

고속 무인 과적단속시스템의 성능평가체계 개발 최종보고서

2016 . 8.

주관연구기관 / 한국도로공사
공동연구기관 / 한국건설기술연구원
한국지능형교통체계협회
(주)바이텍코리아
(주)유디코

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

제 출 문

국토교통과학기술진흥원장 귀하

‘고속 무인 과적단속시스템의 성능평가체계 개발’(연구개발 기간 : 2014. 12.29. ~ 2016.6.28.) 과제의 최종 보고서 2부를 제출합니다.

2016. 8.

주관연구기관명 : 한국도로공사

(대표자) 김 학 송 (인)

공동연구기관명 : 한국건설기술연구원

(대표자) 이 태 석 (인)

한국지능형교통체계협회

(대표자) 김 학 송 (인)

(주)바이텍코리아

(대표자) 신 한 기

(주)유디코

(대표자) 김 종 우 (인)

주관연구기관책임자: 한국도로공사

권 순 민

공동연구기관책임자: 한국건설기술연구원

구 현 본

한국지능형교통체계협회

배 명 환

(주)바이텍코리아

한 병 원

(주)유디코

김 종 우

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제38조에 따라 최종보고서 열람에
동의합니다.

보고서 요약서

과제 고유 번호	14TLRP -C090750-01	해당 단계 연구 기간	2014.12.29 ~ 2016.06.28	단계구분	(최종)/(최종)
연구사업명	중사업명	교통물류연구사업			
	세부사업명				
연구과제명	대과제명	고속 무인 과적단속시스템의 성능평가체계 개발			
	세부과제명				
연구책임자	권순민	해당단계 참여 연구원 수	총: 45명 내부: 45명 외부: 명	해당단계 연구개발비	정부:1,000,000천원 기업: 335,000천원 정부 외: 천원 계:1,335,000천원
		총 연구기간 참여 연구원 수	총: 45명 내부: 45명 외부: 명	총 연구개발비	정부:1,000,000천원 기업: 335,000천원 정부 외: 천원 계:1,335,000천원
연구기관명 및 소속 부서명	한국도로공사 도로교통연구원 교통연구실			참여기업명: 한국건설기술연구원 한국지능형교통체계협회 (주)유디코 (주)바이텍코리아	
국제공동연구	상대국명:			상대국 연구기관명:	
위탁연구	연구기관명:			연구책임자:	
도로상 과적근절을 위한 국내 무인과적단속체계 도입을 위하여 고속충중기에 대한 성능평가체계를 개발하고자 다음과 같은 연구성과를 달성하였음. ◦ 고속 무인 과적단속장비 성능평가서(안) 마련 ◦ 고속 무인 과적단속시스템 성능평가를 위한 기준 종량측정 시스템 개발 ◦ 고속 무인 과적단속시스템 교정 장비 개발 ◦ 고속 무인 과적단속시스템 시험 방법 절차서 마련 ◦ 고속 무인 과적단속시스템 성능평가 기준(안) 마련 ◦ 성능시험 수행을 위한 시험장 구축 ◦ 성능시험 수행을 위한 고속충중기 설치				보고서 면수: 146p	

요약문

연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	◦국내 과적단속체계의 패러다임 변화에 부합하여 무인 과적단속 체계의 본격 도입에 따른 고속 무인 과적단속 시스템에 대한 시스템의 성능을 규정 ◦무인 고속 과적단속 시스템 성능평가 체계를 마련함으로써 정부의 도로상 화물자동차 과적 근절 정책에 부응하는 기술적 대안 제시 ◦도로법 등에서 무인 과적단속 법령을 정비하는데 필요한 단속 장비 규정 ◦차량에 관한 운행제한 규정 등 과적단속 세부 지침에 활용 ◦국가통합교통체계효율화법에 따른 성능평가전담 지정 기관에서 무인 과적단속 시스템의 성능평가지침으로 활용 ◦고속측중기의 성능평가 수행 시 기준 중량 설정 장비 등을 활용한 효율적 현장 시험 수행 ◦과적단속 관련 도로관리청의 무인 과적단속 장비 설치 시 시스템의 준공평가 및 정기평가 수행에 활용 ◦교정 장비를 활용하여 수시 점검 및 운용 기간 중 시스템의 성능 유지관리에 수행
연구의 목적 및 내용	1) 고속 무인 과적단속 시스템 성능평가를 위한 기준 중량측정 시스템 ◦ 고속 무인 과적단속 시스템 성능평가 시 평가 차량의 기준 하중을 설정할 수 있는 중량 설정 장비 개발 - 성능 시험 시 규격 분동을 이용하여 기준 중량 설정 차량의 기준 중량을 조절하여 중량 정확도 성능 평가를 정확히 수행하도록 유도 - 성능 시험 수행 시 단속 장비로부터 측정값을 취득하여 결과값 및 오차 성능 평가 항목을 즉시 표출하여 데이터의 기밀성 확보 - 차량 탑재가 가능한 특수 키트에 지정된 적재 구역 별로 규격 분동 적재가 가능하여 총 중량 및 축하중 설정 가능 - 성능 평가 시험용 데이터 로깅 장치를 이용, 성능 시험 시 단속 장비로부터 측정 데이터를 취득하여 결과값 및 오차 성능 평가 2) 고속 무인 과적단속시스템 시험 방법 절차서 ◦ 무인 과적단속 장비의 성능을 평가하기 위한 하중재하시험 전반의 절차 - 단속 장비의 검측 성능이 단속 정보로서의 유효한 수준으로 유지되기 위해 필요한 기준 성능을 검증할 수 있는 평가시험 방법 및 그를 위한 시험 절차 마련 - 도로법에서 규정하고 있는 허용오차 범위 내에서 유효한 수준을 만족하기 위한 수준을 검증할 수 있는 성능시험 절차 - 단속 시 적재량 측정 방해 행위에 해당될 수 있는 주행 상태에 대한 정보 판독 기능을 검증할 수 있는 성능시험 절차 - 현장에서 시험을 수행하기 위한 최소 시험 인력 및 평가 인력의 구성과 각 인력의 역할 등을 규정하고 측정 정보의 저장 및 보안 절차 마련함으로써 단속 시스템의 특성을 고려한 시험 절차의 투명성을 확보 3) 고속 무인과적단속시스템 교정 장비 ◦ 기준 중량 차량의 동적 상태에서의 중량 정보 및 변동 여부 상태를 판독하는 장치로서 무인 단속 장비의 수시 점검 및 교정에 활용 - 자중계 시스템의 중량 정보와 타이어 공기압과 분동 거치대의 기울기를 이용하여 기준 중량 측정 차량의 상태 보조 정보로 활용하여 보다 정확한 성능 평가 시험을 수행할 수 있도록 유도하고, 향후 자중계 시스템 보급 운영 시, 중량 정보와 위치 정보를 이용하여 고속 무인과적단속시스템의 수시 점검에 활용할 수 있는 안을 제시 - 자중계 시스템을 이용하여 기준 중량 측정 차량의 축/총중량 등 기준 중량 정보의 보조 자료로 활용 - 주기 교정 외에 수시 점검 가능 4) 고속 무인 과적단속장비 성능 평가 지침(안) ◦ 국가통합교통체계효율화법의 규정에 따른 고속측중기 성능평가서(안) - 국내 성능평가전담기관에서 활용 가능한 수준의 성능평가서(안) 마련 - ITS사업시행지침 규격에 부합하는 형식 만족

	- 성능평가 항목, 평가차량의 준비 및 운영, 평가기준장비, 성능기준 등의 세부 규정 - 과적단속에 필요한 검측 요소 규정				
연구개발성과	◦ 고속 무인 과적단속장비 성능평가서(안) ◦ 고속 무인과적단속시스템 성능평가를 위한 기준 종량측정 시스템 ◦ 고속 무인과적단속시스템 교정 장비 ◦ 고속 무인 과적단속시스템 시험 방법 절차서 ◦ 고속 무인 과적단속 시스템 성능평가 기준(안) ◦ 성능시험 수행을 위한 시험장 ◦ 성능시험 수행을 위한 고속축중기 설치				
핵심어 (5개 이내)	과적	단속	고속축중기	성능평가	자중계

SUMMARY

Expected Contribution	◦ Setting the performance of enforcement using the high-speed weigh-in-motion system according to the paradigm change in the domestic over-weight enforcement system and full-scale introduction of the high-speed weigh-in-motion system ◦ Providing technical alternatives to meet policy of government to prevent over-weight trucks on the road by setting the performance of enforcement using the high-speed weigh-in-motion system ◦ Setting the equipment necessary to organize about enforcement using the high-speed weigh-in-motion system over laws and regulations in such as road law ◦ Making the detailed procedure of enforcement of over-weight trucks Such as travel restrictions on the vehicle ◦ Using the Performance evaluation guideline of enforcement using the high-speed weigh-in-motion system for domestic specialized institutions according to the provisions of the Integrated State Traffic System Efficiency Act ◦ Conducting an efficient field test utilizing standard weight measurement equipment of high-speed weigh-in-motion system ◦ Conducting the completion evaluation and regular assessment for installation of enforcement using the high-speed weigh-in-motion system to road agency ◦ Conducting a performance management using the calibration equipment during the operation period
Purpose & Contents	1) Standard weight measurement system for performance evaluation of enforcement using the high-speed weigh-in-motion system ◦ Development of the weight setting device which could be setting a reference load of the evaluation test vehicle in evaluating the performance of high-speed weigh-in-motion system - Improvement of weight accuracy using the standard weight at the time of performance test, to adjust the setting vehicle reference weight - Ensure the confidentiality of data to get the measurements from the device of the error performance evaluation items of the value of the results immediately in evaluating test - Setting the total weight and axle load to load standard weight by specified loading zone in the special kit on a vehicle - Evaluation of the results and errors which are obtained from the device in performance test using the data logging devices 2) Test method procedures of enforcement using the high-speed weigh-in-motion system ◦ General Procedure of loading test for evaluating the performance of high-speed weigh-in-motion system - Procedure of evaluation test method and procedure which can verify the reference performance required for testing the performance of device to maintain the device at effective levels as enforcement information - Performance test procedures which can verify level to satisfy the level available within the allowable range specified in road law - Performance test procedures that can be used to verify the reading function of the information concerning the traveling state that can be applicable to disturb the measurements of vehicle weight during enforcement - Ensure the transparency of the test procedure taking into account the characteristics of the enforcement system by providing storage and security procedures and setting the minimum test personnel and evaluators of configuration and defining the role of each human resources to perform the field test 3) Calibration equipment of enforcement using the high-speed weigh-in-motion system

	◦ Reading device to check the weight and changes in a dynamic state of the reference weight vehicle, used inspection and calibration of enforcement equipment at any time - Conducting a more accurate performance evaluation test by using weight information of load meter system and the slope of weight stand and air pressure to get a auxiliary information of state of the reference weight measurement vehicle - Presenting a draft that can be utilized at any time inspection of enforcement using high-speed weigh-in-motion system by using the location information and weight information from the load meter in the future - Using a load meter system as the auxiliary information to get a reference weight such as axle and total weight - Conducting a any time inspection in addition to the periodic correction 4) Performance evaluation guideline of enforcement using the high-speed weigh-in-motion system (draft) ◦ Performance evaluation guideline of enforcement using the high-speed weigh-in-motion system (draft) according to the provisions of the Integrated State Traffic System Efficiency Act - Making a performance evaluation guideline as the level of utilization exclusively for domestic specialized institutions - Satisfacting the format to comply with ITS business guidelines - Providing the detailed items such as performance evaluation item, preparation and operation of the vehicle of the evaluation, evaluation criteria equipment, performance criteria - Providing the inspection elements for enforcement				
Results	◦ Performance evaluation guideline of enforcement using the high-speed weigh-in-motion system (draft) ◦ Standard weight measurement system for performance evaluation of enforcement using the high-speed weigh-in-motion system ◦ Calibration equipment of enforcement using the high-speed weigh-in-motion system ◦ Test method procedures of enforcement using the high-speed weigh-in-motion system ◦ Performance evaluation criteria of enforcement using the high-speed weigh-in-motion system (draft) ◦ Test site for performance test ◦ Installation of high-speed weigh-in-motion systems for the performance test				
Keywords	Over-weight	Enforcement	High-speed weigh-in-motion system	Performance evaluation	Load meter

< CONTENTS >

Chapter 1. Outline of the report	15
1.1 Objectives of the research	15
1.2 Necessity of the research	15
1.3 Scope of the research	15
Chapter 2. Technological development level in the foreign and domestic country	19
2.1 European WIM specification (COST 323)	19
2.2 US standard ASTM E1318-02	22
Chapter 3. Contents and results of the research	24
3.1 Outline of High-Speed Weigh-In-Motion	24
3.2 Test preparation and construction of test site	25
3.3 Installation and field test of enforcement using the high-speed weigh-in-motion	29
3.4 Standard weight measurement of enforcement using the high-speed weigh-in-motion	77
3.5 Calibration equipment of enforcement using the high-speed weigh-in-motion	82
3.6 Installations standards of enforcement using the high-speed weigh-in-motion	100
3.7 Performance evaluation of enforcement using the high-speed weigh-in-motion	104
3.8 Test method procedures of enforcement using the high-speed weigh-in-motion	118
Chapter 4. Achievement and the contribution at the related field	130
4.1 Achievement of the research	130
4.2 The contribution	131
Chapter 5. Potential applications	132
5.1 Promoting practical use for R&D results(Guideline)	132
5.2 Revision of the laws for the next-generation overweight enforcement system	132
5.3 Study on the upgrading the accuracy of high-speed weigh-in-motion	133
5.4 Change of criteria of overweight enforcement for unmanned system	133
5.5 Using the high-speed weigh-in-motion based on smart tolling	134
5.6 using the standard weight	135
Chapter 6. Foreign scientific technology information	136
6.1 Related researches about high-speed weigh-in-motion	136
6.2 Criteria of foreign overweight enforcement	136
6.3 Method of foreign overweight enforcement	138
6.4 Status of the Czech Republic's overweight enforcement using HS-WIM	139
Chapter 7. Security grade of R&D performance	141
Chapter 8. Status of registered facilities & equipment	142
Chapter 9. Implementation of Safety management of the study	143
Chapter 10. Representatives of the study	144
Chapter 11. Other related issues	145
Chapter 12. Reference	146

< 목 차 >

제 1 장. 연구개발과제의 개요	15
1.1 연구개발 목적	15
1.2 연구개발의 필요성	15
1.3 연구개발 범위	16
제 2 장. 국내외 기술 개발 현황	19
2.1 European WIM Specification (COST 323)	19
2.2 미국의 ASTM E1318-02 표준	22
제 3 장. 연구 수행 내용 및 성과	24
3.1 고속충증기 개요	24
3.2 모의 시험장 구축 및 시험 준비	25
3.3 고속 무인 과적단속 시스템 설치 및 주행시험	29
3.4 고속 무인 과적단속 시스템 성능평가용 기준 중량측정 시스템	77
3.5 고속 무인 과적단속 시스템 교정 장비	82
3.6 고속 무인 과적단속 시스템 설치기준	100
3.7 고속 무인 과적단속 시스템 성능평가 기준	104
3.8 고속 무인 과적단속 시스템 성능평가 시험방법 절차서	118
제 4 장. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도	130
4.1 목표 달성도	130
4.2 관련분야 기여도	131
제 5 장. 연구개발성과의 활용계획	132
5.1 연구성과물(성능평가서) 실용화 추진	132
5.2 국내 차세대 과적단속체계 도입을 위한 관련법령 정비	132
5.3 국내 고속도로 환경에 적합한 고속충증기의 정확도 개선 기술개발 연구 추진	133
5.4 무인 과적단속체계 도입을 위한 현행 과적단속기준의 재검토 필요성 제안	133
5.5 스마트톨링 환경에서의 고속충증기 활용	134
5.6 규격분동의 활용	135
제 6 장. 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보	136
6.1 고속충증기 성능 관련 연구보고서 정보	136
6.2 해외 각국의 과적단속 기준 정보	136
6.3 해외 각국의 과적단속 방법	138
6.4 체코의 과적차량 단속시스템 운영 현황	139
제 7 장. 연구개발성과의 보안등급	141
제 8 장. 국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설·장비 현황	142
제 9 장. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전조치 이행 실적	143
제 10 장. 연구개발과제의 대표적 연구 실적	144
제 11 장. 기타 사항	145
제 12 장. 참고 문헌	146

< 표 차례 >

[표 2.1] Width of the accuracy calsses (confidence interval, δ in %)	19
[표 2.2] COST323 WIM 등급별 측정항목 정확도 등급 허용오차(NCHRP, 2008)	21
[표 2.3] 환경등급에 따른 설치구간 포장 평탄성 기준	21
[표 2.4] 미국의 ASTM E1318-02 표준	22
[표 2.5] ASTM E1318-02 표준의 WIM시스템 정확도 허용오차	22
[표 2.6] WIM 구간 평탄성 요구거리 및 기준(ASTM 1318)	23
[표 2.7] LRI 및 SRI 구간길이 및 노면 파장 범위(AASHTO)	23
[표 2.8] WIM 구간 LRI 및 SRI 경계값(AASHTO)	23
[표 3.1] 과적단속 시스템 설치 기준(FWD 시험, COST 323 WIM Spec.)	26
[표 3.2] FWD 시험 결과	26
[표 3.3] 과적단속 시스템 설치 기준(평탄성)	27
[표 3.4] IRI 시험 결과	27
[표 3.5] 설정 목표 하중	28
[표 3.6] 피에조쿼츠 시스템 2차로 구축 센서수량	31
[표 3.7] 차륜위치 판독센서 배치	32
[표 3.8] 포장체 온도센서 배치방법	32
[표 3.9] 피에조쿼츠 시스템 제어기의 주요 처리 기능	32
[표 3.10] 피에조쿼츠 시스템 제어기 및 함체	33
[표 3.11] 벤딩플레이트 시스템 2차로 구축 센서수량	34
[표 3.12] 벤딩플레이트 축중 제어기의 주요 처리 기능	35
[표 3.13] 벤딩플레이트 시스템 제어기 및 함체	36
[표 3.14] 평가 차량의 총중량 및 축하중 분포	39
[표 3.15] 모의시험장 성능평가지험 수행 내역	40
[표 3.16] 모의시험 정상주행 실시내역	41
[표 3.17] 모의시험 이상주행 실시내역	42
[표 3.18] 시험 결과 분석 항목	43
[표 3.19] 피에조쿼츠 시스템 모의시험 보정 전후 결과 비교 - 1단위 차량	44
[표 3.20] 피에조쿼츠 시스템 모의시험 보정 전후 결과 비교 - 2단위 차량	44
[표 3.21] 벤딩플레이트 시스템 모의시험 보정 전후 결과 비교 - 1단위 차량	47
[표 3.22] 벤딩플레이트 시스템 모의시험 보정 전후 결과 비교 - 2단위 차량	47
[표 3.23] 차로별 원시데이터 총중량 정확도 분석결과	50
[표 3.24] 차량별 원시데이터 총중량 정확도 분석결과	51
[표 3.25] 축구조별 원시데이터 총중량 정확도 분석결과	52
[표 3.26] 모의시험 시 가감속 주행 결과	54
[표 3.27] 벤딩플레이트 형식 시스템의 1차로 구간 평가 결과	58
[표 3.28] 벤딩플레이트 형식 시스템의 2차로 구간 평가 결과	59

[표 3.29]	피에조 형식 시스템의 1차로 구간 평가 결과	60
[표 3.30]	피에조 형식 시스템의 2차로 구간 평가 결과	61
[표 3.31]	총중량 기준초과 비율	62
[표 3.32]	1축하중 기준초과 비율	62
[표 3.33]	유효축하중 기준초과 비율	63
[표 3.34]	조합축하중 기준초과 비율	63
[표 3.35]	단일축하중 기준초과 비율	64
[표 3.36]	조합축하중 기준초과 비율	65
[표 3.37]	영향인자 분석 결과	65
[표 3.38]	경부고속도로 상행선 김천구간 모의시험 현장 개요	66
[표 3.39]	경부고속도로 상행선 김천구간 과적단속시스템 성능평가 모의시험 주행 내역	66
[표 3.40]	중량 정확도 결과 요약	67
[표 3.41]	회피 차량 검지율 결과 요약	67
[표 3.42]	과대 검측율 결과 요약	68
[표 3.43]	이순신대교-여수산단 구간 모의시험 현장 개요	68
[표 3.44]	여수산단 중차량 중량정보 관리시스템 성능평가 모의시험 주행 내역	69
[표 3.45]	중량 정확도 결과 요약	69
[표 3.46]	매칭 정확도 결과 요약	70
[표 3.47]	회피 차량 검지율 결과 요약	70
[표 3.48]	과대 검측율 결과 요약	70
[표 3.49]	측정 방법별 기준 중량 측정 결과 - 1단위 차량	74
[표 3.50]	측정 방법별 기준 중량 측정 결과 - 2단위 차량	74
[표 3.51]	측정 방법별 기준 중량 측정 편차 - 1단위 차량	75
[표 3.52]	측정 방법별 기준 중량 측정 편차 - 2단위 차량	75
[표 3.53]	측정 방법별 반복 재현성 편차 - 1단위 차량	76
[표 3.54]	측정 방법별 반복 재현성 편차 - 2단위 차량	76
[표 3.55]	데이터 로깅 장치 스펙	77
[표 3.56]	데이터 로깅 장치 하드웨어 구성	79
[표 3.57]	데이터 로깅 장치 소프트웨어 구성	79
[표 3.58]	데이터 로깅 장치 측정 결과 데이터 프로토콜	80
[표 3.59]	데이터 로깅 장치 양적 성과 점검 결과	82
[표 3.60]	데이터 로깅 장치 질적 성과 점검 결과	82
[표 3.61]	동하중 모니터링 시스템 장착 차량 제원	83
[표 3.62]	TPMS 파트별 스펙	85
[표 3.63]	PCB社의 3713B1150G 스펙	87
[표 3.64]	NI社의 cDAQ-9178, 9237, 9220 스펙	88
[표 3.65]	동하중 모니터링 시스템 장비 구성	89
[표 3.66]	동하중 모니터링 시험 설정 중량	91

[표 3.67] 동하중 모니터링 시험 주행 속도	91
[표 3.68] 동하중 모니터링 시스템 캘리브레이션 결과	91
[표 3.69] 센서 모듈과 인디케이터 질적 성과 점검 결과	96
[표 3.70] 동하중 모니터링 시스템 질적 성과 점검 결과	96
[표 3.71] 차로에 따른 통행차의 기준(제16조제1항 및 제39조제1항 관련)	102
[표 3.72] 차로에 따른 통행차의 기준(제16조제1항 및 제39조제1항 관련)(계속)	103
[표 3.73] ITS 성능평가 종류별 평가시기*	105
[표 3.74] 기본성능평가 AVI(차량번호인식장치) 평가방법	106
[표 3.75] 기본성능평가 VDS(차량검지기) 평가방법	106
[표 3.76] 센서 설치 주체별 장단점	107
[표 3.77] 성능평가 종류 반영	107
[표 3.78] 중량정확도 평가기준	109
[표 3.79] 회피주행검지율 평가기준	110
[표 3.80] 차량번호 인식을 평가기준	111
[표 3.81] 기본성능평가 인건비 기준	113
[표 3.82] 준공평가, 정기평가, 변경/이설 평가 인건비 기준	113
[표 3.83] 기본성능평가(안)	113
[표 3.84] 기본성능평가 소요 인력	115
[표 3.85] 준공, 정기, 변경/이설 평가 / 한국지능형교통체계협회 소요인력	116
[표 3.86] 성능시험 동원 차량종류 및 수량	120
[표 3.87] 성능평가 종류별 시험 횟수	121
[표 3.88] 성능평가의 시험 항목	122
[표 3.89] 성능평가의 시험내용 및 조건	122
[표 3.90] 시험항목 별 동원차량 대수 및 시험회수	122
[표 3.91] 중량정확도 시험의 평가차량 주행방법	123
[표 3.92] 회피주행검지 시험의 평가차량 주행방법	123
[표 3.93] 성능평가 결과(예시)	124
[표 3.94] 회피차량시험 결과(예시)	124
[표 3.95] 기관별 준비사항	125
[표 3.96] 시험일정	126
[표 3.97] 세부 진행 계획	127
[표 5.1] 성능평가기준 개정 추진 절차	132
[표 5.2] 장비별 허용오차와 사용오차 제안 예시	133
[표 6.1] 미국의 과적단속 방법	138
[표 6.2] 일본의 과적단속 방법	139
[표 6.3] 한국과 체코의 제한중량 과적기준 비교	140
[표 6.4] 체코의 고속충중기 교정 방법	140

<그림 차례>

[그림 2.1] 막대자(Straightedge)를 이용한 평탄성 측정방법	23
[그림 3.1] 고속축중기를 이용한 고속 무인 과적단속시스템의 일반적 구성	24
[그림 3.2] 시험장 구축 구간 개요도	25
[그림 3.3] 시험구간 개요도(시스템 설치구간 “음영”)	25
[그림 3.4] 다이아몬드 그라인딩	26
[그림 3.5] 노면 절삭 상태	26
[그림 3.6] FWD장비	26
[그림 3.7] 포장상태조사장비	26
[그림 3.8] 연구용 분동제작(안)	28
[그림 3.9] 고속 무인 과적단속 시스템 설치위치	29
[그림 3.10] 피에조쿼츠 시스템 검지부 센서 설치 최종 배치도	30
[그림 3.11] 피에조쿼츠 시스템 검지부 센서 설치 전경	31
[그림 3.12] 피에조쿼츠 축중 센서	31
[그림 3.13] 벤딩플레이트 시스템 검지부 센서 설치 최종 배치도	34
[그림 3.14] 벤딩플레이트 시스템 검지부 센서 설치 전경	34
[그림 3.15] 벤딩플레이트 축중 센서	35
[그림 3.16] 온도별 시험 시간대 산정	37
[그림 3.17] 시간대별 주행시험	37
[그림 3.18] 시험 차종 종류	38
[그림 3.19] 주행위치별 변수-좌: 중앙주행, 중: 우선풀림, 우: 좌선풀림	39
[그림 3.20] 이상주행 변수-좌: 양차로주행, 중: 측대 걸쳐주행, 우: 길어깨 걸쳐주행	39
[그림 3.21] 1단위 차량 분동적재 및 주행 축 설정	39
[그림 3.22] 2단위 차량 분동적재 및 주행 축 설정	39
[그림 3.23] 피에조타입 1차로 1단위 차량 총중량 오차율	45
[그림 3.24] 피에조타입 2차로 1단위 차량 총중량 오차율	45
[그림 3.25] 피에조타입 1차로 2단위 차량 총중량 오차율	45
[그림 3.26] 피에조타입 2차로 2단위 차량 총중량 오차율	45
[그림 3.27] 피에조타입 1차로 1단위 차량 축하중 오차율	46
[그림 3.28] 피에조타입 2차로 1단위 차량 축하중 오차율	46
[그림 3.29] 피에조타입 1차로 2단위 차량 축하중 오차율	46
[그림 3.30] 피에조타입 2차로 2단위 차량 축하중 오차율	46
[그림 3.31] 벤딩플레이트타입 1차로 1단위 차량 총중량 오차율	48
[그림 3.32] 벤딩플레이트타입 2차로 1단위 차량 총중량 오차율	48
[그림 3.33] 벤딩플레이트타입 1차로 2단위 차량 총중량 오차율	48
[그림 3.34] 벤딩플레이트타입 2차로 2단위 차량 총중량 오차율	48

[그림 3.35] 벤딩플레이트타입 1차로 1단위 차량 축하중 오차율	49
[그림 3.36] 벤딩플레이트타입 2차로 1단위 차량 축하중 오차율	49
[그림 3.37] 벤딩플레이트타입 1차로 2단위 차량 축하중 오차율	49
[그림 3.38] 벤딩플레이트타입 2차로 2단위 차량 축하중 오차율	49
[그림 3.39] 노면 온도별 총중량 오차율	51
[그림 3.40] 피에조타입 차량별 축하중 오차율(좌: 1단위, 우: 2단위)	52
[그림 3.41] 주행 속도별 총중량 오차율(좌: 피에조타입, 우: 벤딩플레이트타입)	53
[그림 3.42] 주행 패턴별 총중량 오차율(좌: 피에조타입, 우: 벤딩플레이트타입)	53
[그림 3.43] 속도별 가감속 주행 결과	54
[그림 3.44] 가감속별 총중량 오차율	54
[그림 3.45] 가감속별 축하중 오차율(좌: 피에조타입, 우: 벤딩플레이트타입)	55
[그림 3.46] 모의시험시 평가 차량 가감속 분석 결과	55
[그림 3.47] 경부고속도로 시범단속구간	56
[그림 3.48] 중부내륙고속도로 시범단속구간	56
[그림 3.49] 실제 공용도로와 모의시험 간의 가감속 주행행태 비교	57
[그림 3.50] 총중량 오차 분포	62
[그림 3.51] 1축하중 오차 분포	62
[그림 3.52] 유효축하중 오차 분포	63
[그림 3.53] 조합축하중 오차 분포	63
[그림 3.54] 단일축하중 오차 분포	64
[그림 3.55] 조합내 개별축하중 오차 분포	64
[그림 3.56] 김천 고속도로 과적단속시스템 성능평가 모의시험	68
[그림 3.57] 여수산단 중차량 정보관리 시스템 성능평가 모의 시험	70
[그림 3.58] ① 이동식 축중기 고정 홈을 이용한 측정	72
[그림 3.59] ② 평탄 노면에서 이동식 축중기와 더미를 이용한 측정	72
[그림 3.60] ④ 평탄 노면에서 이동식 축중기로 전문 동시 측정	73
[그림 3.61] ⑤ 본선에서 이동식 축중기 및 더미판을 이용한 측정	73
[그림 3.62] ⑥, ⑦ 과적 검문소의 저속축중기 및 이동식 축중기 측정	73
[그림 3.63] ⑧ 경사진 노면에서 이동식 축중기를 이용한 측정	73
[그림 3.64] 데이터 로깅장치 사진	78
[그림 3.65] DB 서버 소프트웨어	78
[그림 3.66] DB 미들웨어	78
[그림 3.67] 조회 소프트웨어	78
[그림 3.68] 데이터 로깅장치 구성도	78
[그림 3.69] 자중계 중량측정원리	84
[그림 3.70] 자중계(로드로드) 구성	84
[그림 3.71] 타이어압력 측정시스템구성 (TYREDOG™ TD-2000A-X)	85

[그림 3.72] 동적 하중 측정 개념	86
[그림 3.73] 휴대용 가속도계 로거 Slam Stick X(좌)와 주행 데이터 FFT 분석 결과(우)	87
[그림 3.74] 동적 하중 측정용 데이터 로거 구성	88
[그림 3.75] 동적 하중 로거 소프트웨어 화면 구성	88
[그림 3.76] 동하중 모니터링 시스템 장비 설치 구성도	89
[그림 3.77] 동하중 모니터링 시스템 설치 사진	90
[그림 3.78] 주행 속도와 주행 거리 그래프	92
[그림 3.79] 자중계 총중량과 동하중 총중량, 충격/정상 구간 그래프	92
[그림 3.80] 자중계 단일 축하중과 동하중 단일 축하중 그래프	93
[그림 3.81] 자중계 조합 축하중과 동하중 조합 축하중 그래프	93
[그림 3.82] 가속도계 그래프	93
[그림 3.83] 동하중 총중량 변화 - 1차로 정상구간	94
[그림 3.84] 동하중 총중량 변화 - 1차로 충격구간	94
[그림 3.85] 동하중 총중량 변화 - 2차로 정상구간	94
[그림 3.86] 동하중 총중량 변화 - 2차로 충격구간	94
[그림 3.87] 동하중 축하중 변화 - 1차로 정상구간	95
[그림 3.88] 동하중 축하중 변화 - 1차로 충격구간	95
[그림 3.89] 동하중 축하중 변화 - 2차로 정상구간	95
[그림 3.90] 동하중 축하중 변화 - 2차로 충격구간	95
[그림 3.91] 자중계를 이용한 수시 교정 시스템 안	98
[그림 3.92] 고속 무인 과적단속 시스템의 수시교정S/W 동작 화면	98
[그림 3.93] 수시교정 S/W 설정 화면	99
[그림 3.94] 특허 출원 ” 축중기의 측정 정확도 모니터링 시스템 및 그 방법”	100
[그림 3.95] 현행 운행제한 위반 단속방법 및 도로표지 설치규정	102
[그림 3.96] 2차로 설치기준	103
[그림 3.97] 3차로 설치기준	103
[그림 3.98] 4차로 설치기준	104
[그림 3.99] 고속 무인 과적단속시스템 성능시험절차	118
[그림 3.100] 고속 무인 과적단속시스템 성능평가 시험 준비 절차	120
[그림 3.101] 평가차량 주행방법 예시	123
[그림 3.102] 평가차량 회피주행 방법 예시	123
[그림 3.103] 시스템 구성 예시	125
[그림 3.104] 시험 진행 절차	126
[그림 3.105] 시험결과 평가 절차	129

제 1 장. 연구개발과제의 개요

1.1 연구개발 목적

- 현행 과적단속체계는 화물차량을 정지 또는 서행인 상태에서 단속이 이루어지며 단속지점 또한 검문소(고속국도의 경우 영업소 축중차로)로 유도하여 검측하고 있음. 이동단속의 경우 제보를 제외하면 단속원의 자의적 판단에 의하여 과적의심차량을 선별하거나 검측지점을 주행하는 임의의 화물차량을 대상으로 운행을 통제 후 검측을 수행함.
- 가변축을 장착하고 있는 대형화물차량의 경우 검측 과정에서 다양한 형태의 축조작 행위를 통해 정상적인 계측을 방해하거나 위반사실을 은폐하는 사례, 계측지점 통과 후 실제 운행 개시 전 타이어 마모 방지 및 연비 절감 등을 이유로 가변축을 조작하여 과적상태로 운행하는 사례가 빈번히 발생하고 있으나, 이를 현행 고정식 및 이동식 단속 방식(차량을 정지 또는 서행 상태에서 계측하는 방식)에서 단속하는 데에 현실적 어려움이 존재함에 따라 단속 체계가 무력화되고 있는 실정임.
- 최근 국토교통부에서는 국내 과적단속체계의 합리적 개선을 목적으로 국내 전문가로 구성된 T/F를 통해 이동 단속 체계로의 전환, 경찰·도로관리청의 합동·집중 단속 정례화, 무인 과적단속 체계 도입 등을 주요 내용으로 하는 도로상 화물자동차 과적근절 대책('14.7.)을 수립하였으며, 당해 대책의 실효성 확보 및 연착륙 도모를 위한 종합적·체계적 시행 방안 마련에 착수하였음.
- 특히 무인 단속 체계의 도입은 교통 측면에서 한정된 도로 공간을 효율적으로 활용하고자 ITS를 접목한 스마트 체계 도입으로 교통 흐름을 관리하듯, 도로의 고유 기능과 역할을 다하기 위하여 도로의 안전성을 저해시키는 요소를 효율적으로 관리 또는 통제할 수 있는 획기적 방법의 필요성이 대두됨에 따라 제안된 사안임.
- 축조작 행위 방지 및 주행 중 과적행위 적발 위해 본선 상 고속 무인 과적단속 시스템의 설치하기 위해서는 시스템의 중량정확도 및 주행상태에서의 차량정보 획득 성능이 신뢰 가능한 수준으로 필요.
- 그럼에도 불구하고 도로법, 국가통합교통체계효율화법 등 관련법에서는 무인 과적단속과 관련한 지침이나 관련 고시 등에 성능 기준 및 평가 방법에 대한 명확한 규정이 마련되어 있지 않은 실정.
- 따라서 무인 과적단속시스템의 성능에 대한 평가 항목, 평가 시험방법, 성능의 적정 수준 등이 규정되어야하며, 이러한 평가절차에 대한 투명성 및 공정성을 확보할 수 있는 제도 마련 필요.

1.2 연구개발의 필요성

- 국가 도로망이 그 고유의 기능과 역할을 다하기 위해서는 도로 구조 및 시설이 목표 성능을 구현할 수 있도록 설계·시공 단계에서 엄격한 관리되어야 함은 물론, 그 안전성이 확보·유지될 수 있도록 공용 단계에서의 상시·지속적인 관리가 필요하며, 특히 우리나라와 같이 국가 산업·경제 활동에 있어 도로의 수송 부담율이 매우 높은 경우, 이는 국가적 주요 사안에 해당함.
- 도로구조 및 시설에 그 가용 성능을 초과하는 차량(과적차량)의 상시·반복적 통행은 도로구조

및 시설의 손케·붕괴 등 예기치 못한 대형사고를 유발할 수 있음이 알려짐에 따라, 1960년대부터 급격한 경제성장과 더불어 국가 기간망의 확충을 위한 건설 중심의 도로정책기조는 2000년대에 접어들어 국가 기간망 효율적 활용을 위한 관리 중심의 기조로 전환되기에 이르렀음.

- 우리나라는 도로법(제77조 및 시행령 제79조 차량의 운행 제한 등)에서 도로 구조물을 보전하고 차량 운행으로 인한 위험을 방지하기 위하여 축하중 10톤, 총중량 40톤을 초과하는 차량에 대하여 운행을 제한할 수 있도록 규정하고 있고, 이를 근거로 국토교통부, 지방자치단체, 한국도로공사, 민자도로 관리자 등 각 도로관리청에서는 과적차량에 대한 단속을 적극 시행해 왔음.
- 현행 국내 과적단속방식은 차량의 흐름을 통제된 상태에서 중량을 측정하는 고정식 단속 또는 이동단속반원들이 이동식 축중기를 가지고 혐의차량을 선별적 단속하는 이동식 단속을 사용하고 있으며, 두 가지 방식 모두 차량을 정지 또는 서행인 상태에서 검측하는 방식을 취하고 있음.
- 그러나 도로관리청의 지속적인 단속에도 불구하고 실제 도로상에서 과적차량의 불법운행이 근절되지 않는 실정이며, 특히 지난 1994년 성수대교 붕괴 사고와 함께 최근 세월호 참사까지 과적차량으로 인한 국가 재난 수준의 막대한 인적·물적 피해 사례를 겪으면서 국가 안전망 구축을 위한 과적단속 체계의 획기적 개선이 국가적 핵심 현안으로 대두되고 있는 실정임.
- 이는 운송비용 절감을 꾀하고자 화물 운송시 화주, 운송사업자 등이 우월적 지위를 이용한 부당 지시·요구(과적운행 지시·요구)와 경제적 이득을 꾀하고자 이를 묵인·수용하는 일부 운전자에 의해 이해관계에서 비롯되는 사회 구조적 문제와 함께, 제한 중량 이상을 신고도 검측 과정에서 가변측 조작을 통해 정상적인 계측을 방해하거나 위반사실을 은폐하는 사례, 도로망이 확대되면서 단속지점을 교묘히 우회·회피하는 사례 등과 같이 단속체계의 효율성을 저하시키는 다양한 기술적 시도가 빈번히 자행되고 있는 데에서 기인함.
- 최근 국토교통부에서는 국내 과적단속체계의 합리적 개선을 목적으로 국내 전문가로 구성된 T/F를 통해 이동 단속 체계로의 전환, 경찰·도로관리청의 합동·집중 단속 정례화, 무인 과적단속 체계 도입 등을 주요 내용으로 하는 도로상 화물자동차 과적근절 대책('14.7.)을 수립하였으며, 당해 대책의 실효성 확보 및 연착륙 도모를 위한 종합적·체계적 시행 방안 마련에 착수한 실정임.
- 특히 무인 단속 체계의 도입은 교통 측면에서 한정된 도로 공간을 효율적으로 활용하고자 ITS를 접목한 스마트 체계 도입으로 교통 흐름을 관리하듯, 도로의 고유 기능과 역할을 다하기 위하여 도로의 안전성을 저해시키는 요소를 효율적으로 관리 또는 통제할 수 있는 획기적 방법의 필요성이 대두됨에 따라 제안된 사안임.
- 본 과업은 이러한 국내 과적단속체계의 패러다임 변화에 부합하고자 무인 과적단속 체계의 본격 도입에 앞서, 고속 무인 과적단속 시스템의 요구 성능과 평가 항목을 규정하고, 다양한 오차 발생요소들을 적용한 실증적 현장 시험 수행을 통해 성능평가 항목별 시험방법 및 성능 기준 등 국내 도로교통 환경에 적합한 무인 단속 시스템의 성능평가 체계를 마련하고자 함.

1.3 연구개발 범위

가. 고속 무인 과적단속장비 성능평가서(안)

- 실증 평가를 수행하기 위한 시험 공간을 확보하고, 다양한 변수를 적용한 화물차량 주행 시험

을 수행하여 고속측중기의 성능평가서 마련에 필요한 연구 결과물을 생성하여 ITS사업시행지침 규격에 부합하는 성능평가서 작성

- 국가통합교통체계효율화법의 규정에 따라 고속측중기에 대한 성능평가를 수행할 수 있는 성능평가 절차 및 시행방법 마련
- 고속측중기의 적정 성능 수준을 규정하기 위해 필요한 평가 항목 규정
- 고속측중기의 적정 성능 수준을 유지할 수 있는 평가 주기 규정
- 성능평가 목적별 시험 회수 규정
- 고속측중기의 활용 목적에 따른 평가등급 기준 제시

나. 고속 무인 과적단속시스템 성능평가를 위한 기준 중량측정 시스템

- 규격 분동 제작을 통해 현장 성능평가 시험 시 적재되는 분동의 수량을 제어하여 기준 중량 차량의 총중량을 제어
- 기준 중량 차량 분동용 거치대를 제작하여 규격 분동 적재 시 적재가 용이하고, 적재 위치를 균일하게 배치할 수 있도록 유도하여 기준 중량 차량의 축하중을 설정
- 기준 중량 차량의 장비 성능 규격서 및 매뉴얼 작성

다. 고속 무인 과적단속시스템 교정 장비

- 기준 중량 차량의 타이어 공기압과 분동 거치대의 기울기를 파악하여 공기압의 변화에 따른 편심 적재 상황과 도로의 평탄도 및 구배에 따른 영향을 최소화
- 판스프링과 푸셔액슬/태크액슬 같은 에어 압력 축의 조합으로 된 차량에도 적용 가능한 자중계 시스템 개발
- 무인 단속장비로부터 결과 값을 수신하여 측정값 및 오차의 성능 평가 항목을 모니터링할 수 있는 데이터 로깅 장비 개발
- 무인 단속장비의 수시 점검 및 교정 활용 방안 제시

라. 고속 무인 과적단속시스템 시험 방법 절차서

- 국내외 성능시험 현황조사
- 국내외관련 표준 및 제기준 조사
- 국내외성능시험 사례분석
- 성능평가 시험방법 마련
- 세부시험항목 도출
- 항목별 시험방법 마련
- 시험결과 평가방법 도출
- 시스템 운영관리 절차 마련

마. 고속 무인 과적단속시스템 설치기준(안)

- 도로의 기하구조 조건

- 노면 평탄성 조건
- 활용 목적에 따른 시스템 구성
- 도로교통환경에 따른 설치 기준 제시

바. 성능시험 수행을 위한 시험장 구축

- 성능평가 방법, 항목, 절차 등을 마련하기 위하여 예상되는 검토 요소들을 실증적으로 검증할 수 있는 화물차 주행 시험장 구축
- 공용도로 규격의 폐쇄망 도로 확보
- 고속충종기 시스템 설치 기준에 부합하는 환경 조성

사. 성능시험 수행을 위한 고속충종기 설치

- 국내의 공용 도로상에 시범 설치되어 운영 중인 고속 무인 과적단속 시스템 선정
 - 성능평가 기준, 시험 절차 및 장비의 실증적 평가 결과를 도출하기 위한 검증용 시험대상 충종기 설치
 - 하중재하시험 등의 시험 운영을 통한 성능평가 절차 전반의 수정 보완 작업 수행
-

제 2 장. 국내외 기술 개발 현황

2.1 European WIM Specification (COST 323)

가. 도로 조건 규정

- 도로 기하구조 조건 : WIM Section 전방 50m 및 후방 25m에 대한 기하구조 특성 규정
 - 종단구배 < 1%(class I site), < 2%(그 외). 가능한 일률적인 경사
 - 횡단구배(편구배) < 3%
 - 곡선반경 > 1000m(가능한 한 직선 도로)
- WIM 시스템은 일정한 속도 하에서 중량을 측정하기 위해 신호등, 톨게이트 등과 같이 가속, 또는 감속이 예상되는 지점과 이격하여 설치한다. 또한 미끄럼주의 구간 등과 같이 운전자의 기어변속이 예상되는 구간도 피해야 한다.
- 차로 수가 변경되는 구간을 피해야 한다.

나. 중량 정확도 등급별 허용오차 기준

[표 2.1] Width of the accuracy classes (confidence interval, δ in %)

Criteria (Type of measurement)	Domain of use	Accuracy Classes : Confidence interval width 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	> 1t							
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
Speed	V>30km/h	2	3	4	6	10	10	>10
Inter-axle distance		2	3	4	6	10	10	>10
Total flow		1	1	1	3	5	5	>5

다. 총중량 및 축하중 기준(정지상태의 하중) 측정법

- 정지 상태 하중은 단축 장비 또는 상업용 장비(우리나라 기준으로 표현하자면 이동식 축중기)를 이용하거나 한 번에 차량 전체 중량을 측정할 수 있는 계량기(우리나라 기준으로 표현하자면 계중기)를 이용하여 축 별, 조합축 별 중량을 모두 측정한다. 총중량은 계중기를 이용하여 한 번에 측정하는 것이 기준값으로 신뢰성을 가진다.
- 평편하고 수평인 지역에서 측정해야 하며 다음 사항을 유의한다.
 - 동일 차량의 바퀴/축하중에 대하여 가능한 다양한 중량범위를 측정하거나,
 - ramp나 다른 장비를 이용하여 모든 바퀴/축의 높이를 측정한다.
- 하나의 동일한 조합에 속해있는 축간 높이 편차는 2mm를 초과해서는 안 되며, 단축 간, 조합축 간 높이 편차는 0.5% 경사 이내이어야 한다.(예를 들어, 3m 간격에서 1.5cm 이내)
- 정지 상태 하중 계측 시에는 반드시 모든 브레이크를 풀고 있어야 한다.

- 단속 상황 중에 측정된 화물차의 중량 측정결과에는 편차가 발생할 소지가 높다. 따라서 특별히(시험용으로 임차한) 화물차의 하루 또는 이틀 간 일관되게 측정한 중량값을 사용한다.

라. 시험법 규정

(1) TEST N° 1 - 화물차 1대 사용

- 2축 트럭은 단일축하중 및 총중량만 검측
- 조합축을 포함한 세미트레일러나 기타 다른 형식의 화물차량은 단일축하중, 조합축하중, 조합축 내 개별축하중, 총중량 모두 검측
- TEST N° 1.1 하중조건 1종, 10회 주행
 - 단기 시험으로 1년에 수회 정도 실시하는 정기 시험으로 주로 권장하는 시험
 - 시스템에서 측정하고자 하는 차량의 종류가 한 종으로 한정된 경우에도 사용되는 시험
 - 시험은 하루 동안 실시
- TEST N° 1.2 하중조건 2종, 30회 주행
 - 단기 시험으로 연 정기시험으로 권장하는 시험
 - 시험은 하루 동안 실시

(2) TEST N° 2 - 화물차 2대 사용

- 화물차량 2대 사용(2축 트럭(1단위차량), 3조합축이 포함된 세미트레일러)
- 조합축이 포함된 1단위차량이라 하더라도 운행비율이 높은 차종일 경우 사용할 수 있음
- TEST N° 2.1. 화물차량 1대 당 하중조건 1종, 2대 × 10회 = 20회 주행
 - 인력, 비용 및 시간 등의 제한이 있을 경우, 신규 설치 또는 보수 및 수정된 WIM 시스템에 대하여 실시할 수 있는 시험
 - 시험은 하루 동안에 실시
 - 해당구간 일반 교통류의 동일 차종 평균 총중량값과 유사하게 하중을 적재
 - 만약 세미트레일러 대신 road train(여러 대 연결차, 국내에는 2대 연결 풀 트레일러 외에는 없는 차종)을 사용하는 경우 반드시 적어도 하나이상의 조합축을 포함하여야 함
- TEST N° 2.2
 - 화물차량 1대 당 하중조건 2종, 총 110회 주행
 - 신규 설치 또는 보수 및 수정된 WIM 시스템에 대하여 실시를 원하는 시험
 - 시험은 동일 기후조건으로 하루에서 연속된 3일 사이에 실시

(3) 시험계획 N° 3 - 화물차 4대 사용

- 화물차량 4대 사용, 총 110회 주행
- 평가 차량의 제한 조건 내에서 실제 교통류를 가장 잘 대표하는 시험
- 신규 WIM 시스템의 평가나 동일한 사이트 내 여러 WIM 시스템들을 동시에 평가하기에 적절함
- 시험은 동일 기후조건으로 하루에서 연속된 3일 사이에 실시
- 해당구간 일반 교통류의 동일 차종 평균 총중량값과 유사하게 하중을 적재

마. 설치기준(평탄성)

- 유럽에 적용되는 WIM 설치기준은 COST323을 통해 제정된 기준이다. 설정된 측정항목(차량중량, 차축, 속도, 축간격 등)의 측정정확도에 따라 다음과 같은 등급으로 규정하고 있으며, 단속을 목적으로 하는 시스템의 경우 최소 B+(7) 등급 이상의 성능이 구현되어야 한다.
- A(5): 법적 하중 제한의 단속이나 다른 특별한 필요에 의한 법적인 목적으로 사용가능한 수준
- B+(7): 특별한 경우의 법적 하중 제한의 단속목적으로 사용가능하나 단속기관의 특별한 동의가 있어야 한다. 과적 축 또는 차량의 효과적인 사전 선택목적으로 사용가능한 수준
- B(10): 사회기반시설 설계와 유지관리 또는 평가 시, 과적 축 또는 차량의 사전 선택 시 사용가능한 수준
- C(15), D+(20): 통계학적 연구와 차량의 분류, 사회기반시설 연구와 피로 평가 시 사용가능한 수준

[표 2.2] COST323 WIM 등급별 측정항목 정확도 등급 허용오차(NCHRP, 2008)

	Accuracy Classes and Tolerances: Confidence Interval Width δ (%)						
	A(5)	B+(7)	B(10)	C(15)	D+(20)	D(25)	E
GVW	5	7	10	15	20	25	>25
Axle Group	7	10	13	18	23	28	>28
Single Axle	8	11	15	20	25	30	>30
Single Axle within a Group	10	14	20	25	30	35	>35
Speed	2	2	4	6	8	10	>10
Axle Spacing	2	2	4	6	8	10	>10
Vehicle Volume	1	1	1	3	4	5	>5

- 또한 WIM이 설치되는 장소의 다양한 교통조건에 따라서 만족해야하는 측정항목별 신뢰수준을 정의하였고, 테스트 환경에 따라 다음과 같이 구분하였다.
 - I: 하루 혹은 연속된 이틀 기한 내에 몇 시간 정도 시행되는 시험
 - II: 한 달 기한 동안 최소 일주일 혹은 며칠 동안 시행되는 시험
 - III: 최소 1년이 넘는 기간 동안 시행되는 시험

[표 2.3] 환경등급에 따른 설치구간 포장 평탄성 기준

항목		비고	COST323		
			I Excellent	II Good	III Average
평탄성	IRI(mm/m)		≤ 1.3	≤ 2.6	≤ 4.0
	APL		$\geq 9 \sim 10$	$\geq 7 \sim 8$	$\geq 5 \sim 6$
평탄성 구간			Upstream: 200m, Downstream: 50m		

2.2 미국의 ASTM E1318-02 표준

가. 평가기준

- o ASTM E1318-02 표준은 중량과 차축 등 차량의 재원을 알 수 있는 평가 차량을 사용하여 WIM 시스템을 평가
- o 4가지 유형으로 구성

[표 2.4] 미국의 ASTM E1318-02 표준

구 분	내 용
유형 I	16~130km/h(10~80mph)의 속도 범위 내에서 평가 차량의 각 축의 좌,우측 하중의 데이터를 수집함
유형 II	24~130km/h(15~80mph)의 속도 범위 내에서 평가 차량의 각 축하중 데이터를 수집함
유형 III	16~130km/h(10~80mph)의 속도로 주행하는 차량의 하중 단속 검사 또는 분류 기능을 갖추고 운영
유형 IV	16km/h(10mph)의 속도로 주행하는 차량의 하중 단속 검사를 위한 것이지만 아직 사용하지 않음

- o 유형 III은 과적차량을 식별 할 수 있도록 각 고속도로 차로나 램프 또는 트럭검사소에 근접하여 설치
- o WIM의 정확도 측정은 최소 FHWA의 Class 5나 Class 9에 속하는 한 대의 차량과 2대의 평가 차량(총 3대)이 시스템을 수차례 통과한 자료를 사용하여 평가
- o 평가 차량은 서스펜션 타입(리프스프링, 에어 등)을 장착한 대표성이 높은 차량을 사용
- o 기준 축하중은 정적 축하중으로 국립기술표준연구소에서 사용하는 기준 축하중 측정방법으로 측정하여 설정하며, 3번 이상 측정해야 함
- o 평가 차량의 간격은 최소 0.03m(0.1 피트)의 해상도 수준으로 측정
- o 개별 측정값의 오차율은 아래 식으로 계산
- o $e = \frac{WIM - static}{static} 100$ 여기서, WIM은 측정값이며, static은 기준값임
- o 보정 값은 WIM의 측정값 오차가 제로 평균이 되도록 보정해야 함

[표 2.5] ASTM E1318-02 표준의 WIM시스템 정확도 허용오차

요소	적합성 95% 확률에 대한 허용오차				
	유형 I	유형 II	유형 III	유형 IV	
Wheel 하중	±25%	-주1)	±20%	≥ 2300kg주2)	±100kg
축하중	±20%	±30%	±15%	≥ 5400kg	±200kg
축조합하중	±15%	±20%	±10%	≥ 11300kg	±500kg
총중량	±10%	±15%	±6%	≥ 27200kg	±1100kg
차량속도	±2km/h				
축간거리	±0.15m				

주1) 유형II 시스템은 개별적으로 Wheel의 중량을 측정하지 않음

주2) 보다 가벼운 중량과 관련된 하중은 측정 대상으로 하지 않음

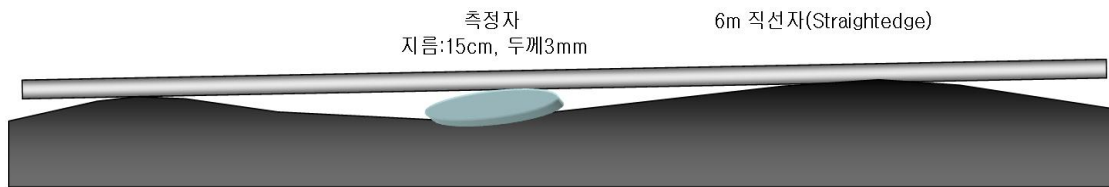
나. 설치기준

- ASTM 1318(American Society for Testing and Materials)에서는 표 2.6과 같이 축하중 측정 항목 및 하중측정 범위 등의 항목에 따라 I~IV의 4개 형식으로 분류하였다. WIM 설치 및 유지관리에서 고려해야하는 노면 평탄성 요구길이는 시작점은 60m, 종점은 30m이고, 평탄성 경계값은 3mm/6m임.

[표 2.6] WIM 구간 평탄성 요구거리 및 기준(ASTM 1318)

항 목 \ 비 고	시작점	종점
평탄 요구거리	60m	30m
평탄성 경계값	3mm/6m	

- 평탄성 측정방법은 고전적 방법인 막대자(Straightedge)를 이용하는 방법으로, 길이 6m 막대자를 이용하여 평탄성이 요구되는 구간에 지름 150mm, 두께 3mm의 기준물체 통과여부를 측정 기준으로 사용함.(그림 2.1 참조).



[그림 2.2] 막대자(Straightedge)를 이용한 평탄성 측정방법

- AASHTO(American Association of State Highway and Transportation Officials)에서는 WIM과 관련하여 축하중 측정에 대해 2개의 도로포장의 파장영역을 LRI(Long Range Index) 및 SRI(Short Range Index)로 정의하였고 노면 프로파일 자료를 Butterworth band-pass 필터를 이용하여 특정 값 범위를 다음과 같이 정의함

[표 2.7] LRI 및 SRI 구간길이 및 노면 파장 범위(AASHTO)

Criterion	Pavement Range		Filter Cutoff Value	
	Start(m)	End(m)	Start(m)	End(m)
Long Range	-25.8	3.2	1.08	11.37
Short Range	-2.74	0.46	1.56	16.45

- AASHTO에서는 LRI 및 SRI를 기준으로 WIM 설치구간에서 확보되어야 할 평탄성 값을 아래 표와 같이 LRI 및 SRI 구간의 평균값에 대한 상한(Upper), 하한(Lower)값으로 정의하고 있음.

[표 2.8] WIM 구간 LRI 및 SRI 경계값(AASHTO)

항목		경계값(m/km)	
		하한(Lower)	상한(Upper)
Type I	LRI	0.5	2.1
	SRI	0.5	2.1
Type II	LRI	0.9	3.8
	SRI	1.25	5.7

제 3 장. 연구 수행 내용 및 성과

3.1 고속축중기 개요

가. 고속축중기 개요

(1) 개요

- 고속축중기는 도로의 노면에 설치된 센서를 이용하여 고속으로 주행하는 차량의 바퀴의 접지하중을 측정하여 차량의 축하중 또는 각 축하중을 합산한 총중량을 측정하는 장치임.
- 고속축중기에 사용되는 하중검출용 센서는 그 형상에 따라 피에조(Piezo) 형식과 벤딩플레이트(Bending Plate) 형식으로 크게 분류되고, 각 분류마다 센서의 소자나 방식에 따라 다양하게 세 분류됨.
- 특히, 고속축중기는 고속으로 주행 중인 차량의 중량을 검출할 수 있는 특성에 의하여 차량의 정보를 획득할 수 있는 다양한 시스템과의 연계를 통해 과적단속용 장치로 활용되기도 함.
- 본 과업에서 대상으로 하는 고속축중기는 기본적으로 고속 무인 과적단속시스템의 주요 장치로서 기능을 수행하는 것을 전제로 하며, 이때 단속시스템은 크게 고속축중기부, 차량번호수집부, 정보표출부로 구성되어 있으며, 고속축중기부는 센서부와 제어부로 구성되어 있으며, 차량번호수집부는 일반적인 번호인식카메라와 동일한 형태로 구성되어 있고, 정보표출부는 가변형 도로전광표지판(VMS)으로 구성됨.



[그림 3.1] 고속축중기를 이용한 고속 무인 과적단속시스템의 일반적 구성

(2) 과업 대상 범위

- 고속 무인 과적단속시스템의 성능을 평가하기 위한 본 과제의 연구범위에서는 위 구성 중 센서부와 제어부를 1식으로 구성한 고속축중기부에서 생성되는 중량정보를 대상으로 함.
- 차량번호수집부의 번호인식카메라는 기존 AVI 시스템에서 구동되는 것과 기능 및 목적에 있어서 동일하여 기존의 AVI 성능평가체계를 준용할 수 있으므로 본 과업의 성능평가체계를 개발 범위에 포함하지 않음.

- 정보표출부는 중량(또는 과적)정보를 획득한 이후 후속조치 상황에 따라 필요시 현장에서 정보를 실시간으로 제공하고자하는 목적으로 설치되는 장치로서, 중량을 검출하고 과적차량 발생 시 차량의 정보를 획득하는데 필요한 필수 구성요소가 아니므로 본 과업의 성능평가체계를 개발 범위에 포함하지 않음.

3.2 모의 시험장 구축 및 시험 준비

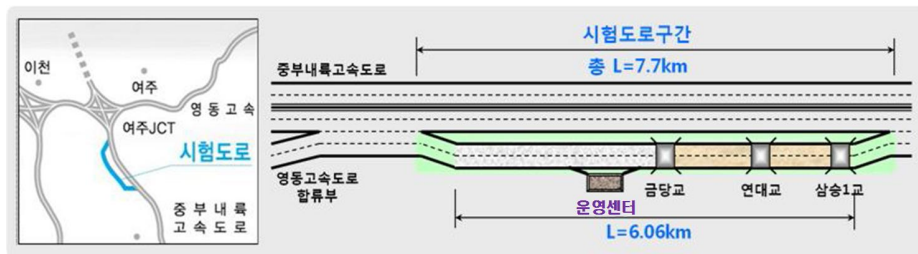
가. 모의 시험장 구간 선정

(1). 개요

- 대규모 성능시험을 위한 화물차량 중량재하 주행시험장 구축
- 중부내륙고속도로 시험도로 활용
 - 운영센터 전방 콘크리트 포장 구간
 - 설치공간 : 약 200m(시스템 설치 구간 + 진입 평탄성 확보 구간)
 - 주행시험 공간 : 시스템 설치 지점으로부터 후방 2km

(2) 위치 및 구성

- 중부내륙고속도로 여주 부근 시험도로(폐쇄망 도로)



[그림 3.2] 시험장 구축 구간 개요도

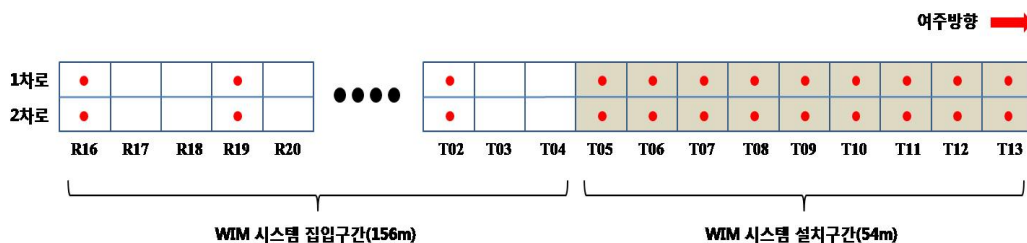
나. 시험장 구조적·기능적 상태 평가

(1) 개요

- 고속충충기 시험장 구간에 대한 적정 시스템 설치 환경 조사
- 구조적 상태 평가 : FWD¹⁾ 장비를 이용한 하중-처짐량 평가
- 기능적 상태 평가 : 포장상태조사장비를 이용한 노면 평탄성 평가

(2). 현장시험

- 시험구간 : 54m의 시스템 설치구간과 156m의 진입구간



[그림 3.3] 시험구간 개요도(시스템 설치구간 “음영”)

1) * FWD : Falling Weight Deflectometer(포장 지지력 측정 장비)

- 해당 시험구간은 노면 평탄성 확보를 위하여 다이아몬드 그라인딩 공법을 이용한 평탄성 보수 시행



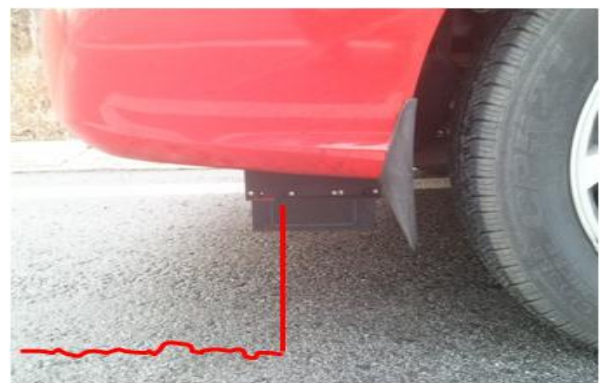
[그림 3.4] 다이아몬드 그라인딩



[그림 3.5] 노면 절삭 상태



[그림 3.6] FWD장비
(포장 구조적 상태 평가)



[그림 3.7] 포장상태조사장비
(노면 프로파일 측정)

(3). 구조적 상태 평가 결과

- 평가기준 : 49KN의 동적하중 재하 시 처짐량 측정

[표 3.1] 과적단속 시스템 설치 기준(FWD 시험, COST 323 WIM Spec.)

처짐량(mm)	≤0.10	≤0.15	≤0.20
평가 등급	I Excellent	II Good	III Average

- 시험결과

[표 3.2] FWD 시험 결과

슬래브 번호	1차로		2차로		구간
	처짐량	평가	처짐량	평가	
T13	0.20	Average	0.18	Average	HS-WIM 설치구간
T12	0.20	Average	0.18	Average	

슬래브 번호	1차로		2차로		구간
	처짐량	평가	처짐량	평가	
T11	0.20	Average	0.19	Average	HS-WIM 설치구간
T10	0.21	Average	0.20	Average	
T09	0.20	Average	0.20	Average	
T08	0.19	Average	0.18	Average	
T07	0.19	Average	0.18	Average	
T06	0.18	Average	0.17	Average	
T05	0.18	Average	0.16	Average	
T02	0.15	Average	0.15	Average	HS-WIM 진입구간
S13	0.13	Average	0.14	Average	
S10	0.16	Average	0.11	Average	
S07	0.25	NG	0.25	NG	
S04	0.29	NG	0.20	Average	
S01	0.29	NG	0.18	Average	
R19	0.27	NG	0.28	NG	
R16	0.21	NG	0.23	NG	

* 시스템 설치구간은 설치 기준 만족

(4). 기능적 상태 평가 결과

o 평가기준 : IRI(국제평탄성지수) 측정

[표 3.3] 과적단속 시스템 설치 기준(평탄성)

IRI(m/km)	≤1.3	≤2.6	≤4.0
평가 등급	I Excellent	II Good	III Average

o 시험결과

[표 3.4] IRI 시험 결과

(단위 : m/km)

구분	1차로			2차로		
위치	우측	좌측	평균	우측	좌측	평균
그라인딩 전	1.77	1.34	1.56	1.50	1.55	1.53
평가	Good			Good		
그라인딩 후	0.96	1.01	0.99	0.98	1.34	1.16
평가	Excellent			Excellent		

* 다이아몬드 그라인딩 시공 전 평탄성은 1.56m/km(1차로), 1.53m/km(2차로)로 나타나 II 등급에 해당하였음

* 다이아몬드 그라인딩 시공 후 평탄성은 0.99m/km((1차로), 1.16m/km(2차로)로 나타나 최종적으로 I 등급에 해당함

(5) 설치구간 평가 최종 결론

- 시스템 설치구간의 구조적 지지력과 시스템 설치구간을 포함한 주행차량 진입구간의 노면 평탄성이 고속충증기를 설치하고 평가함에 있어 만족스러운 상태임을 확인하였음.

다. 시험용 분동 제작

(1) 개요

- 대규모 주행 시험을 위한 중량 설정용 하중 제작
- 제작 목적
 - 동일 하중(충중량, 축하중) 반복 재현성 확보
 - 주행 중 하중의 부동성 확보(유동 시 상태확인 용이)
 - 하중 적재 작업 효율성 확보(지게차를 이용한 빠른 작업성)
 - 차중 변경 시 적재함 규모 변경에도 다양하게 적용

(2) 분동 제작

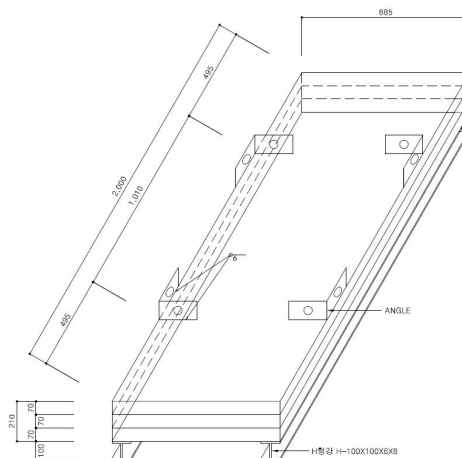
- 제작 구성품
 - 하중재하용 분동(1톤형, 3톤형)
 - 분동 거치대(분동 고정용 지그)
 - 분동간 결합용 체결구
 - 분동 거치대와 평가 차량 간의 결합용 체결구

[표 3.5] 설정 목표 하중

(단위 : 톤)

총중량(t)	공차중량(t)	적재중량(t)	비고
40	14	26	운행제한차량 기준
44		30	기준 대비 10% 증가 중량
48		34	기준 대비 20% 증가 중량

- * 개별 분동 간 중량 편차 최소화를 위하여 강상판 활용
- * 작업성 및 보관성을 고려한 조립식 거치대 제작



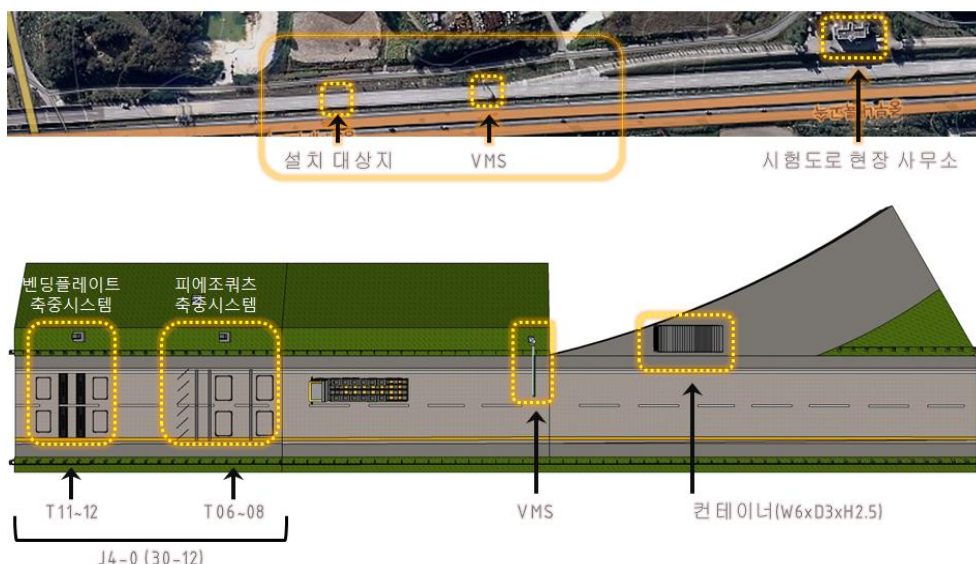
[그림 3.8] 연구용 분동제작(안)

- 3톤 분동
 - 적재함의 길이(10m 내외)를 고려하여 2톤 분동 개수 설정
 - 최소 26톤을 1단으로 적재할 수 있도록 강상판을 여러 개(2~3)를 겹쳐 용접하여 제작
 - 26톤 이상 적재 시 1톤 분동을 2층으로 적재해야 하므로 1톤 분동과의 결합구 배치
 - 적재 시 지게차를 이용한 작업성을 확보하기 위하여 두 개의 H빔 설치
- 1톤 분동
 - 적재중량에 부합하는 중량조합을 위해 1톤 분동 필요
 - 4~8톤을 2층으로 적재할 수 있음
 - 2층 적재 시 작업성을 확보되었음
- 거치대
 - 작업성과 보관성을 확보할 수 있는 크기로 설정되었음
 - 거치되는 분동의 부동성을 확보하기 위한 형태로 제작 완료

3.3 고속 무인 과적단속 시스템 설치 및 주행시험

가. 고속 무인 과적단속 시스템 설치

- 성능평가체계 모의시험을 위한 고속 무인 과적단속 시스템은 현재 국내 고속국도 및 일반국도에서 과적단속을 목적으로 운영하고 있는 피에조쿼츠 및 벤딩플레이트 시스템을 대상으로 함
- 이 시스템들은 도로의 본선에 설치되어 교통흐름에 의한 일반적인 주행속도 하에서 중차량의 하중을 측정하고 측정된 결과를 기록하며 필요시 과적으로 측정된 차량의 정보를 특정 관리자에게 실시간으로 전송할 수 있는 기능을 가짐
- 이는 고속 무인 환경에서 과적차량을 측정하고 단속 작업에 필요한 기본적인 기능들이 구축되어있는 시스템으로, 향후 고속 무인 과적단속 시스템의 구축 가능성이 높을 것으로 판단됨
- 상기 시스템들은 대량 고속주행 시험이 가능한 중부내륙고속도로 시험도로의 콘크리트 포장구간 T06 ~ T12에 설치함



[그림 3.9] 고속 무인 과적단속 시스템 설치위치

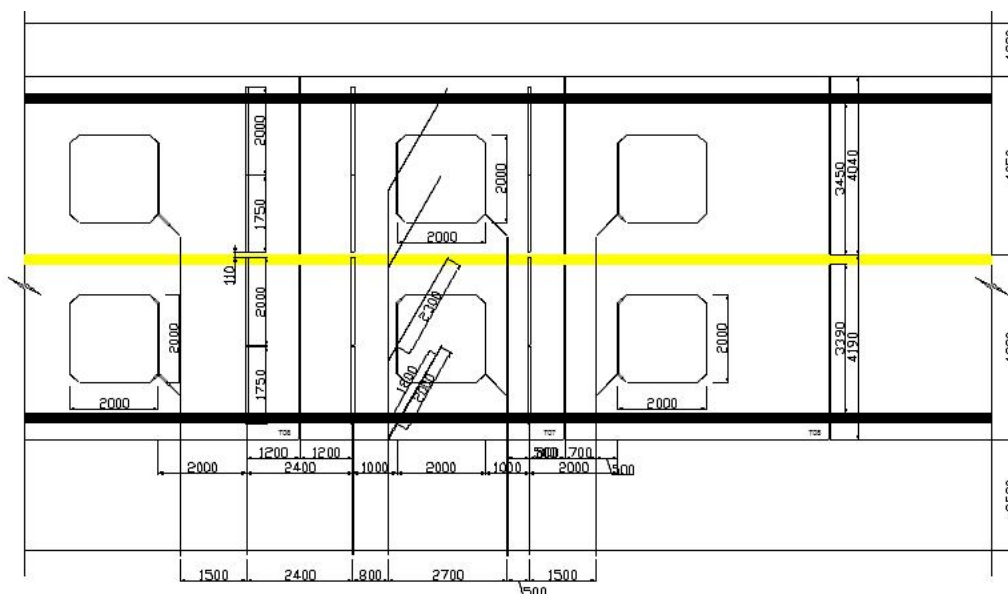
- 고속용 과적단속 시스템은 차로 당 검지부, 제어부, 기타장치로 구성
 - 고속 주행 중에 차량의 하중을 측정할 수 있는 축중 센서
 - 차량이 차로 상에서 올바르게 진행하는지 여부를 측정할 수 있는 주행 위치 판독기능
 - 과적의심차량 판독 및 트리거 기능
 - 적재중량 초과차량 판독 및 트리거 기능
 - 회피차량 판독 및 트리거 기능 등
- 이 외 측정된 데이터를 기초로 하여 차량의 주행 상태에 따라 측정 정밀도를 높이기 위한 각종 보정법, 차종의 분류, 통과 차량의 통계적 분석기능이 가능
- 사용되는 센서의 특성에 따라 필요한 경우 포장체 온도변형에 의한 측정 정밀도 보정을 위해 슬래브 온도 측정 기능 및 이를 통한 보정기법이 반영
- 현재 국내 혹은 해외에서 사용되고 있는 고속 과적단속 시스템은 다양한 기술이 접목되어 시스템화되어 있으며 적용되는 설치 환경에 따라 각각의 성능이 영향을 받게 되므로 무인단속 환경에서 요구되는 성능을 평가하기 위해서는 각 환경 변수에도 불구하고 안정적인 측정 성능이 구축되어 있는지를 확인할 수 있는 평가 기법이 적용되어야 함

(1). 피에조쿼츠 시스템

- 피에조쿼츠 시스템은 차량의 타이어 접지압력을 측정하여 이를 하중으로 변환하는 압전변환 기술을 이용
- 압전효과를 이용한 방식은 교통량 측정 장치의 센서로도 사용되나 이는 상대적으로 정밀도가 높지 않은 필름방식이나 세라믹 방식 등이며, 차량의 하중을 측정하기 위한 축중 센서로는 반복 재현성 및 정밀도가 높은 쿼츠(Quartz, 수정소자)를 이용한 센서가 이용

(가) 검지부 구축

- 검지부는 포장체에 설치하는 센서로 구성되며 축중 센서, 루프센서, 차량위치판독센서를 차로별로 설치하며, 대표 단면에 깊이별로 온도센서를 설치하여 온도보정을 할 수 있도록 구축



[그림 3.10] 피에조쿼츠 시스템 검지부 센서 설치 최종 배치도

[표 3.6] 피에조쿼츠 시스템 2차로 구축 센서수량

센서		차로	수량	총수량	비고
축중 센서	Lineas Quartz Sensor 2m	1, 2	3	6	차로당 3개
	Lineas Quartz Sensor 1.75m	1, 2	3	6	차로당 3개
차륜위치판독센서	Piezo Electric Axle Sensor	1, 2	2	4	차로당 2개
차량감지센서	Loop Sensor	1, 2	3	6	차로당 3개
포장체 온도센서	PT100	-	-	4	1개 지점



[그림 3.11] 피에조쿼츠 시스템 검지부 센서 설치 전경

① 축중 센서

- 피에조쿼츠 고속축중기 시스템에 사용되는 축중 센서는 스위스의 Kistler사에서 생산되어 공급되는 제품이 세계적으로 가장 많이 사용되고 있으며, 현재 국내 고속도로에서도 동일한 센서로 시범 운영되고 있음
- 피에조 축중 센서는 콘크리트 슬래브 폭 및 차로폭을 기준으로 센서 길이가 2.0m 및 1.75m의 센서를 조합하여 설치. 이는 차선평보다 축중 센서의 검지폭을 넓게 하여 주행 중 차선을 밟거나 약간 이탈하는 차량의 중량을 측정해낼 수 있도록 하기 위함
- 센서의 배치는 주행차량의 운동상태에 따른 측하중 측정오류를 최소화 하도록 배치간격을 결정하며, 과적 의심차량의 평균주행속도로 3점식 센서의 배치와 켤링 현상을 최소화하기 위해 콘크리트 슬레이브 두 개에 나누어 설치됨



[그림 3.12] 피에조쿼츠 축중 센서

② 차륜위치 판독센서

- 축중 센서는 포장체 내에서 지점부 특성변화에 의한 횡방향 응답특성을 가짐
- 이에 대한 보정을 위해 차륜위치판독센서를 검지부에 추가하여 설치하며, 차륜위치판독센서로부터 획득한 차륜위치 정보는 주행차량이 축중 센서의 유효측정범위 안으로 주행했는지 여부를 판독하고 유효범위를 벗어난 경우 계중회피차량으로 판독
- 윤거 및 타이어 수 판독이 가능하여 보다 더 정확한 차중분류가 가능

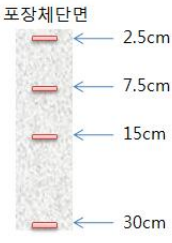
[표 3.7] 차륜위치 판독센서 배치

센서배치	특 징
	▪ 차로당 2개의 차륜위치 판독센서 설치 ▪ 축중계 센서의 횡방향특성 보정 ▪ 양측 차륜위치를 동시 판독 ▪ 회피차량 판독 및 보정 ▪ 윤거 및 타이어 수 판독

③ 포장체 온도센서

- 콘크리트 포장체는 온도에 따라 컬링(Curling)거동을 보이며 포장체에 설치된 축중 센서 또한 이러한 거동상태에 따라 편차가 발생
- 이러한 특성을 보정하기 위해 깊이별 온도계를 설치하여 축중 센서에서 획득한 축하중을 보정

[표 3.8] 포장체 온도센서 배치방법

센서배치	특 징
	▪ 깊이별 4개의 온도계 설치 ▪ 상부는 온도변화가 크므로 7.5cm깊이에 추가 ▪ 심도별 온도변화에 따라 포장체 거동예측 ▪ 일일 온도거동에 따른 보정 ▪ 장기 온도거동에 따른 보정

④ 차량감지센서

- 루프센서는 축중 센서의 진·출입부 및 중앙 3지점에 설치하여 차량진입과 진출을 검지

(나) 제어기 구축

- 피에조쿼츠 고속축중기의 제어 시스템은 축중 센서의 미세신호를 증폭시켜 주는 증폭기, 차륜 위치판독 센서의 신호를 증폭시켜주는 증폭기, 루프검지기, 온도 측정을 포함하여 이들 전체를 제어하는 주 제어기 및 전원공급장치로 구성

[표 3.9] 피에조쿼츠 시스템 제어기의 주요 처리 기능

항 목	사 양
검지정보	검지시간, 속도, 평균속도, 차두 간격, 차량길이, 오버 행, 언더 행, 축수, 축거, 축 구조, 윤거, 타이어 구조, 타이어 폭, 타이어 접지위치, 차선이탈여부

항 목	사 양
차종분류	표준 12종 차종, 내부분류 26종 이상 제공
하중정보	총중량, 축하중, 회피차량 포함
기타	깊이별 온도 4개 측정
통신	Ethernet 기반 다중접속 기능 제공 1 : 과적모니터링 시스템 접속 2 : WIM DB서버 접속 3 : 관리자 접속
보정기능	포장체 및 센서의 횡 방향 응답특성 보정기능 제공 심도별 온도에 따른 보정기능 제공

[표 3.10] 피에조쿼츠 시스템 제어기 및 함체

사 진	사 양	
	품명	ATS-WIM
	제조사	(주)뉴컨스텍
	CPU	32Bit / RAM 64MB, ROM : 128MB
	O/S	Real-time O/S
	축중 센서, 차륜위치판독센서	Range : ±10 Volt A/D : 16bit 이상 채널 : 16/32 Sampling Rate : 채널별 4kHz 이상
	온도센서 입력	A/D : 24Bit 이상 채널 : 8
	디지털 입력	무접점 릴레이 : 8
	카메라 트리거	무접점 릴레이 : 4
	통신	Ethernet 1 / RS232 1
	전원	10 ~ 30VDC
	동작온도	-25 ~ 85℃

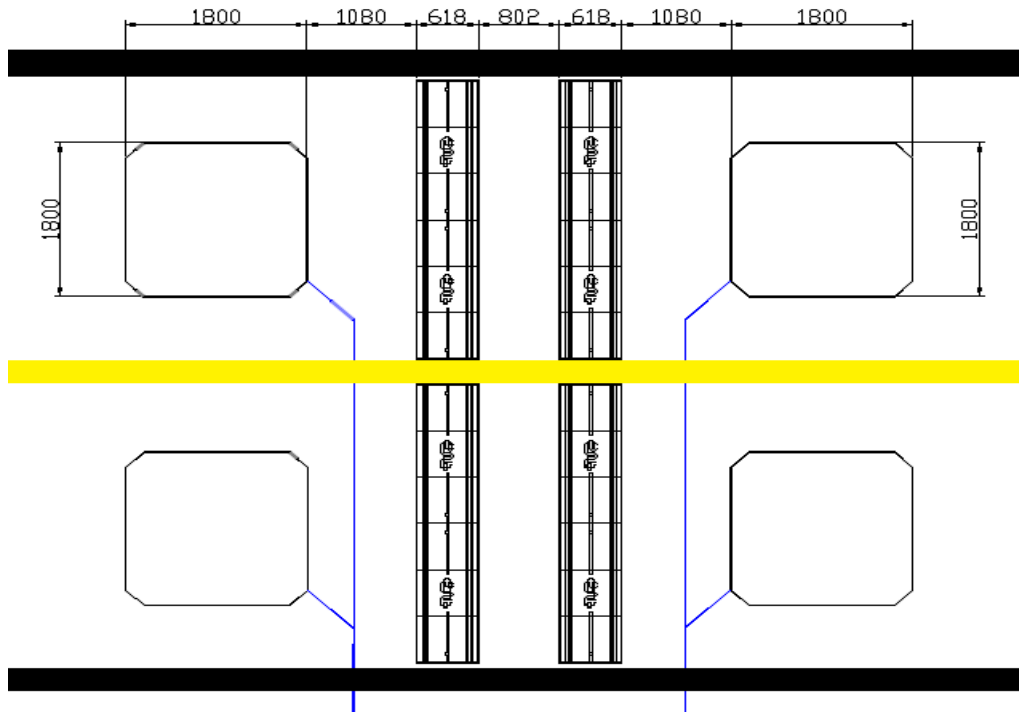
(다) 설치 시공

- 축중 센서는 차량의 주행 중에 타이어의 접지면이 센서를 밟고 지나갈 때 발생하는 물리량의 변화를 측정하여 하중값으로 환산. 타이어의 접지면이 센서와 만날 때의 차량의 상태, 주행속도, 노면의 상태 등 많은 변수가 하중측정의 정밀도에 영향을 미침
- 따라서 센서의 종류에 무관하게 고속축중기 시스템의 축중 센서는 매우 정밀한 설치 작업을 필요로 함
- 노면에 설치되는 센서의 내구성을 위하여 검지 센서 설치 시 신호 케이블은 장기 공용 시 포장체경계부의 거동에 따른 단선을 방지하기 위해 적절한 보호조치를 한 후 관로를 구성하며, 센서의 종류에 따라 상호신호 간섭이 발생하지 않도록 차폐한 후 관로를 구성. 설치 전 계획된 도면에 준하여 정확한 위치를 표시하고 해당 위치를 정확하게 컷팅하여 설치하여야 함

(2) 벤딩플레이트 시스템

(가) 검지부 구축

- 벤딩플레이트 시스템의 검지부는 포장체에 설치되는 축중 센서와 루프센서가 차로별로 구성되며, 벤딩플레이트 축중 센서 내부 온도센서를 설치하여 온도보정을 할 수 있도록 구성



[그림 3.13] 벤딩플레이트 시스템 검지부 센서 설치 최종 배치도

[표 3.11] 벤딩플레이트 시스템 2차로 구축 센서수량

센서		차로	수량	총수량	비고
축중 센서	ERP WIM scale 1.7M	1, 2	4	8	차로당 4개
차량감지센서	Loop Sensor	1, 2	2	4	차로당 2개
온도센서	PT100	-	-	2	2개 지점



[그림 3.14] 벤딩플레이트 시스템 검지부 센서 설치 전경

① 축중 센서

- 벤딩플레이트 축중 센서는 물체의 변형률을 측정하는 스트레인측정 방식의 로드셀이 차륜의 하중에 의해 발생하는 변형을 측정하여 차량의 무게를 계산하는 방식
- 통상 벤딩플레이트 방식은 차량의 타이어의 접지 길이보다 큰 폭을 가지며 타이어 접지면적의 일부만을 검지하는 피에조쿼츠 축중 센서와는 달리 타이어 접지면적의 전체를 검지하므로 축중 센서의 검지 특성이 달라 하중을 환산하는 기법 등도 많은 차이점이 있음
- 축중 센서는 차로폭 전체 구간을 모두 검지할 수 있도록 설계되며 1.7m 길이의 축중 센서 2개를 조합하여 1열의 센서부로 구성되고 각 차선당 2열 씩 구성하여 2차로 총 4열로 구성
- 본 연구에 시험 설치된 벤딩플레이트 축중 센서는 양단 지지방식 하중분포를 이용하여 차륜의 위치를 판별하는 기능을 구현함
- 별도의 차륜위치 판독 센서가 없는 상태에서 센서 내부에 구성되어 있는 로드셀의 좌우 하중의 비중을 통하여 차륜의 위치 및 단륜·복륜 등의 정보를 추출하고 이탈 및 회피 주행에 대한 감지가 가능함



[그림 3.15] 벤딩플레이트 축중 센서

② 온도센서

- 벤딩플레이트 축중 센서는 타이어와 접촉되는 접지면적이 크고 상대적으로 콘크리트 포장체의 거동 특성에 영향을 적게 받기 때문에 콘크리트 포장체의 횡방향 거동에 대한 세부적인 보정기법이 적용되지는 않으나 외부 온도의 변화에 따른 센서의 온도 특성 및 전체 환경에서의 온도 특성에 대한 보정을 위해 센서 내부에 온도 센서를 설치하여 온도 보정 기능을 구현

③ 루프센서

- 루프센서는 축중 센서의 진·출입부에 설치하여 차량진입과 진출을 검지.

(나) 제어기 구축

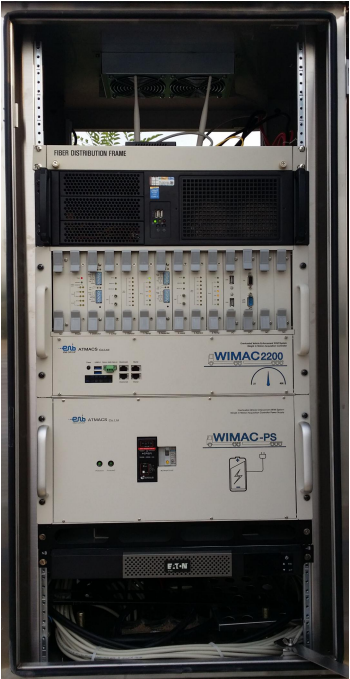
- 벤딩플레이트 고속축중기의 제어 시스템은 축중 센서의 신호를 입력받아 증폭 및 처리하는 축중 센서 모듈, 루프검지기, 온도 측정을 포함하여 이들 전체를 제어하는 주 제어기 및 전원공급 장치로 구성

[표 3.12] 벤딩플레이트 축중 제어기의 주요 처리 기능

동작항목	상세항목	성능
차량검지 (VDS)	교통량	> 95%
	속도 검지 범위	0 ~ 200km/h

동작항목	상세항목	성능	
	속도 검지 정확도	< ±5km/h	
과적검지 (WIM)	총중량 정확도	< ±5~7%	COST323 A5~B7
	축하중 정확도	< ±10~15%	
	기타 항목	윤중량, 축종류, 접지 위치, 온도, 센서 이상상태 실시간 감시	
	주행방법	정상, 회피, 이탈, 가감속, 접지이상 주행 검지	
차종분류 (AVC)	분류 정확도	> 95% (국토교통부 기준 12종)	
	차량제원 검지	차량길이, 축거, 윤거, 오버행	

[표 3.13] 벤딩플레이트 시스템 제어기 및 함체

사 진	사 양	
	모델	WIMAC2200(2차로 2열), 2100(2차로 1열)
	채널	8ch/차선(2열), 4ch/차선(1열)
	검지 반응속도	20ms $\pm$ 1ms
	루프 주파수	18 ~ 2400 μH (Q-factor: $>4\<12$)
	분해능	1 $\mu\text{V/V}$
	측정정확도	1% F.S
	샘플링 속도	> 3KHz
	센서입력범위	Full Bridge AI 0~5mV/V, DIO 0~5V
	트리거 범위	DO trigger 8bit 0-5V, RS232
	통신	Ethernet, FTP, RS232, USB, LTE Louter etc.
	프로세서	CPU i3 2.2GHz mobile processor
	저장 용량	SSD 32G
	연결 센서	로드셀, 루프센서, RTD 온도센서
	동작 온도	-45~70°C
	크기	484mm(W)X270mm(H)X470mm(D)
	무게	20.39 kg
	입력 전원	DC 24V (허용 범위: DC 20~25V)
	소비 전력	최대 800VA
	제조사	ATMACS
	인증	KC, CE

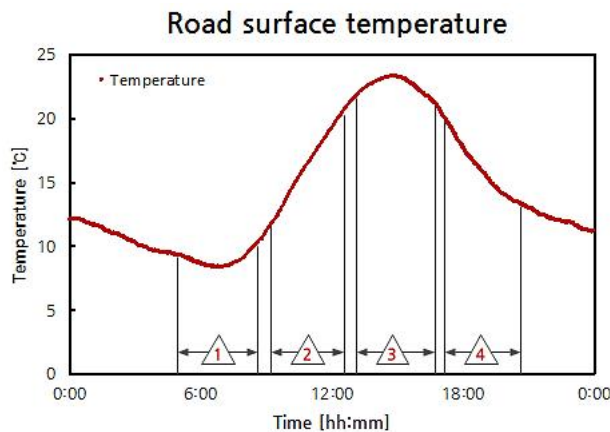
나. 고속 무인 과적단속시스템 폐쇄망 도로상 모의시험

- 본 연구에서는 성능 평가 기준, 시험 절차 및 장비의 실증적인 결과를 도출하기 위하여 고속 무인 과적단속 시스템을 폐쇄망 도로의 시험장에 설치, 시험운행을 통한 수정보완 단계를 필수 과정으로 설정하였음
- 고속 무인 단속시스템의 성능평가 과정에서 나타나는 문제점을 보완하고, 제시하고자 하는 성능평가 기준, 시험절차 및 장비에 대한 타당성을 확인함으로써 운영상 문제점들을 최소화하기 위한 효과적인 방법으로 계획
- 여주시험도로에 모의시험용 고속 무인 과적단속 시스템이 설치 완료된 이후 2015년 6월부터 매 월 1회 실시

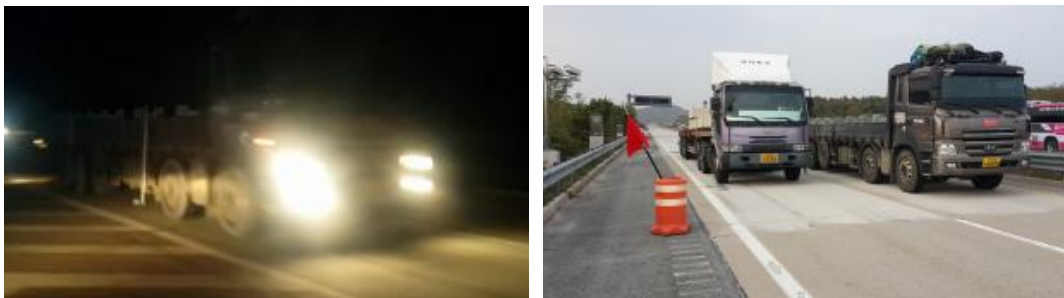
(1) 시험 방법

① 온도

- 온도변수는 외부온도에 의한 센서 및 제어기 등의 영향과 포장체의 온도특성에 의한 측정 영향을 검토하기 위한 것으로, 특히 도로 포장체는 온도에 의한 거동 특성이 발생하며 노면에 설치된 센서는 이러한 포장체의 거동특성에 영향을 받음
- 온도변수의 설정은 1일을 기준으로 발생할 수 있는 최고온도 및 최저온도와 이들 온도 사이의 상승 및 하강온도 시간대로 설정하여 다양한 온도 상황에서 측정 시스템의 성능을 평가할 수 있도록 함
- 계절에 따라 편차가 발생되나 통상 시간대는 1. 일출시간, 2. 오전, 3. 오후, 4. 일몰시간에 각 온도분포가 관찰되어 각 시간대에서 시스템의 성능평가를 실시



[그림 3.16] 온도별 시험 시간대 산정



[그림 3.17] 시간대별 주행시험

② 차종

- 국내 차종구분 12종 중 중차량으로 구분할 수 있는 차종은 4종에서 12종이며 이들 중차량은 견인차와 피견인차가 단일축으로 구성되는 1단위차량과 견인차와 피견인차가 서로 다른 축으로 구성되는 2단위차량으로 구분됨
- 견인차와 피견인차의 구성은 차량의 하중, 특히 축하중의 측정에 오차요인으로 작용할 뿐 아니라, 차량의 감지 특성에도 많은 영향을 제공함
- 따라서 차종변수는 중차량 중 1단위차량의 대표차량인 5축 카고 차종과 2단위차량의 대표차량인 5축/6축 트레일러 차종을 대상으로 시험
- 중차량의 경우, 차량 관리 등의 목적으로 가변축을 운영하는 경우가 매우 많은 바, 가변축은 화물이 적재되지 않은 공차의 경우 가변축을 상승시켜 타이어의 손상을 줄이고 주행성능을 높이

며, 화물을 적재한 상태에서는 가변축을 노면에 접지시켜 하중을 분산시키고 노면에 대한 축하중 과적을 피하게 됨

- 이러한 가변축은 대부분 공기압을 이용한 제어방식을 사용하며 차량의 종류에 따라 공기압의 방법이 상이함으로 인해 가변축의 설정 하중이 일정하지 않고 특히 노후차량의 경우 설정된 공기압이 차량의 주행에 따라 지속적으로 변하게 되면 각 축에 부하되는 하중도 동시에 변함. 이러한 특성은 하중 측정 시스템을 평가하기 위한 필수 요건인 차량의 기준 중량 측정에 있어 많은 문제를 유발
- 따라서 본 연구에서는 1단위 5축 카고차량에 설치된 가변축은 적용하지 않았으며 2단위 트레일러의 축 역시 가변축이 적용되지 않은 판스프링 차량으로 모의시험을 실시



[그림 3.18] 시험 차종 종류

③ 주행속도

- 차량의 주행속도는 차량 자체에서 발생하는 진동 특성과 축중 센서에서 발생하는 신호의 특성에 영향을 발생
- 타이어의 접지압력을 통해 나타나는 최종적인 하중값은 타이어에 연결된 차량의 전체 연결구조의 특성을 나타내며 엔진의 진동이나 차축의 연결구조에 따른 하중의 분산 등은 순간적인 하중의 변화에 영향 요인으로 작용. 도로의 평탄성이 좋지 않을수록 차량의 주행속도가 높아지면 차량 진동의 크기는 더욱 커지는 경향을 가짐
- 축중 센서는 형상 및 크기에 따라 발생하는 신호의 특성이 달라짐
 - 타이어와의 접지면적이 매우 작은 피에조쿼츠 축중 센서의 경우 시속 80km/h로 주행하는 화물차량의 타이어가 센서에 접지되는 시간은 20ms 이하로 매우 짧으므로 하중을 계산하는 알고리즘은 오차를 낮추기 위해 적분 방식을 많이 사용
 - 센서의 폭이 큰 벤딩플레이트의 경우 신호의 발생시간이 상대적으로 길고 포장체와 타이어 접지면을 공유하지 않는 특성으로 인해 적분 알고리즘뿐만 아니라, 신호 진폭의 피크지점을 검지하여 환산하는 방법도 사용
- 심한 정체의 상황을 제외하면 중차량의 주행속도는 대부분 법적 허용범위 내에서 이루어지게 되므로 주행속도의 변수는 실제 차량의 주행속도 범위인 40 ~ 100km/h 범위에서 실시

④ 주행위치

- 고속 과적단속 시스템은 도로의 구매, 선형성 및 평탄도가 우수한 도로에 설치되어야 하며 이러한 도로의 차선폭은 대부분 3.4~3.6M 정도의 범위를 가짐
- 차량이 주행할 때 축중 센서와 접지되는 위치가 차선 내에서 임의의 위치라고 할 때, 측정되는

신호의 특성은 센서의 길이방향 균일성과 센서가 설치된 포장체의 차선폭 위치에 대한 변형에 영향을 받음

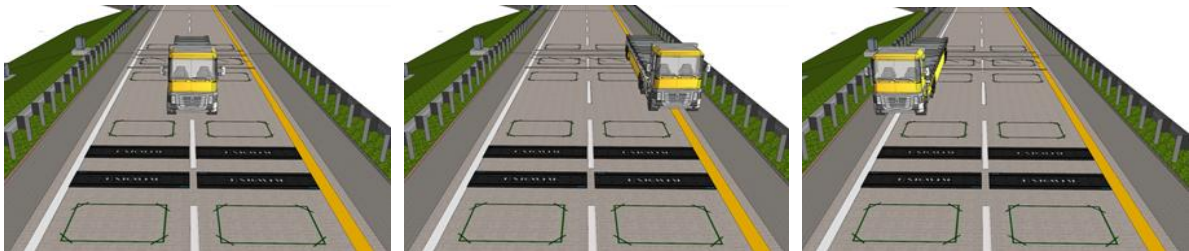
- 주행위치 변수는 차량의 정상 주행 범위 내에서 주행 위치에 대한 측정 오차의 여부를 평가하기 위하여 중앙주행, 좌밀착 주행(운전석 쪽)과 우밀착 주행(조수석 쪽) 주행으로 설정하여 시험



[그림 3.19] 주행위치별 변수-좌: 중앙주행, 중: 우선폭, 우: 좌선폭

⑤ 주행패턴

- 이상주행은 정상주행의 범위를 벗어난 주행 방식으로, 주로 차선을 이탈하여 주행하는 경우와 센서부근에서 비정상적인 속도의 변화가 발생하는 경우를 의미함
- 모의시험에서는 2차로로 구성된 고속 무인 과적단속 시스템을 기준으로 하여 양차로 걸쳐주행, 측대 걸쳐주행, 길어깨 걸쳐주행으로 구분하여 시험을 실시
- 가속·감속의 경우 만차 상태에서 구현할 수 있는 임의의 가속 및 감속 범위를 모사하여 측정하고 이러한 가감속 상황에서 총중량 및 축하중 측정 정밀도를 평가



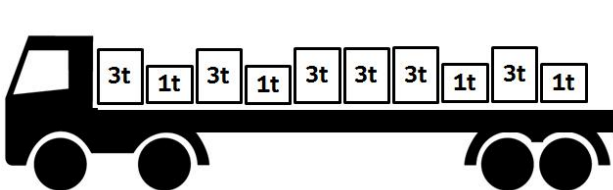
[그림 3.20] 이상주행 변수-좌: 양차로주행, 중: 측대 걸쳐주행, 우: 길어깨 걸쳐주행

⑥ 재하중량

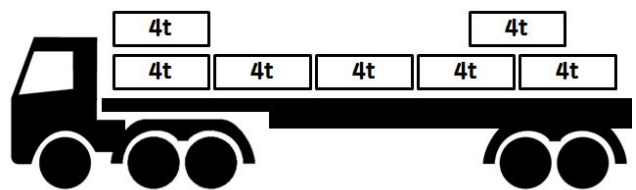
- 시험하중으로 사용된 축하중은 선정된 2종의 차량에서 약 5톤에서 12톤 이상의 범위를 갖도록 설정

[표 3.14] 평가 차량의 총중량 및 축하중 분포

차종	분동적재	분동수량	총중량	1축하중	2축하중	3축하중	4축하중	5축하중
4축 카고	스틸 분동	3톤: 6개, 1톤 4개	40.5톤	7.0톤	8.5톤	12.5톤	12.5톤	
5축 트레일러	콘크리트 분동	2톤 14개	44.5톤	5.5톤	9.0톤	9.0톤	10.5톤	10.5톤



[그림 3.21] 1단위 차량 분동적재 및 주행 축 설정



[그림 3.22] 2단위 차량 분동적재 및 주행 축 설정

(2) 시험 횟수

[표 3.15] 모의시험장 성능평가시험 수행 내역

시험차수		1차		2차		3차		4차		5차		6차		7차		8차		9차		총 주행 합계	측수 주행 합계
날짜		15/06/23 ~24		15/08/20 ~21		15/09/15 ~16		15/10/22 ~23		15/12/17 ~18		16/01/20		16/02/25 ~26		16/03/23 ~24		16/04/18 ~19			
시험 내용		• 온 도 범 위 4시간대		• 온 도 범 위 4시간대		• 기 준 중 량 측정소보완		• 철 근 규 격 분동완성		• 온 도 범 위 4시간대		• 이 상 주 행 위주		• 성능평가시 험(안)의거		• 성능평가시 험(안)의거		• 감 속 시 험 위주			
		• 시 험 시 간 절차파악		• 우 천 주 행 포함		• 데이터로깅 장치이용		• 속 도 범 위 10~90km/h		• 동하중측정		• 좌/우선풀림 차선당3회		• 양차로주행 (기상청온도 참조)				• 약 감 속 / 중 감 속 / 급 감 속3분류			
						• 온 도 범 위 4시간대(기 상청온도참 조)															
차량 설정	1단위	5축/콘크리트분동				4축/공차		만차/철규격분동													
	2단위	5축/공차				만차/콘크리트분동															
온도 범위 (℃)	상한	36.2		34.2		27.4		-		3.3		-		5.2		17.7		-			
	하강	25.0		25.5		18.4				-0.7				-0.5		12.0					
	하한	18.0		22.7		10.7				-9.3				-8.7		-0.5					
	상승	29.2		28.9		19.9				-6.3				2.7		8.0					
전체 주행 횟수	정상주행	136		160		160		144		160		36		160		80				1,036	4,810
	이상주행	35		45		30		20		-		60		20		76		48		334	1,570
	총합계	171		205		190		164		160		96		180		156		48		1,370	6,380

[표 3.16] 모의시험 정상주행 실시내역

시험차수			1차	2차	3차	4차	5차	6차	7차	8차	9차	총 주행 합계	측수 주행 합계
1단위 차량 4축 카고	정상 주행	10km/h	-	-	-	6	-	-	-	-	-	6 회	24 회
		20km/h	8	8	8	6	8	-	-	-	-	38 회	168 회
		30km/h	-	-	-	6	-	-	-	-	-	6 회	24 회
		40km/h	20	24	24	12	24	18	-	-	-	122 회	532 회
		50km/h	-	-	-	6	-	-	16	8	-	30 회	120 회
		60km/h	20	24	24	12	24	-	16	8	-	128 회	556 회
		70km/h	-	-	-	6	-	-	16	8	-	30 회	120 회
		80km/h	20	24	24	12	24	-	16	8	-	128 회	556 회
		90km/h	-	-	-	6	-	-	16	8	-	30 회	120 회
		합계	68	80	80	72	80	18	80	40	-	518 회	2220 회
2단위 차량 5축 트레일러	정상주행	10km/h	-	-	-	6	-	-	-	-	-	6 회	30 회
		20km/h	8	8	8	6	8	-	-	-	-	38 회	190 회
		30km/h	-	-	-	6	-	-	-	-	-	6 회	30 회
		40km/h	20	24	24	12	24	18	-	-	-	122 회	610 회
		50km/h	-	-	-	6	-	-	16	8	-	30 회	150 회
		60km/h	20	24	24	12	24	-	16	8	-	128 회	640 회
		70km/h	-	-	-	6	-	-	16	8	-	30 회	150 회
		80km/h	20	24	24	12	24	-	16	8	-	128 회	640 회
		90km/h	-	-	-	6	-	-	16	8	-	30 회	150 회
		합계	68	80	80	72	80	18	80	40	-	518 회	2590 회

[표 3.17] 모의시험 이상주행 실시내역

시험차수			1차	2차	3차	4차	5차	6차	7차	8차	9차	총 주행 합계	측수 주행 합계
1단위 차량 4축 카고	이상주행 피에조쿼츠	양차로	2	2	2	-	-	5	5	3	-	19 회	80 회
		측대이탈	-	-	2	-	-	5	-	3	-	10 회	40 회
		길어깨이탈	2	2	2	-	-	5	-	3	-	14 회	60 회
		감속	2	6	-	5	-	-	-	5	-	18 회	80 회
		가속	2	2	-	-	-	-	-	5	-	9 회	40 회
	이상주행 벤딩플레이트	양차로	2	2	2	-	-	5	5	3	-	19 회	80 회
		측대이탈	1	-	2	-	-	5	-	3	-	11 회	45 회
		길어깨이탈	2	2	2	-	-	5	-	3	-	14 회	60 회
		감속	4	2	-	5	-	-	-	5	-	16 회	70 회
		가속	-	4	-	-	-	-	-	5	-	9 회	40 회
2단위 차량 5축 트레일러	이상주행 피에조쿼츠	양차로	2	2	2	-	-	5	5	3	-	19 회	95 회
		측대이탈	-	2	2	-	-	5	-	3	-	12 회	60 회
		길어깨이탈	2	-	2	-	-	5	-	3	-	12 회	60 회
		감속	2	4	-	5	-	-	-	5	-	16 회	80 회
		가속	2	4	-	-	-	-	-	5	-	11 회	55 회
		6축	-	-	3	-	-	-	-	-	-	3 회	15 회
	이상주행 벤딩플레이트	양차로	2	2	2	-	-	5	5	3	-	19 회	95 회
		측대이탈	1	2	2	-	-	5	-	3	-	13 회	65 회
		길어깨이탈	2	-	2	-	-	5	-	3	-	12 회	60 회
		감속	4	3	-	5	-	-	-	5	24	41 회	205 회
		가속	1	4	-	-	-	-	-	5	-	10 회	50 회
		6축	-	-	3	-	-	-	-	-	-	3 회	15 회
2단위 차량 4축 트레일러	4축/8톤/ 철제분동	감속	-	-	-	-	-	-	-	-	12	12 회	8 회
2단위 차량 6축 트레일러	6축/만차/ 철제분동	감속	-	-	-	-	-	-	-	-	12	12 회	72 회
합계			35회	45회	30회	20회	0회	60회	20회	76회	48회	334회	1,530회

(2) 시험 결과

- 여주시험도로에 설치한 고속 무인 과적단속 시스템의 피에조쿼츠 타입 1식과 벤딩플레이트 타입 1식에 대한 모의시험을 진행한 결과는 아래와 같음
- 시험 결과 분석 항목은 아래와 같음

[표 3.18] 시험 결과 분석 항목

분석 항목	단위	내용
100-PE	%	허용 오차 범위 내 중량정확도, $PE(\%) = \frac{E}{Y} \times 100$, (Y=평가 차량의 총 시험횟수, E=총 시험횟수 중 평가대상 장비가 총중량 및 축하중을 오측정[허용 오차범위($\pm 10\%$)초과] 또는 미측정(미검지)한 시험횟수)
주행	회	총 시험 주행 횟수
초과	회	허용오차범위(총중량 $\pm 5\%$, 축하중 $\pm 10\%$)를 초과한 시험 주행 횟수
RMSE	%	평균제곱근오차, Root mean square error
MAE	%	절대값평균오차, mean absolute error
Max	%	오차의 최대값, maximum value
Min	%	오차의 최소값, minimum value
Stdv	%	오차의 표준편차, standard deviation

(가) 피에조쿼츠 시스템

① 결과 요약

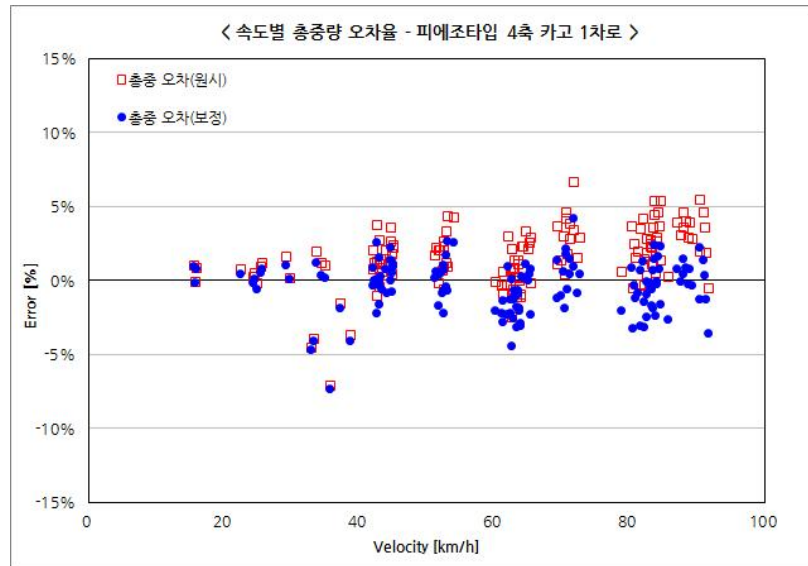
[표 3.19] 피에조쿼츠 시스템 모의시험 보정 전후 결과 비교 - 1단위 차량

정상주행		4축 카고 (보정 전)		4축 카고(보정 후)	
		1차로	2차로	1차로	2차로
총중량	100-PE [%]	96.5	96.6	99.3	100.0
	주행 [회]	144	145	144	145
	초과 [회]	5	5	1	0
	RMSE [%]	2.55	2.66	1.75	1.73
	MAE [%]	2.06%	2.16%	1.32	1.31
	Max [%]	6.70	7.26	4.17	3.79
	Min [%]	-7.07	-3.02	-7.34	-5.00
	Stdv [%]	1.99	1.91	1.71	1.73
축하중	100-PE [%]	99.8	100.0	99.8	100.0
	주행 [회]	432	435	432	435
	초과 [회]	1	0	1	0
	RMSE [%]	2.82	2.90	2.49	2.45
	MAE [%]	2.30%	2.36%	1.93	1.92
	Max [%]	7.73	8.47	5.99	6.85
	Min [%]	-10.91	-4.62	-11.17	-7.89
	Stdv [%]	2.51	2.47	2.39	2.42

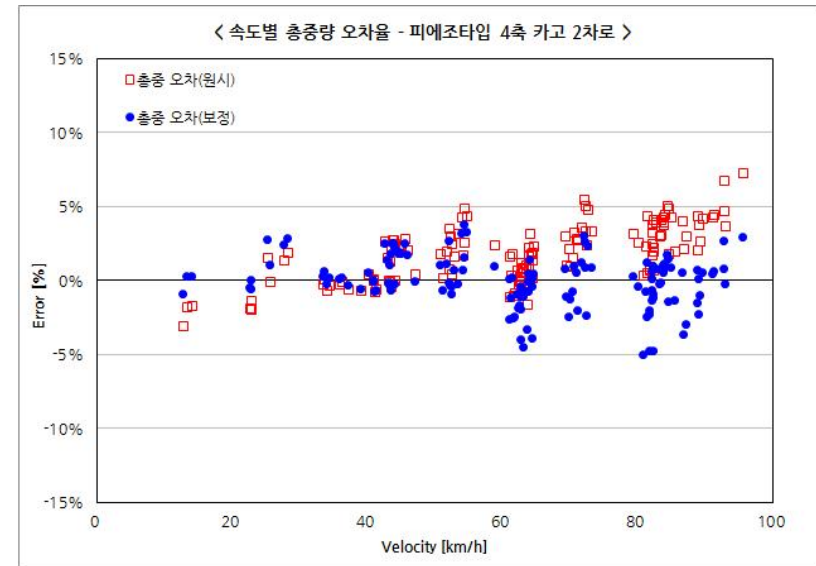
[표 3.20] 피에조쿼츠 시스템 모의시험 보정 전후 결과 비교 - 2단위 차량

정상주행		5축 트레일러 (보정 전)		5축 트레일러 (보정 후)	
		1차로	2차로	1차로	2차로
총중량	100-PE [%]	97.9	95.1	98.6	96.5
	주행 [회]	145	144	145	144
	초과 [회]	3	7	2	5
	RMSE [%]	1.86	2.08	1.85	2.16
	MAE [%]	1.41%	1.58%	1.43	1.70
	Max [%]	7.06	7.31	6.09	5.48
	Min [%]	-3.93	-2.82	-5.00	-5.78
	Stdv [%]	1.86	1.83	1.74	2.09
축하중	100-PE [%]	96.6	99.1	98.4	99.1
	주행 [회]	435	432	435	432
	초과 [회]	15	4	7	4
	RMSE [%]	4.06	3.70	4.07	4.17
	MAE [%]	3.10%	2.97%	3.22	3.45
	Max [%]	13.2	12.3	12.3	11.3
	Min [%]	-10.5	-8.7	-11.5	-10.4
	Stdv [%]	4.05	3.67	4.00	3.98

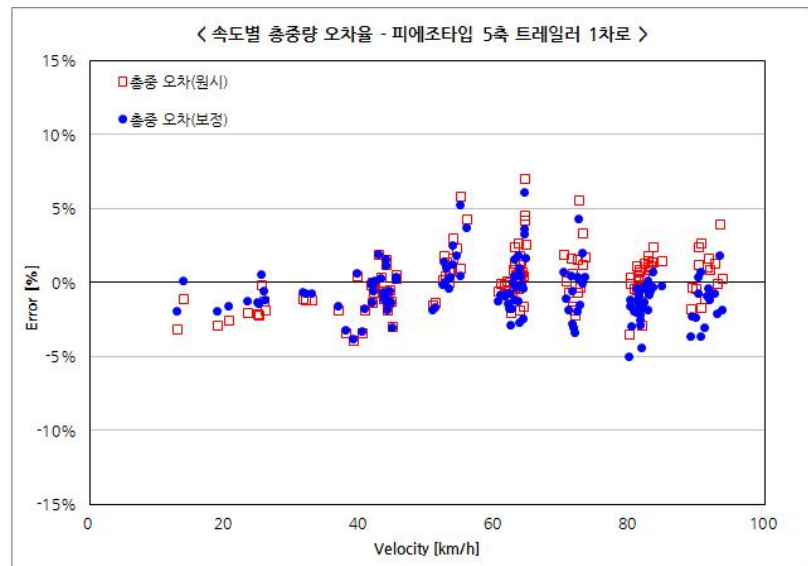
② 총중량 오차율 그래프



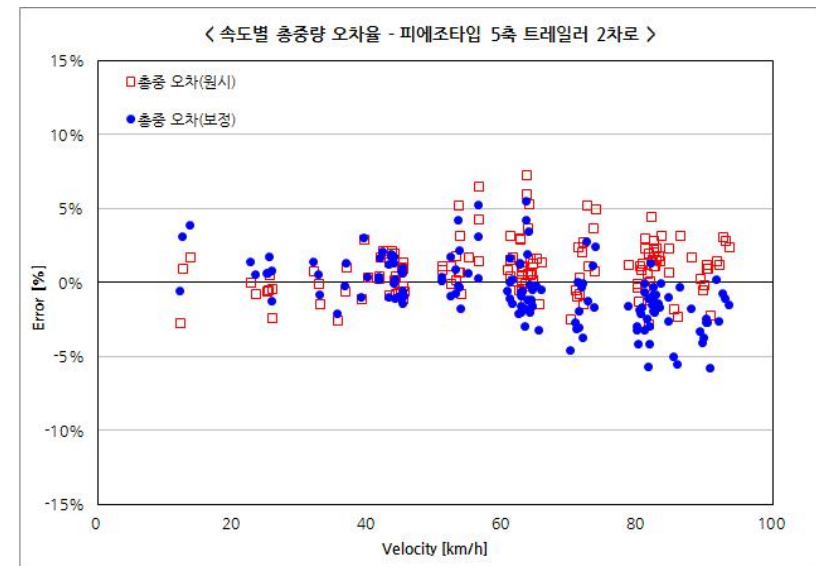
[그림 3.23] 피에조타입 1차로 1단위 차량 총중량 오차율



[그림 3.24] 피에조타입 2차로 1단위 차량 총중량 오차율

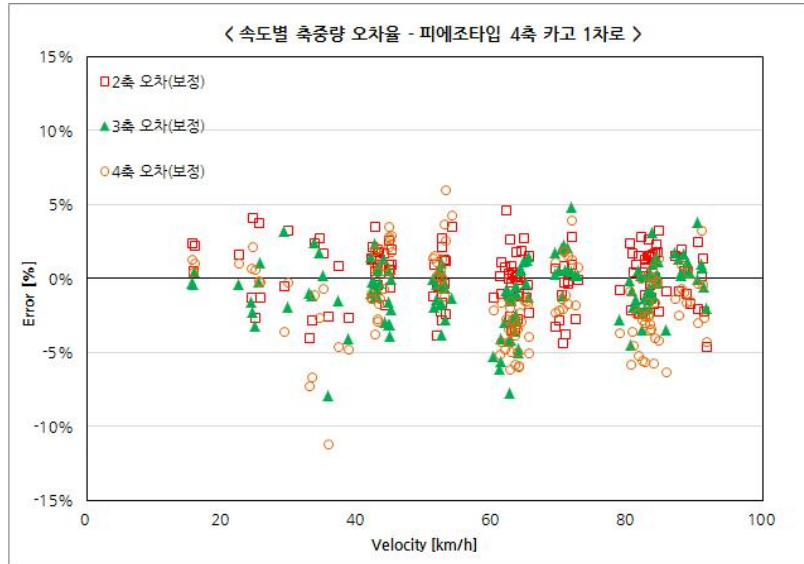


[그림 3.25] 피에조타입 1차로 2단위 차량 총중량 오차율

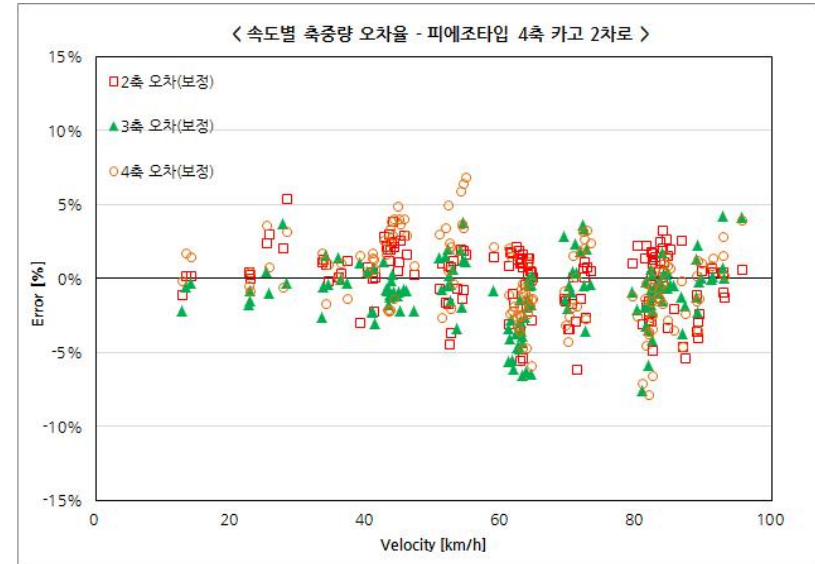


[그림 3.26] 피에조타입 2차로 2단위 차량 총중량 오차율

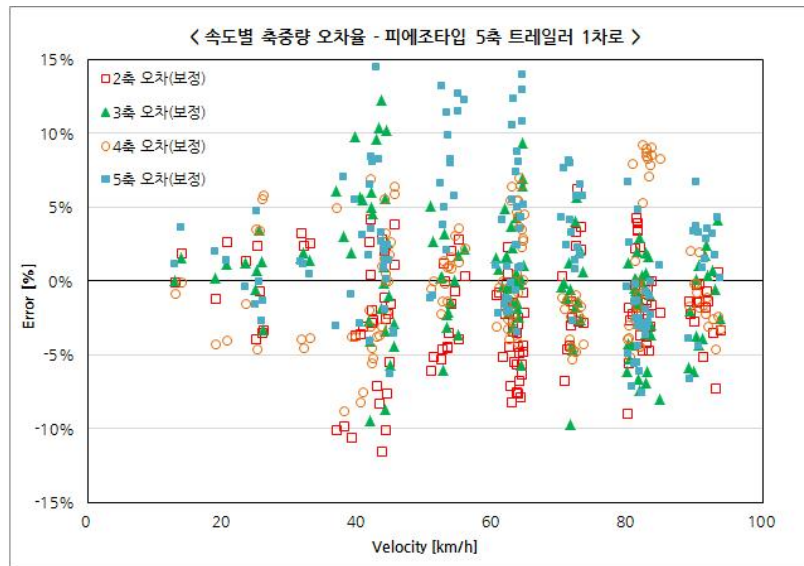
③ 축하중 오차율 그래프



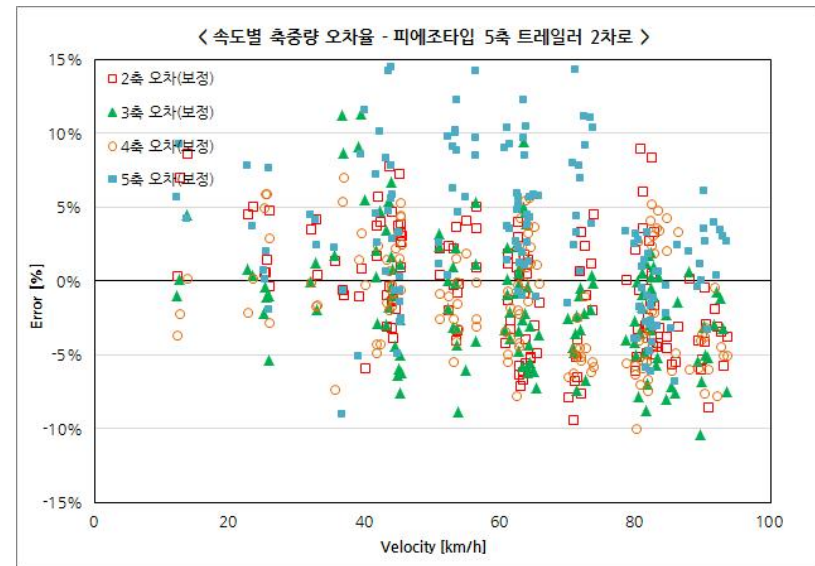
[그림 3.27] 피에조타입 1차로 1단위 차량 축하중 오차율



[그림 3.28] 피에조타입 2차로 1단위 차량 축하중 오차율



[그림 3.29] 피에조타입 1차로 2단위 차량 축하중 오차율



[그림 3.30] 피에조타입 2차로 2단위 차량 축하중 오차율

② 벤딩플레이트 시스템

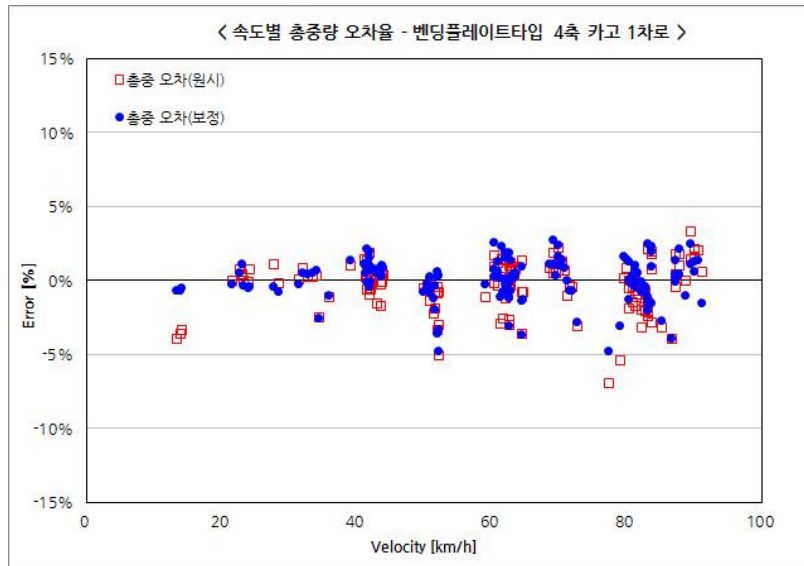
[표 3.21] 벤딩플레이트 시스템 모의시험 보정 전후 결과 비교 - 1단위 차량

정상주행		4축 카고 (보정 전)		4축 카고 (보정 후)	
		1차로	2차로	1차로	2차로
총중량	100-PE [%]	98.6	97.2	100.0	99.3
	주행 [회]	143	145	143	145
	초과 [회]	2	4	0	1
	RMSE [%]	1.72	2.15	1.45	1.44
	MAE [%]	1.28	1.68	1.11	1.04
	Max [%]	3.35	3.97	2.79	4.44
	Min [%]	-6.92	-8.70	-4.80	-7.31
	Stdv [%]	1.70	1.86	1.45	1.44
축하중	100-PE [%]	98.8	99.3	100.0	100.0
	주행 [회]	429	435	429	435
	초과 [회]	5	3	0	0
	RMSE [%]	3.51	3.65	2.94	2.89
	MAE [%]	2.78	2.90	2.40	2.34
	Max [%]	5.68	6.72	7.40	6.23
	Min [%]	-12.78	-13.21	-8.15	-9.82
	Stdv [%]	3.43	3.25	2.92	2.82

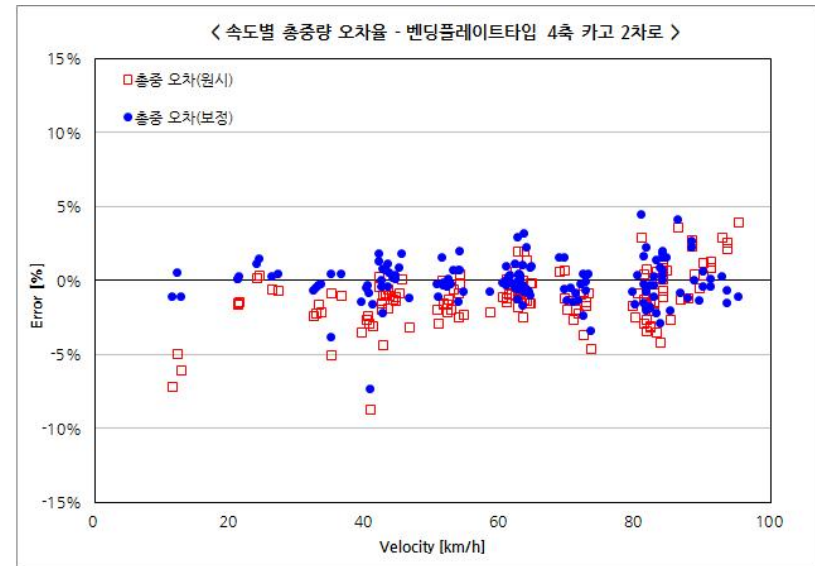
[표 3.22] 벤딩플레이트 시스템 모의시험 보정 전후 결과 비교 - 2단위 차량

정상주행		5축 트레일러 (보정 전)		5축 트레일러 (보정 후)	
		1차로	2차로	1차로	2차로
총중량	100-PE [%]	93.1	95.8	97.9	97.2
	주행 [회]	145	144	145	144
	초과 [회]	10	6	3	4
	RMSE [%]	2.61	2.65	2.08	2.25
	MAE [%]	2.05	2.12	1.58	1.74
	Max [%]	5.23	6.24	4.09	5.07
	Min [%]	-7.25	-8.56	-7.33	-8.98
	Stdv [%]	2.59	2.66	2.09	2.25
축하중	100-PE [%]	96.6	96.1	98.9	97.0
	주행 [회]	435	432	435	432
	초과 [회]	15	17	5	13
	RMSE [%]	5.08	4.93	4.14	4.53
	MAE [%]	4.30	3.99	3.32	3.48
	Max [%]	12.3	13.2	9.9	10.2
	Min [%]	-13.9	-11.5	-16.2	-12.3
	Stdv [%]	5.01	4.93	4.12	4.53

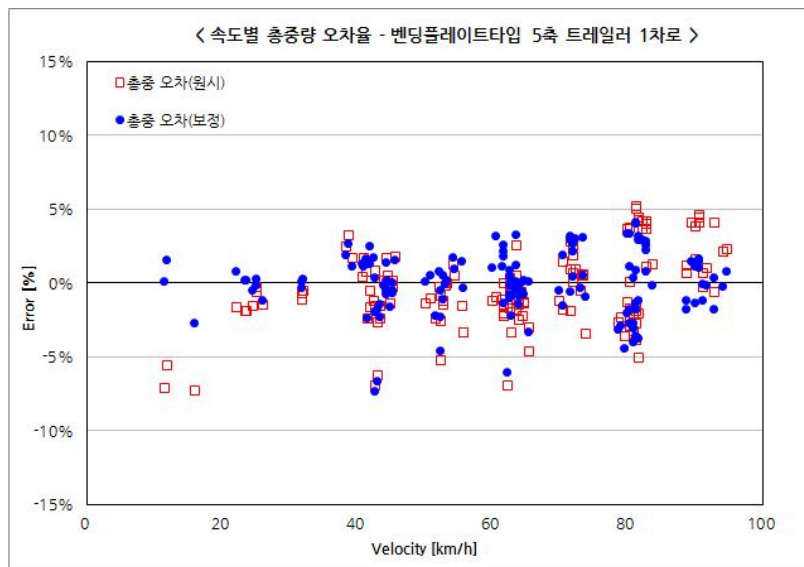
② 총중량 오차율 그래프



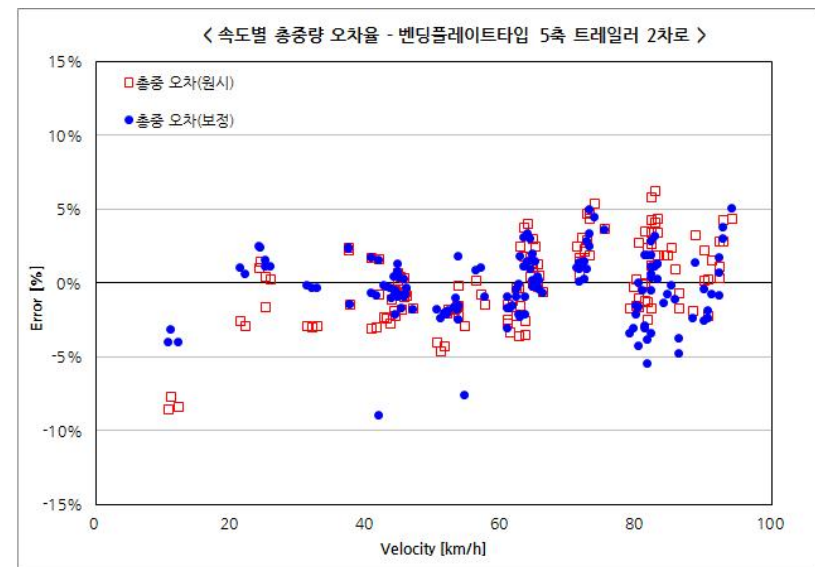
[그림 3.31] 벤딩플레이트타입 1차로 1단위 차량 총중량 오차율



[그림 3.32] 벤딩플레이트타입 2차로 1단위 차량 총중량 오차율

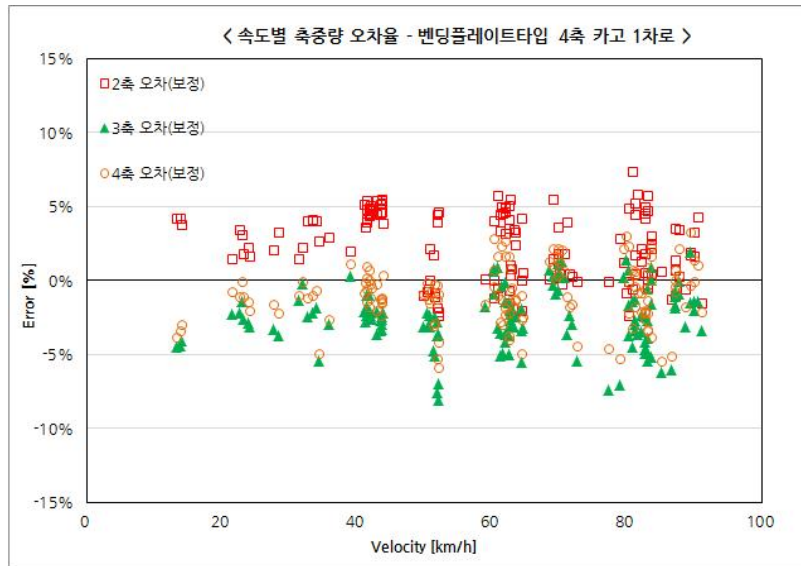


[그림 3.33] 벤딩플레이트타입 1차로 2단위 차량 총중량 오차율

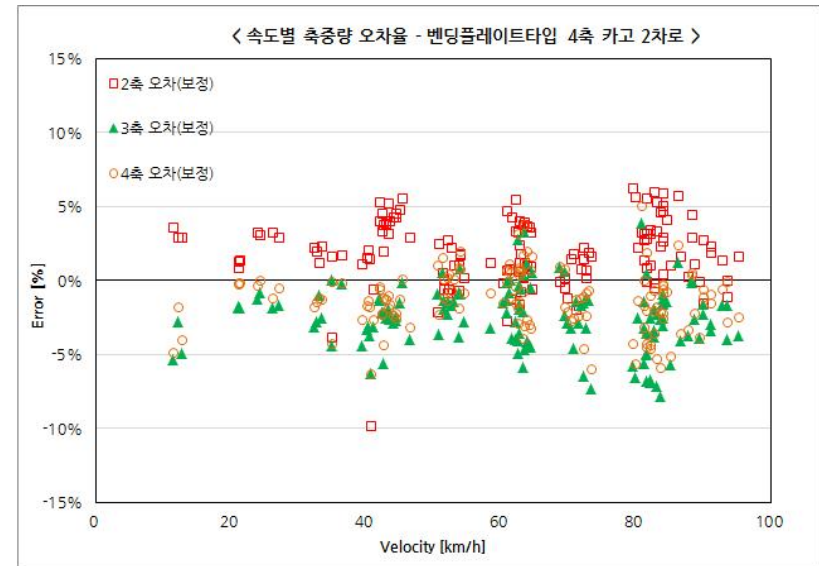


[그림 3.34] 벤딩플레이트타입 2차로 2단위 차량 총중량 오차율

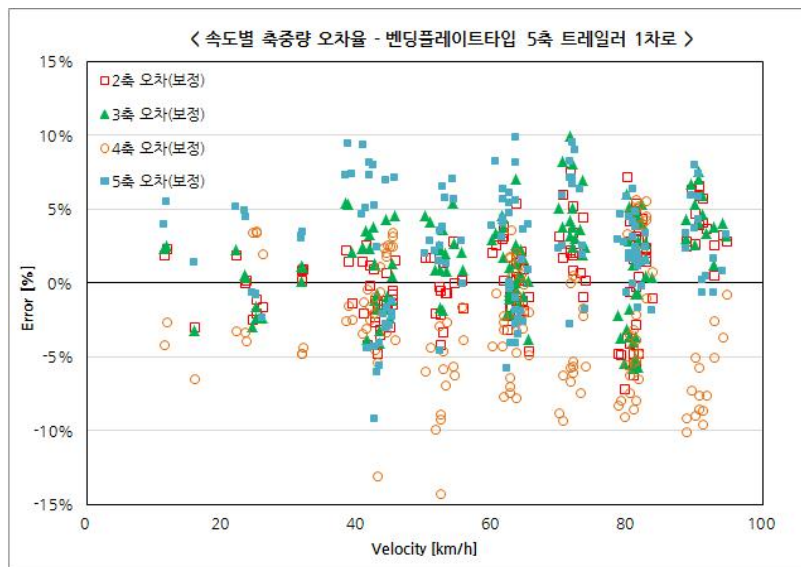
③ 축하중 오차율 그래프



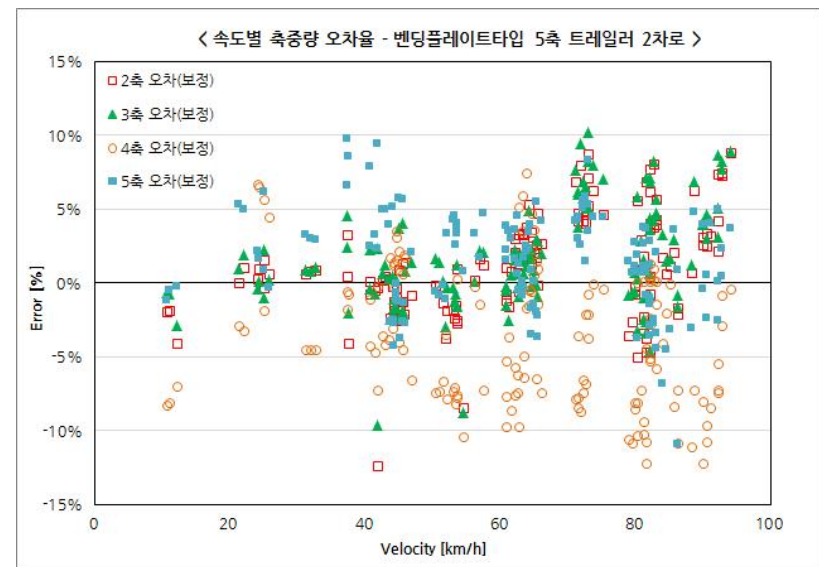
[그림 3.35] 벤딩플레이트타입 1차로 1단위 차량 축하중 오차율



[그림 3.36] 벤딩플레이트타입 2차로 1단위 차량 축하중 오차율



[그림 3.37] 벤딩플레이트타입 1차로 2단위 차량 축하중 오차율



[그림 3.38] 벤딩플레이트타입 2차로 2단위 차량 축하중 오차율

(3) 영향 인자 분석

- 모든 모의시험 결과를 포장체의 평탄성, 노면온도, 차량종류, 축구조, 주행속도, 주행패턴, 가감속에 대하여 중량 정확도를 비교하여 영향인자 분석을 수행
- 중량 정확도는 각 인자의 영향을 확인 할 수 있도록 보정 전 원시 데이터의 평균제곱근오차, RMSE(Root Mean Square Error)나 허용 오차범위내 중량정확도를 이용하여 분석함
- 평균제곱근오차는 예측한 값과 실제 환경에서 관찰되는 값의 차이를 다룰 때 흔히 사용하는 척도로 고속 무인 과적단속 시스템의 중량 정확도를 분석하는데 적합할 것으로 사료됨

① 포장체 평탄성

- 포장체의 평탄성에 의한 영향인자를 분석하기 위하여 모의시험 결과에서 1차로와 2차로의 원시 데이터 중량 정확도를 각각 비교함
- 피에조타입의 경우, 표 3.23과 같이 총중량 RMSE는 1차로가 2차로에 비해 1단위 차량은 0.11%, 2단위 차량은 0.16% 더 높은 수치를 보임
- 벤딩플레이트타입의 경우, 표 3.23과 같이 총중량 RMSE는 1차로가 2차로에 비해 1단위 차량은 0.43%, 2단위 차량은 0.04% 더 높은 수치를 보임
- 피에조/벤딩플레이트타입 모두 총중량 정확도는 모두 1차로가 2차로에 비해 높게 나타남
- 이는 건설 당시의 노면 자체의 평탄도와 시공에서 발생하는 평탄도의 문제로 사료됨

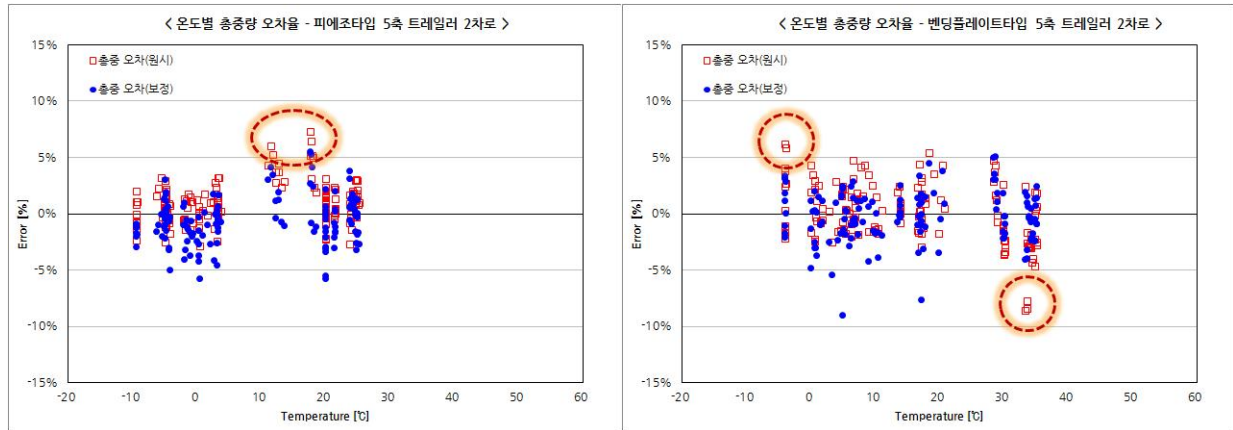
[표 3.23] 차로별 원시데이터 총중량 정확도 분석결과

정상주행		1차로(보정전)		2차로(보정전)	
		1단위	2단위	1단위	2단위
피에조타입	총중량 RMSE [%]	2.55	1.86	2.66	2.08
	축하중 RMSE [%]	2.82	4.06	2.90	3.70
벤딩플레이트타입	총중량 RMSE [%]	1.72	2.61	2.15	2.65
	축하중 RMSE [%]	3.51	5.08	3.65	4.93

② 노면온도

- 노면 온도에 의한 영향 인자를 분석하기 위하여 모의 주행 시험 시 온도범위가 최하/상승/최상/하강 4가지 시간대로 구성하여 주행 시험을 진행
- 모의시험 결과에서 수집된 원시 데이터 중 온도 데이터를 토대로 총중량 정확도를 각각 비교함
- 중량 정확도에 영향을 주는 인자들은 여러 가지 요소로 분류되어 다른 영향 인자를 모두 소거하고 노면 온도에 의한 영향만을 추출해 내는 것은 어려웠으며, 가장 온도에 의한 영향이 나타나는 2차로 2단위 트레일러의 총중량 오차율 그래프를 통해 온도에 의한 영향을 분석함
- 피에조타입의 경우, 그림 3.39와 같이 일정 온도 대역(10~20℃)에서 오차가 벌어지는 것을 확인하였으며, 이는 시스템에서 보정을 통해 그 영향을 소거하였음을 확인

- 벤딩플레이트타입의 경우, 그림 3.39와 같이 저온 온도 대역(-4℃)에서는 중량이 고평가, 고온 온도 대역(35℃)에서는 중량이 저평가 되는 것을 확인하였으며, 이는 시스템에서 보정을 통해 그 영향을 소거하였음을 확인
- 이는 상하부 온도차에 의해 발생하는 포장체의 온도 거동과 센서의 재질에서 발생하는 열 변형율의 특성에서 비롯되는 것으로 사료됨



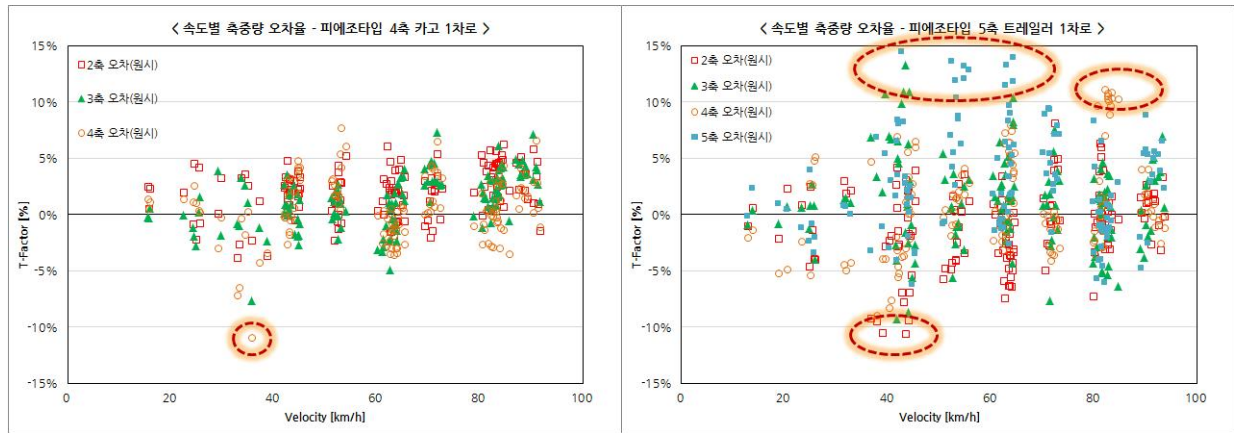
[그림 3.39] 노면 온도별 총중량 오차율

③ 차량종류

- 차량 종류에 의한 영향인자를 분석하기 위하여 모의시험 결과에서 1단위 차량과 2단위 차량의 원시 데이터 중량 정확도를 각각 비교함
- 차량 종류에 의한 영향이 가장 크게 나타나는 1차로 1/2단위 차량에 대한 축하중 오차율 그래프를 통해 분석을 수행함
- 피에조타입의 경우, 표 3.24와 같이 1단위 차량의 허용 오차범위내 중량정확도를 초과한 횟수가 1회인데 반해, 2단위 차량은 15회로 정확도가 낮게 나타남.
- 벤딩플레이트타입의 경우, 표 3.24와 같이 1단위 차량의 허용 오차범위내 중량정확도를 초과한 횟수가 5회인데 반해, 2단위 차량은 15회로 정확도가 낮게 나타남.
- 피에조/벤딩플레이트타입 모두 축하중 중량 정확도에서 2단위 차량이 1단위 차량에 비해 중량 정확도가 낮게 나타나는 것을 확인, 이는 2단위 차량의 구조 및 축구조의 특성에 의한 것으로 사료됨.

[표 3.24] 차량별 원시데이터 총중량 정확도 분석결과

정상주행		1차로(보정전)	
		1단위	2단위
피에조타입	축하중 100-PE [%]	99.8	96.6
	주행 [회]	432	435
	초과 [회]	1	15
벤딩플레이트타입	축하중 100-PE [%]	98.8	96.6
	주행 [회]	429	435
	초과 [회]	5	15



[그림 3.40] 피에조타입 차량별 축하중 오차율(좌: 1단위, 우: 2단위)

④ 축구조

- 축구조에 의한 영향인자를 분석하기 위하여 모의시험 결과에서 조합에 속하지 않은 단일 축과 조합내 개별축의 원시 데이터 중량 정확도를 각각 비교함
- 피에조타입의 경우, 표 3.25와 같이 총하중 RMSE는 단일축이 조합내 개별축에 비해 1차로는 0.83%, 2차로는 1.32% 더 높은 수치를 보임
- 벤딩플레이트타입의 경우, 표 3.25와 같이 총하중 RMSE는 단일축이 조합내 개별축에 비해 1차로는 2.48%, 2차로는 3.24% 더 높은 수치를 보임
- 따라서 피에조/벤딩플레이트타입 모두 축하중 중량 정확도에서는 단일축이 조합축에 비해 중량 정확도가 높음을 확인하였고, 이는 차량의 조합축의 축구조 특성에 의한 것으로 사료됨

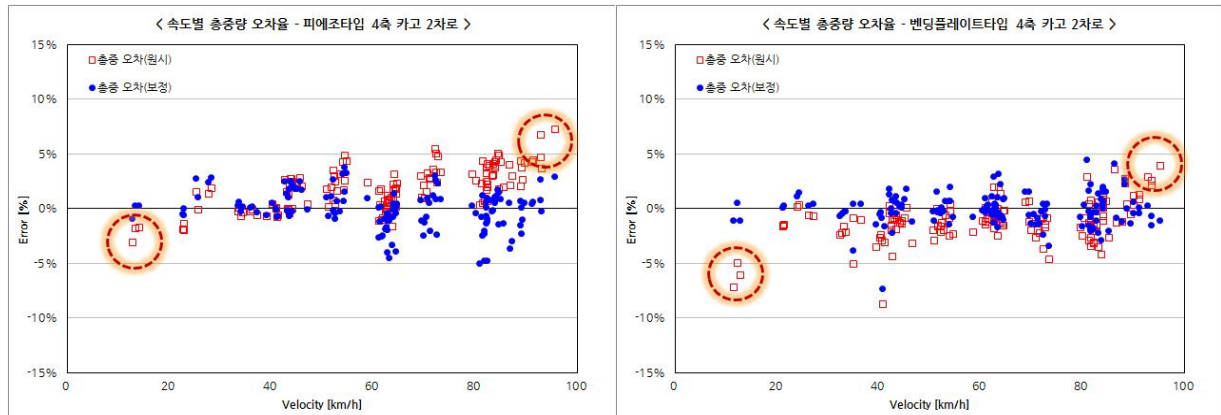
[표 3.25] 축구조별 원시데이터 총중량 정확도 분석결과

정상주행		4축 카고 (보정전)	
		1차로	2차로
피에조타입	축하중 전체 RMSE [%]	2.82	2.90
	단일축 RMSE [%]	3.01	2.83
	조합내 개별축 RMSE [%]	3.84	4.15
벤딩플레이트타입	축하중 전체 RMSE [%]	3.51	3.65
	단일축 RMSE [%]	2.87	2.54
	조합내 개별축 RMSE [%]	5.35	5.78

⑤ 주행속도

- 주행속도에 의한 영향 인자를 분석하기 위하여 주행 시험 시 10~90km/h의 주행속도범위를 구성하여 주행 시험을 진행
- 모의시험 결과에서 수집된 원시 데이터 중 속도 데이터를 토대로 총중량 정확도를 각각 비교함
- 주행속도에 의한 영향이 가장 크게 나타나는 2차로 1단위 차량의 총중량 오차율 그래프를 통해 속도에 의한 영향을 분석

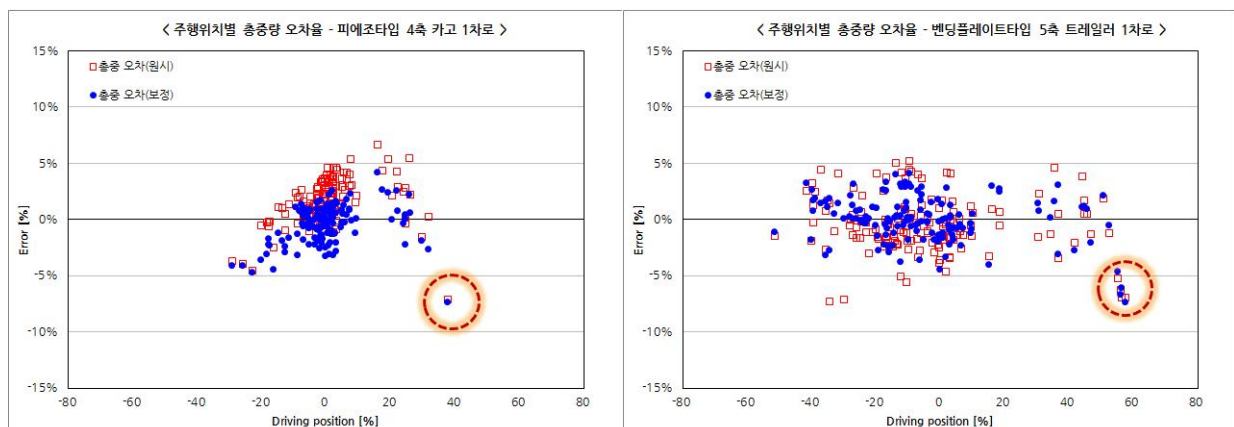
- 피에조 타입과 벤딩플레이트 타입 모두 그림 3.41과 같이 저속 주행 대역(10km/h)에서는 중량이 저평가, 고속 주행 대역(90km/h)에서는 중량이 고평가 되는 것을 확인하였으며, 이는 시스템에서 보정을 통해 그 영향을 소거하였음을 확인



[그림 3.41] 주행 속도별 총중량 오차율(좌: 피에조타입, 우: 벤딩플레이트타입)

⑥ 주행패턴

- 주행패턴에 의한 영향 인자를 분석하기 위하여 주행 시험 시 중앙주행/좌치우침/우치우침 주행패턴을 구성하여 주행 시험을 진행함.
- 모의시험 결과에서 수집된 원시 데이터 중 주행위치 데이터를 토대로 총중량 정확도를 각각 비교함
- 피에조타입과 벤딩플레이트타입의 센서 크기가 달라 주행위치 데이터를 절대값으로 상호 비교하는 것이 어려움, 따라서 차량이 정중앙으로 주행하는 경우를 0% 좌로 치우쳐 주행할수록 음수, 우로 치우칠수록 양수로 판별하여 그래프를 작성하였으며 치우치는 정도는 각 시스템의 특성에 따라 스케일이 다르게 나타남
- 주행패턴에 의한 영향이 가장 크게 나타나는 피에조타입의 1차로 1단위 차량과 벤딩플레이트 타입의 1차로 2단위 차량을 비교함
- 피에조 타입과 벤딩플레이트 타입 모두 중앙주행 및 좌/우치우침 주행에서는 중량이 정상 평가되는 것을 확인하였으며, 치우침 주행 도중 발생한 몇 개 샘플의 이탈 주행(피에조타입: $\pm 40\%$ 초과, 벤딩플레이트타입: $\pm 50\%$ 초과)에서는 중량이 저평가 되는 것을 확인



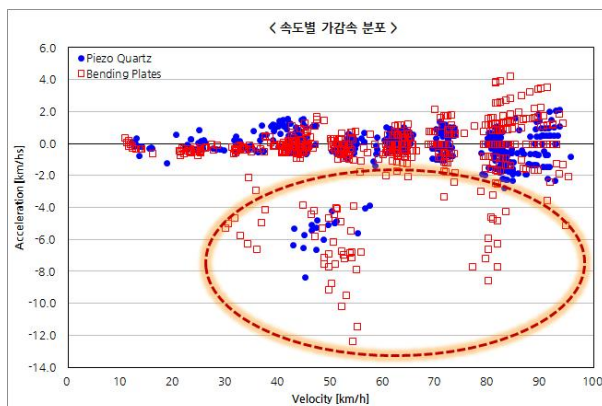
[그림 3.42] 주행 패턴별 총중량 오차율(좌: 피에조타입, 우: 벤딩플레이트타입)

⑦ 가·감속 주행

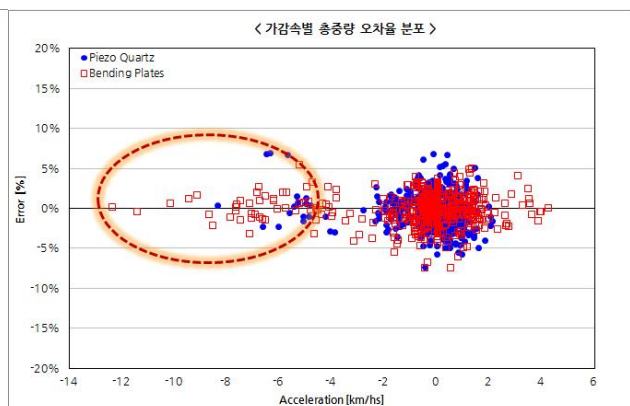
- 가·감속에 의한 영향 인자를 분석하기 위하여 주행 시험 시 가속/감속 범위를 구성하여 주행 시험을 진행함.
- 가·감속 주행시험은 평가 차량으로 사용된 2종의 화물차량이 만차 상태에서 안전상에 문제가 되지 않고 구현 가능한 가속 및 감속 주행을 수행함
- 전체 주行的 속도 10~95km/h 구간 내 가·감속 범위는 피에조타입의 경우 초당 -8.4~2.1km/h, 벤딩플레이트타입의 경우 초당 -12.4~4.2km/h의 가·감속이 이루어짐
- 가·감속 모의시험 결과, 총중량 정확도는 일반 주행과 차이가 나타나지 않으나 축하중에 과소 혹은 과대 평가되는 경우가 나타남
- 가·감속 모의시험 결과, 축하중 정확도는 2단위 5축 트레일러 차량의 초당 -6km/h 이하의 감속주행에서 주로 발생되었으며, 1축하중은 과대평가, 4축과 5축은 과소평가되는 경향이 나타남
- 벤딩플레이트 타입 시스템은 4축은 평균 -7.9%(최소 -11.1%), 5축은 평균 -2.9%(최소 -6.6%), 피에조쿼츠 타입은 4축은 평균 -9.1%(최소 -14.4%), 5축은 평균 10.0%(최대 19.3%)의 축하중 오차가 나타남

[표 3.26] 모의시험 시 가·감속 주행 결과

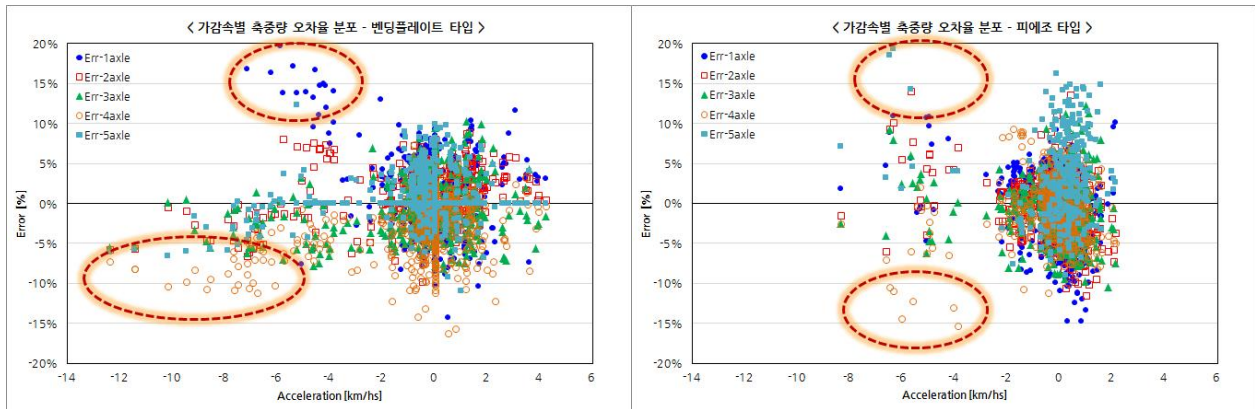
		벤딩플레이트 타입	피에조쿼츠 타입
전체주행 샘플수		638회	619회
일반주행 샘플수		575회	578회
가속주행 샘플수		10회	13회
감속주행 샘플수		53회	28회
속도	최대치	95.2km/h	95.6km/h
	최소치	10.6km/h	12.2km/h
가·감속	최대치	초당 4.2km/h	초당 2.1km/h
	최소치	초당 -12.4km/h	초당 -8.4km/h



[그림 3.43] 속도별 가·감속 주행 결과



[그림 3.44] 가·감속별 총중량 오차율



[그림 3.45] 가감속별 축하중 오차율(좌: 피에조타입, 우: 벤딩플레이트타입)

(4) 과적단속 환경에서의 화물차 주행 행태 분석

(가) 분석목적

- 모의시험장에서 수행한 현장시험의 평가 차량 주행 행태가 실제 공용도로에서 실현 가능한 형태의 주행 상태였는지를 확인
- 가혹한 조건의 급감속 시험의 실효성 및 적용 안전성 검토

(나) 분석방식

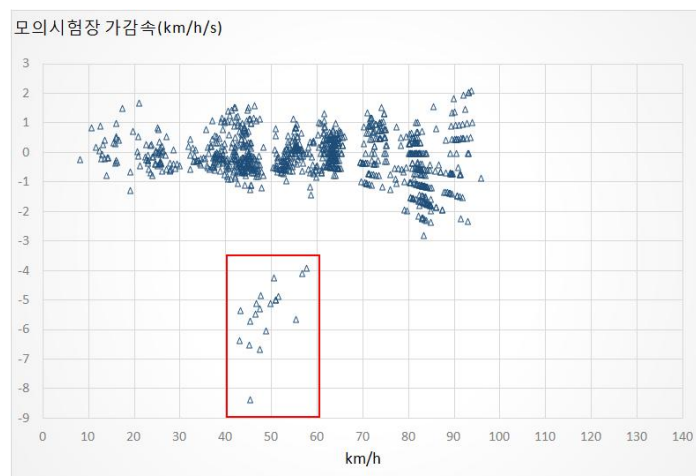
- 모의시험장에서 수행한 평가 차량의 속도대역 별 가감속 범위와 실제 공용도로에서 발생하는 화물차량의 가감속 범위 비교 검토
- 동일한 가감속 단위로 상대비교, 가감속 단위 : km/h/s(초당 시속 변화량)

(다) 실제 공용도로 환경

- 한국도로공사에서 시범 설치한 경부고속도로 김천 구간 및 중부내륙고속도로 선산구간
- 본 구간은 현재 이동단속반을 연계한 시범단속이 시행중인 구간으로 대상 구간을 주행하는 화물차량은 본 구간이 과적단속구간임을 인지하고 있음

(라) 모의시험 현장시험 가감속데이터

- 대상 : 모의시험장 중량검측시험(모든 변수 적용), 943대

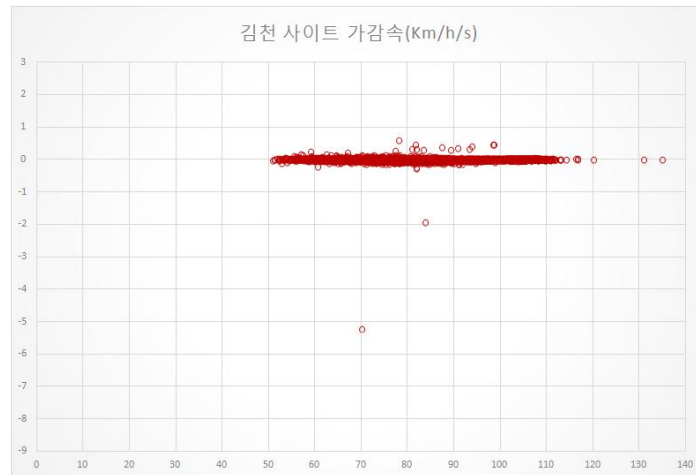


[그림 3.46] 모의시험시 평가 차량 가감속 분석 결과
(* 사각형 내 데이터 : 가속조건의 급감속 시험)

(마) 실제 공용 고속도로 가감속 데이터 1

○ 위치 : 경부고속도로 김천(상행)

○ 대상 : 유효하중(축하중 8톤 이상) 화물차량, 연속 5일(2016.04.04~08), 11,401대



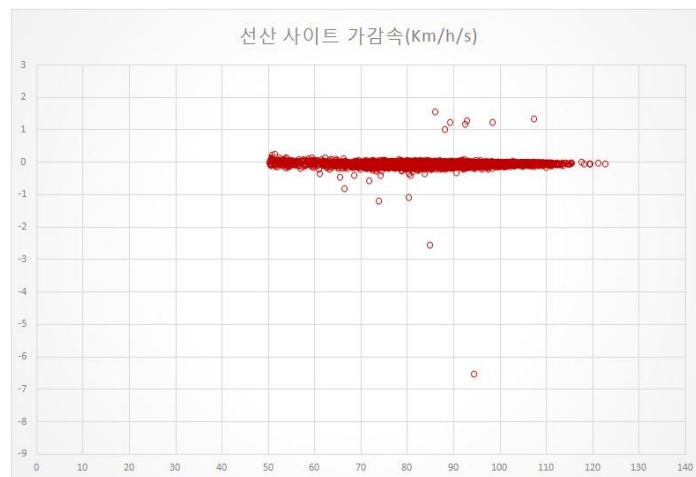
[그림 3.47] 경부고속도로 시범단속구간

화물차량 가감속 분석 결과

(바) 실제 공용 고속도로 가감속 데이터 2

○ 위치 : 중부내륙고속도로 선산(상행)

○ 대상 : 유효하중(축하중 8톤 이상) 화물차량, 연속 5일(2016.04.04~08), 15,856대



[그림 3.48] 중부내륙고속도로 시범단속구간

화물차량 가감속 분석 결과

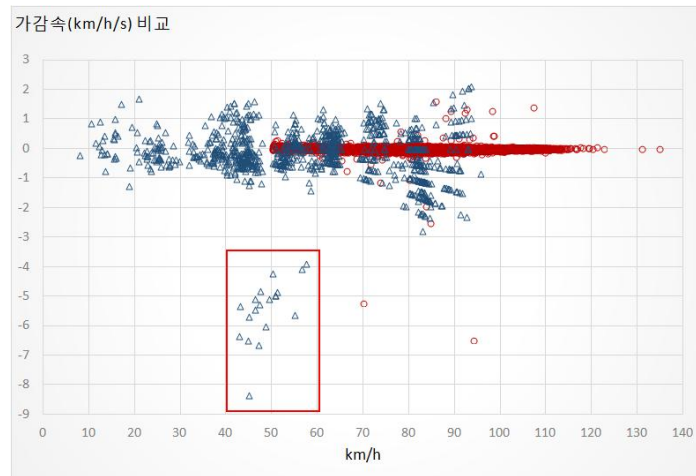
(사) 모의시험결과 및 실제 주행 행태 비교

○ 모의시험 가감속 주행 조건 : 약 2.1 ~ -2.8

○ 모의시험 급감속 주행 조건 : 약 -3.9 ~ -8.4

○ 실제 주행 시 발생한 가감속 범위 : 약 1.6 ~ -2.5(99.993%)

○ 급감속 발생 건수 : 27,257건 중 단 2건(0.007%)



[그림 3.49] 실제 공용도로와 모의시험 간의 가감속
주행행태 비교

(아) 비교 검토 결과

- 실제 단속이 시행되는 환경에서 일정 중량(적어도 하나 이상의 축하중이 8톤) 이상의 화물차량은 모의시험 시 적용한 가감속 범위를 벗어나는 수준의 가감속 현상은 거의 발생하지 않음
- 즉, 단속을 회피하고자 하는 목적으로 인위적인 급감속을 행하는 화물차량은 사실상 존재하지 않는 것으로 추정됨
- 중량이 무거운 화물차량의 경우 급감속 등의 이상 주행 행태는 교통흐름을 방해함은 물론, 교통안전상의 문제를 야기할 수 있는 위험성을 내포하고 있음
- 따라서, 본 연구에서 수행한 인위적인 급감속 시험을 성능평가 시험변수로 반영하는 것이 부적합함

(5) 모의시험에 대한 가상 평가 분석

- 본 연구과제에서 수행한 수차례의 모의시험결과 중 시스템의 교보정이 적정히 반영되고 각 회차별 샘플수가 평가하기에 적정수준 이상인 4, 5, 7, 8회에 대하여 가상으로 평가를 시행
- 평가방법은 유럽 등 세계 각국에서 보편적으로 활용하고 있는 COST-323 WIM 등급 판정방법과 본 연구에서 지향하는 국내 환경에서 과적단속을 위한 평가 기준으로 예상되는 도로법상 단속 시 허용오차 10% 기준(총중량의 경우 5%)을 적용한 평가 결과를 상호 비교

(가) 차로별 평가 결과

- 각 차로별로 수행된 시험에 대하여 유효한 하중에 대한 총중량 및 축하중의 평균, 표준편차, 절대값평균과 각 시험별로 나타난 결과에서의 최대 및 최소오차 분석
- 각 차로별로 수행된 시험에 대하여 유효한 하중에 대한 총중량 오차기준 5%와 축하중 오차기준 10%를 초과하는 회수와 총중량 $\pm 5\%$, 축하중 $\pm 10\%$ 이내를 벗어나는 절대값기준 초과 회수 분석

- o 각 차로별, 차수별 총중량, 단일축하중, 조합축하중, 조합내 개별축하중에 대한 COST-323 시험법을 이용한 평가 등급 분류

[표 3.27] 벤딩플레이트 형식 시스템의 1차로 구간 평가 결과

Lane1-4	총중량	축하중	COST-323 WIM	Class	δ (%)	π (%)	sample size
평균	0.68%	0.81%	gross weight	A(5)	5	99.9	71
표준편차	1.25%	3.52%	group of axles	A(5)	7	99.3	107
절대값평균	1.13%	3.05%	single axle	A(5)	8	97.4	106
최대	3.15%	9.50%	axle of group	A(5)	10	99.3	214
최소	-2.70%	-9.52%					
기준초과	0	0					
절대값기준초과	0	0					

Lane1-5	총중량	축하중	COST-323 WIM	Class	δ (%)	π (%)	sample size
평균	0.37%	0.18%	gross weight	A(5)	5	99.3	80
표준편차	1.62%	3.01%	group of axles	A(5)	7	99.2	120
절대값평균	1.21%	2.55%	single axle	B+(7)	11	97.9	120
최대	4.09%	7.40%	axle of group	A(5)	10	99.9	240
최소	-4.73%	-7.44%					
기준초과	0	0					
절대값기준초과	0	0					

Lane1-7	총중량	축하중	COST-323 WIM	Class	δ (%)	π (%)	sample size
평균	-0.43%	-0.47%	gross weight	A(5)	5	98.1	80
표준편차	1.86%	4.53%	group of axles	A(5)	7	95.0	120
절대값평균	1.49%	3.57%	single axle	A(5)	8	95.4	120
최대	3.29%	9.93%	axle of group	B+(7)	14	99.3	240
최소	-6.04%	-15.72%					
기준초과	0	0					
절대값기준초과	1	3					

Lane1-8	총중량	축하중	COST-323 WIM	Class	δ (%)	π (%)	sample size
평균	-0.73%	-0.86%	gross weight	A(5)	5	96.8	39
표준편차	1.85%	2.83%	group of axles	A(5)	7	97.7	59
절대값평균	1.52%	2.40%	single axle	A(5)	8	97.7	58
최대	3.12%	6.91%	axle of group	A(5)	10	99.7	118
최소	-4.80%	-8.15%					
기준초과	0	0					
절대값기준초과	0	0					

[표 3.28] 벤딩플레이트 형식 시스템의 2차로 구간 평가 결과

Lane2-4	총중량	축하중	COST-323 WIM	Class	δ (%)	π (%)	sample size
평균	-0.76%	-0.67%	gross weight	A(5)	5	99.7	71
표준편차	1.37%	3.58%	group of axles	A(5)	7	96.4	106
절대값평균	1.22%	2.91%	single axle	A(5)	8	97.2	107
최대	2.46%	7.75%	axle of group	A(5)	10	98.6	212
최소	-4.03%	-11.12%					
기준초과	0	0					
절대값기준초과	0	1					

Lane2-5	총중량	축하중	COST-323 WIM	Class	δ (%)	π (%)	sample size
평균	0.44%	0.27%	gross weight	A(5)	5	99.8	80
표준편차	1.40%	3.25%	group of axles	A(5)	7	98.2	120
절대값평균	1.13%	2.68%	single axle	B+(7)	11	96.7	120
최대	4.15%	8.27%	axle of group	A(5)	10	99.8	240
최소	-4.79%	-10.96%					
기준초과	0	0					
절대값기준초과	0	1					

Lane2-7	총중량	축하중	COST-323 WIM	Class	δ (%)	π (%)	sample size
평균	-0.66%	-0.76%	gross weight	A(5)	5	97.7	80
표준편차	1.87%	4.36%	group of axles	A(5)	7	95.0	120
절대값평균	1.48%	3.33%	single axle	B+(7)	11	98.6	120
최대	3.40%	9.43%	axle of group	A(5)	10	95.2	240
최소	-7.59%	-12.24%					
기준초과	0	0					
절대값기준초과	2	10					

Lane2-8	총중량	축하중	COST-323 WIM	Class	δ (%)	π (%)	sample size
평균	1.17%	1.02%	gross weight	A(5)	5	94.0	40
표준편차	1.95%	3.05%	group of axles	B+(7)	10	98.3	60
절대값평균	1.74%	2.37%	single axle	A(5)	8	99.9	60
최대	5.07%	10.22%	axle of group	A(5)	10	99.1	120
최소	-3.43%	-5.47%					
기준초과	1	1					
절대값기준초과	1	1					

[표 3.29] 피에조 형식 시스템의 1차로 구간 평가 결과

Lane1-4	총중량	축하중	COST-323 WIM	Class	δ (%)	π (%)	sample size
평균	-0.47%	0.12%	gross weight	A(5)	5	100.0	71
표준편차	0.98%	2.55%	group of axles	A(5)	7	100.0	107
절대값평균	0.90%	2.03%	single axle	B+(7)	11	96.3	106
최대	1.37%	8.43%	axle of group	A(5)	10	100.0	214
최소	-2.22%	-6.15%					
기준초과	0	0					
절대값기준초과	0	0					

Lane1-5	총중량	축하중	COST-323 WIM	Class	δ (%)	π (%)	sample size
평균	-0.16%	-0.09%	gross weight	A(5)	5	100.0	80
표준편차	1.21%	3.79%	group of axles	A(5)	7	99.0	120
절대값평균	0.99%	2.87%	single axle	B+(7)	11	97.7	120
최대	2.56%	12.26%	axle of group	A(5)	10	98.1	240
최소	-3.10%	-11.51%					
기준초과	0	1					
절대값기준초과	0	3					

Lane1-7	총중량	축하중	COST-323 WIM	Class	δ (%)	π (%)	sample size
평균	-1.18%	-1.18%	gross weight	A(5)	5	98.6	40
표준편차	1.46%	3.71%	group of axles	A(5)	7	96.8	60
절대값평균	1.54%	3.01%	single axle	A(5)	8	96.2	60
최대	1.59%	13.19%	axle of group	A(5)	10	97.4	120
최소	-3.66%	-9.74%					
기준초과	0	4					
절대값기준초과	0	4					

Lane1-8	총중량	축하중	COST-323 WIM	Class	δ (%)	π (%)	sample size
평균	0.72%	0.61%	gross weight	B+(7)	7	98.5	40
표준편차	2.37%	3.98%	group of axles	A(5)	7	94.1	60
절대값평균	2.00%	2.96%	single axle	A(5)	8	98.7	60
최대	6.09%	13.99%	axle of group	A(5)	10	96.8	120
최소	-3.61%	-7.28%					
기준초과	2	5					
절대값기준초과	2	5					

[표 3.30] 피에조 형식 시스템의 2차로 구간 평가 결과

Lane2-4	총중량	축하중	COST-323 WIM	Class	δ (%)	π (%)	sample size
평균	-0.07%	0.42%	gross weight	A(5)	5	100.0	71
표준편차	1.27%	3.17%	group of axles	A(5)	7	99.6	106
절대값평균	0.95%	2.32%	single axle	A(5)	8	96.4	107
최대	3.84%	10.12%	axle of group	A(5)	10	99.4	212
최소	-3.22%	-7.80%					
기준초과	0	1					
절대값기준초과	0	1					

Lane2-5	총중량	축하중	COST-323 WIM	Class	δ (%)	π (%)	sample size
평균	0.00%	-0.12%	gross weight	A(5)	5	99.8	80
표준편차	1.47%	3.26%	group of axles	A(5)	7	98.8	120
절대값평균	1.24%	2.68%	single axle	B+(7)	11	99.0	120
최대	2.83%	8.30%	axle of group	A(5)	10	99.5	240
최소	-3.23%	-8.04%					
기준초과	0	0					
절대값기준초과	0	0					

Lane2-7	총중량	축하중	COST-323 WIM	Class	δ (%)	π (%)	sample size
평균	-1.88%	-2.26%	gross weight	A(5)	5	92.6	35
표준편차	1.71%	4.16%	group of axles	B+(7)	10	98.6	55
절대값평균	2.11%	3.92%	single axle	A(5)	8	99.9	50
최대	2.16%	14.33%	axle of group	B+(7)	14	99.2	110
최소	-5.51%	-10.43%					
기준초과	0	3					
절대값기준초과	1	4					

Lane2-8	총중량	축하중	COST-323 WIM	Class	δ (%)	π (%)	sample size
평균	1.71%	1.45%	gross weight	A(5)	5	91.6	35
표준편차	1.86%	4.15%	group of axles	A(5)	7	94.8	55
절대값평균	2.06%	3.21%	single axle	A(5)	8	95.9	50
최대	5.48%	14.20%	axle of group	A(5)	10	94.8	110
최소	-1.56%	-7.53%					
기준초과	2	7					
절대값기준초과	2	7					

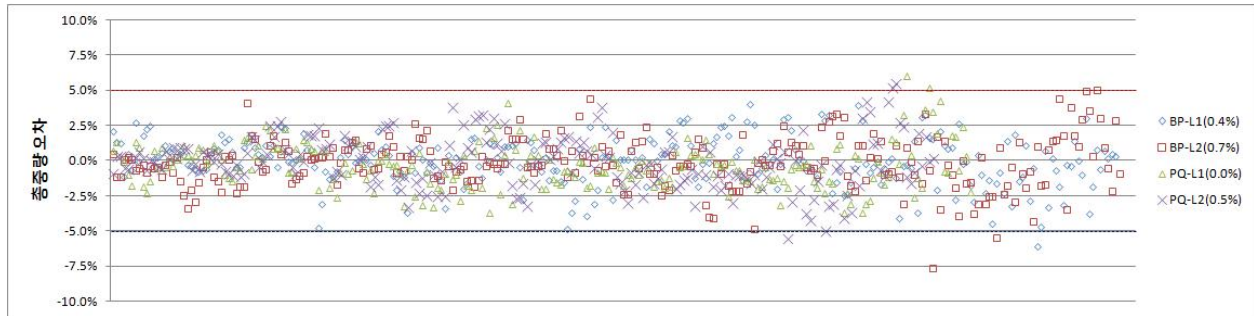
- 시험결과, 각 개별 오차분석에서 총중량 $\pm 5\%$, 축하중 $\pm 10\%$ 이내를 기준으로 부적합한 결과가 도출된 경우라 할지라도, 유럽 기준 COST-323 방식에서는 A(5)등급을 만족하는 경우가 발생
- COST-323 방식의 경우 중량의 크기와 상관없이 모든 하중에 대한 측정값을 바탕으로 분석하므로, 상대적으로 가벼운(본 연구에서 정의 상 유효하지 않은) 하중에 대한 평가가 포함되어 단일하중에서 저평가되는 경우 발생

- 따라서, 과적단속을 염두에 두고 평가를 시행하고자 할 경우에는 유효한 하중에 대하여 일정 수준의 오차범위를 초과하는지 여부로 판정하는 것이 합리적이라고 판단됨

(나) 축 특성별 평가 결과

① 총중량 평가 분석 : 오차기준($\pm 5\%$) 초과 분석

- 전체 시험 중 0.4%(4/993)가 만족하지 못하였음



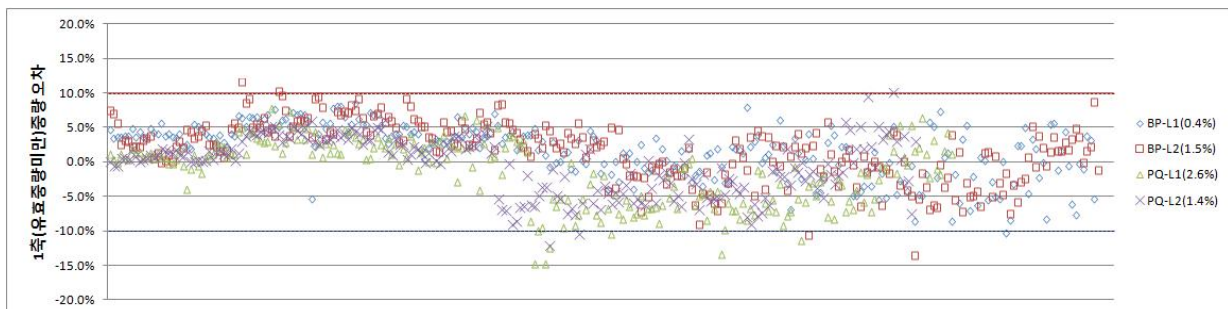
[그림 3.50] 총중량 오차 분포

[표 3.31] 총중량 기준초과 비율

구분	BP-L1	BP-L2	PQ-L1	PQ-L2
샘플수	270	271	231	221
기준초과 회수	1	2	0	1
기준초과 비율	0.4%	0.7%	0.0%	0.5%

② 1축하중(유효하지 않은 단일축하중) : 오차기준($\pm 10\%$) 초과 분석

- 전체 시험 중 1.4%(14/993)가 만족하지 못하였음
- 기준 초과율의 대부분이 저평가된 경우임



[그림 3.51] 1축하중 오차 분포

[표 3.32] 1축하중 기준초과 비율

구분	BP-L1	BP-L2	PQ-L1	PQ-L2
샘플수	270	271	231	221
기준초과 회수	1	4	6	3
기준초과 비율	0.4%	1.5%	2.6%	1.4%

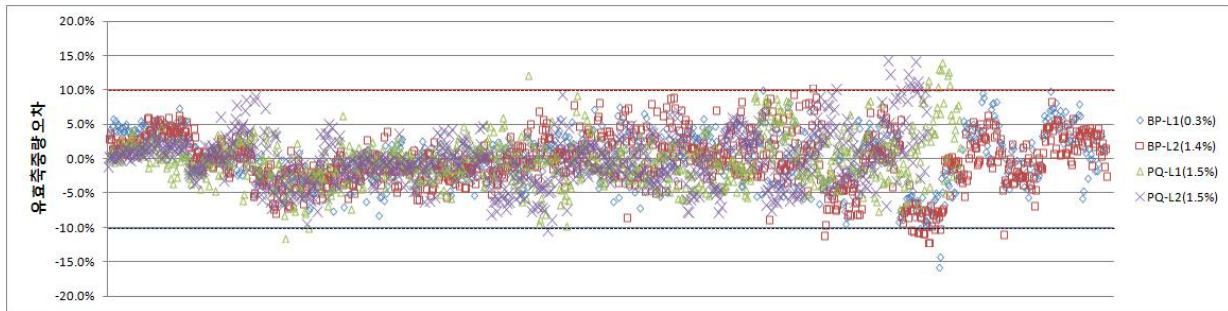
③ 유효축하중(카고트럭 2, 3, 4축 및 트레일러 2, 3, 4, 5축) : 오차기준($\pm 10\%$) 초과 분석

○ 전체 시험 중 1.1%(40/3481)가 만족하지 못하였음

○ 기준초과는 모두 조합내 개별축에서 발생(조합내 개별축하중 분석결과 참조)

○ 벤딩플레이트 형식의 경우 과소평가, 피에조쿼츠 형식의 경우 과대평가가 되는 경우 발생

○ 대체로 편차가 커진 경우가 아니라, 과대 또는 과소평가된 경우로 영점조정 실패로 추정됨



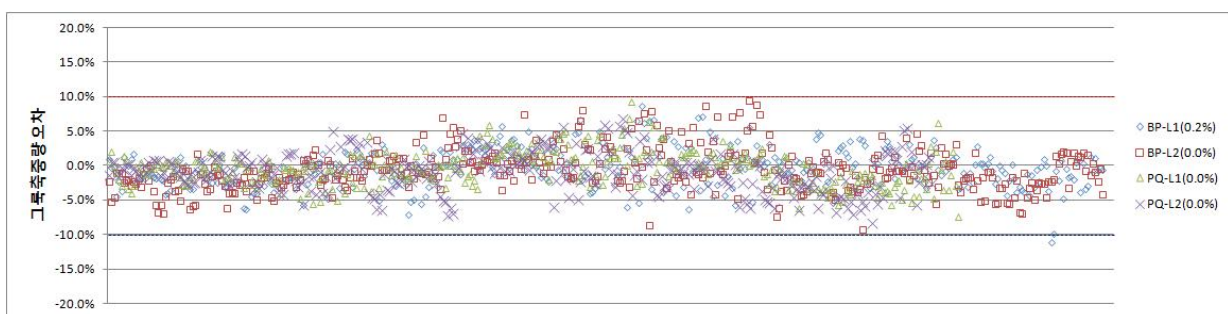
[그림 3.52] 유효축하중 오차 분포

[표 3.33] 유효축하중 기준초과 비율

구분	BP-L1	BP-L2	PQ-L1	PQ-L2
샘플수	946	948	809	778
기준초과 회수	3	13	12	12
기준초과 비율	0.3%	1.4%	1.5%	1.5%

④ 조합축하중(카고트럭 3-4축 및 트레일러 2-3축, 4-5축) : 오차기준($\pm 10\%$) 초과 분석

○ 전체 시험 중 0.1%(1/1495)가 만족하지 못하였음



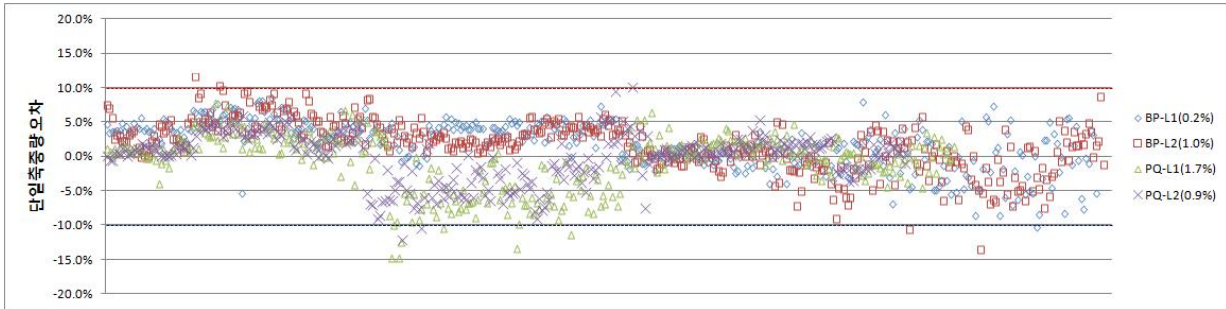
[그림 3.53] 조합축하중 오차 분포

[표 3.34] 조합축하중 기준초과 비율

구분	BP-L1	BP-L2	PQ-L1	PQ-L2
샘플수	406	406	347	336
기준초과 회수	1	0	0	0
기준초과 비율	0.2%	0.0%	0.0%	0.0%

⑤ 단일축하중(카고트럭 1, 2축 및 트레일러 1축) : 오차기준($\pm 10\%$) 초과 분석

- 전체 시험 중 0.9%(14/1484)가 만족하지 못하였음
- 기준초과는 모두 유효하지 않은 중량인 1축에서 발생(1축축량 분석결과 참조)
- 기준 초과와 대부분이 저평가된 경우임
- 즉, 8톤 이상의 유효한 단일축은 기준 만족



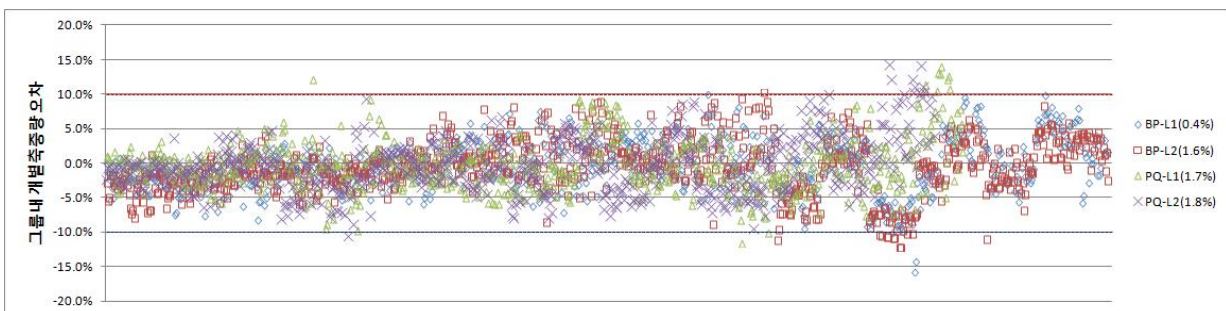
[그림 3.54] 단일축하중 오차 분포

[표 3.35] 단일축하중 기준초과 비율

구분	BP-L1	BP-L2	PQ-L1	PQ-L2
샘플수	404	407	346	327
기준초과 회수	1	4	6	3
기준초과 비율	0.2%	1.0%	1.7%	0.9%

⑥ 조합내 개별축하중(카고트럭 3, 4축 및 트레일러 2, 3, 4, 5축) : 오차기준($\pm 10\%$) 초과 분석

- 전체 시험 중 1.3%가 만족하지 못하였음
- 벤딩플레이트 형식의 경우 과소평가, 피에조쿼츠 형식의 경우 과대평가가 되는 경우 발생
- 대체로 편차가 커진 경우가 아니라, 과대 또는 과소평가된 경우로 영점조정 실패로 추정 됨



[그림 3.55] 조합내 개별축하중 오차 분포

[표 3.36] 조합축하중 기준초과 비율

구분	BP-L1	BP-L2	PQ-L1	PQ-L2
샘플수	812	812	694	672
기준초과 회수	3	13	12	12
기준초과 비율	0.4%	1.6%	1.7%	1.8%

- 전반적으로 총중량과 조합축하중의 경우 각각 $\pm 5\%$ 와 $\pm 10\%$ 이내를 만족하는 평가결과를 보여주고 있음
- 조합내 개별축 또는 유효축하중의 경우 일부 본 연구에서 제시하고자하는 기준인 $\pm 10\%$ 범위를 초과하는 경우가 1.1 ~ 1.3% 정도 발생하였으나, 영점을 기준으로 편차가 상하로 분산된 경우가 아닌 단방향으로 편중된 경우로서, 성능평가의 경우 영점 조정이 불량한 시스템에서 발생할 수 있는 불합격 사례로 볼 수 있음
- 따라서 단속을 고려한 시스템 평가의 경우 개별 시험 결과에 대하여 일정 수준의 오차범위 이내로 모든 측정값이 만족하도록 하는 무결점 평가체계가 바람직할 것으로 판단됨
- 이러한 평가체계는 단속 시스템 설치사업의 준공뿐 만 아니라 향후 단속 시스템의 유지관리를 함에 있어서 오차의 분산도가 적은 정밀도 측면과 영점 조정 관리를 통한 정확도 관리 측면에서도 매우 중요한 요소로 반영될 것으로 판단됨

(6) 영향 인자 분석 결론

[표 3.37] 영향인자 분석 결과

영향 인자	고려 필요	분석 결과
포장체 평탄성	√	· 차로별 평탄성 조건에 따라 중량 오차가 상이하게 발생
노면 온도	√	· 온도에 따른 센서 재질 변화와 포장체의 거동이 미치는 영향이 존재 · 시험시간대 선정 시 포장체 온도조건 반영
차량 종류	√	· 특정 차량형식에 평가결과가 종속되지 않아야 됨 · 국내 대표적 차량 특성인 1단위 차량 외에 2단위 차량을 주행 시험에 포함
축 구조	√	· 단일축(single axle)보다 조합축 내 개별축(axle of group)의 정확도가 낮음 · 차량 선정 시 조합축이 포함된 5단위 이상 화물차량 선정
주행 속도	√	· 속도에 따른 정확도 보정을 원활히 수행하는 지 확인 필요
주행 패턴	√	· 좌/우 치우침 주행에는 영향이 적으나, 차로이탈주행, 양차로 겹친주행을 판독할 수 있어야 함

다. 실제 공용도로 상의 고속 무인 과적단속 시스템 모의시험

(1) 경부고속도로 상행선 김천구간

(가) 현장 정보

[표 3.38] 경부고속도로 상행선 김천구간 모의시험 현장 개요

김천 JCT - 김천 IC 구간 고속도로 무인 무정차 과적단속시스템		
설치지점	경상북도 김천시	
설치시기	2010년 11월	
설치내역	경부선 상행 3차로	
주행거리	왕복 약 20 km	
주행시간	왕복 평균 20 분	
시험차선	2차로	

(나) 시험 주행 내역

- 고속도로 무인 무정차 과적단속시스템에 대한 성능평가 모의시험은 3개 차선 중 2차로를 대상으로 2016년 5월 25일부터 26일까지 24시간에 걸쳐 진행되었으며 세부 시험 내역은 아래와 같음

[표 3.39] 경부고속도로 상행선 김천구간 과적단속시스템 성능평가 모의시험 주행 내역

시간	속도	주행 내역 (4축 카고, 5축 트레일러 연속 통과)	
		정상주행	이상주행
오후	80km/h	정상주행(중양) 4회	-
	80km/h	-	측대이탈 1회
야간	80km/h	정상주행(우밀착) 2회	-
	50km/h	정상주행(좌밀착) 2회	-
새벽	80km/h	정상주행(우밀착) 1회	-
		정상주행(좌밀착) 1회	-
	80km/h	-	길어깨이탈 2회
오전	50km/h	정상주행(중양) 2회	-
	80km/h	-	측대이탈 2회
주행 횟수 합계		정상주행 24회(차량당 12회)	이상주행 10회 (차량당 5회)

(다) 시험 결과

① 중량 정확도

- 허용 오차 범위 내(총중량 $\pm 5\%$, 축하중 $\pm 10\%$) 중량 정확도로, 중량 정확도의 평가척도는 “100(%) - 오차백분율(PE)”을 사용하여 계산
- 중량 정확도 총중량 PE 98%, 축하중 PE 95% 로 측정

[표 3.40] 중량 정확도 결과 요약

정상주행		5축 카고 (보정 후)	5축 트레일러(보정 후)
		2차로	2차로
총중량	100-PE [%]	100.0%	93.3%
	주행 [회]	16	15
	초과 [회]	0	1
	RMSE [%]	2.31%	2.54%
	MAE [%]	1.88%	2.21%
	Max [%]	3.86%	3.09%
	Min [%]	-3.56%	-5.01%
	Stdv [%]	2.35%	2.63%
축하중	100-PE [%]	95.8%	97.8%
	주행 [회]	48	45
	초과 [회]	2	1
	RMSE [%]	4.45%	4.20%
	MAE [%]	3.52%	3.41%
	Max [%]	10.54%	11.1%
	Min [%]	-7.92%	-1.5%
	Stdv [%]	4.10%	2.79%

② 매칭 정확도 시험 결과

- 해당 사항 없음

③ 회피 차량 검지율 시험 결과

- 시스템의 중량측정 범위에서 회피주행차량 검지성공률

[표 3.41] 회피 차량 검지율 결과 요약

회피차량검지율	5축 카고		5축 트레일러		합계
	측대이탈	길어깨이탈	측대이탈	길어깨이탈	
총회피차량대수	3	3	2	2	10
회피차량검지대수	3	3	2	2	10
회피차량검지율 100 %					

④ 과대검측율 시험 결과

- 허용오차범위(총중량 $\pm 5\%$, 축하중 $\pm 10\%$)를 벗어나게 중량을 측정

[표 3.42] 과대 검측을 결과 요약

과대검측율	5축 카고	5축 트레일러	합계
	2차로	2차로	
중량측정횟수	12	12	24
과대검측횟수	0	0	0
과대검측율 0%			



[그림 3.56] 김천 고속도로 과적단속시스템 성능평가 모의시험

* 본 연구에서는 도로법 허용오차 10%를 초과하는 경우를 판단하고자 과대검측을 시험을 수행하였으나, 최종적으로 성능평가서(안)에서 $\pm 10\%$ 를 초과할 경우 최상등급 부적합 판정을 부여하므로 평가에 반영하지는 않음.

(2) 전남 여수시 묘도 이순신대교-여수산단 구간

(가) 현장 정보

[표 3.43] 이순신대교-여수산단 구간 모의시험 현장 개요

여수국가산단 진입도로 중차량 중량정보 관리시스템		
설치지점	전남 여수시 묘도동	
설치시기	2013년 12월	
설치내역	하행/상행 2차로	
주행거리	왕복 약 11 km,	
주행시간	왕복 평균 20 분	
시험차선	2차로	

(나) 시험주행 내역

- 여수산단 중차량 중량정보 관리시스템에 대한 성능평가 모의시험은 2016년 6월 1일부터 2일까지 24시간에 걸쳐 진행되었으며 세부 시험 내역은 아래와 같음

[표 3.44] 여수산단 중차량 중량정보 관리시스템 성능평가 모의시험 주행 내역

시간	속도	차선	주행 내역 (4축 카고, 5축 트레일러 연속 통과)	
			정상주행	이상주행
오전	40km/h	하행	정상주행(중앙), 정상주행(우밀착)	-
		상행	정상주행(중앙), 정상주행(좌밀착)	
	50km/h	하행	정상주행(중앙), 정상주행(우밀착)	
		상행	정상주행(중앙), 정상주행(좌밀착)	
	60km/h	하행	정상주행(우밀착)	
		상행	정상주행(좌밀착)	
오후	40km/h	하행	정상주행(좌밀착)	
		상행	정상주행(우밀착)	
	50km/h	하행	정상주행(중앙), 정상주행(좌밀착)	
		상행	정상주행(중앙), 정상주행(우밀착)	
	60km/h	하행	정상주행(중앙), 정상주행(좌밀착)	
		상행	정상주행(중앙), 정상주행(우밀착)	
	50-60km/h	하행	-	길어깨이탈 3회
		상행	-	측대이탈 2회
야간	40km/h	하행/상행	정상주행(중앙) 2회	-
	50km/h	하행/상행	정상주행(중앙) 2회	
새벽	50km/h	하행/상행	정상주행(중앙) 2회	
	60km/h	하행/상행	정상주행(중앙) 2회	
	50-60km/h	하행/상행		양차로 3회
주행 횟수 합계		총합	정상주행 56회(차선 차량당 14회)	이상주행 22회 (차선 차량당 5.5회)

(다) 시험 결과

① 중량 정확도

- 허용 오차 범위 내(총중량 $\pm 5\%$, 축하중 $\pm 10\%$) 중량정확도로, 중량정확도의 평가척도는 “100(%) - 오차백분율(PE)”을 사용하여 계산
- 중량 정확도 총중량 PE 98%, 축하중 PE 95%로 측정

[표 3.45] 중량 정확도 결과 요약

정상주행		4축 카고 (보정 후)		5축 트레일러(보정 후)	
		1차로	2차로	1차로	2차로
총중량	100-PE [%]	100.0	100.0	100.0	100.0
	주행 [회]	14	14	14	14
	초과 [회]	0	0	0	0
	RMSE [%]	0.96	1.33	0.68	0.88
	MAE [%]	0.80	0.93	0.51	0.72
	Max [%]	1.72	2.95	1.77	2.12
	Min [%]	-1.85	-0.80	-1.21	-0.91
	Stdv [%]	0.99	1.28	0.67	0.90
축하중	100-PE [%]	100.0	100.0	100.0	100.0
	주행 [회]	42	42	42	42
	초과 [회]	0	0	0	0
	RMSE [%]	3.69	4.37	1.71	3.16
	MAE [%]	2.80	5.69	2.95	2.23
	Max [%]	8.02	8.80	4.8	5.5
	Min [%]	-4.84	-6.52	-1.5	-5.1
	Stdv [%]	3.68	4.25	1.54	3.20

② 매칭 정확도

- 시스템을 통과하는 차량에 대한 통신결과, 검지결과, 영상촬영결과가 일치되는 경우를 정상으로 인정 역전현상에 대하여는 매칭에러로 처리
- 매칭 정확도 93% 만족 (※ 06/02 새벽 주행 시, 하행 AVI 제어기 동작 이상 발생, 정상 동작 상태의 시험 주행에서는 매칭정확도 100% 만족)

[표 3.46] 매칭 정확도 결과 요약

매칭정확도	4축 카고		5축 트레일러		합계
	1차로	2차로	1차로	2차로	
총통과차량대수	14	14	14	14	56
정상매칭건수	14	12	14	12	52

매칭정확도 93%

③ 회피 차량 검지율

- 시스템의 중량측정 범위에서 회피주행차량 검지성공률

[표 3.47] 회피 차량 검지율 결과 요약

회피차량검지율	4축 카고			5축 트레일러			합계
	양차로	측대이탈	길어깨이탈	양차로	측대이탈	길어깨이탈	
총회피차량대수	6	2	3	5	2	3	11
회피차량검지대수	6	2	3	4	2	3	10

회피차량검지율 92%

④ 과대검측율

- 허용오차범위(10%)를 벗어나게 중량을 측정

[표 3.48] 과대 검측율 결과 요약

과대검측율	4축 카고		5축 트레일러		합계
	1차로	2차로	1차로	2차로	
중량측정횟수	14	14	14	14	56
과대검측횟수	0	0	0	0	0

과대검측율 0%



[그림 3.57] 여수산단 중차량 정보관리 시스템 성능평가 모의 시험

라. 기타 운영상 검토 사항

(1) 안전조치

- 무인고속 과적단속 시스템의 성능평가는 실제 평가 차량에 총중량 40톤 규모의 화물이 적재된 상태에서 고속 주행을 통하여 이루어지므로 반드시 필요한 안전조치를 취한 후 시험을 실시해야 함
- 불필요한 교통정체나 안전 문제를 피하기 위해 다음의 몇 가지 사항들이 사전에 반드시 검토되어야 함
 - 평가 차량에 상차된 분동 등 적재물의 안전 확인
 - 평가 차량 운전자가 주행 중 센서 위치에 대한 식별이 어려울 경우 깃발이나 경광등 등을 통하여 센서 통과지점의 주행 안정성을 유지할 수 있도록 조치
 - 평가 차량과 평가 감독자 간 신속한 연락을 취할 수 있는 무선 통신 장비
 - 회차 지점의 안전 확보. 야간 주행 시 평가 차량과 부대 설비간의 접촉사고 방지
 - 평가 차량 운전자의 피로 누적 방지를 위한 휴식 시간 배치
 - 평가 차량은 가급적 동일한 운전자를 통해 운영하며 불가피하게 운전자가 변경될 경우 반드시 시험 주행 등을 통해 사전 훈련이 필요
- 실제 교통흐름이 있는 곳에서 평가시험을 진행할 경우
 - 해당 관리처에 사전 협의
 - 시험구간을 통과하는 일반 차량에 대해 안내 표지 등을 통한 협조 요청
 - 평가 차량임을 알리는 현수막 등의 부착
 - 시간대별 교통량을 파악하여 교통흐름의 불편을 최소화할 수 있는 주행 일정의 계획
 - 저속주행, 쏘림주행, 이상주행 등 주변 통과 차량과의 접촉 위험이 있을 경우 평가 차량의 후미에 신호차량 등을 배치하여 일반차량 진입 통제

(2) 회차시간 및 주행횟수

- 무인고속 과적단속 시스템의 성능평가는 평가 차량에 의한 반복적인 주행에 의해 이루어 지므로 평가 차량의 회차 시간에 대한 정보가 사전에 검토되어야 함
- 성능평가에 사용되는 평가 차량은 차량의 길이가 매우 길뿐 아니라 총중량 40톤 규모의 분동 적재 상태이므로 회차 및 가속에 많은 시간이 소요됨
- 회차시간이 정해지면 각 시간대별로 가능한 반복주행 횟수가 결정되고 차선 수에 따라 필요한 주행횟수가 결정
- 회차시간에 영향을 미치는 요소
 - 회차 구간의 거리 (km)
 - 회차지점에서의 소요 시간, 구간 내 신호대기 시간 등을 포함한 전체 회차시간
 - 주행 속도. 만차인 중차량 기준 센서위치에 도달 전·후의 주행속도

(3) 기준중량 측정

- 축중시스템의 성능평가에 있어 기준이 되는 평가 차량의 하중을 정확하게 측정하는 것은

매우 중요한 작업임

- 화물차량의 총중량을 측정할 수 있는 계량소의 경우 축단위 측정이 불가한 경우가 많고, 성능평가가 실시되는 현장 부근에 위치한 계량소를 확보할 수 없는 경우, 이동식 축중기를 사용한 차량의 중량 측정이 가장 효과적이라 할 수 있음
- 본 연구에서는 이동식축중기를 사용하여 화물차량의 중량을 측정함에 있어 현장에서 확보할 수 있는 공간과 유사한 공간에서 측정된 값을 비교하여 이동식 축중기를 통한 기준 중량 측정의 편차를 측정
- 측정방법은 아래의 8가지 방법으로 실시하였고 각 측정방법에서 3회씩 반복 측정하였으며, 시험도로 인근의 고정식 과적검문소의 저속 축중기 및 이동단속반 보유 이동식 축중기를 이용하여 측정된 기준 중량을 비교
- 마지막으로 기울기가 심한 노면에서 이동식 축중기 측정을 실시하여 측정의 편차를 검토

(가) 기준 중량 측정 방법

① 이동식 축중기 고정 홈 이용, 관리동 측정소 측정

- 시험도로 관리동 측정소 앞 이동식 축중기 고정 홈을 이용한 측정방법
- 이동식축중기 고정된 상태에서 차량이 이동하여 축(륜)별로 개별 측정



[그림 3.58] ① 이동식 축중기 고정 홈을 이용한 측정

② 이동식 축중기 + 더미판 이용, 관리동 측정소 측정

- 시험도로 관리동 측정소 앞 평탄지역에서 이동식 축중기 및 더미판을 이용한 측정방법
- 이동식 축중기로 1,2축을 동시 측정하고 다른 축은 더미판을 이용 차축의 높이 유지



[그림 3.59] ② 평탄 노면에서 이동식 축중기와 더미를 이용한 측정

- ③ 이동식 축중기 + 더미판 이용, 본선 측정
- ④ 이동식 축중기만 이용(전륜 동시), 관리동 측정소 측정
- o 이동식 축중기를 차량의 전체 축(륜)에 위치시켜 총중량 및 축하중을 측정



[그림 3.60] ④ 평탄 노면에서 이동식 축중기로 전륜 동시 측정

- ⑤ 이동식 축중기만 이용(전륜 동시), 본선 측정
- o 횡방향 구배 상태에서 측정하여 측정값 변화 검토



[그림 3.61] ⑤ 본선에서 이동식 축중기 및 더미판을 이용한 측정

- ⑥ 저속축중기 이용, 고정식 검문소 측정 (경기도 송산 과적검문소)
- ⑦ 이동단속반 보유 축중기 이용, 고정식 검문소 측정 (경기도 송산 과적검문소)
- o 고정식 검문소의 저속축중기 및 이동단속반 보유 이동식 축중기를 통한 비교 측정



[그림 3.62] ⑥, ⑦ 과적 검문소의 저속축중기 및 이동식 축중기 측정

- ⑧ 이동식 축중기만 이용(전륜 동시), 경사면 측정
- o 경사면에서의 이동식 축중기를 차량의 전체 축(륜)에 위치시켜 동시에 측정



[그림 3.63] ⑧ 경사진 노면에서 이동식 축중기를 이용한 측정

(나) 기준 중량 측정 결과 분석

① 측정 방법별 기준 중량 결과

[표 3.49] 측정 방법별 기준 중량 측정 결과 - 1단위 차량

4C STD weight		1 axle	2 axle	3 axle	4 axle	5 axle	Gross
① 고정홈 측정소	Wheel(R)	3683	4250	6425	6425	-	20783
	Wheel(L)	3600	4425	6075	6000	-	20100
	Axle	7283	8675	12500	12425	-	40883
② 더미판 측정소	Wheel(R)	4050	4600	6300	6050	-	21000
	Wheel(L)	3717	4100	6150	6325	-	20292
	Axle	7767	8700	12450	12375	-	41292
③ 더미판 본선	Wheel(R)	3767	4350	6200	6200	-	20517
	Wheel(L)	3733	4250	6325	6175	-	20483
	Axle	7500	8600	12525	12375	-	41000
④ 전륜이동식 측정소	Wheel(R)	3817	4505	6085	6220	-	20627
	Wheel(L)	3677	4135	6215	6120	-	20147
	Axle	7493	8640	12300	12340	-	40773
⑤ 전륜이동식 본선	Wheel(R)	3883	4500	6315	6265	-	20963
	Wheel(L)	3627	4075	5990	5970	-	19662
	Axle	7510	8575	12305	12235	-	40625
⑥ 저속측중기 송산검문소	Wheel(R)	-	-	-	-	-	-
	Wheel(L)	-	-	-	-	-	-
	Axle	6187	6803	8343	9000	9043	39377
⑦ 이동측중기 송산검문소	Wheel(R)	-	-	-	-	-	-
	Wheel(L)	-	-	-	-	-	-
	Axle	6575	6975	8825	9325	9350	41050

[표 3.50] 측정 방법별 기준 중량 측정 결과 - 2단위 차량

5T STD weight		1 axle	2 axle	3 axle	4 axle	5 axle	Gross
① 고정홈 측정소	Wheel(R)	2800	4400	4450	4867	4600	21117
	Wheel(L)	2733	4383	4300	4850	4750	21017
	Axle	5533	8783	8750	9717	9350	42133
② 더미판 측정소	Wheel(R)	2933	4267	4200	4417	4600	20417
	Wheel(L)	2900	4567	4617	4400	5133	21617
	Axle	5833	8833	8817	8817	9733	42033
③ 더미판 본선	Wheel(R)	2850	4400	4333	4567	4633	20783
	Wheel(L)	2867	4183	4283	4417	4800	20550
	Axle	5717	8583	8617	8983	9433	41333
④ 전륜이동식 측정소	Wheel(R)	2763	4460	4483	4463	4767	20937
	Wheel(L)	2787	4173	4363	4467	5217	21007
	Axle	5550	8633	8847	8930	9983	41943
⑤ 전륜이동식 본선	Wheel(R)	2887	4577	4433	4747	4987	21630
	Wheel(L)	2800	4130	4330	4367	4847	20473
	Axle	5687	8707	8763	9113	9833	42103
⑥ 저속측중기 송산검문소	Wheel(R)	-	-	-	-	-	-
	Wheel(L)	-	-	-	-	-	-
	Axle	5440	8490	8427	9220	9073	40650
⑦ 이동측중기 송산검문소	Wheel(R)	-	-	-	-	-	-
	Wheel(L)	-	-	-	-	-	-
	Axle	5900	8450	8500	9375	9300	41525
⑧ 전륜이동식 경사면	Wheel(R)	2585	4550	4400	4760	4715	21010
	Wheel(L)	2595	4265	4480	4620	5015	20975
	Axle	5180	8815	8880	9380	9730	41985

- 각 측정 방법별로 기준 중량을 3회 반복 측정하여 평균치를 기준 중량으로 계산
- 검문소 측정의 경우, 운영 기록에 남지 않도록 1단위 차량인 4축 카고는 가동축을 내리고 5축 비과적 상태로 변경하여 2회 측정(모의시험 시엔 가동축을 올리고 4축으로 주행)
- 검문소 측정의 경우, 고정식 축중기와 이동단속반 보유 축중기는 좌/우륜 중량이 아닌 축하중이 합산된 결과만 수신
- 경사면 측정은 2단위 차량인 5축 트레일러만 측정

② 기준 중량 측정 비교

[표 3.51] 측정 방법별 기준 중량 측정 편차 - 1단위 차량

4C Measuring Error	1 axle	2 axle	3 axle	4 axle	5 axle	Gross
①고정홈 측정소	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	-	0.0%
②더미판 측정소	6.6%	0.3%	-0.4%	-0.4%	-	1.0%
③더미판 본선	3.0%	-0.9%	0.2%	-0.4%	-	0.3%
④전륜이동식 측정소	2.9%	-0.4%	-1.6%	-0.7%	-	-0.3%
⑤전륜이동식 본선	3.1%	-1.2%	-1.6%	-1.5%	-	-0.6%
⑥저속축중기 송산검문소	-	-	-	-	-	-3.7%
⑦이동축중기 송산검문소	-	-	-	-	-	-0.4%

[표 3.52] 측정 방법별 기준 중량 측정 편차 - 2단위 차량

5T Measuring Error	1 axle	2 axle	3 axle	4 axle	5 axle	Gross
①고정홈 측정소	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
②더미판 측정소	5.4%	0.6%	0.8%	-9.3%	4.1%	-0.2%
③더미판 본선	3.3%	-2.3%	-1.5%	-7.5%	0.9%	-1.9%
④전륜이동식 측정소	0.3%	-1.7%	1.1%	-8.1%	6.8%	-0.5%
⑤전륜이동식 본선	2.8%	-0.9%	0.2%	-6.2%	5.2%	-0.1%
⑥저속축중기 송산검문소	-1.7%	-3.3%	-3.7%	-5.1%	-3.0%	-3.5%
⑦이동축중기 송산검문소	6.6%	-3.8%	-2.9%	-3.5%	-0.5%	-1.4%
⑧전륜이동식 경사면	-6.4%	0.4%	1.5%	-3.5%	4.1%	-0.4%

- 이동식 축중기 고정 홈 이용, 관리동 측정소 측정을 기준값으로 각 방법별 기준 중량 측정값의 편차를 분석
- 1단위 차량의 경우, 고정식 검문소의 저속축중기로 측정한 결과 외의 모든 측정 방법에서 총중량은 1% 이내의 편차를 보였으며 성능평가 유효축이 아닌 1축 축하중을 제외하고 모두 2% 이내의 편차를 보임
- 2단위 차량의 경우, 고정식 검문소의 저속축중기로 측정한 결과와 더미판 이용 본선 측정 결과 외의 모든 측정 방법에서 총중량은 1% 이내의 편차를 보였으나, 축하중은 2% 초과 편차가 다수 나타남.
- 이는 2단위 차량의 축 구조와 차량특성에 의해 발생하는 측정 오차로 사료되며, 정확한 기준 축하중을 측정할 수 있는 방법을 정의하여 단속에 활용하는 것이 중요할 것으로 판단됨

③ 기준 중량 3회 반복 측정시 재현성 편차 비교

- 각 방법별 기준 중량을 3회 반복 측정하였을 때 반복 재현성을 분석
- 평균치 대비 3회 측정 값 중 최대 최소 오차를 표시
- 가장 재현성이 좋은 방법은 이동식 축중기를 차량의 전체 축(륜)에 위치시켜 총중량 및 축하중을 측정하는 방법
- 본 연구에서는 반복 측정에 대한 시간 운영의 효율성을 위해 고정홈을 통한 이동식 축중기 측정방법을 준용하였으며 기준중량 측정의 비교 시험을 통해 총중량 1% 이내임을 확인하였음

[표 3.53] 측정 방법별 반복 재현성 편차 - 1단위 차량

4C Repeatability Error		1 axle	2 axle	3 axle	4 axle	5 axle	Gross
①고정홈 측정소	Max	1.6%	0.3%	0.4%	0.2%		0.0%
	Min	-1.8%	-2.6%	-0.4%	-0.2%		-0.3%
②더미판 측정소	Max	1.1%	0.0%	0.8%	0.2%		0.3%
	Min	-0.9%	-2.9%	-0.8%	-0.2%		-0.7%
③더미판 본선	Max	0.7%	1.2%	0.2%	0.2%		0.2%
	Min	-0.7%	-1.2%	-0.2%	-0.2%		-0.2%
④전륜이동식 측정소	Max	0.4%	0.3%	0.1%	0.0%		0.1%
	Min	-0.6%	-0.1%	-0.2%	-0.1%		-0.1%
⑤전륜이동식 본선	Max	0.0%	1.1%	0.1%	0.0%		0.2%
	Min	0.0%	-1.1%	-0.1%	0.0%		-0.2%
⑥저속축중기 송산검문소	Max	0.5%	0.2%	1.8%	1.3%	0.7%	0.3%
	Min	-0.4%	-0.2%	-1.2%	-1.7%	-0.5%	-0.4%
⑦이동축중기 송산검문소	Max	0.4%	0.4%	0.8%	0.3%	0.5%	0.5%
	Min	-0.4%	-0.4%	-0.8%	-0.3%	-0.5%	-0.5%

[표 3.54] 측정 방법별 반복 재현성 편차 - 2단위 차량

5T Repeatability Error		1 axle	2 axle	3 axle	4 axle	5 axle	Gross
①고정홈 측정소	Max	1.2%	0.8%	1.1%	1.4%	0.5%	1.0%
	Min	-0.6%	-0.4%	-1.1%	-1.2%	-0.5%	-0.6%
②더미판 측정소	Max	1.1%	1.3%	1.5%	0.4%	2.2%	0.5%
	Min	-0.6%	-0.9%	-1.3%	-0.8%	-1.9%	-0.9%
③더미판 본선	Max	3.2%	0.2%	1.5%	0.2%	0.7%	0.5%
	Min	-2.9%	-0.4%	-1.4%	-0.4%	-0.9%	-0.8%
④전륜이동식 측정소	Max	1.3%	0.8%	0.4%	0.6%	0.9%	0.1%
	Min	-0.9%	-1.5%	-0.5%	-0.6%	-0.6%	-0.2%
⑤전륜이동식 본선	Max	2.9%	0.6%	1.0%	0.8%	0.4%	0.0%
	Min	-1.7%	-1.2%	-1.7%	-0.8%	-0.5%	0.0%
⑥저속축중기 송산검문소	Max	2.0%	0.5%	1.0%	0.4%	0.8%	0.6%
	Min	-1.7%	-0.7%	-1.4%	-0.7%	-1.1%	-0.5%
⑦이동축중기 송산검문소	Max	1.2%	0.3%	0.5%	0.6%	0.3%	0.1%
	Min	-1.2%	-0.3%	-0.5%	-0.6%	-0.3%	-0.1%
⑧전륜이동식 경사면	Max	1.2%	0.3%	0.5%	0.6%	0.3%	0.1%
	Min	-1.2%	-0.3%	-0.5%	-0.6%	-0.3%	-0.1%

3.4 고속 무인 과적단속 시스템 성능평가용 기준 중량측정 시스템

가. 데이터 로깅 장치

(1) 개요

(가) 목적

- 성능 시험 수행 시 데이터 로깅 장치를 이용하여 무인 단속 장비로부터 결과 값을 수신하고 측정 결과값 및 오차의 성능 평가 항목 모니터링 및 실시간 표출하여 데이터의 기밀성 확보가 가능
- 현재 단속 장비의 성능 시험 수행 시 측정 결과 데이터는 시험자로부터 수동 수집 후 별도의 관리자 작업을 통해 오차 및 결과값 등의 성능 평가 항목을 표출함
- 본 데이터 로깅 장치를 이용하여 이러한 성능 평가 항목을 수신된 측정 결과값을 토대로 자동 계산 후 실시간 표출 및 시험 종료 후 리포트 변환 생성하여 시험 결과를 한눈에 파악 가능

(나) 동작

- 본 데이터 로깅 장치는 성능 시험 수행 시 각 무인 과적단속 장비들로부터 측정 결과값(json 파일)을 FTP 서버를 통해 데이터 로깅 장치의 특정 폴더에 수신됨
- 특정 폴더 내에 측정 결과값 파일이 수신되면 DB 미들웨어에서 저장된 json 파일을 읽고, 내장 된 자체 DB 서버로 자동 업로드하여 DB를 구성함
- CS 소프트웨어를 실행하여 계측모니터링 화면을 이용하여 측정 결과값의 실시간 확인과 조회 화면을 이용하여 DB 서버에 누적 저장된 측정 결과값의 필터링 조회 및 상세 화면 보기, 측정 결과값들의 보고서 출력 및 오차 표시가 가능함

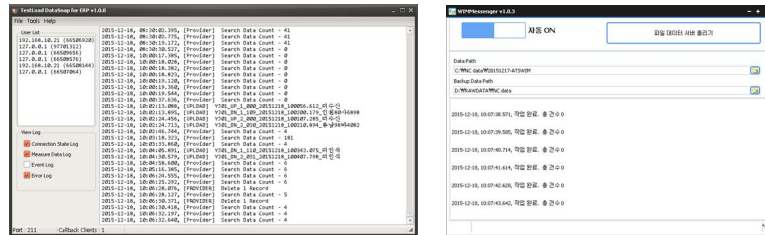
[표 3.55] 데이터 로깅 장치 스펙

Model	고속 무인 과적단속 장비의 성능평가시험용 데이터 로깅 장치
CPU	CPU-i5 3.4GHz
RAM	RAM-8GB
Storage	SSD-450GB
OS	WINDOW 7 32BIT
COM port	USB2.0×2, RS-232/485×2, VGA×1
Communication	RJ-45×2
Temperatures	-10 ~ 50° C
Power	AC220V
Dimension	540(W)x540(H)x570(D) mm
Weight	18kg

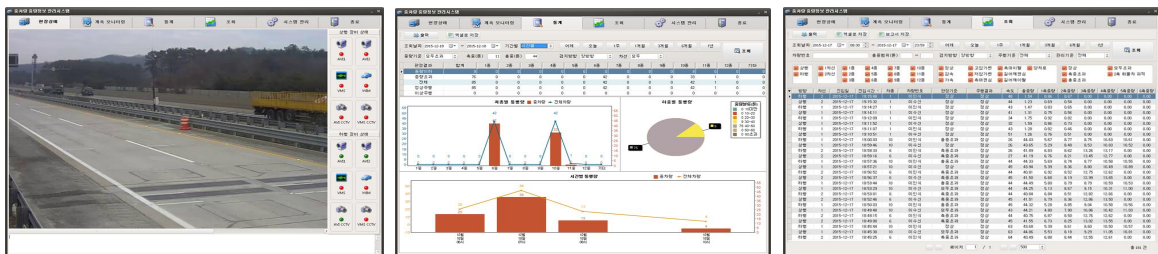
(다) 대표사진



[그림 3.64] 데이터 로깅장치 사진

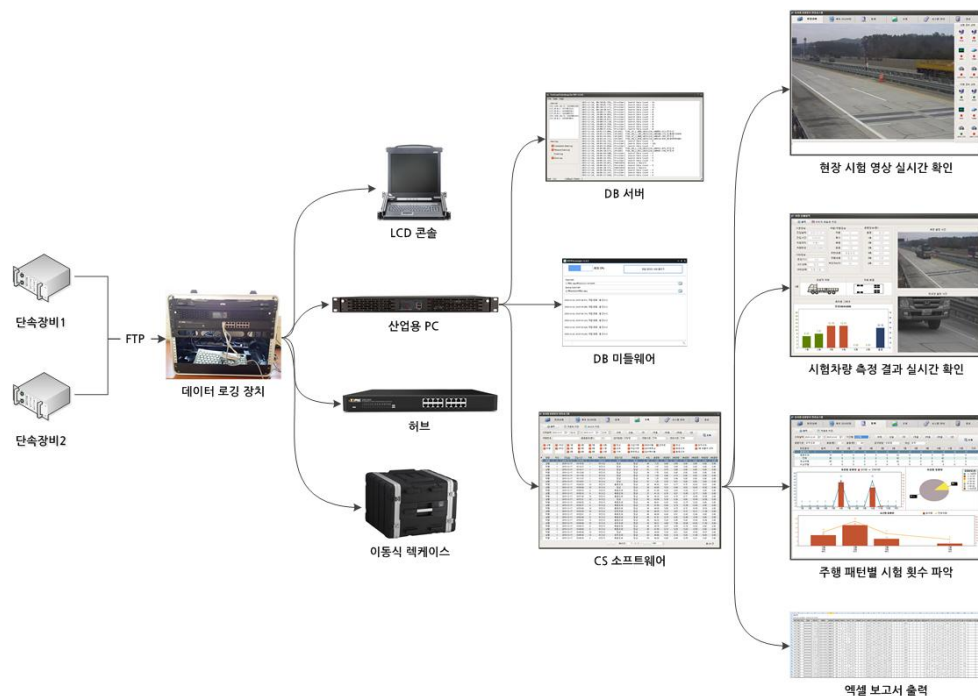


[그림 3.65] DB 서버 소프트웨어 [그림 3.66] DB 미들웨어



[그림 3.67] 조회 소프트웨어

(2) 장비 구성



[그림 3.68] 데이터 로깅장치 구성도

(가) 하드웨어 구성

- o 데이터 로깅 장치의 하드웨어는 LCD 콘솔, 산업용 PC, 허브, 랙 케이스의 19인치 랙 타입으로 구성됨
- o 산업용PC의 LAN 포트 제한으로 인해 별도의 허브를 장착하였으며, 이를 이용하여 최대 14Ch의 단속 장비와 연결이 가능, 성능 평가 시험을 수행할 현장으로 이동 및 설치가 용이하도록 이동식 랙 케이스 외함으로 구성 장비들을 보호함

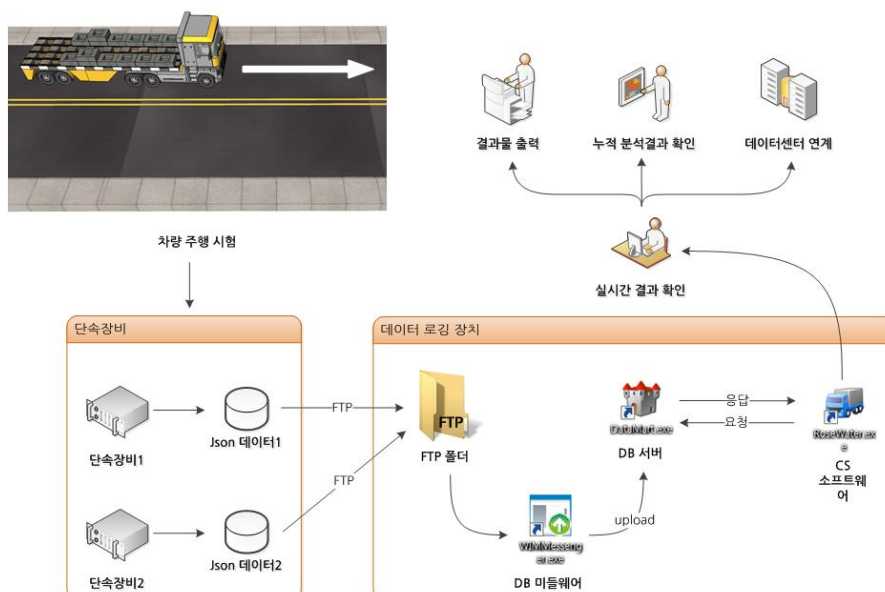
[표 3.56] 데이터 로깅 장치 하드웨어 구성

Device	Model name	Specification	Function
LCD 콘솔	CL1000M	17", 75Hz 1280×1024	산업용 PC의 화면 표출 및 입력
산업용PC	RACK-1150G	CPU-i5 3.4GHz, RAM-8GB, SSD-450GB, OS-Win7	데이터 로깅 소프트웨어 동작을 위한 로깅용 산업용 PC
허브	IPtime SW1600	IEEE 802.3 , 10BASE-T 100BASE-TX, 16ch	다수의 단속 장비와의 데이터 통신을 위한 TCP/IP 연결
랙케이스	ABS-8U/W	이동식 손잡이 H540×D570mm	19인치 장비 보호 및 현장 이동 용이

(나) 소프트웨어 구성

[표 3.57] 데이터 로깅 장치 소프트웨어 구성

Software	Model name	Language	Function
DB 서버	 Datamart	PostgreSQL	측정 장비 결과값의 DB 서버
DB 미들웨어	 WIMMessenger	Delphi	FTP 폴더 내 json 파일을 DB서버에 업로드
CS 소프트웨어	 Rosewater	Delphi	현장 시험 영상 확인(IP-CCTV 연결시), 업로드된 데이터의 조회, 보고서 변환



- 데이터 로깅 장치의 소프트웨어는 DB 서버와 DB 미들웨어, CS 소프트웨어로 구성됨
- OS 부팅과 동시에 PostgreSQL로 짜여진 자체 DB 서버를 항상 운영해야 함
- 데이터 로깅 장치와 각 무인 과적단속 장비와의 통신 방식은 별도의 Server/Client 통신 구성 필요 없음
- FTP 서버를 통해 검측 차량 1대 당 측정 결과 데이터 파일 1개를 특정 공유 폴더에 수신하는 방식으로 구현함
- 무인 과적단속 장비로부터 데이터 로깅 장치의 공유 FTP 특정 폴더에 측정 결과값 파일(json)이 수신되면 DB 미들웨어가 동작하여 자동으로 DB 서버로 데이터를 변환하여 업로드를 수행
- 업로드된 측정 결과 데이터는 별도의 CS 소프트웨어를 통하여 조회 및 상세 보기, 보고서 변환 가능함
- CS 소프트웨어에서는 현장 CCTV를 IP설정을 통해 손쉽게 연결하여 실시간 시험 영상을 확인 및 평가 차량 주행 후 데이터 수신 결과값을 실시간 표출 가능함
- 측정 결과 데이터 파일은 필드의 추가 및 수정이 용이하도록 json 포맷으로 구현함
- 각각의 단속 장비에서 공통으로 측정되는 필드와 성능평가 항목에 필요한 필드를 중심으로 json 포맷 필드를 정의함
- 검측 차량이 진출 후 단속 장비로부터 결과값을 json 파일로 수신시 파일에 쓰인 필드와 값은 메모장과 같은 범용 소프트웨어로도 즉시 확인 가능함

[표 3.58] 데이터 로깅 장치 측정 결과 데이터 프로토콜

범주	측정 데이터	생성 파일명					
타입	json	필드	site_id	way	lane	loop1_date	loop1_time
송신위치	각 단속장비	설명	지점코드	기기코드	차선	진입날짜	진입시간
수신시간	측정종료시점	단위	code	code	no	yyyymmdd	hhmmss.sss
수신위치	로깅장비 FTP폴더	예시	YJ01	UP	1	20150810	112053.433

No.	Field A	Field B	Field C	Type	Unit	Comment	Example
1	header			object	code	헤더정보	WIM_RAW
2	Common	record_info	site_id	object	code	지점코드	YJ01
3			way	object	code	기기코드	UP
4			lane	string	no	차선	1
5			Loop1_date	object	ymd	진입날짜	20150810
6			Loop1_time	object	hms	진입시간	112053.221
7			Loop2_date	object	ymd	진출날짜	20150810
8			Loop2_time	object	hms	진출시간	112054.117
9	Common	code	drive	object	code	주행코드	DR01
10		Temperature	wim1	string	℃	내부온도1	11.1
11			wim2	string	℃	내부온도2	13.0
12			ambeint1	string	℃	외기온도1	16.2

No.	Field A	Field B	Field C	Type	Unit	Comment	Example
13	wim_final	speed		string	km/h	주행속도	45.1
14		acceleration		string	km/hs	가감속	3.7
15		weight_gross		string	kg	총중량	42425
16		wieght_axle	0~6	array string	kg	1~7축하중	6091
17		wieght_group	0~2	array string	kg	조합축하중 1~2	20463
18		wieght_wheel	0~6	array	kg	1~7축	3046
			left	string		좌륜중량	
			right	string		우륜중량	
19		specification	vehicle_number	object	txt	차량번호	서울 1234
20			vehicle_kind	string	no.	차종분류	5
21			axle_no	string	no.	축수	5
22			axle_type	object	code	축구조	113
23			wheel_type	object	code	윤종	11222
24			vehicle_length	string	mm	차량길이	3321
25			vehicle_overhang	string	mm	오버행	640
26		wheel_base	0~5	array string	mm	1~7축 축거	1693
27		wheel_track	0~6	array string	mm	1~7축 윤거	1780

(3) 성능평가시험결과

(가) 시험 내용

- 개별 장비 측정값 표시검측 차량이 진출 후 각 단속 장비로부터 결과값을 json 파일로 FTP 수신 후 DB에 업로드 되어 조회 소프트웨어의 모니터링 화면에서 표출되는 소요 시간을 시스템 로그를 통해 측정함
- 장비 중량 오차 표시성능평가시험 종료 후(2~3일 동안 주행 시험 결과 데이터) 조회 소프트웨어에서 보고서 변환 후 엑셀 파일 변환까지 소요되는 시간을 시스템 로그를 통해 측정하고 측정 오차 표시를 바람직하게 계산하는지 확인함

(나) 시험 결과

- 개별 장비 측정값 표시 확인을 위해 7차 성능평가 시험 2016년 02월 25일 ~ 26일의 주행 시험에서 조회 소프트웨어의 표출 소요 시간을 측정함
- 7차 성능평가 시험 2016년 02월 25일 ~ 26일의 주행 시험 샘플 수는 피에조 타입 1차로 40회, 2차로 40회임
- 총 주행 320회에 대한 데이터와 json에 포함된 데이터 필드를 계산하면 18,560개 데이터 조회
- 위의 데이터의 장비 중량 오차를 포함한 엑셀 보고서 변환에 걸리는 시간 측정 결과 모

두 만족

- 중량 오차 계산 오류 및 변환 필드에 누락 오류 없음

(다) 성과 목표 달성

- 양적 성과 점검 결과: 만족

[표 3.59] 데이터 로깅 장치 양적 성과 점검 결과

구분		기타	소프트웨어
성과 목표	기준	데이터 로깅 장치	등록
	결과	 여 주 시 험 도로 계측실 컨 네이너 설 치운용 만족	 한국저작권위원회 프로그램등록 "고속 무인 과적단속 장비의 데이터 로깅 소프트웨어" 제C-2016-003127호 만족

- 질적 성과 점검 결과: 만족

[표 3.60] 데이터 로깅 장치 질적 성과 점검 결과

구분		개별 장비 측정값 표시		장비 중량 오차 표시
		피에조 타입	벤딩플레이트 타입	보고서 변환
시험결과		2초 이내	2초 이내	2초 이내
성과목표	기준	10초 이내	10초 이내	10초 이내
	결과	만족	만족	만족

3.5 고속 무인 과적단속 시스템 교정 장비

가. 동하중 모니터링 시스템

(1) 개요

(가) 목적

- 고속 무인 과적단속 시스템의 교정을 위해서 개발된 기준 중량 측정 차량의 추가적인 정보 수집을 위해서, 자중계 시스템의 중량 정보와 타이어 공기압과 분동 거치대의 기울기를 이용하는 동적 하중 모니터링 시스템 개발을 목표로 함
- 본 동적 하중 모니터링 시스템은 주행 시험 전 주변 조건이 이상적인 상태임을 파악할 수 있고, 주행 중 축 분배 양상을 파악하여 기준 중량 차량의 동적 중량 정보를 모니터링 할 수 있는 시스템임

- 본 시스템은 하중이 설정된 후 정적인 상태에서의 개별 축하중을 측정하고, 설정된 개별 축하중이 시험 수행 중 동적거동에 의해 하중의 분포가 변화되는지 여부를 확인하여 시험의 소급성을 높이고 중량 설정에 영향을 주는 인자를 관리하고자 함에 그 목적이 있음
- 개발된 시스템 교정 장비는 기준 중량 측정차량의 운행 중 중량정보 및 차체정보, 위치 정보 등을 측정함으로써 고속 무인 과적단속 시스템의 평가 과정의 적정성 여부 판단과 기존 과적단속 시스템들의 수시 점검 등에 활용이 가능함

(나) 동작

- 가장 기본이 되는 자중계 시스템은 차량의 판스프링에 센서를 부착하여 고유의 알고리즘을 통해서 축하중 무게를 측정하며 동적하중 모니터링 시스템에 실시간으로 저장됨
- 타이어 공기압은 상용 TPMS 센서를 타이어의 외부 노즐에 장착하여 압력을 측정하도록 하였으며, 주행시험 전의 공차 상태에서의 타이어 압력과 만차 상태의 타이어 압력, 주행 후 타이어 압력을 비교하는 방식으로 시험을 진행
- 분동거치대 기울기는 차량의 프레임 부에 경사측정 센서를 설치하여 중량 상차 전후의 기울기를 비교하여 시험의 영향요소를 검토하는 요소임
- 정상적으로 적재한 경우의 시험 결과와 무게중심이 한쪽으로 쏠릴 경우를 산정하여 기준 중량 추를 배치한 후 주행시험을 실시한 결과를 비교하는 방식으로 시험을 진행함

(2) 동적 하중 모니터링 시스템 구성

(가) 장착 차량

- 장착 차량은 자중계가 설치 가능한 1단위 5축 카고 차량으로 여주 시험도로에서 수행하는 성능 평가 시험의 임차 차량으로 선정함
- 본 차량은 모두 판스프링의 현가장치를 가지고 있어, 동하중 모니터링을 위한 스트레인 게이지 장착이 용이하고, 1,2축은 단일축, 3,4축은 텐덤축으로 구성되어 축 구조 별 동적하중 거동을 파악하기 용이한 장점이 있음
- 반면, 5축 카고 차량의 특성 상 차량 하부 구조에 푸셔 액슬 등과 같은 유압 장치와 설치된 자중계 배선으로 인해 동하중 모니터링 시스템 설치를 위한 추가 배선 작업 공간이 부족한 단점이 있음

[표 3.61] 동하중 모니터링 시스템 장착 차량 제원

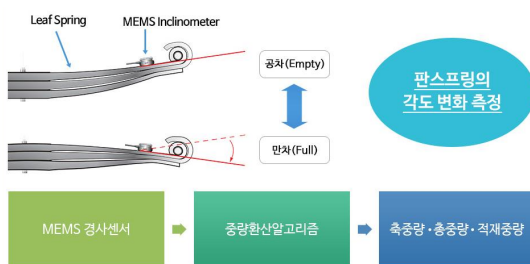
차종	모델	차종	측면그림		차축배열
4축 카고	현대 트라고 골드	6종 중형화물차			
1-2 축거	2-3 축거	3-4 축거	전축거	전단오버행	후단오버행
[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
2000	4930	1390	8320	1560	2790
1축 윤거	2축 윤거	3축 윤거	4축 윤거	적재함길이	적재함폭
[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
2080	2080	1800	1800	10100	2300
1축 바퀴폭	2축 바퀴폭	3축 바퀴폭	4축 바퀴폭	5축 바퀴폭	6축 바퀴폭
[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]

290	290	630(270*2)	630(270*2)	-	-
1축 축구조	2축 축구조	3축 축구조	4축 축구조	5축 축구조	6축 축구조
[descp]	[descp]	[descp]	[descp]	[descp]	[descp]
Leaf spring	Leaf spring	Tandem Leaf	Tandem Leaf	-	-



(나) 자중계 시스템

- 운전자가 자기 차량의 무게를 정확히 확인하는 방법은 트럭스케일이라는 트럭용 저울에 차량의 전체 또는 축을 올려 무게를 측정하는 방법이 있음
- 그러나, 트럭스케일은 그 설치장소의 수가 적기 때문에, 운전자가 트럭에 짐을 싣고 트럭스케일이 있는 곳까지 운행하는 시간과 비용이 문제가 되며, 트럭스케일까지의 운행경로 상에서 과적에 적발될 경우도 있기 때문에, 운전자는 짐을 싣고 바로 무게를 확인하는 것을 더욱 선호하며 이러한 기능을 구현한 것이 온보드스케일(Onboard Scale, Onboard Truck Scale, 자중계)임. 온보드스케일(Onboard Scale)은 화물차량의 차체 또는 현가장치 등 주요 차량 구조부에 센서를 부착하여, 총중량 및 축하중 또는 적재중량을 측정하며, 화물 적재 시 운전석에서 실시간으로 중량을 확인할 수 있도록 함
- (주)유디코에서는 판스프링의 변화량을 측정하는 새로운 방식의 제품을 개발하여 축하중을 $\pm 3\sim 5\%$ 정도의 오차로 정확하게 측정할 수 있는 ‘로드로드(RoadLoad)’라는 자중계 제품을 출시, 이를 동적 하중 모니터링 시스템의 보조 측정 자료로 활용함



[그림 3.72] 자중계 중량측정원리



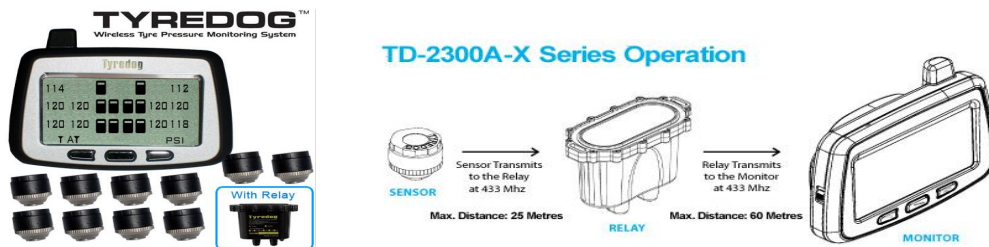
[그림 3.73] 자중계(로드로드) 구성

(다) 타이어 압력 측정

- 기준 중량 차량의 시험 진행 과정에서 타이어 압력의 변화가 미칠 수 있는 영향을 분석하기 위해서 다양한 타이어 압력 측정 방식을 조사함
- 일반 차량의 타이어 압력 측정은 TPMS(Tire Pressure Monitoring System)으로 이뤄지며, 화물차를 대상으로 하는 경우에는 타이어 수가 상대적으로 많기 때문에 중계기 등의 추가 장치가 필요함
- 이러한 시스템을 개발하여 고비용 저효율의 시험을 실시하는 것은 큰 실효성이 없으므로 상용 TPMS 센서를 사용하는 방식이 비용대비 최적의 효과를 얻을 수 있을 것으로 판단

합

- TPMS에 사용되는 무선 압력 측정 센서는 외부에 노출되어 있는 타이어 노즐부에 부착하는 방식과 휠 내측 림(RIM)에 메탈밴드로 부착하는 방식으로 분류됨
- 타이어 내부에 부착하는 방식은 화물차 타이어에는 사용하지 못하기 때문에, 본 과제에서는 타이어 외부 노즐부에 부착하는 방식의 TPMS 센서들을 조사하여, 다음과 같은 스펙을 가지고 있는 TYREDOG사의 TD-2000A-X를 최적 제품으로 선정함
- TYREDOG TD-2000A-X 모델은 버스/트럭/트레일러 등 대형 공공차량 및 화물차량 전용 TPMS 제품임
- DIY 설치가 가능, 센서는 타이어 공기압을 최대 180PSI까지 매 3PSI 단위로, 온도변화를 실시간으로 측정함
- 최대 34개 센서까지 연결 가능하기 때문에 다축 화물차량에 적용할 수 있음



[그림 3.74] 타이어압력 측정시스템구성 (TYREDOG™ TD-2000A-X)

[표 3.62] TPMS 파트별 스펙

	Receiver	Relay/Repeater	Sensor
작동 온도	-20 ~ 70°C	-40 ~ 80°C	-40 ~ 125°C
작동 전압	2 ~ 30V DC	•12 ~ 30V DC or 배터리 •배터리전압: 3V •배터리수명: 약 1년 •배터리타입: AA1.5V ×4	•배터리: CR1632 (3V) •수명: 약 1년
무선 특성	•주파수: 433 MHz •전송거리: 약 25m •리시버감도: -112dBm	•주파수: 433 MHz •전송거리: 약 60m	•주파수: 433 MHz •전송거리: 약 25m
내구 특성	•진동: 3.5mm 5-200 Hz		•충격: >1000G (1.5m) •진동: 10mm 5~200Hz
주요 특성	•Sensor pressure range: 0~180 psi •Sensor pressure sensitivity: ± 3 psi •Sensor temperature sensitivity: ±2 °C • FCC Comply with part 15,Class B • CE •Multiple Trailer Add-On Kits 지원 •C Tick •4~34 타이어 모니터 가능 •메인 키트 10 Sensors 사용 가능 •그래픽 유저 인터페이스 제공 •압력 측정 (PSI, KPA, BAR or KgCM) 및 온도 측정 (°C or °F) •측정거리 확장을 위한 릴레이 / 리피터 모듈 •쉬운 설치, 높은 정확도 •타이어 수명 연장, 연료 소모 절감 효과, 타이어 펑크 감지		

(라) 분동거치대 기울기 측정

- 차량의 기울기 측정은 기준 중량 추를 적재하면서 차량의 중심이 변화하여 시험 결과에 영향을 미칠 수 있는지를 판단하기 위한 시험요소임
- 차량 프레임 주요부위에 경사측정센서를 부착하여 시험을 진행함
- 정상적으로 적재한 경우의 시험 결과와 무게중심이 한쪽으로 쏠릴 경우를 산정하여 기준 중량 추를 배치한 후 주행시험을 실시한 결과를 비교하는 방식으로 시험을 진행함

(3) 동적 가속도계를 이용한 동적하중 측정

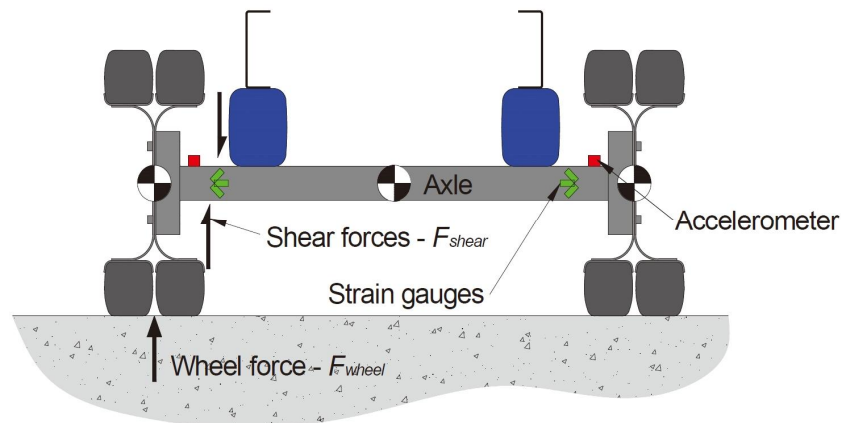
- 기준 중량 차량의 공인 시험 중량을 정적 상태에서 측정하였다 하더라도, 실제 주행 시험에서 고속충돌기 위를 지나가는 순간에 센서에 가해지는 축하중은 동적가속도의 영향에 의해 정적상태의 중량과는 다른 영향을 줄 수 있음
- 동적 가속도를 고려한 주행시험 관련 연구동향을 살펴보면, 승용차의 경우 Wheel force transducer (WFT)를 장착하여 동적하중을 X,Y,Z 방향으로 측정 분석하고 있음
- 트럭의 경우 적용가능한 WFT를 구비하기 쉽지 않기 때문에 트럭 트레일러 형태의 다축 차량에 대한 WFT 시험을 찾기 쉽지 않음
- 동적하중의 영향에 대한 연구는 2009년 호주의 State of Queensland (Department of Main Roads) 와 Queensland University of Technology 공동으로 연구한 Lloyd Davis의 'Suspension testing of 3 heavy vehicles - dynamic wheel force analysis Report'에서 자세히 살펴볼 수 있음
- 이 보고서에서는 차량의 동적 축하중을 다음과 같이 정의함

$$F_{Wheel} = F_{Shear} + m \times a$$

a = acceleration experienced by the mass outboard of the strain gauge

m = mass outboard of the strain gauge

F_{Shear} = shear force on the axle at the strain gauge



[그림 3.75] 동적 하중 측정 개념

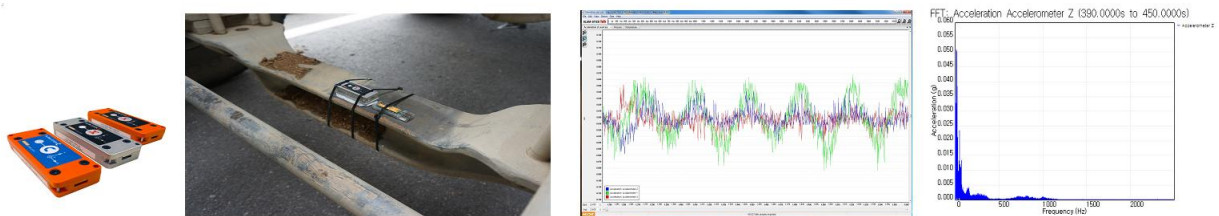
- 본 연구에서는 Lloyd Davis의 보고서에서와 같이 동적가속도와 축에 부착한 스트레인 게

이지를 통해서 정적하중과 동적하중의 관계를 보정하려는 시도에서 착안하여 기초 시험을 진행함

- 이를 위한 가속도 센서 부착, 스트레인게이지 부착, 동적하중로거 연계 프로그램 개발 등의 단계로 연구 개발을 진행함

(가) 휴대용 가속도계 로거를 이용한 예비 실험

- 화물차량의 주행 중 가속도 데이터의 양상을 파악하기 위해서 휴대용 가속도계를 차축에 부착하여 주행 가속도 데이터를 측정하는 예비 실험을 진행함
- MIDE Technology사의 Slam Stick X는 DC응답의 MEMS 가속도계이며, 20kHz까지 측정가능하고 4G의 계측데이터를 자체 저장이 가능함
- 충전배터리로 동작하며 12시간정도 사용 가능하고 온도와 압력도 같이 측정할 수 있고 자체 데이터 분석 프로그램을 제공됨



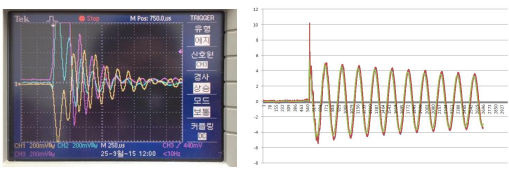
[그림 3.76] 휴대용 가속도계 로거 Slam Stick X(좌)와 주행 데이터 FFT 분석 결과(우)

- 휴대용 가속도계 로거를 이용한 예비시험을 실시한 결과 다음과 같은 가속도 그래프를 얻었고, 주행 구간 일부 데이터를 FFT 분석한 결과 확인함

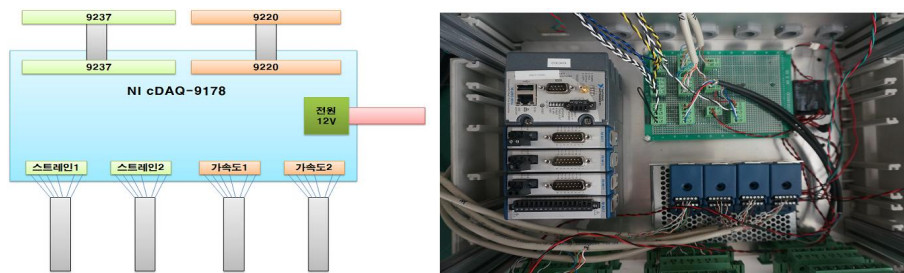
(나) 고정밀 가속도계 및 스트레인게이지를 이용한 동적하중로거 개발

- 가속도계 및 스트레인게이지를 이용한 동적하중에 대한 연구결과 분석과 휴대용 가속도계 로거를 이용한 예비 시험 결과를 바탕으로 실제 주행시험에 적용할 동적 하중로거의 개발을 진행함

[표 3.63] PCB社の 3713B1150G 스펙

3713B1150G	Specification	 PCB社の 3713B1150G 사진
Sensitivity	40mV/g	
Measurement Range	± 50g	
Temperature Range	-54 ~ 121 °C	
Excitation Voltage	6 ~ 30V DC	 가속도계 예비 시험 결과
Current Consumption	< 6mA	
Output Impedance	100Ω	
Housing Material	Titanium	
Size	20.3×20.3×20.3mm	
Weight	17.3g	

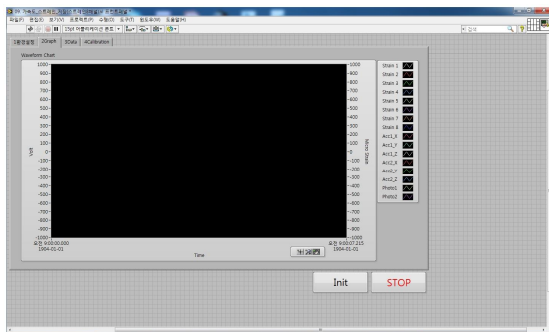
- 고정밀 가속도계의 현장 사용을 위해서 신호케이블 연장에 따른 신호 왜곡 여부를 확인 하기 위해서 실내 예비시험을 다음과 같이 실시함
- 화물차에 설치할 때 사용될 케이블(Belden 사의 1533R Multi-Conductor-Category 5e Nonbonded-Pair Cable (4 Twisted Pair)) 연장이 신호에는 큰 영향이 없는 것으로 확인
- 가속도계 및 스트레인게이지의 동적 데이터 수집은 National Instruments사의 cDAQ-9178 및 NI 9237, NI 9220을 이용하여 진행함
- NI DAQ를 이용한 동적 하중로거 하드웨어 개발 완료 후 데이터 수집을 위한 Labview 소프트웨어 개발을 진행하였으며, 소프트웨어 화면은 아래와 같음



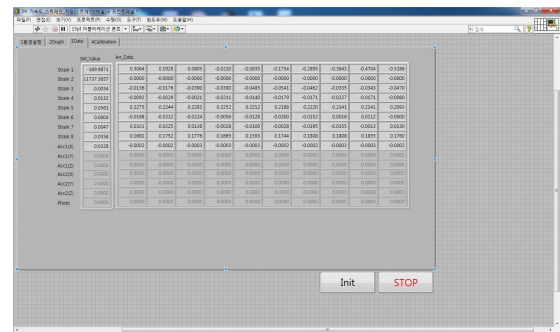
[그림 3.77] 동적 하중 측정용 데이터 로거 구성

[표 3.64] NI사의 cDAQ-9178, 9237, 9220 스펙

DAQ 로거	NI cDAQ-9178			
슬롯 수	8 개			
전원	9 ~ 30 V , 15W			
Size채널 수	254 x 88 x 59 mm			
연결 방식	USB			
전원 커넥터	mini-combicon power connector 3.5mm			
신호 연장	USB 리피터 : 10m, 20m, 전원: 5V, 2A			
측정 모듈	NI 9237		NI 9220	
측정 타입	Strain/bridge sensor		Voltage (Differential)	
채널 수/분해능	4 / 24bit		16 / 16bit	
범위	±25mV/V, 쿼터/하프/풀		±10V, 최대 100ks/s/ch	



(a) 그래프 화면



(b) 데이터 조회 화면

[그림 3.78] 동적 하중 로거 소프트웨어 화면 구성

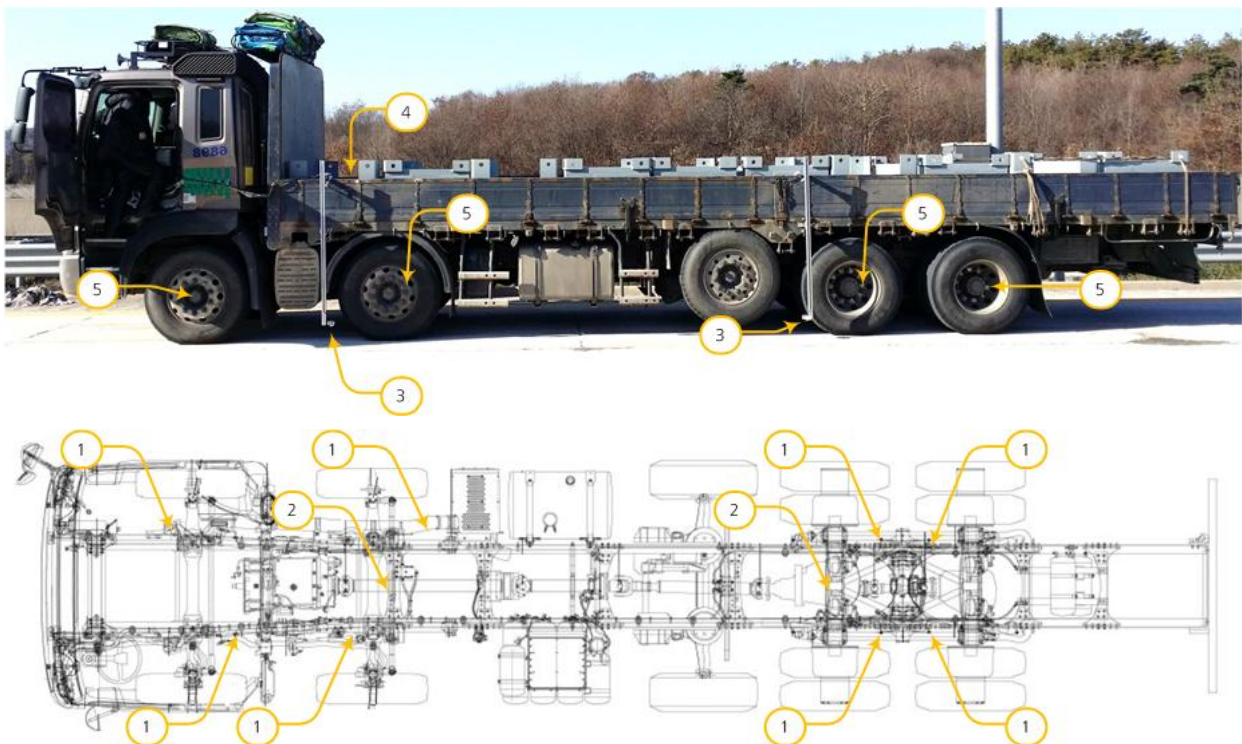
(4) 동적 하중 모니터링 시스템 설치

(가) 설치 개요

- 동적 하중 모니터링 시스템으로 실차에 설치된 장비 구성은 아래와 같음

[표 3.65] 동하중 모니터링 시스템 장비 구성

	장비	수량	타입	설치지점	측정목적
1	스트레인 게이지	32ea	동적	폴브릿지 타입으로 구성하여 각 바퀴의 현가장치인 Leaf 스프링에 부착	공차 만차 시 스트레인-중량 칼리브레이션을 통한 하중 환산, 각 바퀴별 동적 하중 데이터 취득
2	가속도계	4ea	동적	3축 가속도계를 축 프레임에 장착	Z 방향 가속도를 측정하여 동하중 파형 및 위상 비교, 충격 지점 파악
3	포토센서	2ea	동적	차량의 2축과 3축 측면에 거치암을 고정 후 하단 설치	도로위 반사 테잎 부착 지점 트리거 취득, 동하중 변화와 수렴거리 파악
4	동적로거	1set	동적	첫 번째 분동 상단에 휴대용 전원공급 장치와 함께 고정	Strain gauge, Accelerator, Photo sensor의 동적 데이터 동기화 취득
5	TPMS센서	8ea	정적	각 바퀴의 에어유입구에 장착	시험 전 후 공기압 변화 파악
6	자중계	1set	정적	설치된 자중계 (로드로드 R2 제품)	GPS 신호를 수신하여 위치와 속도 및 자중계 측정 정하중 데이터 수집



[그림 3.79] 동하중 모니터링 시스템 장비 설치 구성도

(나) 설치 사진

o 동하중 모니터링 시스템의 설치 과정은 아래 사진과 같음



1. 스트레인 게이지 부착



2. 가속도계 부착



3. TPMS 장착 고정



4. TPMS 신호 확인 및 초기값 기록



5. 포토센서 거치암 고정 및 배선



6. 포토센서 수평 조절 및 동작 확인



7. 도로 반사 테잎 부착(10m 간격)



8. 자중계 데이터 업로드 확인



9. 자중계 및 로거 배선 연결



10. 센서 동작 확인

[그림 3.80] 동하중 모니터링 시스템 설치 사진

(5) 현장 성능 시험

(가) 시험 내용

① 시험 목적

- 동적 하중 모니터링 시스템 장착 차량의 현장 주행시험 수행
- 성과점검기준표 상의 성능목표(총중량 오차 $\pm 5\%$, 축하중 오차 $\pm 3\%$) 달성여부 확인
- 차선별, 주행 속도별 동하중을 측정하고 정하중과 비교
- 정상 구간과 충격 구간, 단일축과 조합축간의 동하중 비교

② 시험 일정

- 시험날짜: 2016년 05월 02일 월요일 ~ 2016년 05월 03일 화요일
- 시험장소: 중부내륙고속도로 내 여주시험도로 고속 WIM 설치 현장 (여주시 가남면)

③ 시험 항목

[표 3.66] 동하중 모니터링 시험 설정 중량

분동적재	분동수량	총중량	1축하중	2축하중	3축하중	4축하중
스틸 분동	3톤 6개, 1톤 4개	40450kg	7250kg	8550kg	12350kg	12300kg

[표 3.67] 동하중 모니터링 시험 주행 속도

날짜	시간	차로	주행횟수(속도별)								
			10km/h	20km/h	30km/h	40km/h	50km/h	60km/h	70km/h	80km/h	90km/h
1일차	09:00	1차로	1회	1회	1회	1회	1회	1회	1회	1회	1회
	~18:00	2차로	1회	1회	1회	1회	1회	1회	1회	1회	1회
총 주행 횟수			18회 = 9회(주행횟수) × 2(차선)								

(나) 시험 결과

① 칼리브레이션

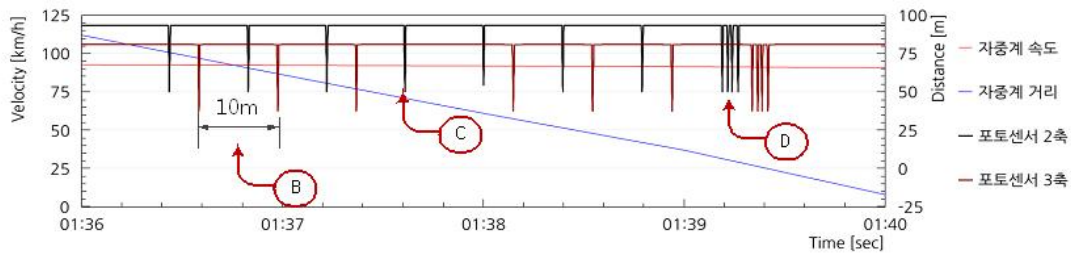
- 스트레인게이지로 측정된 변형률을 공차와 만차 중량과 비교하여 1차식으로 추세하여 변형률-중량 환산식을 적용
- 추세한 환산식은 스트레인게이지가 설치된 좌/우륵에 따라 각각 환산식을 적용하여 칼리브레이션 수행

[표 3.68] 동하중 모니터링 시스템 칼리브레이션 결과

구분		1축		2축		3축		4축	
		좌륵	우륵	좌륵	우륵	좌륵	우륵	좌륵	우륵
기준중량 [kg]	공차	2000	1950	1850	2150	1700	1700	1800	1550
	만차	3600	3650	4100	4450	6200	6150	6400	5900
	차이	1600	1700	2250	2300	4500	4450	4600	4350
신호출력 [μV/V]	공차	296.9	-206.0	-130.4	363.2	-224.0	43.1	-423.1	-469.0
	만차	-266.1	-876.9	-1046.0	-632.2	-1517.1	-1369.3	-1779.0	-1805.8
	차이	-563.1	-670.9	-915.6	-995.4	-1293.1	-1412.5	-1356.0	-1336.8
환산식 [kgV/V]	팩터	-2.8415	-2.5338	-2.4575	-2.3106	-3.4799	-3.1505	-3.3923	-3.2539
	옴셋	2843.78	1428.10	1529.53	2989.28	920.43	1835.88	364.82	23.94

② 주행 속도와 주행 거리

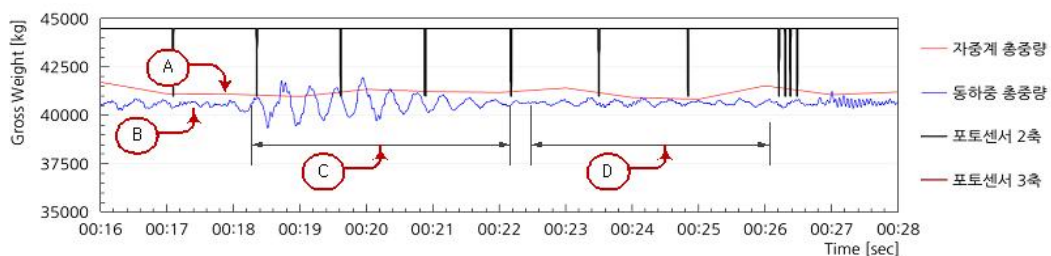
- o A. 속도는 자중계의 GPS로부터 수신된 위치로 계산하였으며, 포토센서 트리거 구간 내에서는 등속을 유지하는 것을 확인
- o B. 포토센서는 반사테일이 설치된 구간에서 트리거를 발생 시키며 구간의 간격은 10m로 등속 주행을 하면 그래프 간격이 일정하게 유지
- o C. 포토센서의 4번째 트리거 구간에 피에조 타입 고속 WIM 위치
- o D. 포토센서의 마지막 트리거 구간에 벤딩플레이트 타입 고속 WIM 위치



[그림 3.81] 주행 속도와 주행 거리 그래프

③ 자중계 총중량과 동하중 총중량, 충격/정상 구간

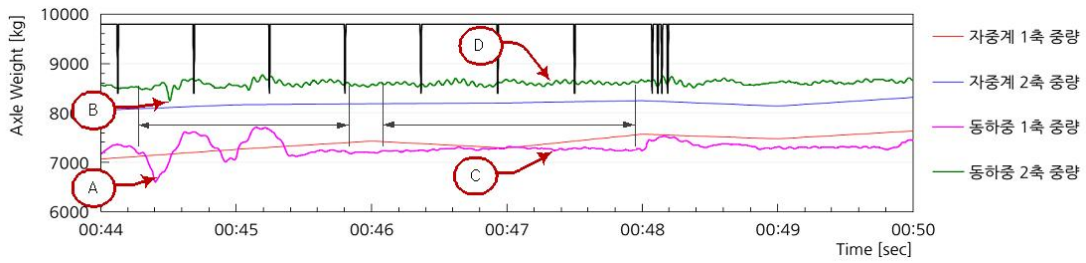
- o A. 자중계 총중량은 1Hz로 수신된 정적 데이터로 동적 로거와 동기화하여 수신
- o B. 동하중 총중량은 1kHz로 스트레인게이지로부터 수신된 변형률을 칼리브레이션을 거쳐 동하중으로 변환된 결과값
- o C. 포토센서의 첫 번째와 두 번째 트리거 사이 도로 평탄도에 문제가 있는 부분 주행 시 오실레이션 발생 구간을 충격 구간으로 정의
- o D. 충격 구간의 파형이 정상 파형의 진폭으로 수렴한 후의 구간을 정상 구간으로 정의



[그림 3.82] 자중계 총중량과 동하중 총중량, 충격/정상 구간 그래프

④ 자중계 단일 축하중과 동하중 단일 축하중

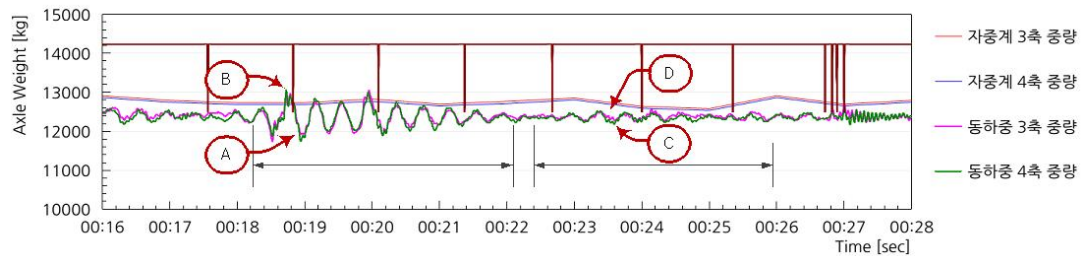
- o A. 충격 구간을 지날 때 동하중 1축하중 변화
- o B. 충격 구간을 지날 때 동하중 2축하중 변화
- o C. 정상 구간을 지날 때 동하중 1축하중 변화
- o D. 정상 구간을 지날 때 동하중 2축하중 변화



[그림 3.83] 자중계 단일 축하중과 동하중 단일 축하중 그래프

⑤ 자중계 조합 축하중과 동하중 조합 축하중

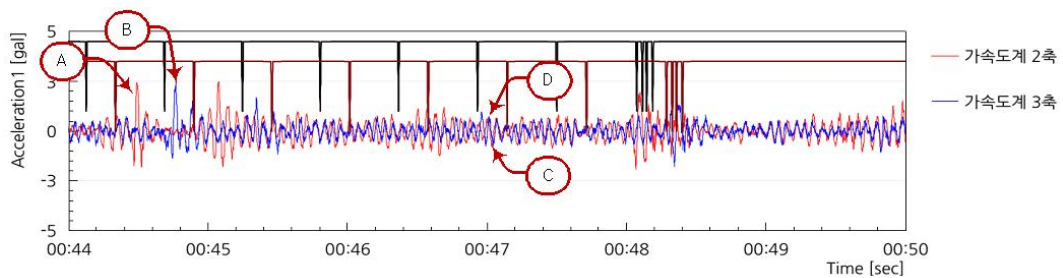
- o A. 충격 구간을 지날 때 동하중 3축하중 변화
- o B. 충격 구간을 지날 때 동하중 4축하중 변화
- o C. 정상 구간을 지날 때 동하중 3축하중 변화
- o D. 정상 구간을 지날 때 동하중 4축하중 변화



[그림 3.84] 자중계 조합 축하중과 동하중 조합 축하중 그래프

⑥ 가속도계

- o A. 충격 구간을 지날 때 2축(단일축) 가속도 측정값 변화
- o B. 충격 구간을 지날 때 3축(조합축) 가속도 측정값 변화
- o C. 정상 구간을 지날 때 2축(단일축) 가속도 측정값 변화
- o D. 정상 구간을 지날 때 3축(조합축) 가속도 측정값 변화

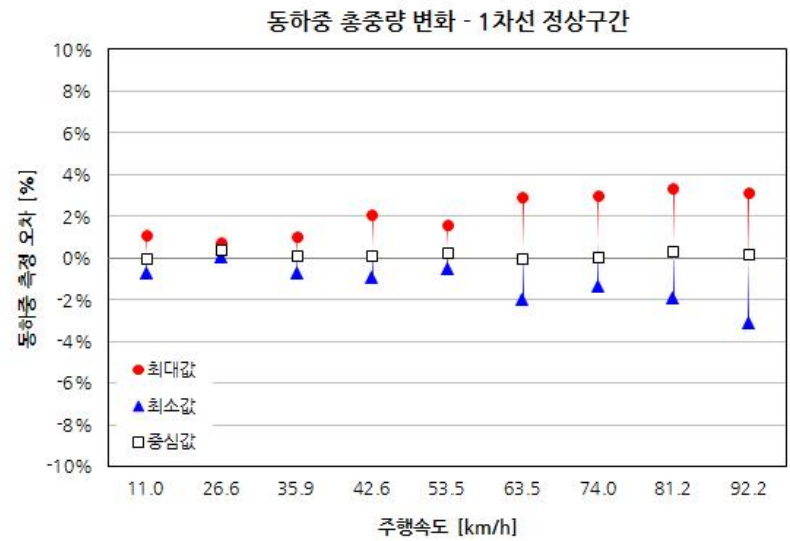


[그림 3.85] 가속도계 그래프

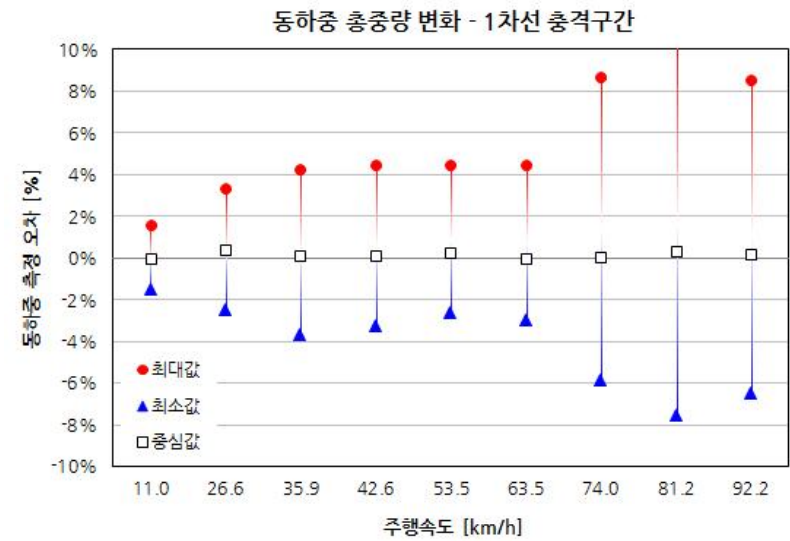
⑦ 가속도 및 자중계 중량 측정 분석 결과

- o 시험 분석은 가속도 및 자중계 중량 측정 분석, 동적 총중량 측정 분석, 동적 축하중 측정 분석 결과로 나누어 진행
- o 자세한 내용은 첨부목록의 “현장성능시험서-동하중모니터링시험” 내용 참조

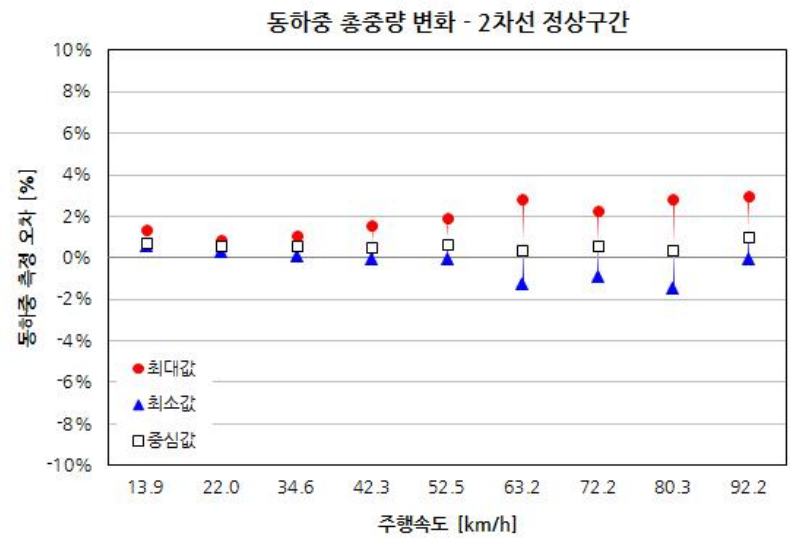
⑧ 총중량 동하중 그래프



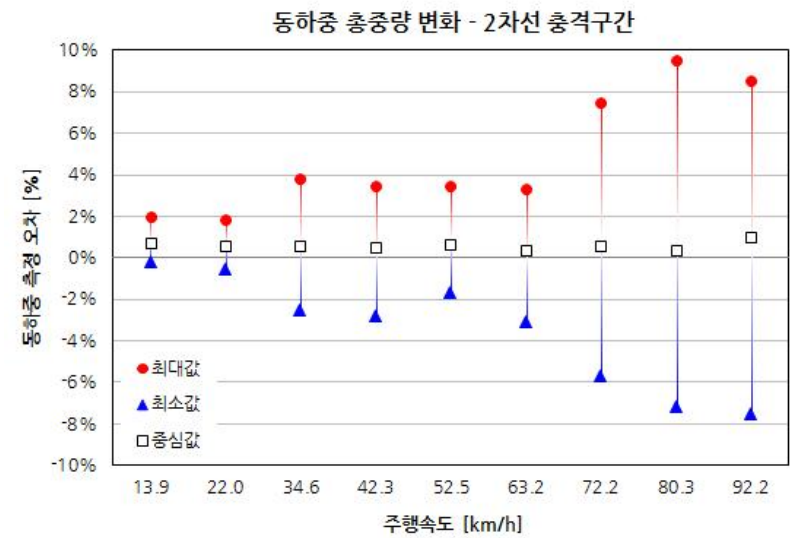
[그림 3.86] 동하중 총중량 변화 - 1차로 정상구간



[그림 3.87] 동하중 총중량 변화 - 1차로 충격구간

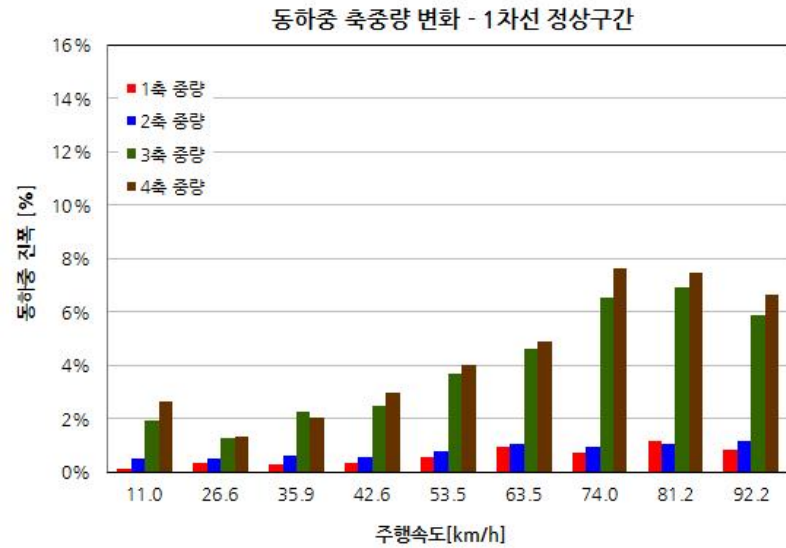


[그림 3.88] 동하중 총중량 변화 - 2차로 정상구간

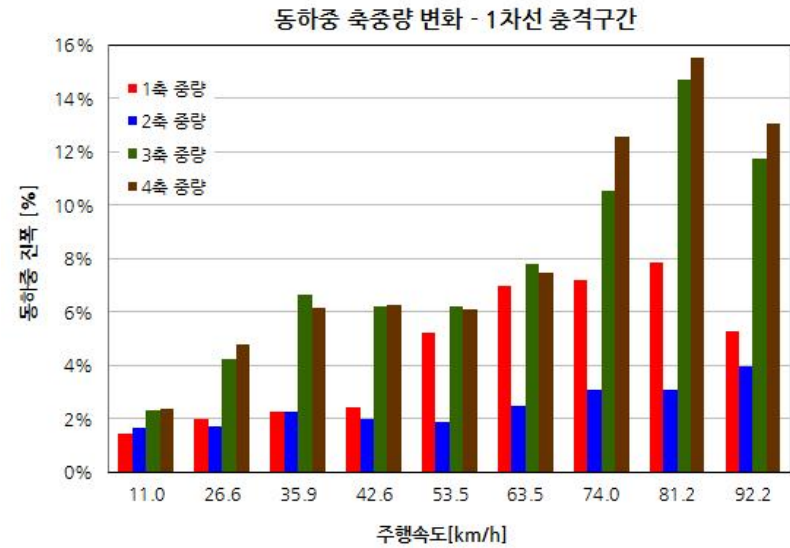


[그림 3.89] 동하중 총중량 변화 - 2차로 충격구간

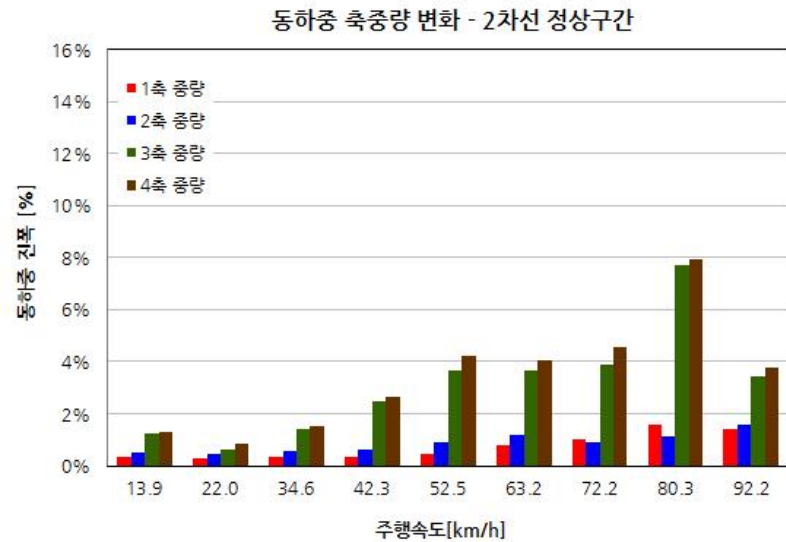
⑨ 축하중 동하중 그래프



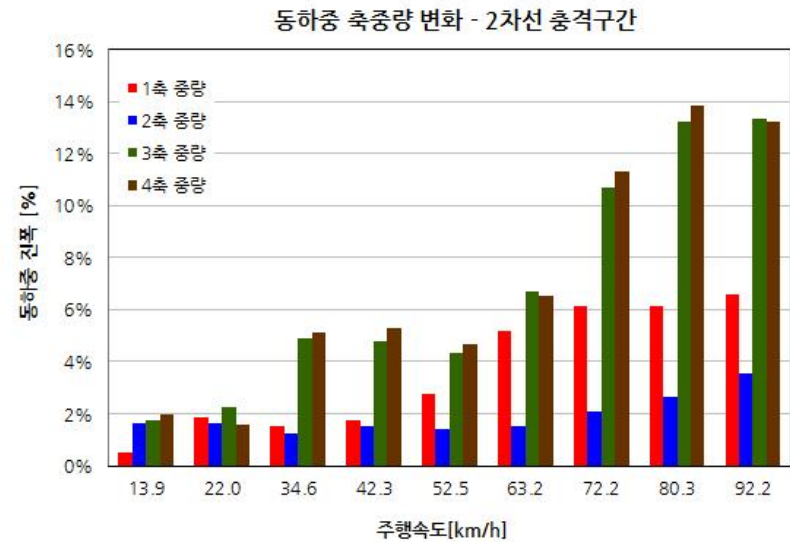
[그림 3.90] 동하중 축하중 변화 - 1차로 정상구간



[그림 3.91] 동하중 축하중 변화 - 1차로 충격구간



[그림 3.92] 동하중 축하중 변화 - 2차로 정상구간



[그림 3.93] 동하중 축하중 변화 - 2차로 충격구간

(3) 시험 결론

① 최종 성과 점검 결과

- 센서 모듈과 인디케이터

[표 3.69] 센서 모듈과 인디케이터 질적 성과 점검 결과

구분	센서모듈		인디케이터
	타이어공기압오차	분동 거치대 기울기	중량표시 주기
시험결과	<±5%(F.S)	<±2%(F.S)	1초
성과목표	기준 결과	±5%(F.S)	5초 이내
	만족	만족	만족

- 동적 하중 모니터링 시스템

[표 3.70] 동하중 모니터링 시스템 질적 성과 점검 결과

구분		자중계오차	동하중오차				
		총중량	총중량	1축하중	2축하중	3축하중	4축하중
시험결과	1차로	<3.7%	<0.4%	<1.3%	<1.1%	<0.5%	<0.6%
	2차로	<3.2%	<1.0%	<2.2%	<1.7%	<0.5%	<0.8%
성과목표	기준 결과	총중량 ±5% 이내		축하중 ±3% 이내			
		만족		만족			

② 속도에 따른 차량 동적 하중 오차

- 동적 총중량과 동적 축하중의 중심값은 속도에 따른 변화 없이 항상 오차 1.0% 이하로 유지되나 속도가 높아짐에 따라 동적 하중의 진폭 변화가 크게 발생
- 이 경우, 발생하는 중량 진폭 변화는 2.4~5.8Hz의 주파수를 지님
- 저속(11.0~35.9km/h)으로 주행하는 경우, 정상구간에서는 동적 총중량은 1.1%를, 축하중은 단일축 1.3%, 조합축 3.1%의 최대 오차를 초래
- 중속(42.6~63.5km/h)으로 주행하는 경우, 정상구간에서는 동적 총중량은 2.9%, 축하중은 단일축 2.0%, 조합축 5.1%의 최대 오차를 초래
- 고속(74.0~92.2km/h)으로 주행하는 경우, 정상구간에서는 동적 총중량은 3.4%, 축하중은 단일축 2.5%, 조합축 9.4%의 최대 오차를 초래
- 단일축에 비해 조합축에서 진폭 변화는 약 5.8배로 크게 발생

③ 노면 평탄도에 따른 차량 동적 하중 오차

- 급격한 평탄도 변화로 인해 주행 중인 차량에 충격이 가해 질 경우, 동하중의 중심값은 유지되나 동적 중량의 진폭 변화에 순간적으로 영향을 미침
- 충격구간에서는 정상구간에 비해 동적 총중량 진폭 변화가 1.5~8.3배 초래
- 충격구간에서는 정상구간에 비해 동적 1축하중 진폭 변화가 6.4~12.1배 초래
- 충격구간에서는 정상구간에 비해 동적 2축하중 진폭 변화가 2.4~3.8배 초래
- 충격구간에서는 정상구간에 비해 동적 3축하중 진폭 변화가 1.2~3.3배 초래
- 충격구간에서는 정상구간에 비해 동적 4축하중 진폭 변화가 0.9~3.6배 초래

- 이 경우 동적 중량 주파수는 변하지 않고 2.4~5.8Hz의 주파수를 유지하고, 가속도 변화는 속도 92.2km/h에서 1.9gal 까지 발생
- 이 경우 동적 중량 진폭 변화는 최대 30m를 주행한 후에 정상 상태의 진폭으로 수렴

나. 수시 교정 활용 방안

(1) 개요

(가) 목적

- 향후 차량 탑재형 자중계 시스템 보급 운영 시, 중량 정보와 위치 정보를 이용하여 고속 무인과적단속시스템의 수시 교정에 활용할 수 있는 안을 제시함.
- 이러한 수시 교정은 주기 교정 기간 내에 다음 주기 교정 전까지 정확도 성능이 유지 되는지 모니터링하기 위하여 교정 관리 기관 혹은 시공 업체 등이 수시로 정확도 편차를 관리
- 정기 정도 검사 주기 및 교정 비용을 절약하기 위해서는 수시 점검을 최대한 활용하여 신뢰성 있는 정기 정도 검사 주기를 산정하는 것이 중요함.
- 수시 교정을 활용하면 차량 탑재형 자중계와 무인 과적단속 장비 간의 상호 교정을 통한 과적 관리 극대화 및 고속·무인 환경에서의 정도측정 및 원격교정 가능하고, 고속축중기 관리에 대한 신뢰성 인프라 제공될 것으로 판단됨.

(나) 동작

- 자중계 시스템을 장착한 차량에 한하여 무인 과적단속 장비가 설치된 지점을 통과 할 경우, 자중계 시스템의 차량정보 및 중량정보를 고속축중기에 제공함으로써 수시 교정에 활용 가능하도록 유도함.
- 만일 수시 점검에서 정확도 성능이 관리기준치 이상 벗어 날 경우, 정기 정도 검사를 시행하여 새로 교정 계수를 산정하는 방법을 사용할 수 있음.
- 수시 교정에 활용될 경우, 고속축중기의 동작 성능 및 정확도 성능 모니터링이 가능함.
- 정기 검사 주기를 넓히는데 활용할 수 있으므로 향후 유지관리 비용 절감 및 도로의 전면 통제 주기 및 횡수의 절감 등 교통 안전성에도 기여할 수 있을 것으로 판단됨.

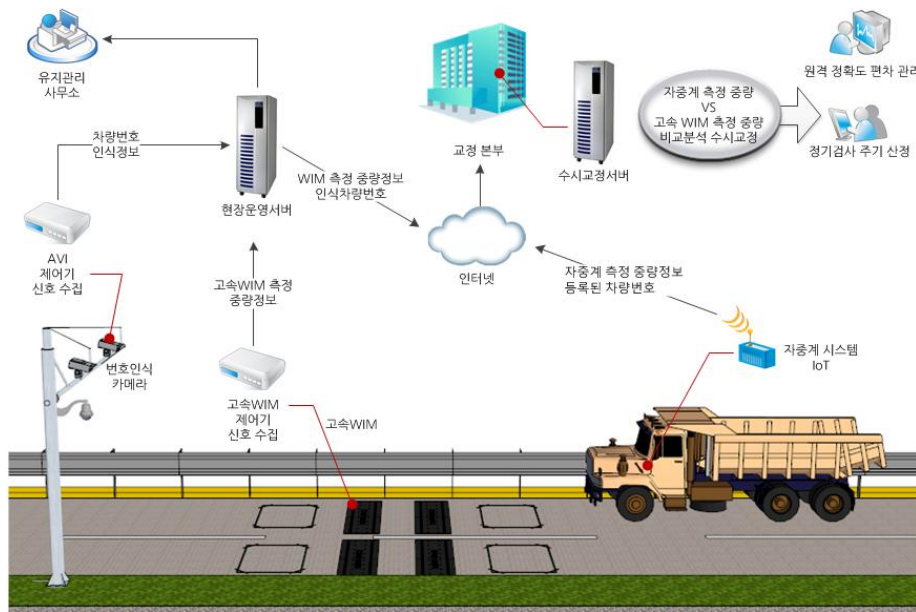
(2) 장비 구성 방안

(가) 수시 교정 시스템안

- 본 과업에서 제안하고자 하는 수시 교정 시스템은 고속 무인 과적단속 장비와 자중계 장착 주행 차량 그리고 단속 장비와 자중계 정보를 모두 수신하고 가공할 수 있는 통합 WIM 서버가 필요함.
- 상세한 수시 교정 시스템의 동작 절차는 아래와 같음.
 - ① 화물 차량에 설치된 자중계 IoT 시스템에서 초기 캘리브레이션 시 등록된 차량 번호와 자중계 센서로 측정된 현재 중량 정보와 주행 중 위치를 확인 할 수 있는 GPS 정보를 인터넷을 통해 수시 교정용 통합 서버로 무선 송신
 - ② 고속 WIM이 설치된 현장에 자중계 장착 차량이 주행하면 AVI 시스템에서 차량 번호를

인식하고 WIM 제어기에서 측정된 중량 정보를 현장 운영 서버에 송신

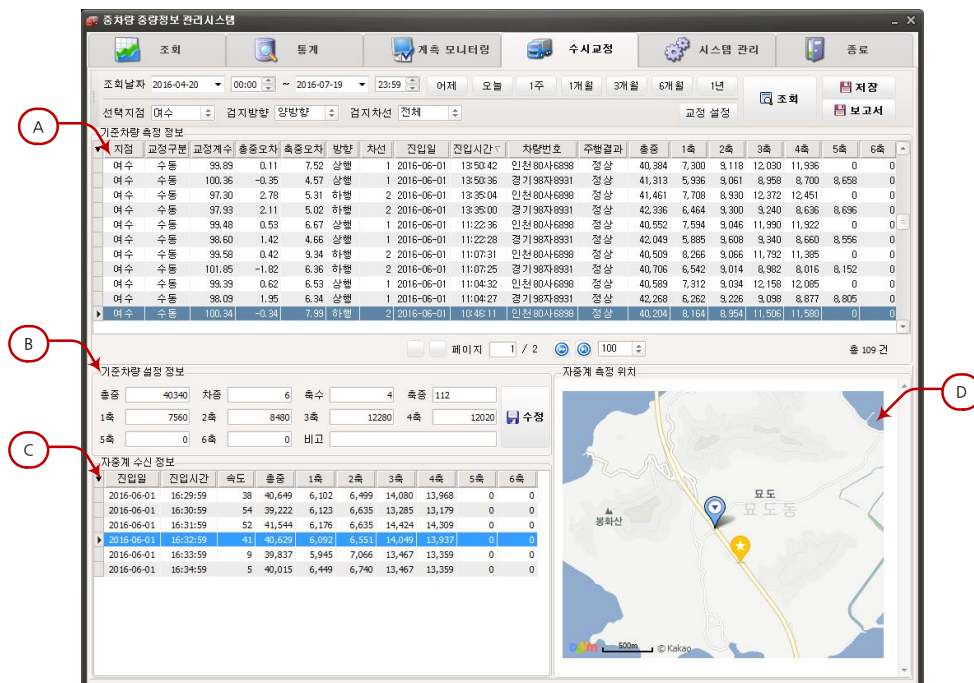
- ③ 현장 운영 서버는 WIM 측정 중량 정보와 인식된 차량 번호를 인터넷을 통해 수시 교정 용 통합 서버로 송신
- ④ 통합 서버는 차량번호로 매칭되는 자중계 측정 중량과 고속 WIM 측정 중량을 비교 분석 하여 오차를 계산하고 정확도 편차를 원격으로 누적 관리하여 수시 교정을 수행
- ⑤ 만일 설정된 일정 경계값 이상 오차가 벌어질 경우, 정기 정도 검사를 통해 주기 교정 작업을 수행



[그림 3.94] 자중계를 이용한 수시 교정 시스템 안

(나) 수시 교정 소프트웨어 예시

① 수시 교정 소프트웨어 메인 UI 화면



○ A. 고속 무인 과적단속 장비 측정 데이터

- 고속 무인과적단속 장비로부터 측정된 정보로 교정 설정에 등록된 기준 차량의 번호가 단속 장비에 수신이 되면 별도로 DB 구조로 관리하여 등록된 차량만 리스트 표시
- 이때 표시되는 정보에는 기준 차량에 설정된 중량정보와 자중계 수신 정보를 이용하여 총중/축중 오차와 수정할 교정계수를 산정하여 표시,
- 만일 총중/축중 오차가 설정값 이상으로 벗어날 경우, 붉은색 하이라이트 표시

○ B. 설정된 기준 중량

- 수시 교정에서 기준 장비를 이용하여 측정된 중량 정보와 자중계로 측정된 중량 정보 중에 어느 것을 기준으로 교정을 수행할 것인가에 따라 수동교정과 자동교정으로 구분
- 이러한 설정은 등록된 차량을 수동교정/자동교정 중 택일 하여 선택할 수 있어야 하며, 이는 교정 설정에서 설정할 수 있도록 구현
- 수동 교정은 중량을 기준 장비로 측정한 차량을 이용하여 시험 주행을 하는 경우, 측정된 기준 중량 값을 설정란에 입력하고 이 정보를 기반으로 오차와 교정계수를 계산
- 자동교정은 기준 장비로 측정하지 않은 자중계 장착 차량이 주행한 경우, 자중계로부터 수신된 중량 정보를 기반으로 오차와 교정계수를 계산

○ C. 자중계 측정 중량, 속도

- 고속 무인 과적단속 장비로부터 해당 기준 차량이 검측된 진입 시간으로부터 전후 60 초 사이에 자중계로부터 수신된 데이터를 이용
- 자동 교정으로 설정된 경우 고속 무인 과적단속 장비의 진입 시간과 가장 근접한 시간에 수신된 자중계 데이터의 중량 정보가 기준 중량으로 자동 설정

○ D. 자중계 측정 차량 위치

- 자동 교정으로 설정된 경우 고속 무인 과적단속 장비의 진입 시간과 가장 근접한 시간의 차량 위치를 지도에 표시
- 이는 자중계 GPS 데이터를 기반으로 맵핑한 결과로, 만일 고속 무인 과적단속 장비와 자중계 사이의 시간 오차가 크게 발생하여 자동으로 설정된 기준 중량 정보가 매칭이 어려운 경우, 지도를 보고 가장 근접한 구간의 자중계 데이터를 기준 중량으로 설정

② 수시 교정 소프트웨어 설정 UI 화면

PSI(Present Serviceability Index), IRI(International Roughness Index) 등이 있으며, 대표적인 평탄성지수는 IRI로서 세계은행에서 국제도로평탄성연구결과로 개발되어 국제적으로 통용 가능한 평탄성지수기준이 수립되었다.

나. 고속 무인 과적단속 시스템 평탄성 기준

- 포장에 설치되는 축중 센서의 신뢰성 제고를 위해서는 고속 무인 과적단속 시스템이 설치되는 구간의 포장상태, 즉 평탄성이 중요한 요소로써, 축하중 측정시스템을 통과하기 위한 진출입부의 포장상태에 대한 국외기준 분석을 통해 국내에 적합한 평탄성 기준을 다음과 같이 마련하였다.
- (1) 시스템 설치구간내의 평탄성지수 IRI=2.0 이하이어야 한다.
- (2) 평탄성지수 IRI=2.0 이하 기준을 만족하지 못할 경우 재포장, 면갈이 등 방법을 적용하여 평탄성 확보를 위한 조치를 취하여야 한다.
- (3) 평탄성지수 측정은 워킹 프로파일미터(Walking Profile Meter)를 이용하여 IRI 값을 기준으로 평가한다.
- (4) 포장의 평탄성 조사는 시스템 설치 전 구간 최소 100m 이상, 설치 후 구간 50m 이상의 구간을 설정하여 측정한다.
- (5) 포장의 평탄성이 기준을 만족하더라도 국부적 단차가 존재할 경우 IRI 평탄성지수와 관계없이 평탄화 작업을 수행하여야 한다.

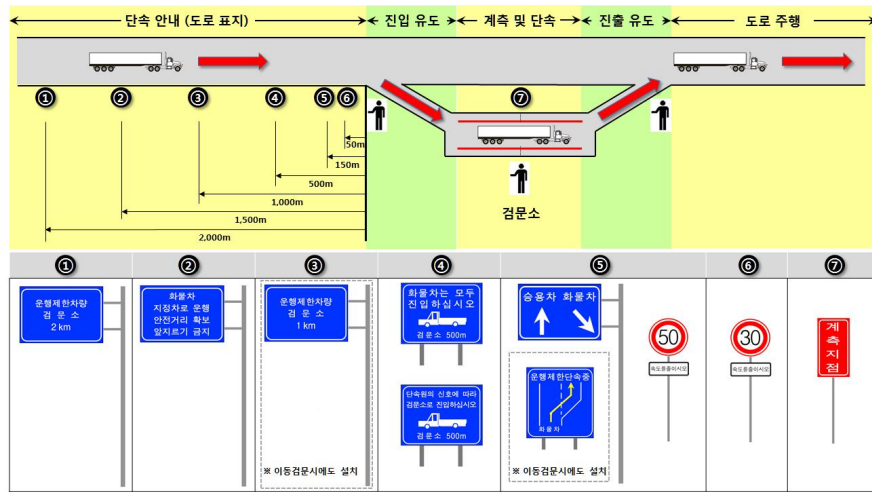
2. 고속 무인 과적단속 시스템 기하구조 기준

가. 개요

- 고속 무인 과적단속 시스템의 축중 센서의 신뢰성 향상을 위해서는 고속축중기(High Speed Weight-in-Motion, HS-WIM) 설치구간의 직선구간, 즉 평면선형 및 종단선형이 중요한 요소로 작용한다. 평면 및 종단선형의 환경조건에 따라 주행 차량의 하중이 바뀌 또는 차량 축에 편심하중이 작용하여 축중 센서 계측값의 신뢰도에 영향을 미친다. 특히 고속의 축하중 측정시스템(HS-WIM)은 기하구조에 대해 더욱 고려하여야 하는 사항이다. 이와 관련하여 HS-WIM 설치관련 기하구조 측면에서 고려해야 하는 현행 운행제한 위반 단속방법과 차로 통행기준 분석을 통해 고속 무인 과적단속 시스템인 HS-WIM의 기하구조에 대한 기준을 제시하고자 한다.

나. 현행 운행제한 위반 단속 방법 및 통행차로 기준

- 현행 운행제한 위반 단속 방식은 그림 3.98에 나타난 바와 같이 단속안내를 위해 도로표지를 이용하여 전방에 운행제한 위반 단속 사실을 고지하고 차량 운행 방법, 차량 운행 속도, 검문소 진입 등을 안내하도록 국토교통부훈령 제15조제2항 및 별표 7(검문소 안내 시설 설치규정)에서 규정하고 있다.



[그림 3.98] 현행 운행제한 위반 단속방법 및 도로표지 설치규정

- 과적단속을 위한 검문을 위해서는 도로표지를 이용하여 전방에 운행제한 위반 단속 사실을 고지하고 차량 운행 방법, 차량 운행 속도, 검문소 진입 등을 다음과 같이 안내하여야 한다.
- 운행제한차량 검문소 위치 고지: 설치지점 2km, 1km 전방에 설치
- 화물차의 지정차로 운행 고지: 설치지점 1.5km 전방에 설치
- 화물차의 검문소 진입 안내 고지: 설치지점 500m, 150m 전방에 설치
- 화물차의 통행은 도로교통법 시행규칙 제16조제1항 및 제39조제1항 별표 9(차로에 따른 통행차의 기준)에서 규정하고 있는 지정차로로 운행하여야 한다(표 3.71 참조).

[표 3.71] 차로에 따른 통행차의 기준(제16조제1항 및 제39조제1항 관련)

도로	차로구분	통행할 수 있는 차종
고속도로 외의 도로	1차로	승용자동차, 중소형 승합자동차
	2차로	
	3차로	대형승합자동차, 적재중량이 1.5톤 이하인 화물자동차
	4차로	적재중량이 1.5톤을 초과하는 화물자동차, 특수자동차, 건설기계, 이륜자동차, 원동기장치자전거, 자전거 및 우마차
	1차로	승용자동차, 중소형 승합자동차
	2차로	대형승합자동차, 적재중량이 1.5톤 이하인 화물자동차
	3차로	적재중량이 1.5톤을 초과하는 화물자동차, 특수자동차, 건설기계, 이륜자동차, 원동기장치자전거, 자전거 및 우마차
	1차로	승용자동차, 중소형 승합자동차
	2차로	대형승합자동차, 화물자동차, 특수자동차, 건설기계, 이륜자동차, 원동기장치자전거, 자전거 및 우마차

[표 3.72] 차로에 따른 통행차의 기준(제16조제1항 및 제39조제1항 관련)(계속)

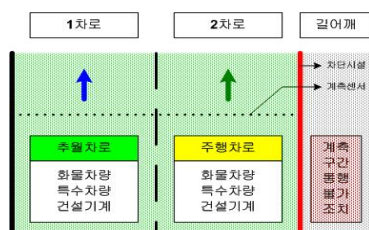
도로	차로구분	통행할 수 있는 차종
고속도로	편도4차로	1차로 2차로가 주행차로인 자동차의 앞지르기 차로
		2차로 승용자동차, 중소형 승합자동차의 주행차로
		3차로 대형승합자동차, 적재중량이 1.5톤 이하인 화물자동차의 주행차로
		4차로 적재중량이 1.5톤을 초과하는 화물자동차, 특수자동차, 건설기계의 주행차로
	편도3차로	1차로 2차로가 주행차로인 자동차의 앞지르기 차로
		2차로 승용자동차, 승합자동차의 주행차로
		3차로 화물자동차, 특수자동차, 건설기계의 주행차로
	편도2차로	1차로 앞지르기 차로
		2차로 모든 자동차의 주행차로

1. 모든 차는 위 지정된 차로의 오른쪽 차로로 통행할 수 있다.
2. 앞지르기를 할 때에는 위 통행기준에 지정된 차로의 바로 옆 왼쪽 차로로 통행할 수 있다.
3. 도로의 진출입 부분에서 진출입하는 때와 정차 또는 주차한 후 출발하는 때의 상당한 거리 동안은 이 표에서 정하는 기준에 따르지 아니할 수 있다. (이하 중략)

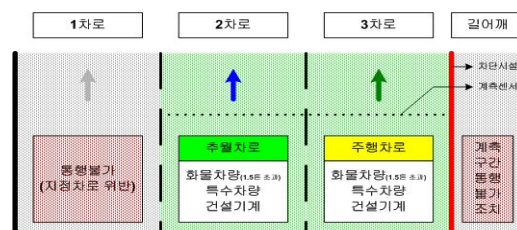
다. 고속 무인 과적단속 시스템 기하구조 기준

○ 포장에 설치되는 축중 센서의 신뢰성 제고를 위해서는 고속 무인 과적단속 시스템이 설치되는 구간의 포장상태, 즉 평탄성이 중요한 요소로써, 축하중 측정시스템을 통과하기 위한 진출입부의 포장상태에 대한 국외기준 분석을 통해 국내에 적합한 기하구조 기준을 다음과 같이 마련하였다.

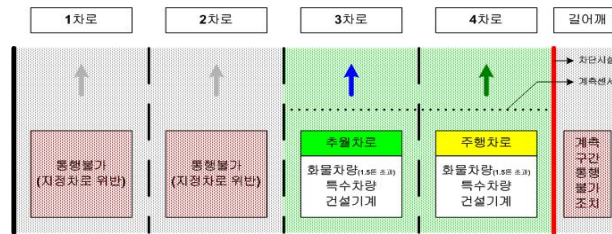
- (1) 화물차의 주행 환경조건에 의해 차량의 하중이 바뀌 또는 축 내에서 편심하중이 일어나지 않도록 직선구간을 원칙으로 하며, 직선구간의 최소 길이는 다음과 같다.
 - 고속국도: 시스템 전방 500m 이상
 - 일반국도: 시스템 전방 100m 이상
- (2) 화물차의 주행 환경조건에 의해 차량의 하중이 바뀌 또는 축 내에서 편심하중이 일어나지 않도록 직선구간 조건이 충족되지 않을 경우 종단구배, 횡단구배, 곡률반경 조건이 다음을 만족하여야 한다.
 - 종단구배 $\pm 1.5\%$ 이하(부득이한 경우 2.0% 이하)
 - 횡단구배 $\pm 2.0\%$ 이하
 - 곡률반경 1km 이상
- (3) 통행차로 기준에 따른 HS-WIM은 측정하고자 하는 차량의 지정차로(가장 바깥쪽 2개 차로)에 설치되어야 한다. 차로에 따른 통행기준 및 설치차로는 다음과 같다.



[그림 3.99] 2차로 설치기준



[그림 3.100] 3차로 설치기준



[그림 3.101] 4차로 설치기준

(4) HS-WIM 설치구간의 기하학적 직선길이 최소 조건은 시스템 전방(차량 진입전) 100m, 시스템 후방(차량 진출후) 50m를 만족해야 한다.

- 시스템 전방은 주행차량이 안정화된 상태로 축중 센서를 통과하기 위해 필요한 최소한의 직선구간 길이 조건이다.
- 시스템 후방은 축중 센서가 검측 차량의 후륜 축의 영향이 완전히 소멸할 때까지 필요한 최소 직선구간 길이 조건이며, 번호인식장치가 차량번호를 촬영하는 최소한의 구간 길이를 확보하기 위한 것이다.

3.7 고속 무인 과적단속 시스템 성능평가 기준

1. 성능평가 개요 및 종류

가. 개 요

- o 국토교통부에서는 국가통합교통체계효율화법을 제정하여 도로교통 분야의 업무수행 방법 및 절차 등에 관한 세부사항을 정하고 지능형교통체계(Intelligent Transport Systems : 이하 “ITS”라 한다)를 효율적으로 구축·운영할 수 있도록 자동차·도로교통분야 ITS 사업시행지침 및 ITS 성능평가 기준을 마련(고시)하여 운영하고 있다.
- o 자동차·도로교통분야 ITS 성능평가 기준에 따르면 “성능평가”라 함은 “사업시행자가 ITS의 성능 및 신뢰도 등을 확보하기 위하여 관련 장비, 시스템, 서비스의 성능 및 신뢰도를 국토교통부장관이 정한 기준에 적합한지를 검사하는 행위”로 정의하고 있다. ITS 성능평가 기준에서는 사업시행자가 ITS 성능평가를 하도록 규정하고, 국토교통부 장관이 지정·고시한 ITS 성능평가전담기관을 통해 성능평가 업무를 위탁할 수 있도록 규정하였다.

나. 고속축중기 관련규정

- o 국토교통부 훈령에 의하면 고속축중기라 함은 “고속으로 움직이는 차량의 축하중 또는 총중량을 측정할 수 있는 저울 또는 기계적 장치”로 정의하고 있다.
- o 도로법에 시행령 제79조2항(차량의 운행제한)에서는 “축하중이 10톤을 초과하거나 총중량이 40톤을 초과하는 차량”에 대해서는 차량의 운행을 제한할 수 있도록 규정하고 있다.
- o 국토교통부 훈령 “차량의 운행제한 규정” 제 11조(운행제한 위반차량 단속기준)에서는 축하중 10톤, 총중량 40톤 중 어느 하나를 초과하는 차량은 도로에서의 운행을 제한하고 단속할 수 있도록 하였고, 측정 과정에서 발생 가능한 기기오차와 환경오차를 감안하여 측정값이 제한기준의 100분의 10을 초과하지 아니하는 경우에는 운행제한을 위반하지 아니

한 것으로 간주하도록 하였다.

- 최근, 이동식 축중기는 「계량에 관한 법률」 개정으로 인하여 관리대상에서 제외됨에 따라 “차량의 운행제한 규정”에 별도의 관리방안을 마련하였다.

<차량의 운행제한 규정, 주요 개정사항, 2015>

- 이동식축중기 형식승인 및 검정 등
 - * 형식승인 지정기관(비자동저울)
 - * 검정 지정기관 : 검정기관 · 자체검정사업자(비자동저울), 유효기간 : 2년
- 단속장비(이동식, 저속축중기) 「국가표준기본법」에 따른 국가교정업무 전담기관(교정기관)로부터 정기검사(교정) : 교정주기 1년
- 단속장비(이동식, 저속축중기) 정기점검 : 매월 1회 이상
- 최대허용오차, 사용오차 관리
 - * 이동식축중기의 최대허용오차(검정기준)는 0.5%
 - * 저속축중기의 최대허용오차(설치기준)는 2%
 - * 이동식축중기 및 저속축중기의 사용오차 최대허용오차의 2배

다. 성능평가 시행주체

- 성능평가는 정부, 지방자치단체, 정부투자기관, 정부출연기관, SOC 민간투자사업자 포함 하며, 사업시행자가 성능평가를 자체 시행하는 것을 원칙으로 하되, 평가인력의 부족 등의 사유로 자체 시행이 어려운 경우에는 성능평가전담기관에 성능평가 업무의 일부 또는 전부를 위탁할 수 있도록 한다.
- 성능평가 전담기관은 성능평가에 대한 업무의 대행을 수행하며, 국토교통부장관이 지정 · 고시한 기관을 의미한다.

라. 성능평가의 종류

- ITS 성능평가는 아래와 같이 평가 종류와 시기를 규정하고 있다.

[표 3.73] ITS 성능평가 종류별 평가시기*

구분		평가시기	비고
기본성능평가	일반장비 또는 시스템	장비 또는 시스템 제조 후 1회	- 사업시행자가 요구하는 장비에 대한 기본적인 성능을 평가하는 것으로 장비 또는 시스템 1식에 대해 1회 시행. 다만, 주요 부품의 교체 등 성능에 영향이 미칠 수 있는 사항이 발생한 경우에는 다른 제품으로 간주하여 평가를 시행하며 평가결과는 평가일로부터 5년간 유효
	평가기준 장비	사용전 1회, 평가 후 1년 주기	- 성능평가기준장비로 사용전 시행하고, 이후 1년 마다 시행
준공평가		ITS 사업 준공 이전	- 성능평가 대상 장비 및 시스템, 서비스의 설치 및 튜닝을 완료하여 정상작동하는 것으로 판단되는 시기에 시행
정기평가		ITS 준공 후, 일정주기	- 준공 후 2년(DSRC는 4년) 주기 정기적 시행
변경/이설평가		이설, 변경 후	- 성능평가 대상 장비 및 시스템, 서비스의 이설 및 설정변경, 시스템 및 서비스 개선 등에 따른 변경을 완료하고 정상작동 여부를 판단해야 되는 시기에 시행

* 자동차·도로교통분야 ITS 성능평가기준(국토교통부 고시 제2015-740호, 2015. 10. 7)

[기본성능평가 의미]

- ITS 성능평가기준에 따르면, 기본성능평가는 사업 시행 전 사전에 장비의 기본적인 품질 성능을 평가하는 것으로, 준공/정기평가 이상의 엄격한 수준으로 시행하고 있다.
- 기본성능평가는 성능평가전담기관이 시행하는 것을 원칙으로 하고 있다.

[표 3.74] 기본성능평가 AVI(차량번호인식장치) 평가방법

구분		평가시기	평가방법
기본 성능 평가	일반장비 또는 시스템	장비 또는 시스템 제조 후 1회	평가기간 : 3일 - 일출(기상청예보기준의 전후 15분)/일 - 주간(일출 30분후-일몰 30분전)/일 - 일몰(기상청예보기준의 전후 15분)/일 - 야간(일몰 30분후-일출 30분전)/일 평가시간 : 30분(최소100대 이상) 분석단위시간 : 30분
			평가기간 : 1일 - 주간(일출 30분후 - 일몰 30분전)/일 - 야간(일몰 30분후 - 일출 30분전)/일 평가시간 : 1시간(지점별 최소 200대 이상) 분석단위시간 : 1시간
		준공평가	
		정기평가	
	변경/이설평가	이설, 변경 후	

* 자동차·도로교통분야 ITS 성능평가기준(국토교통부 고시 제2015-740호, 2015. 10. 7)

[표 3.75] 기본성능평가 VDS(차량검지기) 평가방법

구분		평가시기	평가방법
기본 성능 평가	일반장비 또는 시스템	장비 또는 시스템 제조 후 1회	평가기간 : 3일 - 일출(기상청예보기준의 전후 15분)/일 - 주간(일출 30분후-일몰 30분전)/일 - 일몰(기상청예보기준의 전후 15분)/일 - 야간(일몰 30분후-일출 30분전)/일 평가시간 : 30분(최소200대 이상) 분석단위시간 : 1분
			평가기간 : 1일 - 주간(일출 30분후 - 일몰 30분전)/일 - 야간(일몰 30분후 - 일출 30분전)/일 평가시간 : 1시간(지점별 최소 200대 이상) 분석단위시간 : 5시간
		준공평가	
		정기평가	
	변경/이설평가	이설, 변경 후	

* 자동차·도로교통분야 ITS 성능평가기준(국토교통부 고시 제2015-740호, 2015. 10. 7)

[기본성능평가 도입요건]

- 고속축중기 시스템은 센서, 제어기, 차량번호 인식장치 등으로 구분할 수 있고, 기본성능평가 수행을 위해서는 ① 고속주행 평가시험장 구축, ② 고속축중기 사전 품질확보, 다양한 모델(장비)출시 등 시장의 성숙, ③ 평가비용 부담에 대한 고려가 필요하다.
- 첫째, 평가시험장 구축을 위한 주요 요건은 아래와 같다.
 - (도로) 고속주행 환경 구축 및 도로 평탄성(IRI) 확보

- (센서) 센서 신규매설, 재포장 등 매설공간
- (데이터) 데이터 수집·저장 센터 등
- 고속측중기 센서는 노면 평탄성, 매립센서 성능, 매설공법 등에 따라 정확도 차이가 발생하며, 센서 공사는 성능평가전담기관이 설치하는 경우와 성능평가 신청기관이 설치하는 경우로 나누어 볼 수 있으며, 다음과 같은 특징이 있다.

[표 3.76] 센서 설치 주체별 장단점

센서 설치주체	성능평가전담기관	성능평가신청기관 (평가수검기관)
공통(요건)	정밀한 도로평탄성(IRI) 관리, 공정별 센서	정밀시공(노면파쇄, 센서매립, 양생 등)
장점	평가시험장 노면관리 유리	피 평가자 직접 구축, 민원발생 해소
단점	피 평가자 민원발생 소지(평가 이의 제기)	노면관리 부실
기타	평가비용 상대적 저렴	평가비용 상승

- 둘째, 효율적인 기본성능평가 수행을 위해서는 고속측중기 시장이 활성화 되어 다양한 제품이 개발·출시되고, 자체 품질관리가 이루어져야 한다.
- 축하중 정확성과 내구성이 높은 제품이 시장에 출시되고 관련 제품시장이 활성화되고 관련 정책이 병행되어야 할 것이다.
- 셋째, 고속측중기 기본성능평가를 위해서는 기존 장비의 기본성능평가와 다르게 높은 평가비용이 소요된다.
 - 평가비용은 크게 도로 평탄성 시공비, 센서비, 매설비, 화물차량 임차비 등의 비용이 소요된다.
 - 특히, 센서부 성능평가 시 센서매설 시공은 시공품질에 따라 정확도 평가요소에 주요 변수가 되므로 민감한 요소라 할 수 있다.
- 상기 사항 검토결과, 기본성능평가는 평탄성이 확보된 고속주행 평가 시험장 구축, 장비 출시상황, 고가의 평가비용 등을 고려하여 시장상황, 품질확보 여건에 맞추어 향후 도입이 바람직한 것으로 판단되며,
- 향후, 기본성능평가 도입 시에는 센서, 제어기, 영상설비 등에 대한 장비 요소별 품질확보, 사전성능평가를 통한 최소 성능확보, 센서 내구성 시험 등의 품질검증, 센서 구축 및 비용부담 주체 등의 종합적 검토가 이루어져야 할 것이다.

[표 3.77] 성능평가 종류 반영

구분	평가시기	반영여부
기본성능평가	장비 또는 시스템 제조 후 1회	미 반영(추후 반영)
준공평가	사업 준공 이전	반영
정기평가	준공 후, 일정주기	반영
변경/이설평가	이설, 변경 후	반영

2. 성능평가 항목 및 기준

가. 성능평가 항목

- 고속측중기 성능평가 항목은 차량 축하중, 총중량의 정확도, 고속측중기가 평가차량을 해당 차량으로 정확히 인식하고, 평가차량 번호와 일치하여 인식하는지 여부(매칭정확도), 중량 측정을 회피하는 차량의 번호를 정확히 측정하는지 여부(회피주행검지), 평가대상 장비의 영상인식 능력을 확인하기 위한 일반 주행차량의 번호인식여부(차량번호인식) 등이 평가의 주요 항목이라 할 수 있다.
- 중량정확도는 법정계량기 또는 정기검사(교정)를 받은 이동식 측중기를 이용하여 측정한 평가차량의 총중량 및 축하중(단일축하중 및 조합축하중)의 기준값과 평가 대상장비(고속측중기)에서 측정된 평가차량의 총중량 및 축하중(단일축하중 및 조합축하중)의 중량값을 비교하여 평가한다.
- 매칭정확도는 중량정확도 평가시 평가차량 차량과 평가 대상장비(고속측중기)에서 측정한 평가차량의 검지 및 차량번호의 일치여부를 평가한다.
- 회피주행검지율은 평가차량이 차로 중첩주행, 갓길주행 등 회피주행시 평가 대상장비(고속측중기)에서 측정한 차량번호인식 정확도를 평가한다.
- 차량번호인식율은 분석단위시간 동안 통과한 유효차량에 대해 번호판을 인식한 차량 대수를 비교하여 평가한다.

[성능평가 기준 반영]

- HS-WIM 성능평가 항목은 중량정확도, 매칭정확도, 회피주행검지율, 차량번호 인식율로 한다.

나. 평가항목 특성 및 기준

(1) 중량정확도

- 중량정확도는 평가 차량의 총중량 및 축하중값과 고속측중기에서 수집·처리한 중량값과의 차이를 의미하며, “|100(%) - 오차백분율(PE)|”로 산출한다.
- (정의) 평가차량의 총중량 및 축하중 값(기준값) 대비 고속측중기가 검측한 총중량 및 축하중 값(측정값)의 차이
- (평가척도) 총중량 및 축하중의 “|100(%) - 오차백분율(PE)|”

$$PE(\%) = \frac{E}{Y} \times 100$$

여기서, E(측정값) = 유효중량 이상을 갖는 평가차량의 총중량 및 축하중이 평가대상 장비(HS-WIM)에서 측정된 값

Y(기준값) = 유효중량 이상을 갖는 평가차량의 총중량 및 축하중

- (평가내용)
 - 본 평가의 활용 범위에는 고속 무인 과적단속체계가 포함됨으로 등급별 최대 허용오차 범위 이내에서 시험결과의 평균값이 아닌 각 개별 시험결과가 모두 만족하도록 하여 평가의 신뢰도를 확보하고자 한다.

- ※ 평균값을 반영할 경우에는 오차백분율(PE)은 개별 측정값이 기준값과의 과대, 과소 검측 데이터가 동시에 발생될 경우에 오차가 상쇄되어 정확도 신뢰성이 저하될 수 있다.
- 축하중 평가시 평가차량의 축하중이 유효중량이 아닌 경우에는 평가에서 제외한다.
- ※ 조향축은 유효중량(운행제한기준의 80% 이상 중량, 축하중 8t 이상) 이 아닐 수 있으므로, 중량정확도 평가에서 제외한다.
- 중량정확도에 대한 평가는 평가시간 동안 평가 차량별로 10회/차로를 주행하는 것을 원칙으로 하고, 주행 회수가 특정시간대에 편중되지 않도록 주간, 야간으로 구분하여 시행한다.
- 분석방법은 개별 평가차량의 측정값과 평가기준값을 비교하여 각 평가항목별로 정확도를 분석한다.

[표 3.78] 중량정확도 평가기준

평가항목		총중량	축하중	비 고
평가 등급	최상급	≥95%	≥90%	
	상급	95>, ≥93	90>, ≥85	
	중급	93>, ≥90	85>, ≥80	
	중하급	<90%	<80%	

(2) 매칭정확도

- 매칭(Matching)정확도는 중량정확도 평가 시 평가차량의 차량번호와 평가대상 장비에서 검측된 차량번호의 일치여부를 확인한다.
- (정의) 중량정확도 평가차량과 해당 차량번호와의 일치여부
- (평가척도) 중량정확도 평가 시 평가차량의 차량번호와 평가대상 장비에서 측정된 차량번호가 일치하지 않을 경우 불합격 처리
- (평가내용)
 - 매칭정확도는 과적대상차량이 차량번호판과의 매칭(일치성) 오류로 다른 차량으로 인식되었을 경우 단속의 혼선을 초래하고 및 평가 신뢰도에 큰 영향을 미친다.
 - 고속측중기는 평가차량의 중량이 측정되는 부분과 차량의 번호판을 인식하는 부분으로 나누어 볼 수 있다.
 - 중량이 측정되는 차량과 차량의 번호판이 매칭(일치)이 제대로 이루어지지 않는 경우가 발생할 소지가 있고, 매칭정확도가 떨어질 경우 과적차량이 단속에서 제외되거나, 유효(적정)차량이 과적으로 해당되는 사태가 초래될 수 있다.
 - 매칭정확도의 평가는 중량정확도 평가시 병행하여 평가하고 1차적으로 중량정확도 평가대상 차량을 검지하고, 2차적으로 평가대상 장비(고속측중기)에서 측정한 평가차량의 차량번호와 일치여부를 평가하고 일치하지 않을 경우 불합격 처리한다.
 - 과적차량과 평가대상 장비로 측정한 차량번호 불일치로 인하여 일반 차량이 벌금을 부과 받는 경우가 생길 수 있으므로 매칭정확도의 평가등급은 합격/불합격으로 정한다. 단, 활용목적에 따라 상급 미만의 비단속용 HS-WIM으로 사용할 경우 별도로 판정할

수 있다.

○ (평가기준) : 합격/불합격

[성능평가 기준 반영]

- “매칭정확도”라 함은 HS-WIM평가에서 중량정확도 평가 시 평가차량의 차량번호와 검측된 차량번호의 일치여부를 나타낸 것이다.
- 중량정확도 평가 시 평가차량의 차량번호와 평가대상장비에서 측정된 차량번호가 일치하지 않을 경우 불합격 처리한다.

(3) 회피주행검지율

- 회피주행검지율은 검지영역을 주행하는 평가차량의 좌측과 우측 바퀴가 서로 다른 차로로 주행하거나 검측 대상 차로를 벗어난 상태로 주행하는 등 회피주행 시 평가대상장비(HS-WIM)에서 이를 회피주행으로 검지하는지 여부를 평가한다.
- (정의) 차량이 차로의 바퀴가 서로 다른 차로로 주행하거나 갓길주행 등 중량 검측을 회피하기 위한 일련의 행위
- (평가횟수) 10회 무작위 주행 원칙
- (평가내용)
 - 회피주행검지율의 평가는 중량정확도 평가시 무작위로 10회 이상 추가하여 시험한다.
 - 회피주행의 종류로는 중첩주행, 갓길주행 등이 있다.
- (평가척도) “100(%) - 회피주행오차백분율(PEA)

$$PE_A(\%) = \frac{E_A}{Z} \times 100$$

여기서, EA = 평가차량의 회피주행을 오인식 또는 미인식(미검지 포함)한 차량 대수(영상평가시행, 중량평가 미시행)

Z = 평가차량이 회피주행한 총 대수

[표 3.79] 회피주행검지율 평가기준

평가항목		회피주행 검지율	비 고
평가 등급	최상급	≥90%	
	상급	90>, ≥80%	
	중급	-	
	중하급	-	

(4) 차량번호 인식율

- 차량번호 인식율은 도로를 운행하는 유효차량 중에(차량 중 특수번호판 차량, 임시번호판 차량, 외교·공관·군용 차량, 차량번호판 육안인식 불가차량, 이륜차량, 차로변경 차량 등을 제외한 차량) 번호판을 인식한 차량 대수의 비를 백분율로 나타낸 것이다.
- (정의) 분석단위시간 동안 통과한 유효차량에 대해 번호판을 인식한 차량 대수의 비
- (평가내용)

- 차량번호인식율 평가는 국토교통부 자동차·도로교통분야 ITS 성능평가기준 차량번호 인식장치(AVI) 성능평가 기준에 의거 수행하며, 주간(일출 30분후 - 일몰 30분전), 야간(일몰 30분후 - 일출 30분전) 각각에 대하여 1시간(지점 통과차량 최소 200대 이상) 동안 수행한다.

○ (평가척도)

- 인식률 = “100(%) - 오차백분율(PE)”
- 평가척도 산출

$$PE(\%) = \frac{E}{Y} \times 100$$

여기서, E = 분석단위시간동안 해당 장비가 번호판을 오인식 또는 미인식(미검지 포함)한 차량 대수

Y = 분석단위시간동안 검지한 유효차량 대수, 분석단위시간 : 60분

[표 3.80] 차량번호 인식율 평가기준

평가항목		번호인식율	비 고
평가 등급	최상급	≥95%	AVI 성능평가 준용
	상급	95>, ≥85%	
	중급	85>, ≥80%	
	중하급	<80%	

<용어정의>

- “유효차량”이라 함은 HS-WIM이 설치된 도로를 운행하는 차량 중 특수번호판 차량, 임시번호판 차량, 외교·공관·군용 차량, 차량번호판 육안인식 불가차량, 이륜차량, 차로변경 차량 등을 제외한 차량을 말한다.
- “차량번호 인식률”이라 함은 분석단위시간 동안 통과한 유효차량에 대해 번호판을 인식한 차량 대수의 비를 백분율로 나타낸 것이다.
- 차량번호인식율 평가는 국토교통부 자동차·도로교통분야 ITS 성능평가기준 차량번호 인식장치(AVI) 성능평가 기준에 의거 수행한다.

다. 평가차량

- “평가차량”이라 함은 평가대상 장비의 성능 판단을 위한 중량 기준값을 갖는 차량으로 정적인 상태에서 법정계량기 또는 정기검사(교정)를 받은 이동식 축중기를 이용하여 중량을 계측한 차량을 말한다.
- (정의) 평가대상 장비의 성능 판단을 위한 중량 기준값을 갖는 차량
- (평가내용)
 - 평가차량은 평가 전에 정적인 상태에서 법정계량기 또는 정기검정을 받은 이동식 축중기를 이용하여 총중량 또는 축하중을 측정·기록 관리 후 평가한다. 측정단위는 톤(ton)으로 하며 소수점 3째 자리에서 반올림한 값을 활용한다.
 - 평가차량은 2대로 하며, 5축 이상의 2단위 차량과 5축 이상의 1단위 차량으로 총중량

및 조향축을 제외한 축하중이 유효중량인 차량으로 한다. 단, 기본성능평가의 경우 평가차량은 4축 1단위 차량과 3축 1단위 차량을 추가하여 4대로 한다.

- 1단위 차량의 경우 가변축이 장착된 차량은 가변축을 들어 올려 평가하여야 한다.
- 평가대상장비가 설치된 도로의 환경에 따라 평가를 위한 과적주행이 가능할 경우 유효중량 설정 후 가변축을 들어 올려 축하중 과적상태로 평가할 수 있다. 이 경우 가변축의 하중이 0이 된 상태에서 나머지 축의 기준값을 측정하여야 한다.

라. 시험횟수

- o 성능평가는 고속측중기가 설치된 모든 차로에 대해 평가하는 것을 원칙으로 한다.
- o 중량 정확도에 대한 평가는 평가시간 동안 평가 차량별로 10회/차로를 주행하는 것을 원칙으로 하고, 주행 회수가 특정시간대에 편중되지 않도록 주간(일출 30분후 - 일몰 30분전), 야간(일몰 30분후 - 일출 30분전)로 구분하여 시행한다.
- o 중량정확도 평가시간은 포장체 온도를 고려하여 야간시험을 포함하여 수행한다.
- o 회피주행검지율의 평가는 중량정확도 평가 시 무작위로 10회 이상 회피주행을 추가하여 시행하는 것을 원칙으로 한다.

마. 평가주기

- o 준공평가는 ITS 사업 준공 전 설치 및 구축한 ITS 장비 및 시스템, 서비스가 기능 및 성능 요구수준을 만족하는지 여부를 판단하기 위한 평가이다.
- o 정기평가는 기 구축 운영 중인 ITS 장비 및 시스템, 서비스가 노후나 도로환경 등으로 인해 발생할 수 있는 성능수준저하 여부를 판단하기 위하여 정기적으로 수행하는 평가로, 고속측중기 특성상 준공 후 6개월 내 시행하며, 이후 1년 마다 수행한다. 단, 활용목적에 따라 최상급 미만의 비단속용 HS-WIM으로 사용할 경우 준공 후 2년마다 시행할 수 있다.
- o 변경/이설평가는 운영 중인 장비의 이설 및 설정변경, 시스템 및 서비스 개선 등에 따른 변경 시에 수행한다.
- o 단, 평가 시 교통사고 등 안전에 문제가 예상되는 지점은 평가에서 제외할 수 있으며, 이 경우 사업시행자는 관련 근거자료를 남겨야 한다.

바. 시험경비

- o 대행경비는 인건비, 직접경비, 일반관리비로 구성한다.
- o 평가 인건비 비용구성은 사무실 업무, 사전준비, 시험수행 등으로 구분할 수 있다.
 - 기본성능평가는 상기비용 외에 센서매설, 합체 설치 등 장비설치비가 추가로 소요
- o 경비 산정 기준은 아래와 같다.
 - 기본성능평가
 - 인건비 = $\sum \text{기술자 등급별 소요인원} \times \text{등급별 일일노임단가} \times \text{소요일수}$

[표 3.81] 기본성능평가 인건비 기준

소요 인원	구분	특급기술자	중급기술자	초급기술자
	기본 장비(주야간)	1명	10.5명	17명

- 준공평가, 정기평가, 변경/이설 평가

· 인건비 = ∑기술자 등급별 소요인원×등급별 일일노임단가×소요일수

[표 3.82] 준공평가, 정기평가, 변경/이설 평가 인건비 기준

소요 인원	구분	특급기술자	중급기술자	초급기술자
	기본 1식(주야간)	0.5명	6명	8.5명
	1식 추가당(주야간)	-	2명	6명

o 직접경비 항목은 아래와 같으며, 장비 수량 등에 따라 항목별로 경비 산정

- 여비, 소모품비, 평가기준장비 점검 및 수리수선비, 전력통신비, 기타 경비

o 일반관리비는 (인건비+직접경비)의 5% 이내에서 산정

o 제경비, 기술료, 이윤 등은 엔지니어링사업대가 또는 학술연구용역기준을 적용

3. 기본성능평가 시행 검토

가. 기본성능평가 시행(안)

o 기본성능평가는 성능평가전담기관이 시행한다.

o 기본성능평가 전제조건

- 전용시험장 구비 : 센서 설치, 데이터 수집장비 설치, 차량주행 시험 등

[표 3.83] 기본성능평가(안)

구 분	(준공/정기/변경/이설평가) 성능평가	기본성능평가
평가지기	준공평가 : ITS 사업 준공 이전 정기평가 : ITS 준공 후 일정주기 변경/이설평가 : 이설, 변경 후	장비 도입전
평가위치	해당 장비 구축 장소	성능 시험장
평가항목	4개항목 (중량정확도, 회피주행검지율, 차량번호인식율, 매칭정확도)	좌동
정 확 도	단속용 : 최상급 비단속용 : 조정가능	최상급
평가차량	5축 이상의 2단위 차량 5축 1단위 차량(가변축)	5축 이상 2단위 차량 5축 1단위 차량(가변축) 3축 1단위 차량 4축 1단위 차량

구 분	(준공/정기/변경/이설평가) 성능평가	기본성능평가
시험횟수	중량정확도/매칭정확도 : 차량별 10회/차로(총 20회) 회피주행 : 10회 이상 번호인식율 : 200대 이상	중량정확도/매칭정확도 : 차량별 10회 이상/차로(총 40회) 회피주행 : 10회 이상 번호인식율 : 기존 기본평가 방식 시행
평가기간	평가기간 : 5일 (현장시험 2일, 실내업무 3일) 중량시험 : 차로당 20회 평가차량 2대 (5축 1단위(가변축), 5축 2단위)	평가기간 : 7일 (현장시험 3일, 실내업무 4일) 중량시험 : 차로당 40회 평가차량 4대 (3축 1단위, 4축 1단위, 5축 1단위(가변축), 5축 2단위)
평가인력	(기본 1차로) 특급 : 0.5인, 중급 : 6인, 초급 : 8.5인 (추가 1차로당) 중급 : 2인, 초급 : 6인	특급 : 1인, 중급 : 10.5인 초급 : 17인

나. 성능평가 소요 인력검토

[표 3.84] 기본성능평가 소요 인력

(소요인력 단위 : MD(1일 8시간 기준), 투입비용 단위 : 천원)

구 분		투입인력/소요시간			투입 장비/차량	비고 (임차비용)	
		특고급	중급	초급			
사무실 업무	신청서류 접수		-	0.25	-		
	신청서류 심사		-	0.25	-		
	평가결과 분석 및 성적서 작성		-	3.5	-		
	평가결과 및 성적서 심사		1	-	-		
	성적서 발급		-	-	0.5		
	평가장비 관리 (반입, 반출, 교정, 유지관리)		-	-	1	분동, 이동식축중기	
	합계		1	4	1.5		
현장 업무	사전 준비	시험장 관리 현장설명회	-	1	1	감독차량1	
		시험계획수립	-	0.5	0.25		
		평가차량 섭외	-	-	0.25		
		평가대상장비 설치감독		1	1	시험장 설비 활용 지원 및 설치 관리 감독	
		평가대상장비 최종체크		1	1	신청서 사진대지와 설치 장비 동일여부 및 장비이상유무 확인	
		합계		3.5	3.5		
	시험 수행 / 종료	분동상차	-	1인×2일	5인×2일	지게차1	평가차량 4대 총 40회 시험
		기준값 측정	-			이동식축중기 더미패드	
		시험 감독 시나리오 관리 시험과정 촬영	-			감독차량1 캠코더1	
		평가차량 탑승	-			3축, 4축, 5축 카고 각 1 5축 트레일러1	
		시험데이터 확인/서명	-			캠코더1	
		분동하차	-			지게차1	
		평가결과 자료 수집	-				
		합계	-			2	
	총 합계		1	9.5	15		
소요 인원	구분		특급기술자		중급기술자		초급기술자
	기본 장비(주·야간)		1명		10.5명		17명

※ 차량번호 인식을 평가 별도

[표 3.85] 준공, 정기, 변경/이설 평가 / 한국지능형교통체계협회 소요인력

(소요인력 단위 : MD(1일 8시간 기준), 투입비용 단위 : 천원)

구 분			투입인력/소요시간			투입 장비/차량	비고 (임차비용)
			특고급	중급	초급		
사무실 업무	신청서류 접수		-	0.25	-		
	신청서류 심사		-	0.25	-		
	평가결과 분석 및 성적서 작성		-	2.5	-		
	평가결과 및 성적서 심사		0.5	-	-		
	성적서 발급		-	-	0.5		
	평가장비 관리 (반입, 반출, 교정, 유지관리)		-	-	1	분동, 이동식축중기	
	합계		0.5	3	1.5		
현장 업무	사전 준비	현장답사 유관기관 협의	-	0.5	0.5	감독차량1	
		시험계획수립	-	0.5	0.25		
		평가차량 섭외	-	-	0.25		
		합계		1	1		
	시험 수행 / 종료	분동상차	-	1인×2일	3인×2일	지게차1	평가차량 2대 총 20회
		기준값 측정	-			이동식축중기 더미패드	
		시험 감독 시나리오 관리 시험과정 촬영	-			감독차량1 캠코더1	
		평가차량 탑승	-			5축 카고1 5축 트레일러1	
		시험데이터 확인/서명	-			캠코더1	
		분동하차	-			지게차1	
		평가결과 자료 수집	-				
		합계	-	2	6		
	총 합계		1	6	8.5		
소요 인원	구분		특급기술자		중급기술자		초급기술자
	기본 1차로당(주·야간)		0.5명		6명		8.5명
	추가 1차로당(주·야간)		-		2명		6명

※ 차량번호 인식을 평가 별도

[참고자료]

○ 계량에 관한 법률 시행령 변경사항

계량에 관한 법률 시행령, [시행 2014.1.1.]
제27조(정기검사 대상 계량기) 법 제32조제3항에 따라 정기검사를 받아야 하는 계량기는 다음 각 호에 해당하는 계량기로 한다. 다만, 정기검사를 실시하는 그 해 또는 그 전 해에 법 제20조제1항 또는 제4항에 따른 검정을 받은 계량기를 제외한다. 1. 비자동 저울(상거래용에 한한다) 가. 판수동(板手動) 저울 나. 접시지시 및 판지시(板指示) 저울 다. 전기식지시 저울 2. 이동식 측중기 3. 눈새김 탱크(유류거래용에 한한다) 4. 눈새김 탱크로리(유류거래용에 한하며, 주유기 또는 오일미터가 부착된 3천 리터 이하의 탱크로리를 제외한다)
계량에 관한 법률 시행령, [시행 2015.1.1.]
제27조(정기검사 대상) 법 제30조제1항에서 "대통령령으로 정하는 계량기"란 다음 각 호에 해당하는 비자동(非自動)저울(상거래용에 사용되는 비자동저울에 한정한다)을 말한다. 다만, 최대용량이 10톤 이상인 비자동저울은 제외한다. 1. 판수동(板手動) 저울 2. 접시지시 및 판지시(板指示) 저울 3. 전기식지시 저울

[참고사항] 국토교통부 훈령 제673호(일부개정 2016. 2.24)

차량의 운행제한 규정 일부 개정안

⑤ 이동식측중기는 다음 각 호에 따른 지정기관으로부터 형식승인 및 검정을 받은 제품이어야 한다.

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

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

⑨ 단속장비(이동식측중기, 저속측중기)는 제8항에 따른 정기검사(교정)와는 별도로 다음 각 호에 따라 정기점검을 하여야 한다.

1. 이동식측중기는 매월 1회 이상 해당 장비의 신뢰성 유지를 위한 정확성 확보 여부, 검정·재검정 및 정기검사(교정) 이행 여부를 확인하여야 하며, 고장 등이 의심되는 경우에는 그 즉시 제8항에 따라 조치할 것
2. 저속측중기는 매월 1회 이상 해당 장비의 작동 여부 및 신뢰성 확보를 위한 정확성 유지 여부 등을 확인하기 위해 다음 각 목에 따라 조치할 것

⑪ 단속장비(이동식측중기, 저속측중기)의 검정 유효기간 및 교정주기는 다음 각 호와 같다.

1. 이동식측중기의 검정(재검정) 유효기간은 2년
2. 이동식측중기 및 저속측중기의 교정주기는 「국가표준기본법」 제14조 및 동법 시행령 제12조제3항에 따른 「교정대상 및 주기설정을 위한 지침」에 따라 1년

⑫ 단속장비(이동식측중기, 저속측중기)의 최대허용오차와 사용오차는 다음 각 호와 같다.

1. 이동식측중기의 최대허용오차(검정기준)는 0.5%
2. 저속측중기의 최대허용오차(설치기준)는 2%
3. 이동식측중기 및 저속측중기의 사용오차는 제1호 및 2호에 따른 최대허용오차의 2배

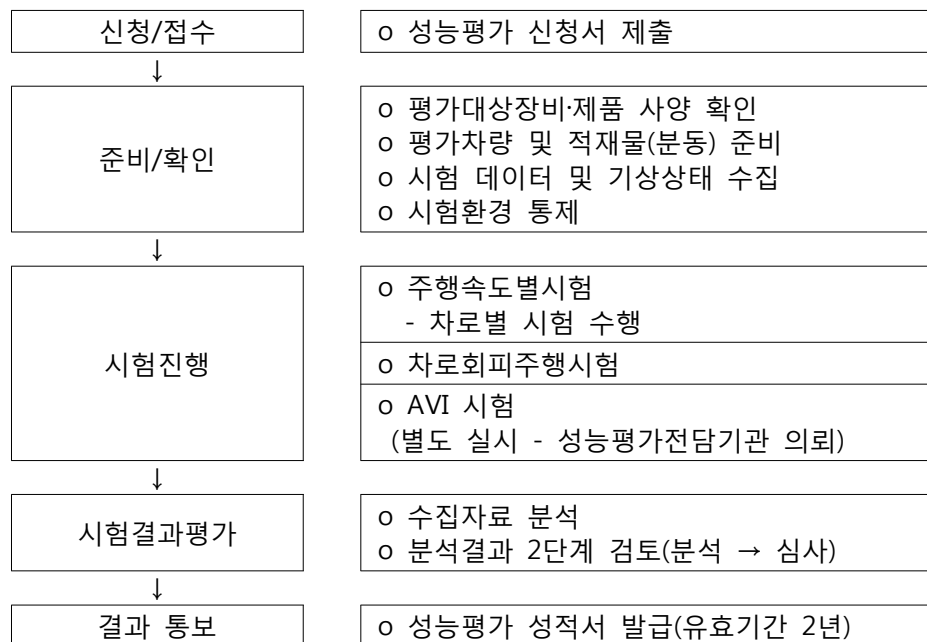
3.8 고속 무인 과적단속 시스템 성능평가 시험방법 절차서

1. 목적

- 이 절차서는 고속 무인 과적단속 시스템의 검측 성능이 유효한 수준으로 유지되기 위해 필요한 기준 성능을 확인하기 위한 시험 방법 및 이를 위한 시험절차를 규정하는 것을 목적으로 함

2. 시험절차

- 성능평가 절차는 아래 그림과 같이 구성되며 신청/접수, 준비/확인, 시험진행, 시험결과평가 순서로 실시함



[그림 3.102] 고속 무인 과적단속시스템 성능시험절차

- 시험 신청/접수는 다음 사항을 포함함

- 신청기관 증빙서류, 시험참여자 확인서 등
- 시험대상 시스템/장비(사진)과 사양명세(사진대지)
- 시험대상 시스템 구성도 등
- 기타 시험기관 요구자료

- 시험 준비/확인은 다음 사항을 포함함

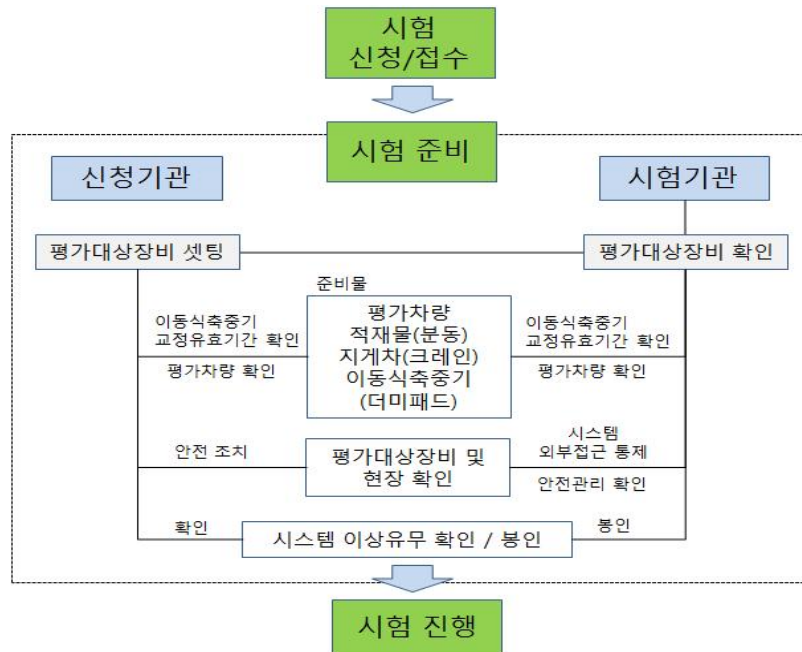
- 시험은 신청기관의 신청을 통해 시험기관에서 실시하며, 신청기관은 시험기관에서 요구한 시험준비 사항과 신청기관에 의해서 설치되는 시스템의 성능확인을 위한 기능 및 규격 정보와 시험진행과 관련된 제반서류를 제출

- 신청기관에 의해서 설치되는 시험대상시스템의 현장점검 내용
- 시험기관에 의해서 정의되는 시험절차와 시험방법의 내용을 시험항목과 시험조건의 정의, 그리고 시험항목에 대한 시험의 목적과 방법, 이의 준비사항으로 구성된 시험 셋(Set) 결정에 관한 내용
- o 시험 진행은 다음 사항을 포함하며 시험기관은 원활한 시험진행을 위해 다음과 같은 내용을 수립·적용하여 이를 준수토록 함
 - 전체 시험일정에 대한 각 시험항목별 시험계획 수립
 - 시험 진행 사항
 - 준수사항
 - 제출사항
 - 안전관리사항
- o 시험 결과 평가는 다음 사항을 포함함
 - 도로 및 환경 등 시험조건에 대한 내용 정의
 - 각 시험항목에 대한 시험의 결과에 대한 평가기준과 평가방법에 관한 내용 정의
 - 시험결과 평가에 대한 처리기준 정의
- o 성능평가의 종류는 기본성능평가, 준공평가, 정기평가, 변경/이설평가로 구분함
 - 기본성능평가 : 시스템의 기본적인 성능을 평가하는 것으로 현장 설치 이전단계에서 시스템 제조 후 성능확인을 위해 1회에 한하여 시행하는 평가임
 - 준공평가 : 사업 준공 전 설치 및 구축한 시스템에 대해 기능, 성능 요구수준을 만족하는지 여부를 판단하기 위한 평가임
 - 정기평가 : 기 구축 운영 중인 시스템, 서비스가 노후나 도로환경 등으로 인해 발생할 수 있는 성능수준저하 여부를 판단하기 위하여 정기적으로 수행하는 평가임
 - 변경/이설평가 : 운영 중인 시스템의 이설 및 설정변경, 시스템 및 서비스 개선 등에 따른 변경 시, 해당하는 장비 및 시스템, 서비스가 성능 요구수준을 만족하는지 여부를 판단하기 위한 평가임

3. 시험 준비/확인

가. 시험 준비 절차

- o 성능평가의 시험 준비 절차는 아래 그림과 같음



[그림 3.103] 고속 무인 과적단속시스템 성능평가 시험 준비 절차

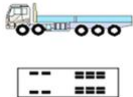
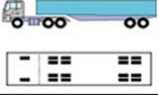
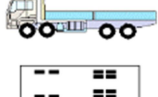
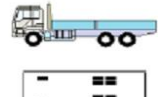
나. 시험 준비 사항

(1) 시험방법 정의

(가) 평가차량 준비

- 평가차량은 5축 1단위(가변축), 5축 2단위 차량, 4축 1단위와 3축 1단위 차량을 사용하며, 현가장치(서스펜션)로 인한 축간 하중이동이 적은 판스프링으로 구성된 차량을 선정함
- 기본성능평가에서는 평가 차량 4대(5축 1단위(가변축), 2단위, 4축 1단위와 3축 1단위), 준공/정기/변경·이설평가에서는 평가 차량 2대(5축 1단위(가변축), 2단위)를 사용하여 시험을 진행함

[표 3.86] 성능시험 동원 차량종류 및 수량

차량 종류	준비차량대수	차량형태	평가종류	비고
5축 1단위(가변축)	1		기본, 준공, 정기, 변경·이설	
5축 2단위	1		기본, 준공, 정기, 변경·이설	
4축 1단위	1		기본	
3축 1단위	1		기본	
계	4	-	-	

(나) 평가차량 하중 적재방법

- 평가차량의 1축은 평가에서 제외하며, 각 축별 유효중량이 8톤 이상 되도록 적재함
- 조합축의 경우, 조합축내 개별축하중의 편차는 조합축내 최대하중의 10% 이상 차이가 나지 않도록 적재함
- 시험주행 중 분동의 위치 변화로 인해 차량의 중량이 변화되지 않는 콘크리트나 철근으로 제작된 분동을 적재함

(다) 적재중량 범위

- 평가차량의 적재중량은 과적 오차범위 최대량과 최소량 범위(36톤~44톤) 기준 내에서 감독관이 평가대상 장비 봉인 후 결정함
- 적재중량에 대한 기준값은 이동식축중기를 이용하여 신청인 입회하에 측정하여 결정함

(라) 기준값 측정방법

- 기준값 측정은 검/교정 받은 (이동식)축중기를 사용하고 평탄한곳에서 기준값을 측정함
- 기준값 측정은 시험 시작 전과 종료 시 2회 측정하며 각 기준 중량은 동일 장소에서 방향별 2회 측정하여 총 4회의 평균값을 사용함
- 단, 4회 측정 시, 평균값에서 각 회수별 측정값 하중의 편차가 총중량 2%, 각 축하중 4% 이상 발생시 노면이 평탄하지 않은 것으로 간주하여 다른 장소로 이동하여 기준값을 재측정함
- 측정단위는 톤(ton)으로 하며 소수점 3째 자리에서 반올림한 값을 사용하고, 증거자료 확보를 위해 영상자료를 별도로 수집함. 여기서 사용되는 이동식축중기는 국가 교정기관에서 교정 받은 이동식축중기를 사용함. 단, 교정 유효기간을 확인하여 유효기간이내 장비를 사용하여야 함

(마) 평가 차량 주행방법

- 시스템이 설치된 도로의 최고 제한속도 +5% ~ 최저 제한속도 -5% 내에서 주행하도록 하며, 주행여건 및 차량조건에 따라 감독관이 가감조정하여 실행할 수 있음
- 평가 차량은 중량측정 구간을 통과할 때 정속으로 주행하여 통과하며, 중량측정 구간에서는 가감속을 하지 않고 정속 주행함

(바) 평가 차량 주행횟수

- 성능평가는 평가차량이 시스템 설치지점을 반복하여 운행해야 하므로 현실적으로 화물차량 1대가 1일 최대로 시험할 수 있는 시험회수는 10회 정도임
- 따라서, 시험횟수는 평가 차량 2대가 1일 동안 1차로 시험하는 것을 가정하여 차량별 각 10회/차로로 다음 표는 성능평가 종류별 평가차량수, 주행횟수, 유효중량에 해당되는 유효축수, 그리고 유효축수에 해당되는 축하중에 대한 시험횟수를 나타낸 것임

[표 3.87] 성능평가 종류별 시험 횟수

성능평가종류	평가 차량수	주행회수	유효축수	축하중 시험회수
기본	4	10	12(가변축 제외)	120
준공/정기 변경·이설	2	10	7(가변축 제외)	70

(사) 시험 항목

- 성능평가의 시험 항목은 다음과 같이 전체 시스템 중 고속충증기는 중량정확도 시험과 회피주행검지 시험을 수행하며, AVI는 별도로 성능평가를 수행함
- 성능평가 시험항목 중 중량정확도 평가는 차로별로 실시하는 것을 원칙으로 함
- 회피주행검지 시험의 회피주행 유형은 좌로 회피주행, 우로 회피주행 두 개로 구분하여 시험함

[표 3.88] 성능평가의 시험 항목

시험대상	시험항목		세부 시험항목
시스템 전체	고속	중량정확도 시험	주행속도별 중량측정정확도 / 매칭정확도
	충증계	회피주행검지 시험	계중회피주행 유형별 검지율/번호인식율
	AVI	번호인식율/오인식율	위 시험과 별도로 수행

[표 3.89] 성능평가의 시험내용 및 조건

시험항목	시험항목	세부 시험항목
중량정확도 시험	- 설치지점 통과시 최고 제한속도의 +5% 이하, 최저 제한속도의 -5% 이상의 속도로 주행 (10km/h 단위) - 국도의 경우 최고 제한속도 +5% 만 적용 - 일출 30분전, 일몰 후 2시간을 포함해 주행	주행 속도 범위를 벗어난 경우 유효차량에서 제외
회피주행검지 시험	- 좌로 회피주행 - 우로 회피주행	2개 유형별 주행시험

[표 3.90] 시험항목 별 동원차량 대수 및 시험회수

시험항목	동원차량			주행회수	시험회수		
	5축 1단위	5축 2단위	계		중량 계측	차종 분류	위반 촬영
계	2	2	4	30	30	30	10
중량정확도 시험	1	1	2	20	20	20	-
회피주행검지 시험	1	1	2	10	10	10	10

(아) 시험항목별 시험내용

① 중량정확도 시험

- 실제 예상 통과속도에서의 전반적인 시스템의 성능과 설치지점의 최고 제한속도 +5%, 최저 제한속도 -5% 속도에서 시스템의 중량정확도를 시험함
- 평가차량 2대(5축 1단위, 5축 2단위)와 표준분동과 같은 주행 중 적재물의 위치 및 차량 내에서 각 축하중이 변화되지 않도록 고정형 적재물을 사용하여 시험을 진행함
- 일출 30분전, 일몰 후 2시간 이내의 시간을 포함해 주행하며 차로별 20회 주행을 실시함
- 평가차량은 시험대상 차로만 주행하며, 아래 그림은 중량정확도 시험의 주행방법(예시)을 나타냄

[표 3.91] 중량정확도 시험의 평가차량 주행방법

구분	차량배열	속도	주행회수	비고
중앙 주행	감독관 결정	최고 제한속도 +5% ~ 최저 제한속도 -5% (10km/h 단위)	10	차로별 20회 (유효차량)
좌로 밀착 주행			5	
우로 밀착 주행			5	



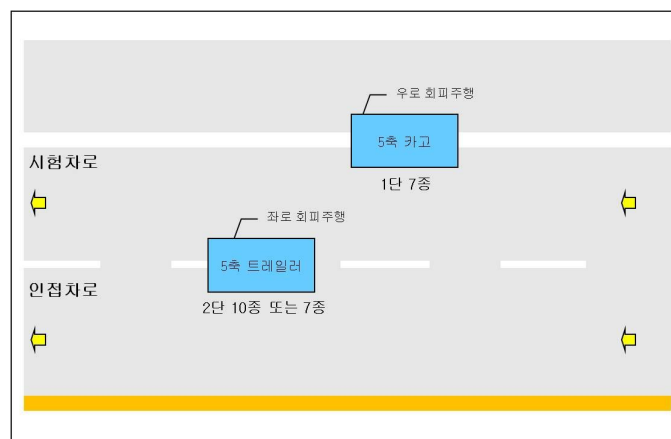
[그림 3.104] 평가차량 주행방법 예시

② 회피주행검지 시험

- 평가대상차로를 회피하는 회피주행검지 시험은 중량정확도 시험에 사용하는 평가차량을 그대로 사용하여 시험을 진행하며, 평가차량은 다음 표를 참조하여 평가대상차로를 좌로 및 우로 회피주행 하도록 하고 속도는 교통상황에 순응하여 주행하도록 함

[표 3.92] 회피주행검지 시험의 평가차량 주행방법

구분	차량배열	속도	주행회수	비고
좌로 회피주행	※감독관 결정	현재 교통상황에 순응	5	차로별 10회
우로 회피주행			5	



[그림 3.105] 평가차량 회피주행 방법 예시

(자) 시험결과물

- 시험항목에 대한 시험결과물은 성능평가 결과물과 회피차량촬영 결과표임

① 성능평가 결과물

- 성능평가 결과물은 다음과 같은 내용을 기록하여야 함
 - 측정일시 : 측정기에서 수신한 년월일시분 표시
 - 일련번호 : 시험횟수별 측정순서대로 번호를 부여
 - 처리구분 : ‘측중제한’, ‘총중제한’으로 해당항목에 표현
 - 축수 : 통과차량의 축수를 표시
 - 속도 : 소수점 첫째자리 까지 표시하며 km/h 단위로 표시(예 10.0 (km/h))
 - 총중량 및 축하중 : 단위는 (ton)이며 진입방향을 기준으로 좌·우 윤중의 소수점이하 2자리까지 표현(예 11,100 kg ⇒ 11.10)
- 성능평가 결과물 예시는 아래와 같음

[표 3.93] 성능평가 결과(예시)

영상화면									
측정일시						일련번호			
처리구분									
축 수						속 도			
총중량(ton)									
축하중(ton)	소 계	1축	2축	3축	4축	5축	6축	7축	8축
(좌)윤중									
(우)윤중									

② 회피차량촬영 결과물

- 회피차량촬영 결과물은 다음과 같은 내용을 기록하여야 함
 - 처리번호는 해당 성능평가 결과표의 일련번호와 일치하여야 함
 - 촬영일시는 초단위 까지 표시되어야 함
 - 화상번호는 위반촬영 영상 일련번호가 표시되어야 함
- 회피차량촬영 결과물 예시는 아래와 같음

[표 3.94] 회피차량시험 결과(예시)

업체명 :	연월일 :
회피차량 사진	
처리번호 :	
촬영일시 :	
화상번호 :	

(2) 시험 환경/여건 점검

(가) 시험시간

- 시험시간은 시스템이 도로면 온도변화에 민감하므로 도로면 온도변화 기준에 따라 시험시간을 결정함
- 도로면 온도가 최대/최저 조건과 온도변화가 최대로 변화하는 시간대로 구분하여 시험함
- 즉, 최대온도시간대(13시~16시), 최저온도시간대(일출 전 30분~(약 3시간)), 온도변화 최대시간대((10시~13시), 일몰 후 30분 이후 시간대(약 3시간)) 이상 4개의 시간대를 참고하여 이와 유사한 조건의 시간대에 시험을 수행함
- 단, 시험일 날씨가 흐릴 경우, 도로면 온도변화가 상대적으로 작게 발생할 수 있으므로 시험기관은 사전에 날씨를 확인하여 맑은 날 시험일을 결정하고, 시험지역의 시험일 일교차가 10℃이상인 날짜에 시험할 수 있도록 함

(나) 운전자 및 안전 점검

- 운전자는 평가차량의 운전이 숙련된 운전자를 섭외하고, 시험 시 유의사항을 숙지하도록 하기 위해 따로 교육을 실시하며, 운전면허증 및 보안각서를 수집·제출하도록 함
- 감독관은 안전한 시험이 진행될 수 있도록 필요시 안전요원 및 안전시설을 배치함

(3) 신청기관 준비사항

- 시스템 구성의 예시는 아래와 같으며, 이러한 시스템 구성과 규격 정보를 신청기관은 시험기관에 제출하여야 함



[그림 3.106] 시스템 구성 예시

- 전체 시스템에 AVI 장비가 포함되어 있을 경우, AVI는 별도로 구분하여 시험하며, 필요 시 시험기관은 AVI 시험성적서를 요청 혹은 확인할 수 있음
- 신청기관은 시험준비 자료로 제출한 시스템 구성 및 기능에 근거하여 시험대상 시스템을 설치해야 함
- 성능평가와 관련하여 시험기관과 신청기관은 다음과 같은 사항을 준비해야 함

[표 3.95] 기관별 준비사항

구 분	시험기관	신청기관
○ 평가차량 및 운전원	-	○
○ 안전관리원	-	○
○ 안전시설(라바콘, PE드럼, 안내간판 등) 설치	-	○
○ 시스템 설치 및 조정	-	○
○ 안전모 및 안전조끼 등	○	○
○ 기타 시험에 필요한 준비사항	○	○

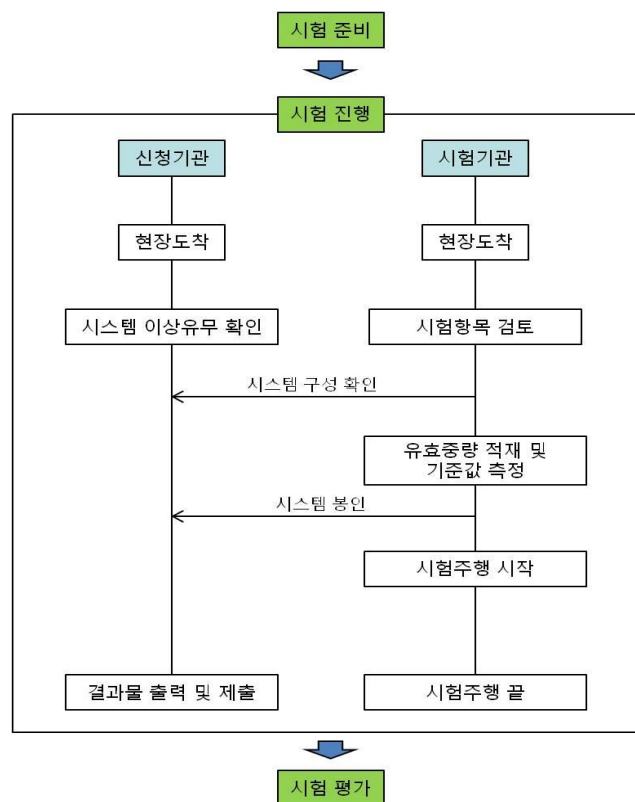
(4) 기타 사항

- 평가차량 특성상 푸셔/테그엑슬 등의 가변축은 중량 설정 후 주행 시 중량 변동 확률이 높기 때문에 성능평가에 적합하지 않아 가변축의 축하중은 제외함(단 스테빌라이저에 의해 압력이 변하지 않는 에어스프링 가변축은 평가대상으로 할 수 있음)

4. 시험 진행

가. 시험 진행 계획 수립

(1) 시험 진행 절차



[그림 3.107] 시험 진행 절차

(2) 시험 일정 및 세부 진행 계획

- 시험시간은 일출 전 30분에 시작하여 일몰 후 30분이 포함되도록 함

[표 3.96] 시험일정

시험시간 \ 구분	주행 속도별 시험	회피주행시험	비 고
① 일출 전 30분 ~	6	2	
② 10시~13시	4	4	
③ 13시~16시	4	4	
④ 일몰 후 30분 ~	6	-	
계	20	10	

[표 3.97] 세부 진행 계획

시험일정		내용	비고
1일차	오전	참여업체 시스템 자체 최종확인 운전자교육, 분동상차, 기준값 측정	
	오후	주행속도별시험 4회 실시 회피주행시험 4회 실시	
	야간	주행속도별시험 6회 실시	
2일차	새벽	주행속도별시험 6회 실시 회피주행시험 2회 실시	
	오전	주행속도별시험 4회 실시 회피주행시험 4회 실시 분동하차	

나. 시험 진행 지침

(1) 일반사항

- 시험은 시스템이 설치된 지점의 포장체 온도변화가 가장 큰 시간대(일출 전 30분, 일몰 후 2시간)에 실시할 수 있음
- 평가 차량에 의한 주행시험 실시 후 그 결과물을 출력함
- 성능시험은 항목별 시험방법에 따라 진행되며, 시험 항목은 시스템 봉인 후 결정하여 통보함
- 항목별 시험방법을 토대로 감독관은 시험방법(시험횟수, 차량배열순서, 시험조건 등)을 변경할 수 있으며, 감독관은 변경사항을 시스템 봉인 후 통보함
- 시스템 봉인 후 시험이 시작되면, 이후 발생하는 시스템의 장애 등 시스템 오류 문제는 신청기관의 책임이며, 더 이상 평가가 곤란한 경우 시험은 종료하고, 재시험은 재시험 절차를 따름
- 시험항목 및 시험방법 결정 후 감독관은 시험에 사용할 적재물과 평가차량은 사전에 결정하여 신청기관이 알 수 있도록 공지함
- 적재중량과 중량정확도 기준값은 평가당일 시스템 봉인 후 결정하며, 기준값 측정 시 입회하여 기준값 측정과정을 확인하고, 적재물이 평가차량 이동시 움직임이 없도록 고정되어 있는지 등 적재물 탑재 상태를 확인하여야 함
- 평가 종료 후 출력된 결과물은 신청기관 현장책임자 및 감독관이 서명, 날인하여 시험기관에서 보관함

(2) 준수사항

- 시험시작 전 충분한 자체점검을 실시·완료하여야 하며, 시험기간 중 조정은 불가능함. 다만 시스템 이상 등으로 조정이 필요한 경우 감독관의 허가를 받은 후 실시하며 허가를 받지 않고 시스템을 조정한 경우 해당 시험은 Fail로 처리함

- 신청기관의 직원은 감독관의 지시 및 통제에 따라야 하며 이를 위반할 경우 감독관은 그 직원의 교체를 해당업체에 요구할 수 있음
- 시스템 제어기는 감독관에 의해 봉인되며 평가 차량에 의한 시험실시 중에는 어떠한 이유로도 제어기에 접근할 수 없으며, 이를 위반하였을 경우 해당시험은 Fail로 처리함
- 신청기관에서 제출한 참여인원 명단에 포함되지 않는 직원은 현장출입을 할 수 없으며 필요한 경우 감독관의 사전 승인을 받아야 함
- 시험결과 출력 시에는 출력을 위해 필요한 조작 이외의 어떠한 조작도 해서는 안 되며 인위적 조작이 인정 될 때에는 당해 시험 모두를 Fail로 처리함

(3) 제출사항

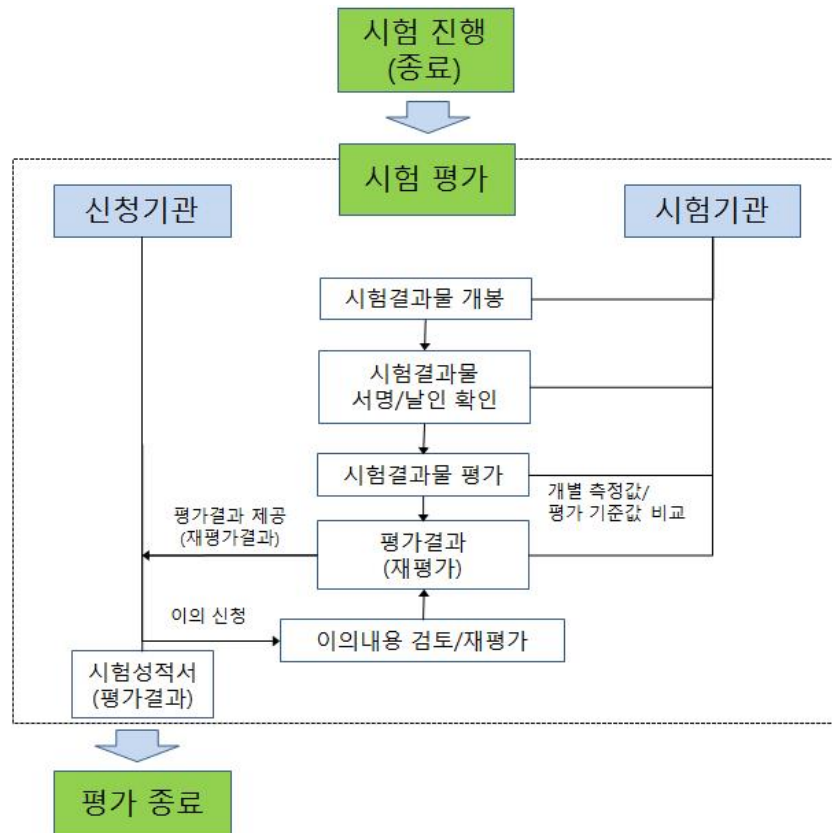
- 신청기관은 성능평가 참여인원 명단을 제출하여야 하며 그 중에서 현장책임자와 안전관리자를 선임하여야 함
- 신청기관은 예비용(시험기관에서 준비 요구한 이외의 수량) 차량 및 적재물을 준비할 수 있으며, 이 경우 시험시작이전에 감독관에게 통보하여야 함. 감독관에게 통보되지 않은 차량과 적재물은 성능평가에 사용할 수 없음

(4) 안전관리 사항

- 신청기관은 안전관리자를 선임하여 시험 중 안전관리를 담당하도록 함
- 신청기관은 성능시험 구간의 모든 도로 시설물을 훼손 및 파손하지 않도록 하여야 하며, 신청기관의 귀책사유로 발생하는 시설물의 훼손 및 파손에 대하여는 각 업체의 책임하에 원상 복구하여야 함
- 신청기관은 자신의 시스템 및 인원에 대한 파손 및 안전사고 등을 책임지며, 시험기관 및 감독관은 별도의 책임을 지지 않음
- 신청기관은 성능시험 현장을 항상 청결하게 유지하여야 하며 민원이 야기되지 않도록 행동하여야 함
- 감독관은 성능시험의 원활한 추진을 위하여 신청기관에 안전관리인원 및 안전과 관련한 제반사항의 지원을 요청할 수 있으며, 해당업체에서는 요구에 응해야 함
- 기타 필요한 사항은 감독관과 각 업체 현장책임자와의 협의에 의해 시행되며, 이에 따른 최종결정권은 감독관에게 있음

5. 시험 결과 평가

가. 시험결과 평가절차



[그림 3.108] 시험결과 평가 절차

- 시험결과 평가는 시험기관에서 주관하여 평가하며, 평가대상 자료는 성능평가 종료 시 신청기관에서 제출한 결과물을 근거로 평가차량의 측정값과 평가기준값을 비교하여 평가함
- 중량정확도 평가는 개별 평가차량의 측정값과 평가기준값을 비교하여 “성능평가 기준”에서 정한 성능기준의 각 평가항목별로 정확도를 분석하여 평가를 수행함
- 평가결과가 도출되면 평가결과를 “성능평가 기준”에서 정한 시험성적서 양식을 준용하여 평가결과를 신청기관에 제공함. 신청기관은 평가결과에 이의가 있을 경우, 이의제기를 할 수 있으며, 시험기관은 이의제기 내용을 검토하여 재평가를 할 수 있으며, 재평가 사유에 해당되지 않을 경우 해당내용의 의견만 회신함
- 평가결과는 “성능평가 기준”에서 정한 양식을 준용하여 시험성적서 형태로 신청기관에 제공하며, 정해진 양식이 없을 경우에는 평가결과보고서 형태로 제공함

제 4 장. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

4.1 목표달성도

핵심성과	단위성과	최종 성과점검기준					달성도 (%)
		질적 성과지표	목표치	측정방법	검증방법	가중치	
고속 무인 과적단속장비 성능평가서(안)	성능기준 규정	기준 설정	등급분류	평가서 세부내용		5.0	100
	검측요소 규정	차량 정보	> 4개 요소	평가서 세부내용		5.0	100
		중량 정보	> 3개 요소	평가서 세부내용		5.0	
		주행 정보	이탈 정보	평가서 세부내용		5.0	
고속 무인 과적단속시스템 성능평가를 위한 기준 중량측정 시스템	규격분동	최대 적재 총중량	> 44톤	현장 성능 시험 보고서		2.5	100
		최대 적재 축하중	> 12톤	현장 성능 시험 보고서		2.5	
	데이터 로깅장치	개발 장비 측정값 표시	10초 이내	성능평가 시험 결과서		2.5	100
		장비 중량 오차 표시	10초 이내	성능평가 시험 결과서		2.5	
고속 무인 과적단속시스템 교정 장비	센서모듈	타이어 공기압 오차	±5%(F.S)	현장 성능 시험서		2.5	100
		분동 거치대 기울기	±2%(F.S)	현장 성능 시험서		2.5	
	인디케이 터	중량 표시 주기	<5초	현장 성능 시험서		2.5	
		총중량 오차	±5%(F.S)	현장 성능 시험서		2.5	
		축하중 오차	±3%(F.S)	현장 성능 시험서		2.5	
고속 무인 과적단속시스템 시험방법 절차서	사례분석 보고서	사례분석 보고서 작성	100%	성능시험 사례분석 결과 확인		5.0	100
	시험방법	시험표준(안) 작성	100%	ITS표준총회 단체표준 제안		5.0	100
	성능평가 업무처리 절차	성능평가 업무처리 절차 작성	100%	성능평가 업무처리 절차 확인		5.0	100
고속 무인 과적단속시스템 설치기준(안)	설치기준	기하구조 기준안 제시	100%	설치기준 보고서		5.0	100
		평탄성 기준안 제시	100%	설치기준 보고서		5.0	
		시스템 구성안 제시	100%	설치기준 보고서		5.0	
성능시험 수행을 위한 시험장 구축	공간확보	설치구간	> 200m	시험장구축 여부		5.0	100
		시험구간	> 2km	시험장구축 여부		5.0	
	WIM 설치기준 확보	평탄성	< IRI 2.0	노면측정시험결과서		2.5	100
		횡단구배	< 3%	시험장 도면		2.5	
		곡선반경	> 1000m	시험장 도면		2.5	
성능시험 수행을 위한 축중기 설치	피에조 형식 1식	다차로구성	2차로	설치 도면		2.5	100
		통신구성(가동률)	100%	현장 성능시험 보고서		2.5	
	벤딩 플레이트 형식 1식	다차로구성	2차로	설치 도면		2.5	100
		통신구성(가동률)	100%	현장 성능시험 보고서		2.5	

4.2 관련분야 기여도

- 국내 ITS사업시행지침에 대하여 고속충중기 분야의 성능평가 기준 마련
 - 자동차·도로교통분야 ITS 성능평가기준 개정안 작성
 - 국내 과적단속체계 패러다임의 전환 계기 마련
 - 대면단속체계의 한계를 극복하고 무인단속체계 도입을 위한 제도적 근거 마련
 - 고속도로 차세대 교통운영체계의 실현의 가능성 증대
 - 스마트톨링 시대(무인·무정차 교통운영체계)에 대비한 운행제한 단속 기틀 마련
-

제 5 장. 연구개발성과의 활용계획

5.1 연구성과물(성능평가서) 실용화 추진

- 자동차·도로교통분야 ITS 성능평가기준 개정
 - 도로상 화물차량 과적운행 근절 및 예방을 위하여 고속주행 환경에서 중량을 측정할 수 있는 고속측중기에 대한 성능기준 마련과 일부 현행규정을 개정
 - 「국가통합교통체계효율화법」 제86조에 따른 지능형교통체계(Intelligent Transport Systems, 이하 “ITS”) 장비, 시스템, 서비스의 기능, 성능이 일정수준으로 유지되도록 유도하는 것을 목적으로 ITS 성능평가를 시행하는 데 필요한 기준, 절차, 방법 등 필요한 사항을 규정함에 있어서 고속측중기에 관하여 항목 신선을 위한 기준 개정 및 국토교통부 고시 시행 추진
- 성능평가기준 개정 추진 절차

[표 5.1] 성능평가기준 개정 추진 절차

①	성능평가 기준 개발	◦ 기준안 고시를 위하여 국토교통부는 표준화전담기관과 성능평가전담기관에 각각 의뢰할 수 있음
②	성능평가 기준 제정 동의 예고	◦ 예고 기간 동안 기준안 의견수렴 ◦ 의견수렴 결과와 협의결과를 심의회에 송부
③	성능평가 기준안 심의	◦ 심의회는 의견수렴 및 협의 결과를 바탕으로 기준의 제정, 개정 또는 폐지 여부를 심의 ◦ 심의 결과를 국토교통부 장관에게 제출
④	성능평가 대상 및 기준 고시	◦ 기준 제정, 개정, 폐지하는 경우 관보 및 국토교통부 홈페이지 등에 고시
⑤	성능평가 기준 관리	◦ 기준의 제정 또는 개정된 날로부터 3년 마다 개정 또는 폐지 여부 재검토

5.2 국내 차세대 과적단속체계 도입을 위한 관련법령 정비

- 과적단속의 무인 체계 도입을 위한 도로법 개정
 - : 무인과적단속에 활용되는 기본 장비인 고속측중기에 관한 ITS 성능평가기준이 마련될 경우 도로법 상에서 과적단속에 있어 무인단속(무인단속장비)의 설치 및 활용에 관한 근거 마련 필요
 - 무인과적단속 검측차로 규정 신설
 - 무인과적단속 검측에 대한 계측 회피 행위 규정 : 적재량 측정 방해 혐의 적용
- 국토교통부 훈령(차량의 운행제한 규정) 상의 관련조항 개정
 - 무인단속에 필요한 각종 표지·시설·장치 등의 설치 및 운영방법에 대한 상세 규정 마련
- 기기별 허용오차 차등화 추진
 - 일률적인 허용오차 10% 적용 규정에 의하여, 화물운송자(운전자)들이 오차가 반영된

초과중량(축하중 11톤, 총중량 44톤)을 기준으로 오인하여 사실상 단속기준이 상향되는 부조리 발생

- 단속장비의 기기 오차를 고려한 허용오차 및 사용오차 차등 적용 필요
- * 차량의 운행제한 규정 : 단속장비의 사용오차는 최대허용오차의 2배

[표 5.2] 장비별 허용오차와 사용오차 제안 예시

장비		최대허용오차	사용오차	비고
이동식축중기		0.5%(검정기준)	1%	훈령
저속축중기		2%(설치기준)	4%	훈령
고속축중기	총중량	5%(성능평가기준)	10%	제안 예시
	축하중	10%(성능평가기준)	20%	제안 예시

- o 기존 대면단속체계의 허용오차와 신규 무인 단속체계의 허용오차 차등화 검토
 - 기존 단속체계는 저속 또는 정차 상태에서의 대면검측 및 재검측을 허용하는 방식이므로 기존 허용오차 유지
 - 무인 단속체계는 고속상태에서의 비대면검측 및 재검측을 불허함으로 허용오차 완화
→ 예를 들어, 20%로 상향
- o 조합축 단속기준 신설 검토
 - 조합축 여부와 축수를 고려한 총중량 기준을 차종별로 차등화할 경우, 무인 단속 시 총중량 단속만으로도 도로구조물에 영향을 끼치는 과적하중에 대한 적정수준 관리 가능
 - 무인 과적단속체계를 도입할 경우 재검측 불허에 따른 단속기준 완화 대책(총중량만 단속, 단 차종별 총중량 차등)
 - * 무인 단속(본선 상 상시단속)체계 도입을 통한 과적단속 패러다임 변화
 - 대면단속 : 고발위주 단속체계 → 비대면단속 : 과적예방위주 단속체계

5.3 국내 고속도로 환경에 적합한 고속축중기의 정확도 개선 기술 개발 연구 추진

- o 성능평가기준 마련과 도로법 무인과적단속 근거 마련 등 관련 법령 정비를 통하여 국내에 무인과적체계가 정착될 경우 단속장비의 기본이 되는 고속축중기의 정확도 향상을 위하여 교통 환경에 따른 오차발생 보정기술, 차량특성 및 축구조 특성에 따른 센서응답 보정기술 등의 기술적 접근을 통해 무인단속장비의 신뢰성을 높일 수 있는 기술개발 연구 필요.

5.4 무인 과적단속체계 도입을 위한 현행 과적단속기준의 재검토 필요성 제안

- o 단속기준 획일화에 따른 문제점

- 국내 단속기준은 모든 화물차량에 대하여 축수(구체적으로는 축구조)에 무관하게 총중량 40톤(허용오차 고려한 단속 44톤), 축하중 10톤(허용오차 고려한 단속 11톤)으로 제한하고 있어 축수가 적은 구조일수록 총중량 제한 내에서 축하중 초과가 이루어질 가능성을 상당히 많이 내포하고 있음(우리나라만의 독특한 기준).
- 조합축이 도로구조물에 끼치는 영향
 - 축하중은 그 중량의 크기에 따라 일정한 범위내에서 포장체에 영향(내부응력, 변위 등)을 끼침.
 - 만약 축이 서로 인접할 경우 각각의 개별축이 끼치는 영향 범위가 상호간 겹치게 되는 하중 중첩현상이 발생하고, 하중이 중첩될 경우 그 영향은 개별축일 경우에 비하여 가중되는 문제가 발생.
 - 대부분의 선진 외국에서는 하중제한 시 인접한 축으로 구성된 조합축에 대해서는 단일축 보다 까다로운 기준으로 관리.
- 과적과 가변축 조작이 운행안전(제동거리)에 끼치는 영향.
 - 차량 제동 시 브레이크와 라이닝 사이의 마찰력은 일정하나 중량이 높아질 경우 차량을 제동시키기까지의 시간이 더 많이 소요되어 제동거리 또한 늘어남.
 - 국내의 경우 중대형화물차종 중 비율이 높은 6축(4축 화물차 또는 5축 화물차 중 가변축을 들어 올리고 주행하는 화물차)과 7축(5축 화물차)의 경우 축조작(축들기)을 하면 타이어 접지면적이 줄어들어 마찰력 저하로 제동거리가 길어져 사고위험성이 높아짐
- 화물운전자(피검측자) 입장에서 조합축 내 개별 축하중 단속의 적정성 검토.
 - 화물운전자의 입장에서, 대부분의 운전자는 송장이나 운송거래장 등을 통하여 화물적재 과정에서 스스로의 총중량을 인지하게 되나, 개별 축별로 분포되어지는 각각의 축하중, 특히 조합축 내의 각각의 개별 축하중을 운전자가 명확히 인지하기는 어려운 것이 현실.
 - 이러한 상황에서 운전자 스스로가 인지하기 어려운 운행상태에 대하여 조합축 내 각축을 개별적으로 단속기준을 적용하는 것이 합리적인지에 대한 검토 필요.
- 합리적 단속기준 및 단속방법에 대한 제시
 - 위 제안 사항에 따라, 도로구조물의 보전과 운행의 안정성 확보는 물론 단속의 효율성과 합리성을 확보하기 위해서 현행 획일화된 총중량 단속기준을 축구조(축수 또는 조합축의 영향)를 고려하여 각 구조에 맞는 차종별 총중량 기준 차등화를 적용 필요
 - 차종별 총중량 기준 차등화 적용 후, 무인단속 도입 초기(과도기 또는 계도기)에는 운전자가 비교적 인지할 수 있는 총중량에 대해서 집중적으로 단속함으로써 단속자-피검자 간의 상호 신뢰는 물론 단속의 효율 또한 높여 실효적인 중량관리를 도모하는 것이 바람직하다고 사료됨.

5.5 스마트톨링 환경에서의 고속축중기 활용

- 국내 고속도로의 영업체제는 하이패스 보급률 70%를 육박하여 2020년에는 완전한 무통제 요금징수체계인 스마트톨링 시대를 기획하고 있음
- 고속도로의 영업체계가 스마트톨링 시스템으로 전환될 경우 고속도로를 이용하는 모든

차량은 고속도로 진출입에 있어 교통의 흐름에 통제받지 않고 연속적 운행이 가능해짐

- 운행제한 위반 단속행위에 있어서, 현행 정차 또는 서행 상태에서의 대면단속체계는 이러한 스마트톨링 체계와 부합하지 않으며, 고속축중기를 활용한 무인·무정차 단속체계를 스마트톨링 체계와 연계할 경우 완전한 스마트톨링 영업체계를 구현할 수 있을 것으로 사료됨

5.6 규격분동의 활용

- 본 연구에서 개발된 규격분동의 경우 ‘국가과학기술종합정보시스템’에 연구장비(명칭 : 화물차량 하중재하 시험용 분동)로 등록하였음
 - 향후 고속축중기의 ITS 성능평가기준이 고시될 경우 국내 성능평가전담기관 3개사(한국도로공사, 한국건설기술연구원, 한국지능형교통체계협회)에서 고속축중기 성능평가를 수행함에 있어 본 규격분동을 시험차량 하중재하 설정용도로 활용할 수 있음
-

제 6 장. 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보

6.1 고속측중기 성능 관련 연구보고서 정보

- ASTM1318을 규격으로 사용하는 미국은 주로 벤딩플레이트 형식의 고속측중기 시스템을 사용하다가 2000년대 초반부터 피에조쿼츠 형식의 시스템을 시험도입하기 시작하였음. 도로의 노면 평탄성에 대한 책임을 고속측중기의 설치 운영기관에게 전담시키는 ASTM1318의 기본 원칙에 의해 상대적으로 시공비중이 작은 피에조쿼츠 시스템의 시험 설치가 미국 내 여러 주에서 시행되었으며 포장의 종류에 큰 관계없이 원활한 운영 상태를 보이고 있는 것으로 보고되었다. 다만, 이 보고서는 미국 내에서 주로 사용되는 고속측중기의 성능 총중량 10% 오차를 가지는 TYPE I 형식을 기준으로 연구한 것임
- Matti Huhtala(2002), “Instrumented Vehicle and its use for calibration of WIM-systems,” 7th INternational Symposium on heavy vehicle weights & Dimensions, Delft The Netherlands, June 16-20, 2002
 - 차량 주행 시 노면 평탄도에 의한 동적 휠 부하를 고려하여 WIM 시스템의 현장 칼리브레이션 시 동적 하중을 측정할 수 있는 instrumented vehicle을 별도로 제작하여 북부 스웨덴과 프랑스 메츠 근처의 WAVE 테스트를 수행하였다. 이 3축 차량에는 단일축과 텐덤축으로 이루어진 차량으로 가속도계와 스트레인 게이지를 휠 연결부에 부착하고 고속 샘플링을 수행하여 정적 하중에 동적 하중, 가속도에 의한 영향 까지 소거하여 최대한 정밀한 동적 윤하중을 측정하고자 하였다.
- Davis, L., & Bunker, J. (2007). Heavy Vehicle Suspensions - Testing and Analysis. A literature review. Brisbane, Queensland: Queensland Department of Main Roads; Queensland University of Technology.
- State of Queensland (Department of Main Roads) & Queensland University of Technology 2009, “Suspension testing of 3 heavy vehicles - dynamic wheel force analysis Report”
 - 세 종류의 축을 가지고 있는 세미트레일러에 가속도계와 스트레인게이지의 조합을 설치하여 정적/동적 축하중을 유추해냈다. 이는 단순히 일반적으로 포장의 평탄도가 영향뿐만 아니라 여러 가지 변수, 즉 포장의 평탄도와 주행 속도, 좌우 윤하중의 불균형에 따라 순간적으로 변하는 동적 윤하중이 영향을 받는다는 것으로 결론을 내었다.

6.2 해외 각국의 과적단속 기준 정보

- 영국
 - 축구조에 따라 총중량 16단계로 세분화 3.5~44톤
 - * 축구조 고려사항 : 축수, 조합축, 연결차
 - 단일축하중 8.55톤 제한
 - 최대 총중량 44톤(6축 이상 연결차)
- 미국 - 캘리포니아 주

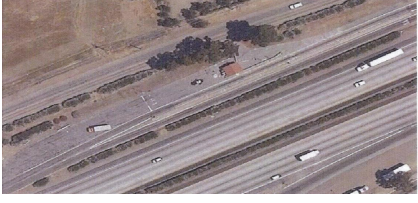
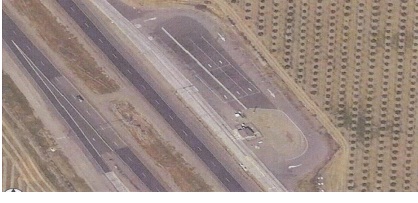
- 축구조에 따라 총중량 세분화 약 15~36톤(34,000~80,000lb)
- * 축구조 고려사항 : 축수, 조합축, 최원축간거리
- 단일축하중 약 9톤(20,000lb)
- 최대 총중량 약 36톤(80,000lb)
- o 미국 - 뉴욕 주
 - 축구조에 따라 총중량 세분화 최대 약 36톤(80,000lb)
 - * 축구조 고려사항 : 축수, 조합축, 최원축간거리, 바퀴수, 바퀴폭
 - 단일축하중 약 10톤(22,400lb)
 - 조합2축하중 약 16톤(36,000lb)
 - 조합3축하중은 조합축내 축간거리 고려한 계산법 적용
 - 최대 총중량 약 36톤(80,000lb)
- o 미국 - 와이오밍 주
 - 총중량과 조합축으로만 제한(축수, 조합축 구조 등 고려)
 - 최대 총중량 약 40톤(90,000lb)
- o 미국 - 오리건 주
 - 축구조에 따라 총중량 세분화 최대 약 36톤(80,000lb)
 - * 축구조 고려사항 : 축수, 조합축, 최원축간거리, 바퀴폭
 - * 바퀴폭 1인치당 272kg(600lb) 적용
 - 단일축하중 약 9톤(20,000lb)
 - 최대 총중량 약 36톤(80,000lb)
- o 미국 - 웨스트버지니아 주
 - 축구조에 따라 총중량 세분화 최대 약 36톤(80,000lb)
 - * 축구조 고려사항 : 조합축, 연결차
 - 단일축하중 약 9톤(20,000lb)
 - 3축 차량 약 27톤(60,000lb)
 - 4축 차량 약 31톤(70,000lb)
 - 5축 차량 약 33톤(73,000lb)
 - 6축 이상 연결차 약 36톤(80,000lb)
- o 일본
 - 축구조에 따라 총중량 세분화 최대 약 20~25톤
 - * 축구조 고려사항 : 조합축, 연결차, 최원축간거리
 - 단일축하중 약 10톤
 - 조합축 18~19톤
 - 도로종별 차량의 최원축간거리에 따라 제한기준 세분화
 - * 일반도로 24~27톤, 중량지정도로 25~27톤, 고속도로 25~36톤

6.3 해외 각국의 과적단속 방법

가. 미국

- 도로의 특성에 따라 고정식 단속시설을 활용한 단속 위주
 - 총 5단계의 시설규모를 구분하여 적용

[표 6.1] 미국의 과적단속 방법

시설단계	특징	비고
	[Class A] - 본선 고속측중기(선별) - WIM - 계중기 - 차량 및 장비 검사소	우리나라의 고속측중기로 화물차량 선별시스템을 보유한 고정식 검문소와 유사 Class A, B에는 경찰부서장(1), 경사(2), 사무원 및 검차원 다수로 구성
	[Class B] - 본선 고속측중기(선별) - WIM - 계중기 - 차량 및 장비 검사소	
	[Class C] - 본선 고속측중기(선별) - WIM - 계중기 - 적재물 보관장	
	[Class D] - 중량측정장치	Class A, B에 대한 보조적인 시설
	[Mini-site] - 단속 공간만 확보	이동단속 포인트

나. 일본

- 일본은 총중량에 대한 기준이 대체로 까다로운 편이며, 중차량에 대한 허가제를 실시하고 있음
- 특수차량 통행에 관한 지도단속 강화(일본 국토교통성 2008.10.01. 시행)
 - * 2007년 5월 전국평균 허가위반 52%, 무허가 38%, 허가준수 10%
 - 지도단속기지(검문소)와 차량중량자동계측장치(고속측중기) 연계 단속

[표 6.2] 일본의 과적단속 방법

차량중량 자동계측장치	지도단속기지
 중량을 자동 측하여 과적, 허가 유무 등 판정, 위반사업자에 대한 지도경고서 송부	 검문소에서 화물의 분리이송, 중량경감 등을 지시

다. 유럽

대부분의 유럽연합 국가들은 단속의 주체가 경찰로서 이동단속 위주의 단속체계를 갖추고 있으며, 고속측중기(HS-WIM)를 통하여 과적의심차량 선별하거나 차량 및 중량 정보의 DB 구축으로 다양한 용도의 활용을 꾀하고 있음.

- 이동단속(거의 모든 유럽연합 국가)
 - 고속측중기(WIM)를 이용하여 과적의심차량을 선별
 - 경찰이 이동단속차량을 이용하여 최종 단속
- 집중단속(슬로베니아, 네덜란드, 프랑스)
 - 특정 날짜나 시간을 선정하여 특정 노선에서 집중 단속 시행
- 화주/운송사업자 경고(네덜란드, 프랑스)
 - WIM 누적 DB를 활용하여 주요 위반업체에 대한 집중단속
 - 경고문, 권고문 등 발송하여 과적 사전 예방

6.4 체코의 과적차량 단속시스템 운영 현황

가. 고속측중기 관련제도

- 단속 근거 : 교통법(Traffic law No. 13)
 - 고속측중기를 이용한 직접 단속이 포함되도록 개정(2010.1, 교통부)
- 인증 근거 : 고시(Ordinance No. 345)
 - 필수 검증 대상 기기로 지정(2011.1, 통상산업부)

나. 과적기준 : 우리나라보다 복잡한 기준 적용

[표 6.3] 한국과 체코의 제한중량 과적기준 비교

구 분	한국	체코	
제한중량 (단위 : 톤)	총중 : 40톤 축중 : 10톤	2축 차량	총중 : 18톤 1축 : 10톤 2축 : 11.5톤
		5축 차량	총중 : 44톤 1축 : 10톤 2-3축 : 19톤 1-3축 : 25톤 4축 : 10톤 5축 : 10톤 4-5축 : 18톤

다. 고속축중기 운영·유지관리 실태

- 운영 현황 : 7개소(고속도로 6개소, 국도 1개소)
- 도로관리기관과 유지관리 계약 체결
- 유지관리방법 : 도로관리기관의 교정절차서(Calibration protocol)에 의거 시행
- 교정방법

[표 6.4] 체코의 고속축중기 교정 방법

시험차량	주행속도	주행횟수	허용오차
5톤 1대	평균속도	차로별 5~10회	총중량 : $\pm 5\%$ 축하중 : $\pm 11\%$

제 7 장. 연구개발성과의 보안등급

o 해당사항 없음

제 8 장. 국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황

구입 기관	연구시설/ 연구장비명	규격 (모델명)	수량	구입 연월일	구입 가격 (천원)	구입처 (전화번호)	비고 (설치 장소)	NTIS장비 등록 번호
한국 도로 공사 도로 교통 연구원	화물차량 하중재하 시험용 분동	-	1set	2015.10.24	82,300	스틸텍 (043-878-6 815)	한국도로공사 도로교통 연구원	NFEC-2016- 04-208877

제 9 장. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전조치 이행 실적

○ 해당사항 없음

제 10 장. 연구개발과제의 대표적 연구 실적

번호	구분 (논문/ 특허/ 기타)	논문명/특허명/ 기타	소속 기관명	역할	논문 게재지/ 특허 등록 국가	영향력 지수	논문 게재일 /특허 등록일	사사 여부 (단독 사사 또는 중복 사사)	특기 사항 (SCI 여부/인용 횟수 등)
1	기타	고속 무인 과적단속시스템 성능평가기준(안)	한국 도로 공사			정책제도			
2	논문	고속WIM시스템 의성능평가방법 에관한연구	(주) 유디코	주 저자 /공 저자	한국 ITS학회 춘계 학술대회	학술발표	2016.04.29		
3	기타	고속 무인 과적단속장비의 데이터로깅 소프트웨어	(주) 유디코	저작 권자		소프트 웨어 등록	2016.02.03		
4	기타	고속 무인 과적단속시스템 성능시험방법	한국 지능형 교통 체계 협회			표준화 과제 채택			

제 11 장. 기타 사항

o 해당사항 없음

제 12 장. 참고 문헌

- o 2007, Investigation for Traffic Monitoring Equipment Evaluation Facility, Texas DOT
 - o 2012, Korea Expressway Corporation, “Status of overweight trucks on expressway,” Korea Expressway Corporation.
 - o 2002, COST323, Weigh-In-Motion road vehicle : Final report of the COST323 Action 1993-1998, eds. Jacob, E.J. O、Brien and Jehaes, LCPC, Boulevard Lefebvre, Paris.
 - o 2007, Davis, L., & Bunker, J., Heavy Vehicle Suspensions - Testing and Analysis. A literature review. Brisbane, Queensland: Queensland Department of Main Roads; Queensland University of Technology.
 - o 2002, Matti Huhtala, “Instrumeted Vehicle and its use for calibration of WIM-systems,” 7th INternational Symposium on heavy vehicle weights & Dimensions, Delft The Netherlands, June 16-20, 2002
 - o 2009, State of Queensland (Department of Main Roads) & Queensland University of Technology, “Suspension testing of 3 heavy vehicles - dynamic wheel force analysis Report”, p.32-33
-

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 교통물류연구사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 교통물류연구사업의 연구 결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.

