

## LabVIEW 기반 레일 진단 시스템

### A Railway Diagnosis System Based on LabVIEW

박경수\*, 김태성\*, 박서준\*, 길경석\*†

Kyoung-Soo Park\*, Tae-Seong Kim\*, Seo-Jun Park\*, and Gyung-Suk Kil\*†

**Abstract** In this paper, we described a railway diagnosis system by analyzing squeal noise. The measurement system consists of a microphone, a panel pc, and a data acquisition module, and is operated by a LabVIEW program. Experiment was carried out in a running train for five times according to KS I ISO 3381. Squeal noise events were recorded in 7 places of 33 sections with a frequency bandwidth of 6 kHz ~ 18 kHz, and the events in curve section were higher than that in straight section. Depending on the radius of curvature of the railway, the FFT result of squeal noise had different characteristics.

**Keywords** : Squeal noise, Frequency band, Radius of curvature, Railway, Noise reduction

**초 록** 본 논문에서는 스퀄노이즈 분석을 이용한 레일 진단 시스템에 대하여 기술하였다. 분석 알고리즘은 LabVIEW 기반으로 설계하였고, 스퀄노이즈의 주파수 특성의 분석 및 발생위치를 알려준다. 측정 시스템은 센서부, 데이터 수집 모듈 및 Panel PC로 구성된다. KS I ISO 3381을 기반으로 운행중인 도시철도에서 실험을 5회 수행하였다. 스퀄노이즈는 전체 33구간 중 7구간에서 발생하였으며, 6 kHz ~ 18 kHz 대역 내에서 측정되었다. 직선구간보다 곡선구간에서의 발생률이 높았으며, 곡선반경에 따라 주파수 특성이 다르게 나타났다.

**주요어** : 스퀄노이즈, 주파수 대역, 곡선 반경, 철도 레일, 노이즈 저감

## 1. 서 론

스퀄노이즈(Squeal noise)는 차륜과 레일의 마찰에 의해 발생하는 소음으로, 유동인구가 많은 도시철도에서 발생한다. 특정 주파수에 집중되어 있는 토널(Tonal)성분의 에너지가 방사되며, 주파수 대역은 가청주파수에 속하기 때문에 사람들에게 불쾌감을 준다. 이런 이유로 환경노이즈로 분류되었고, 감소시키기 위한 연구가 진행 중이다[1-4].

저감 대책으로 레일에 기름을 분사하는 도유기, 차륜과 레일을 깎는 삭정 과정 및 방음 설비를 설치한다[5]. 기존 방법은 스퀄노이즈의 소음원을 찾아내야 하고, 전 구간에 거쳐 시행해야 하므로 비용 및 시간이 많아 소요된다. 이를 보완하기 위한 기술이 필요하다.

본 논문에서는 레일에서 발생하는 스퀄노이즈를 분석하고, 실시간으로 발생 위치를 추정할 수 있는 레일 진단 시스템에 대하여 기술하였다.

† 교신저자: 한국해양대학교 공과대학 전기전자공학부(kilgs@kmou.ac.kr)

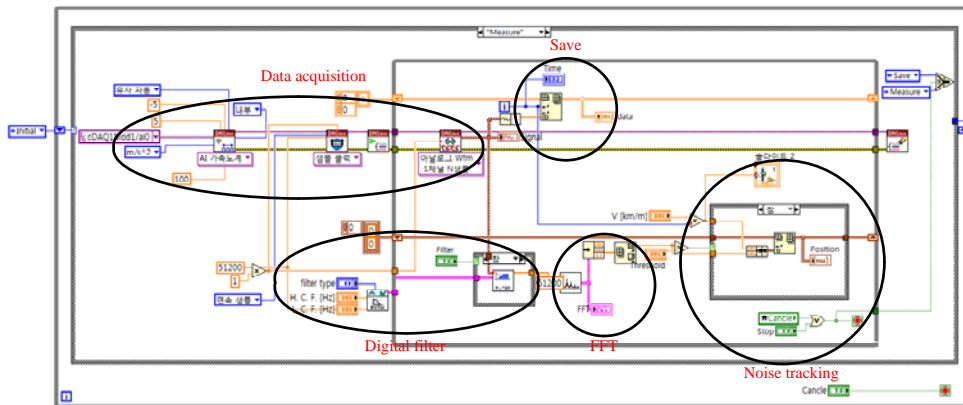
\* 한국해양대학교 공과대학 전기전자공학과

## 2. 본 론

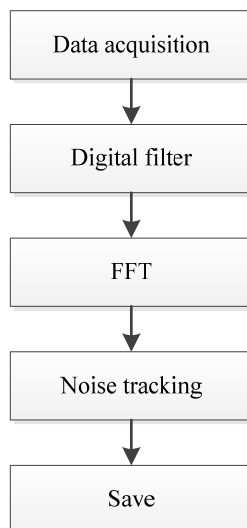
### 2.1 분석 알고리즘

LabVIEW를 이용하여 Fig. 1과 같이 분석 알고리즘을 설계하였다. Initial, Measurement 및 Standby의 동작으로 구성된 표준상태머신(Standard state machine) 구조를 바탕으로 스킬노이즈 검출 및 발생 위치를 동시에 분석하였다.

알고리즘 구성은 Data acquisition, Digital filter, FFT, Noise tracking 및 Save의 기능을 갖도록 설계되었다. Data acquisition은 DAQ NI 9234를 이용하여 데이터를 검출하도록 하였다. Digital filter는 필터 타입, 주파수 대역 및 임계값을 설정할 수 있고, Noise tracking은 도시철도의 속도를 이용하여 위치 추정을 할 수 있게 설계되었다. Save는 측정된 데이터를 배열화하여 엑셀파일로 저장되게 하였다[6].



(a) Configuration

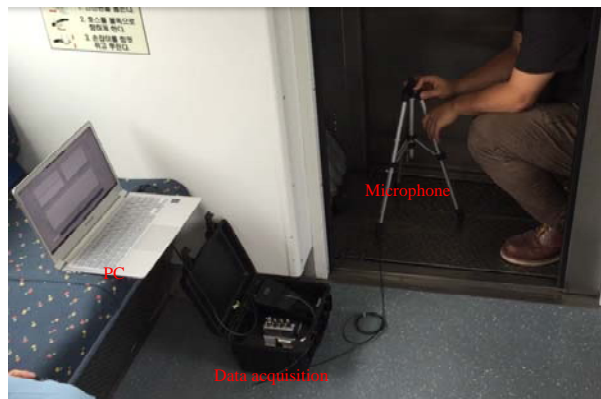
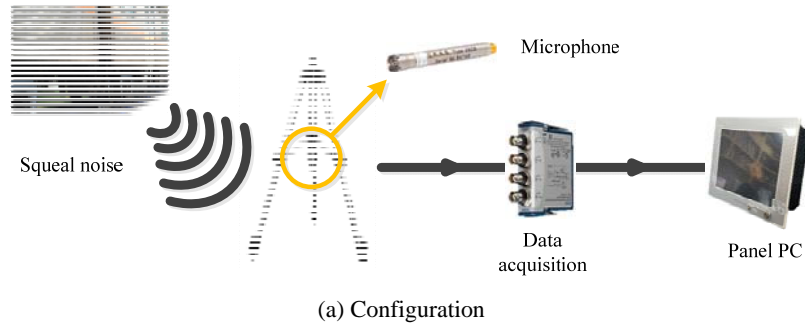


(b) Flow chart

**Fig. 1** Measurement algorithm

## 2.2 측정 시스템

측정 시스템은 Fig. 2와 같이 센서(Microphone)부, 데이터 수집 모듈(Data acquisition module) 및 Panel PC로 구성된다.



**Fig. 2** Measurement system

스킬노이즈를 검출하기 위해 주파수 대역이 10 Hz ~ 40 kHz인 Microphone(G.R.A.S. 1/4" Free-field Type 46BE)를 사용하였다. 데이터 수집 모듈은 아날로그 입력 분해능이 24 bit로 아날로그-디지털 신호를 정밀변환 하고, Panel PC로 전송하도록 하였다. Panel PC에서는 LabVIEW를 이용하여 스킬노이즈를 분석하고, 발생위치를 표시하였다. 측정 데이터는 내부 메모리에 저장하도록 하였다.

## 2.3 실험 및 분석

KS I ISO 3381을 기반으로 운행중인 도시철도에서 실험을 5회 수행하였다. 측정 구간은 Fig. 4에 나타냈으며 편도로 33구간을 측정했다. 도시철도의 속도는 직선구간에서 70 km/h, 곡선구간에서 50 km/h로 주행하였고 주행패턴과 안내방송은 실제와 동일한 조건에서 수행하였다. 배경노이즈를 최소화 하기 위해 객실 간 연결부분에서 측정하였다. Microphone은

지면과 1.2 m 높이에 설치했다[7]. 발생위치 추정 실험은 동일한 조건에서 발생빈도수가 높은 4구간을 선정하여 진행하였다.

### 2.3.1 스켈노이즈 분석

전체 33구간 중 7구간에서 스켈노이즈가 발생하였다. 마찰음이 없을 때, 배경노이즈가 1 Hz ~ 4 kHz 사이의 저주파영역에서 발생하였고, 디지털 필터를 통해 제거 할 수 있었다. 스켈노이즈가 발생할 경우, Fig. 3과 같이 6 kHz ~ 18 kHz의 고주파 영역의 특정 주파수 대역에서 발생하였다. 또한 제동 시, 스켈노이즈는 모든 구간에서 5 kHz ~ 6 kHz의 범위 내에서 측정되었다.

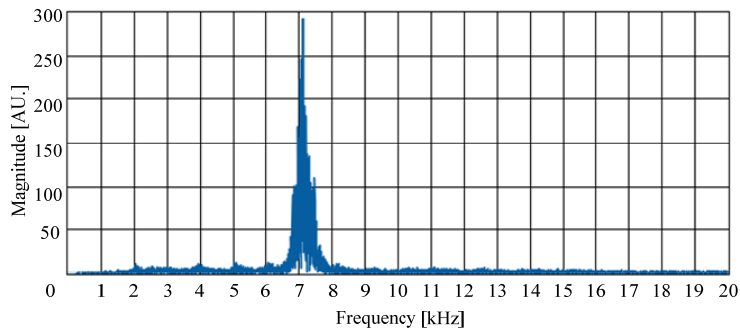


Fig. 3 Squeal noise

Fig. 4 및 Table 1과 같이 스켈노이즈는 주로 곡선구간에서 측정되었다. 스켈노이즈의 주요 발생 메커니즘인 스틱-슬립 현상이 직선구간 대비 곡선구간에서 발생 빈도가 높았다[8]. 또한 곡선반경이 작은 급커브구간( $R = 300$  m 이하)와 일반 커브구간에서 차이를 보였다. 곡선반경이 작은 A( $R = 200$  m), B( $R = 210$  m) 및 C( $R = 240$  m) 구간에서 스켈노이즈는 다른 구간( $R = 300$  m 이상)과 비교하여 낮은 주파수 대역에서 나타났고, 크기는 다른 구간보다 3~4배정도 컸다.

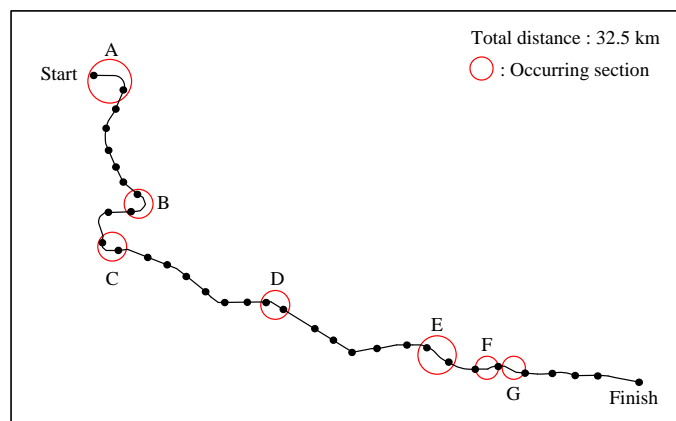
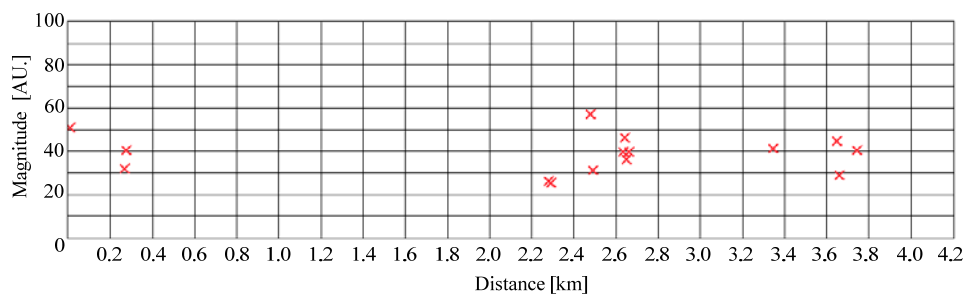


Fig. 4 Measurement section

**Table 1** Frequency band and magnitude of squeal noise depending on sections

Occurring section	Frequency band [kHz]	Magnitude [AU.]
A	6.5 ~ 7.5	287
B	6 ~ 6.5	206
C	6 ~ 6.3	254
D	15 ~ 17.6	19
E	12 ~ 14	69
F	17 ~ 18	74
G	16.3 ~ 17.4	52

### 2.3.2 발생 위치

**Fig. 5** Noise tracking

스킬노이즈 위치 실험은 발생 빈도수가 높은 4구간에서 실행하였다. 배경노이즈를 제거하기 위하여 임계값을 10 AU로 설정하였고, 1초 간격으로 스킨노이즈의 Peak값을 그래프에 표시하였다. 임계값 이상의 스킨노이즈가 발생하면 Fig. 5와 같이 발생위치가 표시되고 크기를 확인할 수 있다. 다른 구간과 비교하여 2.2 km ~ 2.7 km 구간에서 마찰음이 많이 발생하였다.

## 3. 결론

본 논문은 철도에서 발생하는 환경노이즈 저감을 위해 스킨노이즈 분석을 이용한 레일 진단 시스템에 대하여 기술하였다. 측정 시스템은 센서부, 데이터 수집 모듈 및 Panel PC로 구성되고, 측정 알고리즘은 LabVIEW를 이용하여 설계하였다. 실험은 KS I ISO 3381을 기반으로 운행 중인 지하철에서 수행하였다.

전체 33구간 중 7구간에서 스킨노이즈가 발생하였다. 주로 곡선구간에서 6 kHz ~ 18 kHz 대역에서 측정되었다. 곡선반경이 작을수록 10 kHz 이하의 주파수 대역에서 발생하였으며, 크기는 다른 구간보다 3~4배정도 컸다. 측정된 스킨노이즈 신호를 바탕으로 발생 위치를 추정하였다.

기존 방법에 레일 진단 시스템을 적용하여 시간과 비용을 절감하고, 축적된 데이터를 통해 레일의 마모상태를 예측할 뿐만 아니라, 철도의 효율적 운영과 환경노이즈 개선에 따른 승객 만족도에 크게 기여 할 것으로 판단된다.

## 후 기

본 연구는 중소기업청에서 지원하는 2013년도 중소기업기술개발지원사업(No. S2138505) 및 2014년도 중소기업기술개발 지원사업(S2243009)의 연구수행으로 인한 결과물임을 밝힙니다.

## 참고문헌

- [1] D.K. Hong, C.W. Ahn, G.J. Han, H.U. Gang (2011) Analysis of Curve Squeal Noise for Busan Metro Line 3, Journal of the Korean Society for Precision Engineering, 28(4), pp. 427-435.
- [2] W.H. You, H.I. Koh, J.H. Park, C.S. Yang (2008) A Study on the Characteristics of Subway Noise in Curved Line, 2008 Autumn Conference of the Korean Society for Mechanical Engineers, Pyeongchang, pp. 773-778.
- [3] J.K. Choi, J.W. Lee, S.I. Chang(2001) A Study on Squeal Noise Control by Absorption Treatment in Urban Rail Transit System, Journal of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, 11(4), pp. 58-64.
- [4] B.S. Kim, K.J. Kim, S.S. Kim, J.C. Kim (2006) Experimental Study of Generating Mechanism about Railway's Squeal Noise, 2006 Spring Conference of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Jeju, pp. 1334-1337.
- [5] H.Y. Ji, D.H. Koo, S.W. Jeon (2011) Effect of Reducing Squeal Noise at Railway of Curve Section by using the Watering, 2011 Autumn Conference of the Korean Society for Railway, Jeju, pp. 2928-2933.
- [6] G.W. Jeong, S.J. Kim, G.S. Kil, H.C. Park (2013) I-V Characteristic Analyzer of Lightning Arresters Based on LabVIEW, 2013 Autumn Conference of the Korean Society for Railway, Changwon, pp. 465-469.
- [7] KS I ISO 3381, Acoustics-Measurement of Noise Inside Railbound Vehicles, 2014.
- [8] K.H. Moon, W.H. You, J.C. Kim (2003) A Study on the Squeal Noise for Subway, Journal of the Korean Society for Railway, 6(3), pp. 209-214.