



시멘트 콘크리트포장 경고홈 규격에 따른 다양한 중차량의 동적하중 증가특성에 관한 연구

A Study of Increased Dynamic Axle Load Characteristics on Grooving Specification of Cement Concrete Pavement under Various Heavy Vehicles

최준성* 서주원** 김보경 *** 김수일**** 김형배*****
Choi, Jun Seong Seo, Joo Won Kim, Bo Kyung Kim, Soo Il Kim, Hyung Bae

1. 서론

주행차량이 임의의 요철을 가지는 고속도로를 주행할 때 차량의 동적 축하중이 발생하게 되고 발생된 동적 축하중은 도로표면에 전달되며, 전달된 동적하중은 도로 표면의 손상을 가속화 시키는 주된 요인이 된다. 따라서 줄눈 및 다양한 표면처리를 사용하는 콘크리트 포장표면에서의 주행속도에 따른 차량 동적하중의 예측은 도로의 설계와 유지보수를 위해 필수적이라 할 수 있다.

현재 국내 고속도로는 시멘트 콘크리트 포장 비율이 급격하게 증가하고 있는 추세이며, 특히 영업소나 광장부의 경우에는 시멘트 콘크리트 포장 구간이 많으며 아스팔트 콘크리트 포장에 비해 미끄럼 방지, 줄눈방지 및 속도감속 등을 위한 표면처리 구간이 많다. 또한 시멘트 콘크리트 포장은 강성포장으로 시공 시 형성된 표면 형상에서 큰 변형은 이루어 지지 않으나, 줄눈부 혹은 표면처리 구간에 의하여 순간적인 동적하중의 증가가 발생하고, 이에 따른 시멘트 콘크리트 포장구조체의 국부적인 손상 확률이 커지게 된다. 그러나 현재 많이 사용하고 있는 포장설계법에서는 표면형상에 따른 중차량의 동적하중 증가에 대한 영향을 고려하지 못하는 실정이다.

본 연구에서는 시멘트 콘크리트 포장체의 다양한 표면 파손형태 및 표면 처리형태에서의 동적하중 변화양상을 종합적으로 분석하기 위한 연구의 일환으로, 먼저 표면 형상의 변화가 가장 크다고 판단되는 경고홈 구간을 대상으로 다양한 중차량의 주행속도 변화에 따른 동적하중 증가특성을 비교분석하였다.

2. 시멘트 콘크리트 포장 고속도로의 통행빈도 분석을 통한 대표 중차량의 선정

2.1 시멘트 콘크리트 포장 구간의 통행빈도 분석

고속도로의 열화와 손상을 입히는 주된 차종은 중차량이므로(황의승 등, 1999), 시멘트 콘크리트 포장체를 통과하는 중차량을 대표하는 대표 중차량의 선정이 필요하다. 본 연구에서는 대표적인 국내 시멘트 콘크리트 포장도로로 중부·대전 통영선과 제 2 중부선을 선정하여 중차량의 통행빈도를 조사하였으며(건설교통부, 2006), 결과는 <표 1>에 정리하여 나타내었다. <표 1>을 살펴보면 중부·대전 통영선과 제 2 중부선의 중차량 구성비를 조사한 결과 각 30.9% 및

*정회원 · 인덕대학 건설환경설계과 교수 · 공학박사 · 02-950-7565 (E-mail : soilpave@induk.ac.kr)
**정회원 · 연세대학교 토목공학과 박사과정 · 02-312-5101 (E-mail : pooh@yonsei.ac.kr)
***비회원 · 연세대학교 토목공학과 석사과정 · 공학사 · 02-312-5101 (E-mail : brosbobo201@yonsei.ac.kr)
****정회원 · 연세대학교 사회환경시스템공학부 교수 · 공학박사 · 02-2123-2800 (E-mail : geotech@yonsei.ac.kr)
*****정회원 · 한국도로공사 도로교통기술원 책임연구원 · 공학박사 · 031-371-3437 (E-mail : kimhyun3@ex.co.kr)



32.1%를 차지함을 알 수 있었다.

〈표 2〉는 대상도로의 화물차 구성비 중에서 각각의 화물차종이 차지하는 비율을 나타내었다. 〈표 2〉를 살펴보면 중차량의 총 통행량에서 보통, 대형, 그리고 특수 1(고속국도 차량분류)에 해당하는 통행량 비율은 중부·대전 통영선은 98.2% 이고 제 2 중부선은 98.7% 임을 알 수 있었다. 본 연구에서는 대상이 되는 대표 중차량을 통합 12종 교통량조사 차종분류가이드(건설교통부, 2006)에 근거하여 보통, 대형, 특수1에 해당하는 차종을 선정하고자 한다.

〈표 1〉 고속도로 노선별 평균 교통량(2006년 건설교통 통계연보, 건설교통부)

노선명	계		승용차		버스		화물차	
	교통량 (대/일)	구성비 (%)	교통량 (대/일)	구성비 (%)	교통량 (대/일)	구성비 (%)	교통량 (대/일)	구성비 (%)
중부·대전-통영선	35,696	100.0	19,763	55.4	4,886	13.7	11,047	30.9
제2 중부선	54,176	100.0	27,030	49.9	9,749	18.0	17,400	32.1

〈표 2〉 중부·대전통영 및 제 2 중부고속도로의 중차량 통행빈도

화물차 종류	중차량 통행빈도(%)	
	중부·대전통영 고속도로	제 2 중부 고속도로
화물차 - 소형	1.21	1.3
화물차 - 보통	67.8	81.9
화물차 - 대형	9.9	6.6
화물차 - 특수 1	20.5	10.2
화물차 - 특수 2	0.6	0.1

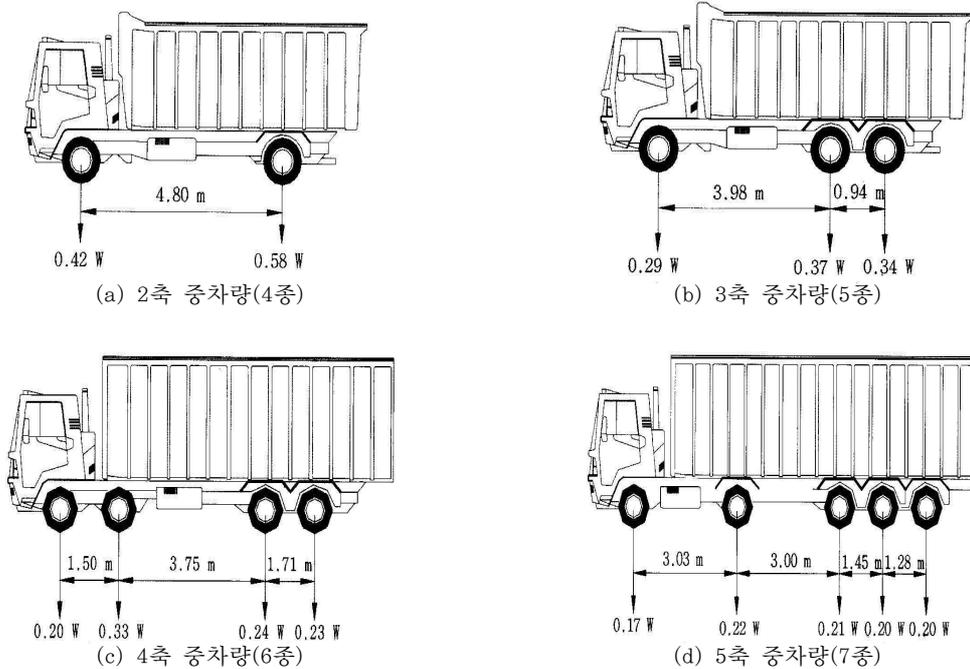
2.2 통합 12종 교통량조사 차종분류가이드에 근거한 대표 중차량 선정

박민석 등(2006)은 한국도로공사 시험도로에 BWIM 시스템을 설치하고 BWIM 시스템에 의해 수집된 차종별 분류자료와 중차량의 차량통행 특성자료를 광범위하게 수집·분석하여 통계확률적인 대표 중차량 모형을 제시하였다. 본 연구에서는 대상도로의 교통량 분석결과를 바탕으로 통행빈도가 가장 높은 네 가지 중차량 차종을 대표차종으로 선정하였고, 〈그림 1〉에 선정된 대표차종의 측면도를 나타내었다.

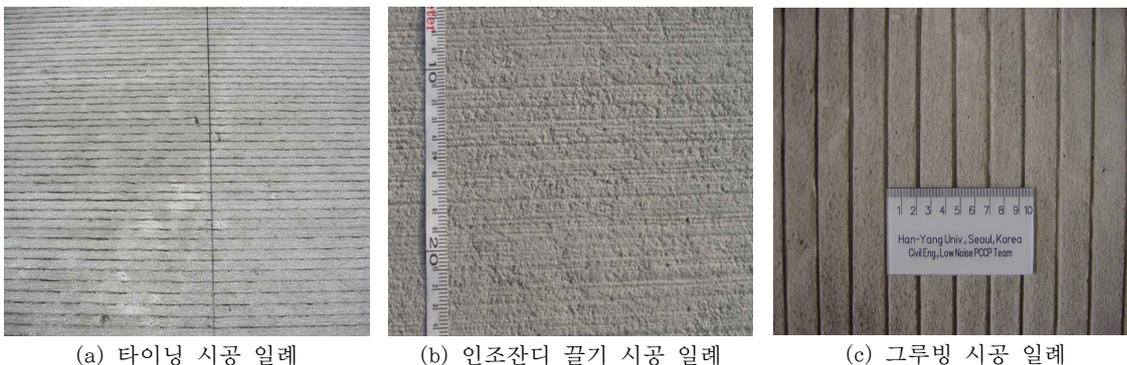
3. 표면 형상에 따른 인공프로파일의 산정 및 동적하중 측정

3.1 경고흡 규격에 따른 인공프로파일 산정

시멘트 콘크리트 포장에서는 미끄럼 방지, 도로의 배수성 향상 및 속도감속 등의 이유로 타이닝, 인조잔디끌기와 그루빙 등의 표면처리 공법을 이용한다. 시멘트 콘크리트 포장체는 강성포장으로써 당초 형성된 노면형상에서 변형이 크게 발생되지 않는다. 그러나 미끄럼 방지, 도로의 배수성 향상 및 속도감속 등의 이유로 인공적인 표면형상의 변화를 주게 되는데 이러한 형상 변화는 국부적으로 급격하게 변화된다. 〈그림 2〉에서 보이는 바와 같이 타이닝과 인조잔디 끌기에 비해 그루빙은 폭과 깊이가 크고, 특히 경고흡의 경우 그루빙의 폭이 상대적으로 크므로 주행차량의 하중에 급격한 변화가 생길 것으로 예상된다. 따라서 본 연구에서는 중차량 주행에 따라 동적하중의 증가가 크게 나타날 것으로 예상되는 그루빙 구간의 시공 패턴을 이용하여 인공프로파일을 작성하여 본 연구의 대상이 되는 중차량 주행속도 변화에 따른 동적하중 증가량을 산정하고자 한다.



〈그림 1〉 대표 중차량의 측면도



(a) 타이닝 시공 일례 (b) 인조잔디 끌기 시공 일례 (c) 그루빙 시공 일례

〈그림 2〉 시멘트 콘크리트 포장의 표면처리 시공 일례

그루빙은 미끄럼 저항성을 증가시키기 위한 일반 그루빙과 배수성 향상을 위한 배수 그루빙 그리고 운전자에게 경고를 주기위한 경고홈이 있다. 이 중 경고홈은 차량의 진동과 소음을 강하게 발생시켜 위험구간 진입에 대한 경고, 졸음운전 방지, 광장부 및 영업소에서의 감속경고 등의 기대효과를 가져올 수 있다. 따라서 본 연구에서는 경고홈이 미끄럼 저항성과 배수성을 증가시키는 효과가 있고 폭과 깊이가 커 동적하중 증가가 크게 나타날 것으로 예상되므로 경고홈의 시공패턴 및 설계규격을 기준으로 작성한 인공 프로파일을 이용하고자 한다.

중차량의 주행속도 변화와 표면형상의 변화에 의해 시멘트 콘크리트 포장 표면에 작용하는 동적하중의 증가량을 산정하기 위해 〈표 3〉의 시멘트 콘크리트 포장에 시공되는 경고홈 설계 규격을 이용하였다. 〈표 3〉을 살펴보면 경고홈의



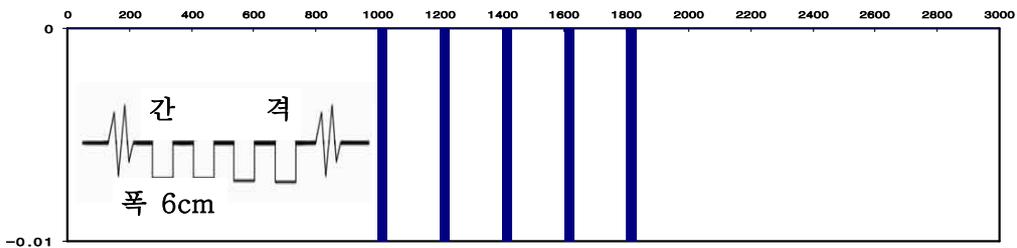
폭은 6cm 이고 깊이는 1cm 이며 간격은 최소 기준인 30cm 와 최대 기준은 300cm, 그리고 중간 값으로 100cm 로 결정하였다. 또한 차량 주행에 따른 초기 동적영향 및 각 구간에서의 간섭효과를 배제하기 위하여 인공 프로파일의 총 길이는 3km 로 하였다. 3km 주행 거리 중 초반 1km 는 수치해석을 위한 속도 안정화 구간으로 표면 형상의 수치값을 0으로 하였으며, 후반 1km 는 경고흡 구간의 표면 형상의 변화에 따른 동적하중의 영향만을 측정하기 위해 표면 형상 수치값을 0으로 하였다. 위와 같은 기준을 바탕으로 3km 구간의 중간 1km 구간에만 200m 마다 30m 의 설치 길이로 총 5개의 경고흡에 대한 표면 형상 프로파일을 작성하였다. <표 3>은 인공 프로파일을 만들기 위한 기준을 정리 하여 나타내었고 <그림 3>은 <표 4>의 기준으로 작성한 인공 프로파일의 일례를 나타내었다.

<표 3> 경고흡빙 설계규격 및 오차범위

구분	표준규격 (cm)		형 태	허용 오차 (mm)
	폭	깊이		
경고흡	6	1		폭 = ± 1 깊이 = ± 2 간격 = ± 100
	8	1		
	10	1		

<표 4> 동적하중 증가 산정을 위한 인공프로파일 규격

경고흡 구간 인공프로파일 입력 값				
총 길이 3 km	중차량 주행속도 안정화 구간 1km			
	중차량 주행속도에 따른 정적 축하중 산정 구간 1km			
	중차량 주행속도에 따른 동적 축하중 산정 구간 1km			
경고흡 구간	깊이(cm)	폭(cm)	간격(cm)	설치길이(cm)
	1	6	30	
		10	100	
			300	



<그림 3> 입력 인공프로파일 일례



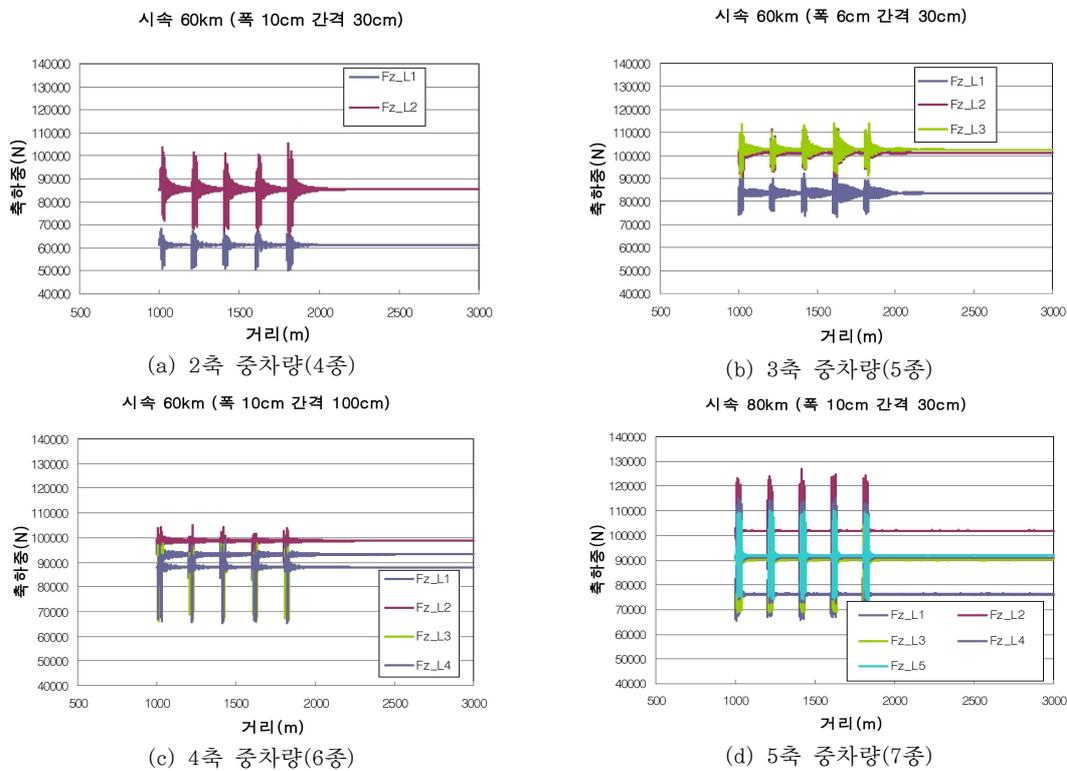
3.2 인공 프로파일을 이용한 동적하중 산정

중차량의 주행속도 변화를 고려한 동적하중증가의 산정을 위해 본 연구에서는 시멘트 콘크리트 포장표면의 변화와 주행속도변화를 고려한 동적하중 측정이 필요하며 이를 위해서 TruckSim 이라는 상용프로그램을 이용하였다. TruckSim 프로그램을 이용한 수치해석은 <표 5>를 기준으로 하여 총 144가지의 case를 대상으로 수행하였다.

<표 5> 수치해석을 위한 입력 변수

속도 입력 변수		그루빙 입력 변수 (깊이 1cm 고정)		중차량 입력 변수
속도 구분 기준	입력 속도	폭	간격	
이론적 최적속도	5km/h	6cm	30cm	2축 중차량(4종)
지정체 구간 평균속도	20km/h			3축 중차량(5종)
주행구간 최저 속도	60km/h		10cm	100cm
중차량 평균 주행속도	80km/h	5축 중차량(7종)		
주행구간 최고 속도	110km/h	300cm		
주행구간 과속 속도	160km/h			

<표 3> 및 <표 4>를 기준으로 하여 인공 프로파일을 작성한 후, TruckSim을 이용한 수치해석 결과의 일례를 <그림 4>와 같이 나타내었다. <그림 4>를 살펴보면 2축(4종), 3축(5종), 4축(6종) 및 5축(7종) 중차량의 각 축에 해당하는 축하중이 나타나 있으며 200m 마다 입력한 5개의 표면형상에 따른 축하중의 변화가 나타나 있다.



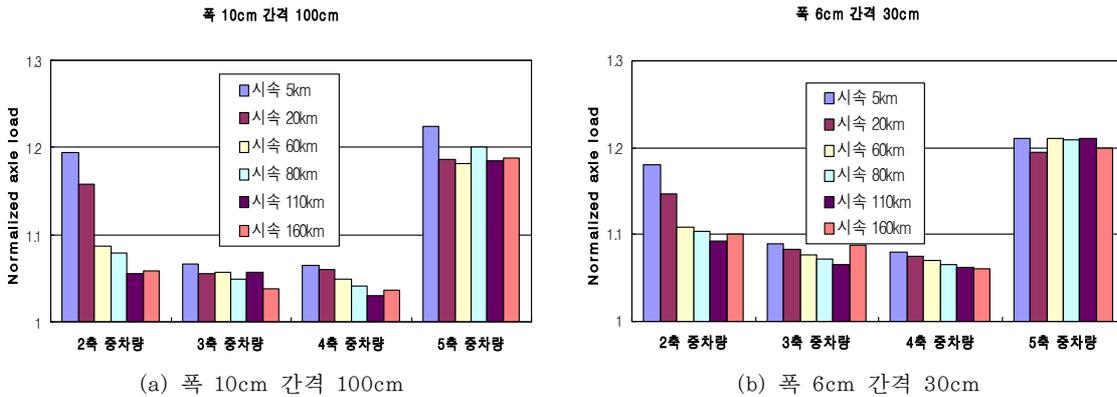
<그림 4> TruckSim을 이용한 수치해석의 일례



4. 다양한 표면 형상과 중차량의 주행속도 변화에 따른 동적하중 증가형태 분석

4.1 경고홈 구간 간격과 중차량별 동적하중의 증가

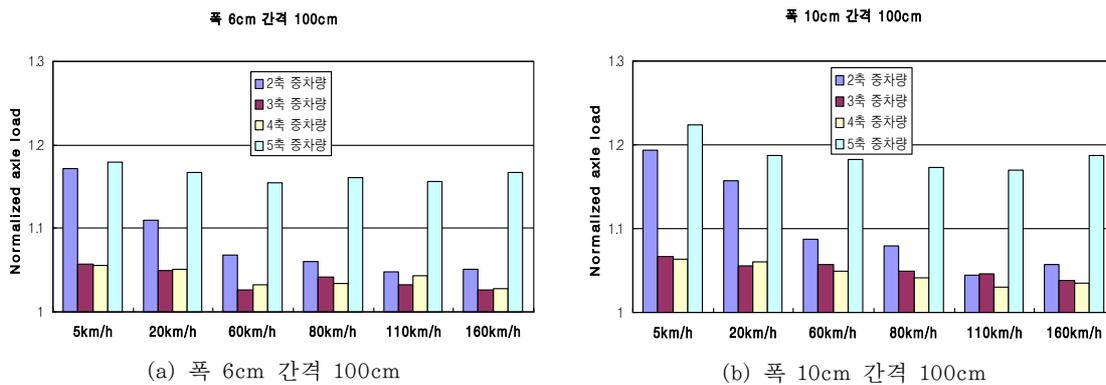
〈그림 5〉는 경고홈 구간 간격과 중차량에 따른 동적하중 증가량을 수치해석 결과의 일례를 나타낸 것이다. 〈그림 5〉를 살펴보면 2축(4종), 3축(5종) 그리고 4축(6종) 중차량은 속도가 증가함에 따라 동적하중 증가량이 감소하는 것을 볼 수 있으며 5축(7종) 중차량은 시속 5 km/h 일 때 동적하중 증가량이 가장 크며 이후의 속도 구간에서는 동적하중 증가량이 비슷한 경향을 보임을 알 수 있다.



〈그림 5〉 경고홈 간격과 중차량별 동적하중증가 일례

4.2 주행속도 변화와 중차량에 따른 동적하중의 증가

중차량의 주행속도 변화와 중차량 종류에 따른 동적하중 증가량을 산정하여 〈그림 6〉에 나타내었다. 〈그림 6〉을 살펴보면 3축 중차량과 4축 중차량의 동적하중 증가량의 변화가 비슷한 경향을 보인다. 또한 4.1절의 경우와 같이 속도가 증가함에 따라 동적하중 증가량은 감소하는 경향을 보이며 5축(7종) 중차량의 경우는 속도가 증가함에 따라 동적하중 증가량의 감소량은 미비함을 알 수 있다. 또한 같은 설치간격 100cm 일 경우 폭 10cm 경고홈에서의 동적하중 증가량이 폭 6cm 의 동적하중 증가량보다 상대적으로 크다는 것을 알 수 있다.



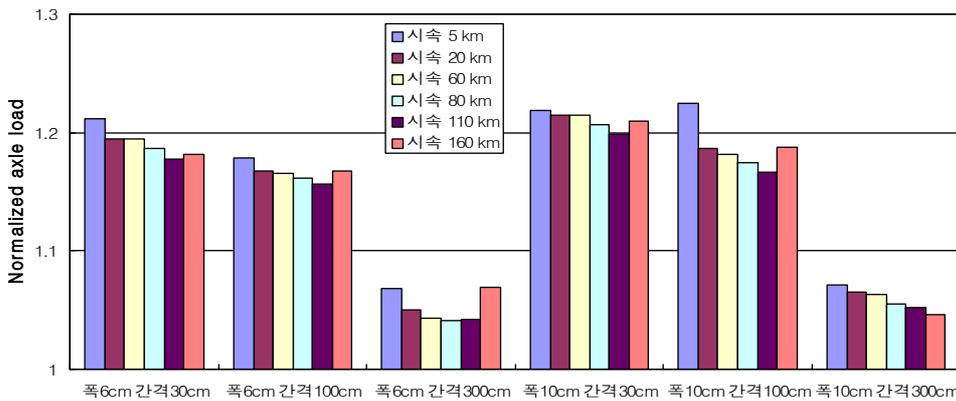
〈그림 6〉 주행속도 변화와 중차량에 따른 동적하중 증가 일례



4.3 경고흡 간격과 주행차량의 속도변화에 따른 동적하중 증가

경고흡 간격과 주행속도에 따른 동적하중 증가량의 일례로 동적하중증가가 가장 크게 나타나는 5축 중차량에서의 분석결과를 <그림 7>에 나타내었다. <그림 7>을 살펴보면 폭이 6cm 일때 보다 10cm 일 경우 동적하중 증가량이 비교적 크게 나타남을 알 수 있고, 설치간격이 커질수록 동적하중의 증가량은 작아짐을 알 수 있었다. 특히 설치간격이 30cm 일 경우 최대 동적하중의 증가량은 23% 이고, 설치간격이 3m 로 늘어났을 때의 동적하중의 증가량은 최대 7% 로 나타남을 알 수 있었다. 본 연구결과 경고흡의 설치간격이 1m 이하로 작아질 경우에는 동적하중에 의한 국부적인 파손확률이 비약적으로 증가할 수 있다고 판단되며, 추후 경고흡의 기능적 역할을 유지하는 범위 안에서 동적하중의 증가를 최소화 할 수 있는 경고흡 간격에 대한 추가적인 연구가 필요하다고 판단된다.

5축 중차량



<그림 7> 경고흡 간격과 중차량에 따른 동적하중 증가 일례

5. 결론

본 연구에서는 시멘트 콘크리트 포장 표면의 표면 형상과 다양한 중차량의 주행속도 변화에 따른 동적하중 증가를 분석하기 위해 수행되었다. 시멘트 콘크리트 포장 고속도로의 중차량 통행량과 중차량 별 통행빈도 분석을 실시하여 통합 12종 차량분류에서 제시한 4종(2축 중차량), 5종(3축 중차량), 6종(4축 중차량) 및 7종(5축 중차량)을 대표 중차량으로 선정하였다. 또한 시멘트 콘크리트 포장표면의 경고흡 시공 규격에 따라 인공 프로파일을 작성한 후, 차량종류와 경고흡의 규격에 따라 달라지는 동적하중의 증가형태에 대한 수치해석을 실시하였다.

수치해석 결과 경고흡의 폭이 6cm 일때 보다 10cm 일 경우 동적하중 증가량이 비교적 크게 나타남을 알 수 있었고, 설치간격이 커질수록 동적하중의 증가량은 작아짐을 알 수 있었다. 특히 설치간격이 30cm 일 경우 최대 동적하중의 증가량은 23% 이고, 설치간격이 3m 로 늘어났을 때의 동적하중의 증가량은 최대 7% 로 나타남을 알 수 있었다. 본 연구결과 경고흡의 설치간격이 1m 이하로 작아질 경우에는 동적하중에 의한 국부적인 파손확률이 비약적으로 증가할 수 있다고 판단되며, 추후 경고흡의 기능적 역할을 유지하는 범위 안에서 동적하중의 증가를 최소화 할 수 있는 경고흡 간격에 대한 추가적인 연구가 필요하다고 판단된다.

또한 본 연구의 연구절차를 토대로, 표면처리기간 뿐만 아니라 실제 콘크리트 포장표면의 파손형태를 대상으로 한 중차량의 동적하중 증가특성에 대한 연구를 지속적으로 실시하여, 시멘트 콘크리트 포장체의 경미하고 부분적인 파손이 급격한 조기파손으로 확장되는 것을 방지하는 유지보수 계획수립에 활용될 수 있는 역학적 기초연구로 활용할 계획이다.



감사의 글

본 연구는 2008년 한국도로공사 도로교통연구원과의 공동연구과제인 “주행속도에 따른 콘크리트 포장 거동을 고려한 공용성 평가모델 개발”의 일부 결과로서, 본 연구가 성공적으로 수행되도록 지원하여준 한국도로공사 도로교통 연구원에 감사를 드립니다.

참고문헌

1. Yang, H.H. (1993), Pavement Analysis and Design, Prentice-Hall.
2. 박민석 (2006), “BWIM 시스템을 이용한 고속도로 교량 차량하중 모형 개발”, 대한토목학회 논문집, 제26권, 제1A호, 대한토목학회, pp143-153.
3. 김성민 (2006), “이동차량하중에 대한 연속철근콘크리트포장의 거동 및 철근비의 영향”, 한국도로학회 논문집, 제 8권1호, 한국도로학회, pp.119-130.
4. 이태근 (2001) “노면으로부터 충격을 받는 자동차 타이어의 진동해석에 관한 연구”, 대한기계학회 2001년도 추계학술대회논문집 A, 한국기계학회, pp.483-488.
5. 황의승 (1999), “BWIM 시스템을 이용한 중차량의 통행특성 분석”, 한국강구조공학회 논문집, 제 11권, 제2호, 한국강구조학회, pp223-232.
6. 건설교통부 (2006), 건설교통 통계연보, 건설교통부.
7. 건설교통부 (2006), 2005년 도로교통량 통계연보, 건설교통부.
8. 한국건설기술연구원 (2005), 인간공학적 도로안정 분석시스템 개발, 건기원 2005-077