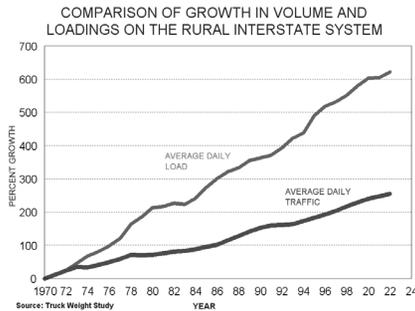


# WIM시스템의 소개와 정책적 활용방안

한대석, 김성현, 도명식

## 1. 서론

전 세계 대부분의 국가에서 물동량의 대부분을 도로를 이용하여 처리하고 있다. 또한 국가가 선진화 되어 갈수록 차량의 대형화가 이루어지고 있다(〈그림 1〉참조). 이러한 대형차량은 도로관련 사회간접자본과 국가 경제적 측면, 교통류에의 영향, 도로안전 등 다양한 측면에서 영향을 미치고 있다.



〈그림 1〉 교통량과 하중 간 성장률비교(미국)

자료: David(2005)

WIM(Weigh-In-Motion)은 이동 중인 차량의 차종구분, 속도측정, 하중측정이 가능한 장비로 보통 측정 가능한 속도유형에 따라 저속 WIM, 고속 WIM(LS-WIM, HS-WIM)으로 분류된다. WIM시스템은 단순히 생각

한대석 : 한국건설기술연구원 첨단도로교통연구실, hands@kict.re.kr, 직장전화:031-910-0408, 직장팩스:031-919-5694  
 김성현 : 한국건설기술연구원 첨단도로교통연구실, vocer@kict.re.kr, 직장전화:031-910-0189, 직장팩스:031-919-5694  
 도명식 : 국립한밭대학교 토목환경도시공학부, msdo@hanbat.ac.kr, 직장전화:042-821-1192, 직장팩스:042-821-1185

하면 이동 중인 차량의 무게만을 측정하는 장비로 생각될 수 있으나, 장기적인 안목에서 사회간접자본의 계획 및 설계, 운영 관리에 있어 매우 중요한 항목으로 인식되고 있다. 특히, 포장설계 및 유지보수, 교량설계, 교통류 관리, 과적차량단속 및 도로세 부과 등에 적용이 가능하며, 응용하기에 따라 활용분야는 더욱 더 확대 될 것이다. 이러한 잠재성을 인지한 세계 각국의 나라 특히, 미국과 유럽연합은 광범위한 테스트 및 활용방안에 대해 연구 및 적용중이다. 한국의 건설교통부도 1997년에 37개 지점에 42대의 WIM시스템을 도입하여 운영 중에 있으나 WIM시스템의 고질적인 문제로 인식되고 있는 정확도 문제와 WIM시스템 적용에 대한 기준 및 정보 미흡으로 인해 활발한 활용이 이루어지고 있지는 못한 실정이다. 시스템 자체의 문제해결도 매우 시급한 사항이나 그에 앞서 WIM시스템에 대한 전반적인 활용방안에 대한 고찰과 적용기준에 대한 연구가 먼저 이루어져야 할 것이다. 이는 향후 활용방안이 시스템의 정확도, 개선계획과 밀접한 관계가 있기 때문이다.

유럽의 협력 연구 프로젝트인 COST(Co-Operation Study in the filed of Technical research)323에서 참여국들의 의견을 수렴한 결과, 각 국에서 활용하고자 하는 분야를 네 가지로 간략하게 요약하면 다음과 같다(COST323, 2002).

- 포장설계기준과 유지보수의 최적화
- 교량의 장기 공용성 평가와 안전설계
- 도로교통통제 및 관리, 안전성 확보
- 과적차량단속에 대한 적용

WIM시스템의 정확한 도입 및 운영, 활용분야의 활성화를 위해서는 참조 가능한 적용기준을 정리할 필요가 있다. 그러나 현재 국제적으로 통용되는 WIM 표준이 없으며 몇몇의 (미완성 혹은 국한적인)국제적 기준(ASTM 1318-02, METT-LCPC 1993, VIEA 1994, NWML 1995)이 사용되고 있다(COST323, 2002). 이는 그간 한국에서 적극적 활용이 이루어지지 못한 이유 중에 하나이기도 하다.

본 원고에서는 국내 시스템의 문제점을 파악 및 개선하고, 향후 WIM의

적극적 활용을 도모하기 위한 전반적인 사항들을 중심으로 서술하고자 한다. 이를 위해 그간 축적된 세계 각국의 연구결과 및 국내외 국내현황을 살펴보고 국내 WIM시스템 개선 및 활용방안에 대해 고찰해 보기로 한다.

## II. WIM의 필요성

### 1. 무게와 하중측정의 필요성

최초의 무게 및 하중의 측정은 오래된 교량의 안전성을 확보하고 차륜과 축하중으로부터 포장을 보호하기 위해서였다.



〈그림 2〉 과적으로 인한 피해사례

자료: B. Jacob(2007-2)

WIM시스템의 필요성을 설명하기 위해서는 ‘우리는 왜 과적을 막아야 하는가?’란 본질적인 질문에 대해 고려해 볼 필요가 있다. 이는 도로관리비용, 교통지체의 발생, 도로안전, 운송수단 간의 불공정한 경쟁관계 등으로 정의할 수 있으며, 그에 대한 대안을 WIM시스템을 통한 하중정보 습득을 통해 찾아내야 할 필요가 있다.

### 2. 정적(Static)하중계측의 단점

정적하중계측은 그간 과적단속을 위해 과적검문소에서 실시되어 왔다. 정적하중계측은 정확도측면에서 법적기준을 충족 하고 있으나 다음측면에

서 한계를 가진다.

- 너무 많은 시간을 필요로 함(대당 5-15분)
- 너무 많은 인력을 필요로 함(유지비용과다)
- 너무 적은 샘플 수
- 너무 쉽게 트럭이 단속을 피함
- 너무 많은 시간낭비(합법적인 운영을 하는 차량의 단속시간)
- 글로벌 ITS와 호환적인 측면
- 혼잡지역에 부적합

### 3. WIM시스템의 특성

#### 1) WIM시스템의 장점

WIM시스템은 24시간에 걸쳐 이동 중인 차량의 모든 차량에 대한 샘플을 수집하게 됨으로써, 연구 뿐 아니라 통계자료로서도 충분한 의미를 충분히 갖기 때문에 기존 검문소의 보완적 역할은 물론 독립적인 적용 또한 가능하다.

WIM은 이동 중인 차량의 무게뿐만 아니라, 차종구분, 속도예측이 가능하기 하고 기존 TMS(Traffic Monitoring System)장비인 AVC(Automatic Vehicle Classification)와의 호환에도 적합하기 때문에 다양한 데이터를 수집하는데 있어 보다 경제적인 도구로 인식된다. 또한 교통류에 대한 방해가 없으며 데이터의 편향이 없다. 이렇게 얻어지는 차량의 하중자료들은 교량의 안전설계와 통제, 포장 설계코드의 보정, 과적단속의 효율성 증대, 사회간접 자본 시설과 차량 간의 상호작용연구를 위한 도구로써 다양한 정보를 제공할 수 있다.

#### 2) WIM시스템의 단점

WIM은 시스템운영 및 법제화 측면에서 다음과 같은 단점을 가지고 있다.

- 포장상태(종단평탄성, 소성변형, 균열 등)에 매우 민감

- 차량의 동적움직임(가·감속, 서스펜션)에 민감
- 주기적인 센서보정필요(운영비용증대)
- 법적사용을 위한 승인요건의 확보(정확성 확보에 어려움)
- 센서 설치와 유지보수 시 교통류에 악영향

대부분의 사항은 시스템 정확도와 깊은 연관을 가지고 있다. WIM의 정확도는 크게 1)WIM시스템의 종류, 2)대상구간의 기하구조 및 물리적 조건(포장상태 등), 3)환경조건, 4)센서보정에 따라 결정되게 되는데 적정 수준의 정확도를 유지하는 데는 많은 비용과 노력은 물론이고, 대상구간의 선택 또한 매우 중요한 변수가 된다.

국내 현황을 고려해 볼 때 현재 국내에 설치되어있는 WIM은 국도에 설치되어 있는 경우가 대부분이기 때문에 도시계획과 맞물려 해당구간의 측정 조건이 변화할 가능성이 존재 한다. 즉, 도로변 토지이용의 변화로 인해 교차로가 설치되거나, 대기행렬이 발생하면 저속측정이나 가감속이 발생하게 되고 결국 WIM시스템의 정확도에 큰 영향을 미치게 된다. 이런 경우 결국 시스템의 이설이 불가피 하기 때문에 추가적인 예산이 요구될 수 있다. 이에 향후 시스템 이설 및 증설 시에는 토지이용계획과 교통류 특성에 대해 장기적인 예측과정이 반드시 필요하다.

### Ⅲ. 국내·외 적용현황

WIM을 적극적으로 도입 및 연구하고 있는 나라는 크게 미국과 유럽연합으로 구분되며, 최근에는 한국을 비롯한 중국, 홍콩, 태국, 대만, 일본 등 아시아 주요국가에서도 많은 관심을 보이고 있다. 각 국내·외 도입현황을 간단하게 요약해 본다.

#### 1. 아시아

아시아에서도 이미 많은 나라들이 WIM을 도입하거나 긍정적으로 검토 중에 있다. 아직 초기단계인 나라들은 주로 교량 등의 안전관리 등을 중심

으로 적용하고 있으며, 그 이후에는 주로 과적단속을 주목적으로 하고 있다 (<표 1>참조).

<표 1> 아시아 국가의 WIM 운영현황

국가	특징
중국	· 30지점운영 · 과적제한 30%이상 위반차량 검지 · 교량안전강화목적(난징교)
홍콩	· 2지점(Bending Plate 도입) · 교량관리목적
일본	· WIM+AVI+VMS 혼합적용(과적차량 적발시스템 적용)
말레이시아	· 44지점 설치(1992-1998년) · 1개월 단위 조사, 6개월 단위 Calibration · 과적률 48% → 36% (1998-2001) · 정확도 기준 HS-WIM 15% · 37지점 TMS, 과적단속차량 사전선택시적용,
한국	· 1지점 교량관리 · 1지점 AVI+VMS와 혼합적용 · 피에조센서 적용 · 과적위반차량적발 75%증가
대만	· 과적제한 20%이상 위반차량 검지 · 정확도 HS-WIM 10-15%, LS-WIM 5%기준
태국	· 2002년 도입(교량적용) · 측정 장소가 일반차로에서 분리

자료: Chia-pei(2002)

<표 1>을 참조하면 쉽게 알 수 있듯이 WIM의 허용오차나 과적단속기준, 적용분야 등에 상당히 차이가 있음을 알 수 있다. 하지만 이는 국가적 특성을 반영한 결과라기보다는 국제적 WIM적용기준이 미비하기 때문이라 사료된다.

## 2. U.S.

미국은 중대형 차량의 장거리 통행이 많은 만큼 중량자료수집에 있어 170년의 역사를 가지고 있다. FHWA(Federal Highway Administration)을 비롯한 대부분 주의 교통국들은 WIM네트워크를 구축하여 하중관련 정보를 조사 및 가공하여 통계치를 구축하고 있으며(<그림 3>참조), 특히 AADT와 동등단축하중(ESAL; Equivalent Single Axles Load)을 중심으로 정보를 제공하고 있다.

## 3. 유럽연합(E.U)

유럽의 경우 COST323 action을 중심으로 15개의 회원국과 관계기관,

센서생산업체 등이 참가하는 대규모의 프로젝트를 시행하여 WIM시스템 적용의 기초가 될 만한 연구 성과를 제시하였다. 각 참가국의 관심분야와 향후 적용방안에 대한 사항을 요약해 보았다(<표 2>참조).

<표 2> 유럽 COST323멤버국의 WIM적용현황 및 향후적용방안

참가국	활용방안 및 계획	
오스트리아	· 하중단속 · 교통하중과 차중구성비자료 획득	· 등가단속하중(ESALs)의 계산 · 교통류의 통계적 연구
벨기에	· 교통류(대형화물차량) 데이터 수집 · 도로네트워크의 유지보수 설계	· 과적단속(사전차량선택에 사용)
덴마크	· 포장설계	· 도로계획 및 유지보수
핀란드	· 동절기 환경 테스트	· WIM 장비개발
프랑스	· 하중 및 속도단속, · 다양한 운송수단간의 형평성 연구	· 도로안전 · 도로설계 및 유지보수 모델결정
독일	· WIM네트워크구축을 통한 통계구축	· 차중구분 및 과적차량 수 계산
영국	· 과적차량 단속을 위한 사전선택 · 도로건설기준설립의 위한 자료수집	· 과적단속의 자동화
헝가리	· 연속적인 조사(계절적으로) · 자동화 장비의 증가	· 교통류 실시간 해석 또는 향후 예측 · 포장설계, 유지보수기준 교정
아일랜드	· 통계치의 확대연구 및 질적개선 · 과적 모니터링	· 포장평가 및 설계방안에 참조
네덜란드	· 고 하중에서의 포장행태 연구 · 도로망의 유지 및 개발	· 카메라 장비와 병행한 과적단속 · 국가경제관련 통계 및 수송전략수립
포르투갈	· 과적단속과 통계적 연구목적	
슬로베니아	· 과적단속	· 교량안전관리
스페인	· 포장설계와 유지보수를 위한 정보획득 · 설계기준 개정과 도로관리의 효율화	· 경제성연구를 위한 하중통계정보구축 · 과적단속 시 차량의 사전선별
스웨덴	· 기후조건에 적합한 장비의 개발	
스위스	· 고속도로 네트워크의 보존	· 경제적-환경적 연구에 관심
OECD	· 차량-도로, 차량-교량의 상호관계연구 · 차량서스펜션 및 도로평탄성의 연구	· 유지보수이용의 감소방안

<표 2>이외에 관련 자료들을 참조하면 아시아나 미국에 비해 과적단속이나 포장연구 등의 공통적인 항목이외에도 경제-환경분야, 기후, 장비개발, 수송전략, 단기적 기술과제 등 상당히 다양한 분야에 대한 관심을 보이고 있다. 특히 자국의 기후나 교통류, 도로인프라의 특성에 적합한 적용방법을 응용하는데 많은 노력을 기울이고 있음을 알 수 있다. 국내에 도입된 WIM 장비의 효율적·다각적인 적용을 위해서는 국내현황을 정확히 파악하고 활용하고자 하는 분야를 분명히 해야만 할 것이다.

#### 4. 한국(국내현황)

국내 WIM도입배경은 ‘도로교통량조사 및 관리제도 개선연구(국토개발연구원, 1993)’, ‘과적차량 단속체계 개선방안 연구(한국건설기술연구원, 1995)’, 도로교통량조사 운영체계 수립 및 관련기술개발(한국건설기술연구원, 1995)등 교통량 조사개선 연구를 근거로 하여 추진되었다(한국건설기술연구원, 2001).

〈표 3〉 한국의 용도/연도별 설치현황(지점)

년도	총계	한국건설기술연구원			건설교통부(도로환경팀)		
		계	Type1*	Type2*	계	Type3*	Type2
~1995	4	1	1	-	3	2	1
1996	19	19	15	4	-	-	-
1997	31	17	13	4	14	14	-
1998~	49	-	-	-	49	24	25
총계	103	37	29	8	66	40	26

참고 : Type1 중량모니터링용(HS-WIM), Type2 과적단속차량 사전선택용(HS-WIM), Type3 과적단속용(LS-WIM)

〈표 4〉 한국의 도별 설치현황

구분	전국	경기	강원	충청	전라	경상	제주
KICT	37	10	2	10	7	8	-
MOCT	40	4	3	8	10	15	-

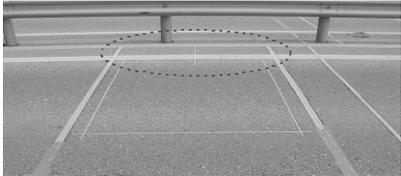
자료 : 김성현(2007)

국내에 도입된 WIM시스템의 종류는 Type1과 Type2의 경우 Piezoelectric 방식으로 프랑스의 ECM사의 시스템을 적용하고 있다. ECM사의 WIM시스템은 COST323의 대륙형 고속도로 테스트(CMT: Continental Motorway Test)에서 정확도 C(15)등급을 획득해 타 회사의 시스템보다 높은 성능을 인정받았다. Type 3은 과적단속용으로 ‘Road Cell’과 ‘Bending Plates’가 도입되었다.

이렇게 구축되어 있는 WIM시스템은 그간 센서 유효수명의 초과, 센서 보정미흡, 도로상태 불량 등의 이유로 적합한 정확도를 유지하지 못하고 있다(〈표 5〉참조). 특히, 센서수명의 경우 미국재료시험협회(ASTM: American Society for Testing

and Material)에서는 4~6년, 프랑스 ECM사의 경우 2천 만축(약 5년)으로 제시하고 있다(김성현, 2007). 그러나 국내 WIM의 경우 도입한지 이미 10년가량이 경과하고 있기 때문에 이에 대한 고려가 필요한 시점이라고 할 수 있다.

〈표 5〉 WIM시스템 관리상의 문제점

<p>5.1 중앙분리대 설치</p> 	<p>5.2 유지상태 불량(파손)</p> 
<p>5.3 유지상태 불량(폐칭)</p> 	<p>5.4 유지상태 불량(균열)</p> 

자료 : 김성현(2007)

이러한 문제를 해결하기 위해서는 추가적인 예산과 전문인력편성이 요구되며 관련 시스템(PMS, BMS, TMS, ITS 등)간의 유기적인 협력관계가 요구된다. 아직 국내에서는 이에 대한 협의가 구체적으로 이루어 지지 못하고 있는 실정이다.

#### Ⅳ. WIM의 활용

WIM에 대한 활용범위는 포장, 교량, 교통관리, 단속으로 구분되며, 이를 뒷받침 하는 것이 체계적인 DB의 구축이다. 본 절에서는 각 활용분야에 대한 사항들을 간략하게 살펴보기로 한다. 아울러 각 분야의 상세한 정보는 관련보고서(COST323 WIM-Load)를 참조하길 바란다. 일반적으로 적용을 위해서는 각 분야별로 특정수준의 정확도를 요구하게 되는데, 과적단속이나 도로세 부과와 같이 법적·행정적 제재를 수반하는 적용에는 높은 정확도(A(5),B+(7))를 요구하며, 교통류 관리와 같이 차종분류에 집중되는 분야는 보다 낮은 정확도를 필요로 한다(Newton, 1999).

## 1. 포장분야

도로 네트워크는 현대 사회에 있어 사회-경제적으로 많은 부분을 담당하고 있으며, 그 만큼 많은 투자비용이 요구된다. 포장의 주요 악화변수인 하중에 대해 상세한 자료를 제공함에 따라 다양한 분야에 응용이 가능하다.

### 1) 포장설계기준의 제시

포장분야는 중량 자료의 활용에 있어 가장 오래된 분야이기도 하다. 포장의 악화는 일반적으로 선형이 아닌 지수형태(보통 4)로 변하게 된다. 즉, 최초설계는 포장의 장기수명을 결정하는데 있어 매우 중요한 요소이다. 이에 따라 WIM데이터는 적절한 포장설계를 통해 실패확률(과다설계로 인한 건설비용, 과소 설계로 인한 유지보수 혹은 재포장 비용의 소모)을 줄이는데 매우 중요한 자료로 사용될 수 있다. 그 외에도 상세한 교통류 분석(누적하중 규모측정), 포장설계 및 유지보수코드의 재설정, 도로악화모형의 개발, 설계하중과 포장에 대한 영향력에 대한 보정이 가능하다. 또한 운영적 측면에서 기존의 AVI, VMS등과 연동하여 특정시기(예: 하동기, 하절기)에 특정경로로의 유도등에서도 활용이 가능하다. 포장분야에서의 주요변수는 총중량보다는 축하중·윤하중이 더욱 중요한 자료라 할 수 있다.

### 2) 유지보수프로그램의 작성

각 도로는 제한된 공용주기(도로수명)를 가지고 있으며 '주기적/반응적'인 유지보수가 필요하게 된다. 유지보수가 필요한 주요원인은 역학적인 마모와 구조적인 변형을 일으키는 대형차량과 그 축(axles)하중이다.

도로악화의 주요변수인 하중정보를 활용함으로써 다양한 악화모형의 성립이 가능해지며, 이를 이용한 유지보수 스케줄 및 작업유형 등을 작성할 수 있기 때문에 중장기 유지보수 예산책정에 좋은 근거자료로 활용될 수 있다. 특히, 전 세계적으로 도로자산관리에 많이 활용되고 있는 HDM-4(Highway Development & Management)를 활용하면 더욱 정확한 포장 공용성예측이 가능하며 최적화 과정을 통해 다중년도 예산분배, 예산제약형 유지보수최적화,

목적함수의 최대화를 통한 중장기 프로그램작성이 가능하다. 이와 관련된 상세한 정보는 HDM-4 Manual vol. 1-7(PIARC, 2000)을 참조하기 바란다.

## 2. 교량분야

교량에의 적용은 1)기존교량에 대한 적용, 2)교량 설계코드에의 적용으로 구분할 수 있다. 교량에서는 설계나 유지보수와 더불어 안전이란 변수가 부각되며, 하중과 교량 상호간의 역학적 메커니즘 또한 일반포장과는 상이하다(B.Jacob,2007-3). 교량에의 WIM시스템의 적용에 있어 주요 고려사항은 바로 '경제성-안전성' 간의 최적화 함수 관계로 정의 될 수 있다(COST323, 2002).

### 1) 기존 교량의 평가

교량은 공공의 안전과 도로 기능을 둘 다 가지고 있는 사회간접자본시설의 핵심적인 요소이다. 가장 기본적인 개념은 '특정교량의 안전을 확보하기 위한 최대 중량을 어떻게 평가(추정)할 수 있는가?'로 요약할 수 있다. 구조적 안전의 증명은 구조적 저항력이 하중의 압력보다 같거나 커야 한다. 다행히도 교량은 일반적으로 높은 기준의 설계코드를 적용하여 극도로 안전하게 설계되기 때문에 수십 년 간 교통량이 대폭 증가해도 교량이 깨끗하게 버틸 수 있는 것이다. 그러나 이러한 사항이 경제적·자원적·환경적 측면에서 무조건 올바르다고는 볼 수 없다. 과대·과소하지 않은 설계기준 도출을 통해 최적화를 이루어 내는 것이 중요하다. 이러한 면을 고려할 때 WIM데이터는 다음 측면에 가치가 있다고 할 수 있다(COST323,2002).

첫째, 특정교량의 교통하중정보의 제공이 가능하다. 보통 평가모델(통계적, 역학적, 경험적 등)에 따라 필요한 하중정보가 다를 수 있으나, WIM 시스템은 이들 모형의 업데이트와 관련하여 1)교통영향의 확률적 모형의 유도, 2)하중 등급의 개발, 3)교통영향의 특성치의 계산 4) 하중영향 감소 요소 결정에 적용가능하다.

둘째, 교량의 적극적 통제에 적용이 가능하다. WIM은 교량에 접근하는 차량들의 하중을 인식하고 교량의 하중임계값을 고려하여 적극적인 통제시스

템을 구축하는데 주요한 자료가 될 수 있다. 이러한 시스템은 AVI, VMS등과 연동하여 사용하면 매우 효율적일 수 있다.

셋째, 교량의 결함평가에 적용이 가능하다. 이 분야에 대한 연구는 보통 철골구조의 교량에 집중되는데, 이 때 결함은 교통하중의 극한값과는 관계가 없으나 하중의 누적과 관계가 높다. WIM데이터를 활용한 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 결함발생 예측의 불확실성을 감소시킬 수 있다.

## 2) 교량설계코드에의 적용

WIM시스템은 교량관련 코드의 보정 및 개발을 위한 귀중한 정보를 제공할 수 있다. 보통 교량은 차량의 정적하중 뿐만 아니라 동적인 영향을 받게 되며, 이것이 교량진동의 원인이 될 수 있다. 교량의 진동 및 그의 영향은 교량의 안전과 수명에 매우 밀접한 관계를 가지게 되는데, WIM시스템은 그와 관련된 하중정보를 제공함으로써 교량의 기본설계요소를 결정하는데 중요한 역할을 할 수 있다. 교량에서의 WIM적용은 비교적 정확한 수준인 B(10), C(15)등급이 요구된다(COST323.2002).

프랑스에는 교량과 관련하여 'CASTOR'라는 시스템을 갖추고 있다. 이 시스템은 교통량 데이터와 영향지표를 입력함에 따라 하중영향과 교량의 기대수명을 예측할 수 있게 된다. CASTOR를 이용한 연구결과를 참조해보면 하중을 고려한 데미지는 비선형 형태로 총중량이 15%증가하면 악화량은 2배가 되며, 기대수명이 절반으로 감소되는 것으로 예측되었다. 트럭의 밀도계수가 1.8배 증가하면 기대수명은 1.5배 감소하는 것으로 나타났다. 또한 20톤 트럭 1대보다는 10톤 트럭 2대의 영향력이 교량안전과 구조악화, 대기오염 측면에서 유익하다는 결론을 도출하였다(COST323, 2002). 이와 같이 하중자료와 각 시스템의 연결을 통해 다양한 설계 및 교통류 운영에 대한 정보를 도출가능하다.

## 3. 과적단속

### 1) 단속의 필요성

전 세계적으로 가장 높은 수요를 가지는 활용분야이다. 이는 과적이 다음 사항에 대해 중대한 영향을 미치기 때문이다(B. Jacob, 2007-1).

- 도로생애주기: 소성변형이나 구조적변형은 축하중과 관계가 깊다. 예를 들어 축 하중이 10%증가할 경우 46%의 도로의 구조변형이 증가한다.
- 교량관리: 과적은 교량의 생애주기를 단축할 수 있다. 극단적인 경우 교량의 구조에 손상을 주고 안전과도 깊은 관계가 있다.
- 안전성: 과적은 브레이크의 효율을 단축시키며, 하중의 부적합한 분산을 발생시켜 운전자의 핸들링과 안전성에 큰 영향을 줄 수 있다.
- 운송경쟁력: 과적은 차량운영자에게 타 운송수단에 비해 경쟁력을 높여준다.

과적단속분야는 높은 정확도를 요구하기 때문에 과적검문소를 따로 설치하여 정적하중(Static)계측에 의존하게 된다. 과적차량 단속의 효율성은 과적차량의 단속 가능성에 의존하게 되는데, 이를 높이기 위해서는 많은 비용(인원)이 필요하다. 또한 운전자는 무선통신을 통해 서로 단속상황정보를 주고 받기도 한다. 이러한 결점들을 보완하는데 WIM시스템의 필요성이 대두된다.

## 2) 단속분야의 WIM 활용방안

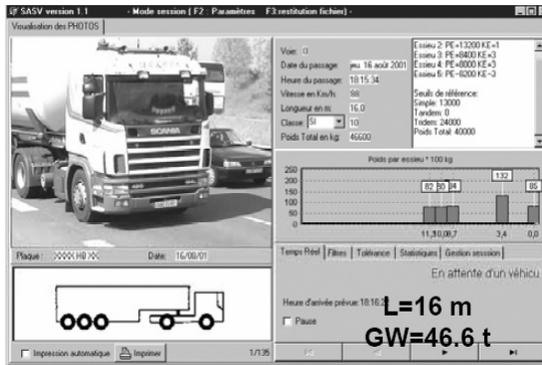
고속 WIM시스템은 차량흐름에 영향을 주지 않고 빠른 속도로 주행하는 차량의 무게를 측정할 수 있다. 단속분야와 관련한 WIM의 활용방안은 다음과 같다.

- 단속차량의 사전선택 : 단속효율성 증대
- 과적수준의 모니터링 : 단속기준에 부합한지 판단 및 단속시기 판단
- 자동 측정단속시행 : 단속의 효율성향상과 과적차량 적발확률 향상
- 경고 및 통행관리를 통한 교량의 보호 : 교량의 안전성 확보
- 차량이동의 제약 : 경로유도를 통한 포장보호

현재까지의 HS-WIM기술력(정확도)으로는 직접단속은 불가능하며, 과적검문소의 상류부에 설치하여 단속대상차량의 사전선별에 이용되고 있는 수준이다. 최근에는 이를 위해 AVI(Automatic Vehicle Identification), VMS(Variable Message System), 등을 이용하여 그 효율성을 높이고 있다. 단속의 효율성은 실패율(Miss rate : 사전선택 시스템에 의해 선택되지 않은 과적차량)과 오측률(Wrong detection rate : 선택된 차량 중 법적 기준을

초과하지 않은 차량의 비율)로 나타내어진다. 문헌조사 상 실패율의 평균 수치는 71%, 오측률은 보통 60-72%를 나타내며, 경찰관을 통한 단속의 경우 오측률은 80%에 이른다(COST323, 2002). 일반적으로 오측률은 WIM정확도 향상과 반비례 관계에 있다.

이와 같은 점을 개선하기 위해서는 VID-WIM의 도입 검토가 요구된다 (<그림 4>참조). 이는 사전단속 시 카메라 시스템과 연동하는 시스템으로 관련 차량의 정보를 사전에 상세하게 수집한 후 차량을 선별하는 과정을 갖는다.



<그림 4> 사전단속차량선택 프로그램 A31(Sterela사)

<표 5> WIM-VID의 성능테스트 결과

장비	구분	검지트럭	정지트럭	과적트럭	벌금부과트럭
RN83	교통량	328	104	84	54
	비율	100%	32%	81%	64%
A31	교통량	48	12	12	8
	비율	100%	25%	100%	67%

자료 : B.Jacob(2007-1)

<표 5>를 참조한 바와 같이 실패율 측면에서는 평균수준에 그치지만 오측률은 장비 종류에 따라 0~19%로 상당히 개선된 결과를 나타낸다. 네덜란드(Drouen, 1997)에서도 비디오 시스템을 고속 WIM과 병행하고 있다 (<그림 6>참조).



〈그림 6〉 네덜란드의 WIM-VID시스템과 단속절차

이 비디오는 차량의 전면과 측면을 기록하여 각종 정보(차량색, 축수, 회사이름)를 첫 번째 경찰관 감독자에게 보내면 두 번째 경찰관(오토바이를 타고 순찰하는)은 하중 측정 장소로 인도시키는 것이다(〈그림 6〉참조). 이 경우 임계치 값을 15%로 세팅했을 때, 모든 선택된 차량은 과적차량이었으며, 0%로 세팅했을 경우에는 91%의 차량이 과적차량이었다.

신뢰성 있는 과적수준 정보는 관계 당국의 단속예산의 결정에 많은 도움을 줄 수 있으나 이를 얻는 것은 매우 어렵다(Newton, 1989). 차량 하중의 임의 단속은 많은 비용이 소모되며 정지한 차량은 통계적으로 편향성을 띄기 때문이다. 이는 과적차량의 단속구간회피와 단속관의 차량선택의 편향성 때문이다. 이런 측면에서 고속 WIM은 모든 차량에 대한 하중을 모두 측정할 수 있기 때문에 훌륭한 대안으로 여겨진다. 나아가 WIM-VID의 국내도입과 과적단속 계측치를 활용한 센서의 일일 보정은 시스템의 정확도와 단속의 효율성을 높이는데 매우 핵심적인 사항이다.

#### 4. 교통 및 경제분야

WIM을 도입한 대부분의 국가들이 교통안전의 향상, 도로이용자를 위한 도로네

트위크의 신뢰성향상, 화물운송으로 인한 시간낭비분의 감소, 환경보호 등에 관련된 최적의 정보에 많은 관심을 두고 있다. 여기에서의 주요 변수는 차종구분과 하중자료라 할 수 있다. 한국의 경우 교통량조사시스템의 장비로 자동차량분류장치(AVC:Automatic Vehicle Classification)를 도입하고 있어 현재 국내기준인 12종의 구분이 가능하기 때문에 차종분류만을 위한 WIM시스템 도입은 의미가 없을 수도 있다. 그러나 전 세계적으로 차량의 디자인이 변화(짧아진 소형차량, 중간크기의 차량)하고 있는 점을 감안할 때, WIM을 통한 하중정보는 향후 정확한 차종구분에 있어 주요변수로 작용될 것으로 사료된다(COST323, 2002).

### 1) 적용분야

동적 교통류 관련적용분야는 실시간 관리, 도로세(road pricing), 하중과 경제적 관리에의 적용이 있으며 비교적 높은 정확도를 요구한다. 실시간 교통류 관리를 위한 WIM의 적용은 차종의 구분이나 무게를 설명할 수 없는 시스템의 대안으로서 부가적인 가치를 갖게 된다. 또한 보다 다양한 경제적 분석이 가능하게 하고, 환경 및 안전과 관련된 연구완성도를 높여주며, 도로의 기본설계에 대한 참조 자료로써도 활용이 가능하다. 뿐만 아니라 기존의 다양한 예측모델에

〈표 6〉 교통관리 및 경제분야에의 활용

활용분야	설명
실시간 교통관리	교통류를 시간적·공간적으로 배분하여 정기적 지체와 돌발상황을 배제
차량 경로관리	버스전용차로 위반여부, 포장관리를 위한 대형트럭의 경로 관리
적하지 하중확인	적하지나 화물터미널에서의 입출구에서 활용, A(5)수준의 정확도 필요
수요예측	휴양지나 여행지에서의 수요예측, 고속도로 휴게소 등의 시설물 계획
도로통행료	고속도로 톨게이트에 활용, 중량별 포장악화정도에 따른 요금결정
화물운송관리	다양한 시스템과 연계한 운송관리, 공차주행·배기량감소, 적재량증가
교통류예측	교통통제전략(램프미터링, 경로유도, 신호통제 등)의 평가와 개발
경제 통계	물자이동과 화물운송에 관한 통계지표 산출
운송수단 네트워크	운송수단(항공, 도로, 철도, 수로) 형평성 연구, 국가 간 무역활동 연구
지역경제 연구	차량하중분포특성에 따른 지역의 기능과 등급의 구별
화물차량 변화추세	국가 및 경제 발전에 따른 화물차량의 변화추세에 대한 연구
계절적 하중변화	시간에 따른 하중의 분포변화와 지역경제활동과의 관계연구(예: 수확기)
도로의 역할 구분	해당지역의 주요트럭유형에 따른 도로역할의 구분
도로설계와 투자	하중이 높은 도로설계의 참조자료로 사용, 특히, 가·감속차로길이 결정
안전관련 연구	속도와 무게제한연구, 차종간 상대적 위험도 연구
환경연구	차종구분을 활용한 대기오염물 산출, 터널의 환풍시설 설계참조

의 적용도 기대할 수 있다. WIM의 하중측정 및 차종구분과 관련한 활용분야를 요약해 본다(〈표 6〉참조).

2) 적용분야별 필요데이터 및 정확도 요구수준

기술한 바와 같이 적용하고자 하는 분야에 따라 필요한 WIM의 정확도 수준은 달라진다. 이것이 적용분야를 먼저 선택해야만 하는 직접적인 이유라 할 수 있다. WIM의 정확도는 대상사이트의 등급 및 보정, WIM시스템의 형태 등 많은 변수에 영향을 받게 된다. 또한 시스템 가격이 달라 활용목적에 적합한 시스템을 선별하는 것이 중요하게 되는데 여기에는 설치방법, 유지보수, A/S, 등 다양한 요소가 고려되어야 한다. WIM시스템을 통해 얻어지는 자료는 중량자료 이외에도 축간거리, 차량길이, 속도, 차두거리, 차간거리, 점유율, 교통량 등이 있다. 적용분야에 따라 필요한 자료들과 항목별로 요구되는 정확도 수준은 다음과 같다(〈표 7,8〉참조).

〈표 7〉 적용분야별 필요데이터 및 정확도 요구수준

적용분야	총하중	축하중	축간거리	차량길이	속도	등급	차두거리	차간거리	점유율	교통량
실시간교통류관리	●		●	◎	◎	●	◎	◎	◎	◎
통행위반차량	◎	◎	◎	◎		◎				
하중확인	◎	◎	○	○		○				
경제성 관리	◎		◎	◎	●	○			○	○
통행료징수	◎	◎	○	○	●	○				
화물차량관리	◎	◎			◎					
교통량 예측	●		●	○	○	○	◎	◎	◎	◎
통계적 경제분야	○	○	○	○	○	○	●	●	●	○
안전연구	○	●	●	○	○	○	●	●	●	○
환경연구	○		●	●	○	○			●	◎

참고 : ● 높은 정확도 요구,

◎ 적정수준의 정확도 요구,

○ 정확도나 상태에 상관없음

자료 : COST323(2002)

〈표 8〉 정확도 수준별 적용분야 및 참조사항

정확도수준	적용분야 및 참조사항
<b>A(5)</b>	차량 적하 제한 및 단속 등의 법적목적
<b>B+(7)</b>	특정목적 혹은 허가 하에 법적목적에 사용가능
<b>B(10)</b>	축, 축그룹, 총중량에 대한 무게정보 구축 시 :포장·교량설계, 유지보수, 평가, 단속차량사전선택, 하중기반 차종분류 등
<b>C(15), D+(20)</b>	통계자료구축, 하중도수분포, 사회간접자본연구, 결합평가
<b>D(25)</b>	통계적 목적·경제 및 기술적 연구·차종분류 등에 필요한 하중지표연구
<b>E(30)이상</b>	교통류구성과 하중분포와 빈도에 대한 지표연구

장기적인 WIM의 활용을 위해서는 ‘높은 가격’과 ‘정확성/신뢰성’ 이라는 두 가지 모순을 해결해야만 한다. 최근 WIM시스템 관련기술이 빠르게 개발되고 있고 지난 5년간 많은 나라들이 데이터베이스와 네트워크를 구축하기 시작했다. 따라서 시스템의 수요가 창출되고 소프트웨어가 개발되면(수년이내) 더 낮은 가격으로 더 많은 적용을 기대할 수 있을 것이다.

## V. 국내 WIM시스템의 개선방안

### 1. 국내 WIM시스템 문제점과 이슈

국내 WIM시스템의 가장 큰 문제점은 정확도확보, 센서유지보수, 적용기준미비, 관련예산 등으로 압축할 수 있다. 또한 시스템의 적정규모와 위치선정 등은 예산확보와 향후 WIM시스템의 확장 시 주요한 고려사항으로 인식될 수 있다.

#### 1) WIM 관측지점의 규모 및 위치선정

관측소의 규모는 국내 현황을 자세히 파악한 후 결정되어야 할 사항이기 때문에 연구가 시행되지 않은 현 시점에서는 정확하게 말하기는 어렵다. 그러나 일반적으로 WIM시스템의 정확도나 활용과 관련된 변수를 고려하였을 때 대상구간의 조건(상태)과 기후, 관련시스템(ITS, TMS)과의 공존관

계, 화물차 교통량과 O-D, 향후 토지이용, 교통류 상태(대기행렬발생 등) 등을 고려하여 결정하는 것이 타당하다고 사료된다. 현재 국도변 토지이용 변화에 따라 현재 부적합해진 WIM관측지점은 이설 이외에는 큰 대안이 없다. 이설 시에는 상기 사항을 확실히 고려해야 할 것이다.

WIM시스템을 추가로 확보하기 위해서는 WIM데이터를 활용함에 따라 발생하는 편익에 대한 타당성 분석을 통한 근거마련이 우선되어야 할 것이다.

## 2) WIM 센서의 수명과 유지관리(센서보정, 포장설계)

센서의 수명은 대상구간의 현황 및 관리수준에 따라 변화하기 때문에 센서 자체의 특정 수명을 말하기는 어렵다. 그러나 보정을 통해서도 정확도를 확보할 수 없는 경우에는 교체를 하거나 활용용도를 변경해야 할 것이다.

센서 보정은 현재 대부분의 나라가 주기적(약6개월~1년)으로 시행하고 있으며, 한국역시 크게 다르지 않다. 이는 정확한 센서 이상에 대해 검지하기가 어려울뿐더러 확인하기 위해서는 많은 비용이 요구되기 때문이다.

현재 프랑스의 경우 자기보정(Self-calibration)절차를 기반으로 운행되며, 하중통계를 활용하여 주별 하중분포의 이상여부 검정절차를 거쳐 보정 여부를 결정한다. 물론 자기보정 자체의 검정도 최소 2년에 1회 이상 시행하고 있다(B. Jacob, 2007). 현재시점에서 국내에 이러한 시스템을 구현하기 위해서는 여러 문제가 많다. 우선 시스템의 정상성을 정의하기 위한 참값을 월별, 계절별, 이벤트별로 구축하기가 어렵기 때문이다. 이는 기존 자료(예측값)와 전문가적 시스템에 의한 의사결정이 수반될 수밖에 없는 상황이다. 그러나 장기적으로 WIM시스템을 운영한다고 가정한다면 지속적인 데이터 확보를 통해 보정시스템을 구축하는 것이 경제적일 수 있다.

WIM시스템의 포장 내에 설치되는 시스템이기 때문에 포장의 악화상태에 따라 많은 영향을 받게 된다. 포장원료에 있어 콘크리트, 특수포장, 철근콘크리트 등 다양한 대안이 존재하나 LCC(Life Cycle Cost)나 센서파손의 위험성을 고려할 때 안정기층 역청질 포장이 효율적이라 사료된다(B. Jacob, 2007).

## 3) WIM의 활용분야

WIM시스템의 활용도와 효율성을 높이기 위해서는 활용분야에 따라 기

존 교통류 관리 장비인 AVI, VMS와 HS·LS·MS·B-WIM간의 조합이 필요하다.

WIM의 국내활용실적이라고 한다면 몇몇 연구논문을 제외하고는 아직 공식적인 활용결과는 찾아보기 어렵다. 국내에의 적극적 활용을 위해서는 WIM의 활용분야와 관련된 포장관리시스템, 교량관리시스템, 지능형교통체계, 교통량조사시스템, 건설관리시스템 등의 유기적인 연결이 필요하다. 이는 각 시스템에서의 WIM데이터(하중, 차종구분)는 활용도가 매우 높으며, 역으로 WIM시스템을 유지하기 위한 포장관리나 교통류예측 등은 각 시스템의 도움을 받아야 하기 때문이다. 한편 WIM에 대해 성공적 사례를 가지고 있는 각 나라별(슬로베니아, 체코, 네덜란드, 독일, 프랑스 등) 사례를 벤치마킹하는 것도 실패확률을 줄일 수 있는 방법이다.

## Ⅵ. 결론과 전망

현재 전 세계적으로 도로 및 교량, 교통류관리에 있어 관심을 모으고 있는 WIM의 전반적 소개와 국내·외 현황, 활용방안, 국내 개선방안에 대해 고찰해 보았다. WIM은 현재 아시아를 비롯한 미국, 유럽 등지에서 포장, 교량, 과적단속, 교통류관리, 도로세 부과 등 다양한 방면에 연구 및 활용중임을 알 수 있었다.

그러나 97년부터 국내 도입된 WIM 장비는 정확도와 여러 관리기준 미비로 아직 적극적인 활용이 이루어지지 못하고 있다. 이러한 WIM시스템의 개선을 위해서는 '무엇을 위한 WIM 시스템인가?'에 대한 사항을 가장먼저 고려되어야 하며 그에 부합하는 체계적인 개선방안을 마련할 필요가 있다. 요약하면 다음과 같다.

첫째 '국내형 WIM시스템 적용기준'에 대한 연구가 시급하다. 여기에는 WIM시스템 대상구간결정로직, 정확도의 정의 및 산정절차, 환경적요건, 국내 현황에 적합한 보정방법론, 보정주기 산정방안, 자기보정방법의 도입 등 시스템의 효율성과 예산의 최적화를 목적함수로 하는 연구가 포함되어야 할 것이다.

둘째, 향후 시스템의 확장이나 개선을 위한 예산 확보를 위해서는 WIM

의 경제성평가를 통해 근거를 마련할 필요가 있다.

셋째, 국내의 WIM데이터의 수요와 예상되는 활용분야에 대해 정의를 분명히 하고 관련분야(포장, 교량, 교통류, 건설관리 등)전문가, 관계자들의 상호적인 의견수렴과 업무협의가 절대적으로 필요하다.

본 연구에서 기술한 사항들은 대부분 국내의 연구 및 적용현황이나 문헌 자료, 국내 WIM시스템의 운영경험, 외국의 전문가 등과의 세미나 등을 기반으로 한 내용들이기 때문에 일부분은 국내 사정과 부합되지 않을 가능성도 있다. 이에 대한 사항은 자체연구를 통해 지속적으로 개선되어야 할 것이다. 그러나 현재까지 국내사정에 적합한 체계적인 기준이 미약하고, 관련 전문가가 많지 않은 국내 실정에 비추어 볼 때, 총체적인 시스템 리뷰와 중장기적 방향 제시는 여러 전문가들의 관심을 도모한다는 측면에서 의미 있는 사항이 아닐까 한다.

## 참고문헌

1. 김성현(2007), “WIM 활용 개선방안”, WIM개선 및 활성화 방안 세미나.
2. 한국건설기술연구원(2001), “WIM장비 설치 및 관리요령”, 한국건설기술연구원.
3. Jacob, B.(2007-1), “Application of Weigh-In-Motion to Enforcement of Overloads and Road Pricing”, WIM개선 및 활성화 방안 세미나, 한국건설기술연구원.
4. Jacob B.(2007-2), “Necessity and History of WIM”, WIM개선 및 활성화 방안 세미나, 한국건설기술연구원.
5. Jacob B.(2007-3), “Overview of WIM Technologies & Sensors”, WIM개선 및 활성화 방안 세미나, 한국건설기술연구원.
6. Drouen, C.B.W.(1997), “Enforcement using WIM”, WAVE Mid-term Draft, LCPC.
7. Chou Chia-pei(2002), “Recent Development and Implementation of Weigh-In-Motion in Some Asian Countries”, The proceeding of ICWIM 3rd conference. LCPC.
8. COST323(2002), “Weigh-In-Motion road vehicle, Final report of the COST323 Action 1993-1998”, eds. Jacob, B. E.J. O’Brien and Jehaes,

LCPC.

9. PIARC(2000), "HDM-4 vol.1~vol.7", Highway Development and Management series, PIARC.
10. Newton, W. H.(1989), "Methods of monitoring the overloading of goods vehicles", TRL Report RR193, Transport Research Laboratory, Crowthorne.
11. Newton, W. H.(1999), "Use and Application of WIM Data", Proceedings of the Final Symposium of the project WAVE, Hermes Science Publications.
12. Jones, D. L.(2005), "Truck Weight Study(TWS) and Weigh In Motion (WIM)", FHWA Highway Policy Information, Washington D.C.



한대석



김성현



도명식