따라 다양하게 적용하고 있음

[표 2-19] EU 국가의 과적차량 벌금기준

국가명	벌금	상습범에 대한 정책	초과중량에 대한 제재	제재 대상	상세사항
벨기에, 플랑드르 지역	€10 - €10,000 €50 - €75,000	2년내 적발시, 동일 내용으로 위반할 경우 2배 이상의 벌금 적용	차량운행을 정지시키고 초과된 중량은 하역시킴	운전자, 운수업자 및 해당 운수업체장	8일~90일 구속
체코 공화국	최대 €2,000	알려져 있지 않음	알려져 있지 않음	운수업자	특정 도로의 사용과 관련된 세금 지불을 거부한 소유자에 대해 운행금지
덴마크	€6.70 이상	알려져 있지 않음	차량운행의 정지	운전자와 운수업자	벌금 - 운수업자 : 과적율 × €33.60 - 운전자 : 과적율 × €6.70
에스토니아	최대 €766.77	알려져 있지 않음	알려져 있지 않음	운전자와 운수업자	법인이 동일 내용으로 재적발시에는 €3194.88 이상의 벌금이 부과됨
프랑스	€750-€1,500	있음	5%이상 중량 초과 시 운행 정지	운전자와 운수업자	2종류의 제재가 있으며 각각에 대하여 금액이 정해져 있음. 제재가 €750을 초과하지 않으면 벌금은 €135로 고정됨
헝가리	€20-€400	알려져 있지 않음	알려져 있지 않음	운전자	없음
리투아니아	€72-€143	알려져 있지 않음	알려져 있지 않음	운전자	없음
독일	€30-€350	있음(포인트 시스템)	단속함	운전자와 운수업자	위험한 물체와 버스 그리고 대형교통수단의 운송에는 높은 제제가 적용됨
룩셈부르크	€251-€1,239	알려져 있지 않음	차량운행을 정지시키고 초과된 중량은 하역시킴	운전자와 운수업자	8일-3년 구속. 과적율이 10%를 초과하지 않으면 벌금은 €74. 운전면허에 4점의 벌점이 부과됨.
영국	€40-€7,250	있음	있음	운전자와 운수업체	5가지 제재가 있음

국가명	벌금	상습범에 대한 정책	초과중량에 대한 제재	제재 대상	상세사항
네덜란드	€220-€1,584	있음. 5년 내에 반복될 경우: - 1회 위반 시 50% 벌금인상 - 2회 위반 시 100% 벌금인상 - 3회 이상 : 소환됨	초과 중량이10%이상인 경우는 분할선적	운전자와 운수업자	제재를 7가지 경우로 분류. 과적율에 비례하여 증가함. 운전자의 벌금은 €115~€289 소유주의 벌금은 €220~€1.584
포르투갈	€498.80-€1,496.39(초과중량 25% 미만) €1,246.99-€3,740.98(초과중량 25% 미만)	있음. 1년에 3번 위반하는 경우 운송행위를 금지시킴	차량 최대 적재량의 25%를 초과할 경우 운행정지	운수업자와 운수업체장	지점별로 자리잡혀 있거나 통보 20일 이내의 확실한 벌금은 최대적재량의 25%이하로 초과한 경우 €498,80-€1246,99 감소됨. 최대적재량의 25%를 초과한 경우 는 €1246,99.
슬로베니아	최대 €2.000	알려져 있지 않음	있음	운수업자	금액이 지정되어있음
스페인	€300-€4,600	있음	있음	운수업자와 운수업체장	과적율 또는 차량의 길이에 따라 벌금의 금액이 정해짐.

[출처: M/JURIDIQUE/NOREMES/Maximum authorized weights in Europe.xls]

[표 2-20] 네덜란드의 과적차량 벌금기준

위반 특징	주목(관찰)	책임	5-9%	10-14%	15-19%	25-29%	30-34%	30>%	35>%	운행금지
축하중 초과 시	관련된 차량등록증	운수업자		€220	€330	€726	€1056		>€1500	>20%
총중량 초과 시	차량등록증	운수업자	€220	€330	€726	€1056		>€1500		>10%
허가된 트랙터 기준보다 트레일러 중량 초과 시	트랙터차량 등록증	운수업자		€220	€330	€726	€1056		>€1500	상황에 따라 달라질 수 있음
연결차의 총중량초과시(최대 5톤)	트랙터차량 등록증	운수업자	€220	€330	€726	€1056		>€1500		>10%

제3절 기존 WIM 시스템의 문제점 및 개선방안 도출

1. 기존 WIM 시스템의 문제점

가. 측정방식의 문제점(고정식 축중기)

○ 기존의 과적단속 시스템은 저속의 주행 상태나 정지 상태에서 중량을 측정하는 정적 하중 측정 방식을 사용하여 과태료를 부과함. 과적검문소에 설치된 고정식 측중기는 벤딩 플레이트 형식을 가지며, 시속 10km/h 이하의 속도에서 측정이 가능하고 도로관리청에서는 정확한 단속을 위해 과적차량의 진입 속도를 5km/h 이하로 유도하고 있음

○ 그러나 고정식 축중기가 설치된 과적검문소는 위치가 노출되어 있어 차량 운전자들이 경로를 우회함으로서 단속을 회피하기가 용이하기 때문에 단속의 실패 확률이 높으며, 가변축 조작 등의 특성을 악용하는 사례가 빈번하여 단속의 실질적인 효과를 거두기 어려움

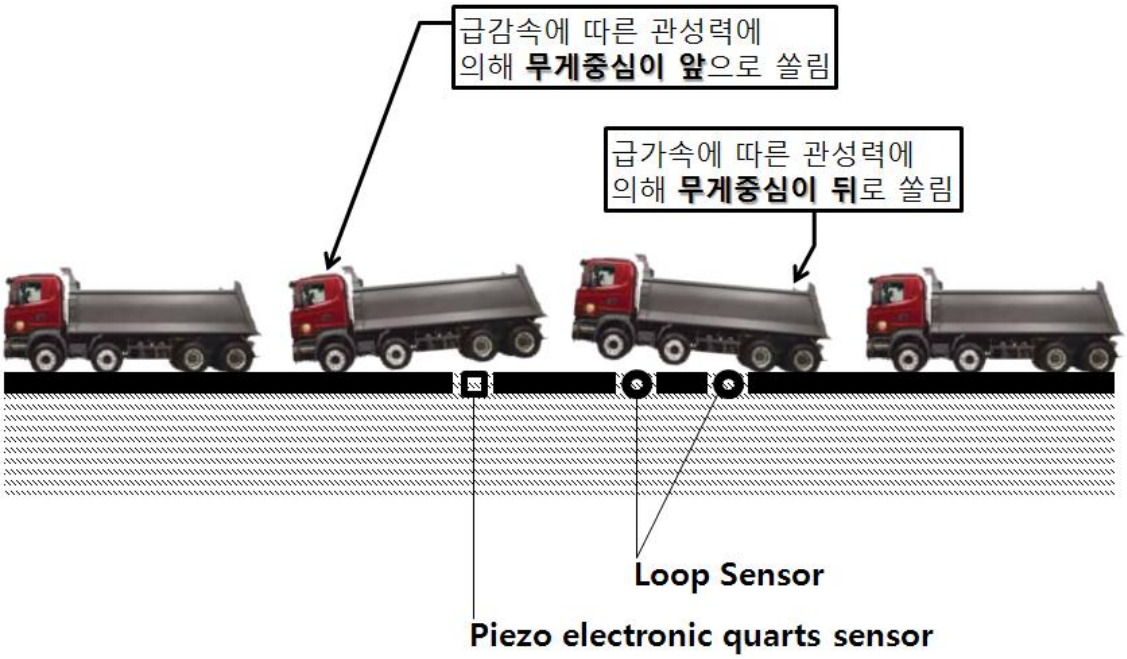
나. 측정정보의 오차(고속 축중기)

○ 관성력에 의한 무게중심의 쏠림 현상으로 축의 무게가 왜곡되기 때문에 주행 중인 차량 전체 무게를 동시에 측정할 수가 없어 중량 측정의 오차가 발생함

○ [그림 2.28]과 같이 차량 운전자의 의도적인 급 가·감속과 같은 비정상적인 주행패턴에 기인하여 실제 측정자료와 비교할 경우에는 오차율이 크게 발생하며, 이는 등속을 기준으로 중량을 측정할 경우에는 오차율이 더욱 크게 나타남

○ 기존의 고속 WIM 시스템은 도로를 주행하는 차량의 가속도가 0인 등속주행으로 가정하고 있어 가속도에 의한 오차율 보정이 필요함

○ 기존의 고속 WIM 시스템의 중량측정 실제 오차율은 규정 오차율 10%와 달리 20~30% 정도 발생하고 있어 측정의 한계를 노출함



[그림 2.28] 과적단속 회피를 위한 비정상적인 주행 조작

다. WIM 센서의 신뢰성 문제

○ 기존 WIM 센서의 특성을 살펴보면 가격이 고가이며, 온도 및 충격과 차량의 주행속도 등에 따라 측정 정확도가 변화하는 단점을 지님

○ 세라믹 소재의 센서와 비교하여 온도에 대한 변화가 적고 비교적 높은 수준의 측정 정확도를 나타내는 스위스 Kistler사의 Linear Quartz Sensor가 현재 시장의 대표적인 WIM 센서이나, 다른 센서 대비 10배에 달하는 고비용으로 저변 확대에 무리가 있으며, 압전센서의 특성상 출력신호가 전하로 발생하기 때문에 Noise 발생이 쉽고, 높은 증폭도가 필요한 Charge Amp를 사용하므로 고수준의 정확도를 기대할 수 없음

[표 2-21] 차량 주행속도 및 도로의 온도 변화에 따라 중량 측정의 오차

테스트 속도	석영(Quartz)		필름(PVDF)		세라믹(Ceramic)	
	총중량(kg)	에러율	총중량(kg)	에러율	총중량(kg)	에러율
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	석영(Quartz)		필름(PVDF)		세라믹(Ceramic)	
	총중량(kg)	에러율	총중량(kg)	에러율	총중량(kg)	에러율
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

2. 개선방안 도출

가. 고성능의 WIM 센서 개발

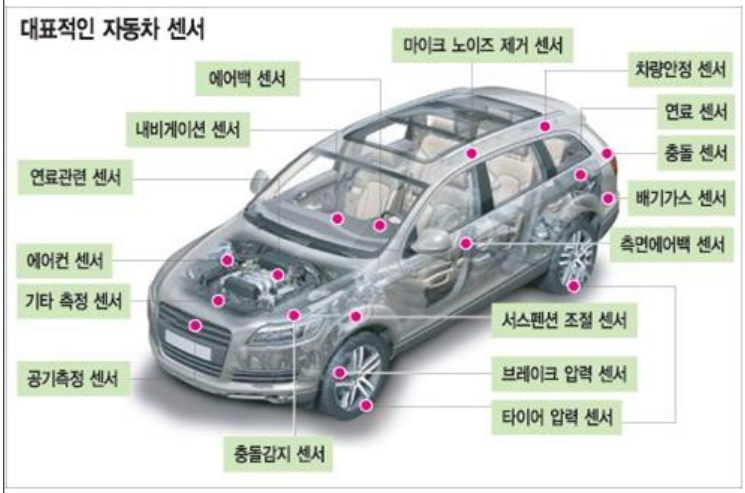
○ 현재까지는 수입된 센서에 의존하여 자기보정 및 교정에 의해서 축하중 측정의 정확도를 높이는 방법을 연구하였으나, 이는 최적의 센서 소재를 선정하여 측정 신뢰도를 높이는 방법과는 거리가 있음

○ 따라서 기존 센서의 미흡한 단점을 보완 개선하기 위해서는 첨단 센서 소재를 바탕으로 고성능의 높은 신뢰성을 지닌 WIM 센서를 개발하여 국산화함으로써 수입품에 비해 저렴하고 고품질인 센서를 제작함

○ 기존 압전센서의 단점인 온도 및 충격에 대한 영향을 극복할 수 있는 높은 신뢰도와 응답성을 가지는 반도체 소재의 압력센서를 개발

[표 2-22] 반도체식 센서 기술을 이용한 센서 적용 사례

Consumer Electronics : 스마트폰이나 게임기 등 많은 제품들에 MEMS 기술을 기반으로 한 센서들을 탑재하여 사용		
스마트 폰	게임 콘솔	프린터

Automobile : 자동차의 안전 운행과 쾌적한 운전환경, 엔진의 연소효율을 높이기 위해 40여개 이상의 MEMS센서 장착	
차량용 온도 감지 센서 수온 센서(WTS) 흡기 온도 센서(ATS) 배가가스 온도 센서 EGR 가스 온도 센서 **차량 압력검출센서** MAP(Manifold absolute pressure sensor) 대기 압력 센서(BPS) Knock sensor **위치 검출용 센서** TPS(Throttle Position sensor) Accelerator sensor 차고센서(ECS) 연료 레벨 센서 차속센서(VSS) **공기유량 검출용 센서** ASF(Air flow sensor)	

Robot : 인식과 주행을 위한 비전센서, 거리측정 및 감각 감지를 위한 촉각센서 등 로봇이 행동할 수 있는 인지기능의 각종 센서에 MEMS 기술 적용		
가정용 로봇	산업용 로봇	군사용 로봇

○ 반도체식 기술을 이용한 센서는 [표 2-22]의 사례에서 볼 수 있듯이 항공, 자동차, 로봇, 가전제품 및 바이오 의학 등 우리 생활의 전 분야에 적용되고 있으며,

- 각 분야의 첨단 기술 개발에 필수적인 기술로서 아직까지 짧은 역사로 인해 상대적으로 선진국가와 기술격차가 적어 미래형 첨단 기술로서 각광 받고 있음
- 전세계적으로 천여 개의 대학·정부·기업 연구소에서 수만 명의 과학자와 공학자들이 기술 개발에 한창이다. 현재 전산이 이공계 각계에서 필수적인 기본 기술로 사용되고 있는 것처럼 반도체식 센서 기술도 얼마 후면 모든 분야에 적용이 가능 할 것으로 판단됨
- 산업적인 규모뿐만 아니라 여러 분야의 기본기술로서 발전하게 되면 반도체식 센서 기술의 기반에 따라 전자, 기계, 생물, 화학, 의료 등의 분야에서의 시너지 효과도 함께 기대

나. 측정오차율 감소 방안

○ 기존 WIM 시스템에서 무게 측정의 가장 중요한 요소는 루프센서와 WIM센서인데 운전자가 화물차량을 가속 혹은 감속 운전할 때 차의 무게 중심이 앞 또는 뒤로 편중되어 중량 측정의 오차가 발생함. 또한 [그림 2.29]과 같은 갓길 운행 및 차로 걸침 등의 비정상적인 운행으로 인해 측정이 불가능하거나 큰 오차가 발생함

○ 따라서 운전자의 주행 패턴을 고려하여 센서의 최적배치 방안을 제시하고 비정상적인 주행을 인지하여 중량측정의 오차를 줄일 수 있는 알고리즘을 개발

[그림 2.29] 차량의 비정상적인 주행패턴

다. 성능검증 방안 마련

○ 일반국도/고속국도에 설치된 고속 WIM 시스템 시범사이트는 단일기종(압전센서)의 센서만 설치 운영하고 있어 동일한 도로환경 조건하에서 다양한 검지시스템에 대한 성능검증은 미흡한 실정임

○ 따라서 객관적인 성능검증의 Needs를 만족하고자 동일한 지점에 다양한 센서 및 제어시스템을 설치 운영하여 비교평가 및 성능을 검증하고, 품질수준의 결과에 따른 적용기준을 마련하여 고속 WIM 시스템의 효과적인 활용방안을 제시함

제3장 연구개발수행 내용 및 결과

제1절 WIM 센서 개발

1. 센서소재의 선정

가. 센서의 정의 및 특성

○ 센서(Sensor)란 측정 대상의 물리량이나 화학량을 선택적으로 포착하여 유용한 신호(주로 전기적 신호)로 변환/출력하는 장치이며, 감도(Sensitivity), 선택도(Selectivity), 안정도(Stability), 복귀도(Reversibility)의 기본적인 요건을 갖추어야함

○ 센서는 검출방식에 따라 다음과 같이 크게 3가지로 분류함

- 기계식: 기계적인 변형과 운동으로 감지와 출력
- 전기식: 외부의 자극을 전기적인 신호로 변환하여 출력
- 반도체식: 외부의 자극에 변형 또는 반응하는 재료를 반도체로 사용하여 감도를 높이고 제품을 소형화, 대량생산 가능

[그림 3.1] 센서 종류 사례

나. 기존 WIM 센서의 특성 및 장단점 분석

○ 앞장에서 언급했듯이 현재 고속 WIM에는 Kistler사의 Linear Quartz, ECM사의 Piezo-Ceramic, MSI사의 PVDF 등 압전소자를 기본으로 하는 센서들이 주로 사용되고 있는데, 압전센서의 특성상 출력신호가 전하로 발생하기 때문에 Noise 발생이 쉽고, 높은 증폭도가 필요한 Charge Amp를 사용하므로 고수준의 정확도를 기대할 수 없음

○ 금속 또는 반도체의 저항체에 변형이 가해지면 그 저항치가 변화하는 압력 저항 효과를 이용한 것으로 압력, 토크, 응력 측정에 사용하는 스트레인 게이지는 기계적인 미세한 변화(strain)를 전기 신호로 검출하는 센서로써 상당히 신뢰성이 높으나, 스트레인 게이지의 특성상 온도에 민감하여 온도가 자주 변하는 경우에는 변형률이 높아 측정 정확도가 떨어질 가능성 또한 높으며, WIM 센서로 사용하기에는 고가인 점이 단점임

○ 광섬유격자(FGB) 센서는 온도, 압력, 전기장, 자기장, 회전, 화학물질의 농도, 기계적인 움직임 등 거의 모든 외부 물리량 측정에 사용될 수 있으며, 구조적 특성상 센서부 모든 방향에서의 감도가 뛰어나고 소재 특성상 잡음에 강하나 거의 모든 물리량 변이에 반응한다는 점에서 환경적 잡음이 클 수 있음. 또한 브래그 파장이 온도 변화에 영향을 받으므로, 온도 변화에 따른 신호 안정성 개선이 요구됨

○ 광섬유격자 센서를 설치하는 경우에는 광섬유의 광학 특성이 손상되지 않도록 기계적인 특성을 강화시켜야 하고 접착제의 영향으로 측정 응답값이 변화하지 않도록 주의해야함

○ 광섬유격자 센서는 교량, 터널, 건축물 등의 구조물 변형율 측정에 매우 우수한 센서로 평가받고 있으나, 측면 압력과 진동에 매우 취약한 단점을 지니고 있어 WIM 센서에 적용하는 것은 특성상 불리함

다. 반도체식 MEMS형 센서

1) 반도체식 MEMS형 센서

○ MEMS(Micro-Electro-Mechanical Systems)란 실리콘, 수정, 유리 등을 가공해서 초고밀도 집적회로, 머리카락 절반 두께의 초소형 기어, 손톱 크기의 하드디스크 등 초미세 기계구조물을 만드는 기술로 정의되며, 반도체 공정기술을 이용하기 때문에 수 나노미터에서 수백 나노미터의 크기로 제작이 가능하고 일괄 공정으로 대량 생산이 가능함. 또한 기계부품과 센서, 전자회로 등을 한 칩에 집적할 수 있어 신뢰도가 높으며 작은 소자로 미량의 물질분석이 가능한 장점을 지니고 있음

- 기술적인 장점: 생산정밀도 우수, 경량/초소형, 새로운 구조와 성능, 기존의 재료 이용 가능
- 경제적인 장점: 일괄 대량 공정 적용, 패키징 크기의 집적도, 시스템 크기의 집적도, IC 공정기술 사용 가능

2) 반도체식 MEMS형 압력센서 종류

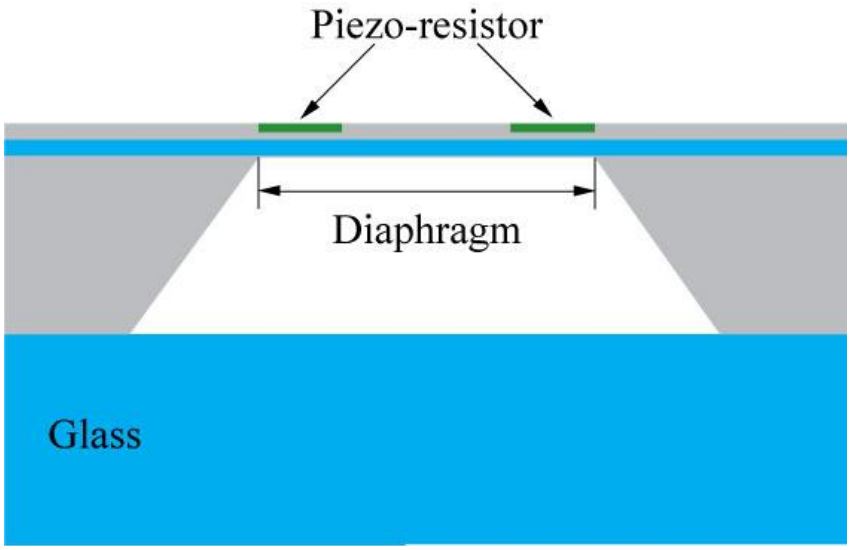
○ 반도체식 MEMS형 실리콘 압력센서는 외부에서 가해지는 물리적인 압력의 변화를 특정적인 전기적 신호로 변환하는 방식에 따라 압저항형 압력센서, 정전용량형 압력센서, 압전형 압력센서, 광학형 압력센서로 세부 구분함

○ 정전용량형 압력센서(capacitive pressure sensor)는 고정전극과 다이아프램 사이의 정전용량의 변화를 이용하고 압저항형 압력센서(piezo-resistive pressure sensor)는 실리콘의 압저항 효과(piezo-resistive effect)를 이용함

○ 정전용량형 압력센서는 감도 및 온도 특성이 우수하나 출력신호로 정전용량을 이용하기 때문에 신호처리에 어려움이 있음. 반면에 압저항형 압력센서는 온도변화에 민감하나 선형성이 우수하고 출력신호 처리가 매우 용이하여 현재 압저항형 압력센서가 주로 사용됨

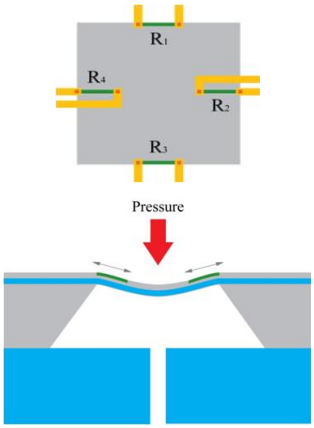
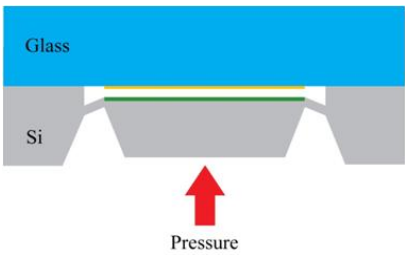
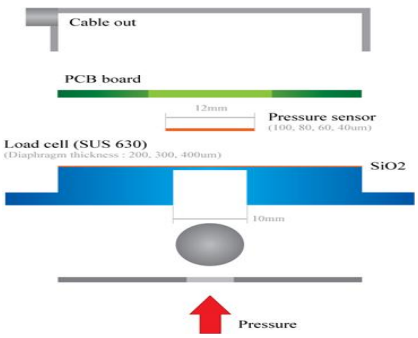
[표 3-1] 반도체식 MEMS형 압력센서의 종류

압력센서 방식	압저항식	정전용량식	압전효과
동작원리	응력에 따른 전기적 저항이 변하는 현상	응력에 따른 정전용량이 변하는 현상	응력에 따라 발생된 전하의량
장점	제작이 용이함 우수한 선형성 높은 분해능	제작이 힘듬 온도에 민감하지 않음 높은 감도	온도에 민감하지 않음.
단점	온도에 민감	비선형성 복잡한 신호처리 낮은 분해능	비선형성 복잡한 신호처리 낮은 분해능



[그림 3.2] MEMS형 압저항식 압력센서의 구조

[표 3-2] 반도체식 MEMS형 압력센서의 특징

구 분	특성 및 특징	
Silicon Pressure Sensor	결정질 실리콘을 사용하여 기계식 압력센서에서 문제가 되었던 히스테리시스와 크립현상이 없고 저가, 소형화, 집적화, 대량생산이 가능	
Piezo-resistive Pressure Sensor	압저항(piezo-resistive effect) 효과란 재료가 기계적인 응력으로 인하여 변형이 발생하면 그에 따라 전기적인 저항이 변하는 현상 -선형성이 우수 -히스테리시스가 없음 -출력신호 처리가 용이	
Capacitive Pressure Sensor	정전용량형은 마주보는 전극판의 간격이 외력에 의해 변화되면 전극간 충전되는 정전용량의 변화를 검출하여 압력을 측정하는 방식 - 감도 우수 - 온도특성이 우수 - 빠른 복귀도	
Silicon Strain Gauge	하중을 측정하는 Load cell에 반도체 기술을 적용 기존의 금속 박 스트레인 게이지를 단결정 실리콘 스트레인 게이지로 대체하여 고감도 구현 가능	

라. 기존센서와 MEMS형 센서 비교검토

○ 지난 20여년간 마이크로 가공 센서의 기술이 진보하면서 반도체식 MEMS형 센서는 생산기술, 생산공정 및 신호처리 등에 있어 비약적인 발전을 이루고 있는 미래지향적인 센서기술이며, 기존의 센서와 비교해 [표 3-3]와 [표3-4]과 같은 차이점이 나타남

[표 3-3] 기존 상용화된 센서와 MEMS형 센서의 장단점 비교

제조사	측정 방식	신뢰도	장점	단점
Sensor Line (독일)	Fiber Optical Traffic Sensor	WIM용은 비상용화 Traffic용은 상용화 KMC상용화 검토중	전자기적 영향을 받지 않음 저중량, 이동성 용이 전기적 독립성 가짐	현재 WIM센서 없음 WIM센서로 신뢰도가 낮음
Kistler (스위스)	Linear Quartz Bar Type	해외 각지에서 사용 압전수정소자 사용 고성능 센서	높은 성능과 신뢰성 온도변화에 강하며 설치가 간편	- 고비용(타사 대비 최고10배) - 가격대비 성능은 매력적이지 않음 - 설치 비용 높아 저변 확대 무리
PAT (독일)	Bending Plate	고성능 센서 상용화	- Sigma2급의 신뢰도 확보 - 타사에 비해 가격이 비교적 낮음 - 국내 센서중 적용성이 좋음	- 고비용 - 센서가 크고 무게가 있어 설치가 용이하지 않음
MSI (미국)	PVDF(Polymer)	신뢰도 다소 낮음 상용화	- 저가제품으로 보편적으로 사용 - 설치 용이	- 신뢰도 낮음/외부 환경요인 영향이 큼 - 내구성이 약해 장기적 운영 불가
MEMS형 센서	반도체식 Pressure Sensor	높은 성능과 신뢰도 상용화 가능	- 가격대비 성능비가 가장 높음 - 고신뢰도·응답성·온도특성 - 노이즈가 적어 신호처리 용이 - 설치·이동성·유지보수 용이	

[표 3-4] 기존 센서와 MEMS형 센서의 차이점 분석

구분	기존 센서	MEMS형 센서
생산 기술	소재, 가공, 조립 기술	반도체/MEMS 기술
생산 장비	기계가공, 조립장비	반도체 장비
생산 공정	단위공정의 결합조립 공정	일괄 공정
크기	큼(~cm)	작음(~mm)
가격대 성능비	낮음	높음
생산 업체	소규모 중소기업, 대기업	반도체 라인을 갖고 있는 일정규모 이상의 업체
신호 처리	별도 외장회로	2 Chip 혹은 집적화
타 센서와의 제조공정 호환성	매우 낮음	상당부분 동일함

마. WIM 센서소재 선정

○ 현재 국내에서 상용되고 있는 Piezo-ceramic, Quartz crystal, Piezo-polymer 센서는 압전센서의 특성상 출력 신호가 전하로 발생하기 때문에 Noise 발생이 쉽고, 높은 증폭도가 필요한 Charge Amp를 사용하므로 고수준의 정확도를 기대할 수 없고, 일부 센서는 일정 수준 이상의 정확도를 지니고 있으나 고가인 단점이 있음

○ 따라서 본 연구과제에서는 직진성, 높은 신뢰성 및 저가생산이 가능한 반도체 공정기술을 이용한 MEMS(Micro-Electro Mechanical Systems)형 실리콘 압력센서(압저항식)를 WIM 센서로 선정함

2. 개발센서의 특성, 기능 및 사양

가. 개발센서(MEMS형 실리콘 압력센서)의 장점

○ 본 연구과제에서 개발하는 반도체식 MEMS형 실리콘 압력센서(Silicon Pressure Sensor)는 다음과 같은 장점을 갖음

- MEMS 기술을 사용해 가격대 성능비 매우 우수: Hysteresis가 없고 Accuracy와 Linearity가 높고 고감도·고신뢰성, 온도 특성 우수
- 반도체 기술·공정을 사용해 소형·경량·양산성 매우 우수, 진동에 매우 강하며, 기존 전하 출력식 압전센서에서는 Charge Amp 등이 필요하나 개발센서는 Amp 및 온도보상 회로를 내장하고 있어 별도의 외장장비가 필요하지 않음
- 디지털 유·무선 데이터통신(485, RF) 기능을 내장함으로써 신호처리 용이하고 원거리 전송이 가능하며 케이블 연결의 단순함, 유지보수 용이, 채널 증가에 따른 비용 증가 적음, 유무선 겸용으로 이상 상황 대비 가능

나. 온도보상 기능 장착

○ WIM 센서는 도로표면 아래에 설치되기 때문에 온도 영향에 민감할 수 있어 이를 극복할 수 있는 능력을 보유해야만 함

○ 기계적인 응력으로 인하여 전기적 저항이 변하는 압저항 효과는 게이지율(gauge factor)을 기준으로 금속의 경우에는 2~5, 단결정 P-type 실리콘인 경우 100~170으로 상당히 높게 나타남. 그러나 실리콘은 재료의 특성상 온도변화에 민감하게 작용하여 TCS(temperature coefficient of offset) 값이 높아 외부회로에서 온도의 보정이 필요함

○ 본 연구에서는 다음과 같은 방법을 통해 개발센서의 온도보상 기능을 만족함

- 이상적인 경우 외부에서 하중이 가해지지 않을 때 응력은 0이기 때문에 오프셋

(offset)전압은 0이고 TCO(temperature coefficient of offset)도 0이 됨

$$V_{0(p=0)} = 0, \quad TCO = 0 \tag{1}$$

- 일반적인 경우 외부 압력이 없다고 할지라도 열적요인 또는 패키지와의 스트레스 등으로 이미 다이아프램에 응력이 존재하기 때문에 오프셋전압이 발생하고 오프셋전압은 온도에 영향을 받게 됨. 또 4개의 압저항값 자체는 상온에서 정의 온도계수를 가지는데, 이 온도계수는 표면 불순물 농도에 의존하고 있음. 만약 4개의 압저항값이 같은 온도계수를 가진다면 온도 변화에 따른 오프셋전압의 변화는 없겠지만 이온주입의 오차와 공정중 정렬 오차(alignment error) 등으로 불순물 농도의 차이와 저항값의 차이가 생긴다면 오프셋 전압이 발생하고 온도에도 영향을 받게 됨

- 식(2)은 일반적인 경우의 오프셋 전압을 나타낸 것인데 여기서 σ_T는 열적인요인 또는 다이아프램 위 절연막과의 스트레스, 패키지와의 스트레스등 비압력적인 요인에 의한 응력을 나타내는 것이고, β는 이온주입의 오차와 공정 중 정렬 오차 등으로 생긴 불순물 농도의 차이와 저항값의 차이를 포함하는 성분이며, β는 양의 값 또는 음의 값을 가질 수 있으나 σ_T는 보통 인장력으로 작용하기 때문에 양의 값이 대부분임. 따라서 일반적인 경우 오프셋 전압은 대부분 양의 값을 가지게 된다.

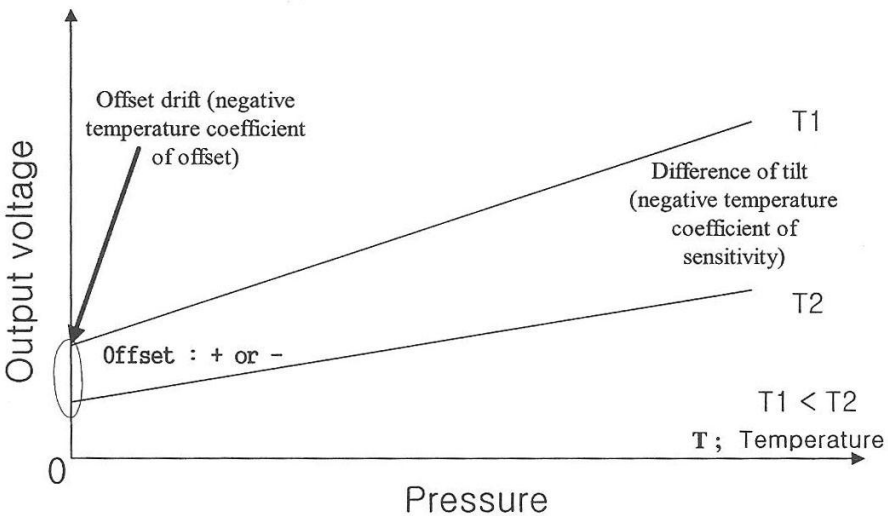
$$V_{o(P=0)} = \left(\frac{\pi_{44}}{2}\sigma_T + \beta\right) V_b \tag{2}$$

- 일반적인 경우 출력전압, 압력감도, TCS(temperature coefficient of sensitivity)는 각각 식(3)과 (4) 그리고 (5)로 나타냄. 여기서 $\partial\pi_{44}/\partial T$는 음(-)의 값이고, $\partial R/\partial T$는 양(+)의 값이며 압저항 표면의 불순물 농도를 제어하여 감도의 온도의존성을 줄일 수 있지만, 센서감도와의 관계가 충분히 고려되어야 함

$$V_0 = \frac{1}{2}[(\frac{dR}{R})_{\perp} - (\frac{dR}{R})_{\parallel}]V_b \tag{3}$$
$$= [\frac{\pi_{44}}{2}(\sigma_r - \sigma_t) + \sigma_T + \beta]V_b$$

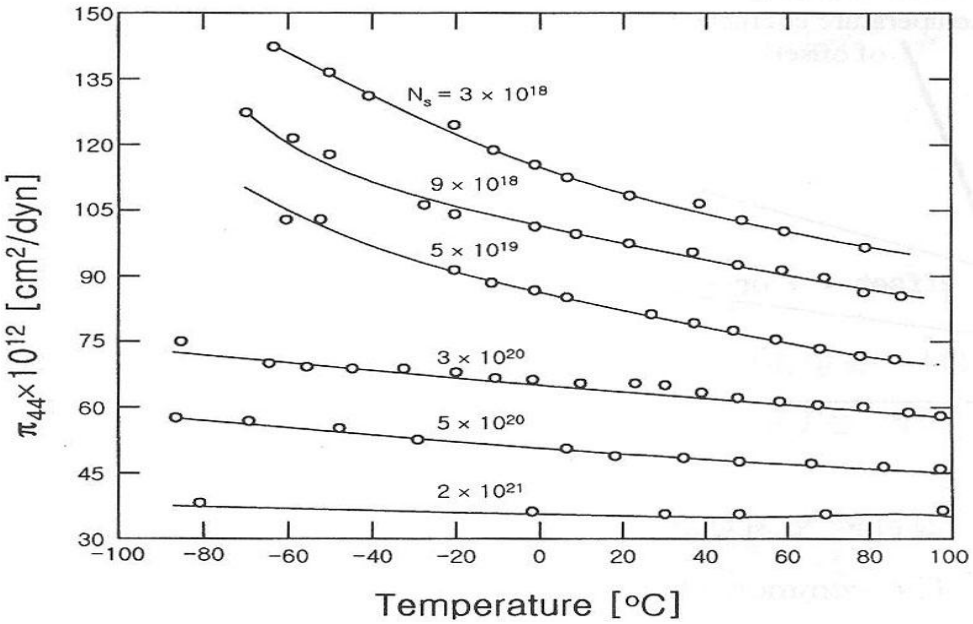
$$S \equiv \frac{1}{V_0}\frac{\partial V_0}{\partial P} = \frac{\pi_{44}}{2}\frac{\partial}{\partial P}[(\sigma_r - \sigma_t) + \sigma_T] \tag{4}$$
$$\fallingdotseq \frac{\pi_{44}}{2}(\frac{\sigma_{r(\Delta P)} - \sigma_{t(\Delta P)}}{\Delta P})$$

$$TCS = \frac{1}{S}\frac{\partial S}{\partial T} = \frac{1}{\pi_{44}}\frac{\partial \pi_{44}}{\partial T} \tag{5}$$



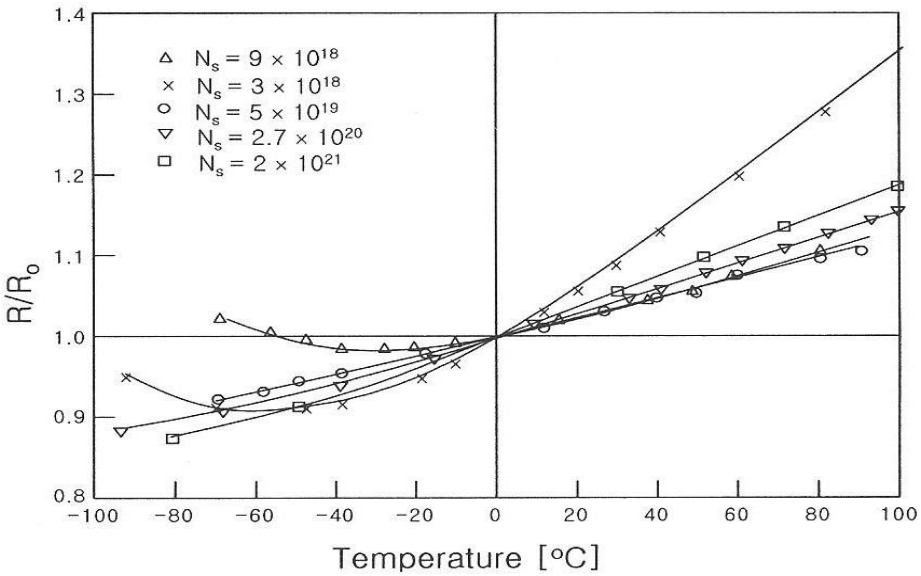
[그림 3.3] 실리콘 압저항형 압력센서의 일반적인 특성

- 다이아프램에서 σ_r은 반경방향의 응력, σ_t는 접선방향의 응력을 의미하며 [그림 3.4]는 온도 및 불순물 농도에 따른 압저항계수의 변화를 나타낸 것인데, 온도가 증가함에 따라 압저항계수가 감소하는 것을 볼 수가 있음. 이로 인해 온도에 따라 압력센서의 감도가 감소한다는 것을 알 수 있으며, 또한 불순물의 농도가 커질수록 온도에 영향을 덜 받으나 농도의 증가는 감도의 감소를 가져오므로 이를 고려하여야 함



[그림 3.4] 온도 및 농도에 따른 p형 압저항계수 π_{44}의 변화

- [그림 3.5]는 온도 및 불순물 농도에 따른 압저항체의 저항변화율을 나타낸 것이며 영상의 온도에서는 저항의 변화가 온도에 따라 선형적으로 증가한다는 것을 알 수 있음

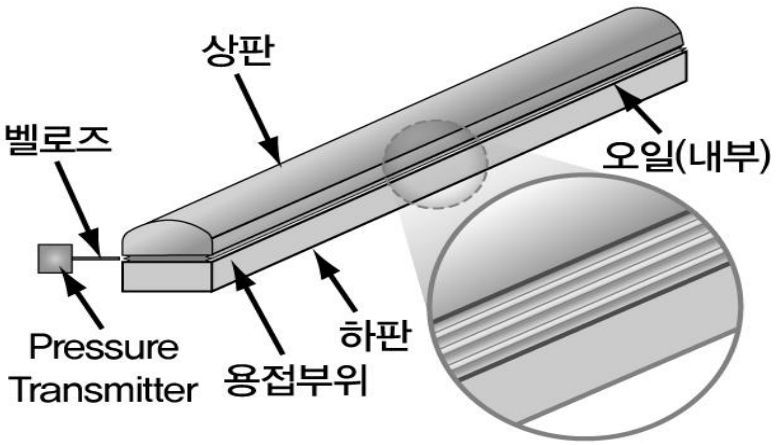


[그림 3.5] 온도 및 불순물 농도에 따른 확산저항의 변화

- 결과적으로 압저항계수는 부의 온도계수를 가지고 확산저항의 저항값 자체는 양의 온도계수를 가지기 때문에 출력전압과 감도가 온도의 영향을 받게 되며, 식(3)과 (4), (5)에서 알 수 있듯이 출력전압과 오프셋전압, 감도는 모두 브리지 입력전압 V_b를 변화시키면 오프셋과 감도의 온도 드리프트를 보상할 수 있음

다. 구조적 특성 및 장점

○ 센서를 감싸는 봉합체는 봉입형태로 압력매체의 구조를 별도로 설계함
- 구조적 견고성, 복원력, 충격 및 채터링 완화, 압력 고점 집중 등을 고려하여 상판은 arch形 모양으로 설계함
- 비압축성 매질을 사용해 매체 위치에 따른 측정 오차가 없고 응답성 우수
- 측면 압력 및 진동에 강하도록 측면 주름(벨로즈)으로 설계하여 WIM센서로서의 적용성을 높임



[그림 3.6] 반도체식 MEMS형 압력센서 구조 개념도

라. 개발센서의 사양 설정

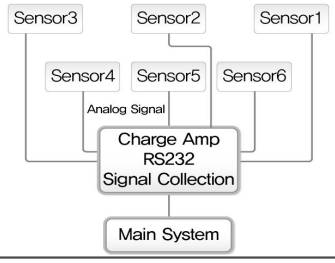
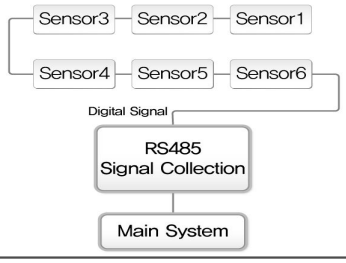
○ 개발하는 MEMS형 압력센서는 반도체 기술 결합에 의해 센서가 지능을 갖도록 한 스마트형 센서이므로 [표 3-5]와 같은 요구사항을 수행할 수 있도록 개발하며, 개발 사양은 다음 사항을 고려하여 [표 3-6]과 같이 설정함

- 센서는 온도, 압력, 유량 등의 각종 물리적인 양을 전기신호로 변환하여 제어기로 입력하기 위한 장치임. 이 같은 센서의 특성을 정량적으로 표현하기 위해서는 센서의 규격을 정확히 설정할 필요가 있음
- 개발하고자 하는 MEMS형 압력센서의 사양 및 규격은 현재 고속 WIM 시스템에 사용되는 센서 중 가장 높은 정확도를 나타내는 스위스 Kistler사의 Linear Quartz Sensor의 규격과 사양을 대비하여 이를 초과하는 기준으로 설정함
- 기존 아날로그 방식 센서들의 출력신호 노이즈 제거, 직선성 및 신뢰성 확보를 위해 디지털 방식으로 개발함

[표 3-5] MEMS형 압력센서의 요구기능

개발센서의 기능 설정	
개발센서의 요구사항	개발센서의 요구기능
• 새로운 데이터의 취득 및 처리(피측정량을 측정, 연산하고 통계적으로 처리하여 그 결과를 메모리에 저장) • 자동교정 및 보상을 위한 자기진단 기능 • 어떤 데이터를 전송할 것인지를 스스로 선택하는 의사결정 기능 • 다른 센서와 대화기능(정보교환 기능)	• 자동 교정 기능 • 자동 보상 기능 • 데이터 처리 기능 • 주위 환경변화에 대한 유연한 대응 기능 • 메모리 기능

[표 3-6] 개발센서의 규격 및 사양

사 양 / 구 분	기존 센서 규격 및 사양		개발센서의 규격 및 사양	
	Linear Quartz Sensor	Unit	MEMS형 반도체 압력센서	Unit
Measuring Range	0~34	klbf	0~34	klbf
Sensitivity	-7.8289±5% (전하출력)	pC/lbf	3±1% (전압출력)	μV/lbf
Accuracy	±5	%FSO	±1	%FSO
Non linearity	≦±2	%FSO	≦±1	%FSO
Hysteresis	≦2	%FSO	≦1	%FSO
Operating temperature	-40 ~ 80	℃	-40 ~ 120	℃
Signal Connector				

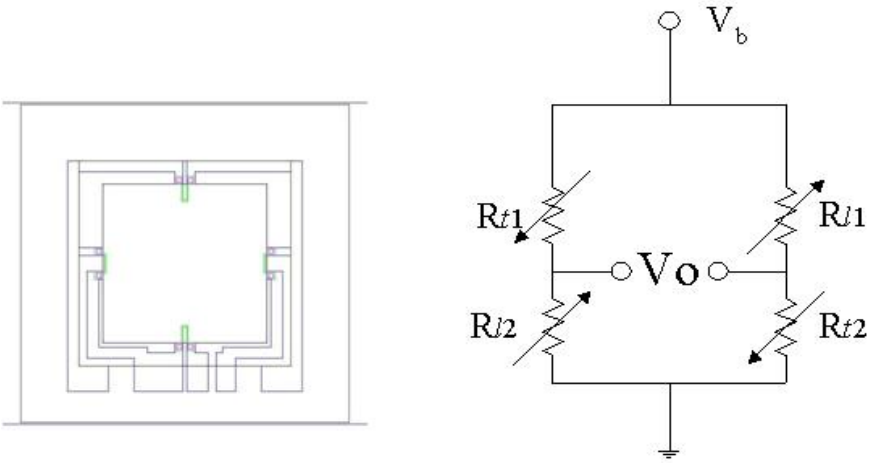
3. MEMS형 압력센서의 설계 및 마스크 제작

○ [그림 3.7]은 본 과제에서 제작한 MEMS형 실리콘 압력센서의 레이아웃과 브리지회로를 나타낸 것으로 센서를 제조하기 위하여 다이아프램의 가장자리에 4개의 압저항체를 브리지 구조로 형성하였음

○ 센서의 크기는 2×2 mm^2이고, 다이아프램의 크기는 1.0×1.0 mm^2, 두께는 15 μm로 설계 제작

○ 다이아프램의 식각창 크기는 식각 결과 형성되는 다아이프램의 변이 압력 검출용 압저항체의 가장자리 부분과 일치하도록 하여 최대의 응력이 압저항체에 가해져 센서의 감도가 최대가 될 수 있게 설계하였으며, 이때 각 압저항체의 폭은 10 μm이고, 압저항체의 길이는 250 μm로 설계하여 압저항체가 각각 3.3 kΩ의 저항이 되도록 하였음

○ MEMS형 실리콘 압력센서 제조에 사용된 마스크는 총 4장으로, 저항 형성용 마스크, 접촉창(contact open) 형성용 마스크, 금속 전극 형성용 마스크, 그리고 다이아프램 형성을 위한 뒷면 실리콘 식각용 마스크로 구성함



[그림 3.7] MEMS형 실리콘 압력센서의 레이아웃과 브리지회로

4. 센서제작을 위한 3차원 시뮬레이션

가. 3차원 시뮬레이션 개요

(1) 해석 목적

○ 본 연구에서 개발하고자 하는 MEMS형 압력센서의 다이아프램 형상과 다양한 주행 환경(속도 및 위치)에 따른 압력 결과 및 다이아프램의 응력을 알아보기 위하여 본 해석을 수행함

(2) 해석 S/W

○ VPG 3.4 : Pre Processor S/W

- Wheel 모델 구성 Module
- 유한 요소 모델링
- LS-DYNA input 설정(물성, Property, Contact 조건, 경계조건 등 정의)

○ LS-DYNA 971 R5 : Solver

- 유한 요소 해석 진행

○ LS-PREPOST / ETA Post : Post Processor S/W

- 유한 요소 해석 후처리기
- 해석 결과 판독 및 결과 파일 추출

(3) 해석 내용

○ 초기화 해석 (공통 사항)

- 공기압 초기화 해석 : Tire 공기압 100PSI에 대한 진동 초기화
- 중력 초기화 해석 : 중력에 의한 진동 초기화

○ CASE 해석

- CASE 내용 : 1×2×1×3×3×1 = 18 CASE (유체의 유동은 고려하지 않음)

[표 3-7] 3D 시뮬레이션의 CASE별 해석내용

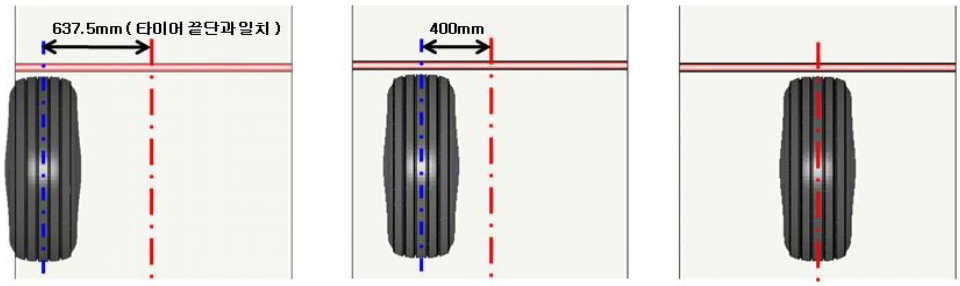
항 목	CASE	내 용
하 중 기 판	1	곡률 5mm
다이아프램	2	B Type, C Type
타 이 어	1	1 CASE(365/70R22.5)
위 치	3	
속 도	3	0Km/h, 40Km/h, 100Km/h
하 중	1	축중량 18톤(Wheel당 9톤)

나. 시뮬레이션 해석 모델

(1) 차량 타이어 모델 설정

- 규격 : 365/70R22.5 (림폭 11.75inch)
- 공기압 : 100PSI
- 하중 : 9.0 Ton

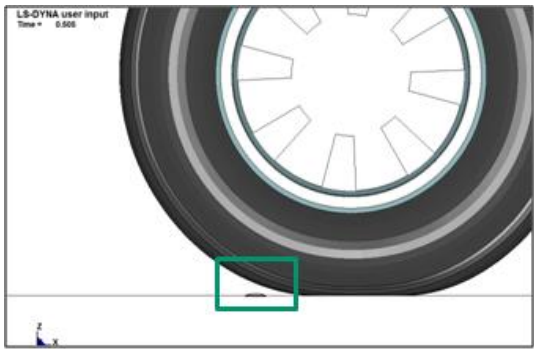
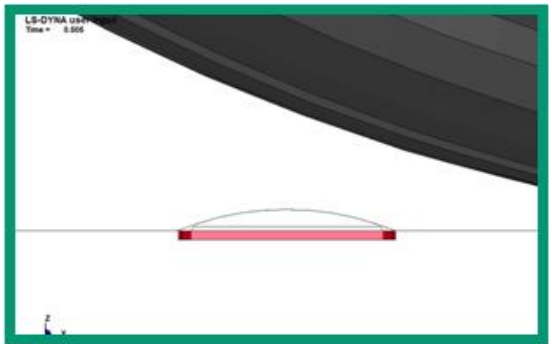
(2) 타이어 위치 설정 모델



[그림 3.8] 타이어 위치 설정 모델

(3) WIM 모델

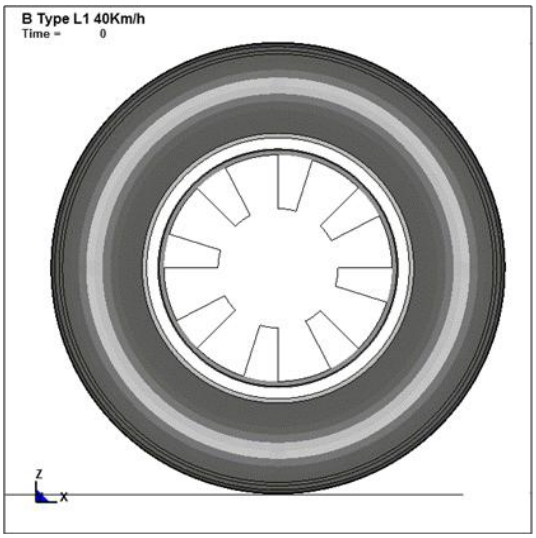
- SIZE : 가로 50mm, 세로 1600mm
- 높이 : 다이아프램 1mm, 하중기판 5mm
- 다이아프램 재질 : SUS316
- 다이아프램 형상 : 2 TYPE
- 압력 전달용 유체 모델 반영: 유동 고려되지 않음(다이아프램-바닥면 사이 공간)

WIM 센서와 Wheel/Tire 위치: 지면에서 하중기판이 5mm 돌출된 것으로 설정	
	

[그림 3.9] WIM 센서와 Wheel/Tire 위치

다. 초기화 해석

○ 타이어 공기압 초기화

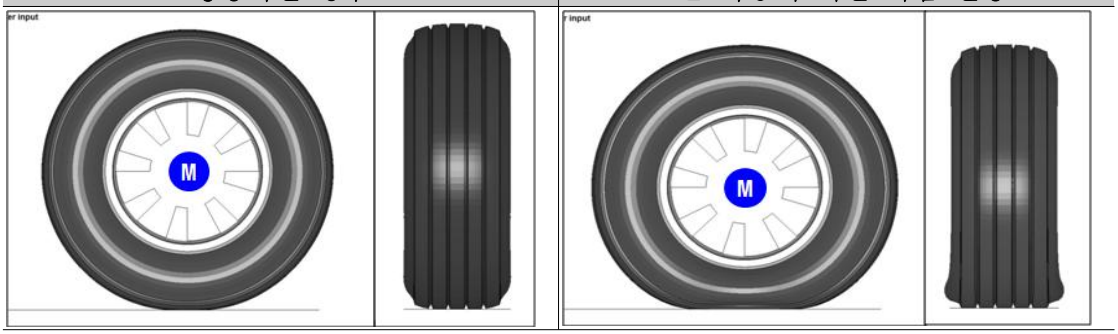
설정값: 100 PSI 공기압	
	

[그림 3.10] 타이어 공기압 변화

○ 타이어 자중에 의한 처짐 초기화 해석

- Wheel 중앙에 9톤 하중 설정
- 9톤 자중에 의한 타이어 변형 및 축 처짐 현상 발생 (62.4mm)

정상적인 경우	9톤 하중에 의한 처짐 현상



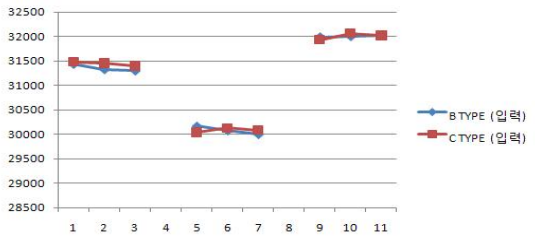
[그림 3.11] 자중에 의한 타이어 처짐 현상

라. 해석 결과

[표 3-8] 3D 시뮬레이션 해석 결과표

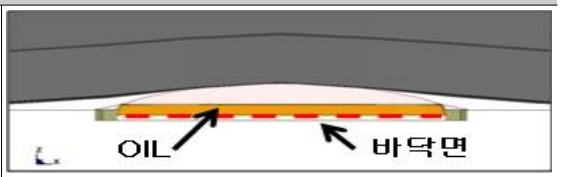
1. 타이어와 하중기판의 Force[N] : 입력하중

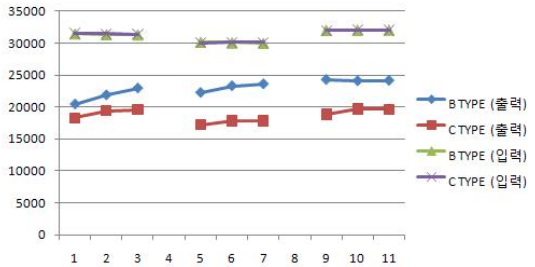
속도	위치	B Type	C Type
0 km/h	위치 1	31438	31484
	위치 2	31329	31458
	위치 3	31302	31399
40 km/h	위치 1	30173	30044
	위치 2	30081	30128
	위치 3	30005	30085
100 km/h	위치 1	31995	31935
	위치 2	32005	32068
	위치 3	32032	32023

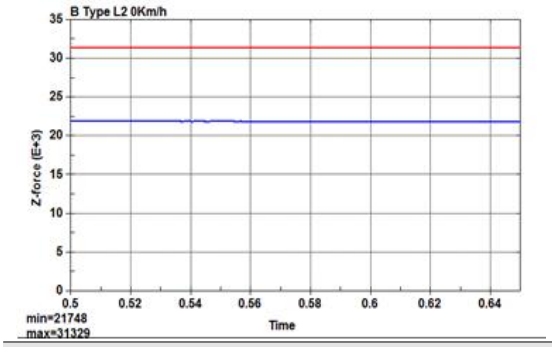
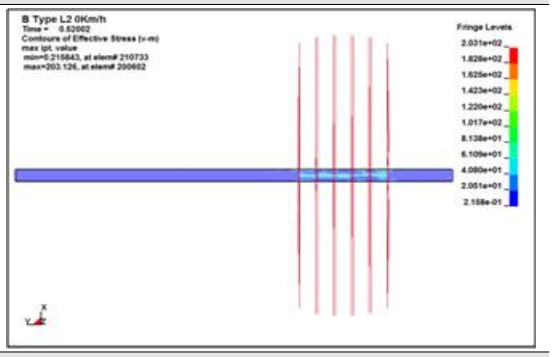
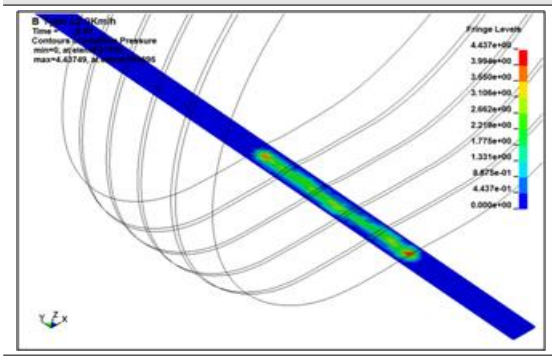
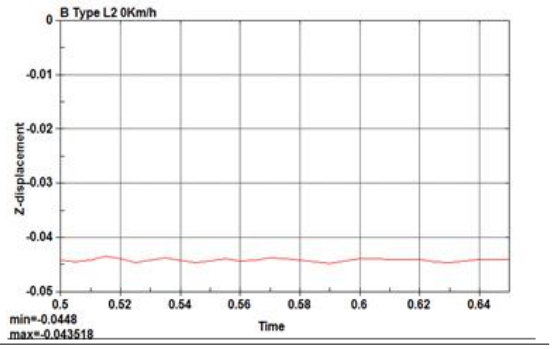


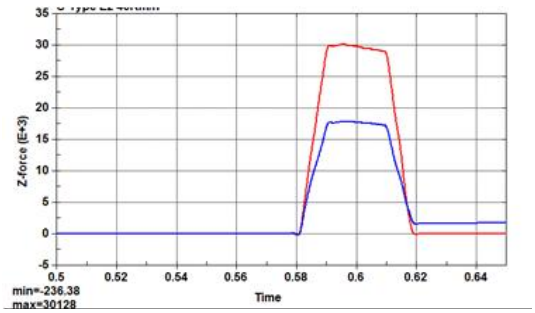
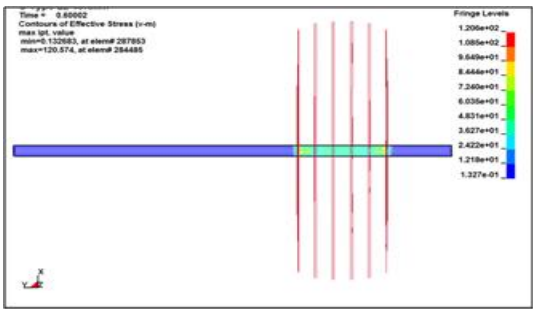
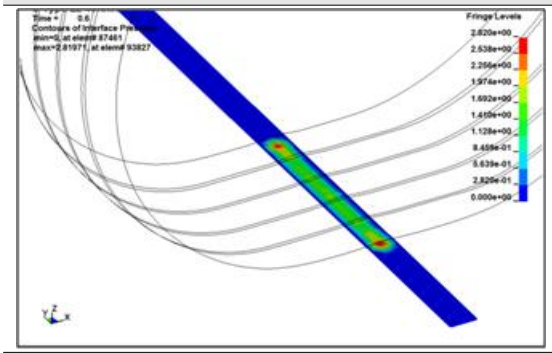
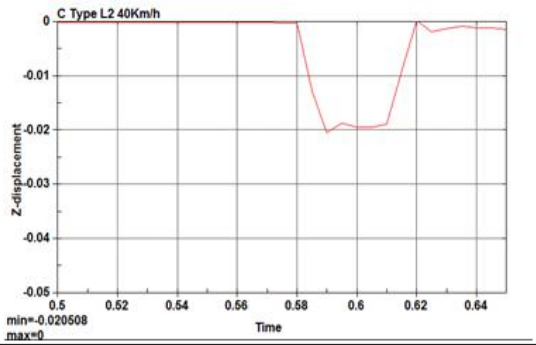
2. 오일과 바닥면간의 Force[N] : 출력하중

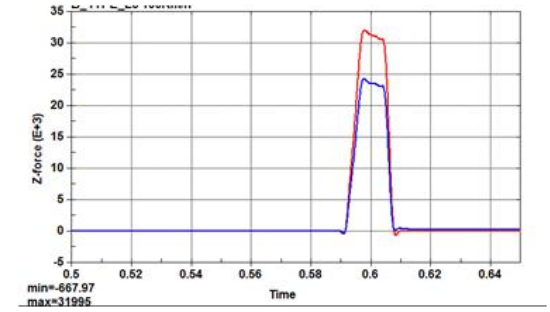
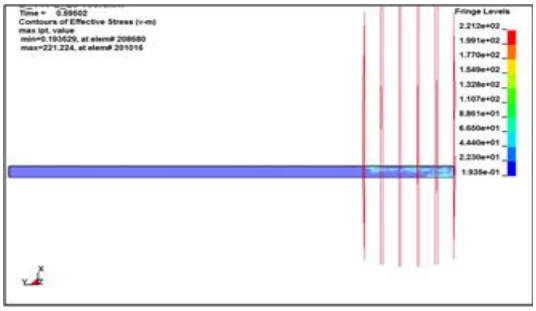
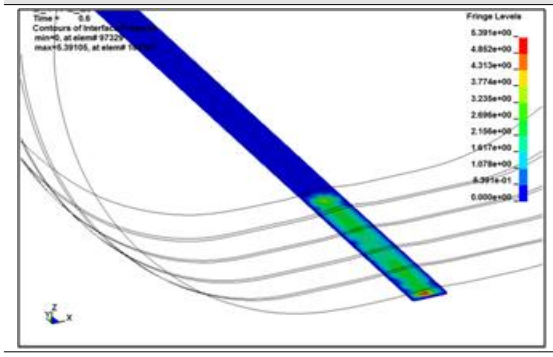
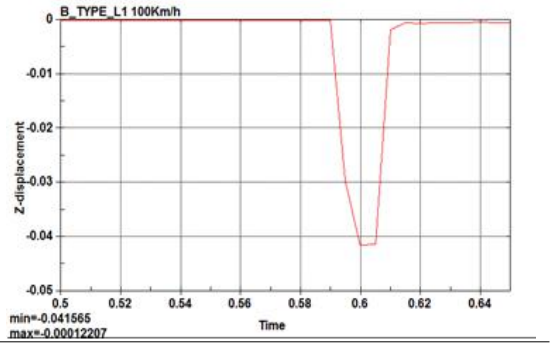
속도	위치	B Type	C Type
0 km/h	위치 1	20407	18292
	위치 2	21854	19412
	위치 3	22934	19593
40 km/h	위치 1	22233	17209
	위치 2	23292	17836
	위치 3	23593	17844
100 km/h	위치 1	24273	18853
	위치 2	24076	19672
	위치 3	24135	19664





Case : B Type 0 Km/h (위치 2)	
압력 기판과 바닥면에 걸리는 Force (N)	다이아프램 응력 : 203.1MPa
	
바닥면의 압력 : 4.43MPa	다이아프램 Z 변위 : 0.045mm
	

Case : C Type 40 Km/h (위치 2)	
압력 기판과 바닥면에 걸리는 Force (N)	다이아프램 응력 : 120.6MPa
	
바닥면의 압력 : 2.82MPa	다이아프램 Z 변위 : 0.021mm
	

Case : B Type 100 Km/h (위치 1)	
압력 기판과 바닥면에 걸리는 Force (N)	다이아프램 응력 : 222.2MPa
	
바닥면의 압력 : 5.39MPa	다이아프램 Z 변위 : 0.042mm
	

5. MEMS형 실리콘 압력센서 개발 및 제작

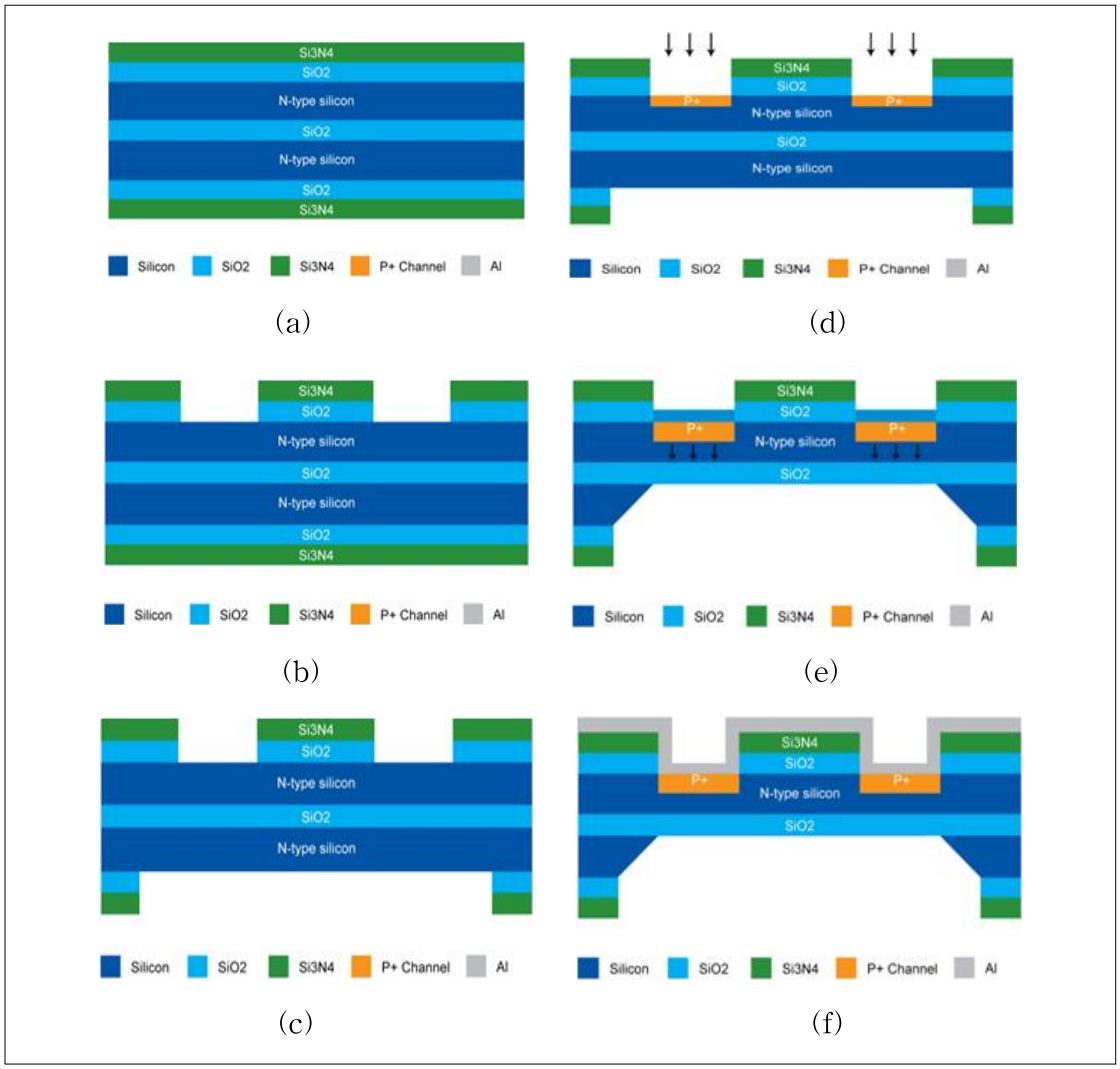
○ MEMS형 실리콘 압력센서는 웨이퍼 단위로 제조하며 웨이퍼 준비 ➡ 센서제조 ➡ 진공정전 접합의 3단계 공정과정을 통해 제작되며, 제작된 센서는 특성 검사를 위해 다양한 출력 테스트를 시행함

가. 웨이퍼 준비

○ 본 연구개발에서 결정 방향이 <100>이고 비저항이 10 Ω-cm인 n형 실리콘 웨이퍼와 1 μm 두께의 실리콘 산화막을 성장시킨 실리콘 웨이퍼를 SDB 기술로 접합시킨 웨이퍼를 사용함

○ 웨이퍼는 앞, 뒤 각각 15 μm, 450 μm n형 실리콘 사이에 1 μm 두께의 산화막이 있

는 구조이고, 앞뒷면으로 3500Å의 실리콘 질화막 (Si_2N_4)이 저압 화학 기상증착법 (LPCVD)으로 형성되어 있음



[그림 3.12] 개발센서 제조공정 순서

나. MEMS형 실리콘 압력센서 제조

○ [그림 3.12]는 개발한 MEMS형 실리콘 압력센서의 제조공정 순서를 압력센서의 단면으로 표출한 것이며, 다음과 같은 세부공정을 통해 센서를 제조함

- 준비된 기판 위에 양면 마스크 정렬기(aligner)를 이용하여 앞면의 저항체 및 뒷면의

다이아프램 패턴을 사진 식각법(photo lithography)으로 형성함

- 양면의 질화막은 건식 식각(plasma etching)법을 이용하여 식각한 후 BHF(buffered HF)를 이용하여 양면의 실리콘 산화막을 식각함
- 앞면에 저항이 형성될 부분의 실리콘 산화막이 제거되면 이온주입기를 이용하여 저항을 형성하는데, 이는 웨이퍼 전면에 대해 균일한 저항을 형성시키고 정확한 불순물량을 주입하기 위한 것으로 붕소 원자를 도우즈(dose) 3×10^{15} /cm^2, 70keV의 가속에너지로 이온 주입을 하였음
- 이후 1000 ℃에서 1시간 동안 습식 산소 분위기에서 어닐링하여 주입된 이온들을 활성화시키고 이때 형성된 압저항체의 면저항은 대략 136 Ω으로 측정됨
- 저항 형성이 끝난 후 다이아프램을 형성하기 위한 뒷면 450 μm 실리콘 에칭시 앞면을 보호하기 위하여 1500 Å 두께의 Si_2N_4를 앞면에 저압 화학 기상 증착법으로 증착시킴
- 4000mℓ의 증류수에 KOH 1000 g 을 용해시킨 수용액으로 83 ℃에서 이방성 식각을 4시간 50분 행하였는데, 이때 시각율은 1.55μm/min이었으며. 웨이퍼 중앙의 1 μm 산화막이 시각 중지층(etch-stop)으로 사용되어 다이아프램 두께의 정확한 조절이 가능하였음
- 뒷면이 실리콘 식각으로 다이아프램이 형성된 후에는 다이아프램 아래의 산화막과 웨이퍼 뒷면의 질화막, 산화막을 모두 제거함
- 다이아프램 아래의 산화막은 다이아프램의 특성에 영향을 미치므로 모두 제거해야 하고, 웨이퍼 뒷면의 질화막과 산화막은 다이아프램의 공극(cavity)을 진공으로 만들기 위해 유리(pyrex 7740)와의 정전 접합을 위해 제거해야 함
- 그 후 사진식각법을 이용하여 전극 접촉부의 실리콘 산화막을 제거하고 알루미늄 박막을 진공증착하여 전극을 형성함
- 마지막으로 다이아프램 내의 공극을 진공으로 하기 위하여 유리 (Pyrex 7740)와 진공 중(10^{-3} torr)에서 양극 접합(silicon-glass anodic bonding)을 행함

다. 진공정전 접합

○ 압력센서는 다이아프램이 파괴되었을 때 압력매체가 소자 외부로 누출되어서는 안되기 때문에 다이아프램의 아래 부분에 세지 않는 기준실(reference cavity)을 만들어 주어야 하며 이때 공극 안에 공기 입자가 존재하게 되면 주위의 온도변화에 따라 공

곡안의 압력이 바뀌게 되어 온도에 따른 오프셋 전압과 감도가 많은 폭으로 변하게 됨. 따라서 온도 변화에 따른 오프셋 전압의 변화와 감도의 변화가 일어나지 않도록 하려면 다이아프램 공극내부를 진공상태로 제작

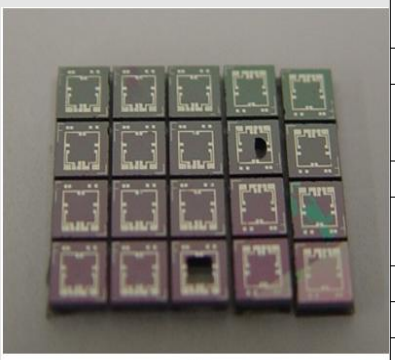
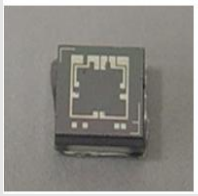
○ 따라서 본 실험에서는 이러한 진공상태를 만들어 주기 위하여 센서의 다이아프램 부분을 10^{-3} torr 이하의 압력 하에서 300 μm 두께의 pyrex 7740 유리와 400 ℃에서 정전 접합시켰으며, 실리콘에는 (+)전압을 그리고 유리에는(-)전압을 인가하였고 이때 인가한 전압은 +1000 V

○ 진공실은 접합과정을 관찰하기위하여 직격이 3300 mm 반구형인 파이렉스 재질의 벨잘(bell jar)을 이용하였으며, 히터는 두께가 60 mm이고 지름이 250 mm인 스테인레스 재질의 원형 히터를 사용함

○ 히터의 표면온도는 정전접합에 필요한 온도인 300~500 ℃까지 가열되도록 70V, 1kW의 히터를 사용하였으며, 1000 V이상의 고전압을 실리콘과 유리에 공급할 수 있는 전원 공급원을 사용

[그림 3.13] 진공정전 접합 장치도

[표 3-9] MEMS형 압력센서의 입출력 값

	매개변수(Parameter)	값(Value)
	센서압력범위 (Pressure Sensor Range)	300 psi(Absolute)
	초과압력(Over Pressure)	3X
	입력저항(Input Resistance)	3.5 kΩ(min: 2.0kΩ, max: 5.8kΩ)
	출력저항(Output Resistance)	min: 4.0kΩ, max: 6kΩ
	무부하출력 (Zero Pressure Output)	± 35 mV
	공급전류(Supply Current)	1.5 mA
	전압 폭(Span)	100 mV(±25mV
	반복성(Repeatability)	± 0.02 %Span
	장기안정성 (Long Term Stability)	>0.25%FS per annum
	작동온도 (Operating Temperature)	-40~125℃
	온도영향 (Temperature Effect)	± 1 %Span
	응답속도 (Response Time)	>2 m/s

6. 제작센서의 출력 특성 테스트

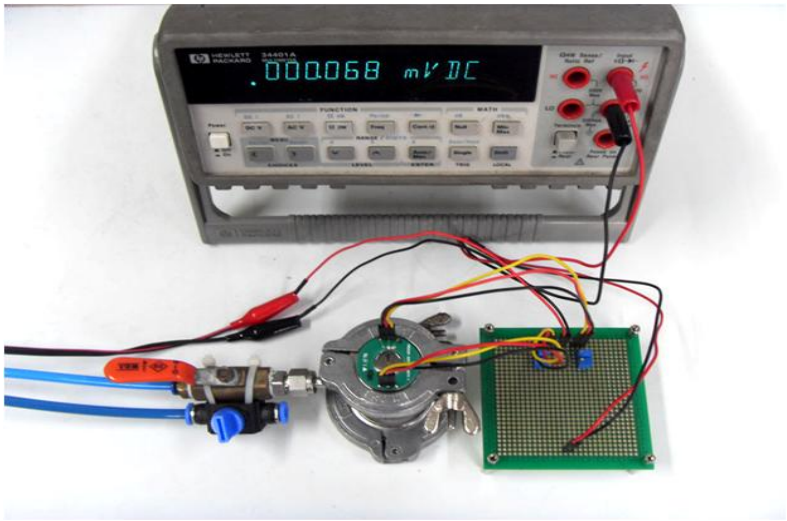
○ 본 연구에서는 다음과 같이 크게 두가지로 구분하여 시제품으로 제작된 반도체식 MEMS형 압력센서를 테스트

① MEMS형 압력센서 자체 특성값 테스트

- 다이어프램의 단위면적당 균일한 하중을 인가하기 위한 이상적인 가압 방법으로 압축된 질소가스를 이용한 공압 측정방식으로 하중을 측정한 후, 압저항값을 이용하여 차량의 하중을 측정하는 센서의 특성을 고려하여 압저항값의 특성 변화를 테스트함
- 압력변화에 의한 압저항 변화 측정
- 압력변화에 의한 출력전압 변화 측정
- 센서 압저항값의 비선형 특성 측청
- 센서 압저항값의 온도 특성 테스트

② 센서 Body의 분동테스트

- 저울 또는 중량계측기가 측정한 무게값의 정확도는 표준 분동으로 테스트하며, 법정계량의 통일화를 위해 국제법정계량기구인 OIML(International Organization Legal Metrology)에서 그 내용을 정의하고 있음
- 따라서 본 연구에서는 개발된 센서의 중량 측정 정확도를 확인하기 위해 센서 Body의 분동테스트를 수행함



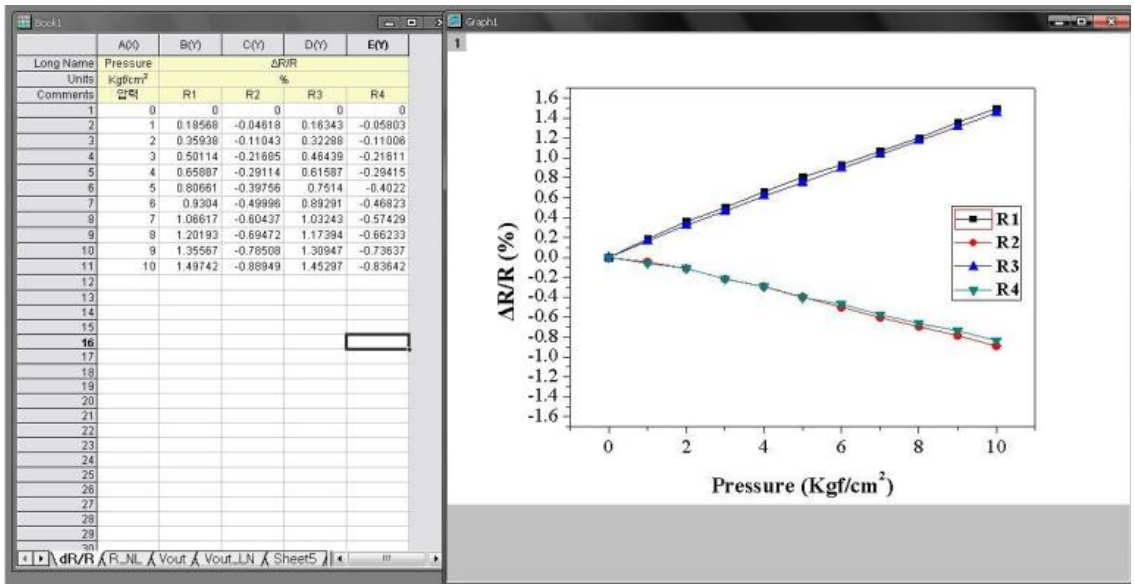
[그림 3.14] 하중인가를 위한 가압측정 장치

가. 압저항 변화 특성 테스트

○ 제작된 MEMS형 실리콘 압력센서에 0~10 kgf/cm^{2}의 범위에서 압력을 증가 시켰을 때 다이아프램 가장 자리에 위치한 각각의 압저항에 대한 저항변화율을 측정 하였고 그 결과는 [그림 3.16]와 같이 표출되었음

○ 압력센서에 인가되는 게이지압을 1 kgf/cm^2 단위로 증가시켰을 때 종방향(Longitudinal strain) 압저항 Rl1, Rl2(R1, R3)는 인가된 압력에 따라 평균 0.1475 %/kg으로 저항이 증가하고, 횡방향(Transverse strain) 압저항 Rt1, Rt2(R2, R4)는 인가된 압력에 따라 평균 -0.0863 %/kg으로 저항은 감소하였음

○ 횡방향 압저항이 종방향 압저항의 변화율보다 작은 이유는 압저항의 위치가 압력이 인가되었을 때 다이아프램의 가장자리에서 발생하는 최대변형 지점을 벗어나 있기 때문인 것으로 판단됨



	A(X)	B(Y)	C(Y)	D(Y)	E(Y)
Long Name	Pressure	ΔR/R			
Units	Kgf/cm²	%			
Comments	압력	R1	R2	R3	R4
1	0	0	0	0	0
2	1	0.18568	-0.04618	0.16343	-0.05803
3	2	0.35938	-0.11043	0.32288	-0.11006
4	3	0.50114	-0.21685	0.46439	-0.21611
5	4	0.65887	-0.29114	0.61587	-0.29415
6	5	0.80661	-0.39756	0.7514	-0.4022
7	6	0.9304	-0.49996	0.89291	-0.46823
8	7	1.06617	-0.60437	1.03243	-0.57429
9	8	1.20193	-0.69472	1.17394	-0.66233
10	9	1.35567	-0.78508	1.30947	-0.73637
11	10	1.49742	-0.88949	1.45297	-0.83642

[그림 3.16] 압력변화에 따른 압저항의 변화율

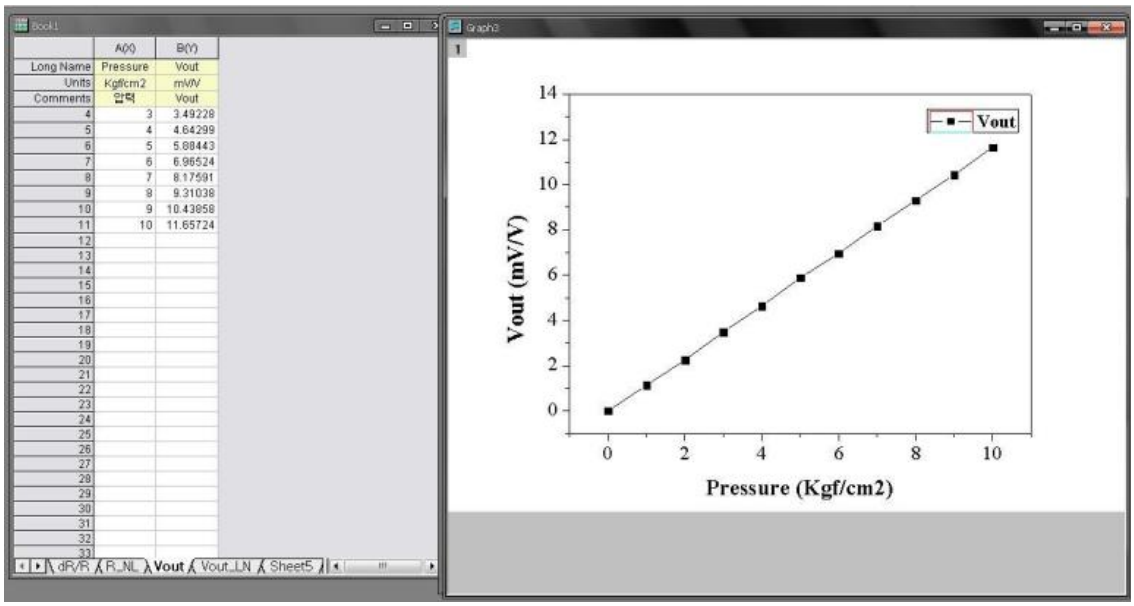
[시험일자: 2011. 06. 19, 실험횟수: 각 10회, 종방향 압저항: R1/R3, 횡방향 압저항: R2/R4]

나. 출력전압 특성 테스트

○ [그림 3.17]은 제작된 MEMS형 실리콘 압력센서에 0~10 kgf/cm^{2}의 범위에서 압력을 증가 시켰을 때 나타난 출력전압을 측정한 결과를 그래프로 나타낸 결과임

○ 압력을 인가하지 않았을 때 압력센서의 브릿지 입력전압 5 V에 대한 초기 출력전압은 12.0004 mV로 나타났으며, 이는 절대압 센서에서 1기압에 대한 출력값으로 12.0004 mV의 Offset 전압이 발생한 것으로 관찰됨

○ 입력전압이 5 V일 때 압력의 변화에 대한 MEMS 압력센서의 출력전압은 5.75 mV/kg로 1 kgf/cm^{2}당 출력감도는 1.15 mV/V로 측정됨



[그림 3.17] 압력에 대한 출력전압의 특성

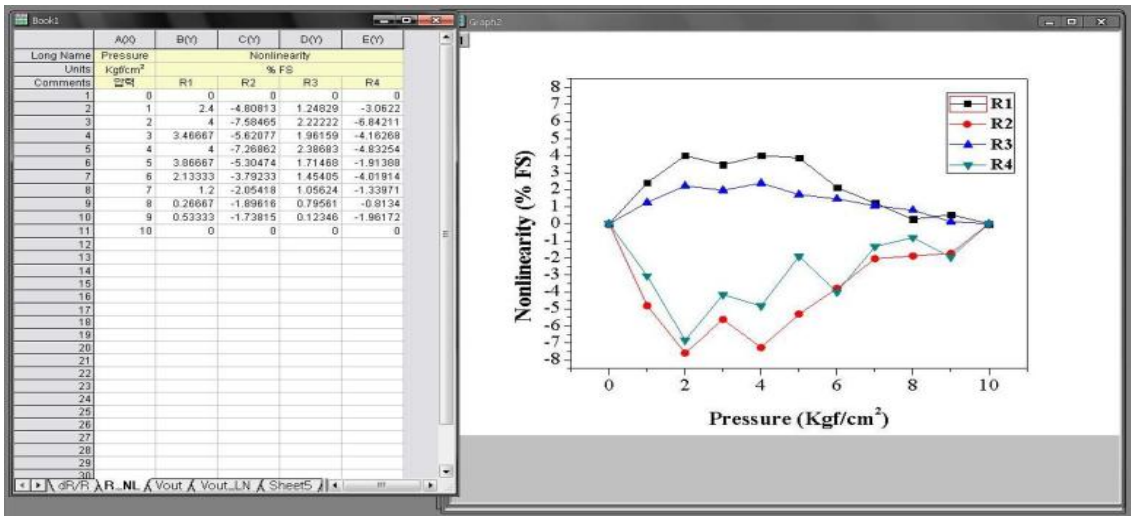
[시험일자: 2011. 06. 29, 실험횟수: 10회]

다. 압저항의 비선형성 테스트 1

○ [그림 3.18]은 제작된 MEMS 압력센서에 0~10 kgf/cm2의 범위에서 압력을 증가 시켰을 때 다이아프램 가장 자리에 위치한 각각의 압저항에 대한 선형성을 측정하였음

○ 센서에 압력을 증가시킬 때 출력곡선이 이상적인 직선으로부터 벗어남의 정도를 비직선성(Non-linearity)이라고 하는데, 본 연구개발에서 제작된 반도체식 MEMS형 압력센서에서 종방향 압저항의 비직선성은 평균 3.1934 % 그리고 횡방향 압저항의 비직선성은 6.0506 %로 나타남

○ 단결정 실리콘을 사용한 압력센서임을 감안하면 비교적 오차가 크게 나왔는데 이는 압력센서의 오차보다는 센서를 패키징하면서 사용된 접착제(Loctite 304)와 보호막(NOA61)에 응력이 작용하여 발생한 오차로 판단됨



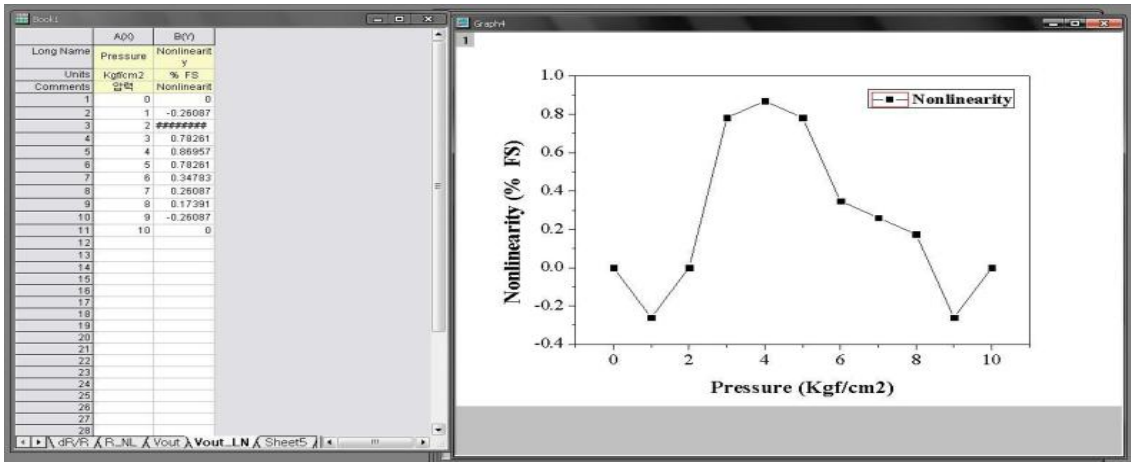
[그림 3.18] 압저항의 비선형 특성(범위: 0~10 kgf/cm^2)

[시험일자: 2011. 07. 05, 실험횟수: 각 10회, 종방향 압저항: R1/R3, 횡방향 압저항: R2/R4]

라. 압력센서의 비선형성 테스트 2

○ [그림 3.19]는 개발된 MEMS형 압력센서에 압력을 인가하지 않았을 때의 출력전압과 정격 압력 시의 출력전압을 이은 직선을 기준으로 하고, 이 직선으로 부터의 최대 편차를 full scale에 대한 %로 나타난 결과를 표출한 것인데, 제작된 압력센서의 최대 비직선성 오차는 압력 4 kgf/cm^{2}일 때 가장 크게 나타나며 0.8696 % FS로 측정되었음

○ 측정오차와 센서를 패키징하면서 발생하는 오차를 줄인다면 출력전압의 비선형성을 0.1 % FS 이하로 충분히 줄일 수 있을 것으로 판단됨



[그림 3.19] 압저항의 비선형 특성(범위: 압력 무인가)

[시험일자: 2011. 07. 05, 실험횟수: 10회]

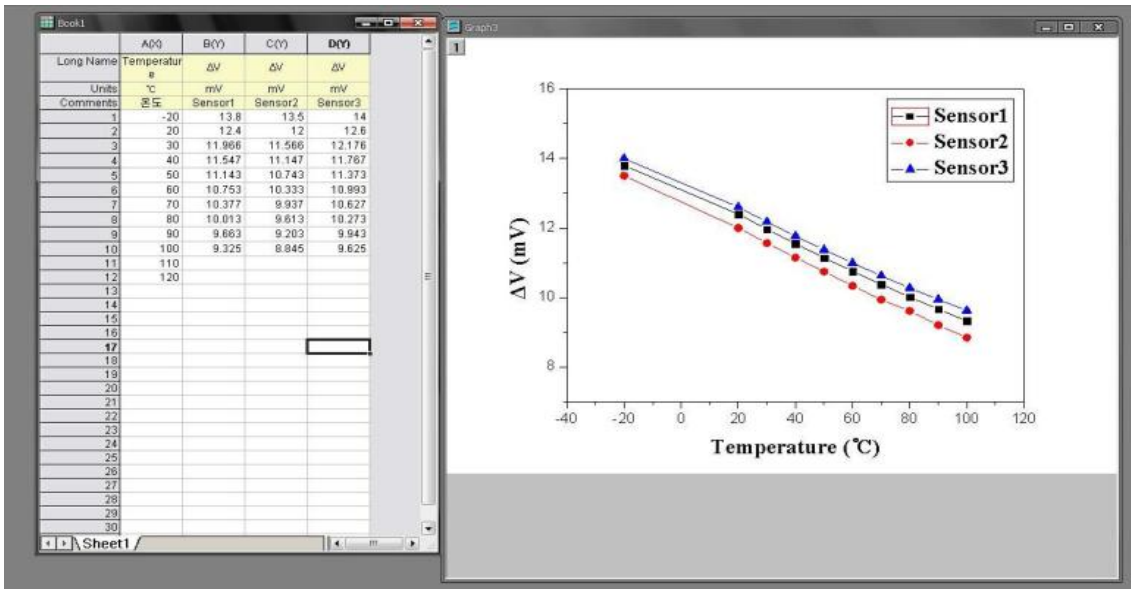
마. 센서 압저항의 온도특성 테스트

○ 온도 측정용 전자온도계를 이용하여 압저항의 온도특성을 테스트함. 중량센서의 온도영향에 대한 민감도를 감안하여 3개의 센서를 대상으로 테스트를 수행함

○ 온도측정 범위는 -20℃~100℃로 설정하여 테스트

○ 압저항의 온도특성 결과:

- 20도일 때 off 전압이 2.48mV/V였고, 온도에 따라 선형으로 변화함
- 본 개발센서의 소재인 실리콘의 특성을 감안하면 좀 더 큰 범위까지 선형적으로 변할 것으로 예측됨
- 온도의 변화가 선형인 것으로 확인된 바, 보상회로를 적용할 경우 압저항의 온도변화를 정확하게 추정할 수 있음



[그림 3.20] 센서 압저항의 온도특성 테스트

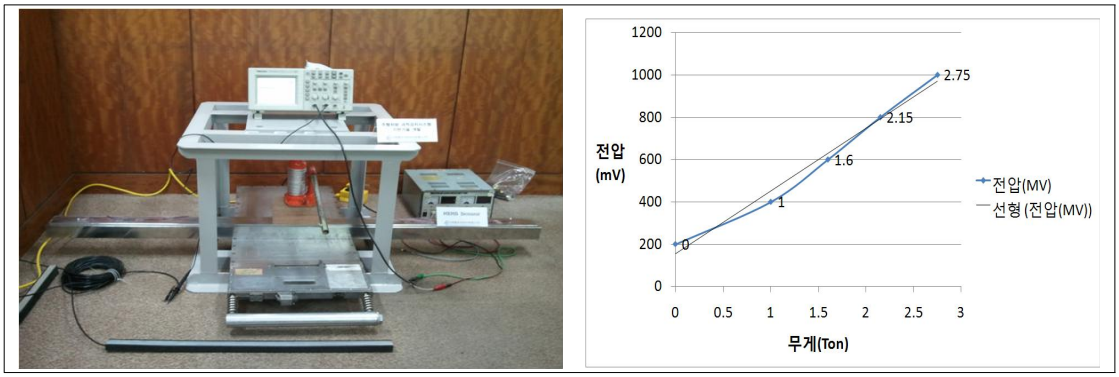
[시험일자: 2011. 07. 08, 실험횟수: 각 10회, 실험센서: 3개]

바. 센서 Body 테스트

(1) 센서 Body 출력전압 테스트

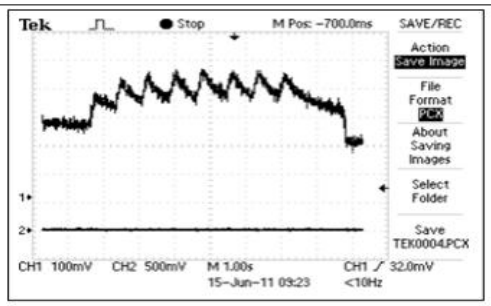
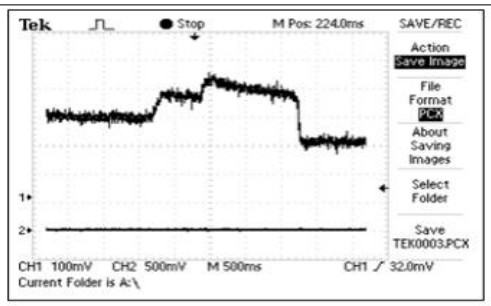
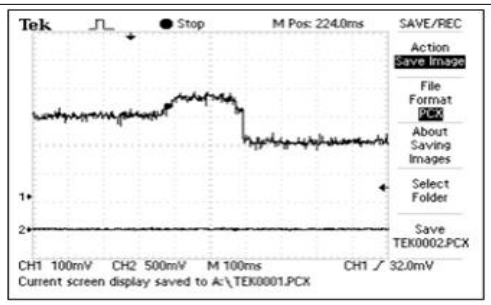
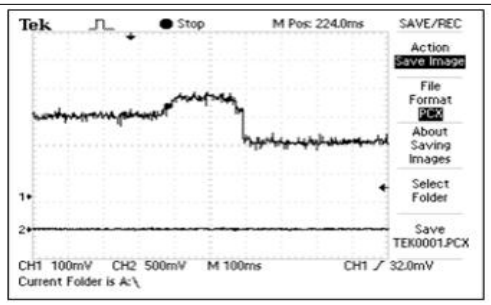
○ 실제 현장 적용 이전에 제작된 센서의 중량 측정의 정확도 환산을 위해 출력전압 변화량을 테스트

○ 실내 환경에서의 압력 조절장치 및 이동식축중기를 사용하여 압력인가시 출력 변화량을 측정하며, 0.5톤 단위로 최고 3톤 까지 테스트



[그림 3.21] 제작센서(Body)의 출력전압 테스트

[표 3-10] 압력에 의한 전압 변화량

(2) 센서 Body의 분동 테스트

○ 본 과제에서 제작된 센서의 정적하중 측정 정확도를 테스트하기 위해 분동을 이용하여 500Kg ~ 5,000Kg까지 500Kg단위로 중량 테스트를 시행함

$$x_i = \frac{(Wm_i - Wt_i)}{Wt_i} \times 100\%$$

여기서, X_i = 하중 평균오차(%), W_{mi} = MEMS 센서의 하중측정값, Wti = 분동값

○ 분동 테스트 내용 및 결과

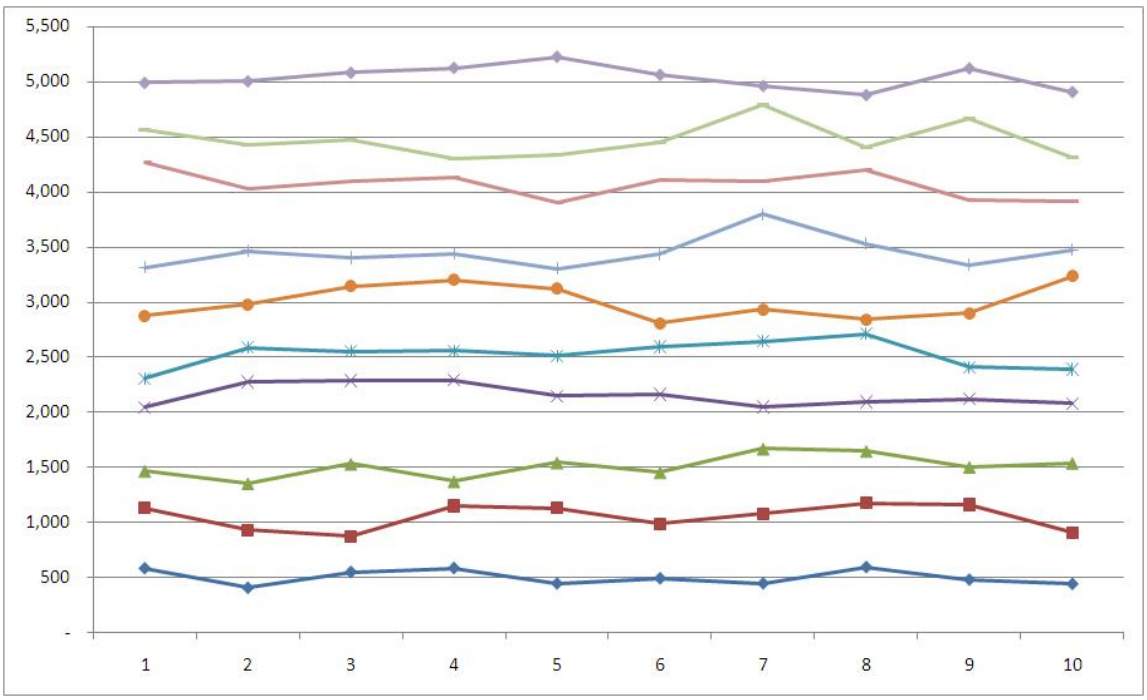
- 실내 환경에서의 압력 조절장치를 이용하여 디지털 인디게이터의 화면과 제작된 센서의 출력전압을 무게로 환산하여 비교 검증 함

분동시험기	중량 인가 시험
	중량 표출 장치

[그림 3.22] 제작센서의 분동 테스트 환경

[표 3-11] 제작 센서 분동테스트 결과

분동무게 측정횟수	500Kg	1,000K	1,500K	2,000K	2,500K	3,000K	3,500K	4,000K	4,500K	5,000K	비고
1회	590	1,133	1,468	2,045	2,307	2,873	3,316	4,263	4,567	4,991	
2회	415	928	1,354	2,278	2,590	2,980	3,466	4,023	4,429	5,005	
3회	556	875	1,532	2,290	2,553	3,148	3,401	4,094	4,469	5,082	
4회	592	1,148	1,373	2,293	2,556	3,208	3,439	4,124	4,301	5,126	
5회	454	1,129	1,544	2,148	2,511	3,126	3,306	3,903	4,334	5,225	
6회	500	986	1,455	2,164	2,593	2,808	3,435	4,110	4,454	5,063	
7회	455	1,078	1,671	2,048	2,643	2,934	3,797	4,094	4,794	4,963	
8회	600	1,174	1,649	2,095	2,712	2,841	3,534	4,201	4,408	4,881	
9회	488	1,160	1,505	2,121	2,411	2,899	3,343	3,929	4,667	5,121	
10회	450	908	1,540	2,076	2,392	3,237	3,475	3,917	4,309	4,909	
평균(kg)	510	1,052	1,509	2,156	2,527	3,005	3,451	4,066	4,473	5,037	
Min(Kg)	415	875	1,354	2,045	2,307	2,808	3,306	3,903	4,301	4,881	
Max(Kg)	600	1,174	1,671	2,293	2,712	3,237	3,797	4,263	4,794	5,225	
평균오차(%)	1.96	4.93	0.60	7.23	1.06	0.18	-1.41	1.62	-0.60	0.73	
표준편차(Kg)	68.89	115.8	103.1	98.36	123.7	159.9	141.9	121.7	160.5	106.6	



[그림 3.23] 제작 센서 분동테스트 결과(Y축: 측정중량단위-Kg, X축: 실험횟수)

7. MEMS형 실리콘 압력센서 설계도 및 결과

○ 본 연구에서는 최적의 센서를 개발하고자 3가지 형태의 프로토타입 MEMS형 실리콘 압력센서를 개발 제작하였으며 다양한 테스트를 수행하여 향후 적용성을 높일 수 있도록 함

- A Type : 상판면이 평평한 구조의 센서 Body
  - 오일 주입 특성 양호함
  - 하중 전달 위치에 따른 압력 오차가 적음
  - 가압이 강할 경우에는 주입된 오일이 유출될 수 있는 단점이 있음

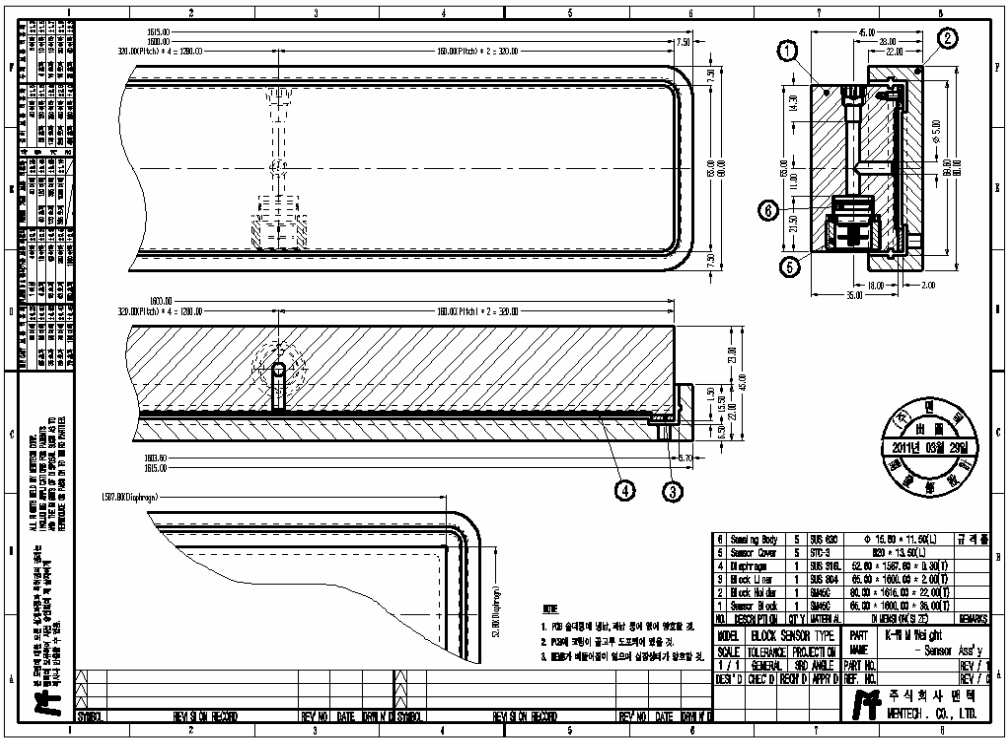
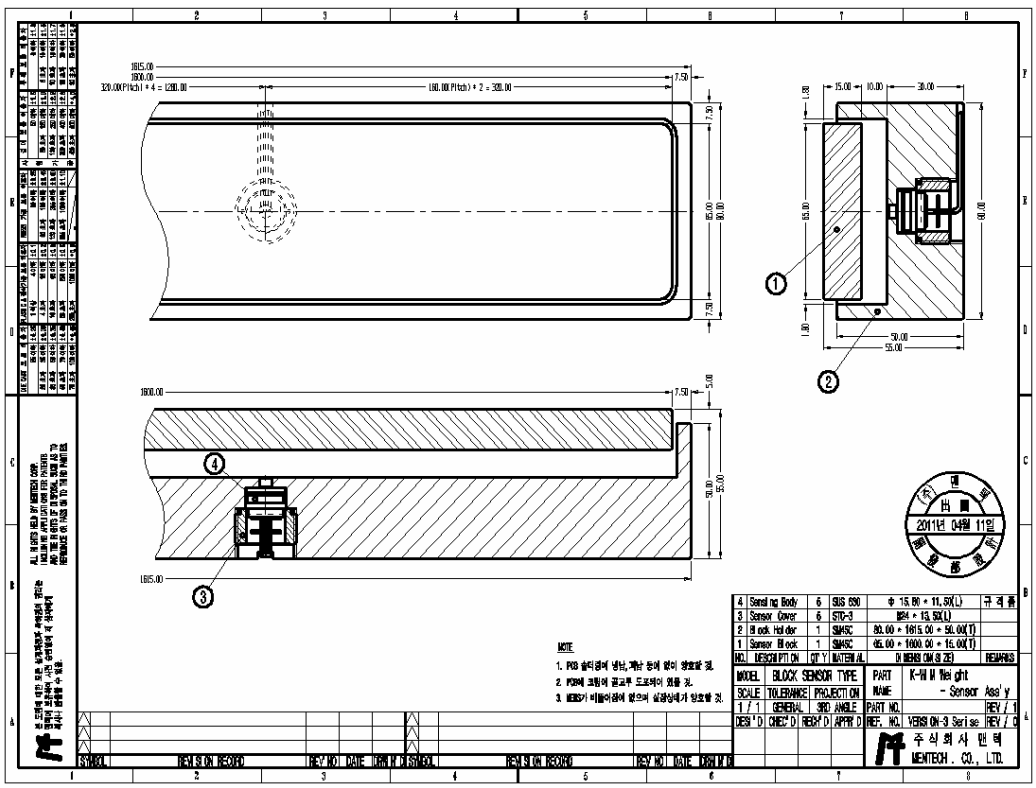
- B Type : 센서 Body의 상판면이 A Type과 같은 평평한 구조이나, 타이어의 폭과 측도를 파악할 수 있는 Multi-Channel 형 센서
  - 위치에 따른 압력 분포도를 측정 할 수 있음
  - 하중의 위치를 확인 할 수 있음
  - Data Base에 의한 2차 알고리즘 구현을 해야 하는 단점이 있음

- C Type : 파이프 형 센서
  - 하중의 위치에 따른 압력의 오차가 적음
  - 설치가 용이함
  - Type A나 B에 비해 경량이며 저가

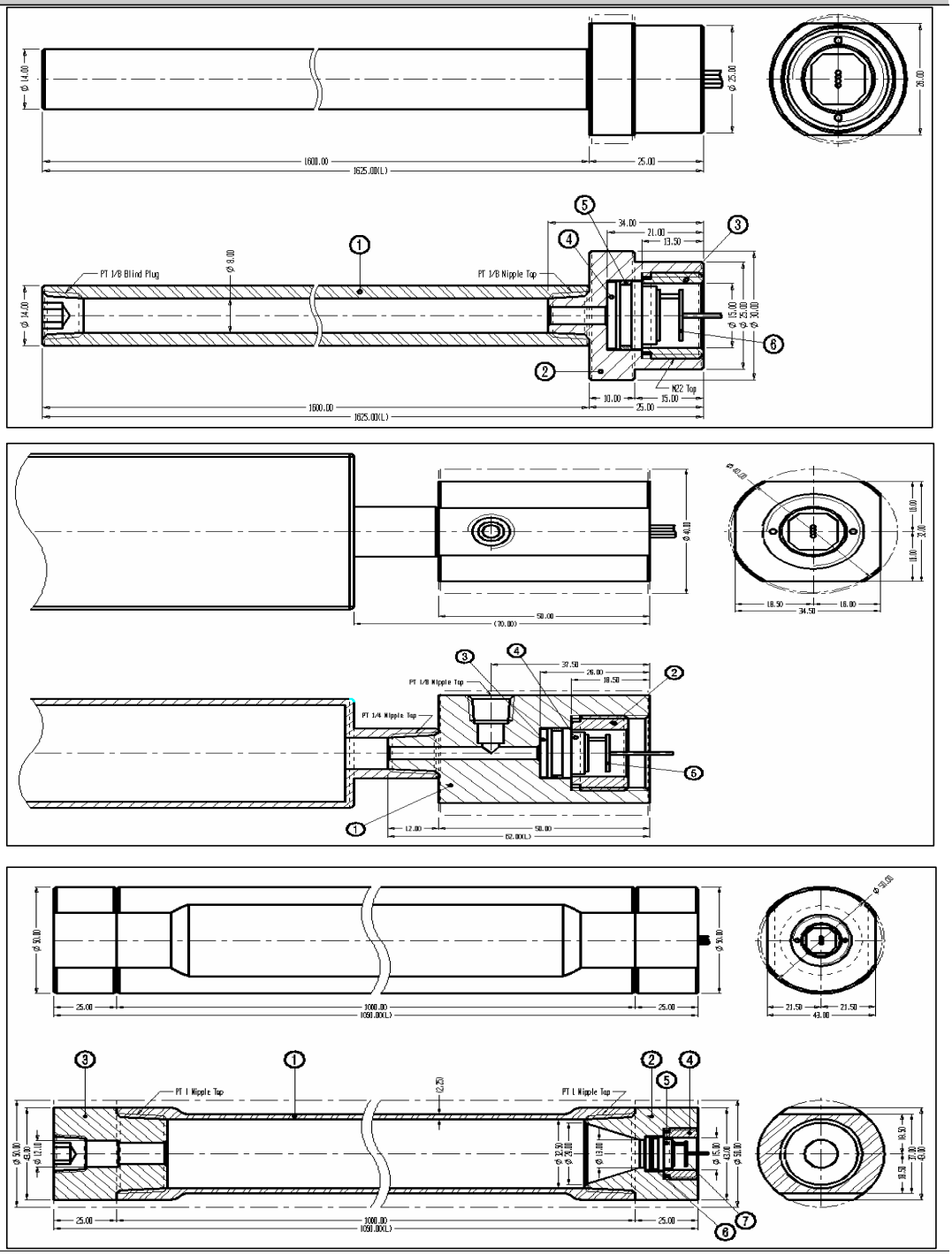
[표 3-12] 개발 제작된 센서 형태

A Type	B Type	C Type

[표 3-13] 제작센서 설계도면

Type	설 계 도 면
A	
B	

[표 3-13] 제작센서 설계도면(계속)

Type	설 계 도 면
C	

제2절 과적검지 제어기 설계

1. 과적검지 제어기의 용도 및 기능

○ 과적검지 제어기는 고속 WIM 센서의 출력신호를 특정 출력신호로 변환하여 과적검지 알고리즘과 제어시스템에 제공하는 주행차량 과적검지 시스템의 핵심 장비이며, 센서의 입출력 신호처리와 검지제어 알고리즘 그리고 상단과 하단의 통신이 핵심요소 기술임

○ 일반적으로 과적검지 제어기는 입력모듈로부터 표준버스를 통하여 차량정보를 수집하고 이를 저장, 가공 및 전송하는 역할을 수행하고 수집된 정보는 별도의 장치에 저장하는 기능을 수행함

- 데이터 저장 기능
  - 시스템 운영에 필요한 데이터베이스를 저장
  - 시스템 운영 이력을 저장
  - 입력 모듈로부터 수집된 원시자료를 저장
  - 입력 모듈로부터 수집되어 가공된 데이터를 저장

- 데이터 전송 기능
  - 센터 타 시스템으로 데이터 전송이 가능
  - 유지보수 또는 엔지니어링 콘솔로 필요한 데이터를 송수신

- 데이터 가공 기능
  - 축하중, 총중량, 차종분류, 속도 등 차량정보 생성
  - 통계 자료(일별, 월별) 생성
  - Trend 자료 생성
  - 이벤트 자료 생성
  - 축하중 등의 중량보정 기능 등

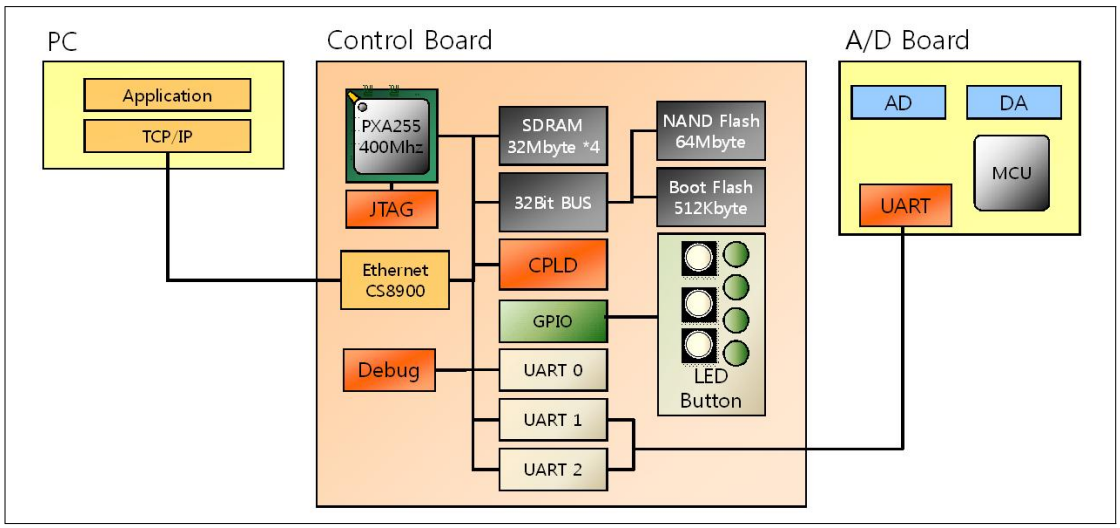
2. 개발제어기 시스템 구성 및 개발환경

가. 전체 시스템 구성

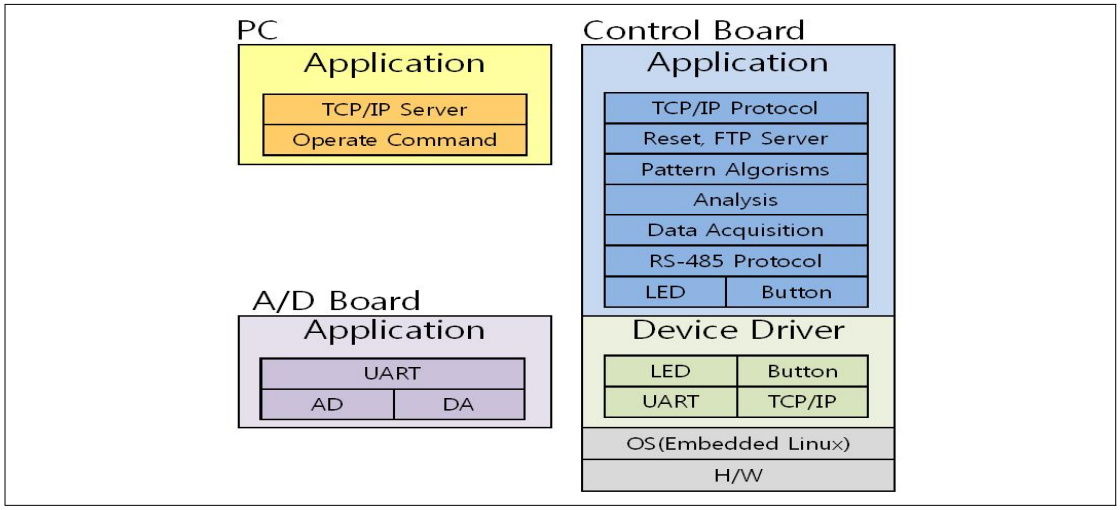
○ [그림 3.24]는 개발 과적검지 제어기에 대한 전체 시스템 구성도를 도식화한 것인데, 공개소프트웨어 운영체제인 Linux Kernel이 운영되는 Control 보드와 A/D 보드와의 통신을 위해 UART(RS-485) 인터페이스로 구성되어 있으며 PC 애플리케이션은 Control 보드와 TCP/IP통신이 이루어지고 PC 애플리케이션은 사용자 인터페이스를 제공하도록 함

○ 과적차량 검지제어를 위한 소프트웨어는 [그림 3.25]과 같이 사용자 인터페이스를 제공하는 PC 애플리케이션과 부문과 Control 보드 부문으로 구성 되어 있음

○ 이 같은 제어시스템을 개발하기 위해 당해연도에는 회로설계, PCB 디자인, 운영체제(Linux) Porting 등을 수행하여 차년도에 개발을 완료하는 것을 목표로 함



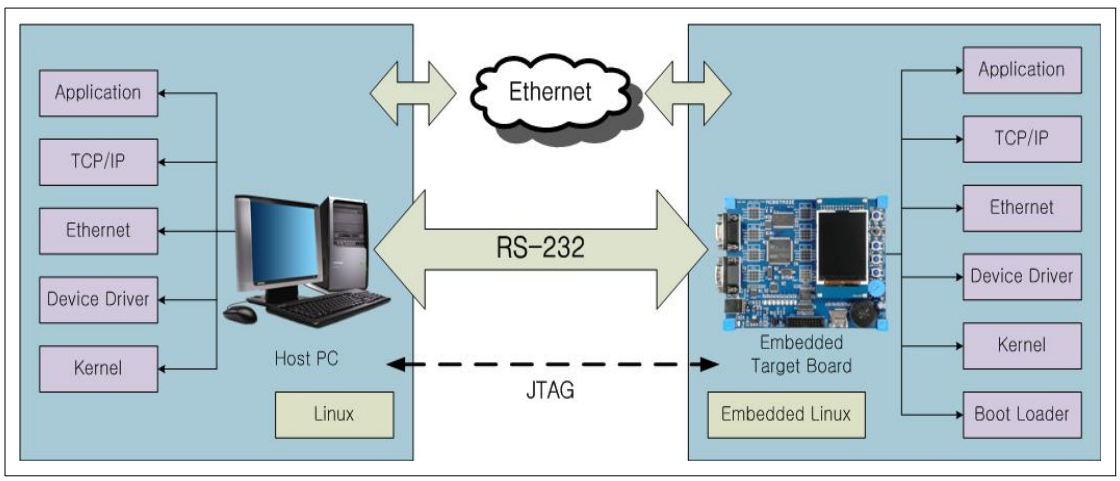
[그림 3.24] 제어기 전체시스템 구성도



[그림 3.25] 제어기 운영 소프트웨어 구성도

나. 운영체제 포팅을 위한 개발 환경

○ 본 연구과제의 개발환경은 개발환경과 실행환경이 다른 크로스 개발환경으로 수행. 즉 HOST PC에서 제어기 보드의 소프트웨어를 개발하고 작성한 소프트웨어를 제어기 보드에 전송하여 실행하는 환경이며, 이 환경에서 Bootloader 포팅, 소스패치 및 컴파일, Linux Kernel Patch & Kernel 포팅 등의 개발 작업을 진행함. [그림 3.26]는 크로스 개발 환경을 도식화한 것임



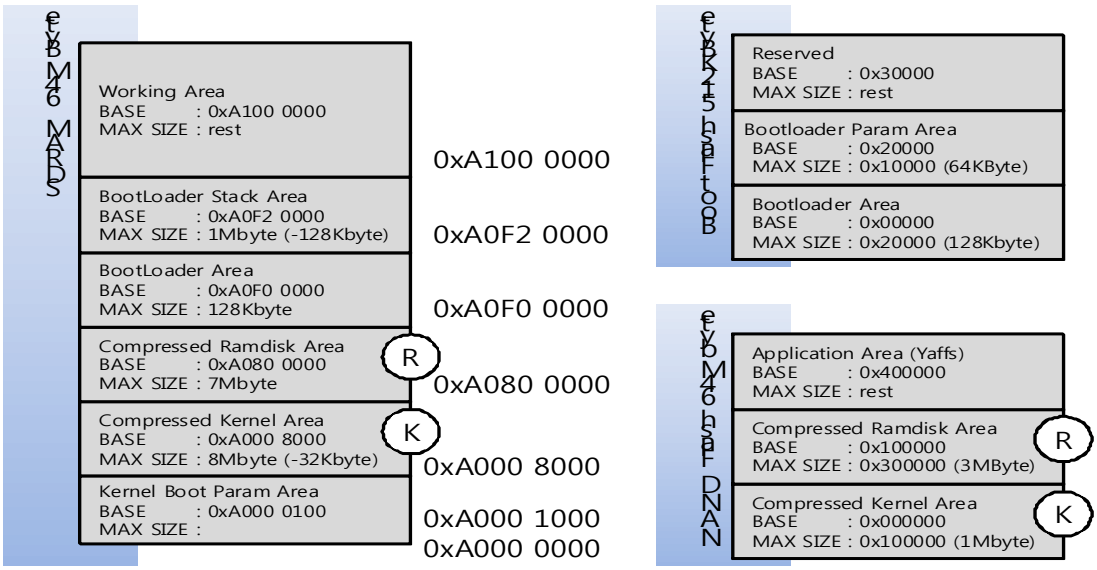
[그림 3.26] 크로스 개발 환경

다. 부트로더(Bootloader)

○ 부트로더(Bootloader)는 PC의 BIOS와 LILO(Linux Loader)를 결합한 것이며, 부트로더에서 하드웨어를 초기화(CPU Speed, Memory, Interrupt, UART)해주고, 또한 리눅스를 부팅 할 수 있게 해주는 기능 및 Kernel, Root 이미지를 다운로딩 할 수 있는 기능임

○ 호스트상에서 컴파일된 Kernel이나 Root이미지는 시리얼을 이용하여 SDRAM에 다운로드하고 이렇게 다운로드한 이미지를 Flash Memory에 저장함. 부트로더의 기능은 다음과 같이 설정함

- 메모리 읽기 쓰기
- 특정 번지로 이동
- 커널 로드 및 부팅
- ZMODEM을 이용한 이미지 다운로드
- TFTP를 이용한 이미지 다운로드
- 기본 환경 설정
- 커널 전달 파라메타 설정

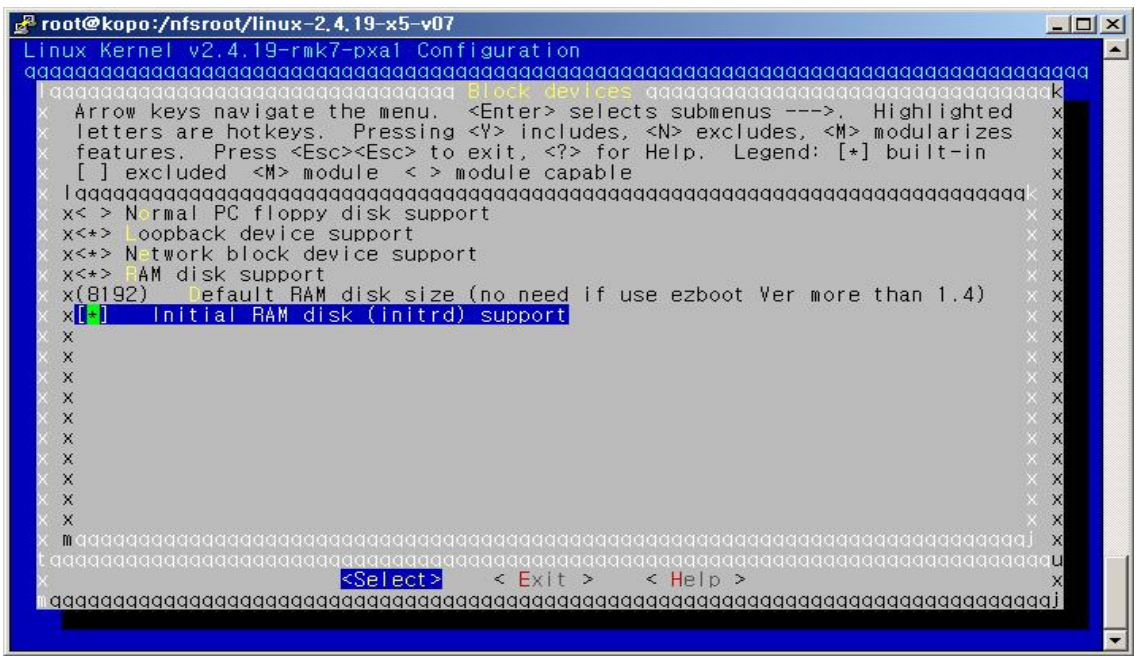


[그림 3.27] 커널 로드 및 부팅을 위한 메모리 맵

라. 램 디스크

○ 램 디스크는 메모리의 일부분을 디스크 드라이브로 인식시켜 이를 하드디스크처럼 사용하는 것인데, 일반적으로 임베디드 보드에는 하드디스크가 없으므로 램 디스크에 의해 부팅을 함

○ 램 디스크에 커널이 로드된 후, 시스템의 구동을 위해서는 init, 유틸리티, 바이너리 파일이 필요하며, 사용자가 만든 실행 프로그램, 보드 설정 프로그램, FTP Server도 포함되어 있어야 부팅이 가능함. 따라서 [그림 3.28]과 같이 램 디스크 사용을 위한 Kernel Configuration을 설정함



[그림 3.28] 램 디스크 Kernel Configuration

마. GPIO를 이용한 Ddevice Driver 개발

○ GPIO(General Purpose Input/Output)는 일반적인 용도로 사용 가능한 디지털 입출력 기능의 Port Pins으로 정의됨

○ 본 연구에서 개발할 과적검지 제어기의 제어부에 장착될 PXA255의 GPIO는 총 85개이며 각각의 Pin들은 Input/Output으로 프로그램 되거나 인터럽트 소스로 사용될 예정임.

○ 따라서 GPIO에 LED, Button을 사용하기 위해서는 Device Driver개발이 필수적인데, Device Driver는 운영체제와 응용프로그램 및 하드웨어간의 인터페이스를 담당하는 프로그램을 의미하며, 하드웨어가 해당 운영체제 아래에서 작동하기 위해 사용함

[표 3-14] 과적검지 제어기 설계 및 개발 내용

구 분	설 계 내 역
제어기 Board 개발	1) 회로 설계 - CPU 32Bit(ARM10), SDRAM, Flash - RS484, Ethernet, Power, JTAG 2) PCB 디자인 - Main Control Board Artwork - Main Control Board BOM - Interface Board(Serial) PartList
운영체제(Linux) Porting	1) Bootloader : 소스패치 및 컴파일 2) Linux Kernel Patch & Kernel Porting - SRAM Bus 사용을 위한 커널 패치 - SDRAM 확장 커널 패치 - 커널 컴파일 및 포팅 3) RS-485, Ethernet : 보드 통신 테스트 4) FTP Server Porting : 펌웨어 자동 업데이트 5) LED, Button Device Driver 구현 - 상태출력, Button 항목 정의 - GPIO를 이용한 Device Driver 구현
운영 소프트웨어	1) 보드 설정 프로그램 설계 - 보드 ID, 서버IP, 보드IP 설정 프로그램 2) 펌웨어 자동 업데이트 프로그램 설계 - 펌웨어 업로드, 리부팅 프로그램 3) A/D Board 와의 통신 RS-485 프로토콜 정의 4) 센터와의 통신 TCP/IP 프로토콜 정의 5) 단위테스트 : A/D 보드 프로토콜, 센터 PC 프로토콜 6) 통합 테스트(현장변환 검토 및 테스트)

3. 센서 신호처리

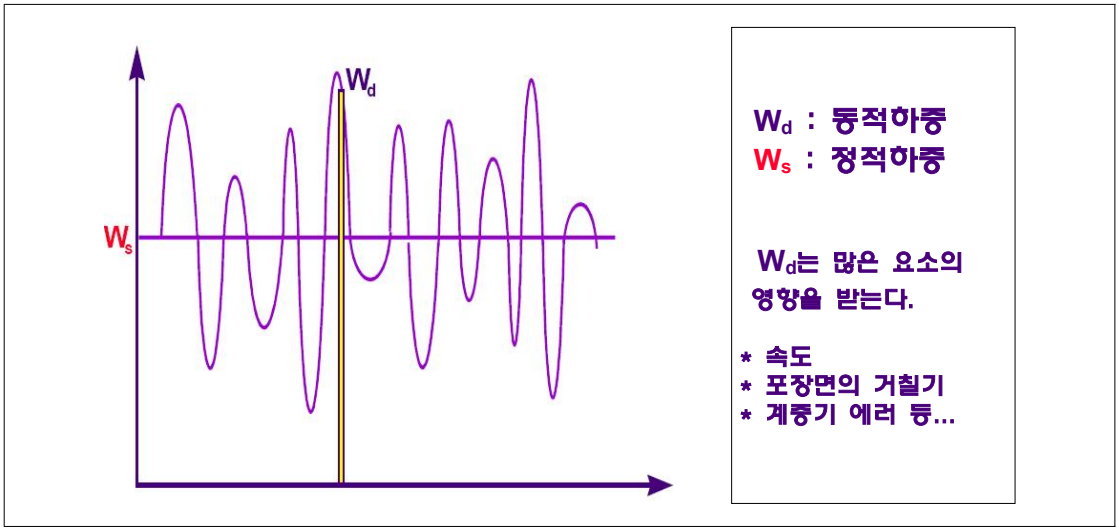
○ 센서에서 출력되는 신호는 차량주행으로 발생한 동적요인으로 인해 본래의 하중 외에도 여러 가지 신호가 복합적으로 내재되어 있음

○ 고속 WIM 시스템의 계측 정확도를 저하시키는 외생변수에는 다음과 같은 요인들이 존재함

- 트레드(tread)로 인한 타이어 표면의 자기-진동(self-oscillation)
- 타이어의 자체적인 불균형
- 각 윤하중 간의 불균형
- 현가장치(suspension)의 충격 흡수로 인한 진동
- 전동장치(transmission)와 기어(gear)의 불균형
- 탠덤축이나 트라이뎀축과 같은 축군(axle group)의 진동
- 트럭 좌우의 요동
- 트럭의 상하 운동
- 적재된 화물의 움직임
- 측면에서 부는 바람
- 타이어와 센서가 접촉하는 순간에 발생하는 충격파(shockwave)
- 센서매설시 센서와 도로 포장체 간의 상호작용

○ 실제 도로상에서 위와 같은 요인들의 조합이 고속 WIM 시스템에 의해 실제 측정되는 것이며, 이러한 다양한 변수들로 인해 동적 힘의 크기는 [그림 3.29]에 나타나 있듯이 차량이 정지한 상태에서 측정할 수 있는 정적 하중값 부근에 다양하게 내재되어 있음

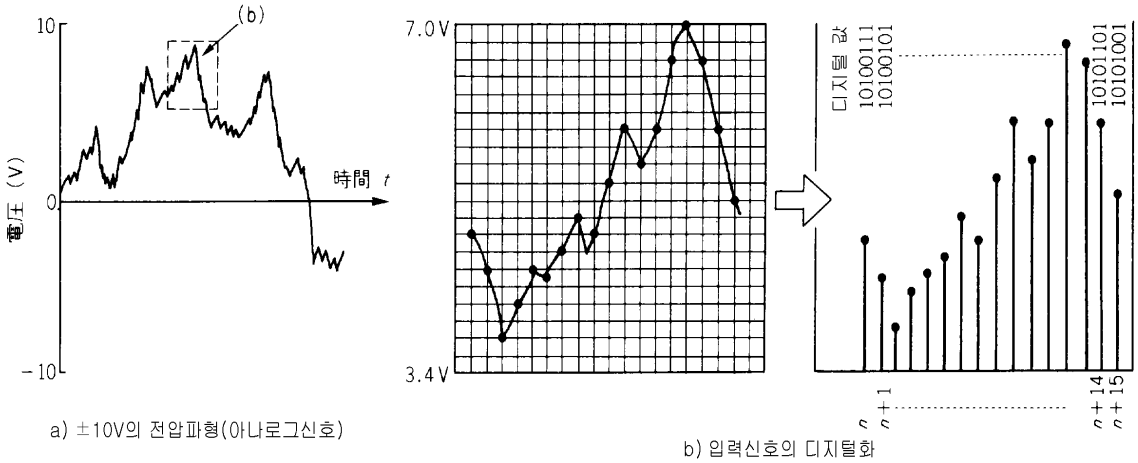
○ 여러 성분이 내재 되어있는 복잡한 신호성분은 신호처리 과정을 거쳐 잡음성분과 중량신호로 분리하고, 분리된 신호에 대해서는 다시한번 성분 분석을 수행해야 하며 여러 가지 신호처리 과정을 거쳐 신호처리부를 설계함



[그림 3.29] 정적/동적 하중값의 차이

가. A/D 변환

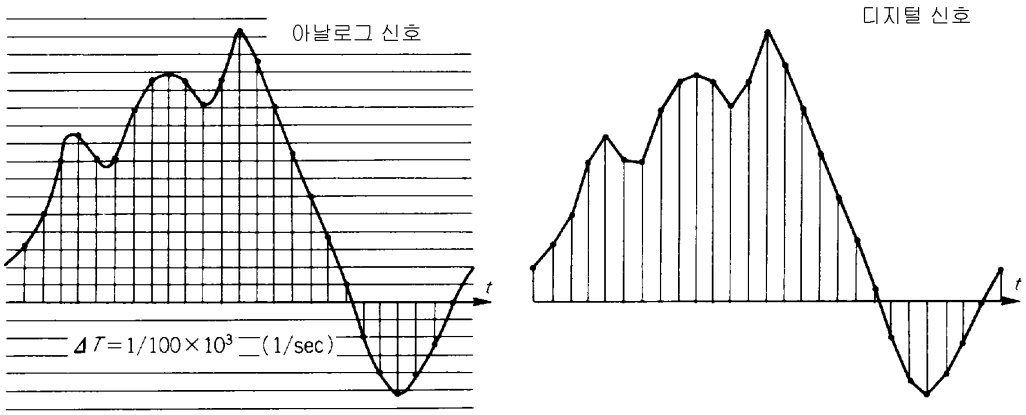
○ 센서에서 출력되는 신호는 아날로그(Analog)신호이며 연산을 위해 디지털(Digital)화 해서 변환하는 과정을 거치는데 연산처리를 할 수 있고 이를 행하는 것이 A/D(Analogue to Digital)변환기임. [그림 3.30]에 나타낸 것과 같이 입력된 아날로그 신호는 그의 분해능(Bit수)에 대응하여 Digital신호로 변환함



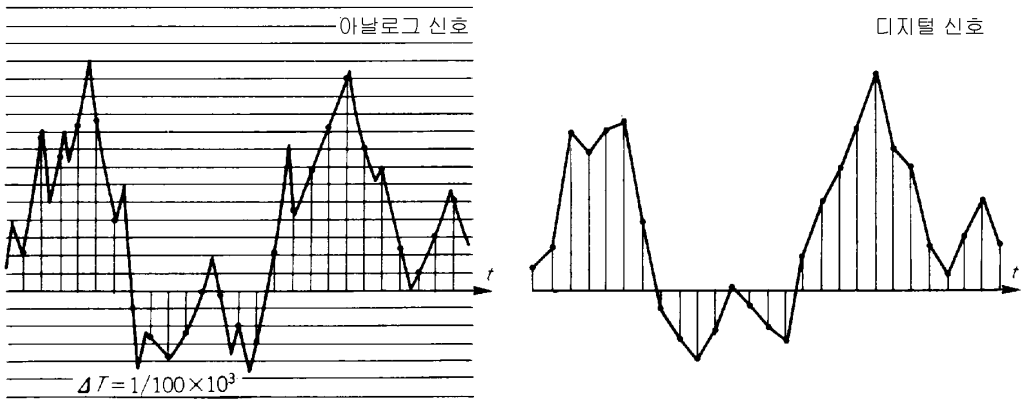
[그림 3.30] 아날로그 신호의 디지털 신호 변환

○ A/D변환의 bit수와 분해능의 관계는 [그림 3.31]에 표시하였는데, 이때 입력전압 범위가 ±10V이고 8bit의 A/D변환기를 사용하는 경우에는 ±10V의 입력전압 범위를 28등분으로, 즉 256으로 등분하게 됨

○ 8bit의 A/D변환기는 20V ÷ 256 ≒ 0.078V, 즉 약 78mV인 분해능을 가지며 만약 12bit AD변환기를 사용하는 경우에는 분해능 20V ÷ 212 (4096) ≒ 0.00488V, 약 4.9mV의 분해능을 가지게 되어 8bit에 비해서 16배 정도의 분해능이 향상됨. 따라서 센서의 신호취득 후 신호입력에 맞는 적절한 샘플링주기와 A/D변환기를 설계



a) 분해능, Sampling주파수가 충분한 경우

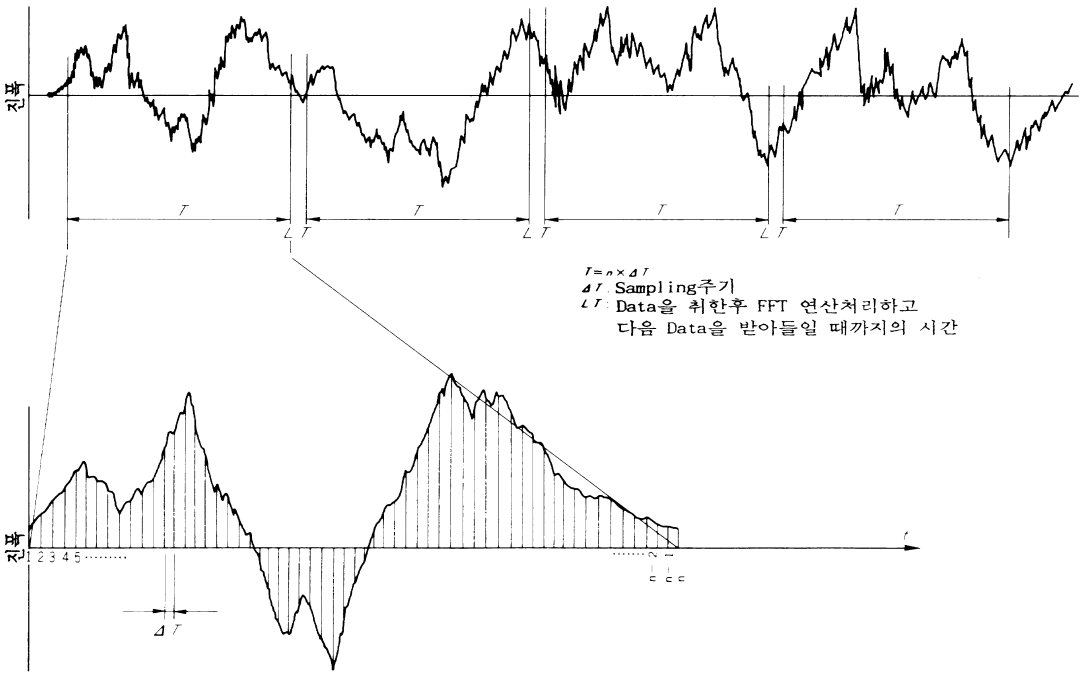


b) 분해능은 충분하나, Sampling주파수가 낮은 경우

[그림 3.31] A/D변환에 있어서 Sampling 주파수의 문제

나. 샘플링 주파수와 주파수 범위

○ 아날로그에서 디지털로 신호를 변환하는데 있어 분해능을 나타내는 bit수와 함께 중요한 것이 샘플링 주파수인데, 최고 샘플링 주파수가 100kHz인 A/D변환기를 사용할 때 입력되는 아날로그 신호가 샘플링 주파수를 초과하는 높은 주파수 성분이 포함되어져 있는 신호에 대해서는 충분한 분해능이 있다 하더라도 정확한 샘플링이 어렵기 때문에 샘플링 정의에 의해 해석 가능한 조건으로 설계함



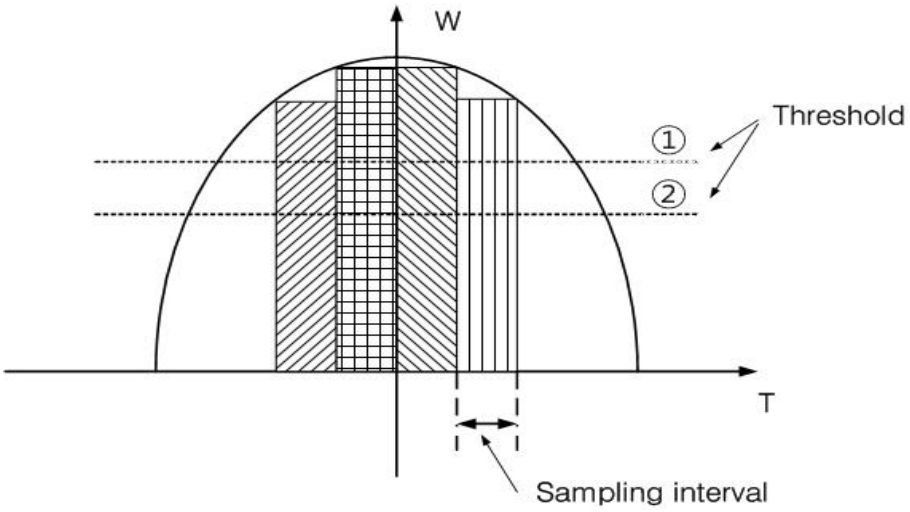
[그림 3.32] Sampling주파수와 Data길이와의 관계

다. MEMS형 센서신호 오차처리

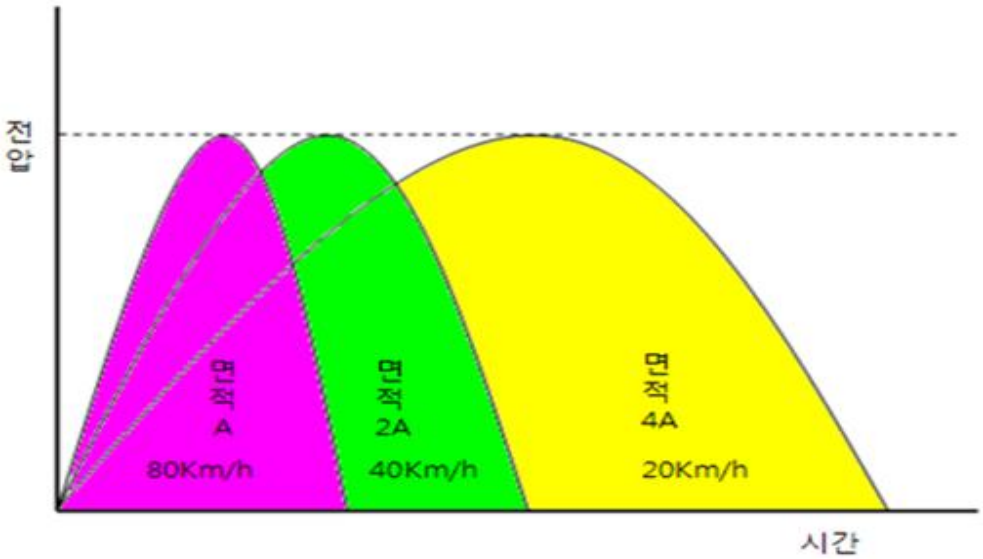
○ 개발 제어기는 [그림 3.33]과 같이 센서부에서 측정된 신호 파형의 피크를 기준으로 좌우 면적 값(대략 4개의 데이터)을 전송 받게 되는데, 이때 전송받은 데이터와 실제 무게 값의 오차율이 증가할 경우 또는 MEMS형 압력센서에 여러 가지 환경적인 요인이 발생하여 데이터에 이상이 있을 경우에는 설정된 Threshold(기준값)과 Sampling interval(샘플링 간격) 변경이 필요함

○ 이와 같은 문제점을 해결하기 위해서는 제어부에서 센서부에 명령어를 전송하여 MEMS형 압력센서에서 측정된 피크 값의 샘플링 간격과 기준 값을 조정([그림 3.33]의 ① 또는 ②)하여 무게 값의 정확한 수치를 획득하여야 함

○ 이 때 센서부에서 전송된 데이터의 개수는 항상 일정하여야 하며, 또한 기능검증을 위해 프로토콜을 정립하는 단계에서 다양한 방안이 장착되어야 함



[그림 3.33] 센서부에서 제어기로의 데이터 전달 형태



[그림 3.34] 차량 속도변화에 대한 신호처리

○ 한편, 통과하는 차량의 하중을 계산할 때 센서를 통과하는 속도의 변화는 하중계산에 많은 영향을 끼치는데, 센서를 통과하는 차량의 속도가 느리면 [그림 3.34]와 같이 MEMS형 압력센서의 신호 폭은 넓어지고 속도가 빠르면 신호의 폭은 좁게 나타남. 따라서 차량의 이동속도 값을 이용하여 하중분포를 실시간 적분하여 통과차량의 하중을 계산함

4. 프로토콜 및 통신 인터페이스

가. 프로토콜 정의

○ 센서부와 제어부 간의 통신을 위한 RS-485 통신 프로토콜에 대한 정의는 계속적인 수정이 진행되어야 하며, 사용될 메시지 포맷은 [표 3-15]와 같음

- MEMS sensor ID : 각각의 센서 ID에 대한 정의
- Time : 각 센서에서 측정된 시간 값
- Command : 센서부의 동작을 제어부에서 명령을 내려주기 위한 명령어들을 정의
- Data : 실제 센서에서 측정된 신호의 피크 값에서 좌우 특정한 부분의 값으로 정의

[표 3-15] 센서부와 제어부 통신을 위한 메시지 포맷

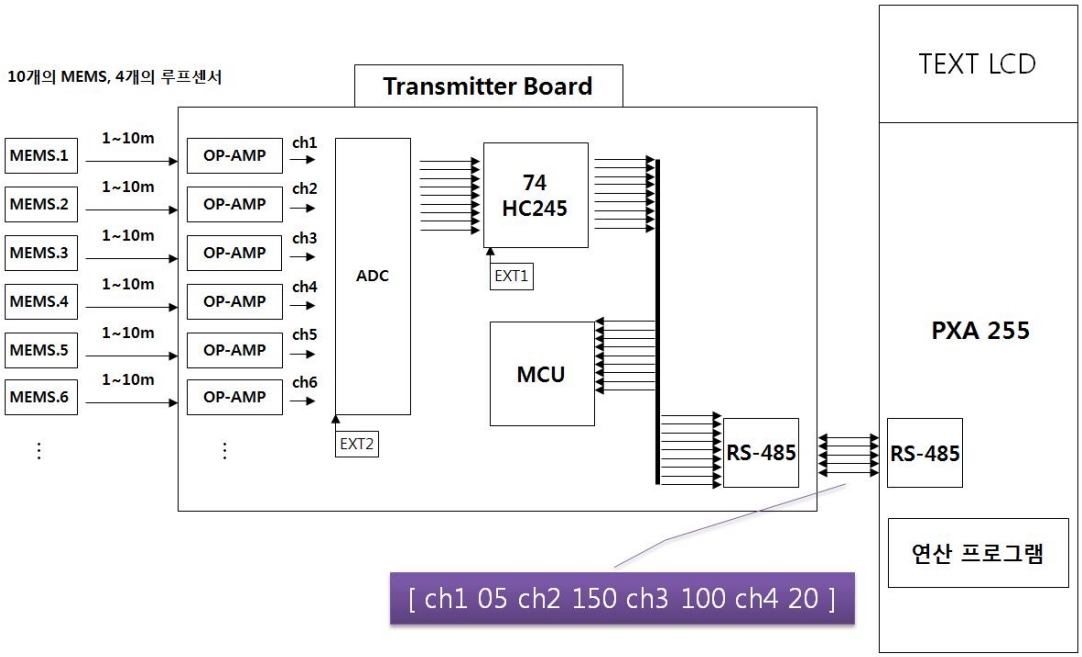
Header	Length	MEMS sensor ID	Time	Command	Data	End
1 Byte	1 Byte	1 Byte	1 Byte	1 Byte	1~10 Byte	1 Byte

나. 통신방법 및 인터페이스

○ RS-232 인터페이스는 Point - to-Point(1:1) 방식을 사용하며, RS-485 인터페이스는 Multi point-to-Multi point(32:32) 방식을 사용하여 여러 제품을 병렬로 묶어서 데이터 통신이 가능하도록 설계

○ UART(Universal Asynchronous Receiver/Transmitter)에서 나오는 신호는 보통 TTL 신호레벨을 갖기 때문에 노이즈에 약하고 통신거리에 제약이 있기 때문에 이러한 TTL신호를 입력받아 노이즈에 강하고 멀리갈 수 있게 해주는 인터페이스인 RS-485를 이용하여 센서부와 제어부의 통신을 수행함

○ [그림 3.35]에 센서부인 Transmitter board와 제어부인 PXA 255와 통신을 RS-485로 연결한 형태를 표출함



[그림 3.35] 센서부와 제어부의 RS-485 통신방법

5. 개발 제어기의 특징 및 사양 설정

가. MEMS형 압력센서를 위한 확장기능

○ 본 연구과제에서 개발되는 과적검지 제어기는 앞에서 언급한 일반적인 기능 이외에 MEMS형 압력센서에서 전달되는 데이터의 원활한 처리 및 제어를 위한 확대기능 수용

○ 기존 제어기는 계산 성능이 낮아 센서신호 처리시간이 많이 걸려 단위 시간 내 정확한 처리가 불가능하나 PXA255 ARM RISK Processor(400Mhz이상)의 사용으로 정확도 증가와 처리시간 단축 및 32Bit 자료 및 명령어 처리 가능

○ 임베디드 소프트웨어를 적용하기 위한 Linux, WinCE와 같은 최신 OS와의 호환성을 확보하여 Multi Process 구현 가능

○ Network File System 등 다양한 원격 명령 지원이 가능하여 응용 프로그램의 설치 및 관리의 용이성

○ 시분활 처리가 가능하고 가상 메모리 사용 및 메모리 사용량이 큰 제어 S/W의 탑재가 가능한 메모리 확장(최대 16 Giga) 등의 메모리 관리기능 지원

○ 원격 부팅이 가능한 Boot Flash 기능 및 전원 소실 후에도 상태자료 보관이 가능한 64 Mega Byte NAND Flash Memory 기능

○ Debugging을 위한 Status Bit 지원 기능

○ 160핀의 보드커넥터는 PXA255에서 지원하는 신호선과 연결

○ Pipeline 5 Step 지원으로 명령어 병렬처리가 가능하여 처리속도 약 5배 증가

○ 소형, 강인성을 구비한 산업용 수집시스템

○ 저수준 하드웨어 소스에 접근이 오픈된 저비용 구조의 아키텍처

○ 신속한 개발이 가능한 고생산성의 그래픽 프로그래밍 툴 제공

○ 센서와 직접 연결되어 신호상태를 고정적으로 확인하고 전원이 연결된 상태에서 부품 교체 또는 수리 가능한 입출력 모듈

나. 전원장치

○ Power Supply는 AC전원을 받아서 안정된 DC전원을 WIM 제어기 내에 공급하는 장치로써 시스템내의 안정적인 전원 공급을 위하여 2개의 모듈이 병렬 운전

○ 입력 특성

- 전원전압 : 110/220V AC 겸용
- AC 110V(90V～130V), AC100/110V±15%(85～132V)
- AC 220V(190V～250V), AC200/230V±15%(170～264V)
- 주파수 범위 : 60Hz ± 3.0Hz × (57～63Hz) 단상

○ 출력특성

- 출력전압 : 5VDC max. 20A, 12VDC max. 2A
- Ripple & Noise : 50mVP-P(5V DC) 이하
  100mVP-P(12V DC) 이하
- 과전류 보호 : 과전류 상태 지속시 출력 차단

○ 동작 특성

- 효율 : 110/220VAC 입력에서 100% 부하시 80% 이상
- 입력전압 변동율 (Line Regulation) : ±2% 이하
- 부하변동율 (Load Regulation) : ±5% 이하
- 과전류 보호 (Over Current Protection) 내장
- 과전압 보호 (Over Voltage Protection) 내장
- 동작주위온도 : - 30℃ ～ + 70℃
- 동작주위습도 : 30 ～ 90% RH
- 보존온도 : - 30℃ ～ + 85℃
- 냉각방식 : 자연대류 공냉식

다. 함체

○ 함체는 WIM 제어기를 구성하는 장비들을 보호하는 목적으로 설계 제작하며 다음과 같은 규격을 만족하도록 함

- 외함의 내부에는 19“ Rack이 장착될 수 있는 Frame 구조로 설계
- 일제형 또는 분리형 제어기를 수용 가능
- 함체는 외부환경(온도, 습도, 비, 먼지 등)에 대한 대비책을 세워 스테인레스(SUS 304, 1.5t)로 제작 설계
- 함체의 온도조절을 위한 Fan 및 히터는 센서에 의해 자동으로 동작
- 시스템을 기능 모듈별로 설계하여 모듈별 동작상태 및 고장상태를 진단하여 유지보수의 신속성 및 용이성을 보장
- 함체 개폐 검출
- 내부온도 및 상태정보 수집
- 외함 내의 기기를 외부의 비인가자로부터 보호하기 위하여 특수 전용 잠금장치를 사용
- 함체의 보호와 외부온도 유입방지를 위하여 2중 덮개 설계

라. 개발 제어기의 기본사양

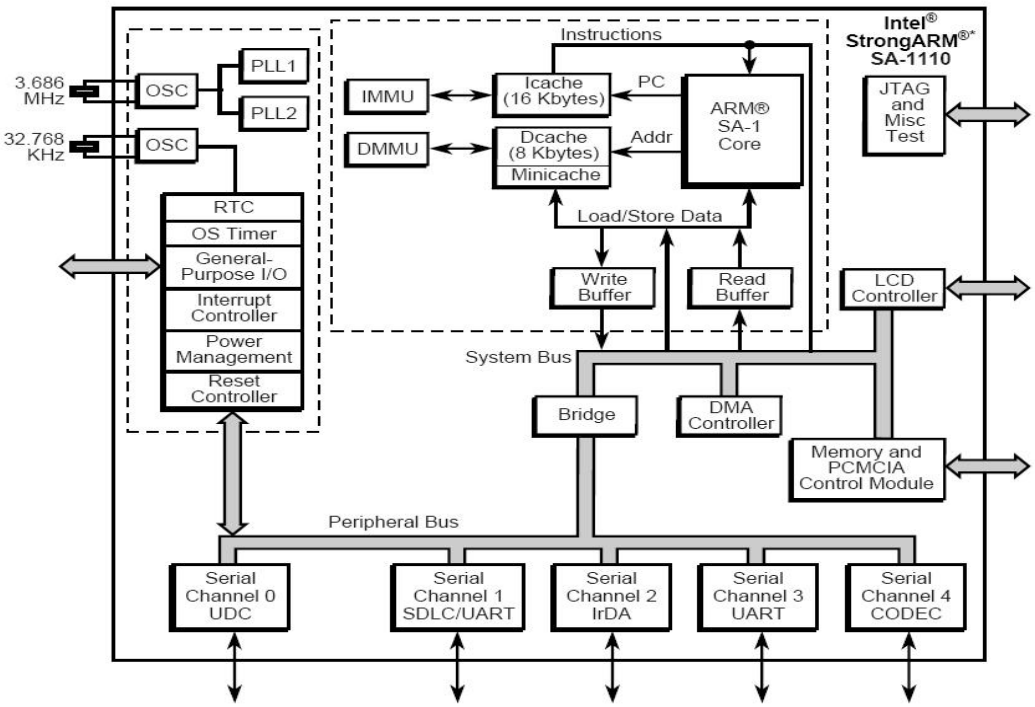
[표 3-16] 제어기의 기본사양

Item	Standard Value	Unit
Size	140 * 100	mm
MCU	400MHz PXA255 ARM RISC Chip	-
RAM	64Mbyte SDRAM	-
ROM1	512Kbyte Boot Flash	-
ROM2	64Mbyte NAND-Flash	-
LED	Debugging 4Bits	-
Serial	RS-485: 2Port, RS-232: 1Port	-
Ethernet	CS 8900 10Mbps	-
USB	USB Client	-
Extension Connector	160-pin Board to board Connector	-
JTAG	ON-Board JTAG Convertor	-

[표 3-17] 제어기 기능 명세서

Part	명 세
PXA 255	400MHZ 32bit RISC 구조의 칩이며, 동작 최대 전류는 500mA 이며, OS가 포팅되어 자원관리를 하면 평상시 전류는 150mA로 매우 저전력, 안정적
ROM	512KB 메모리는 PC의 BIOS와 같은 역할을 하는 부트로더 용으로 사용되고, 64MB 의 메모리는 운영체제, 파일 시스템, 응용 프로그램 등의 용으로 사용
RS-232	부트로더, 커널, 램디스크 이미지를 시스템에 포팅하거나, 개발 소스를 수정 및 적용 할 때 Host PC에서 개발할 수 있도록 모니터링 할 수 있는 역할을 제공
RS-485	각 센서부에 제어를 위한 데이터 전송에 사용, 센서부로 부터 데이터 수집
USB	USB Client가 장착되어, 키보드, 마우스 등의 USB를 사용하는 사용자 인터페이스를 위한 입 ·출력 장치에 사용
Ethernet	인터넷을 통해 서버로 데이터를 전송하거나 제어기 자체에 서버를 탑재하여 원격으로 제어기 상태나 제어기에서 수집하는 데이터를 모니터링 할 때 사용
JTAG	JTAG은 MCU 칩 내부에 Boundary Cell 이란 것을 두어 외부의 핀과 일대 일로 연결시켜 프로세서가 할 수 있는 동작을 중간에 Cell을 통해 모든 동작을 인위적으로 수행할 수 있어 여러 가지 하드웨어 테스트나 연결 상태를 체크
GPIO	일반적인 용도로 사용 가능한 디지털 입·출력 기능의 핀이다. PXA 255의 GPIO는 총 85개이며, 각각의 핀들은 input/output 으로 프로그램 되거나 인터럽트 소스로 사용

6. 개발 제어기 보드 구성내용(블록도)



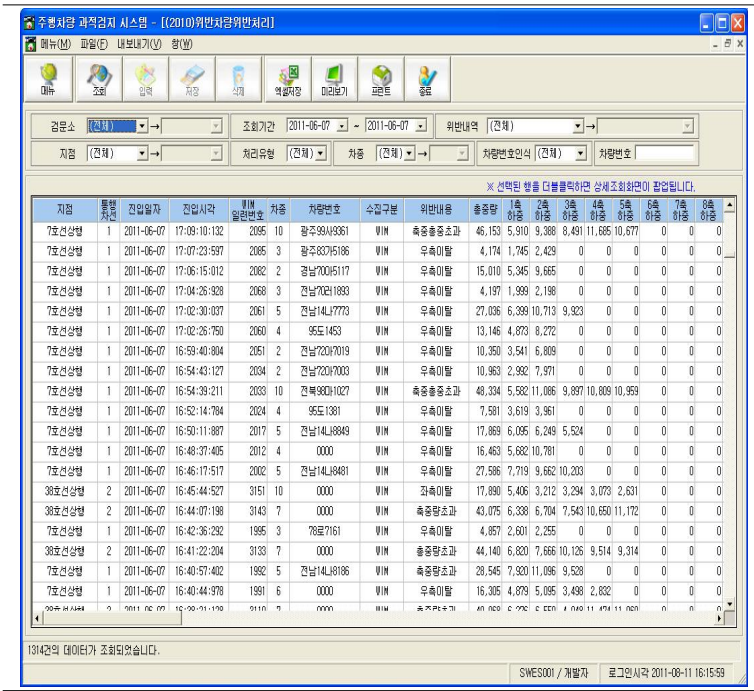
[그림 3.36] 개발 제어보드 블록도

7. 사용자 인터페이스

○ 사용자 인터페이스는 사용자와 컴퓨터가 정보를 주고받기 위해 사용자와 프로그램이 상호 작용하는 프로그램의 일부분. 사용자가 키보드에서 명령을 입력하여 프로그램을 작동시키는 것을 커맨드 라인 인터페이스(command-line interface)라고 하고, 메뉴 선택에 의한 명령으로 작동시키는 것을 메뉴 방식 인터페이스(menu-driven interface)라고 하며, 광 펜, 마우스, 컨트롤 볼, 조이스틱 등의 위치 지정 도구를 사용하여 도형 표시 프로그램을 작동시키는 것을 그래픽 사용자 인터페이스(GUI)라고 함[10)]

○ 사용자 인터페이스 설계는 화면구성, 입출력 양식 등에 대한 설계를 말하고 본 연구에서는 고속 WIM 시스템 자료에 대한 자료조회, 상세조회, 센서 및 장비상태 조회, 과적차량 단속 프로그램에 관한 내용을 설계 개발

[표 3-18] 원시자료 조회(축하중 총중량)

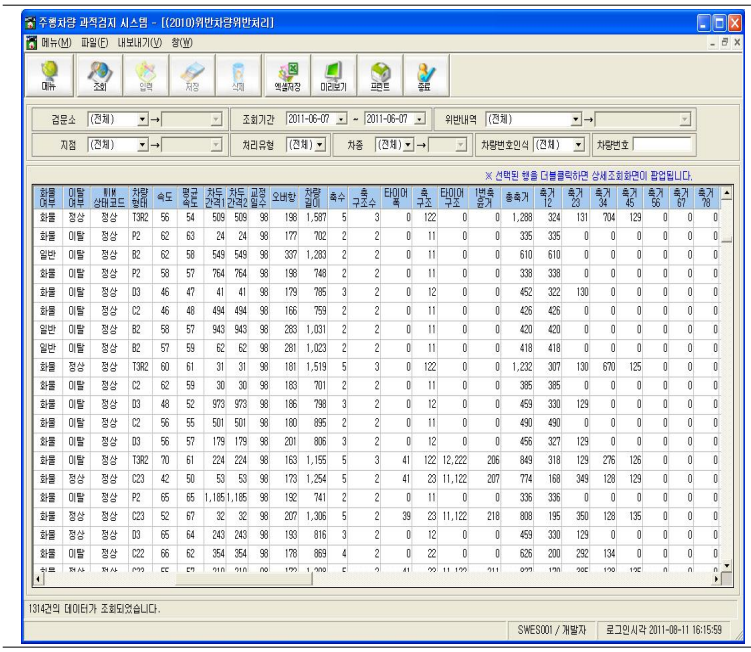


사용목적 :
현장에서 발생하는 모든 정보를 표출한다. 특정 데이터 클릭시 4페이지의 개별 상세조회 팝업 화면 표출

WIM정보 :
설치지점, 통행차선, 진입일자, 진입시간, WIM일련번호(WIM자체 카운터), 총중량, 1축하중, 2축하중, … , 8축하중

10) 네이버 백과사전

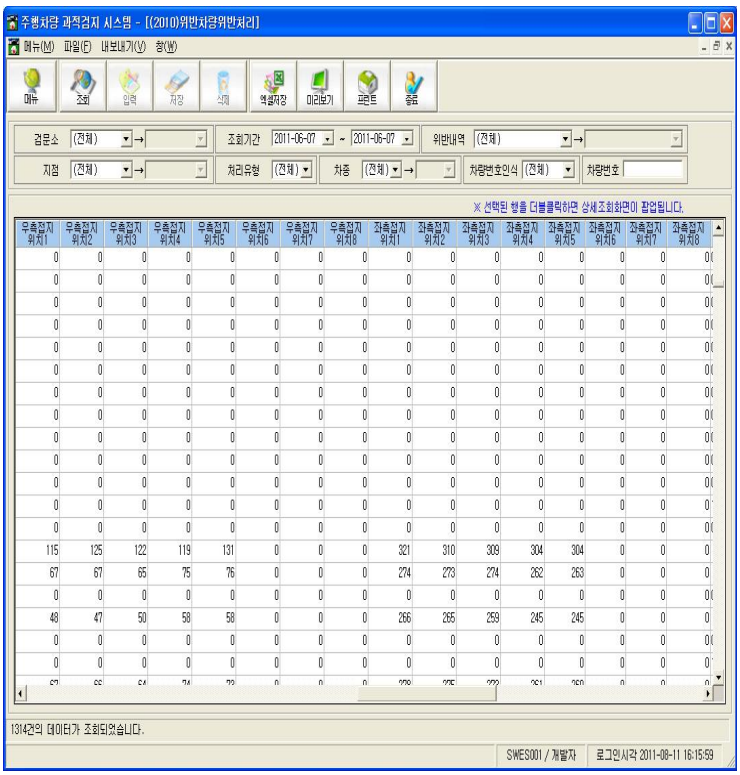
[표 3-19] 원시자료 조회(속도, 차두간격, 축수, 차량길이, 축거 등)



사용목적 :
현장에서 발생하는 모든 정보를 표출한다. 특정 데이터 클릭시 4페이지의 개별 상세조회 팝업 화면 표출

WIM정보 :
화물여부, 이탈여부, 속도, 평균속도, 차두간격1, 차두간격2, 차량형태, 차량길이, 축수, 축구조수, 타이어폭, 축구조, 타이어구조, 1번축윤거, 축거

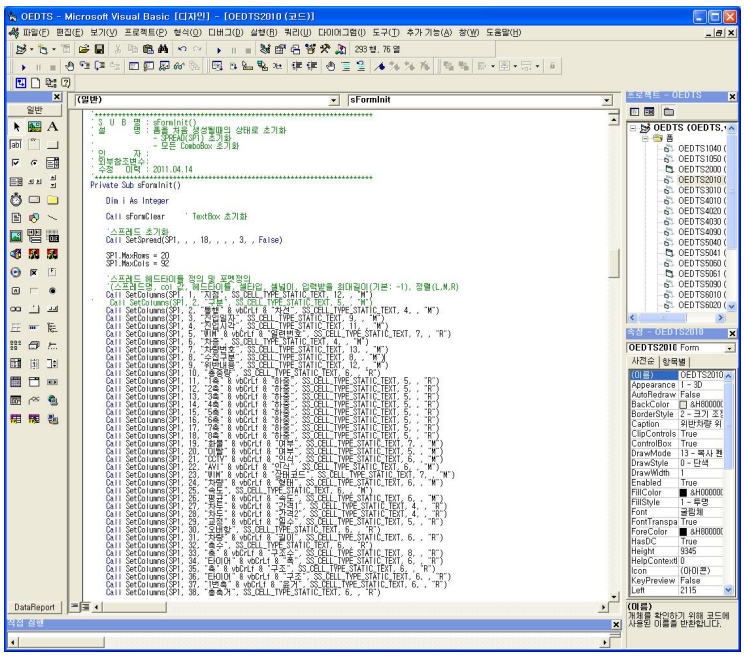
[표 3-20] 원시자료 조회(접지 위치)

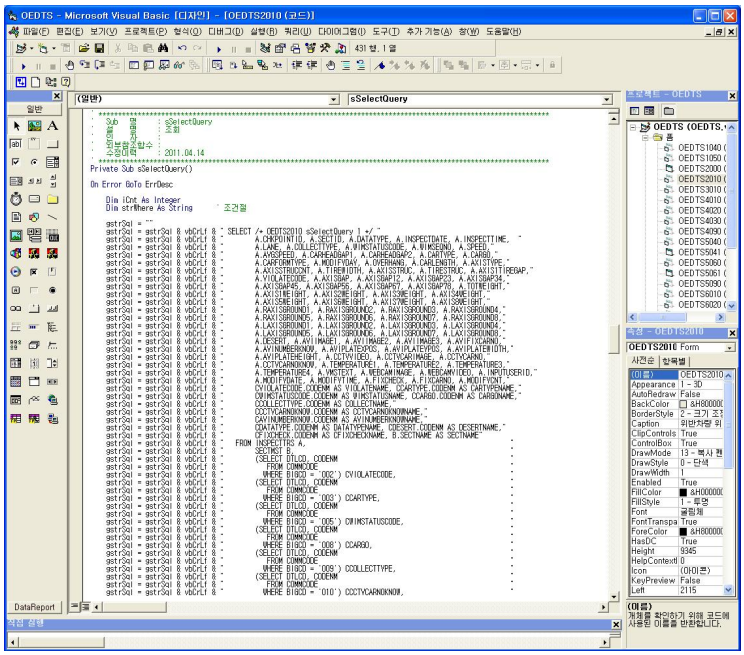


사용목적 :
현장에서 발생하는 모든 정보를 표출한다. 특정 데이터 클릭시 4페이지의 개별 상세조회 팝업 화면 표출

WIM정보 :
우측접지위치1, 우측접지위치2, 우측접지위치3, 우측접지위치4, 우측접지위치5, 우측접지위치6, 우측접지위치7, 우측접지위치8, 좌측접지위치1, 좌측접지위치2, 좌측접지위치3, 좌측접지위치4, 좌측접지위치5, 좌측접지위치6, 좌측접지위치7, 좌측접지위치8

[표 3-21] 원시자료 조회 프로그램 소스

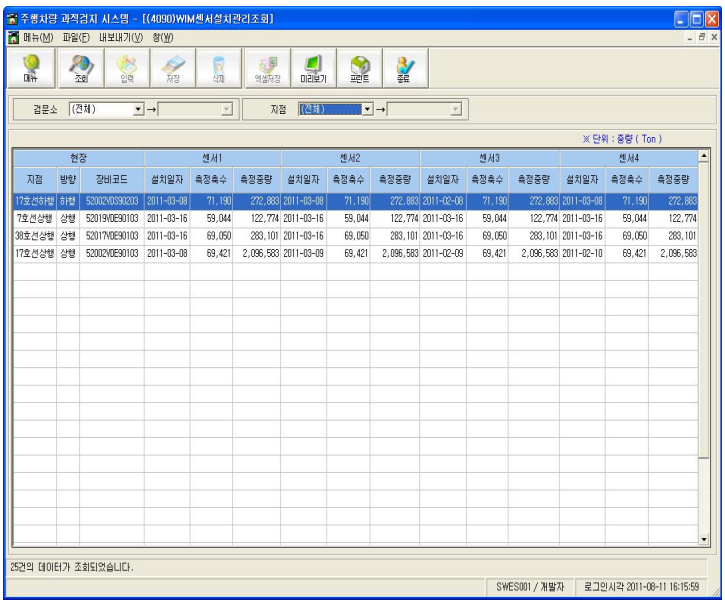




내용 :

원시자료조회 프로그램의 원시소스 중 화면 초기화 모듈 부분과 데이터 조회 쿼리 모듈 부분

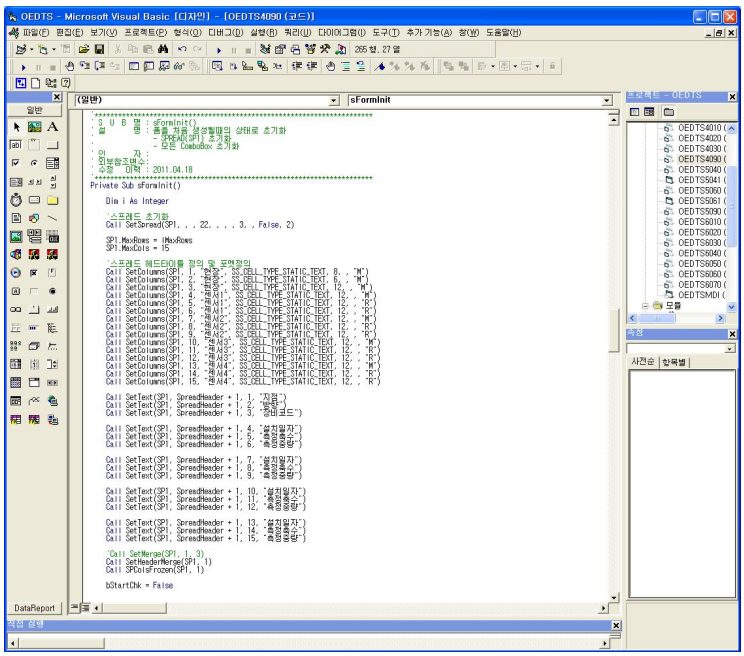
[표 3-22] WIM 센서 설치관리 조회



사용목적 :

WIM 센서별 설치 지점, 설치일자, 측정축 누적수, 측정 누적 중량을 관리하여 센서별 교체시점을 예측

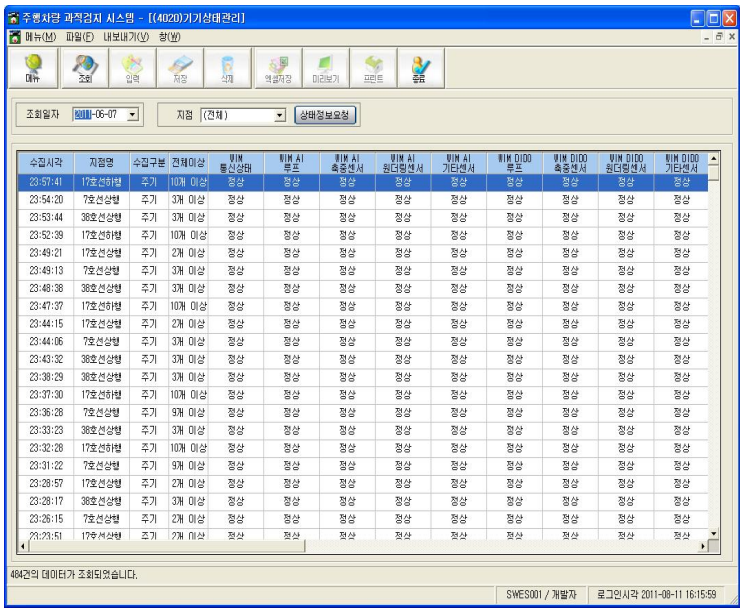
[표 3-23] WIM 센서 설치관리 조회 프로그램 소스



내용 :

WIM 센서 설치관리 조회 프로그램의 원시소스 중 화면 초기화 모듈부분

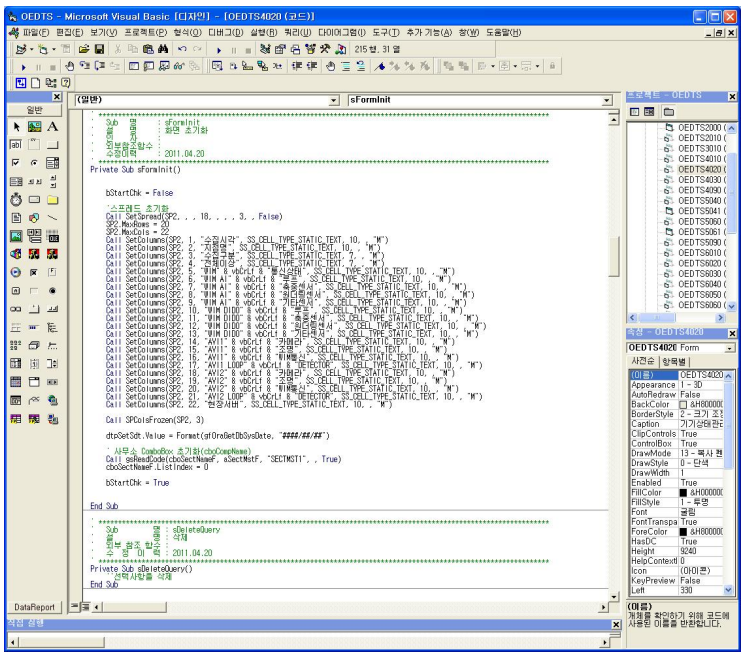
[표 3-24] 기기 상태 관리



사용목적 :

일정주기로 WIM 센서별 상태를 확인하여 WIM 센서별 이상여부를 확인

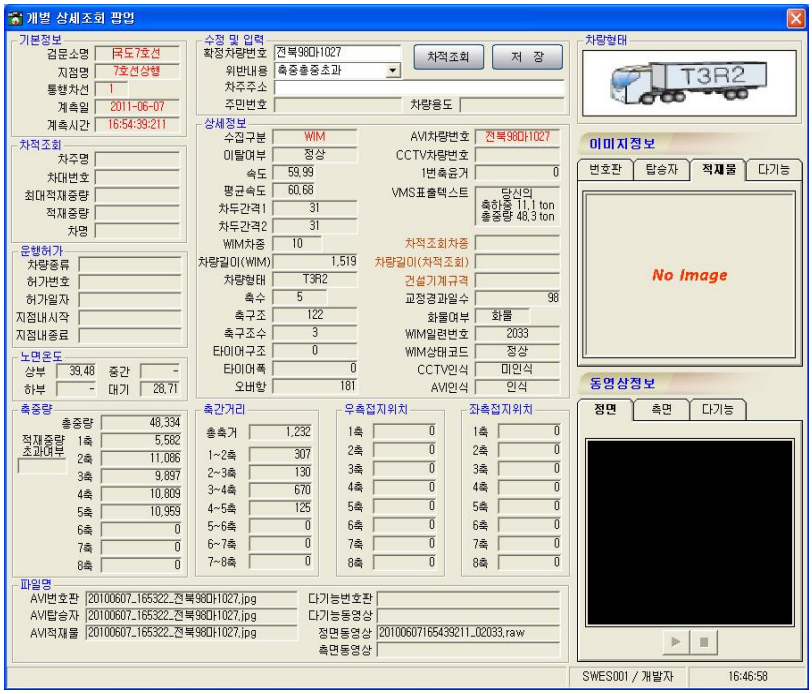
[표 3-25] 기기 상태 관리 프로그램 소스



내용 :

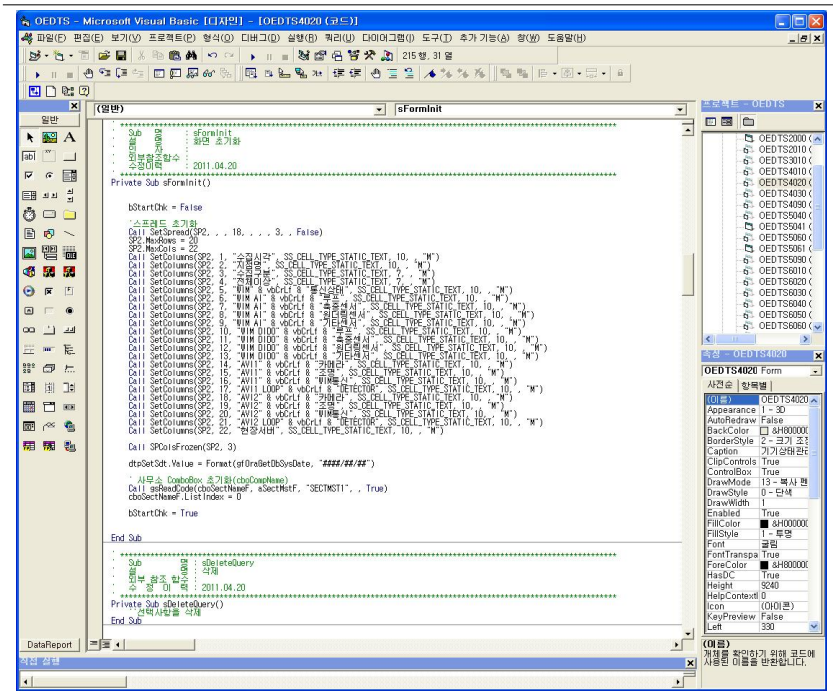
기기상태관리 프로그램의 원시소스 중 화면 초기화 모듈부분

[표 3-26] 개별자료 상세 조회



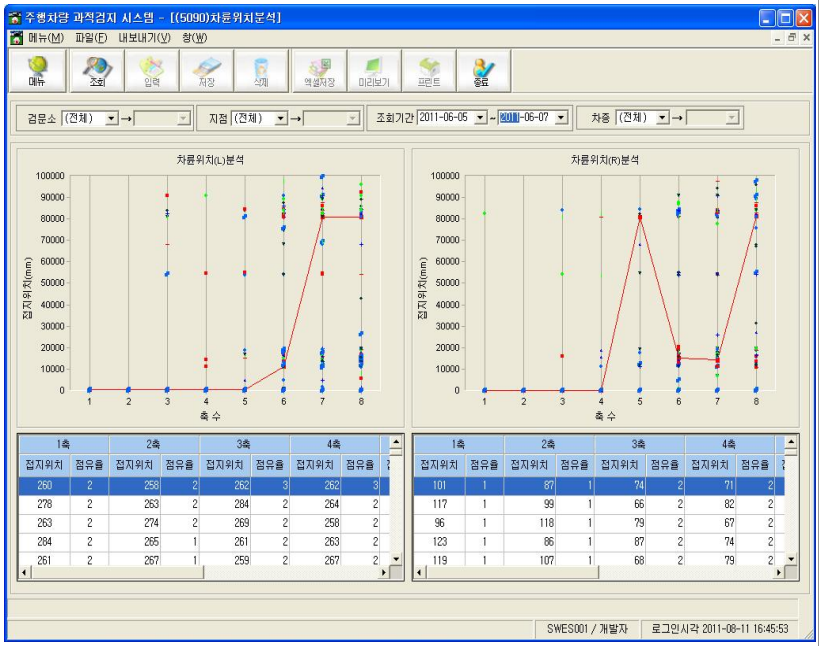
사용목적 :
원시자료조회 프로그램에서 특정 데이터를 더블 클릭 시 해당 데이터의 현장 발생 데이터를 상세하게 조회

[표 3-27] 개별자료 상세 조회 프로그램 소스



내용 :
개별자료 상세조회 프로그램의 원시소스 중 화면 초기화 모듈부분

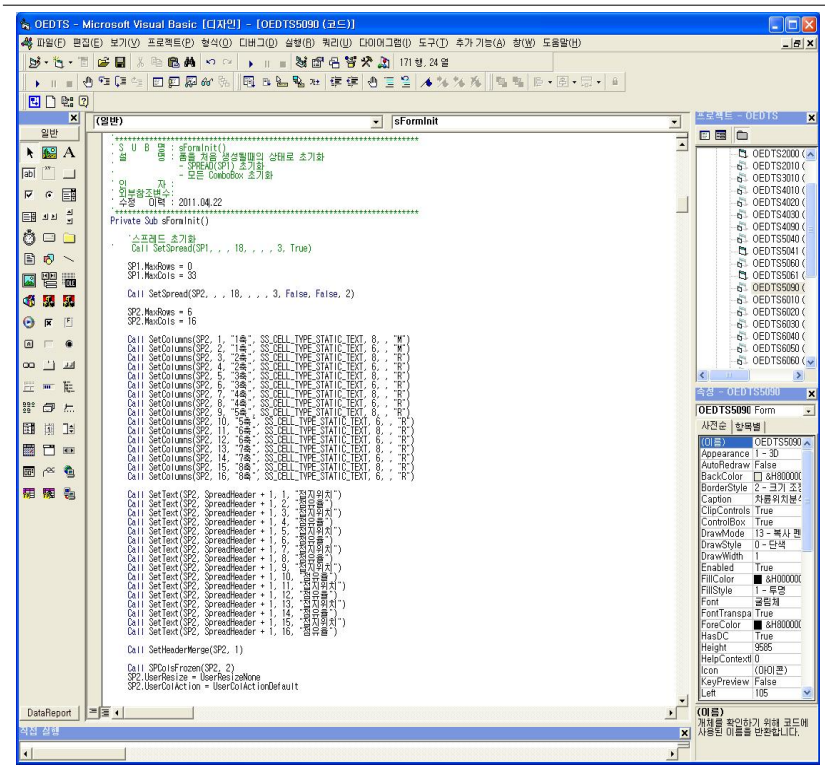
[표 3-28] 차륜 위치 분석



사용목적 :

WIM 정보 중 축별 접지위치에 대한 점유율을 표출하여 차륜위치를 분석

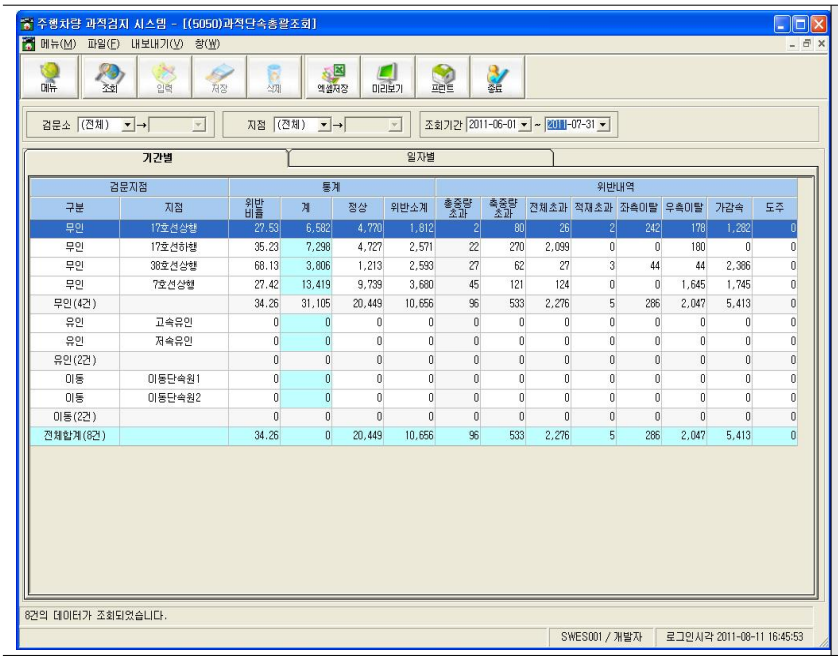
[표 3-29] 차륜 위치 분석 프로그램 소스



내용 :

차륜위치분석 프로그램의 원시소스 중 화면 초기화 모듈부분

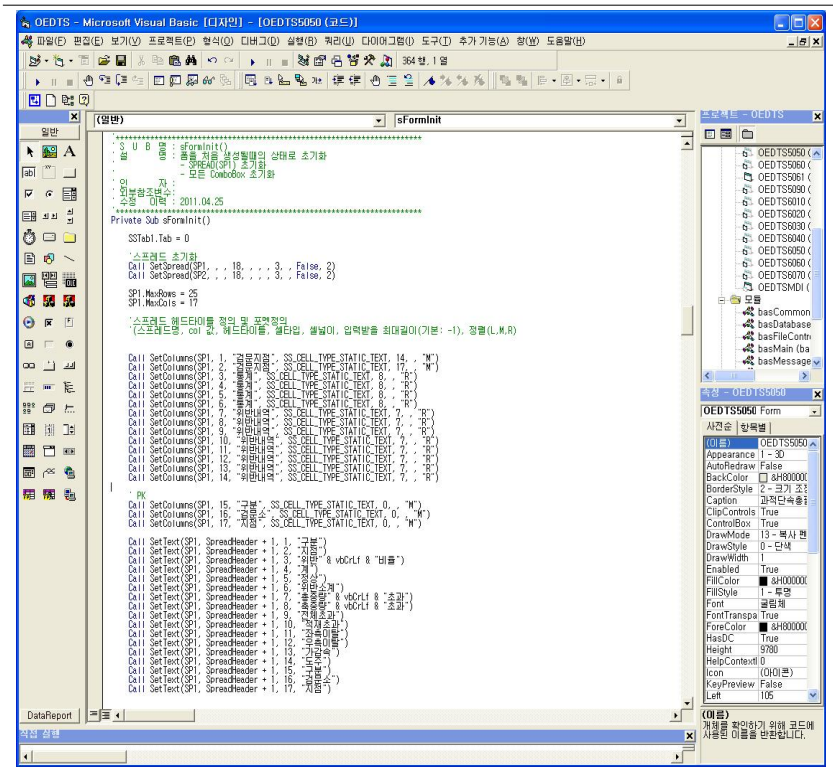
[표 3-30] 과적검지 총괄조회



사용목적 :

현장에서 발생되는 모든 화물차종에 대한 데이터를 통계내어 위반내역별로 조회한다.

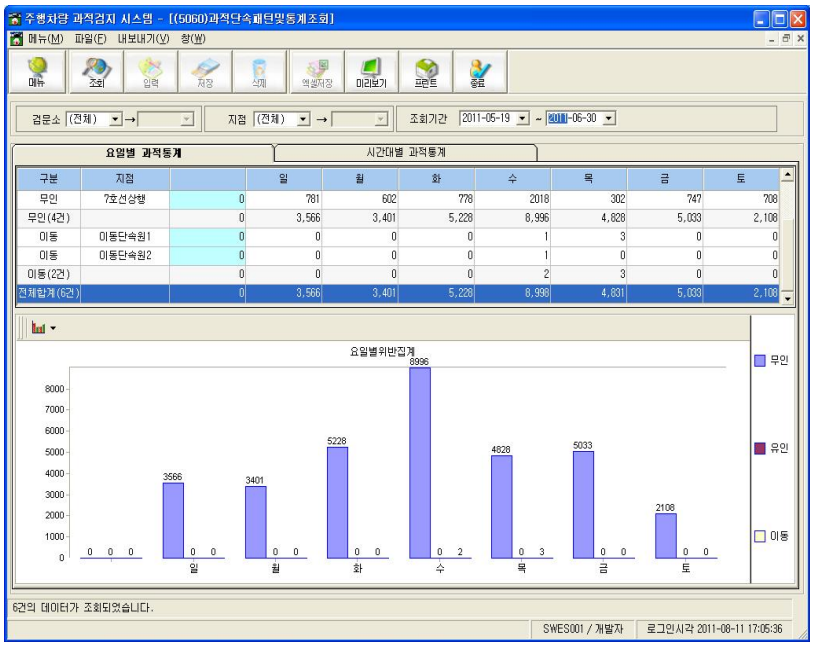
[표 3-31] 과적검지 총괄조회 프로그램 소스



내용 :

과적검지 총괄조회 프로그램의 원시소스 중 화면 초기화 모듈부분

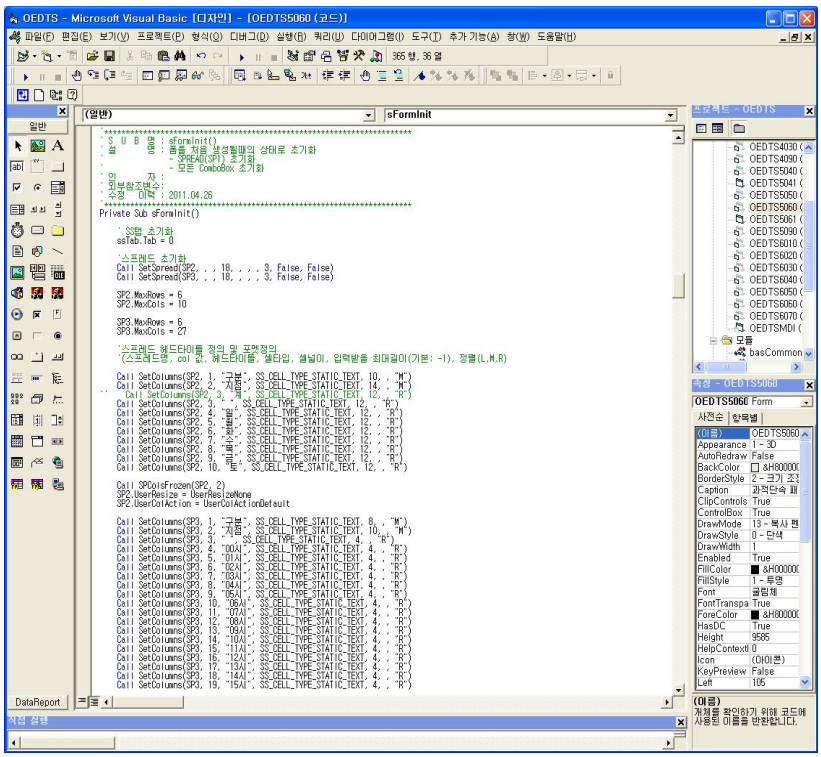
[표 3-32] 과적검지 패턴 및 통계조회



사용목적 :

현장에서 발생되는 모든 화물차종에 대한 데이터를 요일별 통계 내어 요일별 추이를 표출한다.

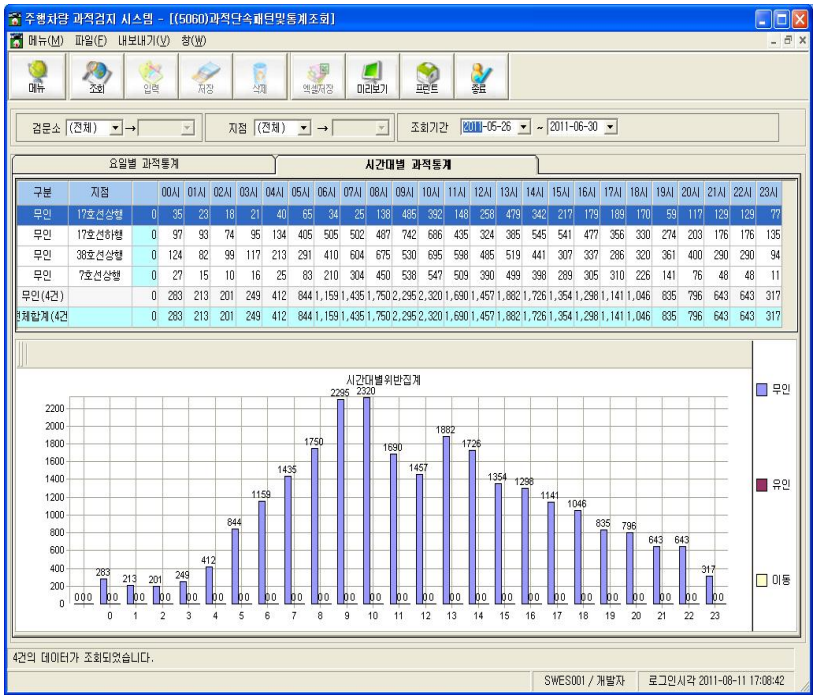
[표 3-33] 과적검지 패턴 및 통계조회 프로그램 소스



내용 :

과적검지 패턴 및 통계조사 프로그램의 원시소스 중 화면 초기화 모듈부분

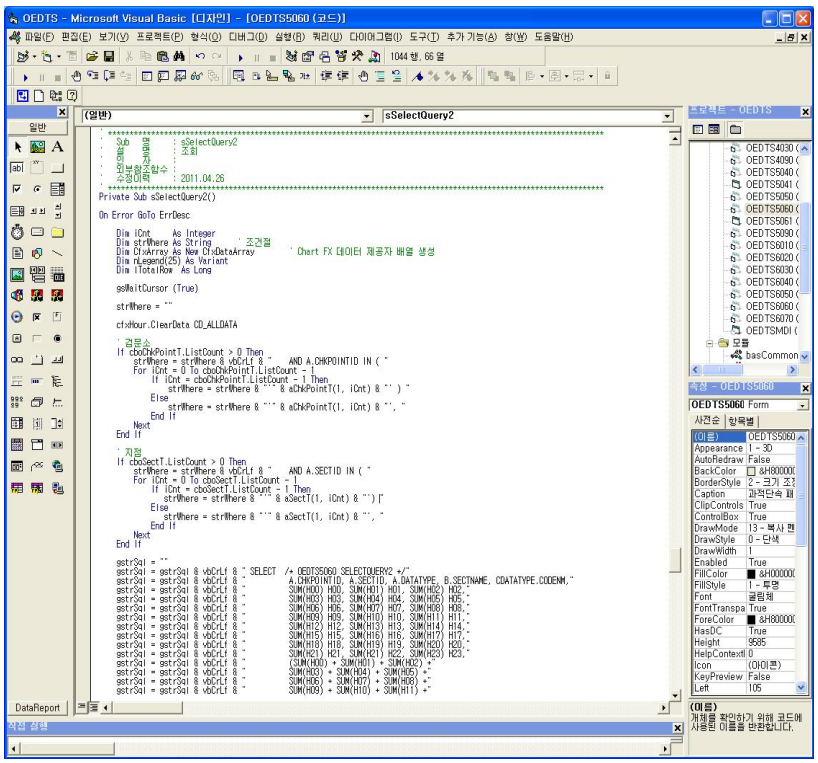
[표 3-34] 과적단속 패턴 및 통계조회



사용목적 :

현장에서 발생되는 모든 화물차종에 대한 데이터를 시간대별 통계 내어 시간대별 추이를 표출한다.

[표 3-35] 과적검지 패턴 및 통계조회 프로그램 소스



내용 :

과적검지 패턴 및 통계조사 프로그램의 원시소스 중 시간대별 검지 데이터 조회 쿼리 모듈 부분

제3절 시범사이트 구축 계획 수립

1. 시범사이트 구축의 목적

○ 본 연구과제에서 개발되는 과적검지 시스템(센서 및 제어기)의 시범설치를 통해 성능을 검증하고, 개발시스템의 실용화/사용화 가능성을 극대화하기 위한 시범사이트를 구축・운영

○ 현재 국내에는 고속 WIM 시스템의 적용기준, 승인기준 및 성능평가 등에 적용할 수 있는 상세한 정의나 기준 제시가 부재하여 시험테스트 및 성능검증 연구를 통해 표준화 및 기준 마련의 기반을 제시

2. 국내외 고속 WIM 시스템 시범사이트 현황

가. 국내 고속 WIM 시스템 시범사이트

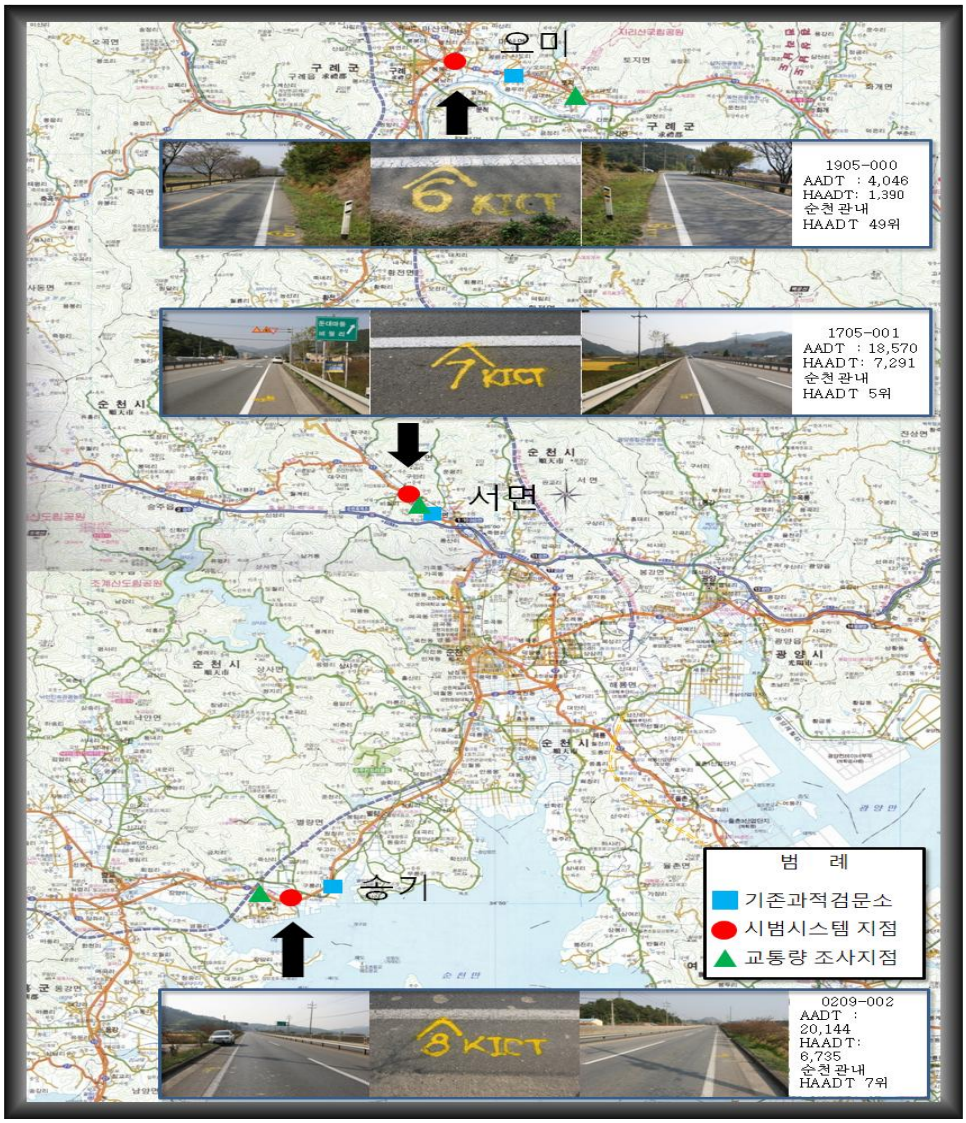
(1) 국도 무인과적 단속시스템 시범사업

○ 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 대비

○ 설치 장소: 순천국도관리사무소 내에 위치한 여수국가산업단지와 광양제철소 등의 과적차량 주요 근원지와 인접한 일반국도 17호선, 19호선, 2호선에 최근 3년간의 화물차량 교통량, 다양한 계측 환경, 계측자료 검증(실험)의 용이성 등을 고려하여 지점을 선정하여 시스템 및 관련 장비 설치

[표 3-36] 국도 무인과적 단속시스템(시범) 구축지점별 축중센서 및 포장공법

지 점	센서 종류	센서 배열 방법	포장 공법
송기검문소(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)



[그림 3.37] 국도 무인과적 단속시스템(시범) 구축지점

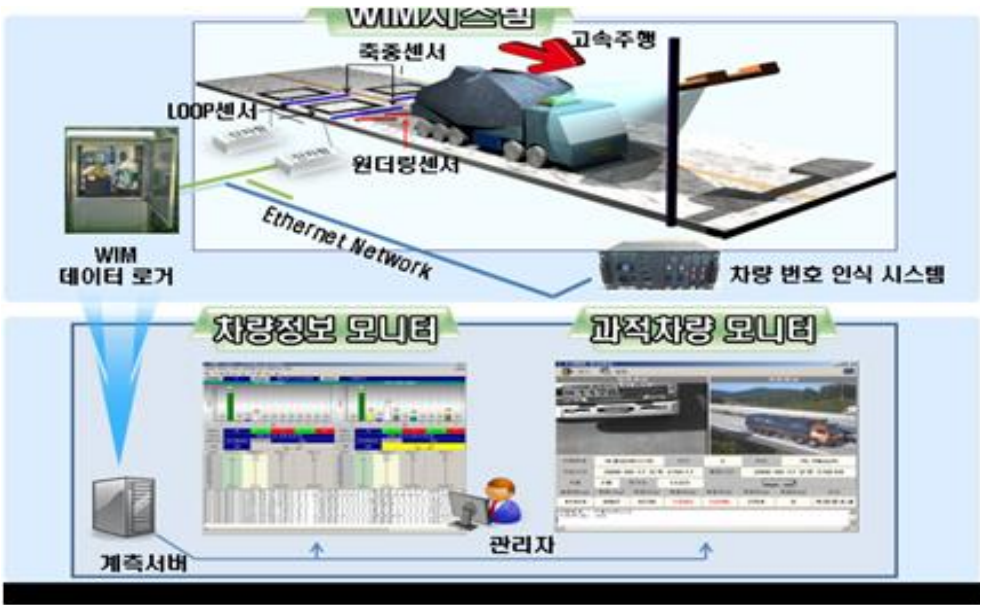
[출처: 운행제한 선진화방안 연구, 국토해양부, 2011]

(2) 중부내륙고속도로 시험사이트(한국도로공사)

○ 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 개념을 도입하는 등 시스템을 지속적으로 개선 운영하고 있음

○ 고속 WIM 시스템 성능 테스트 내용

- 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



[그림 3.38] 중부내륙고속도로 고속 WIM 시험사이트

나. 국외 고속 WIM 시스템 시범사이트

○ 독일 아우토반 A8 시범사이트 : 뮌헨으로 향하는 아우토반 A8 고속도로(일교통량 100,000대 이상, 중차량 비율 20% 이상)에 구간관리, 운전자 지원, 운행패턴 분석 및 과적차량 단속을 위해 최첨단 시스템 및 장비를 설치하여 테스트 중

[표 3-37] 독일 아우토반 A8 시범사이트의 목적

수집 자료	목적	목표
• 중량측정 시각 • 축수 • 축간거리 • 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 • 구간내 차량위치	• 운행패턴 모니터링	• 사고 방지 • 운행안전성 향상

○ 기간 : 2008년 7월 ~ 2011년 12월

○ 주요 시범설치 시스템

- 고속 WIM 시스템
- RFID 태그 리더기
- 열화상 시스템(Infrared camera)
- 3D 카메라 시스템

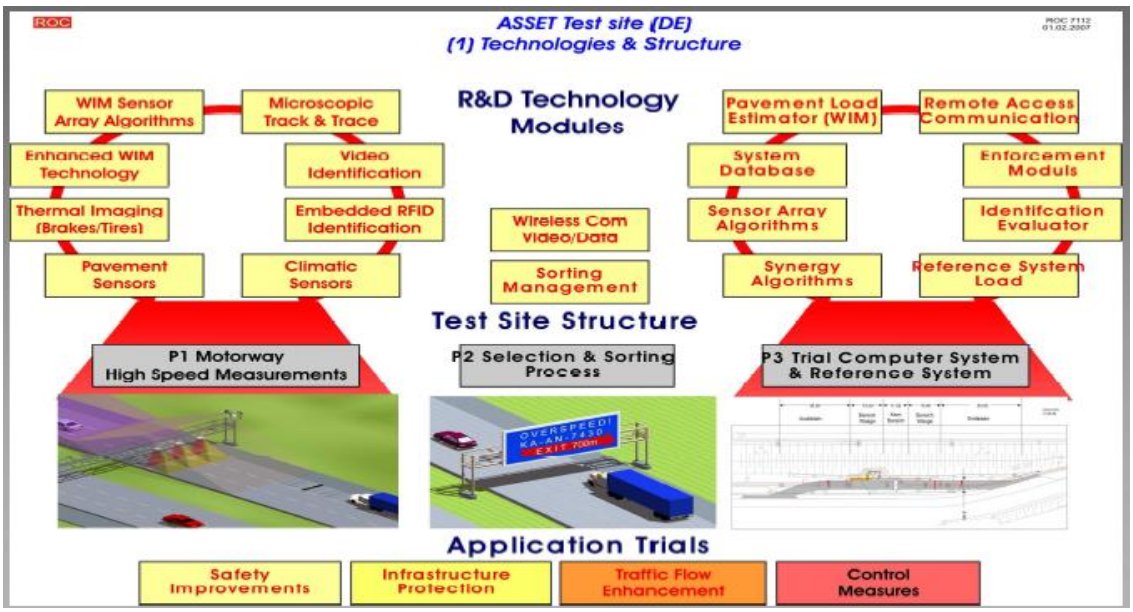
○ 시범사이트 위치: 뮌헨과 남부 바바리안 지역 및 오스트리아를 연결하는 주요 간선축인 Motorway A8에 시범 시스템 설치

[그림 3.39] 독일 고속 WIM 시스템 시범사이트 위치

[출처: The ASSET-Road Consortium, "ASSET - DEL 6.1 Test site requirements and specifications"]

○ 고속 WIM 시스템의 특징

- WIM 센서: 소량화한 다수의 스트레인 게이지를 메트릭스하여 특수한 ASICs와 새로운 RISC 프로세서를 센서에 직접 임베디드한 형태의 중량 측정센서 사용
- 제어기: 실시간 임베디드 프로세서를 탑재한 NI cRIO-9104, 8-Slot 3M Gate 모델 사용



[그림 3.40] 독일 WIM 시범사이트 기술개발 개념

[출처: ROC Consulting & Engineering, "ASSET-Road Project Company Presentation", 2009]

3. 시범사이트 대상지 검토

가. 선정기준

○ 법, 제도 측면에서의 실현가능성, 시범사이트 고유의 목표달성도, 구축비용, 기존 시설과의 관계 등 다양한 측면을 고려하여 대상지 선정

○ 국토해양부의 도로교통량 통계연보 등의 자료를 통해 일교통량 중 일정비율 이상의 중차량이 통과하는 도로구간 선정

○ 도로의 선형(종단, 횡단, 곡선반경 등), 차로 폭, 차로 수 등 기하구조가 양호하고 포장상태가 양호한 구간 선정(COST 323 및 ASTM 설치기준 참조)

○ 성능테스트를 위한 컨테이너 및 부대시설의 설치가 가능한 공간부지가 확보된 도로구간 선정

○ 최대한 논리적이고 객관적인 기준에 의하여 사업의 실현 가능성을 높일 수 있는 대상지를 선정

○ 사업의 특성을 감안하여 대표성이 강한 도로구간 선정

나. 유의 및 고려사항

○ 고속 WIM 시스템을 설치·운영하는 도로관리청과의 사전협의 및 협조를 통해 시범설치 구간을 선정

○ 과적차량 단속시스템을 운영 중인 국토해양부와의 협의를 통해 기존 과적검문소를 활용하는 방안 또는 시험사이트를 운영 중인 한국도로공사와 협의하여 시범시스템을 설치·운영하는 방안을 검토

○ 향후 적절한 전문 실행자에게 책임을 위양할 수 있는 대상지 선정

대상지 A	
	도로구간 : 국도17호선 서면과적검문소 교통량 : 약19,000대/일 중차량 비율 : 약 11% 포장상태 : 아스팔트 기하구조 : 왕복4차로
대상지 B	
	도로구간 : 국도38호선 송산과적검문소 교통량 : 약15,000대/일 중차량 비율 : 약 14% 포장상태 : 아스팔트 기하구조 : 왕복4차로
대상지 C	
	도로구간 : 국도17호선 강동과적검문소 교통량 : 약20,000대/일 중차량 비율 : 약 5% 포장상태 : 아스팔트 기하구조 : 왕복4차로

[그림 3.41] 시범사이트 대상지 검토

4. 시범사이트 구축 로드맵

가. 시범사이트의 기능요구서

○ 기능 요구서는 시범사이트의 구축 및 운영 목적에 부합하는 시스템을 선정하고 설치·운영하기 위한 일반요구사항, 기능요구사항, 성능요구사항 및 운영요구사항을 설정하고 시범사이트에 설치되는 각 서브시스템의 규격 및 사양 정의, 운영방안 및 비

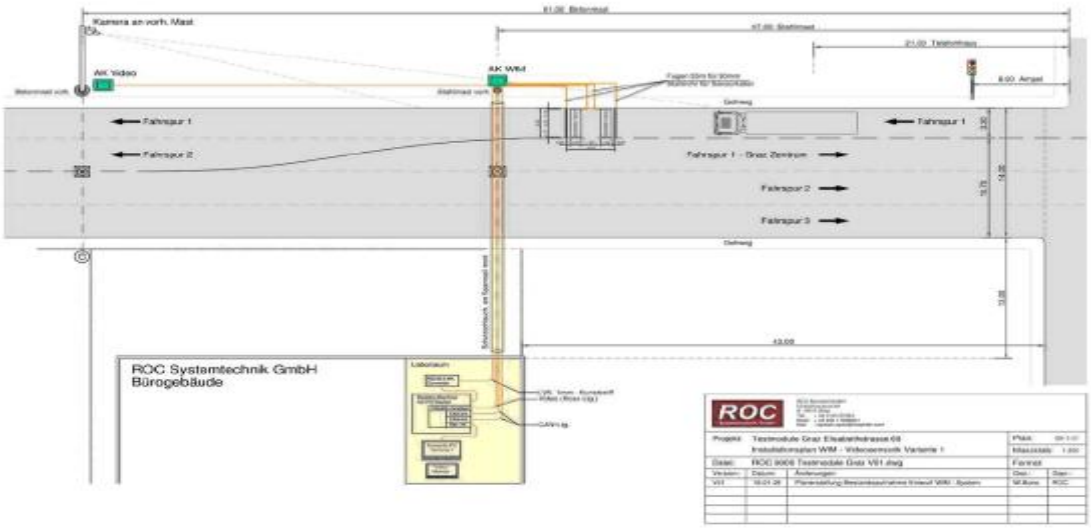
용계획 등 다음과 같은 내용을 작성함

- 시범사이트의 목표 및 목적
- 시범사이트 대상지 검토 및 현황 파악
- 시범사이트의 요구사항
- 설치 시스템의 사양 및 규격
- 데이터 통신방안
- 운영 방안
- 데이터 운영 및 관리방안
- 비용계획 수립
- 차기계획 수립

나. 시범사이트 설계

○ 이 단계는 분석단계의 산출물인 기능요구서와 사용자의 요구사항을 만족시킬 수 있는 시스템을 설계하는 것으로 시범사이트에 설치·운영하고자 하는 각 서브시스템에 대한 설계, WIM 시스템을 설치하기 위한 도로구간의 포장설계(약 80~100m 구간), 센서배치를 위한 현장사이트 설계, 성능평가를 수행하기 위한 기타 관련시설 등에 관한 설계를 수행하고 설치함

- 시범사이트 도로포장 설계
- 각 서브시스템 설계(고속 WIM 시스템, 통신 시스템, 센터 시스템 등)
- 센서설치 지점, 관측지점, 관리사무소 등 현장사이트 설계
- 사용자 인터페이스 설계
- 컨테이너 등 성능평가와 관련된 기타 시설 및 장비 설계



[그림 3.42] 오스트리아 WIM 시범사이트 현장 설계 사례

[출처: The ASSET-Road Consortium, "ASSET - DEL 6.1 Test site requirements and specifications"]

다. 시범시스템 구축

○ 시스템 설계 단계에서 마련된 설계명세(design specification)를 바탕으로 하드웨어와 소프트웨어를 구입 혹은 실제 제작 및 설치하는 단계가 시스템 구축단계임

○ 이 단계에서는 시스템 구현과 더불어 시스템 시작테스트(Opening testing)와 시스템 관련 문서화(documentation)가 이루어지며, 특히 문서화는 하드웨어, 프로그램, 데이터 등에 대한 기록으로 사용자와 개발자, 운영·관리자, 장래 개발자 모두를 위해 필수적임

라. 시범시스템 구축 운영

○ 마지막으로 시스템 구축이 끝나면 시스템 운영단계에 진입하는데, 본 연구에서는 고속 WIM 시스템의 성능검증 평가와 더불어 정상적으로 시스템이 사용자에게 사용될 수 있도록 제반 시스템관리와 운영을 포함함. 또한 시스템 관리를 통하여 사용 중 발생하는 오류 수정과 연구내용 수정 및 변경 등의 환경변화에 따라 시스템을 변경

하여야 함

○ 또한 개발된 시스템의 계속적인 경제성 및 효용성을 평가하고 다음 단계의 타당성 검토하여 Go/Stop을 결정해야 함

[표 3-38] 시범사이트 구축 로드맵

	1차년도	2차년도	3차년도
	분석단계	구축단계	운영단계
세부계획	• 시범사이트 목적 수립 • 국내외 WIM 시스템 현황 조사 • 시범사이트 대상지 검토 • 성능평가 방법 검토 분석		
기능 요구서	• 대상지 선정 • 일반요구사항 작성 • 기능요구사항 작성 • 성능요구사항 작성 • 운영요구사항 작성 • 서브시스템의 사양정의 • 구축비용 계획수립		
설 계	• 기본/실시설계 -각 서브시스템 설계 -센터시스템 설계(H/W, S/W) -현장 사이트 설계 • 포장설계		
시스템 구축		• 계발 고속 WIM 시스템 -개발센서 -개발제어기 -통신시스템 • 이기종 고속WIM 시스템 • 운영 소프트웨워 • 컨테이너 등 평가를 위한 기타 관련시설	• 평가검증용 카메라
성능평가	• 국내외 중량계측기 성능 인증 방안 검토 • 국외 고속 WIM시스템 성능검증 및 평가 방안 검토 -Cost 323 기준 검토 -ASTM 기준검토	• 성능인증 방안검토 -국내기준 검토 -국외기준 검토 • 성능검증 및 평가방안 마련 -평가기준 및 척도 마련 -단위시스템 평가방법 -통합시스템 평가방법 • 고속WIM시스템 성능평가 및 검증방안 마련	• 개발 고속WIM시스템 성능평가 • 이기종 고속WIM시스템 성능평가 • 비교평가 • 개발 알고리즘 평가 • 시스템 종합평가

5. 성능검증 및 평가 방법 검토

가. 성능검증 적용기준 검토

○ 성능검증은 관련규정 및 지침에 설정된 기준에 대한 만족 여부를 확인하는 작업이고, 인증은 검증을 토대로 한 결과를 인정해 주는 것으로 성능인증을 위해서는 성능검증의 자료가 필수적으로 요구됨

○ 현재 WIM 시스템에 관한 연구 및 적용이 가장 활발히 진행되고 있는 유럽에서는 COST 323 (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)에서 인증업무를 수행함

○ 한편 국내에서는 계량에관한법률 및 국가표준기본법에 의거하여 WIM 시스템의 검사, 교정 및 보정을 수행하고 있으며, 2001년 한국건설기술연구원에서 'WIM 장비설치 및 관리요령'에서 한국형 WIM 기준연구를 통해 적용기준을 제시한 바 있음

○ 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 있으며 [표 3-39]과 [표 3-40]는 각 기관에서 적용하고 있는 기준을 비교 검토한 결과임

○ 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 있음

[표 3-39] 각 기관의 WIM 시스템 적용기준 비교

구분	ASTM	COST 323	OIML	건기원
WIM 유형	4가지 유형	모든 유형	저속 WIM	저속/고속 WIM
주요 목적	WIM 시스템의 유형 결정	WIM 시스템의 전반적 사용에 대한 기준	무역, 단속	WIM 시스템의 전반적 사용에 대한 기준
추출자료	단축하중 윤하중 축그룹하중 총중량 ESAL	축하중 축그룹하중 총중량	축하중 총중량	축하중 축그룹하중 총중량 축거 차종 속도
대상구간	최적상태의 단일구간	3개 등급	최적상태의 단일구간	적용구간 기준제시

[표 3-40] WIM 시스템의 활용 목적별 정확도 수준 비교

구분	COST 323	ASTM	건기원
통계용	D+(20), D(25) (±20~30%)	Type I B(10)~C(15)	없음
교통류관리 분석	B(10)~D(25) (±10~30%)	Type II C(15)~D+(20)	
시회간접자본시설 평가	B(10)~C(15) (±10~20%)	정의 없음	
과적차량 사전선별	정의 없음	Type III B+(7)~B(10)	
과적단속(법적 제재)	A(5), B+(7)	Type IV	

나. WIM 시스템의 정확도 평가방법

○ 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 구분함

○ COST 323에서는 WIM 시스템의 정확도 평가시 통계적으로 발생할 수 있는 불확실성을 감소시키기 위해 테스트의 반복성, 샘플 크기, 신뢰도 수준을 조합하여 다음과 같은 절차로 평가를 수행함[11)]

① 오측정 검지의 시간간격, 운영시간에 대한 통계를 포함한 시스템 불량, 오측정에 대해 보고

② WIM시스템에 의해 기록된 차량 수에 대한 통계치 기록(기록되지 않은 차량수; 이때에는 에러로 기록된 차량 수는 제외)

③ 통계적 방법에 근거(Dixon's test)하여 이상치를 정의

④ 샘플 수가 충분하여 독립확률오차가 모분산을 충족시킬 경우에는 정규성 검토(Fishier's test). 대부분의 경우 정규성을 나타내며 시스템에 기능장애가 발생하는 경우에는 비정규성을 나타냄

⑤ 상대오차는 정적하중과 관련하여 계산되는데, 각 모집단(sub-population)인 축, 축그룹, 총중량에 대한 측정치는 다음식에 의해 계산

$$x_i = \frac{(Wd_i - Ws_i)}{Ws_i}$$

Wd_i, Ws_i = 같은 유닛의 정적과 동적인 하중의 측정값.

s = 표준편차

⑥ 신뢰구간을 표현하는 $[-\delta;+\delta]$의 신뢰수준, 즉 개별 상대오차에 대한 확률은 샘플의 통계를 활용하여 예측하며, π로 나타내지는 신뢰수준의 범위는 statistical risk α에 의해 결정

$$\pi = \Phi(u_1) - \Phi(u_2)$$

11) COST 323 : WIM-LOAD, Final Report, 2002

여기서, $u_1 = (\delta - m)/s - t_{v,1-\alpha/2}/n^{1/2}$

$u_2 = (-\delta - m)/s + t_{v,1-\alpha/2}/n^{1/2}$

Φ = 스튜던트 변수의 누적분포함수

$t_{v,1-\alpha/2}$ = $v = n-1$자유도'에서의 스튜던트 변수

α = 0.05

m = 평균

s = 표준편차

초기검증(보정과 확인을 위한 동일데이터)인 경우 δ는 k(=0.8)로 대체함

⑦ WIM의 정확도 수준은 다음 두 가지 방식중 하나를 이용하여 결정함

(i) 각각의 모집단은 제시된 정확도 수준인 δ의 결정기준

IF $\pi \geq \pi_0$, 제시된 정확도 수준에 부합함

IF $\pi \geq \pi_0$, 제시된 정확도 수준에 미달됨. 이 경우 더 낮은 정확도 등급(δ을 더 크게 하여)을 기준으로 부합할 때까지 반복함

여기서, π_o는 테스트와 환경조건, 샘플사이즈에 따른 최소신뢰기준

(ii) 수식을 적용하여 계산하는 방법의 대안으로 $\pi = \pi_0$을 만족하는 $\delta_{\min}$의 최소값이 등급표에 제시된 정확도 등급보다 작은가를 확인함

○ COST 323의 정확도 산출방식은 테스트 조건이 까다롭고 계산방법 또한 복잡함. 그러나 통계적인 이론을 바탕으로 하여 정확도 측정에 영향을 미치는 대상구간의 요건과 테스트 조건 등을 조합하여 평가하기 때문에 신뢰성이 높은 평가기준 및 방법으로 인식하고 있음

○ 한편 사용자의 이용 편의를 [그림 3.43]과 같이 복잡한 계산식을 엑셀로 구성한 프로그램에 의해 자동적으로 계산이 가능함

[표 3-41] COST 323의 정확도 테스트 조건

환경 반복성/재현성 조건		측정 조건	
등급	수 준	등급	내 용
I	• 1일 또는 연속적으로 수일 • 측정기간 동안 안정적인 기상조건과 외부변수 영향이 낮음	r1	• 하나의 차량이 동일속도로 여러번 통과 • 차량의 하중 및 통과 위치는 동일함
II	• 연속 또는 비연속적인 수일 혹은 수주 • 측정기간 동안 가변적인 기상조건과 외부변수가 발생(계절 변화)	r2	• 하나의 차량이 다른 속도로 여러번 통과 • 다른 하중 및 통과 위치는 변화함
III	• 수일 혹은 수주 동안의 테스트를 1년간 실시 또는 1년 내내 실시 • 측정기간 동안 가변적인 기상조건과 외부변수가 발생	R1	• 여러대의 차량 사용(2~10대) • 각 차량의 하중, 속도, 위치가 다름
		R2	• 수십에서 수백대의 샘플수 적용 • 교통류에서 추출하거나 대표차량을 적용함

주) I: 반복성, II: 재현성의 한계, III: 완전한 재현성

r1(full repeatability): 완전한 반복성, r2(extended repeatability): 확장된 반복성

R1(limited reproducibility): 제한된 재현성, R2(full reproducibility): 완전한 재현성

COST 323 : European Specifications on WIM

Accuracy calculation (9. Initial verification/10. In service verification)

Fulfil the green cells, and if necessary the blue

Conditions (1)	Test plan	Env^t
	rr2	II

Initial verification (Yes=1, No=0):	0

SYSTEM	Number	Identified	Mean	Std deviat	π_0	Class	δ	δ_{min}	δ_c	π	Accepted
Entity		(%)	(%)	(%)	(%)		(%)	(%)	(%)	(%)	class
gross weight	200	96.2	-3.00	8.00	92.2	D+(20)	20	16.3	16.3	97.2	
group of axles	80	96.2	4.00	9.00	90.7	D+(20)	23	18.7	15.7	96.5	D+(20)
single axle	200	95.5	-4.00	9.00	92.2	C(15)	20	18.7	13.7	94.2	
axle of group	210	96.0	5.00	13.00	92.3	D+(20)	30	26.5	16.5	95.7	

See definitons on lines 42 a

(1)
"r1"=full repeatability
"r2"=extended repeatability
"rr1"=limited reproducibility
"rr2"=full reproducibility
"I"=environmental repeatability
"II"=environmental limited reproducibility
"III"=environmental full reproducibility

Users' instructions:

1. Enter the test conditions in cells B5 and D5, and put "1" in cell M4 if the same data sampl was used for calibration (initial verification), "0" otherwise (in service verification)
2. Enter the test statistics (on relative errors) in cells B9 to B12 and D9 to E12
3. (option) Initialise the expected values of δ_{min} in cells I9 to I12 ***(only if step 4. fails)***
4. Start the command "Tools/Solver/Solve/keep the results"
   - "Outils/Solveur/Résoudre/Garder la solution du solveur", and then OK if successful

if the solver doesn't find an accepted solution,
return to step 3. and modify the initial values of δ_{min}

[그림 3.43] COST 323 정확도 등급 만족여부 판단 엑셀 프로그램

[출처: Bernard Jacob, "COST 323 Weigh-In-Motion of Road Vehicles", Final Report]

제4장 연구개발 달성도 및 관련분야 기여도

제1절 연구목표 달성도

1. 연구개발 수행 진도율

[표 4-1] 연구개발 수행 진도율

구 분 / 개발내용	연 구 개 발 기 간								진도(%)
	1	2	3	4	5	6	7	8	
과적검지시스템에 대한 국내외 기술동향 파악									100
과적단속 관련 법/제도 분석									100
기존 과적검지 시스템의 문제점 분석 및 개선방안 도출									100
센서 Cell 개발을 위한 3D CAD Simulation									100
센서 Body(상판, 하판) 개발 및 제작									80
Pressure Transmitter 개발 및 시제품									90
제어기 기능설계(S/W)									90
MEMS센서 개발 및 시제품 제작									90
센서 Cell 조립, 스케일링 및 성능 테스트									80
제어기 기능 설계(H/W)									75
국내외 WIM 시스템 시범사이트 현황조사									100
시범사이트 대상지 검토									100
시범사이트 구축 로드맵									85
성능검증(통합시험) 및 평가기술 검토									85
중량 표출용 UI 기능 설계									85
총 진도율	100	100	100	100	100	100	90	0	86.25

· 당초계획
———————— 실 적

2. 연구개발 목표의 달성도

가. 연구개발 목표의 달성도

[표 4-2] 연구개발 목표 및 내용

목 표	달성도(%)	내 용
• 과적검지시스템 현황분석 및 연구 개발방향 정립	100	• 과적검지시스템에 대한 국내외 사례조사 및 기술동향 파악 • 과적단속 관련 법/제도 분석 • 기존 과적검지 시스템의 문제점 분석 및 개선방안 도출 • 개발로 인한 수입대체 등 기술/경제적 파급효과 분석 • 연구 방향 설정 및 로드맵 수립
• 과적검지 기반기술 개발 ⇨ 신소재 과적검지센서 프로토타입 개발	85	• 센서 셀 구조와 곡률에 관한 시뮬레이션 실시 • 최적소재 선정 및 센서 사양 결정 • 센서 알고리즘 모델링, 설계 및 시작품 제작 • 센서부, 통신부, 제어부 구성・배치 등 제어기 최적설계
• 시범사이트 구축 세부기획	90	• 국내외 WIM 시스템 시범사이트 현황조사 • 시범사이트 대상지 검토 • 시범사이트 구축 로드맵 • 성능검증 및 평가기술 방법 검토 분석

나. 센서개발 성과 달성도

[표 4-3] 센서개발 성과 달성도

구 분	센서 개발목표		1차년도 개발성과	
	MEMS 압력센서	Unit	MEMS 압력센서	Unit
Accuracy	±1	%FSO	±1.74	%FSO
Non linearity	≤1	%FSO	≤0.87	%FSO
Hysteresis	≤1	%FSO	≤0.87	%FSO
Operating temperature range	-40～120	℃	-40～120	℃

제2절 관련분야에의 기술발전 기여도

○ 국내 및 해외 센서기술에 비해 비교우위가 높은 고속 과적검지 센서기술의 원천기술을 확보함으로써 외국기술의 의존성을 탈피하며 외화의 유출을 차단하고 적극적인 해외시장 진출로 역수출할 수 있음

○ 현재 고속 WIM 시스템과 유사하게 설치·운영되고 있는 교통량조사장비(Automatic Vehicle Classification, AVC)에 적용할 수 있어 AVC 장비의 성능 및 기능 개선에 기여

○ 교통신호 위반관리 및 정지선 등 차선 위반관리가 가능하며, 기존에 사용되는 루프는 오버행과 동기화 문제로 인하여 정확도가 떨어지나 개발센서의 사용으로 정확도가 높아짐

○ 개발시스템은 정지 및 저속주행시에도 차량의 중량 측정이 가능한 바 고가의 저속 WIM 시스템이나 Weighbridge 대용으로 가능함

○ 축적된 기술의 활용과 지속적인 연구에 의한 기술혁신으로 국내 및 세계시장을 선도할 수 있음

○ 과적단속 관련 요소기술의 확보로 단속 성능은 제고하고, 비용은 감소시켜 녹색성장 분야에 기술적 기여

○ 성능검증 시범사이트 운영으로 향후 개발한 기술의 성능검증을 피드백하여 개발기술의 완성도를 높일 수 있음

제5장 연구개발결과의 활용계획

제1절 추가연구의 필요성

○ [표 5-1]에서 제시한 결과를 살펴보면 본 연구에서 개발하는 반도체식 MEMS형 실리콘 압력센서의 각 특성(Accuracy, Non-linearity, Hysteresis)값에서 정확도는 다소 부족하나 비직선성 및 히스테리시스 값은 우수하게 나타나 계획에서 언급한 목표치에는 도달하였음

○ 그러나 MEMS형 실리콘 압력센서를 실제 WIM 센서로 적용하여 높은 수준의 측정 정확도를 획득하기 위해서는 특성값들이 목표치 보다 2배 정도의 높은 성능을 가지고 있는 것이 바람직함. 특히 개발센서의 상용화를 위해서는 현재 1차년도 MEMS 압력센서의 특성 성과치는 부족할 것으로 예상이 되므로 다음과 같은 추가 연구가 필요함

- MEMS형 압력센서의 chip 설계 및 제작을 상용화에 맞는 형태로 모듈화
  - Chip size 변화에 따른 low sensitivity를 반도체 공정기술을 통하여 다이어 프레임의 두께를 modulation으로 해결
  - Chip design modulation을 통한 횡방향 압저항 변형의 이상적 위치구축

- 센서+Glass+SUS 접착력 문제에 따른 센서의 신뢰성 감소 개선
  - 이상적 압저항 변화에 요구되어지는 접착력 테스트
  - 반복적 실험적 테스트를 통한 이상적인 조건 확립

- MEMS형 압력센서의 온도에 따른 TCS값을 측정하여 온도보상회로 제작을 위한 알고리즘 완성

[표 5-1] 센서의 1차년도 성과 및 2차년도 개발 목표

구 분	MEMS 센서의 개발목표 규격		1차년도 MEMS센서개발 성과		2차년도 MEMS센서개발 목표	
	MEMS 압력센서	Unit	MEMS 압력센서	Unit	MEMS 압력센서	Unit
Accuracy	±1	%FSO	±1.74	%FSO	±1	%FSO
Non linearity	≤0.5	%FSO	≤0.87	%FSO	≤0.5	%FSO
Hysteresis	≤0.5	%FSO	≤0.87	%FSO	≤0.5	%FSO
Operating temperature range	-40～120	℃	-40～120	℃	-40～120	℃

제2절 활용 방안

1. 연구결과의 활용방안

○ 고성능과 높은 가격 경쟁력을 갖는 과적검지 센서기술을 국내 기술로 확보함으로써 과적검지 시스템의 신뢰성 및 활용성을 높일 수 있으므로, 현재 과적단속 업무를 수행하는 국토해양부(국도관리사무소), 한국도로공사 및 지방자치단체 과적단속 시스템에 적용할 수 있음

- 사회적으로 과중차량 무인단속시스템의 도입 여건이 조성됨
- 국토해양부는 일반국도에 2012년까지 139개소 설치 계획[12] 공개
- 서울특별시는 관내 도로에 2013년까지 11개소 설치 계획 등 지방자치단체의 설치 수요[13] 공개
- 중앙정부 및 지방자치단체에서는 과적차량 무인단속사업 추진 의지 및 계획을 발표하여 관련 기술력만 확보되면 수요는 확보한 상황으로써 관련 기업의 안정적인 경영 환경 조성 가능성이 높음

12) http://www.asiae.co.kr/news/view.htm?idxno=2009112506443048709
13) 노컷뉴스, http://www.cbs.co.kr/nocut/Show.asp?IDX=1328515

○ 표준화가 미비한 국내 기술의 표준화 기틀을 마련하고 WIM 또는 ITS 국제표준화에 참여 및 선도할 수 있음

○ 가격 대비 성능이 높은 검지센서 기술은 TMS, 신호위반 단속시스템 등 다양한 도로전산 관련분야에 활용될 수 있어 도로관리 체계의 선진화에 기여

○ 개발된 과적검지 센서 및 제어기 기술은 반도체식 공정을 이용한 MEMS 기술이기 때문에 정보통신, 컴퓨터, 제어기술, 교통, 항공, 의학 등에 적용이 가능한 기술로 다학제 연구 및 관련 산업에 활용 가능성이 기대됨

○ 본 과제를 통해 개발된 축중 관련 요소기술은 기타 교통수단(철도, 도시철도 등)의 측량 등 응용분야로의 활용 또한 가능함

○ 도로 현장의 단속시스템에 적용할 수 있는 성능검증 시범사이트 운영으로 향후 개발한 기술의 성능검증에 활용

2. 연구결과의 기업 활용방안

○ 이씨엠아시아아이티에스(주)는 과적차량 단속시스템, 교통량조사장비, 고정식 축중장비 및 화상인식 시스템 분야의 전문 중소기업으로 프랑스에 본사를 가지고 있으며, 국내외에서 지속적으로 발전하여 연매출 65억여원에 전문 임직원을 고용하고 있고 특히 과적검지시스템의 설계, 개발, 생산, 운영에 10여년 간의 경험과 노하우를 보유하고 있음. 따라서 본 연구과제를 통해 주행차량 과적검지시스템의 기반기술의 원천 기술을 보유함으로써 향후 과적검지시스템의 성능개선과 표준화로 발전시켜 과적검지시스템의 활성화를 추진할 것으로 예상됨

○ (주)우진티앤에스는 소프트웨어 개발 전문업체로서 다년간 ERP, SCM, CRM, POS 개발 구축 경험을 보유하고 있으며, 교통량조사장비 통합관리 시스템 및 국토해양부 과

적차량 무인단속 시스템 S/W와 과태료 부과시스템을 개발 운영하고 있어 본 연구과제의 참여 개발을 통해 회사의 경쟁력을 강화할 수 있음

제6장 해외과학 수집정보

○ 최근 유럽에서는 2008년 7월1일 부터 2011년 12월31일 까지 812만 유로(추가예산: 615만 유로)를 투입하여 민·관학 19개 기관이 콘소시엄 형태로 추진하고 있는 연구 프로젝트인 Asset Road(Advanced Safety and driver Support for Essential road Transport) 프로젝트에서는 과적차량을 자동으로 감지하기 위해서 독일의 고속도 등에 카메라와 다양한 센서를 설치하여 시범 운영 중임

1. Overview

ASSET Holistic Concept and Integrated Safety Theory

The enlargement of the EU together with progressing globalisation and competition is driving the need for better use of resources in the expanding transportation industry. In road traffic there is considerable potential for increasing transport sustainability in terms of safety, fluency, efficiency, infrastructure protection and energy saving.

The ASSET concept comprises the following main aspects:

- To develop a new "System Theory of Traffic Safety"
- To deduce from the theory, practical measures needed for an integrated safety system
- To develop and integrate technologies & architectures including a "Holistic System Design"
- To integrate different important and useful applications and built test sites
- To investigate functions, performances and operations and optimise the systems for future use

The consideration of multiple interactions between aspects of traffic safety will allow focused improvements.

Learning from Nature

"Natural Mobility is accident free and highly efficient"

The main ideas in ASSET are centered on the development and implementation of a holistic approach to improve safety and to achieve more efficiency in road transport:

- Driver and operator
- Vehicle and traffic
- Infrastructure and environment
- Regulation and control

This approach unites the most important safety-related categories into a complete system, generating a number of dialectic interdependencies between the main safety elements, networking and interdependent processes.

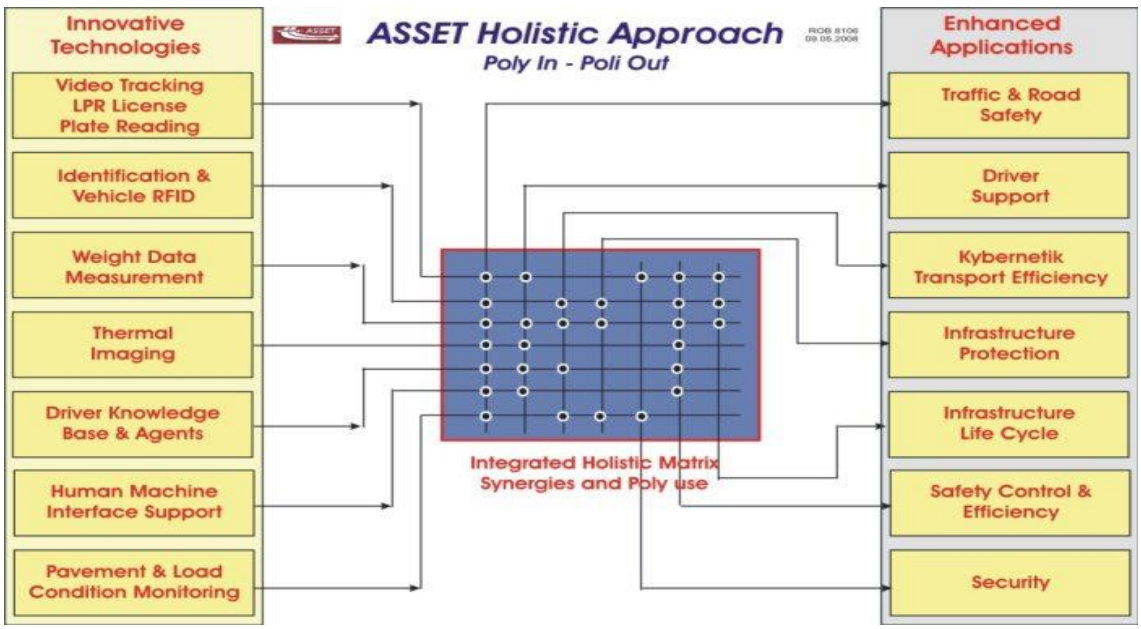
Key factors:

- Improving driver knowledge and human behaviour aspects
- Increased use of modern technologies and automation for support and supervision
- Introduction of innovative measures for safe and sustainable infrastructure
- Application of modern traffic control and networking
- Achieving overall-effectiveness in the analysis and management of system complexity

2. ASSET Objectives and Approach

The concept of the ASSET project is based on:

- Integration of the main transport elements for increased safety (Driver, Vehicle, Infrastructure and Control)
- Creation of a practical holistic approach generating an overall safety theory to manage the complex interactions
- Chains of interdependencies and processes will be analysed to identify critical parameters influencing road safety
- Developing and operating different test sites covering the technologies and applications of ASSET supported by road users and administrations
- Building a competent team of experienced and multidisciplinary experts (Kybernetikwerkstatt)



Main Elements:

Driver Behaviour:
The understanding and attitude of drivers towards traffic regulations and dangerous road conditions has a major impact on safety. The result will be safer driving.

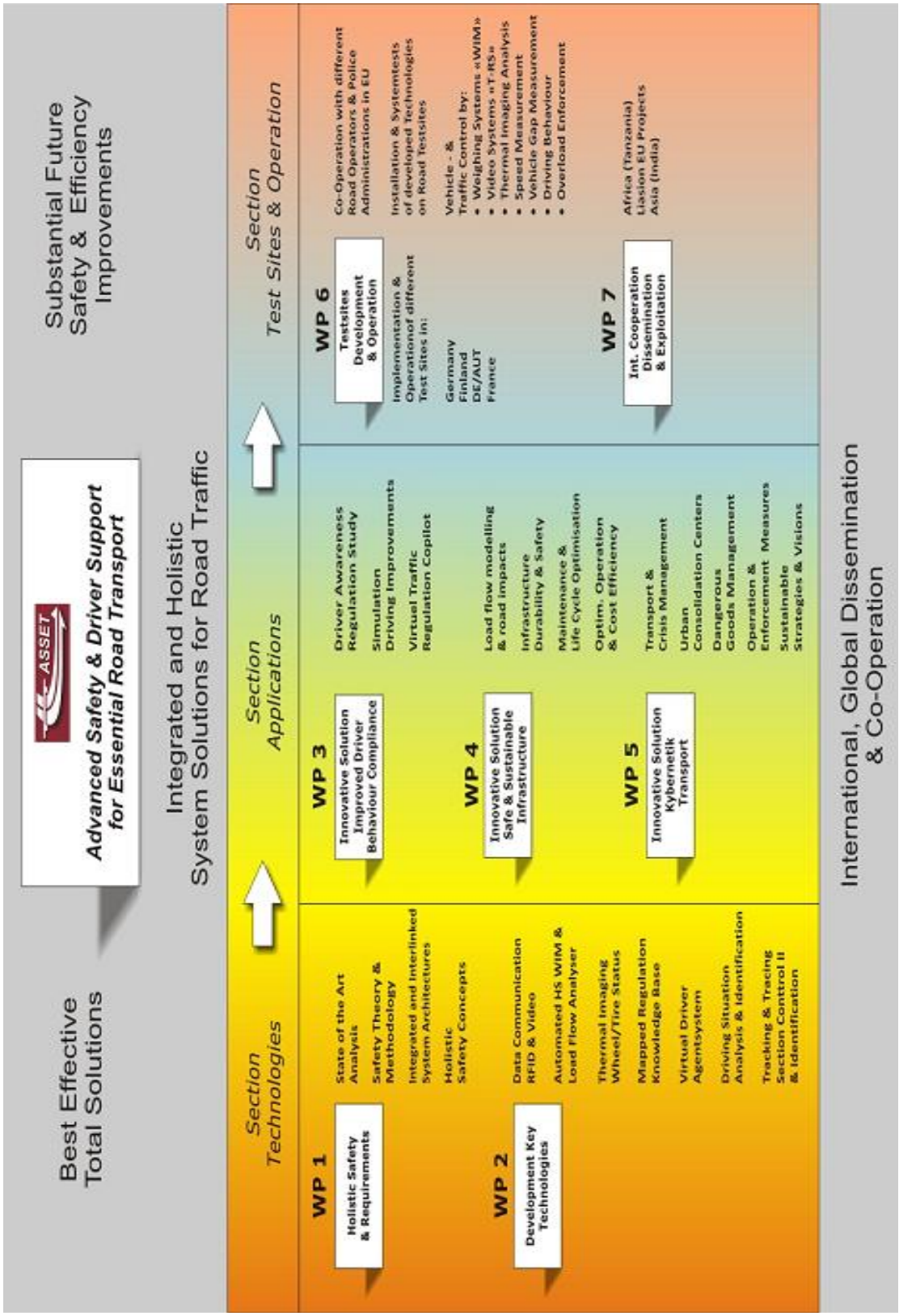
Safe and Sustainable Infrastructure:
Deficient road maintenance and repair is a significant factor to accidents and costs. Much road damage can be attributed to overloaded trucks. New processes will be developed to effect pavement maintenance and repair. The result will be less traffic disruption and less accidents.

Traffic Control and Cybernetics:
New procedures will be developed to achieve better dynamics and more efficient traffic flow. The holistic approach will integrate various types of data. Methods for enforcement of overloaded and unsafe vehicles will be improved. The number of unsafe vehicles and accidents on road will be reduced with faster and more effective response to emergency.

International Test sites are planned:
Integrated safety station (DE), Test modules (AT), Mobile safety applications (FI), Remote safety monitoring (F).

International Cooperation & Dissemination:
An ASSET forum "Saver Roads" will be arranged efficient dissemination will be established for ASSET results including a forum and two transcontinental co-operations with Africa (Tanzania) and Asia (India)

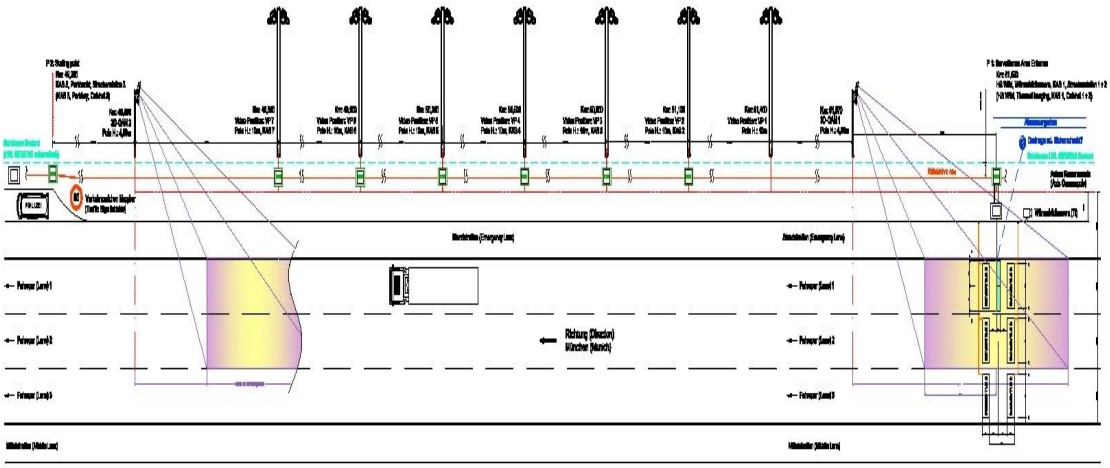
3. ASSET System concept and Workpackages (WP)

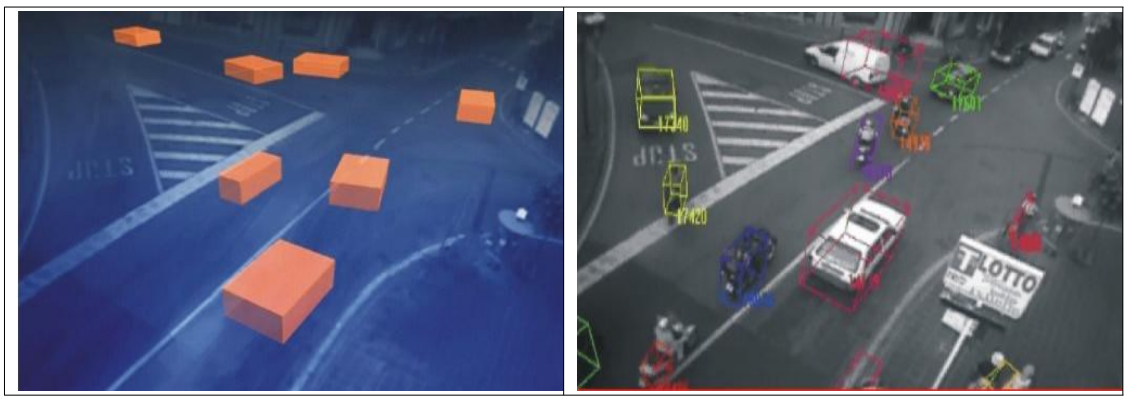


4. ASSET Innovations and Technologies

Tracking & Tracing including Identification

ASSET will implement applications for tracking passing vehicles in conjunction with other sensor systems. The applications will monitor driving behaviour in longer road sections based on a camera vision system together with RFID systems. It adopts the Structure from Motion (SFM) paradigm. The tracking & tracing module produces basic data for the virtual driver agent system.





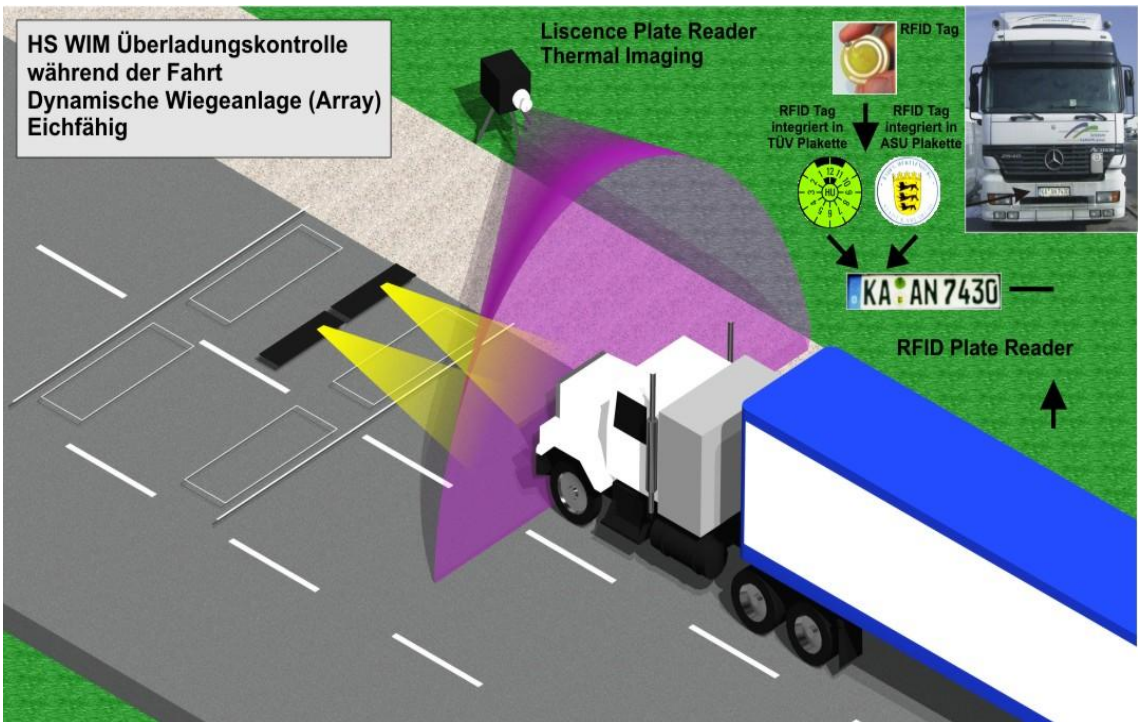
Virtual Driver Agent System

The virtual driver agent is an assistant tool for instructing a driver to save fuel and costs of driving, to protect the environment and to support safe driving according to local traffic rules or weather related conditions. The main purpose will be to warn drivers in advance of upcoming problems and to prepare active ADAS (Advanced Driver Assistance

Systems) interaction. Distance keeping, tailgating and dangerous overtaking manoeuvres are some examples that are not yet subject to automatic enforcement.

Fully Automated overload control (High Speed Weigh in Motion)

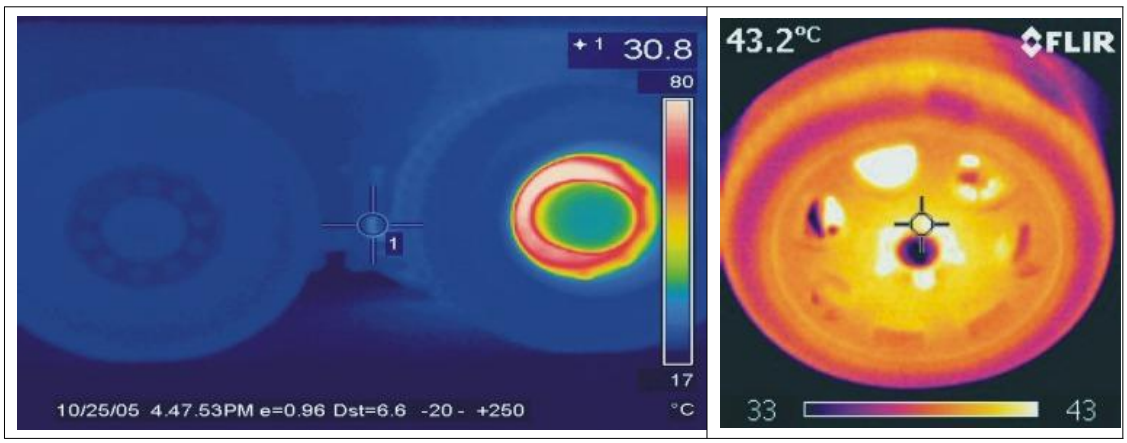
A new generation WIM system (embedded electronics and data bus in the road pavement) will be able to measure accurately the weight of individual wheels, axles and vehicles with a flat sensor-array installed in the road pavement



- Highly accurate WIM for fully automated detection and enforcement (traffic speed) of vehicle/axle overloaded
- Synchronization with Video License plate recognition
- Embedded RFID reader in the WIM sensor
- Sensor arrays for different dynamic WIM accuracies
- Enhanced dynamic weight measurement for pavement deterioration models and life cycle optimization
- New traffic load flow data parameter and algorithms
- Synchronization with wheel inspection (thermal imaging)

Thermal Imaging (Vehicle Status Control)

Ultra sensitive far-infrared cameras have a great potential in detecting the condition of HGV brakes and tires for safety monitoring. Thermal imaging technology is adapted to automatically detect defective wheels, tires and brakes.



5. ASSET Details

Project-duration: 01.07.2008 - 31.12.2011

Project-budget: 8,12 Mio €

Project-advancement: 6,15 Mio €

BMVBS/BAG: Co-financing of control station trucks overloading

Disclaimer: "This publication has been produced with the assistance of the European Union. The contents of this publication are the sole responsibility of the ASSET partners and can in no way be taken to reflect the views of the European Union."

6. ASSET Project partners

The Consortium consists of 19 partners, composed of universities (7), research institutes (3), industry (1), SMEs also from the developing countries (7) and public administrations (1) as user. Furthermore are partners from India and Tanzania

Project members:

PTV Planung Transport Verkehr AG (Coordinator)
ROC GmbH (techn. Coordinator)
VTT Technical Research Centre of Finland
VTI Swedish Road and Transport Research Institute
Università di Modena e Reggio Emilia
Université de Technologie de Belfort-Montbéliard
Universität Stuttgart
National University of Ireland
Leibniz Universität Hannover
University of Nottingham
Technical University of Iasi
Bayerisches Staatsministerium des Innern
KRIA Knowledge Research in Imaging Applications
Manfred Hügel Selektionstechnik
EMTELE Ltd.
Clarity Consulting Ltd.
ADC-AfriDeut & Philtec
National Institute of Transport (Tansania)
MTEL-KTEI Teleinfra Company (India) Pvt. Ltd.

제7장 참고 문헌

1. “WIM시스템의 소개와 정책적 활용방안”, 한대석외 2명, 교통기술과 정책, 제4권 제4호
2. “U-중차량 무인과적 단속시스템 연구 보고서”, 건설교통부/한국건설교통기술평가원
3. “고속 WIM 시스템 개발”, 안기용 외3인, 대한전기학회 학술대회, 2003
4. “유비쿼터스 교량 및 도로를 위한 U-중차량 과적관리시스템 개발에 관한 기초연구”, 윤석민, 한양대학교 석사학위논문, 2008
5. “양단 지지부를 갖는 개선된 TES-WIM용 센서 시스템에 관한 연구“, 김종우, 상지대학교 박사학위논문, 2008
6. “콘크리트 포장도로에서의 HS-WIM 적용성 연구”, 손민철, 서울산업대학교 석사학위논문, 2010
7. “Load beam을 이용한 차량 적재중량 측정용 플레이트의 개발”, 최진영, 상지대학교 석사학위논문, 2007
8. “Load Beam을 이용한 WIM 시스템에 관한 연구”, 차광일, 상지대학교 석사학위논문, 2008
9. “다중 광섬유 브래그 격자 센서를 적용한 자동 계중 시스템”, 박정수, 호서대학교 석사학위논문, 2002
10. “광섬유 센서를 이용한 WIM Mold Package 에 관한 연구”, 조성규, 호서대학교 석사학위논문, 2002
11. “압력분포를 측정할 수 있는 장주기 광섬유 격자와 이동하는 차량 무게 측정 센서로의 응용 가능성”, 이남권, 경북대학교 박사학위논문, 2006
12. “WIM(Weigh-In-Motion) 장비 보정을 위한 대표차종 선정에 관한 연구”, 김호중 외1인, 대한토목학회 학술대회, 2003
13. “[기술기사] 고속도로 무인 · 무정차 과적단속시스템 개발 현황 소개”, 권순민 외1인, 한국도로학회, 2010
14. “시험도로의 계측시스템 현황”, 권순민 외3인, 한국도로학회, 2003
15. “과적단속을 위한 고속축중계시스템의 성능향상 방안 연구”, 권순민 외3인, 한국ITS학회, 2010

16. “http://www.road.re.kr/intro/intro_04.asp?pageNum=1&subNum=4”, 차종분류표, 교통량정보제공시스템
17. “과적 단속시설 및 제도 개선”, 2010 도로업무편람, 국토해양부
18. “http://csm.seoul.go.kr/renew/limit/limit_02.html”, 과적차량운행제한, 서울특별시 도시기반시설본부
19. “제한기준 초과차량 단속현황”, 2010도로업무편람 p231, 국토해양부
20. “http://www.rtsa.or.kr/trafficInfo/statistic/contentArea.jsp?urlTip=309&cmsKey=211&vkey=3&depth1=3&depth2=5&depth3=5”,교통사고요인분석, 도로교통안전관리공단
21. “과적차량 단속체계 개선방안 연구 ”, 한국건설기술연구원
22. “WIM 장비 보정을 위한 대표차종 선정에 관한 연구”, 김범진 외 2명, 한국도로학회 2005년 학술대회논문집
23. “http://www.road.re.kr/tms/cover.asp?”, 도로교통량조사, 국토해양부
24. “http://www.koti.re.kr/report/regular/board_list.asp?board_code=publication_regular&content _category=5”, 교통정책, 한국교통연구원
25. “http://www.keei.re.kr/keei/frame/e_c1_1.html”, 도로통계-온실가스 배출통계, 에너지경제연구원
27. “http://www.kotsa.or.kr/web/services/bbs/bbsList.action?bbsBean.bbsCd=38”, 국내 교통사고 현황, 교통안정공단
28. “http://www.mltm.go.kr/Law/General/General/list.jsp”, 교통관련법령, 국토해양부
30. “http://www.mltm.go.kr/Statistic/Total/list.jsp?DEPT=&page=1&page_term=15&datesearch=&Ndatesearch=&titlesearch=yes&departmentsearch=&year=&choice=&namesearch=&regnumsearch=&notinumsearch=&contentsearch=&c”, 국가물류비, 국토해양부
31. “운행 열차의 윤중측정을 위한 계측장비 개발”, 방춘석외 1명, 한국철도학회 2002년도 추계학술대회논문집
32. “WIM Data 활용방안에 관한 연구”, 김호중, 명지대학교
33. “U-중차량 무인과적단속시스템 구축방안에 대한 연구”, 조병완 등, 한국전산구조공학회 논문집
34. “도로 운행제한 차량 단속체계 개선방안 연구”, 한국도로공사 도로교통기술원
35. “중차량 통행지표 분석 및 과적단속 업무시 활용방안”, 김은영외 1명, 서울도시연구학

회
36. “Bridge Weigh-In-Motion System을 이용한 중차량의 통행특성에 관한 연구”, 심태무, 경희대학교
37. “비정상 주행패턴 분석을 통한 WIM 시스템 개선 연구”, 박제우외 3명, 한국 인터넷 정보학회 논문지
38. “도로교통 차량하중 및 통행특성에 관한연구”, 김상효외 1명, 대한토목학회 논문집
39. “BWIM 시스템을 이용한 고속도로 교량 차량하중 모형 개발”, 박민석외 2명, 대한토목학회 논문집
40. “고속축하중측정시스템 개발과 과적단속시스템 적용방안 연구”, 권순민외 1명, 한국도로학회 논문집- 권순민, “이중 사선 센서배열을 통한 고속 축하중 계측 기법의 개발과 적용에 관한 연구”, 한양대학교 박사학위논문, 2010
41. “WIM 시스템의 소개와 국내적용기준의 개선방향”, 한대석외 3명, 대한토목학회, 제56권 제1호, 2008
42. “COST 323 : Weigh-in-motion of Road Vehicles (WIMLOAD)”, Final Report of the COST323 action, Bernard Jacob
43. Bernard Jacob, "Weigh-in-motion of Road Vehicles", Proceedings of the Final Symposium of the project WAVE (1996-99), Paris, May 6-7, 1999.
44. International Conference on Heavy Vehicles Paris 2008, "Heavy Vehicle Transport Technology (HVTT10) and Weigh-In-Motion(ICWIM5)", May 19-22, 2008 Paris, France.
45. LCPC, Bernard Jacob, "COST 323 : Weigh-in-motion of Road Vehicles (WIM-LOAD)", Final Report of the COST323 action.
46. TRANSPORT RESEARCH, "Weigh in Motion of Road Vehicles", 2nd European Conference Lisbon,14/16 September 1998, Pre-proceedings.
47. TRANSPORT RESEARCH, "Weigh in Motion of Road Vehicles", Final Report (1993-1998). 6. WAVE, "Weigh-in-motion of Axles and Vehicles for Europe ", Laboratoire Central des Ponts et Chaussees, General Report.
48. ASTM, "Standard Specification for Highway Weigh-In-Motion System with User Requirements and Test Method, E-1318-02", 2004
49. FHWA, "Commercial Motor Vehicle Size and Weight Enforcement in Europe", 2007

용어 정의

1. 운행제한차량: "운행제한차량"이란 「도로법」(이하 "법"이라 한다) 제59조제1항 및 같은 법 시행령 제55조에 따라 도로에서 운행이 제한되는 차량
2. 축하중: "축하중"이란 차량이 수평에 준하는 상태에 있을 때에 1개의 차축에 연결된 바퀴가 수직으로 지면을 누르는 하중의 합
3. 총중량: "총중량"이란 차량이 수평에 준하는 상태에 있을 때에 모든 바퀴가 수직으로 지면을 누르는 하중 또는 축하중의 합
4. 고정식검문소: "고정식검문소"란 저속으로 운행중인 차량의 축하중 및 총중량을 측정할 수 있는 저속축중기(Weigh In Motion System)를 측정차로에 설치하여 상시 운영할 수 있는 검문소
5. 이동식검문소: "이동식검문소"란 이동식축중기(Portable Wheel Load Scale)를 측정차로에 설치하여 수시로 운영할 수 있는 검문소
6. 이동단속반: "이동단속반"이란 운행제한규정을 위반하는 차량을 단속하기 위해 차량을 이용하여 검문소를 옮겨가며 검문하는 도로관리원을 말함
7. 계중기: "계중기(Truck Scale)"란 차량 전체 또는 축별 무게를 측정할 수 있는 저울
8. 저속축중기: "저속축중기"란 시속10킬로미터 이내의 속도로 움직이는 차량의 하중을 측정할 수 있는 저울
9. 고속축중기: "고속축중기"란 고속으로 운행하는 차량의 하중을 측정할 수 있는 저울 또는 기계적 장치
10. 이동식축중기: "이동식축중기"란 정지한 차량의 하중을 측정할 수 있는 저울
11. 무인 과적단속: "무인 과적단속"이란 주행차로 또는 검문소내 측정차로를 운행하는 차량의 하중을 측정하는 저울과 번호판 인식 카메라 등의 장치를 이용하여 자동으로 과적차량을 단속하는 방법
12. A/D Convertor: 아날로그신호를 디지털 신호로 바꾸는 변환기
13. ARM CPU: 제어기용 Microprocessor 종류
14. ASIC: Application-Specific Integrated Circuit 주문형 반도체
15. ASTM: American Society for Testing Materials 미국 시험 재료 협회
16. AVC: Automatic Vehicle Classifier 차종분류장치
17. Band Plate: 밴드 플레이트 (판의 휘어짐으로 차량 축하중을 측정하는 장치)

18. BHF: 불산 용액
19. Baud: 초당 전송되는 아날로그 신호 갯 수
20. Boot Flash: 운영체제의 부팅 플레시 메모리
21. Boot loader 포팅: 부팅에 관한 정보를 포팅
22. BPS: Bit Per Second초당 전송되는 디지털 신호 갯수
23. CISC: Complex Instruction Set Computer 기존 제어기에 사용되는 명령어 Set
24. Cross Compile: Host 시스템 개발환경을 Target System의 기계어(Object program)로 변환하는 과정
25. DAQ: Data Acquisition자료 수집처리
26. Debugging: 프로그램상의 에러를 수정하는 과정
27. Device Driver: 장치 구동기
    운영체제와 응용프로그램 및 하드웨어간의 인터페이스를 담당하는 프로그램. 하드웨어가 해당 운영체제 아래에서 작동 하는데 필요한 프로그램
28. Diaphragm: 다이아프램(무게 측정을 위한 박막)
29. Dopant Activation: 소량의 화학적 불순물반응
30. Drive in 공정: 실리콘 웨이퍼에 새기는 반도체 공정
31. Embedded Linux: 제어기 개발을 위한 운영체제 임베디드 리눅스
32. ERD: Entity Relationship Diagram 엔티티 관계도
33. ESAL: Equivalent Single Axles Load 등가 단축하중
34. Ethernet: 랜카드
35. FHWA: Federal Highway Administration
36. FSO: Full Scale Output 최대 눈금 출력
37. Ghost Axle: 동적 축하중 측정에서 축이 여러 개로 나타나는 간섭현상
38. Host computer: Cross Compile 환경에서 개발 컴퓨터
39. HS-WIM: High Speed Weigh-In-Motion 고속 주행차량의 동적 축 하중 측정 장치
40. Hysterisys: (선형비례)
41. IM-WIM: Integrated Matrix WIM 집적 배열 WIM
42. JTAG: Joint Test Action Group 하드웨어 제어용 핀
43. Kernel Patch: 리눅스 운영 체제에서 필요한 기능을 커널에 패치
44. Kernel Porting: 새로운 HW에서 커널이 동작할 수 있도록 프로그램을 수정하는 동작

45. lbf: 4.4482 N(단위)
46. Long Term Stability: 장기 안정도
47. Longitudinal Strain: 종 방향 스트레인
48. LPCVD: Low Pressure Chemical Vapor Deposition 저압 화학기상 증착 법
49. MCU: Micro Control Unit 제어용 마이크로 프로세서
50. MEMS: Micro-Electro Mechanical Systems 미세 전자 기계 기술
51. Modulation: 변조 아날로그신호를 디지털신호로 변환하는 과정
52. MS-WIM: Multiple Sensor Weigh-In-Motion
    센서를 구간 중복 설치하여 차량의 반동특성을 측정할 목적으로 설치된 WIM
53. NAND Flash: NAND Flash Memory
54. Non-linearity: 비 직진성
    센서에 압력을 증가시킬 때 출력곡선이 이상적인 직선으로부터 벗어남의 정도 나타냄
55. Operation Temperature: 작동 온도
56. Output Resistance: 출력저항
57. pC: 피코 커패시티(단위)
58. Photolithograhy: 사진 식각법(반도체 제작 공정)
59. Piezo-Ceramic: 세라믹 압전(WIM 센서)
60. Piezo-PVDF: 폴리비닐 압전(WIM 센서)
61. Piezo-Quartz: 석영 압전(WIM 센서)
62. Piezo-Resistive Effect: 압 저항 효과(압력을 받으면 저항이 변하는 효과)
63. PR coating: Photo Resist coating
64. Protocol: 통신규약 (통신시 주고받아야할 정해진 약속)
65. PT: Pressure Transmitter 압력 전송기
66. Resolution: 분해능(무게), 해상도(영상)
67. RFID 태그리더기: Raidio Frequency Identification Tag Reader
68. RIE: Reactive Ion Etching 이온 반응 에칭
69. RISC: Reduced Instruction Set Computer 고속 연산을 위하여 명령갯수를 줄인 컴퓨터
70. Sampling Interval: 아날로그신호를 인지하는 샘플간격
71. Sampling Time: 아날로그신호를 인지하는 샘플시간
72. SDRAM: Static Dynamic Random Access Memory 기록 삭제가 가능한 메모리

73. Supply Current: 공급 전류
74. Target Computer: Cross Compile 개발환경에서 제어기용 컴퓨터
75. TCO: Temperature Coefficient of Offset 변위의 온도변화 계수
76. TCS: Temperature Coefficient of Sensitivity 감도의 온도변화계수
77. Thermal Evaporation: 열 증착 기법
78. Threshold Level: 아날로그신호의 유효신호 레벨
79. TMAH: TetraMethylAmmonium Hydroxid 용액
80. Trans Verse Strain: 횡 방향 변형
81. UART: Universal Asynchronous Receiver/ Transmitter 범용 비동기화 송수신기
82. UI: User Interface 사용자와 정보 전달을 위한 전송 통로
83. Voltage Span: 전압 폭(변화 전압 폭)
84. Wafer: 웨이퍼(MEMS 센서 제작용 실리콘 웨이퍼)
85. Wet Etching: 습식 에칭(반도체 공정)
86. Wet Oxidation: 습식 산화 공정(MEMS 반도체 공정)
87. Zero Pressure Output: 무 부하 출력 (압이 가해지지 않았을 때 출력)