

## 시뮬레이션 기반 와전류 레일 결함 신호 특성 연구

## Study on Simulation-based Eddy Current Rail Defect Signal Characteristics

박정원\*, 김학준\*<sup>†</sup>, 송성진\*, M.B Kishore\*, 권세곤\*\*Jeong Won Park\*, Hak Joon Kim\*<sup>†</sup>, Sung Jin Song\*, M.B Kishore\*, Se Gon Kwon\*\*

**Abstract** Railway, which is an important part of the railway industry, causes loss of life and economic loss due to breakage and defects caused by aging and external environmental factors. In order to solve this problem, development and research of passive and automatic type test equipment applying ultrasonic and eddy current testing methods, which are non-destructive methods, have been actively carried out. Among them, the eddy current method is non-contact type and has excellent detection sensitivity to surface defects. Despite these advantages, it is difficult to acquire information such as shape and depth even if the currently developed eddy current defect detection device discriminates presence or absence of defects and detects defects. Therefore, this study investigated the signal characteristics according to the change of shape and depth of surface defects that occur in railway through eddy current simulation.

**Keywords** : Rail inspection, Eddy Current, Defect simulation, Railway, Signal characteristics

**초 록** 철도 산업 중 중요한 비중을 차지 하고 있는 철도 레일은 노후화와 외부 환경적 요인으로 발생하는 파손 및 결함으로 인명 및 경제적 손실을 유발한다. 이런 문제를 해결하기 위해 비파괴 기법인 초음파와 와전류 탐상 기법을 적용한 수동형 및 자동형 탐상 장비를 개발 및 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 그 중 와전류 기법은 비 접촉 식이며 표면 결함에 대한 검출 감도가 우수한 기법이다. 이러한 장점에도 불구하고 현재 개발된 와전류 탐상 장비는 결함의 유무를 판별 및 결함을 검출하여도 형태 및 깊이 등의 정보를 취득하기 어렵다. 따라서 본 연구는 와전류 시뮬레이션을 통해 레일에 발생하는 표면 결함의 형태 및 깊이 등의 변화에 따른 신호 특성을 연구하였다.

**주요어** : 레일 탐상, 와전류, 결함 시뮬레이션, 철도 레일, 신호 특성

## 1. 서 론

이 철도 산업은 중요한 대중 교통수단 및 물자 운반을 담당하고 있는 대표적인 산업 중 하나이며 그 중 철도 레일은 철도 차량이 안전하게 이동 할 수 있도록 연결해 주는 가장 중요한 요소이다. 산업이 발전함에 따라 철도 레일의 노후화 및 외부 환경적인 요소로 레일의 파손 및 결함 등이 발생하게 된다. 레일의 파손 및 결함이 발생 시 열차 탈선 등의 문제로 인명 피해 및 경제적 손실을 유발한다. 철도 레일에 발생하는 대표적인 결함으로 표면 균열, 압좌, 파상 마모 등이 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 철도 레일에 관하여 안전성 및 건전성의 확보를 위해 다양한 비파괴 평가 방법들이 연구 및 수행되고 있다. 비파괴 평가

<sup>†</sup> 교신저자: 성균관대학교 공과대학 기계공학과(hjkim21c@skku.edu)

\* 성균관대학교 공과대학 기계공학과

\*\* 한국철도공사

방법에는 접촉 방식인 초음파 탐상(UT : Ultrasonic Testing)과 비접촉 방식인 자기 누설 탐상(MFL : Magnetic Flux leakage), 전자기 초음파 탐촉자(EMAT : Electromagnetic Acoustic Transducers), 와전류 탐상(ECT : Eddy Current Testing) 등 다양한 기법들이 있다. 특히 와전류 기법의 경우 표면 결함에 대한 검출 감도가 우수하며, 지시를 전기적 신호로 취득 하기 때문에 결함의 형상 및 깊이 등의 정보를 얻는 것이 가능하다. 그러나 현재 철도 레일에 와전류 탐상 방법을 이용한 수동형 및 자동형 탐상 장비는 여러가지 복합적인 문제로 결함의 유무를 판별 및 결함을 검출하여도 형태 및 깊이 등의 정보를 취득하기 어려운 문제점을 내재하고 있다. 따라서 본 연구는 결함에 대한 정보를 예측하기 위해 와전류 시뮬레이션을 통하여 레일 표면에 발생하는 결함의 형태 및 깊이 등의 변화에 따른 신호 특성을 연구하였다.

## 2. 본 론

### 2.1 레일 탐상 와전류 시뮬레이션

#### 2.1.1 Sensor 및 결함 사양

시뮬레이션 프로그램은 comsol 5.2를 사용하였다. 레일 탐상 와전류 시뮬레이션에 사용된 센서는 Plus point sensor로 한층 식 번갈아 가며 십자 형태로 코일을 권선하는 형태이다. 센서 사양은 Table 1에 나타내었다. 결함 사양은 Fig .1 및 Table 2와 같이 Longitudinal 과 Transverse 방향의 임의의 표면 결함에 대한 주파수 및 깊이, 크기 변화에 따른 시뮬레이션을 수행 하였으며 적용된 시험편은 철도 레일과 유사한 재질인 탄소강을 적용하였다.

Table 1 Plus point sensor spec

Width of wiring wire	3mm
Coil Diameter	0.1mm
Layer of wiring wire	4Layer
Lift-off	1mm

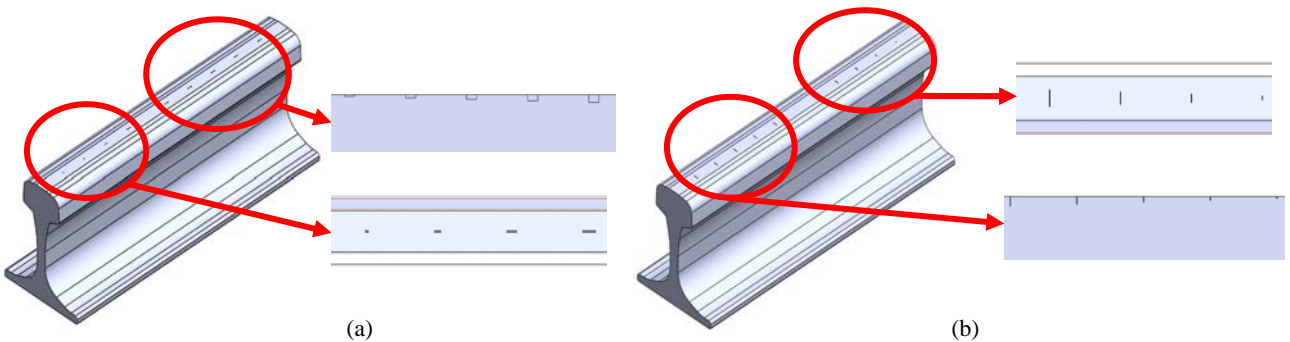


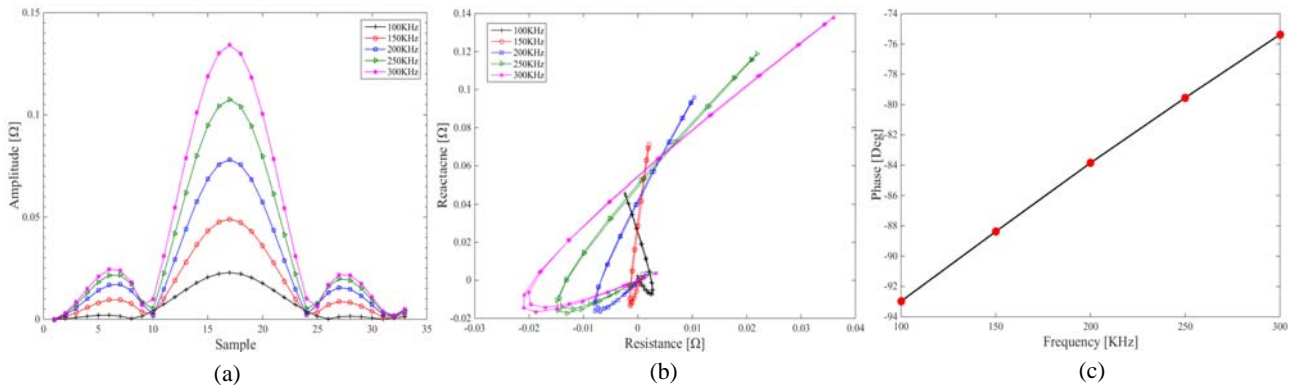
Fig. 1 Simulation specimen spec (a) Longitudinal, (b) Transverse

**Table 2** Simulation specimen spec

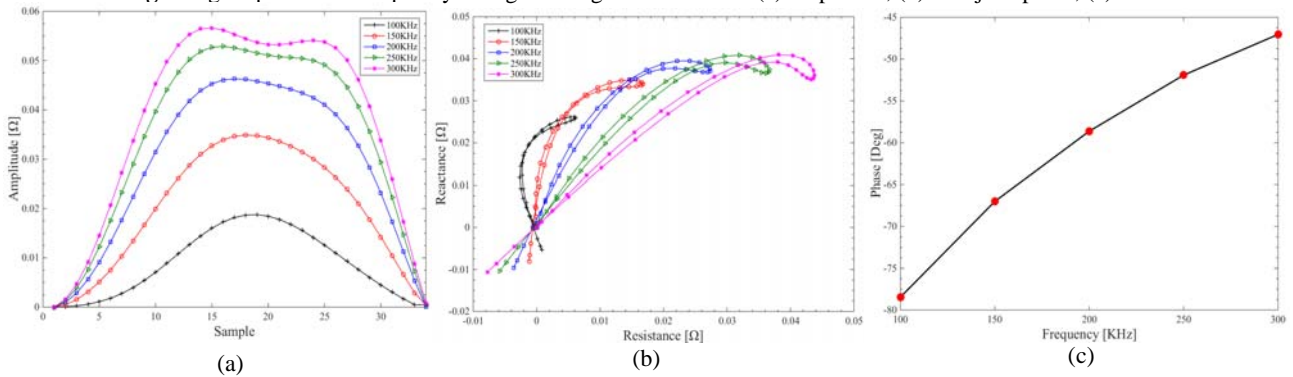
Head check (Longitudinal)	Length	2,4,6,8mm
	Width	0.4mm
	Depth	3mm
Head check (Transverse)	Length	0.4mm
	Width	10mm
	Depth	1,2,3,4,5mm
	Length	0.4mm
	Width	2,4,6,8,10mm
	Depth	3mm

### 2.1.2 주파수 변화 시뮬레이션

Longitudinal(길이 : 4mm, 폭 : 0.4mm, 깊이 3mm)과 Transverse(길이 : 0.4mm, 폭 : 8mm, 깊이 3mm)결함을 지나갈 때 100KHz ~ 300KHz까지 주파수 증가에 따른 신호의 패턴을 확인 하였다. Fig. 2(a),(b),(c)와 Fig. 3(a),(b),(c)과 같이 Amplitude, Lissajous plane, Phase로 나타내었다. 두 결함 모두 주파수가 증가에 따라 Amplitude 및 Phase가 증가 하였고 Lissajous plane도 마찬가지로 1사분면에 위치해 있으며 주파수 증가에 따라 곡률의 반경 및 크기가 증가 하였다. 그러나 두 결함의 형태의 차이에 따라 Amplitude 및 Lissajoué plane의 신호 형태가 다르게 나타났다.



**Fig. 2** Signal pattern on frequency change of longitudinal defects (a)Amplitude, (b)Lissajous plane, (c)Phase



**Fig. 3** Signal pattern on frequency change of transverse defects (a)Amplitude, (b)Lissajous plane, (c)Phase

### 2.1.3 Longitudinal 결함 크기 변화 시뮬레이션

2mm 단위로 2~10mm까지 결함을 longitudinal 방향으로 증가시켰을 때 신호 패턴을 Fig. 3(a),(b),(c)에 나타내었다. 주파수는 2.1.2 에서의 주파수 변화 시뮬레이션을 통해 100KHz로 정하였다. Amplitude의 경우 결함의 크기가 증가 할수록 임피던스의 크기도 증가 하였다. Lissajous Plane의 경우 1사분면에 위치에 있으며 결함의 크기가 증가 할수록 곡률의 크기 및 반경이 증가하였다. Phase의 경우 8mm까지 위상 각의 값이 선형적으로 증가 하였으나 10mm 결함의 위상 각은 8mm 위상 각 값과 차이가 크게 나지 않았다.

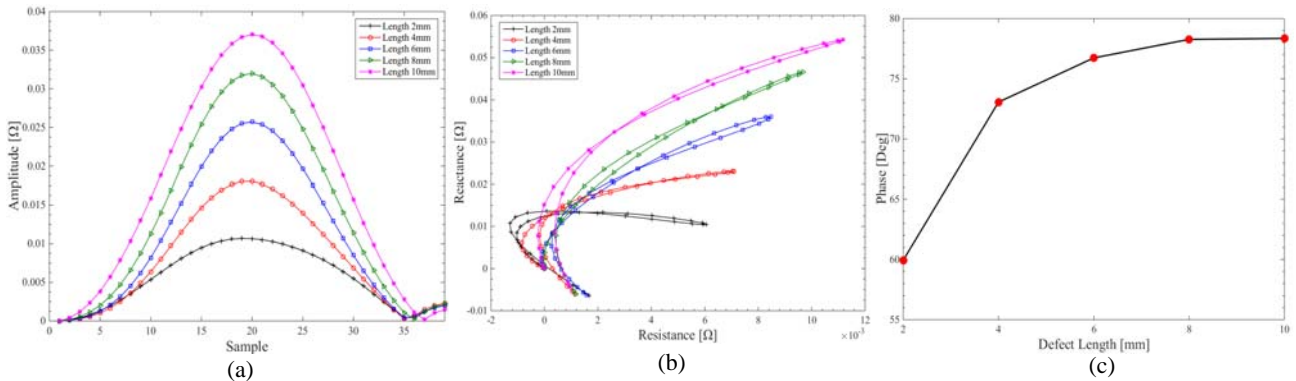


Fig. 4 Signal pattern on increase of longitudinal defects (a)Amplitude, (b)Lissajous plane, (c)Phase

### 2.1.4 Transverse 결함 크기 변화 시뮬레이션

Transverse 결함을 2mm 단위로 증가시켰을 때 Fig. 6(a),(b),(c)에서 보이듯이 신호의 변화를 나타내었다. Amplitude의 경우 결함의 크기가 증가 할수록 임피던스의 크기는 증가하였다. 그러나 2mm의 결함의 경우 다른 결함의 신호 패턴과 다르게 나타났다. 2mm결함을 제외한 다른 결함들은 십자 모양의 sensor 한 면의 폭보다 작기 때문에 다른 신호 패턴이 나타났다. Lissajous plane의 경우도 마찬가지로 2mm의 결함만 다른 패턴을 나타내는 것을 볼 수 있다. Phase의 경우 결함의 크기 증가에 따라 선형적으로 위상 각이 증가 하였다.

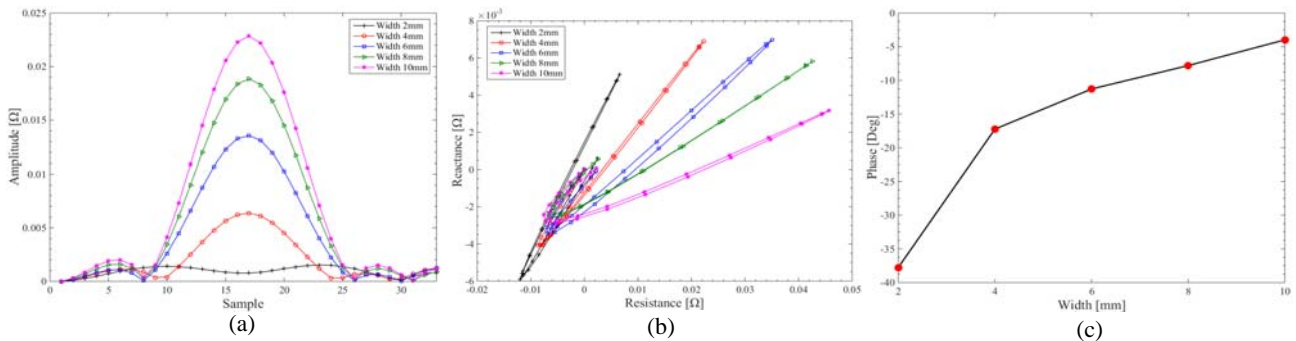


Fig. 6 Signal pattern on increase of transverse defects (a)Amplitude, (b)Lissajous plane, (c)Phase

### 2.1.5 Transverse 결함 깊이 변화 시뮬레이션

Transverse 방향 결함의 폭과 길이를 고정 시킨 후 1~5mm까지 깊이 변화에 따른 신호 패턴을 확인 하였다. 깊이 증가에 따른 신호 패턴은 Fig. 5(a),(b),(c)와 같이 Amplitude의 경우 깊이 증가에 따라 임피던스는 증가 하였다. 또한 깊이가 증가 하였으나 변화 량이 크게 나

타나지 않았다. Lissajous Plane의 경우 1사 분면에 위치하며 깊이가 증가 할수록 곡률의 반경 및 크기가 증가였다. Phase는 깊이 증가에 따라 위상 각은 선형적으로 증가 하였으나 깊이 4, 5mm의 위상 각의 차이는 크게 나타나지 않았다.

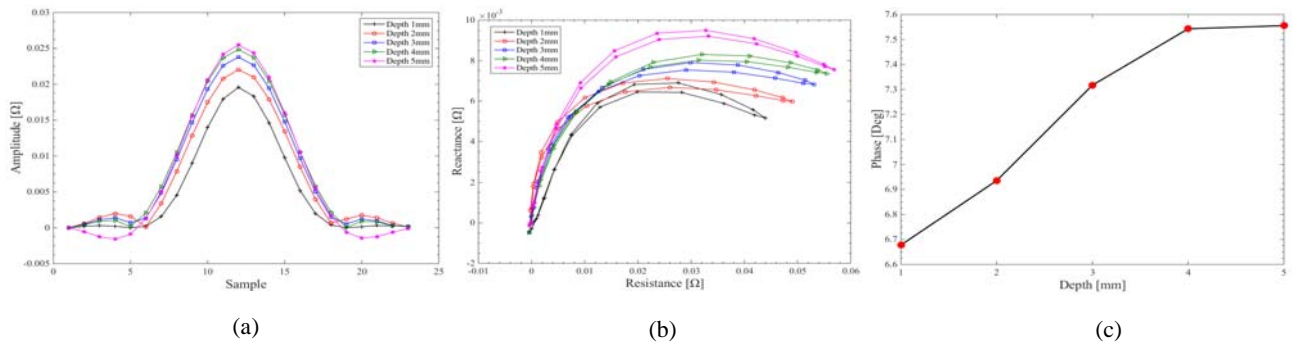


Fig. 7 Signal pattern on depth change of transverse defects (a)Amplitude, (b)Lissajous plane, (c)Phase

### 3. 결론

longitudinal 및 transverse 결함에 대하여 주파수 및 크기, 깊이 증가에 따른 와전류 시뮬레이션 결과 주파수가 증가 함에 따라 amplitude는 두 결함 모두 임피던스가 증가 하는 경향을 나타내었다. 그러나 transverse 결함의 경우 주파수가 증가 할수록 신호의 패턴이 변변하는 것 알 수 있었다. Lissajous plane의 경우 주파수 증가에 따라 두 결함 모두 곡률과 반경이 증가 하였고 이에 따라 위상 각도 선형적으로 증가 하였다. longitudinal 및 transverse 결함의 크기 증가 함에 따라 amplitude, Lissajous plane, phase 모두 증가 하였다. transverse 결함의 깊이 증가에 따라 신호는 증가 하였으나 깊이 4,5mm의 신호는 크게 변하지 않았다. 즉 시뮬레이션상 깊이 4,5mm의 신호 크기 차이는 거의 나지 않는다. 레일 표면에 발생하는 head check 결함에 대한 모사 시뮬레이션을 통하여 longitudinal 및 transverse 방향 결함 형태의 크기 및 깊이 증가에 따른 신호 특성을 확인 할 수 있었다.

### 후 기

본 연구는 2017년도 국토교통과학기술진흥원에서 지원하는 철도기술 연구사업 중 ‘선제적 선로 장애 예방을 위한 레일결함 탐상 및 상태평가 기술 개발’ 과제의 지원을 받아 수행 되었습니다.

### 참고문헌

- [1] M.Ph. Papaalias, M.C. Lugg, C. Rovers, C.L. Davis (2009) High-speed inspection of rails using ACFM techniques, *NDT&E international*, 42(4), pp. 328-335.
- [2] Rainer Pohl, R. Krull, R. Meierhofer, (2006) A new eddy current instrument in a grinding train, *9th European conference on NDT*, Berlin, Germany, poster 178.
- [3] Soon-Woo Han, Seung-Hyun Cho, (2011) Review of Non-Destructive Evaluation Technologies for Rail Inspection, *Journal of the Korean Society for Nondestructive Testing*, 31(4), pp. 398-413.