



누설자속 측정에 의한 가스배관의 용접결함에 대한 비파괴 탐상

박수영 · †유권상 · 김용일 · 이완규 · 임재균* · 남영현**

한국표준과학연구원 에너지인프라 연구단, *엑셀랩(주), **하기소닉(주)
(2008년 5월 20일 접수, 2008년 6월 8일 수정, 2008년 6월 8일 채택)

Nondestructive Testing of Welding Flaw at Gas Pipeline by Measuring Magnetic Flux Leakage

Soo Yung Park · †Kwon Sang Ryu · Yong Il Kim · Wan Kyu Lee
Jae Kyun Lim* · Young Hyun Nam**

Div. of Metrology for Quality Life, KRISS, Daejeon 305-600, Korea

**Excel Lab Inc., Daejeon 306-764, Korea*

***Hagisonic Co., Daejeon 305-500, Korea*

(Received May 20, 2008, Revised June 8, 2008, Accepted June 8, 2008)

요 약

용접 부위의 결함을 비파괴적으로 탐지하기 위하여 홀센서에 의해 누설자속을 측정할 수 있는 시스템과 4 종류의 용접결함을 갖는 기준시편을 제작하였다. 제작한 시스템으로 시편에 생성시킨 4 종류의 결함에서 누설된 자속을 측정하였고, 신호의 피크-피크 크기와 피크-피크 간의 간격에서 결함의 종류를 구분할 수 있는 가능성을 확인하였다.

Abstract – We have developed a system for nondestructive measurement of the magnetic flux leakage at welding flaws, existing in a gas pipeline by Hall sensor. For measuring the magnetic flux leakage, we designed a reference specimen having four kinds of welding flaws. Magnetic flux leakage is measured around the welding flaws of the specimen. The possibility for classification of different kinds of welding flaws is carried out by means of the peak-peak value and the interval between peak-peak of the magnetic flux leakage.

Key words : hall sensor, welding flaw, magnetic flux leakage, gas pipe line, nondestructive testing

I. 서 론

용접접합은 짧은 시간 내에 국부적으로 두 강재를 용융온도 이상의 고온으로 가열하여 결합시키는 방법이다. 용접접합은 재료, 기후, 전류, 용접방법, 용접순서, 숙련도 등 총체적 영향에 의하여 결함이 발생하게 되고 그 결함은 재료 일부분의 문제가 아니라 구조물 전체의 내구성을 저하시키게 되므로 접합부의 품질 확보를 위해서는 용접 후 검사를 철저히 실시해야 한다. 즉, 용접부의 결함을 정밀하게 평가하는 것은 구조물 전체의 건전성 및 안정성 측면에서 대단히 중요할 뿐만 아니라, 각종 배관라인 및 플랜트 설비의 배관라인에 대해 안전성 및 수명연장을 위해 공학적으로 중요하다[1].

용접부의 결함을 검사하기 위하여 사용되는 비파괴적 방법으로는 육안 검사(VT), 침투탐상검사(PT), 초음파 탐상검사(UT), 방사선 투과검사(RT), 와전류 탐상법(ECT), 방사선 사진 판독 등에 의한 방법이 있다[1-5]. 육안검사, 초음파 탐상검사는 검사자의 경험 및 주관에 의존하여 신뢰성 및 재현성이 적은 단점이 있고, 방사선 투과검사는 탐상 면에 수직한 용융불량, 균열 등의 선형결함에 대해 탐상이 어려운 단점이 있으며[6], 와전류 탐상법은 전도체 재료의 표면 또는 표면 근처의 결함만을 탐상할 수 있다. 강관의 내·외부 벽의 결함에 의해 누설되는 자속을 측정하는 누설자속(MFL: Magnetic Flux Leakage) 측정법은 자기장을 사용하기 때문에 강자성체로 제작된 강관에서만 사용할 수 있지만 직류자기장을 사용할 경우 투과 깊이가 깊은 장점을 갖는다[7,8].

†주저자: ryuks@kriss.re.kr

본 연구에서는 가스관 및 송유관에서 metal-loss defect를 탐지하는 방법으로 사용되고 있는 누설자속 측정법을 이용하여 용접결합에서 누설되는 자속을 홀 센서로 측정할 수 있는 시스템을 개발하고, 누설자속의 측정에 의해 용접결합의 종류 및 형태를 분류할 수 있는 가능성을 살펴보았다.

II. 측정 원리

자속이 누설되는 현상은 'detour flux dipole'에 의해 설명된다[9,10]. Fig. 1과 같이 결합의 자기저항에 의해 우회한 자속은 결합 주위에 집중하게 되어 결과적으로 유효 자기장의 세기를 증가시킨다. 자기유도의 큰 증가는 유효 자기장 세기를 증가시킨다. 가스배관은 내부응력에 의해 인장응력을 받게 되고, 이로 인해 배관의 결합은 응력 상승자(stress riser) 역할을 하게 되어 결합 주변에 투자율이 증가한다[7]. 따라서 배관 벽을 흐르는 자기력선은 Fig. 1에서 보이는 바와 같이 투자율이 증가한 결합의 밑 부분에 집중되어 흐르게 되고, 이 작은

영역에서 자기력선은 magnetic line dipole 같이 거동한다. 이 dipole을 'detour flux dipole'이라 한다. 이 dipole은 강관 내의 교란된 자기장과 같은 방향을 갖고, 결합 내의 누설자속과 반대방향을 갖는 자기장을 생성시킨다.

따라서 시편을 Fig. 2와 같이 전자석을 사용하여 강관을 자화시키면 자속은 요크를 통하여 강관 벽 내부를 통과하게 된다. 이때 강관에 결합이 있는 경우 결합 부위의 내·외부 강관 벽에서 자속이 누설된다[8,11,12].

홀센서를 사용하여 누설자속을 측정할 경우 홀 기전력과 누설자속과의 관계는 다음과 같은 관계식으로 표현할 수 있다.

$$V_H = K \cdot I \cdot B_{MFL} \quad (1)$$

여기서 K 는 홀계수, I 는 홀센서에 인가되는 정전류, B_{MFL} 는 홀센서와 수직한 방향의 누설자속이다. 따라서 홀센서를 시편표면에 따라 스캔하면 누설자속의 profile을 측정할 수 있고, 이 profile의 크기와 주기에 따라 결합의 크기와 종류를 구별할 수 있다.

III. 시편제작

길이가 200 mm, 외경이 100 mm, 내경이 86 mm인 다섯 개의 가스배관을 Table 1과 같은 인위적인 결함을 갖도록 용접하여 전체 길이가 1.0 m인 시편을 제작하였다.

여기서 excessive undercut은 모재(가스배관)가 녹아 용착 금속으로 채워지지 않음으로 인하여 발생한 결함이고, excessive reinforcement는 용착 금속이 모재의 표면에서 들떠있음으로 인하여 발생하는 표면 결함이다. 그리고 excessive backbead는 과도하게 용입된 용착 금속으로 인하여 발생하는 결함이고 incomplete joint fusion은 접합부분에 용착 금속의 용입이 부족함으로 인하여 발생하는 결함이다.

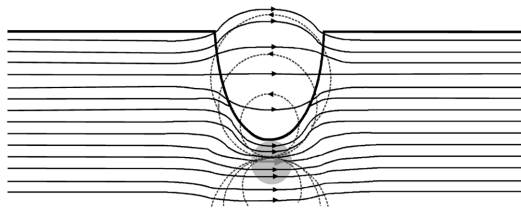


Fig. 1. Magnetic flux lines beneath the root of a surface pit illustrating the generation of a 'detour flux dipole'.

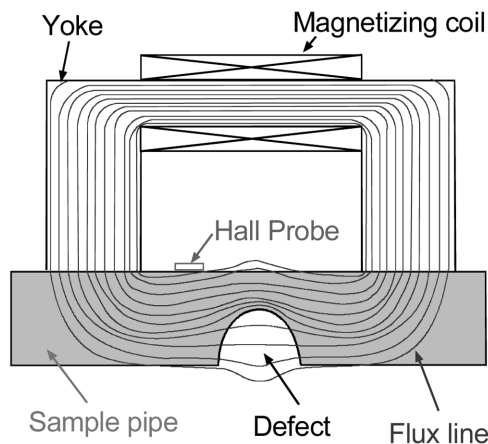

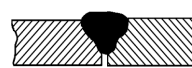




Fig. 2. Profile of magnetic flux leakage around defect in pipeline magnetized by electromagnet.

Table 1. A class of welding flaws at manufactured specimen.

	Excessive Backbead
	Incomplete Joint Fusion
	Excessive Undercut
	Excessive Reinforcement

IV. 측정 장치 구성

가스배관을 자화시키기 위한 요크는 저탄소강을 두께 15 mm, 길이 320 mm, 높이 55 mm, 그리고 강관과 접촉되는 부분은 강관의 외경과 같은 곡률을 갖도록 Fig. 3과 같이 가공하였고, 가공된 요크에 직경이 2 mm 인 에나멜 동선을 8층 1,030회 권선하여 시편에 자화력을 인가하도록 하였다.

누설자속을 측정하기 위한 시스템의 개략도가 Fig. 4에 주어져 있고, 완성된 측정시스템의 사진이 Fig. 5에 주어져있다. 측정시스템은 코일에 정전류를 인가하기 위한 전원공급기(Protek, PWS-3003TP), 홀센서(Wolker Scientific Inc., MG-3D), 홀센서를 이동시키기 위한 3차

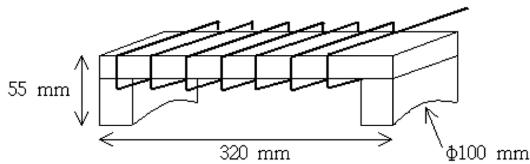


Fig. 3. Structure of the magnetizing yoke.

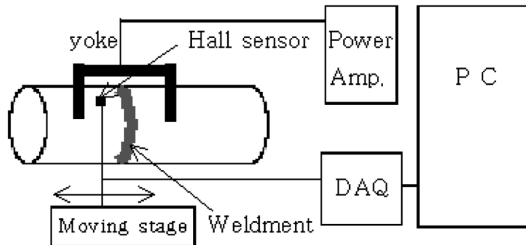


Fig. 4. Schematic diagram of measuring system for magnetic flux leakage at welding flaw.

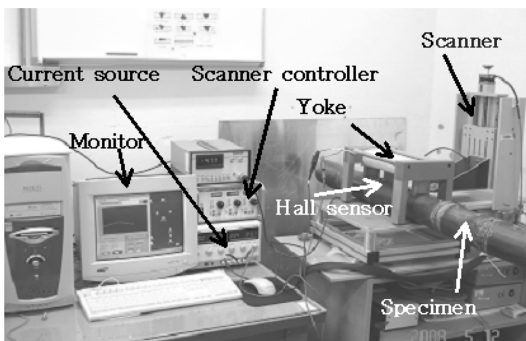
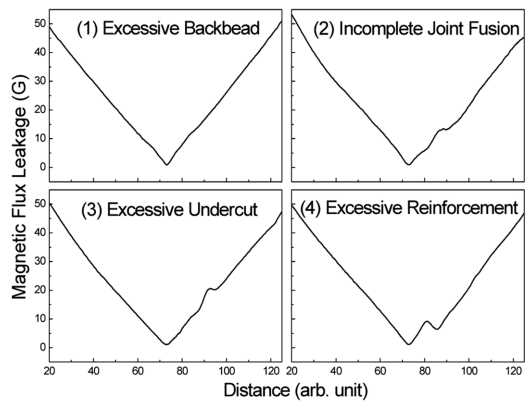


Fig. 5. Photography of developed measuring system for magnetic flux leakage at welding flaw of gas pipeline.

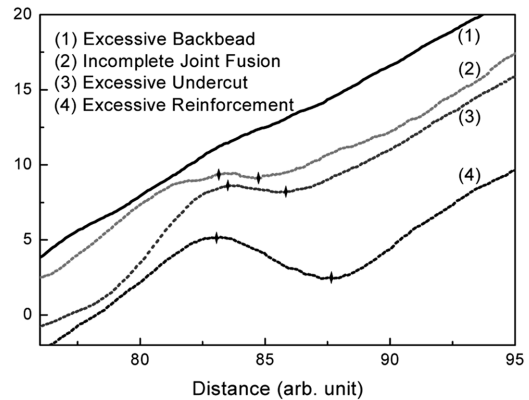
원 스캐닝 스테이지, 홀센서의 출력신호를 디지털화시키기 위한 ADC 보드(NI, PCI-MIO-10, 16-bit)로 구성되고, LabView 프로그램으로 컴퓨터에서 파형을 모니터링하고, ASCII 방식으로 디스켓에 저장할 수 있으며, 측정된 신호를 분석할 수 있도록 하였다. 홀센서는 시편표면에서 5 mm로 lift-off된 상태에서 130 mm를 이동할 수 있도록 하였다.

V. 측정 결과 및 논의

제작한 자화력 인가 장치에 3 A의 정전류를 인가하고, 홀센서를 강관과 5 mm로 lift-off를 유지하면서 2 mm/s의 등속력으로 130 mm를 이동시키면서 용접결함을 측정하였다.



(a)



(b)

Fig. 6. Signal profiles of magnetic flux leakage at various welding flaws ((1) Excessive backbead, (2) Incomplete joint fusion, (3) Excessive undercut, and (4) Excessive reinforcement).

Fig. 6(a)는 제작한 측정 시스템으로 시편에 생성시킨 4 종류의 결함에서 누설자속을 측정된 결과이고, Fig. 6(b)는 신호 비교를 위하여 측정 신호를 확대한 그림이다. Fig. 6(a)에서 양단의 신호 크기가 큰 것은 요크의 폴에서 자속이 크게 누설되기 때문이다. 또한 Fig. 6(a)에서 4 종류의 결함에서 누설자속의 크기가 상이함을 알 수 있다. Fig. 6(b)에서 (1) excessive backbead인 경우 적은 양의 자속이 누설되어 배관의 차폐효과로 신호가 검출되지 않은 것으로 사료되고, (2) incomplete joint fusion의 경우 신호의 피크-피크 값은 3 mG, (3) excessive undercut의 경우 5 mG (4) excessive reinforcement의 경우 28 mG였다. 그리고 세 경우 피크-피크 간의 간격은 각각 1.6 mm, 2.3 mm 및 4.6 mm였다. 따라서 용접결함의 종류에 따라 피크-피크 크기와 피크-피크 간의 간격이 달라지고 이를 이용하여 용접 부위의 결함 종류를 분류할 수 있을 것으로 사료된다. 또한, 이들 결과를 활용하여 홀 어레이 프로브를 제작하여 누설자속의 profile을 3차원적으로 측정하면 용접결함의 종류와 크기 등을 간편하게 측정할 수 있을 것이다.

VI. 결 론

본 연구에서는 가스배관의 용접결함을 탐지하기 위하여 홀센서를 이용한 측정 시스템을 제작하였다. 이를 활용하여 가스배관의 내부와 외부 벽에 네 가지 종류의 용접 결함에 대해 누설자속을 측정된 결과 누설자속의 피크-피크 값의 크기는 incomplete joint fusion의 경우 3 mG excessive undercut의 경우 5 mG excessive reinforcement의 경우 28 mG이었다. 그리고 피크-피크 간의 간격은 1.6 mm, 2.3 mm 및 4.6 mm로 측정되었다. 이 결과로 누설자속 측정에 의해 용접 부위의 결함을 탐지할 수 있는 기초 자료를 마련하였고, 보다 많은 데이터가 축적되면 누설자속 측정에 의하여 용접부위의 결함 형태 및 종류를 구분할 수 있을 것이다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부 에너지 기술 혁신 프로그램으로 지원되었으며, 이 논문은 “차세대 에너지안전연구단”

의 연구결과입니다(세부과제번호: 2007-M-CC23-P-09-1-000).

참고문헌

- [1] 김창현, 유홍연, 홍성훈, 김재열, “용접결함 검사 자동화 시스템 구축에 관한 연구”, *한국공작기계학회 논문집*, **16**(6), 37-42, (2007)
- [2] 한국산업규격, KS B 0888, “배관 용접부의 비파괴 시험 방법”, (1999)
- [3] 한국산업규격, KS B 0816, “침투 탐상 시험 방법 및 지시 모양의 분류”, (2005)
- [4] 한국산업규격, KS B 0845, “강용재 이음부의 방사선 투과 시험 방법”, (1976)
- [5] <http://www.ndtkost.com/2.htm>
- [6] 김재영, 김창현, 김우진, 최철준, 윤성운, “초음파 비파괴 검사 기반의 용접결함 패턴분류기 성능 비교”, *한국공작기계학회 2005 추계 학술대회 논문집*, 63-68, (2005)
- [7] Atherton, D.L., Oil and J. Gas, “Magnetic Inspection is Key to Ensuring Safe Pipelines”, **87**(32), 52-59, (1989)
- [8] 유권상, 박영태, 손대락, D.L. Atherton, L. Clapham “강자성 배관 외·내부 면의 이중 원형 결함의 깊이와 응력이 누설자속에 미치는 영향”, *한국자기학회지*, **13**(2), 76-81, (2003)
- [9] Mandal, K., D. Dufour, T.W. Krause and D.L. Atherton, “Investigation of Magnetic Flux Leakage and Magnetic Barkhausen Noise Signals from Pipeline Steel”, *J. Phys. D: Appl. Phys.*, **30**, 962-973, (1997)
- [10] Förster, F., “On the Way from the “Know-how” to the “Know-why” in the Magnetic Leakage Field Method of Nondestructive Testing (Part One)”, *Mater. Evaluation*, **43**, 1154-1162, (1985)
- [11] Mdandal, K., A. Corey, M.E. Loukas, P. Weyman, J. Eichenberger and D.L. Atherton, “The Effects of Defect Depth and Bending Stress on Magnetic Barkhausen Noise and Flux-leakage Signals”, *J. Phys. D: Appl. Phys.*, (30), 1976-1983, (1997)
- [12] Ryu, K.S., D.L. Atherton and L. Clapham, “Effect of Pit Geometry and Bulk Stress on Near- and Far-side Calculated MFL Signals”, *J. Phys. D: Appl. Phys.*, **35**, 2693-2697, (2002)