타이닝 간격 변화에 따른 차량 실내소음 연구
A Study on the Vehicle Interior Noise for Tinning Randomization

윤동혁† · 여태환* · 정순철* · 조윤호** · 이재응***
Dong-Hyok Yun, Tae-Hwan Yo, Yoon-Ho Cho, Jae-Eung Lee

Key Words : Random Tinnig Space(랜덤 타이닝 간격), Vehicle interior noise(차량 실내 소음), Whine Noise(화인 노이즈)

ABSTRACT

In order to remove the whine noise which has high frequency spectrum related to the uniform tinning space in concrete pavements, randomization study of the tinning space has been done. One of the random tinning space proposed by the authors in the previous study has been applied to the certain region of the Daegu-Pohang high way construction.

In this study, the vehicle interior noise and vibration have been measured in the proposed random tinning road and compared with the data measured in the uniform tinning road. The results show that the magnitude of the peak spectrum is decreased by 18dB(A), and the overall noize level decreased by 4dB(A).

1. 서 론

기존의 콘크리트 도로에서 차량이 주행 중에 발생하는 차량실내 소음에서 속도가 증가할수록 타이어/노면 가진력에 의한 소음이 주요한 소음원이 된다.[1] 여기서 타이어와 노면과의 주기적인 충돌에 의하여 발생하는 피치 노이즈(Pitch noise)의 비율이 지배적이다.[2]

콘크리트 포장 도로에서 노면의 마찰력 문제와 배수문제 등으로 인하여 일정 간격의 타이닝 홈을 파서 표면처리를 한다. 그러나 기존과 같이 타이닝 간격이 일정하면 타이어와 도로표면과의 충격이 주기적으로 발생하게 되어 특정주파수의 소음이 크게 되는 화인 노이즈(whine noise)[3]가 발생한다. 이런 현상은 일정한 타이닝 간격을 불규칙하게 변화시켜 충격 주기를 불규칙하게 함으로서 특정주파수에 집중된 가진력 에너지를 넓은 범위의 주파수 대역으로 분산시킴으로서 화인 노이즈의 크기를 줄일 수 있다.

이를 위하여 타이닝 간격을 불규칙하게 하는 방법에 관한 많은 연구가 진행되어 왔다.[3,5] 그러나 기존 연구에서는 랜덤화하는 방법에 대한 논리적인 설명없이 시행착오적인 방법으로 실험하여 체계적인 램덤화에 대한 연구가 거의 없었다. 최근에는 LCG 알고리즘[6]을 이용하여 타이닝 간격을 불규칙하게 생성하는 방법을 연구하여 최적화된 타이닝 간격 순서를 제안한 바 있다[7].

본 연구에서는 선행 연구[7]에서 제안한 랜덤 타이닝으로 시공된 고속도로를 주행하면서 차량의 진동과 실내 소음을 측정하였다. 시공 구간은 대구~포항간 고속도로이며 설계구간은 100m 정도이다. 차량 속도는 100Km/h 정속인 상태에서 측정하였다. 측정한 데이터는 시뮬레이션 결과와 비교하고 또한 기존에 등간격 타이닝으로 시공된 구간에서

† 윤동혁, 중앙대학교 대학원 기계공학부
E-mail : donghyok79@nate.com
Tel : (02) 820-5284, Fax : (02) 820-9476
* 중앙대학교 대학원 기계공학부
** 중앙대학교 건설환경공학과
*** 중앙대학교 기계공학부

측정한 데이터와 비교하면서 타이닝 간격의 랜덤화에 따른 차량의 진동과 실내 소음 저감 효과에 대하여 비교 관찰 하였다.

2. 타이닝 패턴 램덤화 설계 및 시뮬레이션

랜덤 타이닝 간격은 LCG 알고리즘을 적용하여 생성하였으며 시뮬레이션을 통하여 스펙트럼이 가장 잘 분산된 경우를 선정하였다.[7] Table.1이 특정 주파수의 피크를 낮추기 위하여 제안된 타이닝 간격의 형태와 구성비이다. 제안된 5가지 모델을 MATLAB을 이용한 시뮬레이션 결과로 기존의 등간격 타이닝과 제안된 랜덤간격 타이닝의 스펙트럼을 Fig, 1에서 보여주고 있다.

No.	Tinning space and ratio
1	10,20,30,40,50(1:1:1:1:1)
2	10,20,30,40,50(1:2:2:2:1)
3	10,20,30,40,50(3:2:1:2:3)
4	10,15,20,25,30,35,40,45,50(1:2:2:3:3:3:2:3:1)
5	10,15,20,25,30,35,40,45,50(3:2:2:1:1:1:2:2:3)

Table 1 Each tinning space of pavements

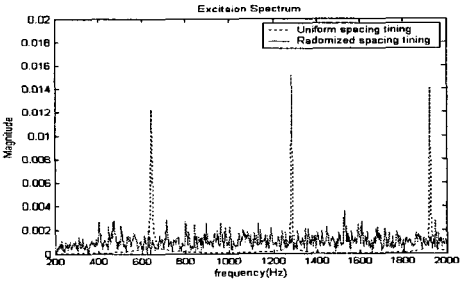


Fig. 1 Spectrum of random tining space

Fig.1의 시뮬레이션 결과를 정밀 분석한 결과 5가지 모두 등간격 타이닝 경우와 비교 하였을 때 스펙트럼 피크값이 약 87~88% 감소(18dB 감소)한 것을 볼수 있었다. 이것은 특정주파수에 집중된 타이어를 가진하는 입력신호의 최대 크기가 18 dB 감소함을 나타낸다. 실제 소음 크기의 감소량은 전달경로의 동특성에 따라 그 영향이 다르게 나타난다.

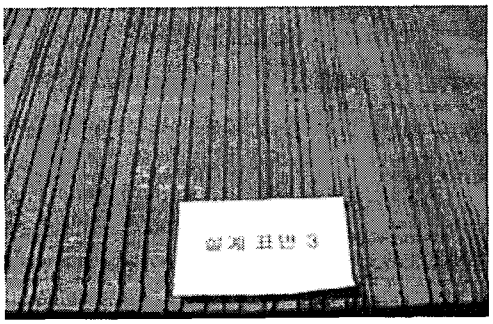


Fig.2 Random Tinning Surface

3. 차량실내소음 및 진동 측정

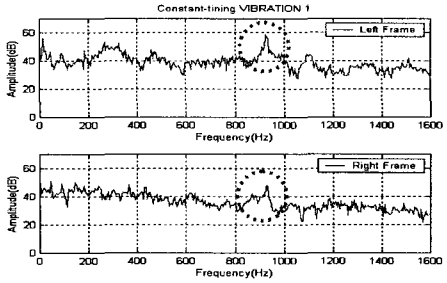
3.1 실험방법

등간격 타이닝 콘크리트 포장 도로 주행 시의 실내소음 및 진동을 측정한 도로는 중부고속도로 동서울~호법 구간 제2중부선과 대구포항간고속도로 도동~청통와촌 구간이며, 시공된 도로의 타이닝 간격 비율은 시뮬레이션 결과 3번에 해당하는 비율로 시공되었다(Fig. 2). 차량의 주행 조건은 일반적인 고속도로 주행조건인 시속 100km/h 정속주행으로 측정하였다. 차량의 실내소음은 B&K사 PULSE system (Time Capture Analysis Type 7771)과 마이크로폰(B&K 4189)을 이용하여 차량의 뒷좌석 탑승객 머리높이의 좌측과 우측에서의 소음의 음압도를 측정하였으며, 실내진동은 가속도계(B&K4374) 와 데이터획득장치(Wavebook512)를 이용하여 차량의 프레임 좌우, 뒷좌석 좌우 유리, 앞뒤유리의 진동을 측정하였다. 실험에 사용된 차량은 배기량 2000cc 가솔린엔진을 사용하는 중형 승용차이다.

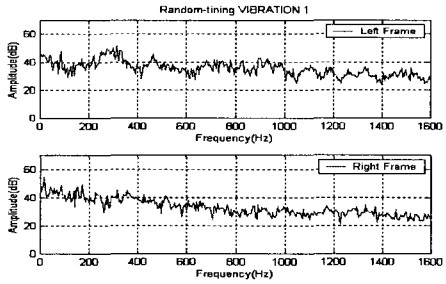
실험 특성상 동일 조건(동일한 포장 구간)의 반복 실험에 의한 에버러징이 까다로우므로 충분한 수의 시간 도메인 데이터를 획득 후, 이를 분할하여 각각의 데이터에 대한 FFT분석을 수행하여 이를 에버러징 하였다.

3.2 차량의 실내진동

등간격 타이닝 구간과 랜덤 간격 타이닝 구간



(a) Uniform-tinning



(b) Random-tinning

Fig. 3 Vibration spectrum of the Frame

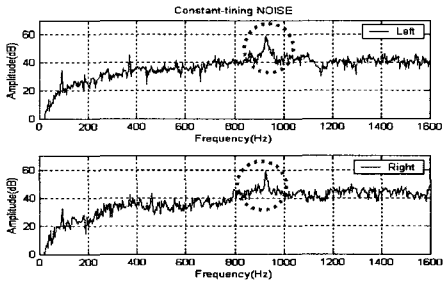
주행 시의 차량 실내 진동 스펙트럼을 비교하면 다음과 같다. Fig. 3은 프레임에서의 진동 측정과 스펙트럼을 비교한 결과를 나타낸다.

Fig. 3(a)를 보면 등간격 타이닝 구간 주행 시 각 측정 위치별로 900~930Hz에서 피크가 발생함을 알 수 있는데 이 피크는 폭 3mm, 깊이 3mm의 간격으로 타이닝을 시공했을 때 100 km/h의 속도로 주행하게 되면 900~930Hz의 주파수로 충돌이 발생하기 때문이다. 그러나 랜덤 간격 타이닝 구간 주행 시는 타이닝 간격이 랜덤화 됨에 따라 주기적인 충돌이 발생하지 않음으로 Fig. 3(b)와 같이 900~930Hz에서 발생하는 피크는 사라짐을 알 수 있다.

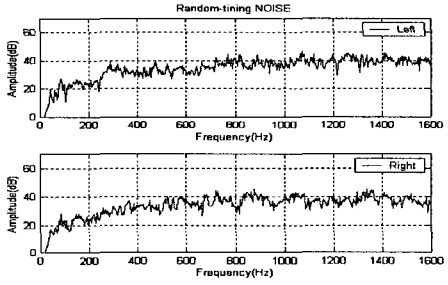
3.3 차량의 실내소음

등간격 타이닝 구간의 실내소음 스펙트럼을 살펴보면(Fig. 4) 진동 스펙트럼에서 발생하는 피크와 같은 주파수인 928Hz에서 피크가 발생함을 알 수 있다. 따라서 등간격 타이닝에 의한 차량의 진동 주파수가 소음으로 직결되어 나타남을 확인할 수 있다. 또한 랜덤 간격 타이닝 구간의 실내소음 스펙트럼에서는 진동 스펙트럼과 마찬가지로 928Hz대의 피크가 발생하지 않음을 알 수 있다.

등간격 타이닝 구간의 실내소음 스펙트럼을 살펴보면 진동 스펙트럼에서 발생하는 피크와 같은 주파수인 928Hz에서 피크가 발생함을 알 수 있다. 따라서 등간격 타이닝에 의한 차량의 진동 주파수가 소음으로 직결되어 나타남을 확인할 수 있다. 또한 랜덤 간격 타이닝 구간의 실내소음 스펙트럼



(a) Uniform-tinning



(b) Random-tinning

Fig. 4 Interior noise spectrum

에서는 진동 스펙트럼과 마찬가지로 928Hz대의 피크가 발생하지 않음을 알 수 있다.

928Hz에서의 음압도는 등간격 타이닝의 경우 59.6dBA로 나타나며 랜덤 간격 타이닝의 경우 41.0dBA로 18.6dBA 감소하여 나타나는데 이는 기존 시뮬레이션 연구 결과와 감소량이 거의 일치한다.

이러한 특정 주파수에서의 피크 감소는 실내소음의 총 음압도에도 영향을 크게 미치므로 등간격 타이닝 구간과 랜덤 간격 타이닝 구간 주행 시의 차량 실내소음 총 음압도를 비교하였다. 그 결과는 Table 2과 같다. Table 2를 보면 차량 실내소음은 랜덤 간격 타이닝 구간 주행 시가 등간격 타이닝 구간 주행 시 보다 3.8~4.7dBA 감소함을 확인할 수 있다.

Table 2 Comparison of Interior Noise

	Sound pressure level(dBA)	
	Left rear seat	Right rear seat
Uniform tinning	73.5	74.3
Random tinning	69.7	69.6

4. 결론

본 연구에서는 기존의 등간격 타이닝 콘크리트 도로와 램덤 간격 타이닝 콘크리트 도로에서의 소음 측정을 비교 측정 하였다. 선행연구에서 시뮬레이션을 통해서 5가지의 랜덤 타이닝 간격을 제안하였고 대구~포항간 고속도로에 제안된 랜덤 패턴의 타이닝 간격으로 시공하였다.

시공된 구간에서 실제 차량으로 주행하면서 실내소음과 차량 진동 신호를 측정하였고 그 비교 대상으로 기존에 시공된 등간격 타이닝 콘크리트 도로인 중부고속도로에서 실내소음과 진동 신호를을 측정하였다. 등간격 타이닝에서 측정한 소음 데이터와 제안된 방법으로 시공된 구간에서의 차량 실내소음과 진동은 시뮬레이션을 통해서 예상하였던 대로 실제 측정에서도 피크 값이 18~20 dBA로 감소하였다.

또한 특정 주파수 값의 피크값의 변화가 총 음압도에 어떤 영향을 미치는지 확인하였다. 비교 결과 등간격 타이닝 콘크리트도로보다 랜덤 간격 타이닝 콘크리트도로에서의 차량 전체 실내소음도가 3.8~4.7dBA 감소함을 보였다.

이 결과를 통해서 제안된 랜덤 타이닝 간격이 기존 등간격 타이닝 간격의 도로보다 차량 실내소음과 진동 저감에 효과적임을 보여주었다.

참 고 문 헌

[1] K. Hieronimus, G. hellener, "Reduction of car sound emission by means of systematic development work", Unikeller conference, pp.15/1~15/38. 1991

[2] 김병삼, 홍동표, "타이어와 소음", 한국소음진동공학회지 제4권 제4호, pp.404~412, 1994

[3] Ziad S. Saad, John R. Jaeckel, Yosef Z. Becker, David Kuemmel, Alex Satanovsky and Kristina Ropella, "Design of a Randomized Tining Rake for Portland Cement Concrete Pavements Using Spectral Analysis", Transportation Research Record 1702, Paper No. 00-1136, pp.63~68, 2000

[4] John H. Varterasian, "Quieting Noise Mathematically-Its Application to Snow Tire", Research Labs., General Motors Corp.

[5] David A. Kuemmel and John R. Jaeckel, "Noise Characteristics of Pavements Surface Texture in Wisconsin", Transportaton reaserch record 1544, pp.24~35, 2000

[6] P. Lewis, A. Goodman, and J. Miller, "A Pseudo-Random Number Generator for the System 360," IBM Syst. J., 8, 136 ,1969

[7] 정순철, 우종원, 김용수, 이재응 "도로소음 저감을 위한 타이닝 간격 램덤화에 관한 연구", 한국소음진동공학회논문집 제 15권 제 8호 pp.897~903. 2005.

[8] Richard L. Bowman, "Evaluating Pseudo-Random Number Generators", Computer & Graphics, vol.19 no.2, pp.315~324, 1995

[9] Thomas A. Williams, "Tire Tread Pattern Noise Reduction Through the Application of Pitch Sequencing", Noise and vibration conference, vol.2 no.291, pp.955~960, 1995

[10] Richard S. Figliola and Donald E. Beasley, "Theory and Design for Mechanical Measurements", John Wiley & Sons, 2000