

# 구조물 결함 형상 및 재질에 따른 Magnetostrictive Sensor 의 특성분석 Characteristic Analysis of Magnetostrictive Sensor about Types of Shape and Material on Structure Defect

\*서주환<sup>1</sup>, #김일수<sup>2</sup>, 심지연<sup>3</sup>, 장경천<sup>4</sup>, 이동길<sup>5</sup>, 전광석<sup>6</sup>

\*J. H. Seo<sup>1</sup>, #I. S. Kim(ilsookim@mokpo.ac.kr)<sup>2</sup>, J. Y. Shim<sup>3</sup>(aksurhdwn@hanmail.net), K. C. Jang<sup>4</sup>(kcjang@kitech.re.kr), D. G. Lee<sup>5</sup>(opentest@kitech.re.kr), K. S. Chun<sup>6</sup>(kschon@kopo.ac.kr)

<sup>1</sup> 목포대학교 기계공학과, <sup>2</sup> 목포대학교 기계공학과, <sup>3</sup> 목포대학교 기계공학과, <sup>4</sup> 한국생산기술연구원, <sup>5</sup> 한국생산기술연구원, <sup>6</sup> 한국폴리텍IV대전대학

Key words : Magnetostrictive Sensor, welding defect, welding quality, signal process, nondestructive inspection

## 1. 서론

산업발달과 더불어 용접이 차지하고 있는 비중은 점점 증가하고 있으며, 기계가공, 조립, 제작 등의 모든 공정에서 용접은 핵심적인 공정으로 자리하고 있다. 용접을 사용한 구조물은 이음의 형상이 자유롭고 그 구조가 간단하며, 이음이 두께에도 제한이 없는 장점이 있다. 그러나 공정의 특징상 외부 조건의 변화에 따라 용접 품질이 변하는 단점이 있다. 이와 같은 변화는 용접 구조물의 필요한 접합 성능과 용접 구조물의 사용 성능을 만족시켜 주지 못하고, 용접 이음 파괴의 원인이 될 수 있다. 용접품질을 저해하는 균열(crack), 슬래그 혼입(slag inclusion), 기공(porosity) 등의 결함은 부품의 수명을 급속히 단축시키는 요인으로 작용할 수 있다. 따라서 용접부에 존재하는 결함을 검출하고 그 영향을 정량적으로 평가하는 것이 설비나 부품의 기계적 성능 보장을 위해 필수적인 단계로 인식되고 있다. 이러한 용접품질 평가를 위하여 외부인자를 이용한 간접적검사, 파괴검사 그리고 비파괴검사 등의 다양한 방법이 이용되고 있다. 간접적검사는 용접공정 중 측정되는 인자를 이용하여 용접품질을 모니터링하는 방법이다. 카메라를 사용하여 비드의 폭을 측정하거나 적외선 센서를 사용하여 용접부의 표면온도, 냉각률, 방사에너지 등을 측정하여 용접품질을 예측하는 방법이다. 하지만, 이러한 간접적 측정은 용접품질을 직접적으로 측정할 수 없기 때문에 신뢰성 확보에는 한계가 있다. 파괴검사는 가장 확실한 용접품질 평가 방법이지만, 용접품질 검사를 위하여 제품을 파괴해야만 하는 단점을 갖고 있다. 결국 산업현장에서 실제 용접품질을 평가하기 위해서는 많은 문제가 있어 샘플링 검사에 한하여 제한적으로 사용되고 있다. 특히, 산업체에서 해외에 수출을 하거나 해외공사를 수주하기 위해서는 용접구조물에 손상을 가하지 않으면서 직접적으로 용접품질을 측정할 수 있는 비파괴검사법이 요구되고 있다. 최근 들어 LGP선, 원자력 설비, 항공기 등과 같은 고품질의 용접이 요구되는 용접구조물이 증가하면서 용접부의 품질을 확보할 수 있는 기술에 대해 산업계에서 많은 관심을 갖고 있다. 이를 위하여 카메라를 사용하여 비드의 폭을 측정하거나, 적외선 센서를 사용하여 용접부의 표면온도, 냉각률 그리고 방사에너지 등을 측정하여 품질을 예측하는 연구가 많이 수행되고 있으나 이러한 간접적인 측정은 용접품질의 신뢰성을 확보하기에 한계가 있으며, 산업체에서 해외에 수출을 하거나 해외공사를 수주하기 위해서는 용접구조물에 손상을 가하지 않으면서 직접적으로 용접품질을 측정할 수 있는 비파괴검사법이 필요하다. 하지만, 현재의 비파괴검사법은 모재의 표면에 접촉매질과 함께 탐촉자를 밀착시켜야 하므로 용접이 완료되고 제품이 완전히 냉각된 후에 검사할 수밖에 없으며 측정대상이 고온이거나 실시간(real-time) 측정에서는 거의 사용할 수 없어 많은 검사시간을 요구하며, 효율적인 면에서도 상당히 떨어지고 있다. 따라서 본 연구에서는 SS400의 인공결함에 대하여 magnetostrictive 센서를 이용하여 결함신호로부터 크기 및 위치를 검출 파악하고자 비접촉식 비파괴검사를 수행하였다.

## 2. Magnetostrictive 센서 제작

자왜현상은 일반적으로 주울(Joule)효과와 빌라리(Villari)효과를 동시에 일컫는 것으로 주울효과는 자성체 주변에 설치된 코일에 전류펄스를 흘려주면 코일의 주변에 발생하는 자기장의 변화에 의해 자성체의 물리적 변형(길이, 부피변화)이 유도되는 현상을 의미한다. 그리고 빌라리효과는 자성체에 탄성파(탄성응력파) 등에 의해 자성체 내부에 기계적 변형이 발생되면 이것이 자성체의 유도자기장의 변화를 일으키는 현상으로 자성체 주변에 코일을 설치하면 이 자기장의 변화를 전압의 변화로 측정할 수 있게 된다. 따라서 코일에서 발생하는 전압의 변화를 측정하면 탄성파의 정보를 계측할 수 있게 되는데, 이러한 원리에 의한 센서를 통상 magnetostrictive 센서라고 부른다.

Magnetostrictive 센서는 코일의 굵기를 어떻게 선정하느냐 또는 코일을 감는 방법에 따라 성능이 달라진다. 특히, 전기적 신호(고주파 펄스)를 역학적 신호(초음파)로 잘 변환시켜주고 또한 역학적 신호를 전기적 신호로 잘 변환시켜주기 위하여 전기저항과 민감도 등을 고려하여 적절한 굵기의 코일을 선정이 요구된다.

본 연구에서는 센서의 민감도를 높이기 위해 일반적인 연철에 비해 투자율이 우수한 페라이트 코어를 선정하였으며, 자왜 탐촉자의 펄스 간격과 형상은 펄스 자기장에 결합된 자왜선의 길이를 최소화하기 위한 방법으로 폭 14mm의 페라이트코어에 코일을 감아 사용하였다. 펄스주기를 최적화하기 위해 임피던스 값이 작은 Delrin R사의 코일(0.1mm 직경, #44구리선)을 사용하였으며 코어의 외경은 25mm 내경은 12mm로 하였으며, 코일의 권수비는 150 turn으로 총 130 layer로 제작하였다.

Magnetostrictive 센서의 덮개는 코어의 외경과 비교하여 약간 큰 상태에서 제작하여 기계적 고정 이 되도록 나사가공을 통해 덮개에 결합시켰다. Fig. 1은 개발된 magnetostrictive 센서를 나타낸다.



Fig. 1 결합된 Magnetostrictive 센서

## 3. 결함의 크기 및 위치에 따른 성능분석

본 연구에서는 기존의 접촉식 방법들이 가지고 있던 단점들을 극복하기 위하여 비접촉식으로 결함의 크기·위치를 측정할 수 있는 Magnetostrictive 센서의 성능평가를 위해 인공결함을 가진 시험편을 제작하였다. 시험편은 대형구조물에서 많이 사용

되고 있는 SS400을 사용하였으며, Fig. 2에서 보는 바와 같이 200×60×15mm 크기로 제작하였다. 실제 비파괴평가의 목적인 내부결함의 검출을 위해서 재료내부에 인공결함을 부여하기 위해 직경 2~10mm의 홀 가공을 수행하였다. 또한 홀간 중심간 거리를 20mm로 하였고, 표면으로부터의 거리(H)를 5~25mm 까지 5mm 간격으로 제작을 하였다.

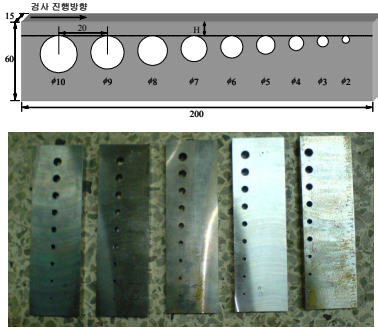
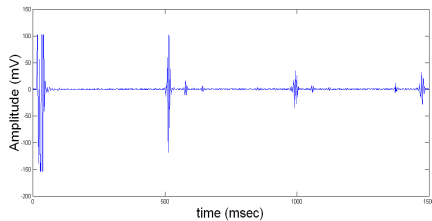
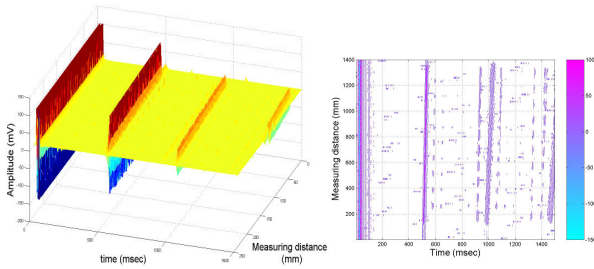


Fig. 2 제작된 결함 시험편

Fig. 3(a)은 결함 깊이가 10mm에서 magnetostrictive 센서로부터 입력된 전압값을 신호처리 프로그램에 의해 실시간으로 수신한 데이터를 나타낸다. 센서로 수신된 입력전압을 모니터링하여 Fig. 3(b)와 같이 측정시간에 따른 측정거리별 결함신호를 MATLAB을 이용하여 분석하였다. Fig. 3(b)에서 보이는 것처럼 센서로부터 인가된 신호, 시험편의 표면에서 반사된 신호, 결함부와 밑면의 신호를 구분하고 결함의 유무를 확인할 수 있었지만 결함부가 아닌 부분에서 산란으로 인한 다중반사 신호가 나타남을 알 수 있었다.



(a) 결함깊이 10mm에서 센서로부터 입력받은 신호 데이터



(b) 측정시간별 측정거리에 따른 시험편 결함 분석 신호  
Fig. 3 결함 깊이 10mm에서의 신호분석

#### 4. 재질에 따른 결함 분석

Magnetostrictive Sensor의 성능 평가를 위해 재질에 따른 결함특성을 분석하고자 하였다. 시험편의 재질은 기계구조용 탄소강(SS400), 알루미늄합금(Al 6061)의 2가지를 사용하였으며 Fig. 4에서 보는 바와 같이 200×30×15mm 크기로 제작하였다. 재료내부의 인공결함은 시험 폭방향 중심선을 기준으로 직경 2~10mm의 홀 가공을 하였으며 홀간 중심간 거리를 20mm로 제작하여 인공결함 신호 측정 및 필터링 과정을 거쳐 결함신호를 검출하였다.

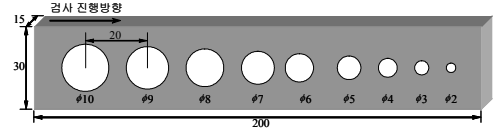
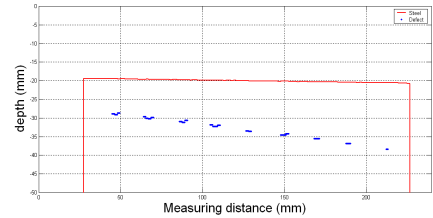
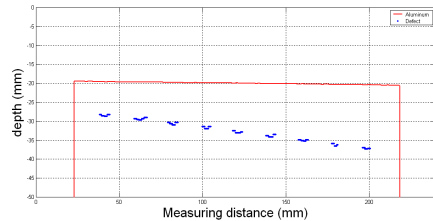


Fig. 4 재질에 따른 결함 분석을 위한 시험편 형상

Fig. 5는 기계구조용 탄소강(SS400), 알루미늄합금(Al 6061) 강의 인공결함 신호 측정 및 필터링 과정을 거쳐 검출된 결함의 위치 및 크기를 나타낸다. 센서로부터 30mm 정도 이격거리를 두고 시험편의 표면에서 반사된 신호를 실선으로 표시하였고 시험편 윗면을 기준으로 바닥면으로 10~8mm 범위에서 결함이 검출되는 것을 확인할 수 있었다. 또한, 인공결함의 크기는 대체적으로 신호의 크기와 비례함을 확인할 수 있었으나 Al의 경우 결함의 크기가 약간 크게 나타남을 확인할 수 있었다. 이는 센서로부터 인가된 초음파신호가 재질에 대한 특성치(음파속도, 음파장)에 따라 변화함을 의미하며 이에 대한 추가적인 연구가 필요함을 확인할 수 있었다.



(a) SS400



(b) Al 6061

Fig. 5 재질에 따른 결함의 위치 분석

#### 5. 결론

본 연구는 magnetostrictive 센서의 자왜현상을 이용하여 비접촉식으로 결함부의 감사를 수행하였다. Magnetostrictive 센서의 결함검출 성능을 평가하기 위해 탄소강(SS440)과 Al을 이용하여 시험편을 제작하였다. 시험편 인공결함의 크기는 대체적으로 신호의 크기와 비례함을 확인할 수 있었으나 Al의 경우 결함의 크기가 약간 크게 나타남을 확인할 수 있었다. magnetostrictive 센서의 신호는 결함의 깊이를 달리 한 결과 결함부의 반사신호가 깊이 변화에 대하여 일관성있는 변화를 나타내어 결함의 깊이 추정도 가능하였다. 따라서 magnetostrictive 센서를 이용한 구조물의 내부결함을 검사하는데 magnetostrictive 센서가 적합하다는 것과 결함의 크기 및 위치를 검사하는데 유용함을 확인할 수 있었다.

#### 후기

본 연구는 한국생산기술연구원에서 지원하는 "광주지역 첨단 부품·소재산업육성사업과제"로 수행되었습니다.

#### 참고문헌

1. H. Kwun and K. A. Bartels, "Magnetostrictive sensor technology and its applications", Ultrasonics, 36(1-5), pp. 171-178, 1998.
2. Prakriti Tayalia, Dirk Heider and John W. Gillespie, Jr., "Characterization and theoretical modeling of magnetostrictive strain sensors", Sensors and Actuators A: Physical, Vol. 111, No. 2-3, pp. 267-274, 2004.