

영상 신호 처리기술을 이용한 타이어 패턴 소음 예측 기술

Prediction of Tire Pattern Noise Based on Image Signal Processing

김 병 현*. 황 성 옥*. 이 상 권†
Byung-Hyun Kim, Sung-Uk Hwang and Sang-Kwon Lee

(Received May 3, 2013 ; Revised July 11, 2013 ; Accepted July 11, 2013)

Key Words : Image Processing(영상 처리), Optimal Filter(최적 필터), Convolution(중첩 적분)

ABSTRACT

Tire noise is divided into two parts. One is pattern noise the other one is road noise. Pattern noise primarily occurs in over 500 Hz frequency but road noise occurs mainly in low frequency. It is important to develop a technology to predict the pattern noise at the design stage. Prediction technology of pattern noise has been developed by using image processing. Shape of tire pattern is computed by using imaging signal processing. Its results are different with the measured one. Therefore, the prediction of actual measured pattern noise is valuable. In the signal processing theory is applied to calculate the impulse response for the measurement environment. This impulse response used for the prediction of pattern noise by convolving this impulse response by the results of image processing of tire pattern.

1. 서 론

자동차 기술의 발달과 환경공해에 대한 관심의 증가로 자동차 엔진 및 공기역학적인 소음의 획기적인 감소가 이루어졌으며 이에 따라 자동차 타이어 소음은 그 중요성이 더욱 증가되고 있다. 일반적으로 타이어에 의해 발생하는 대표적인 소음으로는 로드 노이즈(road noise)와 패턴 소음(pattern noise)가 있으며, 특히 패턴 소음은 공기를 매체로 전달되는 차실내 투과음으로 500 Hz이상의 공기 전달음(air-borne noise)으로 정의된다. 이러한 패턴 소음은 그루브의 압축 및 팽창에 의한 에어-펌핑음(air-pumping noise)의 비중이 높게 차지하고 있으며, 노면과 접지하는 트레드의 형상, 즉 그루브 깊

이에 기인하여 발생한다.

이 연구에서는 설계 단계의 타이어 패턴 소음 예측을 위하여 패턴의 주요 설계인자 중에 하나인 그루브(groove)를 주요 변수로 제어하여 패턴 소음을 예측하는 것이 목표이다. 자동차 타이어 패턴 소음 예측에 대한 종래의 연구를 살펴보면 다음과 같다. 김병삼⁽¹⁾은 타이어 패턴 소음 발생 기구에 대한 이론적 배경을 바탕으로 타이어 패턴 소음도 및 그 주파수 특성을 예측하였다. 이를 바탕으로 황성옥⁽²⁾ 등은 타이어 패턴 소음 예측을 위하여 패턴을 바탕으로 영상처리(image-processing)을 이용하여 패턴 소음을 예측하였다. 하지만 이러한 방법은 정확한 타이어 패턴소음예측이 어렵고 패턴의 형태에 따른 소음의 전체적인 경향성만 분석할 수 있다. 그래서 이 연구에서는 정확한 타이어 패턴 소음 예측을 위

† Corresponding Author ; Member, AVSP Lab, Department of Mechanical Engineering, Inha University
E-mail : sangkwon@inha.ac.kr

Tel : +82-32-860-7305, Fax : +82-32-868-1716

* AVSP Lab, Department of Mechanical Engineering, Inha University

A part of this paper was presented at the KSNVE 2013 Annual Spring Conference

† Recommended by Editor Myung Jun Kim

© The Korean Society for Noise and Vibration Engineering

하여 영상 처리 이외에 최적 필터(optimal filter) 및 컨볼루션(convolution)이론을 적용하여 정확한 타이어 패턴 소음예측을 하였다.

이미지 형태로 변환한 타이어 패턴 형상을 영상 처리를 이용하여 1차적인 타이어 패턴 소음을 예측한 뒤 실제 영상 처리 때 이용한 타이어 패턴과 동일한 타이어로 소음 측정을 하여 원하는 소음 신호를 구한다. 1차적인 타이어 패턴 소음과 시험에 의한 타이어 패턴 소음과의 전달함수를 구하기 위해 Wiener-Hopf filter⁽³⁾를 이용하여 전달함수를 구한다. 구한 전달함수와 영상 처리로 구한 타이어 패턴 소음 예측값을 컨볼루션 이론을 적용하여 최종의 타이어 패턴 소음값을 예측할 수 있다. 이론의 신뢰성을 확인하기 위해 비교적 패턴 형태가 단순로운 검증용 타이어로 신뢰성을 확인한 뒤 실제 상용 타이어로 동일한 방법으로 진행하여 최종의 타이어 패턴 소음을 예측한다.

2. 영상 처리를 이용한 타이어 패턴 소음 예측

2.1 타이어 패턴 배열

타이어의 패턴형상을 이용하여 타이어의 소음을 예측하기 위해서는 패턴의 배열이 우선되어야 한다. 이 연구에서 5개의 서로 다른 길이를 가지는 패턴으로 배열을 하였다. Fig. 1의 알고리즘에서 도식화된 것 처럼 첫 번째는 각각의 이미지별 길이가 다르기 때문에 각 이미지의 피치 길이를 계산해야 한다. 두 번째로 배열 조건을 설정해야 한다. 서로 다른 5개의 이미지를 총 66개 배열한다. 이때 1~5번의 배열 조건으로 연속되는 번호가 3개 이상 되지 않고 연속되는 번호의 차이가 3이상 되지 않아야 한다. 이러한 조건을 부여하는 이유는 연속되는 피치의 개수가 많거나 전·후의 피치 크기의 차이가 클 경우 추후에 주파수 변환을 했을 때 특정한 주파수에서 크기가 크게 나타나기 때문이다. 그러므로 이러한 특정한 주파수에서의 크기를 다른 주파수로 분산을 시키기 위해서 앞에서 언급한 배열 조건을 부여한다. 패턴을 배열하는 과정은 김의열⁽⁴⁾ 등이 고안한 방법을 이용한다. 패턴 배열 개수인 66개의 1~5까지의 랜덤 상수를 생성한다. 그 이후 패턴 조건에 부합하는지 필요 충분 조건 여부를 확인한다. 이때

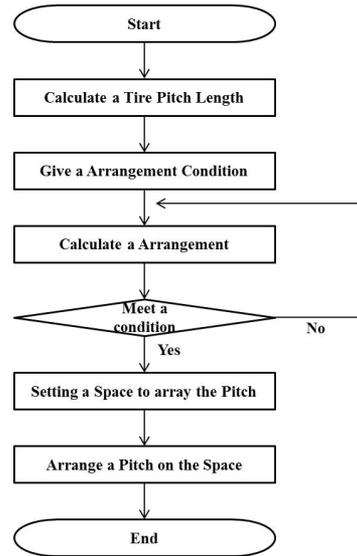


Fig. 1 The algorithm about the pattern sequence

66개 전체를 배열 조건에 따라 랜덤 상수를 생성하면 불필요한 재계산 횟수가 늘어나기 때문에 연산 시간이 증가한다. 66개를 4개의 구역으로 나누어 연속성과 변화량에 대한 필요조건 내에서 랜덤 상수를 생성한다. 전과 후구역 사이의 관계를 검증 하면서 구역을 이동한다. 이러한 과정을 통해 연산 시간을 최소화 할 수 있다. 66개 전체를 이용하여 랜덤 상수를 생성하면 무한대(약 13시간)의 시간이 소요된다. 하지만 구역을 나누어 랜덤 상수를 생성하면 약 0.2초가 소요되기 때문에 계산시간을 줄일 수 있다.

위의 과정을 통해 랜덤으로 생성한 상수가 위의 조건들을 만족하면 배열할 패턴 공간을 설정해야 한다. 패턴 공간 설정은 Matlab에서 zeros라는 명령어를 이용해 배열할 공간을 0으로 만들어 준다. 이와 같은 과정을 거치는 이유는 전체 공간을 0으로 만들지 않고 이미지를 배열을 할 경우 메모리 오류가 발생하기 때문이다. 패턴 공간 설정이 끝나면 앞에서 구해진 패턴 번호에 맞게 이미지를 패턴 공간에 배열한다.

2.2 타이어 패턴 배열에 따른 소음 예측

앞 2.1절에서 타이어 배열 순서에 따라 타이어를 배열하였다. 배열한 타이어에 접지 선단부(leading edge)를 적용하여 소음을 확인해야 한다. 접지 선단부는 직선, 원형, 자유 곡선 총 3가지로 이루어져

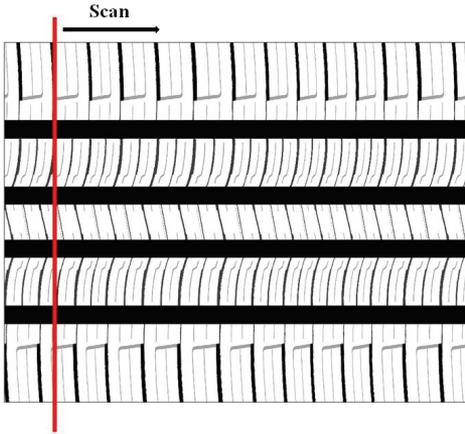


Fig. 2 Algorithm of tire pattern noise prediction

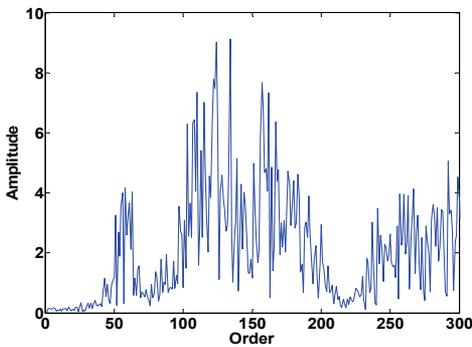


Fig. 3 Algorithm of tire pattern noise prediction

있는데 일반적으로 직선형 접지 선단부를 주로 사용한다.

이미지 파일은 0~255의 픽셀(pixel)값을 가진다. Fig. 2와 같이 직선형 접지 선단부를 적용하여 이에 해당하는 부분의 픽셀을 모두 더한다. 접지 선단부를 타이어 진행 방향으로 스캔하며 픽셀의 합을 구한 뒤 이를 시간함수(time data)형태로 표현한다. 이것을 타이어의 시간함수라고 가정한다. 이 값을 Fig. 3과 같이 F.F.T(fast Fourier transform)하여 주파수함수로 변환시킨다. 이것을 통해 영상 처리를 이용한 1차적인 타이어 패턴 소음을 예측할 수 있다.

3. 최적 필터 및 컨볼루션 검증 연구

3.1 적용 배경 및 흐름도

영상 처리를 이용한 타이어 패턴 소음예측으로는

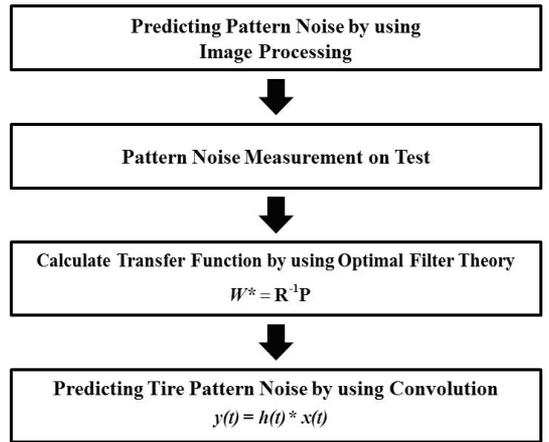


Fig. 4 Algorithm of tire pattern noise prediction

정확한 소음예측이 어렵다. 정확한 소음 예측을 위하여 영상 처리 결과와 실제 타이어 패턴 소음 측정 결과와의 전달함수를 찾아 타이어 패턴 이미지로부터 정확한 소음 값을 도출 할 수 있다. Fig. 4는 타이어 소음 예측 연구의 프로세스이다. 최적 필터 설계를 위해 일반적으로 이용하는 Wiener-Hopf equation을 사용하여 최적 필터(전달함수)를 구한다. Wiener-Hopf equation을 적용하여 전달함수를 구한 뒤 이 전달 함수와 영상 처리에 의한 소음 결과를 컨볼루션 이론을 적용하여 최종의 소음 예측값을 구할 수 있다.

3.2 타이어 패턴 소음 실내 측정 시험

최적 필터를 구현하기 위한 타겟 값을 찾기 위해 실험을 진행한다. 실험은 Table 1과 같이 두 번째와 네 번째 블록(block)의 횡그루브의 깊이가 다른 4개의 타이어를 이용하였다. 타이어 패턴 이미지에서 번호가 증가함에 따라 2, 4번째 블록의 명도가 점점 열어지는데 이것은 블록 횡그루브 깊이가 점점 깊어 진다는 것을 의미한다. Table 1과 같이 동일한 크기의 타이어를 사용하였고, 타이어 구조적 특성은 모두 동일하며 타이어 패턴 형상만 다르다.

시험 조건은 타이어 소음 측정용 지그에 타이어를 설치한 뒤 차량 중량의 1/4인 450 kgf를 가한 뒤 80 km와 100 km 두 가지 속도로 정속 주행하였다. Fig. 5는 타이어 패턴 소음 측정 사진이며 타이어 지그 전방 1 m, 20 cm높이에 B&K 마이크로폰을 설치하여 소음을 측정하였다.

Table 1 Photograph of actual tire noise measurement

| Name | Tire pattern image | Tire image |
|----------|--------------------|------------|
| H/C No.1 | | |
| H/C No.2 | | |
| H/C No.3 | | |
| H/C No.4 | | |



Fig. 5 Photograph of actual tire noise measurement

3.3 영상 처리에 의한 입력값 도출

3장의 영상 처리 방법으로 검증용 타이어 패턴 4 가지에 적용하여 입력값을 구한다. Figs. 6~9는 Table 1의 검증용 타이어에 직선형 접지 선단부를 적용한 뒤 영상 처리를 이용하여 구한 소음 예측 결과(시간 영역)이다. 횡그루브의 깊이가 깊어지면서 음압값도 점점 커지는 것을 확인 할 수 있다. 이 결과를 최적 필터를 구하는 알고리즘의 입력값으로 이용하여 계산하면 타이어 이미지를 이용한 영상 처리 결과와 실제 타이어 소음 측정값과의 전달함수를 구할 수 있다.

3.4 최적 필터 도출

(1) Wiener-Hopf 방정식

최적 필터는 타겟 신호(desired response)와 출력 신호 사이의 차이를 최소화하는데 적용한다. 즉, 최적 필터의 기준(입력) 신호가 변화할 때 적절한 출력 신호를 생성하기 위해 적용된다.

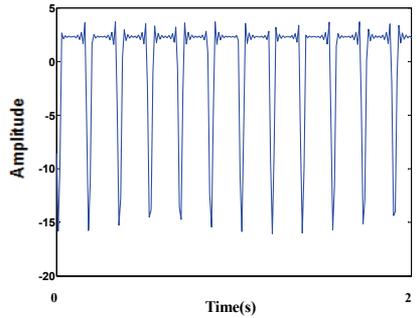


Fig. 6 Input data No.1

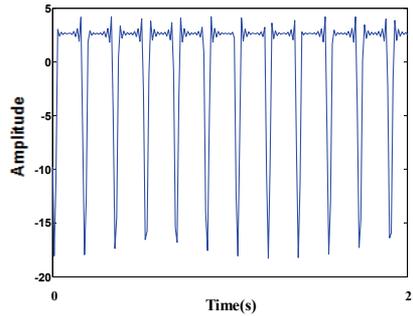


Fig. 7 Input data No.2

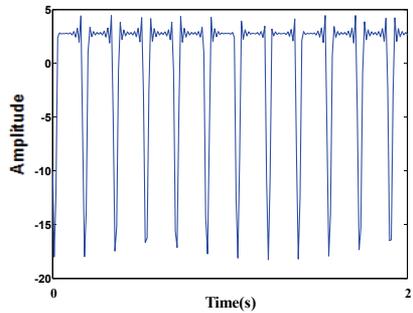


Fig. 8 Input data No.3

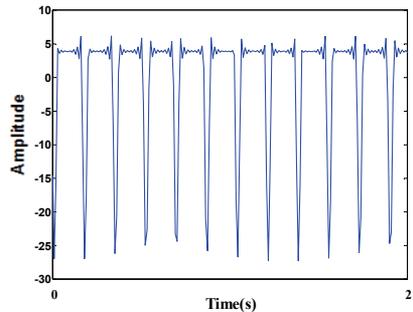


Fig. 9 Input data No.4

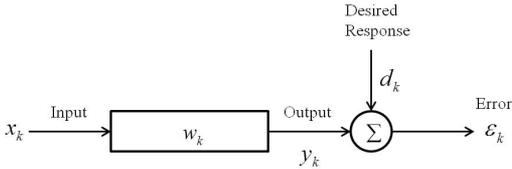


Fig. 10 Model problem for the derivation of the optimal FIR filter

Fig. 10에서 만약 FIR 필터가 최적 필터이면 필터의 상수는 적절한 출력 신호를 만들기 위해 변화 된다. 시간 지수 k 에 관한 오차 신호는

$$\epsilon_k = d_k - y_k = d_k - \mathbf{W}^T \mathbf{X}_k \quad (1)$$

여기서 \mathbf{W} 는 FIR 필터의 상수이고 \mathbf{x} 는 기준 신호, ϵ 와 d 는 각각 오차와 타겟 신호이다. 식 (1)을 제곱하면

$$\epsilon_k^2 = d_k^2 + \mathbf{W}^T \mathbf{X}_k \mathbf{X}_k^T \mathbf{W} - 2d_k \mathbf{X}_k^T \mathbf{W} \quad (2)$$

ϵ_k 와 d_k, \mathbf{X}_k 는 정상신호이고 식 (2)의 k 에 관해 기대값을 구하면

$$E[\epsilon_k^2] = E[d_k^2] + \mathbf{W}^T E[\mathbf{X}_k \mathbf{X}_k^T] \mathbf{W} - 2E[d_k \mathbf{X}_k^T] \mathbf{W} \quad (3)$$

MSE(mean square error)는 식 (4)와 같이 나타내면 더 편리하다. R 은 아래와 같은 사각행렬로 정의된다.

$$R = E[\mathbf{X}_k \mathbf{X}_k^T] = E \begin{bmatrix} R_{xx}(0) & R_{xx}(1) & \cdots & R_{xx}(I-1) \\ R_{xx}(1) & R_{xx}(0) & \cdots & R_{xx}(I-2) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ R_{xx}(I-1) & R_{xx}(I-2) & \cdots & R_{xx}(0) \end{bmatrix} \quad (4)$$

위의 행렬은 입력신호의 자기 상관 행렬이다. P 또한 위의 R 과 비슷한 세로행렬로 정의된다.

$$P = E[d_k \mathbf{X}_k] = [R_{xd}(0) \ R_{xd}(1) \ \cdots \ R_{xd}(I-1)]^T \quad (5)$$

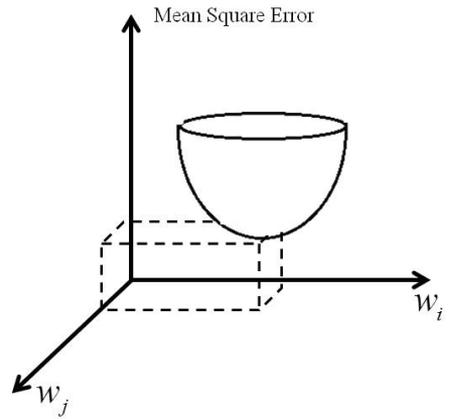


Fig. 11 The quadratic error surface formed by plotting the mean-square error against the two coefficients of the FIR filter

위의 행렬은 입력 신호와 타겟 신호와의 상호 상관 행렬이다. 그러므로 식 (3)을 아래와 같이 간단히 표현할 수 있다.

$$\xi = E[\epsilon_k^2] = E[d_k^2] + \mathbf{W}^T \mathbf{R} \mathbf{W} - 2\mathbf{P}^T \mathbf{W} \quad (6)$$

Fig. 11에서 보여지는 것처럼 MSE의 결과는 최적점에서 0이 되어야 한다.

$$\frac{\partial \xi}{\partial \mathbf{w}} = \begin{bmatrix} \frac{\partial \xi}{\partial w_0} & \frac{\partial \xi}{\partial w_1} & \cdots & \frac{\partial \xi}{\partial w_{I-1}} \end{bmatrix} = 2\mathbf{R} \mathbf{W} - 2\mathbf{P} \quad (7)$$

최소의 MSE값을 구하기 위해 가중(weight) 벡터 \mathbf{W} 는 Fig. 11에서 그래프의 기울기를 0으로 만들수 있는 최적값 \mathbf{W}^* 이 되어야 한다.

$$\frac{\partial \xi}{\partial \mathbf{w}} = \mathbf{0} = 2\mathbf{R} \mathbf{W}^* - 2\mathbf{P} \quad (8)$$

만약, 자기 상관 행렬 \mathbf{R} 이 정칙(nonsingular) 행렬이면, 최적 가중 벡터 \mathbf{W}^* 는 아래와 같이 표현 할 수 있다.

$$\mathbf{W}^* = \mathbf{R}^{-1} \mathbf{P} \quad (9)$$

(2) 시험 결과 위상 조절

우선 시험에 의해서 구해진 소음 측정값의 위상을

맞추어야 한다. 각기 다른 4가지의 타이어 패턴으로 소음을 측정하였기 때문에 위상(phase)은 4가지 모두 다르다. 위상이 다르면 전달함수의 위상도 달라지기 때문에 정확한 전달함수를 계산할 수 없다. 따라서 1차적으로 측정값의 위상을 맞추는 과정이 우선시 되어야 한다. Fig. 22에서 각각의 측정값의 위상이 다르다는 것을 확인할 수 있다. 그러므로 No.3을 기준으로 No.1,2,4의 위상을 조절하여 Fig. 23과 같이 위상을 맞춘다.

(3) 최적 필터 계산

입력값과 측정값을 최적 필터 이론을 적용하여 전달함수를 구하였다. No.1~3까지 각각의 입력값과 측정값을 최적 필터에 적용하여 각각의 전달함수를 구하였다. No.1~3까지를 대표할 수 있는 전달함수를 찾는 것이 중요하다. 각각의 전달함수의 형태가 다르기 때문에 이것을 대표할 수 있는 전달함수를 찾아야 한다. 대표값을 구하기 위해 평균화 방법을

선택하였는데 시간함수에서 바로 평균을 하면 위상 차이 때문에 신호의 왜곡이 생긴다. 그러므로 F.F.T 과정을 거쳐 주파수 영역으로 변환된 값을 평균화한 뒤 I.F.F.T(inverse fast Fourier transform)을 하여 구한다. Fig. 27은 이 과정을 거쳐 나온 No.1~3의 최적 필터를 대표하는 대표 전달함수이다.

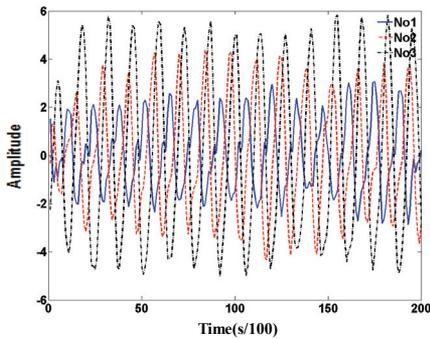


Fig. 12 Before phase adjustment measurement data

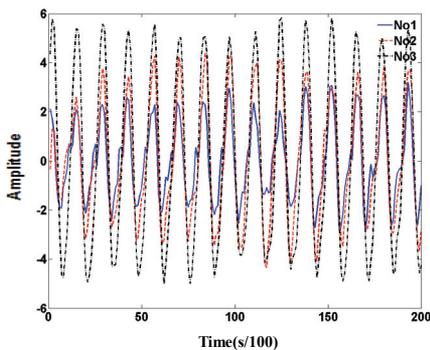


Fig. 13 After phase adjustment measurement data

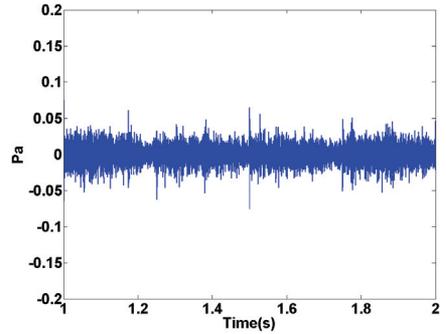


Fig. 14 Impulse response of No.1 applying the theory of optimal filter

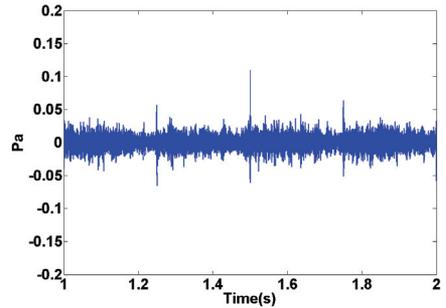


Fig. 15 Impulse response of No.2 applying the theory of optimal filter

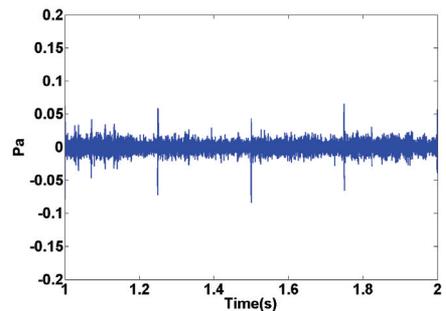


Fig. 16 Impulse response of No.3 applying the theory of optimal filter

3.5 컨볼루션 이론 적용

시간영역에서, 두개의 시간 함수 $x(t)$, $h(t)$ 는 Fig. 18과 같이 도식할 수 있다.

Convolution 이론을 적용하기 위해서는 두 시간 함수 $x(t)$, $h(t)$ 가 linearity하고 time invariance하여야 한다.

Fig. 18에 도식한 convolution이론은 수학적으로 아래와 같이 정의된다.

$$y(t) = \int_0^{\infty} h(\tau)x(t - \tau)d\tau \tag{10}$$

이때 함수 h 는 물리계가 가지고 있는 전달함수이다. 즉, 출력 $y(t)$ 는 두 시간함수 $f(t)$ 와 $h(t)$ 의 사이에 성립되는 수학적식이다. 일반적으로 convolution은

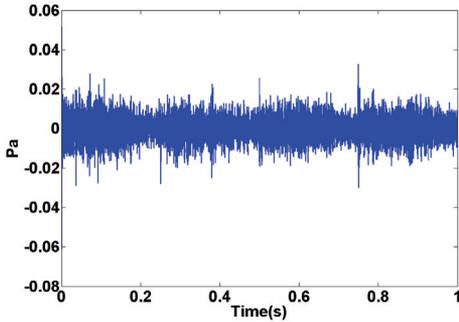


Fig. 17 Represented impulse response by averaging No.1~No.3

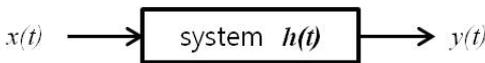


Fig. 18 The concept of LTI system

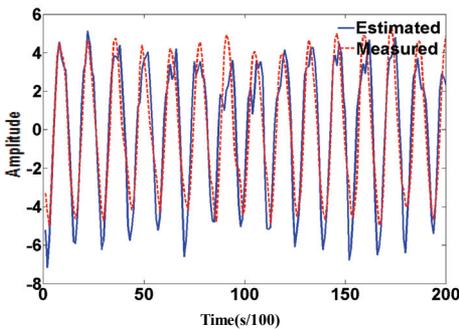


Fig. 19 Comparison estimated and measured results

‘*’ 심볼로 다음과 같이 간략히 표현하기도 한다.

$$y(t) = x(t) * h(t) \tag{11}$$

앞에서 구해진 대표 전달 함수를 실제로 적용하여 이론의 신뢰성 유무를 판별한다. No.4 타이어 패턴 영상 처리 소음 결과와 대표 전달 함수를 컨볼루션하여 No.4 타이어 패턴의 최종 소음 예측값을 구할 수 있다. 이 예측값과 실제 No.4 타이어 패턴의 소음 측정값이 일치 한다면 이 이론은 신뢰성이 있다고 판단할 수 있다. Fig. 28은 예측값과 측정값을 비교한 것으로 두 개의 값이 비슷하다. 약간의 오차가 발생하는데 이것은 신호처리 과정에서 발생하는 신호의 잡음(noise)에 의한 것이므로 무시할 수 있다. 이 결과를 바탕으로 영상 처리, 최적 필터 설계, 컨볼루션을 이용한 이 이론은 신뢰성이 있다고 판단가능 하기 때문에 실제 상용 패턴에 적용할 수 있다.

4. 상용 타이어 패턴 적용

4.1 영상 처리를 이용한 소음 예측

검증용 타이어 패턴과 동일한 방법으로 실제 상용 타이어 패턴에 적용한다. 우선 상용 타이어 패턴을 배열 순서에 맞게 배열을 한 다음 접지 선단부를 적용하여 소음을 예측한다. Figs. 20~22과 같이 상용 패턴을 총 3가지로 진행한다. 이 패턴을 배열 한 후 검증용 타이어 패턴과는 다르게 원형 550 mm 크기의 접지 선단부를 적용하였다. Figs. 20~22는 직선형



Fig. 20 Commercial tire pattern - No #1



Fig. 21 Commercial tire pattern - No #2



Fig. 22 Commercial tire pattern - No #3

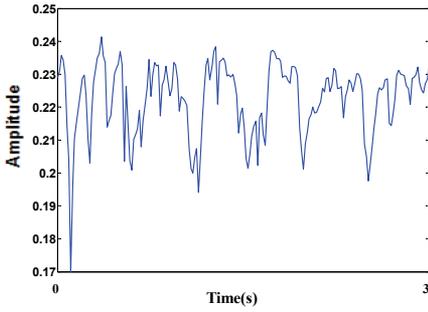


Fig. 23 Commercial tire pattern - No #1

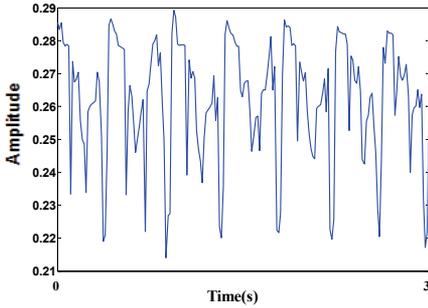


Fig. 24 Commercial tire pattern - No #1

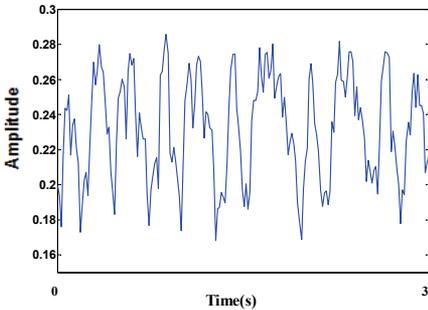


Fig. 25 Commercial tire pattern - No #1

접지 선단부를 적용한 후 입력값을 도출한 결과이다.

4.2 상용 타이어 패턴 소음 측정 시험

검증용 소음 측정 시험과 동일한 방법으로 실차의 1/4 중량을 가한 상태에서 타이어를 설치하여 60 km 속도로 정속 운동하였다. 타이어 소음 측정용 지그 앞 1 m, 20 cm 높이에 마이크로폰을 설치하여 주행시 발생하는 상용 타이어 패턴의 소음을 측정 한 결과는 Fig. 26이다. Fig. 26에서는 각각의 시험

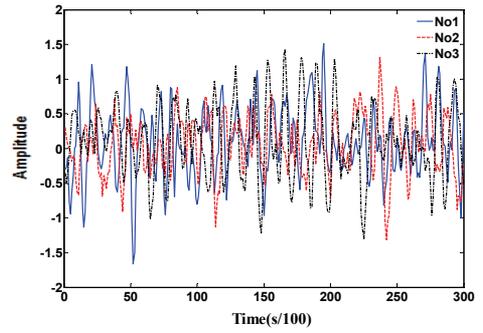


Fig. 26 Commercial tire pattern - No #1

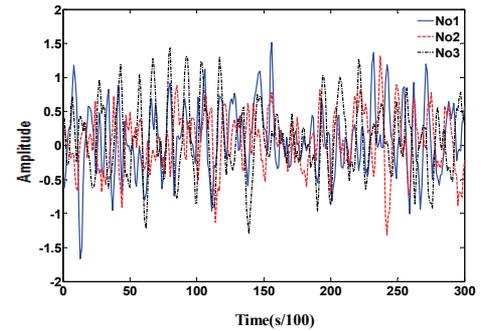


Fig. 27 After phase shifting for commercial tire pattern noise measurement

결과의 위상이 일치하지 않기 때문에 위상을 조절하였다. 상용 타이어 패턴의 경우에는 패턴 형상이 복잡하기 때문에 검증용 타이어 패턴과 달리 정확한 위상 조절이 어렵지만 Fig. 27과 같이 가장 최적의 위상을 찾아내 조절하였다.

4.3 최적 필터 도출

4.1과 4.2 과정을 통해 최적 필터적용을 위한 입력값과 타켓값을 구하였다. 검증용 타이어 패턴과 비슷하게 입력값과 타켓값이 서로 일치하지 않는다. 입력값과 타켓값 사이의 전달함수를 계산해야 하는데 Widner-Hopf equation을 이용하여 계산한다. Figs. 29~31은 각각의 전달함수에 해당한다. 이 전달함수를 대표할 수 있는 대표값을 구하기 위해 F.F.T과정을 거쳐 주파수 영역으로 변환을 한 뒤 평균을 하고 I.F.F.T과정을 거쳐 시간 영역으로 변환하여 No.1~3을 대표할 수 있는 Fig. 32와 같은 전달 함수를 구할 수 있다.

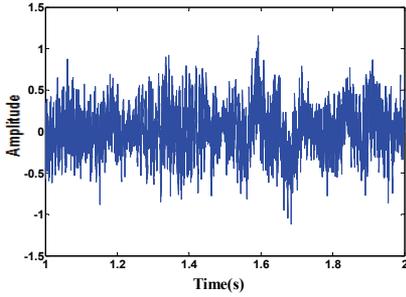


Fig. 28 Impulse response of No.1 applying the theory of optimal filter

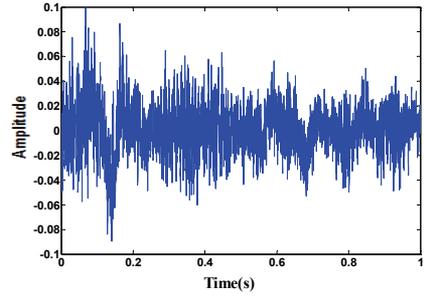


Fig. 31 Represented Impulse response by averaging No.1~No.3

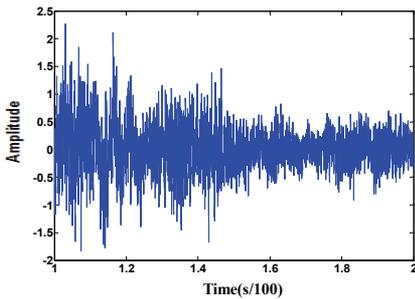


Fig. 29 Impulse response of No.2 applying the theory of optimal filter

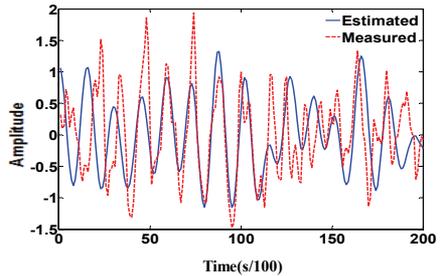


Fig. 32 Comparison between estimated and measured noise data

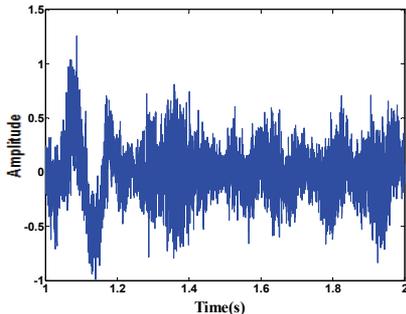


Fig. 30 Impulse response of No.3 applying the theory of optimal filter

4.4 컨볼루션 이론 적용

4.3과정을 통해 상용 패턴의 대표 전달 함수를 구하였다. 이 전달함수는 60 km를 대표하는 하나의 대표값이기 때문에 다른 상용패턴에도 적용이 가능하다. 적용 가능 여부를 확인하기 위해 No.1~3이 아닌 다른 상용 패턴의 입력값을 구한 뒤 컨볼루션을 이용하여 그 타이어 패턴의 소음 예측값을 구하였

다. Fig. 32는 소음 예측값과 측정값을 비교한 것으로 두개의 경향성이 비슷한 것을 확인 할 수 있다. 약간의 오차가 발생하는 것은 상용 타이어 패턴의 경우 그 형상이 복잡하기 때문에 생기는 오차이지만 전체적인 time data값에는 큰 영향을 끼치지 않기 때문에 무시할 수 있다.

5. 결론

검증용 타이어 패턴을 바탕으로 영상 처리를 이용하여 1차적인 타이어 패턴 소음을 예측하였다. 하지만 영상 처리로는 정확한 타이어 패턴 소음을 예측하기 어렵기 때문에 최적 필터를 사용하여 실제 타이어 패턴 소음 측정값과 영상 처리 예측값과의 전달함수를 구한다. 이 전달함수와 타이어 패턴 입력값(영상 처리로 구한 예측값)과의 컨볼루션을 이용하여 최종의 패턴 소음 예측값을 구하였다. 이 예측값과 실제 그 패턴의 소음 측정값을 비교하였을 때, 두 값이 거의 일치하는 것을 확인하였다. 두 값이 약간의 차이가 발생하는데 이것은 신호처리 과정

에서 발생하는 신호의 잡음이다. 약간의 오차이기 때문에 계산 결과에는 큰 영향을 주지 않는다. 검증용 타이어에서 신뢰도를 확보하였기 때문에 실제 상용패턴에 적용하여 소음 예측 기술을 확보한다. 검증용 타이어와 동일한 방법으로 상용패턴에 적용한다. 상용패턴의 영상 처리를 이용하여 1차적인 소음을 예측하고, 실제 타이어 패턴 소음 측정 결과와의 전달 함수를 최적 필터 이론을 이용하여 구한다. 각각의 전달 함수를 대변 할 수 있는 최종의 전달 함수를 구하여 컨볼루션 이론을 이용하여 상용 패턴의 타이어 패턴 소음을 예측하였다. 결과 값의 약간의 차이가 발생하는데 이것은 상용 패턴은 타이어 패턴 형상이 다양하고 복잡하기 때문에 입력값과 측정값의 위상 차이가 발생하여서 생긴 오차이다. 이 문제를 해결하기 위해 추후에는 다양한 패턴으로 각각의 전달 함수를 구하여 이를 대표하는 전달 함수를 찾아 신뢰도를 높이는 연구를 진행할 예정이다.

타이어 패턴 설계 시 디자인에 따른 타이어 패턴 성능예측 기술이 중요하다. 타이어 패턴 성능을 확인하기 위해서는 많은 시험을 진행하여야 한다. 이 연구에서 제시하는 영상 처리와 최적 필터 설계를 이용한 타이어 패턴 소음 예측기술은 타이어 패턴 설계시 소요되는 시간 및 비용을 감소시키는데 큰 도움이 될 것이라 확신한다.

후 기

이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2010-0014260).

References

- (1) Kim, B.-S., 2005, A Study on the Pattern Noise Prediction of Automobile Tire, Journal of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers, Vol. 14, No. 6, pp. 68~73.
- (2) Hwang, S.-W., et al, 2009, The Study on the Influence of Tire's Lateral Groove Depth, KSAE Annual Conference & Exhibition, pp. 1662~1666.
- (3) Mundl, R., Fischer, M., Strache, W., Wiese, K., Wies, B. and Zinken, K. H., 2008, Virtual Pattern

Optimization Based on Performance Prediction Tools, Tire Science and Technology, Vol. 36, No.3, pp. 192~210.

(4) Kim, E.-Y., Hwang, S.-W., Kim, B.-H. and Lee, S.-K., 2012, Reduction of Air-pumping Noise based on a Genetic Algorithm, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 22, No. 1, pp. 61~73.

(5) Kim, E.-Y., Kim, B.-H., Kim, H.-W. and Lee, S.-K., 2002, Design of a New VSS-Adaptive Filter for a Potential Application of Active Noise Control to Intake System, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 22, No. 2, pp. 146~155.



Byung-Hyun Kim is a graduate student in Department of Mechanical Engineering at Inha University. He has studied for the application of signal processing to acoustics and vibration in automotive sound identification.



Sung Uk Hwang is a graduate student in Department of Mechanical Engineering at Inha University. He has studied for development of road noise and pattern noise.



Sang-Kwon Lee was born in Pusan, Korea, in 1959, He studied mechanical engineering at the Pusan National University, Pusan, Korea for a bachelor's degree In 1998 he received a Ph.D. degree in signal processing at the ISVR (Institute of Sound and Vibration Research) of the University of Southampton in U.K. He has 11 years experience in automotive noise control by working in Hyundai Motor co. and the Renault-Samsung Motor Company in Korea. In 1999, he moved to Inha University, Incheon, Korea. He has continued the sound and vibration research in the department of mechanical engineering at the Inha University.