

## 강구조물 진단을 위한 누설자속 기반 강판 손상의 이미지화

김한선<sup>1</sup>, 김주원<sup>2</sup>, 유병준<sup>3</sup>, 김원규<sup>4</sup>, 박승희<sup>5\*</sup>

# Imaging Magnetic Flux Leakage based Steel Plate Damage for Steel Structure Diagnosis

Hansun Kim<sup>1</sup>, Ju-Won Kim<sup>2</sup>, Byoungjoon Yu<sup>3</sup>, Wonkyu Kim<sup>4</sup>, Seunghee Park<sup>5\*</sup>

**Abstract:** In this study, the magnetic flux leakage technique was applied to diagnose steel plate damage, imaging technique was applied through those signals. Steel plate specimens with different thicknesses were prepared for the imaging the magnetic flux leakage signal, and 6 different depths of damage were artificially processed at the same locations on each specimen. The sensor head consist hall sensor and magnetization yoke was fabricated to magnetize the steel plate specimen and measure the magnetic flux leakage signal. In order to remove the noise and increase the resolution of the image in the signal collected from the hall sensor, various of signal processing was performed. P-P value was analyzed for each channel to analyze the magnetic flux leakage signals measured from each damaged part. Based on the above processed signals and analysis, it was converted into heatmap image. Through this, it was possible to identify the damage on the steel plate at glance by imaging magnetic flux leakage signal.

**Keywords:** Magnetic flux leakage, Steel plate, Non-destructive evaluation, Damage diagnosis, P-P value, Visualization

## 1. 서 론

1970년부터 이어져온 산업성장에 더불어 발전한 건설기술과 함께 준공된 강구조물은 상당 부분의 노후화로 인하여 부식, 균열, 박리와 같은 다양한 손상이 진행되어 일부 교체가 진행되고 있다. 특히 강구조물의 특성상 규모가 크기 때문에 손상을 감지하는데 어려움이 있다(Jung and Cha, 2008). 따라서 적절한 시기에 손상을 감지하지 못하면 강구조물 전체적으로 손상이 확장되어 구조물의 안전성을 저하시키며, 유지관리 및 보수·보강 비용으로 인한 경제적 손실증가 뿐만 아니라 대형사고로 이어져 다수의 인명피해를 야기할 수 있다. 따라서 균열을 조기에 감지하여 구조물 유지관리 비용을 줄이는 동시에 예측 불가능한 사고로부터 사용자의 안전을 확보하는 기술이 요구된다(Hwang and Lignos, 2018).

현재 강구조물의 손상 탐지는 점검자의 직접적인 육안검사

에 대부분 의존하고, 정밀 검사가 필요한 곳에는 UT(Ultrasonic Testing: 초음파 검사), RT(Radiography Testing: 방사선 투과 검사) 등과 같은 비파괴검사를 실시한다(Kim, 2006). 하지만 현재 국내에서 시행되고 있는 비파괴검사기술을 강교량과 같은 거대한 피검사체에 적용하기에는 많은 어려움이 있다. 실제 현장에서 검사자의 육안으로는 강구조물 전체의 미세한 균열을 확인하기 어렵고, 현재 시행하고 있는 비파괴검사기술 장비로는 강구조물의 전체적인 검사에 많은 시간이 소요되어, 구조물의 일부분만 검사를 진행하고 있다. 이러한 검사 기법으로는 거대한 피검사체에 전체적인 정밀점검 하는 것에 효율적이지 않아 구조물의 안정성과 수명을 판단하기가 힘들다.

이러한 문제점을 보완하고 구조물의 안전성을 정확하게 판단하기 위하여, 다양한 비파괴검사 기술들이 연구되고 있다. 국내에서는 강구조물의 균열발생 및 진전 모니터링을 위해 전도성 시험편에 초미세 전류를 공급하여 발생하는 전위차를 분석하여 균열을 탐지하는 연구가 진행되었고(Lee et al., 2011), 해외의 경우, 구조물의 진동변화를 통해 손상을 감지하는 연구가 진행되었다(Solis et al. 2013).

본 연구에서는 강구조물의 손상을 쉽게 검사가 가능한 누설자속(MFL: Magnetic flux leakage) 기반 비파괴검사 기법을 적용하였다. 누설자속 기반 비파괴검사에 사용되는 장비는 피검사체의 모양에 따라 형태를 유연하게 바꿀 수 있고, 크기의 변화 또한 가능하여 다양한 강구조물 검사에 적합하다.

<sup>1</sup>학생회원, 성균관대학교 건설환경시스템공학과 석사과정

<sup>2</sup>정회원, 성균관대학교 건설환경공학부 연구교수

<sup>3</sup>정회원, 성균관대학교 미래도시융합공학과 박사과정

<sup>4</sup>학생회원, 성균관대학교 미래도시융합공학과 석사과정

<sup>5</sup>정회원, 성균관대학교 건설환경공학부 부교수

\*Corresponding author: shparkpc@gmail.com

School of Civil & Architecture Engineering and Landscape Architecture, Sungkyunkwan University, Suwon, 16419, Korea

•본 논문에 대한 토의를 2020년 1월 31일까지 학회로 보내주시면 2020년 2월 호에 토론결과를 게재하겠습니다.

또한 비접촉식 광역 스캔방식으로 신속한 진단이 가능하며, 연속체 형태의 배관, 철도 레일, 와이어로프 등 강구조물의 비파괴검사에 널리 사용되고 있다(Kang et al., 2018; Kim and Park, 2017; Deng et al., 2017). 본 연구에서는 강판 시편을 대상으로 여러 가지 인위적인 손상을 주어 누설자속 기반 비파괴검사법의 손상 진단 가능성을 실험적 연구를 통해 확인하고 이를 바탕으로 신호의 이미지화 기법에 대한 연구를 진행했다.

## 2. 본 론

### 2.1 누설자속 기반 강판 손상 진단의 이론적 배경

#### 2.1.1 누설자속 기반 손상 진단 원리

본 연구에서는 강판의 손상을 진단하기 위하여 누설자속 기반 비파괴검사 기법을 적용하였다. 누설자속기법은 자화된 강자성체의 손상을 진단할 때 높은 탐지 능력을 가진다. 강판과 같은 강자성체 시편에 영구자석을 접촉시켜 자화시키는 극간법을 이용하여 시편을 자화시키면, 해당 시편은 자석과 유사한 특성을 가진다. 이 시편의 표면이나 내부에 균열이 생기면 균열 사이의 빈 공간을 통해 누설되는 자속이 생긴다(Lim, 2003). 누설되는 자속의 측정을 위한 자기센서로 홀센서(Hall Sensor)가 사용되었으며, Fig.1과 같다.

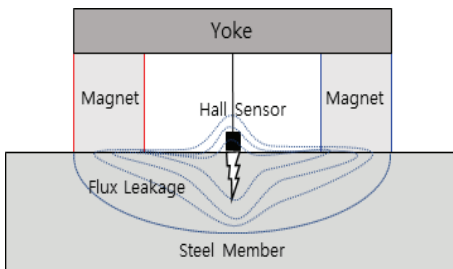


Fig. 1 Generation of magnetic flux leakage on steel member

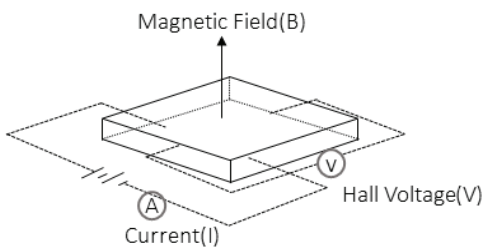


Fig. 2 Principle of hall effect

#### 2.1.2 누설자속 신호 측정 센서 원리

홀센서는 자화된 시편에 전류를 직각방향으로 흘릴시, 자기장과 전류의 수직방향으로 전위차가 생긴다. 이 현상을 홀효과(Hall effect)라고 하는데, 이를 활용하여 강판 시편을 진단할 때에는 일정한 전류(I)를 흘리면, 자화된 시편에 자기장(B)이 생긴다. 발생하는 자기장의 크기에 비례하여 전류와 자기장의 수직 방향에 로렌츠 힘에 의해 홀 전압(V)이 생긴다. 이를 계측하기 위해 홀센서를 해당 영역에 위치하고 홀 전압을 계측하여 강판의 손상을 감지하며, Fig.2와 같다.(Ramsden, 2006).

#### 2.1.3 누설자속 신호 검출을 위한 시편 자화 원리

강자성체의 자화는 Fig. 3과 같이 자화곡선을 따라 변화한다. 자성을 띠지 않은 상태의 강자성체에 외부 자기장을 가하게 되면, 그림과 같이 자기장의 세기가 일정 수준에 이르면 자화가 급격히 진행되고(0→a), 외부 자기장에 따라 증가하다가 일정한 값을 넘어설 경우 더 이상 자속밀도가 증가하지 않고 유지된다. 이를 a와 같이 포화(Saturation)상태라 한다.

$$B = \mu H \quad (1)$$

여기서 H는 자기장의 세기, B는 자속밀도,  $\mu$ 는 자기 투자율(Permeability)을 나타낸다. 일반적으로 자기 투자율은 식(1)

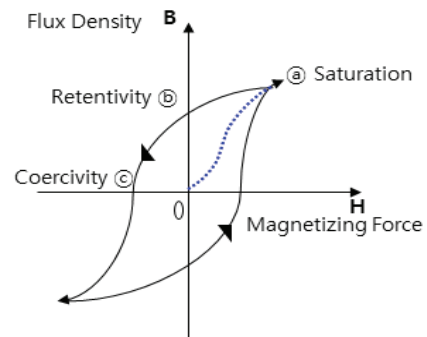


Fig. 3 Magnetic hysteresis curve for ferromagnetic material

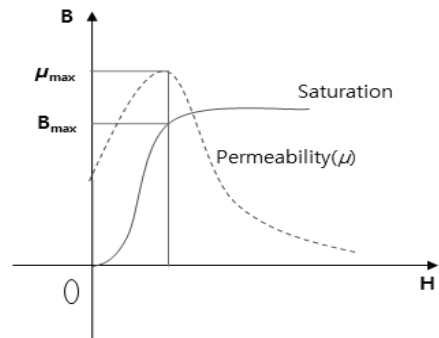


Fig. 4 Magnetic permeability hysteresis curve

과 같이 자기장의 세기에 비례하고, 자속밀도에 반비례해서 증가하지만, 최대 투자율( $\mu_{max}$ ) 이후엔 감소하는 형태를 보이며 Fig.4와 같다(Kim et al. 2013).

만약 자화강도가 최대 투자율보다 낮을 경우, 자화의 정도가 약하여 자속이 발생하여도 자기장의 세기가 약해 센서로 자속을 감지하기가 힘들어진다. 또한 자화의 정도가 포화될 경우 강자성체에서 생성되는 자기장의 세기가 강하여 누설되는 자속의 양이 최대 투자율에서 보다 커지게 된다. 이는 강자성체의 손상을 탐지할 때, 손상부에서 누설되는 자속보다 커질 우려가 있다(Boat et al., 2014; Park and Park, 2002).

자화 정도가 최대가 될 때 누설자속 기법은 다른 비파괴검사 기법에 비해 우월한 탐상능력을 가진다(Shin, 1995). 따라서 본 연구에서는 자화 정도를 최대 투자율로 선택하여 검사를 진행하였다.

## 2.2 누설자속 신호의 이미지화를 위한 신호처리 기법

센서로부터 감지되는 자속신호는 자화의 정도, 장비, 주변 환경과 같은 요인으로 인한 여러 가지 노이즈가 발생한다. 이러한 노이즈를 제거하기 위하여 적당한 신호처리를 하지만, 신호처리를 함으로써 원신호가 왜곡될 가능성이 있다. 특히 처리된 신호의 노이즈가 손상부에서 일어난 신호보다 커져 손상으로 오인식 될 경우 큰 문제가 될 소지가 있다. 따라서 노이즈를 최소화 하는 동시에 신호 처리 과정중 원신호를 왜곡하지 않는 적절한 신호처리 과정이 필요하다.

본 연구에서는 자속신호에 Butterworth 필터의 Low pass filtering을 적용하여 신호의 해상도를 높이고 노이즈를 제거하였다. Low pass filtering은 High-frequency block 의 신호를 걸러주어 고주파 신호의 노이즈를 제거해준다(Kim et al., 2017). 본 연구에서는 100Hz이상의 신호 필터링을 통해 고주파와 노이즈를 제거하여 신호의 정확성을 높였고, 위의 신호 처리 과정은 Fig.5에 나타내었다.

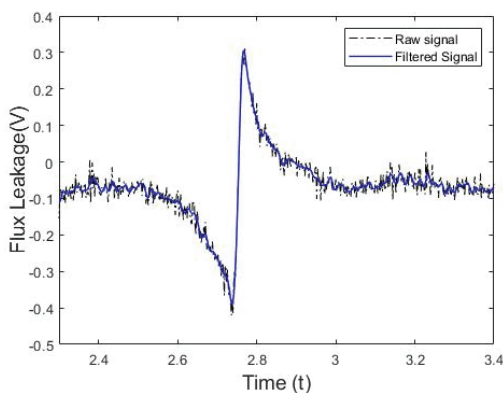


Fig. 5 Low pass filtering for noise reduction

Low pass filtering를 통해 누설자속 신호의 노이즈 영향을 최소화한 뒤, 누설자속 신호의 가시성을 높이기 위하여 Hilbert transform을 활용하여 강판의 손상 이미지화에 활용하였다. Hilbert transform은 음의 Amplitude를 양의 대역대로 Shifting 시킨 후 신호의 포락(Enveloping)을 시킨다(Gu et al., 2012). 이를 통하여 신호의 위상변화를 줄임으로써 Peak들을 한쪽으로 집중시켜, 손상부의 신호를 보다 직관적으로 나타내었다.

위의 신호처리 과정을 통해 가공된 신호를 3D plotting하여 Heatmap 이미지로 변환하였다. Heatmap 이미지로 변환 시 색의 밝기에 따라 손상의 유무 판단이 가능하여 원신호로 확인하는 것보다 빠르고 직관적이다. 또한 센서 채널 사이의 빈 부분을 보간(interpolation)하여 손상부 이미지의 해상도를 높였다.

## 2.3 강판 손상 진단 실험 계획 및 구성

### 2.3.1 강판 진단용 누설자속 센서헤드

누설자속 기반 강판 손상 진단 비파괴검사를 진행하기 위해 홀센서를 고정시켜 계측해주는 홀센서 보드와 네오디움 영구자석을 이용한 Yoke로 구성된 센서헤드를 Fig.6과 같이 제작하였다. 신호의 Lift-off를 줄이고자 PLA 소재의 보드에 10개의 홀센서를 10mm 간격으로 배치하여 센서헤드의 하단 중심에 위치시켰다. Yoke의 진행방향에 영구자석을 활용하여 N극과 S극을 위치시켜 센서헤드 내에서 자로를 생성하여

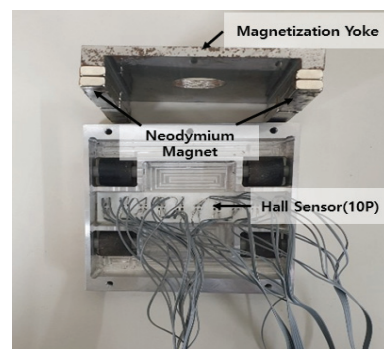


Fig. 6 MFL sensor head

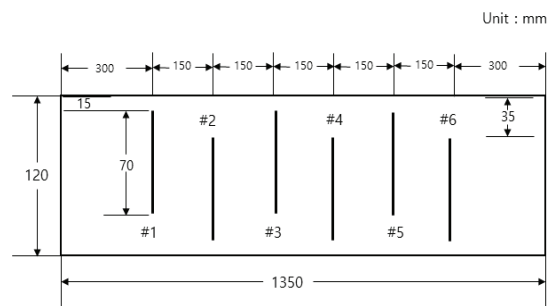


Fig. 7 Damage condition on specimen

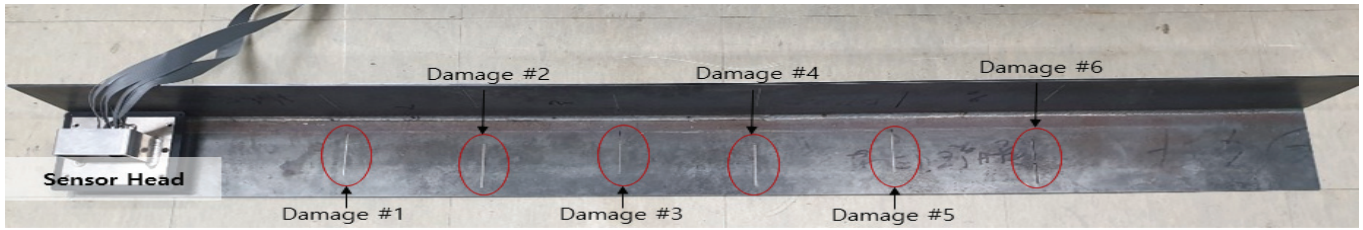


Fig.8 Steel plate specimen(Top view)

시편을 자화시키도록 설계하였다.

### 2.3.2 강판 손상 진단을 위한 실험 셋업

본 연구의 실험을 위해서 누설자속 기반 강판 손상 신호의 손상 깊이에 따른 신호 변화를 확인하기 위하여 Fig. 7과 같이 1350mm 길이에 130mm 너비, 3mm 두께의 강판과 같은 길이와 너비에 5mm 두께의 강판 시편의 한쪽 면에 300mm부터 시작하여 150mm 간격으로 길이 70mm, 너비 1mm의 6가지 깊이를 가지는 손상을 주었다. 손상의 깊이는 Table.1에서 나타난 순서대로 손상의 깊이를 가공하여 손상 깊이 변화에 따른 신호를 확인하고, 이미지를 통하여 손상 깊이에 따른 신호의 변화를 확인하였다. 또한 손상 #1, #3, #5은 시편 중심으로부터 왼쪽에 가하고, 손상 #2, #4, #6은 시편 중심으로부터 오른쪽에 가하여 손상의 위치별로 신호를 분석하였다. 이를 바탕으로 누설자속 신호를 이미지로 변환했을 시 손상의 위치 구분이 가능한지 확인하였다.

Table 1 Depth of damage on specimen

Damage (#)	#1	#2	#3	#4	#5	#6
Depth (mm)	0.5	1	1.5	2	2.5	3

신호의 계측을 위하여 터미널 보드를 연결하고 DAQ 이에 연동된 UI를 사용하였다. 강판시편을 고정시킨 후 센서헤드를 이동시켜 500Hz의 Sampling rate로 신호를 측정하였다.

## 2.4 강판 손상 진단 실험 결과

### 2.4.1 손상부 진단 결과

각 손상별로 지나가는 채널은 Fig.9에 나타내었다. 각 손상 부별로 지나가는 채널과 지나가지 않는 채널을 구분하여 신호를 확인하였다. 모든 손상을 지나가지 않는 채널 1번, 손상 #2, #4, #6을 지나가지 않는 채널 2, 3번, 손상 #1, #3, #5를 지나가지 않는 채널 8, 9, 10번과 모든 손상을 지나가는 채널 4, 5, 6, 7번을 두어 계측되는 신호를 비교분석 하였다.

Fig. 10에서는 모든 손상을 지나가는 채널 4, 5, 6, 7번의 신

호를 나타내었다. 해당 채널의 자속 신호를 보면 총 6개의 누설되는 자속을 검출됨을 확인할 수 있다. 이는 각각 Fig. 8에서 보인 손상에서 발생한 누설자속 신호를 나타내며, 손상 #1에서는 손상의 깊이가 얇아 누설되는 자속이 약하게 발생하지만 이후 손상의 깊이가 깊어질수록 누설자속 신호가 점차 증가하는 것을 확인할 수 있다.

또한 정량적인 신호의 분석을 위해 Peak to Peak value(P-P value)를 이용하여 각 손상으로부터 수집된 신호를 정량화하기 위하여 4개 채널의 P-P value 평균을 Fig.10에 나타내었다. 그 결과 손상의 깊이가 깊어질수록 P-P value 평균이 단계적으로 증가하는 것을 확인할 수 있다.

누설자속을 이용한 손상 감지에 있어 손상부에서 발생하는 누설자속량에 따른 손상 주변부의 신호 변화를 확인하기 위해 손상을 직접 지나가지 않는 1번 채널과 모든 손상을 지나가는 5번 채널을 Fig. 11에서 비교하였다.

1번 채널과 5번 채널에서의 Peak 값은 현저히 차이 나는 것을

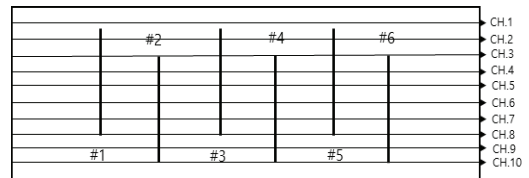


Fig. 9 Passing route of sensing channels

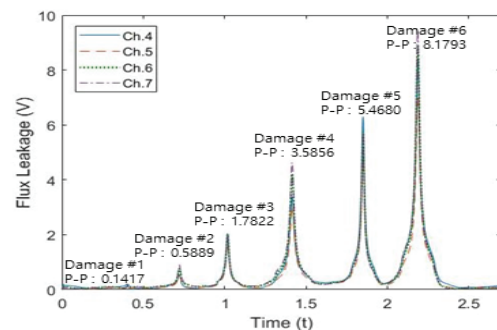


Fig. 10 MFL signal and P-P average value on channel passing through all damage

확인할 수 있다. 이를 정량적으로 분석하기 위하여 Table 2에서 P-P value를 값으로 비교하였다. 1번 채널의 P-P value 값이 전반적으로 1V 이하로 측정이 되었고 Peak의 변화폭이 작았다. 하지만 5번 채널에서는 깊이에 따른 P-P value 값의 변화폭이 큰 것으로 확인되며 이는 Table 2에서 확인이 가능하다.

반면에 손상 #5와 손상 #6에서는 1번 채널에서 누설되는 자속을 확인할 수 있는데, 이는 손상의 깊이가 깊을수록 누설되는 자속 양이 많아 생기는 Blooming 현상으로 보인다. 이에 의해 손상 주변부의 채널에서도 신호가 감지되는 것으로 추정된다.

손상 #2, #4, #6을 지나가지 않는 채널 2, 3번을 Fig. 12에 나타내고, 손상 #1, #3, #5를 지나가지 않는 채널 8, 9, 10번을 Fig. 13에 나타내었다. 채널 2, 3번을 확인하면 손상 #2에서 누

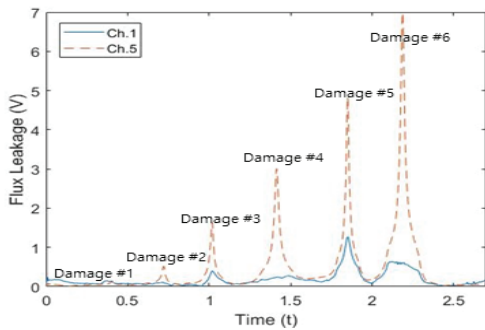


Fig. 11 Comparing MFL signal on channel passing through all damage and no damage passing channel

Table 2 Peak to Peak Value on Channel 1, 5

Damage (#)	#1	#2	#3	#4	#5	#6
Ch. 1 (V)	0.0865	0.0902	0.3759	0.1658	1.1862	0.5033
Ch. 5 (V)	0.1056	0.4419	1.5313	2.8564	4.6737	6.7511

설되는 자속이 없음을 확인할 수 있으나, 손상 #4와 손상 #6에 선 누설되는 자속이 있음을 확인할 수 있다. 이 역시 Blooming 현상에 의해 손상 주변부에서도 신호가 감지되는 것으로 추정할 수 있다. 채널 8, 9, 10에서도 마찬가지로 손상 #1에서는 누설되는 자속을 미약하게 확인이 가능하고, 손상 #3, 손상 #5에서는 누설되는 자속을 확인할 수 있다.

이를 정량적으로 분석하기 위하여 P-P value 평균값을 확인해 보았다. P-P value를 비교하였을 때에도 손상의 깊이가 깊어질수록 P-P value가 점점 증가하는 것을 확인할 수 있으며 이는 Fig. 12와 Fig. 13에서 확인할 수 있다.

이를 바탕으로 5mm plate에서 동일한 센서헤드로 동일한 실험을 진행하였을 때, 강판 시편에서 발생한 누설자속 신호 또한 3mm plate에서 진행한 실험 결과와 동일한 결과를 얻을 수 있었다. 다만 5mm plate에서 발생한 누설자속량이 전체적으로 3mm plate 보다 낮은 것을 확인할 수 있었다. 이를 정량적으로 분석하기 위하여 모든 손상을 지나가는 채널을 바탕으로 3mm plate에서 발생한 신호와 5mm plate에서 발생한 신호의 P-P value 평균값을 Fig. 14에서 비교해보았다.

이를 통해 3mm plate 보다 5mm plate의 P-P value 평균이 전체적으로 낮은 것을 확인할 수 있다. 이는 일정한 자화강도를 가지는 센서를 사용하였을 때, 강판의 두께가 두꺼워질수록

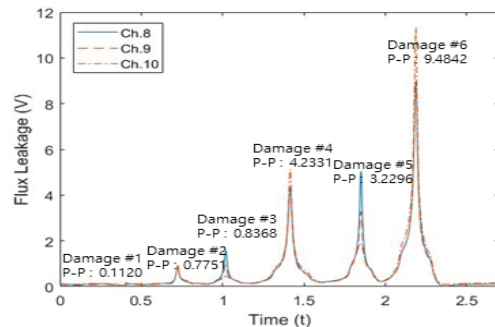


Fig. 13 MFL signal and P-P average value on channel passing through damage #2, 4, 6

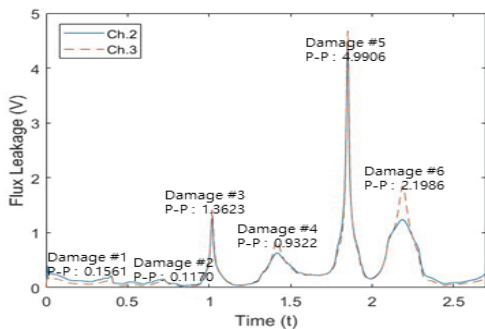


Fig. 12 MFL signal and P-P average value on channel passing through damage #1, 3, 5

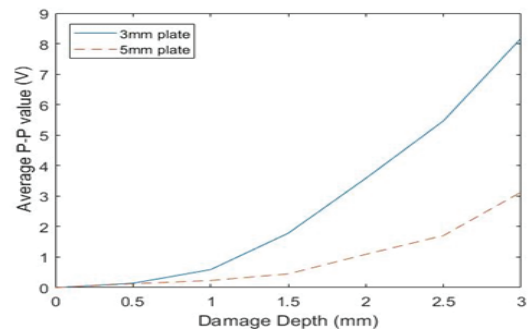


Fig. 14 Average P-P value on channel passing through all damage to compare 3mm plate and 5mm plate signal

록 시편을 충분히 자화시키지 못하여 누설되는 자속 량이 낮은 것으로 추정된다.

### 2.4.2 강판 손상 누설자속 신호 이미지화

신호처리 과정을 통해 가공된 신호를 이용하여 Heatmap 이미지로 나타내었다. 신호를 가시화 시켰을 경우 손상을 지나가는 채널과 지나가지 않는 채널에서 수집된 신호가 다름을 확인할 수 있었다. 다만 0.5mm 손상의 신호는 누설되는 자속 량이 적어 신호를 가시화 시켰을 때 손상 확인이 어려웠지만, 손상의 단계가 증가할수록 누설되는 자속 량이 많아져 Fig. 15와 같이 손상의 위치를 확인할 수 있었다.

앞 절에서 손상의 채널별로 지나가는 손상부를 다르게 하여 시편을 제작하였는데, 이를 이미지로 변환하였을 때 손상부의 위치가 실제 시편과 유사함을 확인할 수 있었다. 또한 손상을 지나가는 채널에서 색의 변화가 더 짙어져 구분이 가능하였다. 다만 손상의 깊이가 깊어질수록 누설되는 자속이 증가해 손상을 지나가지 않는 채널에서도 색의 변화를 확인할

수 있었다.

이와 같이 누설자속 신호를 이미지화 시켰을 경우, 손상의 위치를 한눈에 알아볼 수 있었다. Fig. 15의 결과와 같이 누설자속 신호의 해상도를 적절히 조절하면 손상의 위치를 특정하여 강구조물의 유지 관리를 위해 이 결과를 이용할 수 있다. 결국 손상의 보수·보강에 재빠른 대처가 가능하여 효율적인 관리가 이루어 질 수 있을 것으로 기대된다.

## 3. 결 론

본 연구에서는 강판 손상의 누설자속 신호를 이미지로 변환하는 연구를 실시하였다. 실험적 연구를 위하여 홀센서와 네오디움 자석을 이용한 센서헤드를 제작하고, 강판시편에 깊이 0.5mm씩 단계적으로 증가하는 인위적인 손상을 주어 신호를 수집하였다. 수집된 신호를 가공하여 신호 변화를 분석하고 가시화 시켰다.

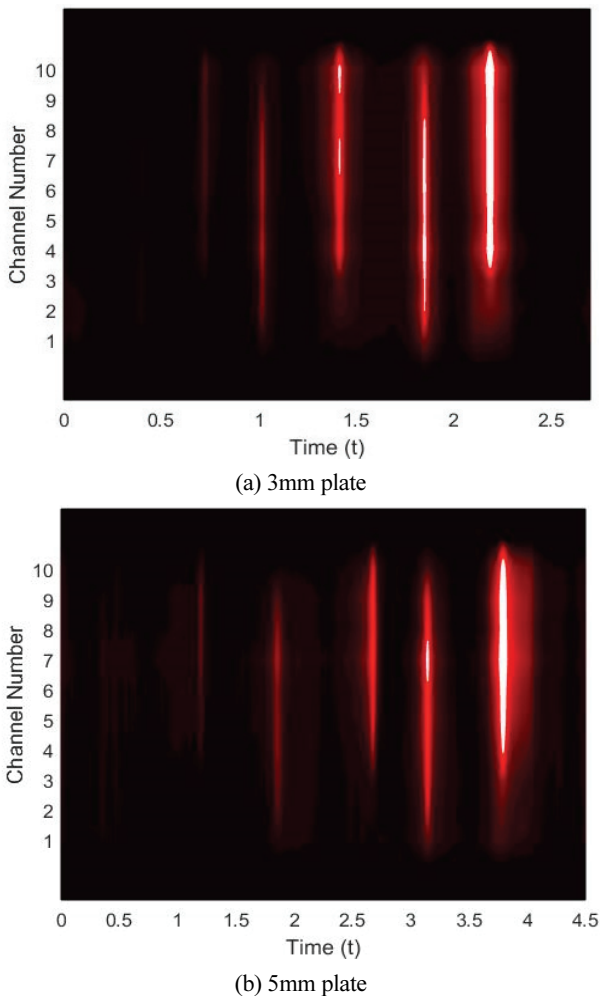


Fig. 15 Visualization result of MFL signals

- (1) 시편으로부터 수집된 자속신호를 바탕으로 실제 손상부에서 누설되는 자속 신호가 발생함을 확인하였고, 이를 통하여 누설자속 기반의 비파괴검사를 통한 강판의 손상 검출이 가능함을 확인하였다.
- (2) 원신호에 Low pass filtering을 통해 노이즈를 제거하여 손상부의 Peak들을 찾아 낼 수 있었고, Hilbert transform을 적용하여 신호들을 양의 대역대로 Shifting시켜 신호의 해상도를 높였다.
- (3) 수집된 신호를 분석하기 위하여 각 손상이 지나가는 채널별로 P-P value를 통해 신호의 크기를 정량화 하였다. 손상의 깊이가 깊어질수록 P-P value 평균값이 증가함을 확인할 수 있었고, 이를 통해 손상의 깊이가 깊어짐에 따라 누설자속 신호가 증가함을 확인할 수 있었다.
- (4) 가공된 신호를 heatmap 이미지로 변환하였을 경우, 손상이 있는 부분과 없는 부분을 색의 변화를 통해 손상부를 특정할 수 있었다. 또한 손상의 단계가 증가할수록 음영의 변화가 커져 손상부의 크기를 확인할 수 있었다.

위와 같이 본 연구에서는 최종적으로 누설자속 신호 기반 강판 손상의 이미지화를 제안하였다. 다만 손상 깊이에 따른 민감도 차이가 존재하여, 추가적인 연구를 통해 손상 이미지의 해상도를 향상시키기 위한 연구가 필요할 것으로 판단되며, 이는 향후 실제 누설자속 신호의 이미지를 바탕으로 강판 손상 검출 연구에 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

## 감사의 글

본 연구는 국토교통부 국토교통기술촉진연구사업 연구비 지원(17CTAP-C130209-01)에 의해 수행되었습니다.

## References

1. Deng Z. Y., Sun Y. H., Kang Y. H., Song K and Wang R. B (2017), A Permeability-Measuring Magnetic Flux Leakage Method for Inner Surface Crack in Thick-Walled Steel Pipe, *Journal of Nondestructive Evaluation*, 36(4).
2. Gu D. S., Lee J. M., Lee J. H., Ha J. M and Choi B. G (2012). Comparison of Hilbert and Hilbert-Huang Transform for The Early Fault Detection by using Acoustic Emission Signal, *Journal of the Korean Society of Marine Engineering*, 36(2), 258-266.
3. Hwang S. H. and Lignos D. G (2018), Assessment of structural damage detection methods for steel structures using full-scale experimental data and nonlinear analysis, *Bull Earthquake Engineering*, 16, 2971-2999.
4. Jung K. H. and Cha C. J (2008), Examples of Collapse & Damage of Steel Bridges and Repair Measures, *International Journal of Steel Structures*, KSSC, 20(1), 14-25.
5. Kang D., Oh J. T., Kim J. W and Park S (2015), Study on MFL Technology for Defect Detection of Railroad Track Under Speed-up Condition, *Journal of Korean Society of Rail-way*, 18(5), 401-409.
6. Kim B. H., Joh C. B. and Lee D. H (2013), A Feasibility Study for Estimating Prestressed Stress on a Steel Wire Using Permeability of Magnetic Flux, *Journal of Earthquake Engineering*, 17(5), 219-225.
7. Kim D. H., Jung H. Y. and Kim J. W (2006), An Evaluation of Life for Corrosion and Damage of Steel Bridges, *Journal of the Institute of Industrial Technology*, 14, 103-109.
8. Kim H. M. and Park G. S (2013), A Study on Determining the Shape of Small Axial Cracks by using Magnetic Flux Leakage in NDT System for Underground Pipe, *Journal of the Korean Magnetics Society*, 23(1), 18-25.
9. Kim J. W., Park M. S., Kim J. K and Park S. H (2018), Improvement of MFL sensing-based damage detection and quantification for steel bar NDE, *Smart Structures and Systems*, 22(2), 239-247.
10. Kim J. W and Park S. H (2018), MFL sensing and ANN pattern recognition based automated damage detection and quantification for wire rope NDE, *Journal of Sensors*, 18(1), 1-19.
11. Kim J. W., Tola K. D., Tran D. Q and Park S. H (2019), MFL-Based Local Damage Diagnosis and SVM-Based Damage Type Classification for Wire Rope NDE, *Materials*, 12(18).
12. Kim J. W and Park S. H (2017), Magnetic flux leakage-based local damage detection and quantification for steel wire rope non-destructive evaluation, *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*, 29, 3396-3410.
13. Kim J. W., Yu B. J., Kim Y. S., Park C. and Park S. H (2017), Enveloped Magnetic Flux Leakage Based Local Damages Detection and Quantification Method, *Journal of the Korean Society for Nondestructive Testing*, 37(6), 426-434.
14. Kim J. W., Kim J. K and Park S. H (2019), Cross-Sectional Loss Quantification for Main Cable NDE Based on the B-H Loop Measurement Using a Total Flux Sensor, *Journal of Sensors*, 2019, 1-10.
15. Kim J. W., Yu B. J., Park S. H. and Park S. H (2018), Analysis of Magnetic Flux Leakage based Local Damage Detection Sensitivity According to Thickness of Steel Plate, *Journal of Korean Society of Disaster & Security*, 11(2), 53-60.
16. Kim J. W., Lee C. G., Lee J.J and Park S. H (2014), Magnetic Flux Leakage Sensing-Based Steel Cable NDE Technique, *Shock and Vibration*, 2014, 1-8.
17. Kim J. K., Kim J. W., Lee C. G and Park S. H (2017), Development of Embedded EM Sensors for Estimating Tensile Forces of PSC Girder Bridges, *Journal of Sensors*, 17(1), 1-11.
18. Kim J. K., Kim J. W and Park S. H (2019), Investigation of Applicability of Embedded EM Sensor to Measure the Tension of PSC Girder, *Journal of Sensors*, 2019(6), 1-12.
19. Lee J. S., Chang K. H., Hwang J. H., Park H. C., Jeon J. T. and Kim Y. C (2011), Study on Crack Monitoring System in Steel Structure, *International Journal of Steel Structures*, KSSC, 23(2), 159-167.
20. Lim, Z. S (2003), Nondestructive Testing for Welding Inspection Using Magnetic Method, *Journal of KWS*, 21(4), 389-394.
21. Park. S. Y., Ryu K. S., Kim Y. I., Lee W. K., Lim J. K., and Nam Y. H (2008), Nondestructive Testing of Welding Flaw at Gas Pipeline by Measuring Magnetic Flux Leakage, *Journal of the Korean institute of gas*, 12(2), 53-56.
22. Park. S. H., Kim J. W and Lee C. G (2014), Magnetic Flux Leakage Sensing-based Steel Cable NDE Technique Incorporated on a Cable Climbling Robot for Bridge Structures, *Advances in Science and Technology*, 83, 217-222.
23. Shin, Y. K (1995). Numerical Prediction of Operating Conditions for Magnetic Flux Leakage Inspection of Moving Steel Sheets. *Proc. of the Korean Society for Nondestructive Testing*, 52-56.
24. Shi Y., Zhang C., Li R., Cai M. and Jia G. (2015), Theory and Application of Magnetic Flux Leakage Pipeline Detection, *Journal of Sensors*, 15, 31036-31055.

Received : 11/07/2019

Revised : 11/26/2019

Accepted : 12/04/2019

---

**요 지:** 본 연구에서는 강판 손상 진단을 위하여 누설자속 기법을 적용하고, 신호 기반으로 신호의 이미지화 기법에 대해 연구를 실시하였다. 누설자속 신호의 이미지화를 위해 다른 두께를 가지는 강판시편을 준비하였고, 각 시편에 똑같은 위치에 6가지 깊이의 손상을 인공적으로 가공하였다. 홀센서와 Yoke를 이용한 센서헤드를 제작하여 강판시편을 자화시킴과 동시에 누설자속 신호를 계측하였다. 센서로부터 수집된 자속신호의 노이즈 제거 및 이미지 해상도를 높이기 위하여 여러 신호처리 과정을 거쳤으며, 각 손상부로부터 계측된 누설자속 신호의 분석을 위해 각 채널별로 P-P value를 분석하였다. 위의 신호처리 및 분석을 바탕으로 누설자속 신호를 이미지로 변환시켰다. 이를 통해 누설자속 신호 기반 강판 손상의 이미지화로 손상을 한눈에 파악하는 것이 가능하였다.

**핵심용어 :** 누설자속, 강판, 비파괴검사, 손상 진단, P-P value, Visualization

---