

실내모델링을 통한 도로 표면상태에 따른 축중계의 설치기준 및 현장전이함수 개발에 관한 연구

Development of Installation Criteria and Dynamic Load Shift-Factor under Various Surface Roughness on WIM (Weigh-In-Motion) System

최준성* · 서주원** · 김종우***

Choi, Jun Seong · Seo, Joo Won · Kim, Jong Woo

1. 서 론

현대 사회는 산업의 발달로 도로망이 확충되고, 물류 수송이 증가되어 이를 수송하는 차량 또한 대형화되고 있는 추세이다. 또한 포장체 위를 주행하는 차량은 도로의 표면 평탄성변화에 의하여 진동을 하게 되며, 포장표면에 과도하게 작용하는 차량의 하중은 포장의 손상을 가속화 시켜 조기파손을 야기 한다. 이러한 과적차량의 효율적인 단속을 위하여 신속하고 정확한 하중측정을 위해 축중계 이용에 관한 법제정 및 개발연구가 활발히 진행되고 있다. 그러나 완전히 평탄하지 않은 노면 위를 움직이는 차량의 하중예측은 상당한 오차를 내포하고 있으며, 따라서 국내외적으로 사용되는 매설형 WIM 축중계 및 차재식 축중계와의 현장상태에 따른 설치기준 및 측정오차의 보완 연구가 필요한 실정이다.

2. 축중계시스템

외국의 경우 일본은 1968년 토사 운반차량에 ‘자중계’ 설치 의무화로 연간 200억원 이상 예산 투입 후 과적을 1/3로 감소효과를 보았고, 화물차사고도 1/5로 감소하였음이 보고되고 있다. 대만은 2002년 동일법안을 입법하여 2004년부터 ‘자중계’ 설치 의무화를 하였다. 유럽의 경우 의무화는 아니지만 독일, 네덜란드 등 선진유럽에서는 이미 과적방지용 자중계 설치를 권고하고 있다. 독일, 프랑스 그리고 네덜란드를 중심으로 1993년부터 WAVE(Weigh in motion of Axle and Vehicles for Europe)를 조직, 무인고속계중시스템의 개발 수행중이며, 1999년 COST 323 유지관리위원회에서 고속계중시스템(Weigh In Motion)의 기준을 정립하여 매설 WIM 설치지역의 기준을 제시하고 있다.

국내의 경우, 도로법 제11조 규정에 의한 도로(고속도로, 국도, 지방도 등)를 이용하는 사도 또는 순성토 운반량이 10,000m³이상인 발주청 건설공사 현장에는 의무적으로 축중기로부터 중량을 측정하도록 되어 있으나, 설치기준이 단순히 경사지나 굴곡지가 아닌 평탄한 지역에서 실시하여야 하고, 차량의 축중에서 계량하고자 하는 특정 축이 타축과 수평이 유지된 상태에서 계량하여야 한다는 정도이다.

2.1 WIM system 및 차재식 축중계

WIM(Weigh In Motion System)은 도로에 주행중인 차량에 대해 차량에 대해 정차 없이 주행차량의 축중량 및 총중량을 관측하는 시스템으로 교통량조사, 도로의 설계 및 공용성평가를 위한 기초자료 획득, 과적 단속의 목적으로 최근 해외에선 정확도 향상을 위해 활발히 연구 중이다.

* 정회원 · 인덕대학 토목환경설계과 부교수 · 공학박사 · 02-950-7565(Email soilpave@induk.ac.kr)

** 정회원 · 연세대학교 토목공학과 · 박사과정 · 02-312-5101(E-mail : pooh@yonsei.ac.kr)

*** 정회원 · (주)유디코사장 · (주)ENB 기술연구소 소장 · 공학박사 · 031-778-1910(Email : jwkim@judico.co.kr)

차량의 하중은 정지 상태에서 측정한 정적하중과 이동 중에 측정한 동적하중으로 구분하며, 동적하중은 노면상태 및 차량의 운동 상태에 따라 축 중량이 변하게 된다. 최근 이러한 동적하중에 의한 오차를 최소화하기 위해 다양한 방식의 고속축하중 측정시스템이 개발되고 있다. 다음 그림 2.1은 매설형 WIM 시스템으로, 도로에 매설 또는 이동식 Plate 배치하여 운영되며, 이동식의 경우 계근시 2인 이상의 인력이 필요하다.



그림 2.1 고정식 또는 이동식 축중기

다음 그림 2.2는 차재식 축중계로 사용과 측정이 채널과 함께 당 차축 무게의 동시 전시로 쉬우며, 사용되는 센서에 따라 로드셀 type과 기울기계 type이 있다. 국내제품의 경우 차량 별로 2~6축 축수 선택이 가능하며, 국내의 법규에 따른 축별 적재 한계값 설정이 가능하다.



그림 2.2 차재식 축중계

2.2 국내의 관리방안 및 관련법령

WIM의 적용기준을 위하여 수행된 연구를 살펴보면, 미국재료협회(ASTM)의 'ASTM E1318-02', COST 323 Action의 'European Specification'과 2004년에 ICLM에 승인된 OIML(Organization Internationale de Metrologie Legale)등이 있다. 또한 국내에서는 한국건설기술연구원이 지난 2001년에 'WIM장비 설치 및 관리요령'을 제시한 바 있다. 다음 표 2.1은 국외의 관리방안 및 관련법령을 요약정리한 것이다.

일본의 설치기준은 토사 등 운반 대형자동차에 자중계의 설치에 대한 법령을 최초 1967년 8월2일 제정후 2004년 6월 9일 최종개정한 바 있으며, 자중계에 대한 기술상의 기준을 1968년 2월5월 제정후 2000년 3월29일 최종개정함으로써 법령을 통하여 자중계의 적합기준을 마련하였다. 또한 동경시 건설부에서는 자체적으로 2001년 8월 24일 建總技 제152호(일부개정 2002년 3월 14일 建總技 제373호) 제정하여 운영중이며, 일본 법령의 자중계 측정내용은 표 2.2와 같다. 또한 유럽의 경우 표 2.3과 같이 매설형 축중계의 설치기준을 제시하고 있다.

표 2.1 국내의 축중관리 방안 및 관련법령

국가	관리주체	관리방안
영국	Department Of Transport (DOT)	- 국가 공인 계근시스템을 통한 전차량 계근 - 차량관리국(Vehicle Inspection Office)에서 고속계중시스템을 운영 (<3% 허용오차) - 차량탑재형 계중시스템(Vehicle Mounted Weighing System) 도입 권고
네덜란드	Inspection Department Transport (IDT)	- 고속계중시스템과 이동식 단속병행 - 유럽 최초로 WIM-VID(고속계중시스템과 무인비디오카메라를 이용한 단속) 고안 - 과적의심 시 기동단속반이 제 계근 후 축중량 20%, 총중량 10% 초과 시 트럭소유자가 벌금 - 과적예방을 위해 적재 시 축중량을 측정하는 장비의 구매를 권고
독일	Dutch Ministry of Transport (DMT)	- 전체 트럭의 15~20%가 과적운행으로 조사되어 ITC(Institute os Traffic Care)를 통해 WIM-VID도입 - 고속계중 및 이동식 단속 병행 - 차량의 내부에 차량탑재중량계측기의 설치를 권고
일본	산업자원부 · 건설교통부	- 평탄인 노면에 정지하고 있는 상태에 측정 - 자중계는 대형 자동차에 장착 - 대형자동차에 자중계 달지 않으면 1만원 이하의 벌금에 처함

표 2.2 일본 법령의 자중계 측정내용

조항	세부내용
허용오차	- 물품적재장치에 토사 등을 균등하게 적재하여 평탄인 노면에 정지하고 있는 상태에서 참값의 25%이상 또는 15%이하를 넘지 않도록 한다.
측정범위	- 적재량의 80%이상~150%이하의 무게가 측정 가능할 것
기본성능	- 진동, 충격, 침수 등에 의해 손상을 받지 않을 것 - 조향, 제동성능 그 외 대형자동차의 운행상 안전성을 저해시키지 않을 것 - 내부기기를 쉽게 조작하지 못하도록 할 것 - 적재중량에 상당하는 질량의 보기가 쉬울 것 - 정지하고 있는 상태에서 최대적재량의 80~150%에 해당하는 중량측정이 가능할 것
표기방법	- 자중계의 표기 및 눈금표지는 쉽게 소멸하거나 불선명하거나 오인의 우려가 있지 않는 것 - 표시로 구분할 수 있는 최소눈금은 500Kg이하 - 최대적재량을 넘은 경우 이를 나타내기 위한 눈금표시가 있고 이는 색채 또는 형상의 차이를 두어 쉽게 구별되도록 할 것

3. 실내모델링을 통한 도로 표면상태에 따른 주행차량의 동적하중 증가변화 고찰

과적차량의 효율적인 단속을 위하여 신속하고 정확한 하중측정이 필요하며, 이를 위해 축중계 이용에 관한 법제정 및 개발연구가 활발히 진행되고 있다. 그러나 완전히 평탄하지 않은 노면 위를 움직이는 차량의 하중 예측은 상당한 오차를 내포하고 있으며, 따라서 국내외적으로 사용되는 매설형 WIM 축중계 및 차체식 축중계의 현장상태에 따른 설치기준 및 측정오차의 보완 연구가 필요한 실정이다.

본 연구에서는 포장파손의 주원인이 되는 중차량이 다양한 평탄성을 가지는 포장체 위를 통과할 경우에 발생하는 동적하중의 변화를 수치적으로 산정하여 추후 축중계의 측정오차의 보완에 활용하고자 한다.

표 2.3 유럽 WIM 설치 기준

			WIM site classes		
			I Excellent	II Good	III Acceptable
Rutting (3m - beam)		Rut depth max (mm)	≤ 4	≤ 7	≤ 10
Deflection (quasi - static) (13 t - axle)	Semi-rigid Pavements	Mean deflection (10 ⁻² mm) Left/Right difference (10 ⁻² mm)	≤ 15 ± 3	≤ 20 ± 5	≤ 30 ± 10
	All bitumen Pavements	Mean deflection (10 ⁻² mm) Left/Right difference (10 ⁻² mm)	≤ 20 ± 4	≤ 35 ± 8	≤ 50 ± 12
	Flexible Pavements	Mean deflection (10 ⁻² mm) Left/Right difference (10 ⁻² mm)	≤ 30 ± 7	≤ 50 ± 10	≤ 75 ± 15
Deflection (dynamic) (5 t - load)	Semi-rigid Pavements	Deflection (10 ⁻² mm) Left/Right difference (10 ⁻² mm)	≤ 10 ± 2	≤ 15 ± 4	≤ 20 ± 7
	All bitumen Pavements	Mean deflection (10 ⁻² mm) Left/Right difference (10 ⁻² mm)	≤ 15 ± 3	≤ 25 ± 6	≤ 35 ± 9
	Flexible Pavements	Mean deflection (10 ⁻² mm) Left/Right difference (10 ⁻² mm)	≤ 20 ± 5	≤ 35 ± 7	≤ 55 ± 10
Evenness	IRI index	Index (m/km)	0 - 1.3	1.3 - 2.6	2.6 - 4
	APL	Rating (SW, MW, LW)	9 - 10	7 - 8	5 - 6

3.1 대표 중차량의 선정

포장구조체 위를 통과하는 다양한 차량을 대상으로 평탄성지수와 차량속도에 따른 동적하중을 산정하기 위하여 대표차량의 선정이 필요하다.

박민석 등(2006)은 한국도로공사 시험도로에 BWIM 시스템을 설치하고 BWIM 시스템에 의해 수집된 차종별 분류자료와 중차량의 차량통행 특성자료를 광범위하게 수집하여 분석하여 통계확률적인 대표 중차량 모형을 제시하였다. 제시한 중차량 모형은 국내에 운행되는 차량의 축수에 따라 크게 6종(2축~7축)으로 분류하였고 축간거리에 따라 세분화 하여 총 20종으로 분류하였다. 이 중 통행빈도가 가장 높은 중차량인 네 가지 차종을 대표차종으로 선정하였다. 본 연구에서 사용된 대표차종은 국내 12종 통합차종분류 기준으로 4종(2축 대형트럭), 5종(3축 대형트럭), 6종(4축 대형트럭) 및 7종(5축 대형트럭)이다. 그림 3.1은 본 연구의 대상인 대표차종의 측면도를 나타내었고, 표 3.1은 각 대표차량의 공차 시 하중, 최대 적재량 그리고 만차 시 하중을 나타내었다.

3.2 도로평탄성과 속도에 따른 동적하중 변화고찰

차량 주행 시 도로표면에 가해지는 동적하중은 도로의 평탄성과 차량의 종류, 하중크기, 속도 등에 영향을 받는다. 본 연구에서는 국내 고속도로를 통과하는 대표 중차량을 대상으로 도로의 평탄성과 주행차량의 속도변화에 따른 동적 하중을 산정하였다. 또한 고속국도의 유지보수 고려기준은 IRI 3.5 이내이므로(한국도로공사 도로교통기술원, 2003), 본 연구에서 동적하중 증가계수 산정 시 포장체의 IRI 최대값은 3.5로 제한하였다.

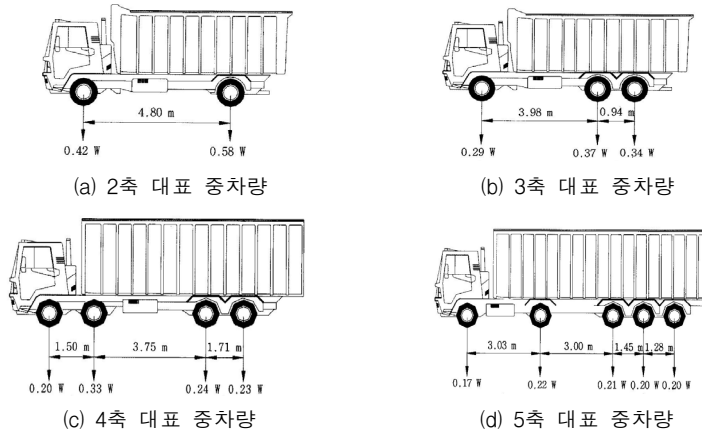
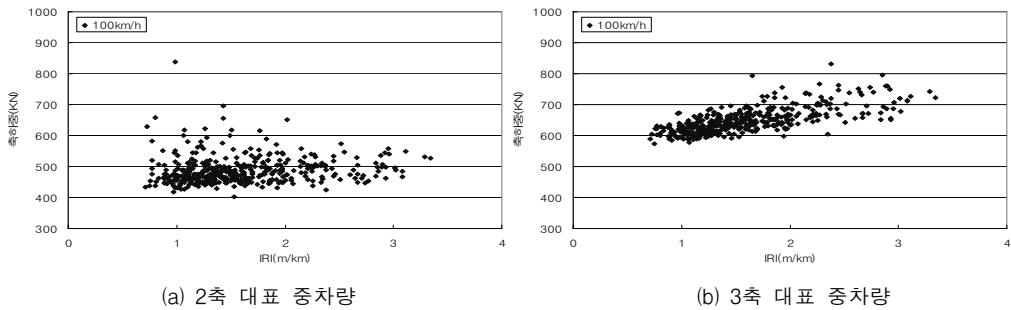


그림 3.1 대표 중차량 모형

표 3.1 동적하중 측정을 위한 차량 하중

대표차종	공차중량	최대적재량	만차중량
2축	8 tonf (71 kN)	7 tonf (62 kN)	15 tonf (133 kN)
3축	14 tonf (124 kN)	15 tonf (133 kN)	29 tonf (257 kN)
4축	17 tonf (151 kN)	20 tonf (178 kN)	37 tonf (329 kN)
5축	20 tonf (178 kN)	25 tonf (222 kN)	45 tonf (400 kN)

각 대표 중차량을 대상으로 도로의 평탄성과 차량의 속도에 따라 동적하중의 변화를 비교하기 위하여 도로 표면에 작용하게 되는 동적하중을 산정하였다. 동적하중을 산정하기 위한 방안으로 TruckSim 프로그램을 이용하였으며 20, 40, 60, 80 그리고 100km/h의 속도로 나누어서 각 차량 주행속도별 동적하중을 산정하였다. 각 대표 중차량에서 가장 큰 하중이 작용하는 축에 대한 동적하중 계산결과와 일례로 주행속도가 100km/h 일때의 결과를 그림 3.2에 도시하였다. 그림 3.2를 살펴보면 도로의 평탄성이 악화 될수록 모든 대표 중차량에서 축중량이 증가하는 경향을 알 수 있었다. 특히 3축 대표 중차량인 5종 차종의 경우 동적하중의 증가율이 가장 큰 것으로 나타났다.



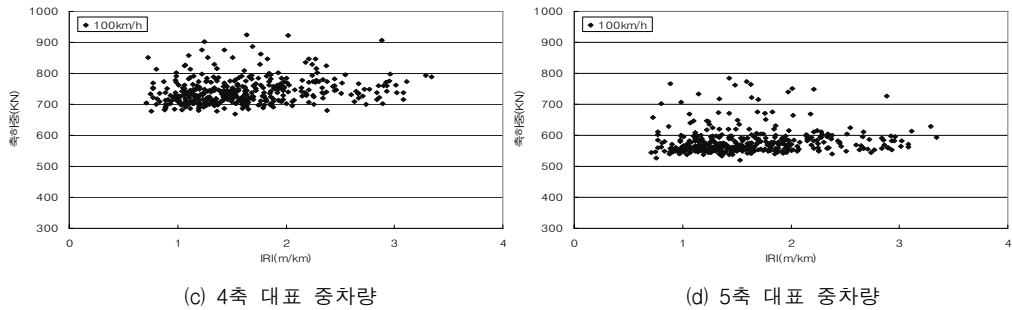


그림 3.2 속도에 따른 IRI와 동적하중의 크기 분포 (속도 100km/h)

3.3 대표 중차량의 동적하중 증가계수의 산정

본 연구에서는 국내 포장구조체 유지관리에 사용되는 평탄성지수인 IRI의 변화와 차량 속도변화에 따라 달라지는 동적하중과의 관계를 살펴보기 위하여 동적하중과 정적하중의 비의 개념으로 동적하중 증가계수를 이용하였다. 동적하중 증가계수는 각 표준 중차량의 가장 큰 축하중이 임의의 IRI를 가지는 포장체 표면을 주행할 때 가해지는 하중을 정적하중으로 나눈 지수이다.

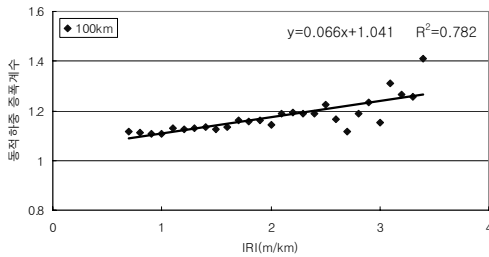
계산된 IRI별 동적하중을 일반화된 지수로 변환 하기위해, IRI가 0이고 속도가 5km/h인 상태에서 발생하는 하중을 이상적으로 매끄러운 표면에 가해지는 정적하중이라 가정하여 이때의 하중을 기준으로 동적하중을 무차원화 하였다. 이 때 50m 라는 비교적 긴 구간에서의 종단평탄성을 하나의 IRI로 나타내게 되므로 동일한 IRI를 가지는 구간이라 할지라도 도로표면의 요철변화가 전반적으로 고른 구간이 있는 반면, 국부적으로 요철범위가 큰 구간이 존재하므로, 비슷한 IRI를 가지는 구간에서 상이한 동적하중이 산정될 수 있다. 본 연구의 목적은 종단평탄성의 변화가 동적하중에 미치는 영향의 전반적인 경향을 산정하는 것이므로, 동적하중 증가계수 산정 시 IRI 0.1 단위로 구간을 나누어 각 IRI 구간에서 산정된 동적하중 증가계수의 평균값을 도출하여 각각의 상관관계를 분석하여 표 3.2에 나타내었다. 표 6을 살펴보면 포장구조체 표면이 손상되어 복구 요구되는 도로(IRI 3.5)에 주행차량이 100km/h의 속도로 주행한다면 2축, 3축, 4축, 그리고 5축 대표 중차량의 하중이 정적하중상태일 때를 기준으로 각각 27%, 36%, 19% 그리고 17%의 추가적인 충격하중을 줄 수 있음을 알 수 있다. 또한 본 연구에서 선정된 각 대표 중차량을 대상으로 산정한 IRI별 동적하중 증가계수의 일례로 주행속도가 100km/h 일 때의 결과를 그림 3.3에 도시하였다.

그림 3.4는 본 연구의 대상이 되는 네가지 대표 중차량이 고속국도 최고 제한속도인 시속 100km로 주행할 경우에 포장표면의 평탄성지수 변화에 따른 동적하중 증가계수를 도시한 그림이다. 그림 3.4를 살펴보면 동적하중 증가계수는 3축 축하중을 가지는 대표 중차량이 가장 큰 것으로 나타났고, 그 다음으로 2축과 4축, 그리고 5축 중차량 순으로 나타남을 알 수 있다. 이는 그림 3.1에 도시한 대표 중차량의 제원을 보면 알 수 있듯이 일반적으로 각 축에 가해지는 하중분담률이 작아질수록 동적하중 증가계수는 줄어들음을 알 수 있었으며, 특히 3축 대표 중차량과 같이 축간격이 작아질수록 동적하중 증가계수의 증가폭이 커짐을 알 수 있었다. 따라서 포장표면의 종단평탄성 변화에 따라 포장체 표면에 가해지는 동적하중의 증가량은 각 축에 가해지는 하중분담량과 각 축간의 거리에 의한 복합적인 요소에 의해 결정됨을 알 수 있었다.

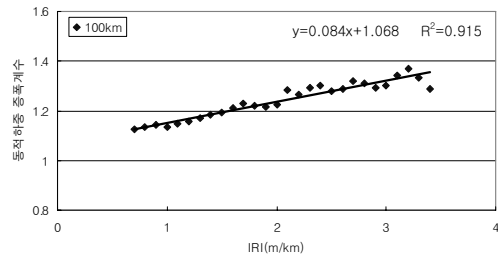
표 3.2 IRI와 속도에 따른 동적하중 증가계수

IRI	동적하중 증가계수 (2축 대표 중차량)					IRI	동적하중 증가계수 (3축 대표 중차량)				
	20km/h	40km/h	60km/h	80km/h	100km/h		20km/h	40km/h	60km/h	80km/h	100km/h
0.5	1.04	1.04	1.04	1.05	1.07	0.5	1.02	1.07	1.08	1.11	1.11
1	1.04	1.04	1.05	1.07	1.11	1	1.04	1.09	1.11	1.14	1.15
1.5	1.04	1.05	1.06	1.09	1.14	1.5	1.05	1.11	1.15	1.18	1.19
2	1.05	1.05	1.07	1.11	1.17	2	1.07	1.13	1.18	1.22	1.24
2.5	1.05	1.06	1.08	1.13	1.21	2.5	1.09	1.15	1.22	1.26	1.28
3	1.05	1.06	1.09	1.15	1.24	3	1.10	1.17	1.25	1.29	1.32
3.5	1.06	1.07	1.10	1.17	1.27	3.5	1.12	1.19	1.29	1.33	1.36

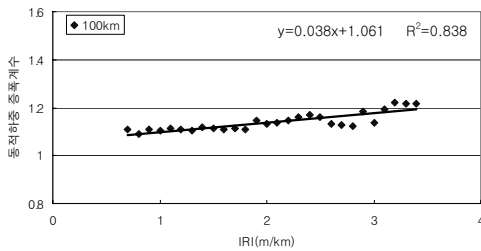
IRI	동적하중 증가계수 (4축 대표 중차량)					IRI	동적하중 증가계수 (5축 대표 중차량)				
	20km/h	40km/h	60km/h	80km/h	100km/h		20km/h	40km/h	60km/h	80km/h	100km/h
0.5	1.03	1.05	1.05	1.06	1.08	0.5	1.05	1.05	1.06	1.07	1.07
1	1.04	1.05	1.07	1.08	1.10	1	1.05	1.06	1.07	1.08	1.08
1.5	1.04	1.06	1.08	1.10	1.12	1.5	1.05	1.06	1.08	1.09	1.10
2	1.04	1.07	1.09	1.12	1.14	2	1.05	1.06	1.09	1.11	1.12
2.5	1.04	1.08	1.10	1.14	1.16	2.5	1.05	1.07	1.10	1.12	1.14
3	1.05	1.08	1.11	1.16	1.18	3	1.05	1.07	1.11	1.14	1.15
3.5	1.05	1.09	1.13	1.18	1.19	3.5	1.06	1.08	1.12	1.15	1.17



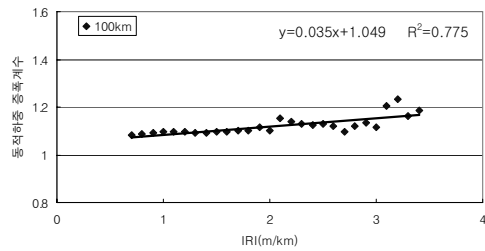
(a) 2축 대표 중차량



(b) 3축 대표 중차량



(c) 4축 대표 중차량



(d) 5축 대표 중차량

그림 3.3 IRI와 동적하중 증가계수와의 관계 (속도 100km/h)

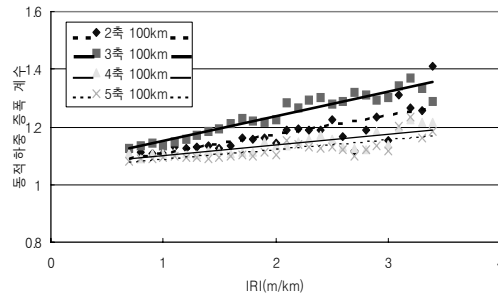


그림 3.4 대표 중차량별 IRI와 동적하중 증가계수와의 관계 (속도 100km/h)

4. 결 론

본 연구에서는 다양한 종류의 차량하중을 대상으로 도로의 평탄성과 차량의 속도가 도로에 작용하는 동적 하중에 미치는 영향을 분석하기 위하여 우선 대표차량을 선정 후 표면평탄성 변화에 따른 하중의 동적영향을 분석하였다. 분석결과 3축 중차량에서 IRI가 3.5 이고 주행차량 속도가 100km/h일 때 정적하중에 비해 최대 36%에 해당하는 추가적인 동적하중이 가해지는 것으로 나타났다.

이러한 노면 평탄성요인에 따른 동적하중의 변화는 동적 축중계 위를 지나는 중차량의 하중을 측정하는데 있어서 오차를 발생시키는 주요한 원인이 되고 있다. 따라서, 추후 국내외 동적 축중계 측정자료를 분석하여 실제 차량의 하중과 동적 축중계로 측정된 자료, 그리고 주위 노면상태 분석을 통하여 축중계의 설치기준에 대한 검토와 현장상태에 따른 하중전환함수를 제안한다면 동적 축중계를 이용한 주행차량의 하중측정의 오차를 일정부분 줄여줄 수 있으리라 판단된다.

감사의 글

본 연구는 2009년 중소기업청에서 지원한 “산학연협력 기업부설연구소 지원사업”의 일부 연구 결과로 이에 감사드립니다.

참고 문헌

1. 김종우, 강정철, 노병철, 최준성, 권순민, “슈퍼빔 로드셀을 이용한 중·저속용 동적 축하중 측정장비 개발 소개”, **한국도로학회 가을학술발표회**, pp599-606, 2008.10
2. 박민석, 조병완, 배두병 (2006), “BWIM 시스템을 이용한 고속도로 교량 차량하중 모형 개발”, **대한토목학회 논문집**, 제26권, 제1A호, pp. 143-153.
3. 최준성, 서주원, 서호덕, 김수일, 김형배, “포장 평탄성과 차량 종류에 따른 동적하중 증폭계수 개발”, **한국도로학회 가을학술대회논문집** p461~468, 2007.10
4. 한국도로공사 도로교통기술연구원 (2003), **포장 기능성 평가기준 및 미끄럼 관리기준 설정 연구**, 한국도로공사 도로교통기술연구원
5. 황의승 (1999), “BWIM 시스템을 이용한 중차량의 통행특성 분석”, **한국강구조학회논문집**, 제11권, 제2호, **한국강구조학회**, pp223-232.
6. 현대자동차 홈페이지 <http://www.hyundai.com>, 2007