

누설자속법을 이용한 저장탱크 바닥판재의 부식 평가

Corrosion Assessment of Storage Tank Floor using Magnetic Flux Leakage Technique

원순호*, 조경식*

Soon-Ho Won and Kyung-Shik Cho

초 록 본 연구에서는 누설자속법을 적용한 저장용 탱크 바닥판재의 부식측정 기술에 관한 연구를 수행하였다. 시험편은 두께 6mm 및 10mm 강판에 20%, 40%, 60%, 80%의 깊이를 갖는 홈을 가공한 대비시험편을 사용하였다. 영구자석을 이용하여 요크를 제작하고 홀센서를 이용하여 시험편에서 누설자속을 측정하였다. 실험결과는 인공홈에서 발생된 누설자속을 효과적으로 검출할 수 있다는 것을 보여주었다. 또한 transverse형 홀센서를 이용하여 시험편에 가공한 홈의 크기를 근사적으로 측정할 수 있다는 결과를 제시하였다. 홈의 위치에 따른 누설자속 진폭을 측정한 결과, 누설자속법으로는 판재 상, 하부의 홈 위치를 구별할 수 없다는 것이 밝혀졌고, lift-off 거리에 따라서 진폭이 현저하게 변하기 때문에 고정된 lift-off 거리를 유지하는 것이 중요하다는 사실을 보여주었다.

주요용어 : 저장탱크, 부식측정, 누설자속법, 비파괴시험, 홀센서, 영구자석

Abstract In this research, MFL technique has been studied for the inspection of storage tank floor. The reference specimens having 20%, 40%, 60% and 80% slot's are fabricated using the carbon steel plates of a 6mm and 10mm thick. Powerful permanent magnets and Hall effect sensors are used to this application. It is shown that our system is able to detect metal loss like a slot. Also, it is possible that slot diameter is measured using transverse type of Hall generator. It is demonstrated that MFL can not differentiate between the response from top side and bottom side slot. Flux leakage response from a bottom side indication is significantly lower in amplitude than that from an equivalent top side slot. It is essential to know this sensor lift-off distance because the MFL signal also changes considerably with the sensor lift-off distance.

Keywords: storage tank, corrosion detection, magnetic flux leakage technique, nondestructive testing, hall sensor, permanent magnet

1. 서 론

일반적으로 지상에 있는 저장탱크는 벽면이나 지붕의 내, 외면은 접근이 가능하나 지면과 접촉하고 있는 탱크 바닥이나 지하 저장탱크는 토양과 접촉하고 있어 부식에 의한 손상 가능성이 상존하고 있다 [1-2]. 그러나 접근이 불가능하여 저장물의 누설로 인한 환경오염이나

화재, 폭발과 같은 사고가 발생하는 경우가 많다. 또한 탱크 외면의 요인들은 전기·화학적 요인에 의해 예측할 수 없도록 계속 변화하는 경우가 많기 때문에 부식부위는 탱크의 외면에 예기치 못하는 상태로 흩어져 있고, 이런 경우 저장탱크의 몇 개소를 선택적으로 검사하여 탱크 전체의 상태를 결정하는 것은 적합하지 않다. 현재 활용되고 있는 초음파 두께측정법은 표면에

금속 이외의 코팅재가 붙어 있거나 표면에 제거가 어려운 이물질이 고착되어 있는 경우 검사가 곤란하고 물이나 기름 같은 초음파 접촉매질이 필요하기 때문에 검사 속도가 매우 늦어지고 번잡해진다. 따라서 저장용기의 특성을 고려할 때 속도가 빠른 검사방법에 의해서 확인된 부식을 정밀검사를 수행할 경우를 제외한 전체적인 부식상태를 평가하는데는 기술적, 경제적, 시간적 한계가 따른다. 또한 음향방출법의 경우, 탱크가 가동중이라도 적용할 수 있는 반면 이미 누출이 발생한 후에 알아내는 방법으로 누출 가능성이 있는 부식을 검출하지는 못한다. 따라서 이러한 단점을 극복하고 탱크의 상태를 평가하기 위한 신속하고, 경제성 있는 적절한 기술의 개발이 필요하다 [3-12].

본 연구는 누설자속법(Magnetic Flux Leakage Technique : MFL Technique)을 이용하여 저장용 탱크의 바닥면에 발생한 부식을 신뢰성 있게 검출할 수 있는 기술을 개발하기 위한 연구로 실험적 결과를 도출하는데 그 목적이 있다.

2. 누설자속 측정원리

누설자속 측정의 기본원리는 Fig. 1에 나타난 홀효과로 설명된다. 전하 q 인 입자가 속도 \vec{v} 로 외부 자기장 \vec{B} 내에서 운동하게 되면, 전하는 운동방향과 자기장에 서로 수직된 방향의 로렌즈 힘 $\vec{F} = q(\vec{v} \times \vec{B})$ 를 받게 된다. 따라서 전류가 흐르는 전도체가 외부 자기장에 놓이게 되면 전하는 전류의 흐름과 자기장에 수직한 방향의 힘을 받게 되고, 결과적으로 전하의 비등방 분포는 전기장 \vec{E} 를 발생시켜서 로렌즈 힘의 반대방향으로 힘 $\vec{F} = q\vec{E}$ 를 작용시킨다. 따라서 등전위선은 휘어지게 되고, 전압과 전류, 자기장 사이에 다음 식 (1)과 같은 관계식이 성립된다 [13].

$$V_H = \gamma I B \cos\theta \dots\dots\dots (1)$$

where,

V_H : Hall voltage, V

γ : a constant product sensitivity, V/G

I : Hall current, A

B : magnetic field perpendicular to Hall plate surface, G

θ : the angle between B and the normal to the Hall plate surface

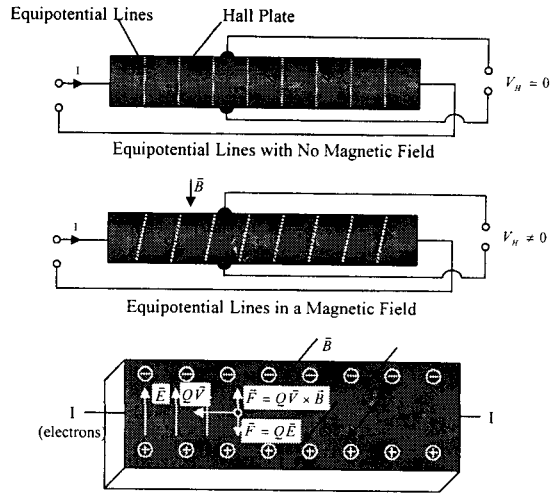


Fig. 1 Explanation of the Hall effect

또한 누설자속은 패러데이 법칙을 이용한 유도코일을 이용하여 측정할 수도 있으며, 이때 코일에 유도된 전압은 감긴 코일수 및 누설자속의 변화량에 의존한다 [14].

3. 실험

3.1. 시편준비

저장용 탱크의 바닥판재로 사용되는 부재의 두께는 보통 6-10mm의 강판이 사용된다. 따라서 본 연구에서도 KS D 3503에 규정된 일반 구조용 강재 SS41을 이용하여 두께 6mm 및 10mm인 시험편을 제작하였다. 보통 누설자속법에 의한 문턱값(threshold value)은 전 두께의 40% 이상되는 부식을 검출할 수 있도록 설정되며, 시험편은 Fig. 2와 같이 저름 1.6mm, 3.2mm, 6.4mm의 홈을 두께에 대하여 20%, 40%, 60%, 80%가 되도록 가공하였다.

3.2. 실험방법

자기회로를 형성시키기 위해서 회토류자석 Nd-Fe-B를 이용하여 요크를 제작하였다. 제작된 요크의 크기는 자극면적 25×60mm, 자극 중심간 거리 75mm, 높이 110mm이고, 자극 중심에서의 자속밀도는 2000G였다. 실험은 Fig. 3과 같이 요크를 위치시키고

홀센서를 스텝모터로 구동되는 스캐너에 부착시킨 후 홀의 중심을 통과하도록 x축 방향으로 이동시켰다. 홀

센서에 감지된 누설자속은 일본 Kanetec사의 가우스메터 TM-301을 이용하여 측정하였다.

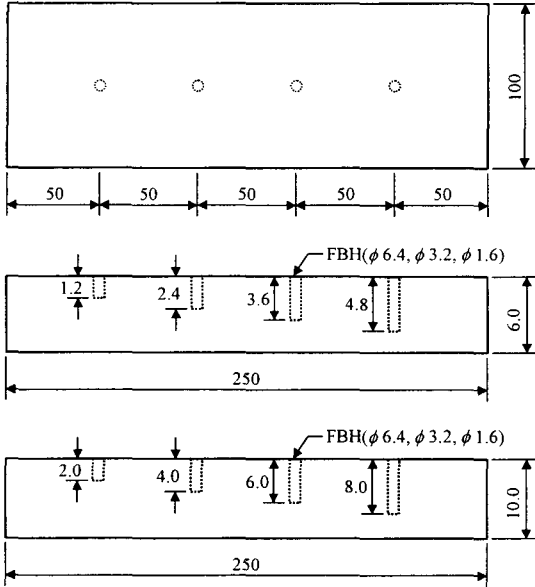


Fig. 2 Shape and dimension of the specimen

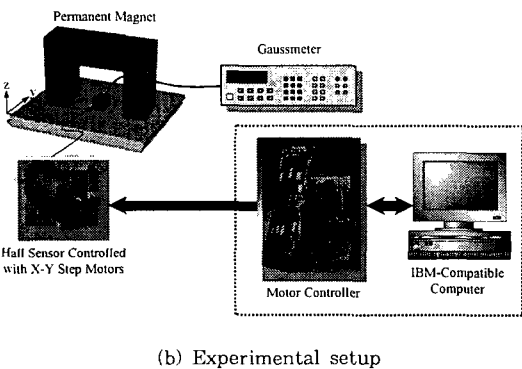
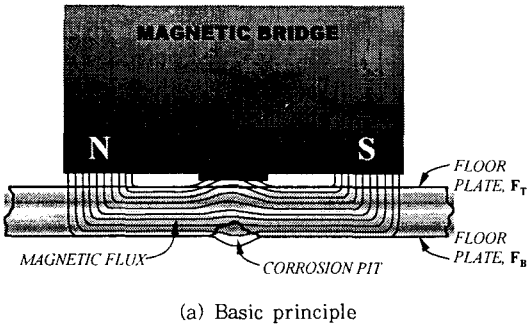


Fig. 3 Experimental setup for magnetic flux leakage measurement

4. 실험결과 및 고찰

4.1. 누설자속 측정

Fig. 4는 lift-off 거리 4mm에서 axial형 홀센서를 F_T 면상의 x축 방향으로 이동시켰을 때 각 위치에서 측정된 누설자속 밀도의 최대치를 나타내고 있다. Lift-off 거리는 홀 플레이트 자체만을 고려한 값으로 센서 하우징에 의해 더 이상의 접근은 곤란하였다. 측정 결과, 지름 1.6mm 및 3.2mm의 깊이 20% 홈에서는 적용된 자기력에서 효과적인 누설자속이 검출되지 않았고, 강판 두께가 얇을수록 보다 많은 누설자속이 발생 되는 것을 알 수 있었다. Fig. 4의 괄호 안에 표기한 수치는 홈이 없는 강판에서 측정한 자속밀도와 각각의 홈에서 발생한 누설자속 밀도 최대치의 차이를 나타내고 있다.

시험편에서 측정된 각 위치에서의 누설자속 분포양상을 Fig. 5에 도시하였다. Fig. 5 (a)와 (c)를 살펴보면, 지름 3.2mm의 깊이 20% 홈에서는 검출 가능한 누설자속이 발생되지 않은 결과이고, (b)와 (d)의 측정 결과는 홈의 지름이 6.4mm 일 때, 각각의 홈으로부터 누설자속을 검출할 수 있음을 보여주고 있다.

4.2. 홈의 크기 측정

보편적으로 누설자속법을 이용한 부식검사에서 검출된 결함의 크기에 대한 정보는 초음파 탐상으로 정밀

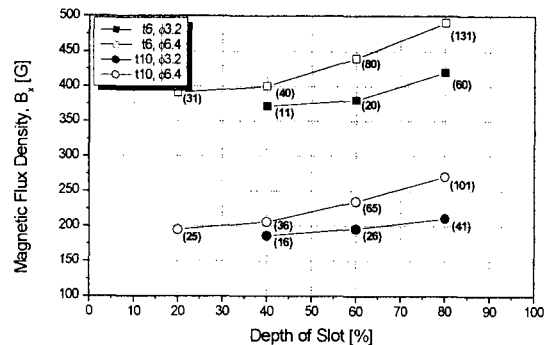
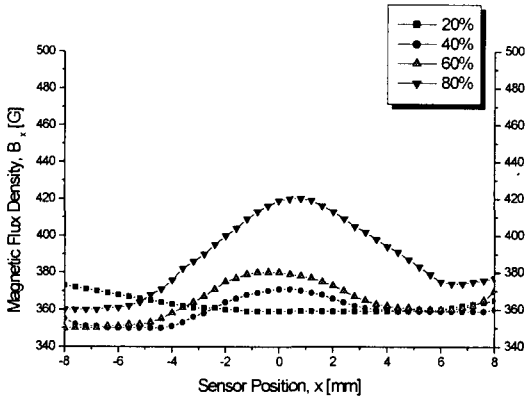
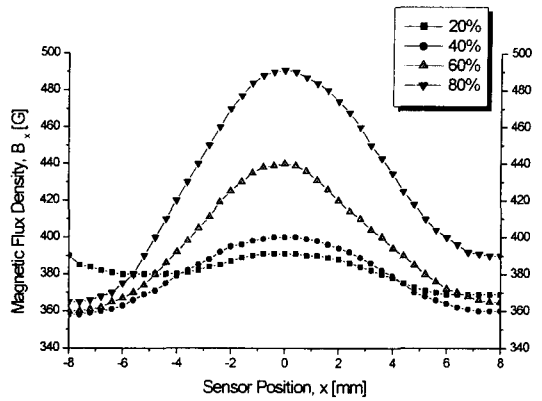


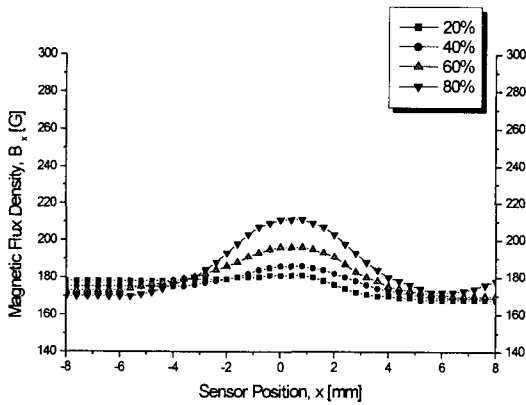
Fig. 4 Density of magnetic flux leakage according to slot depth, lift-off distance 4mm



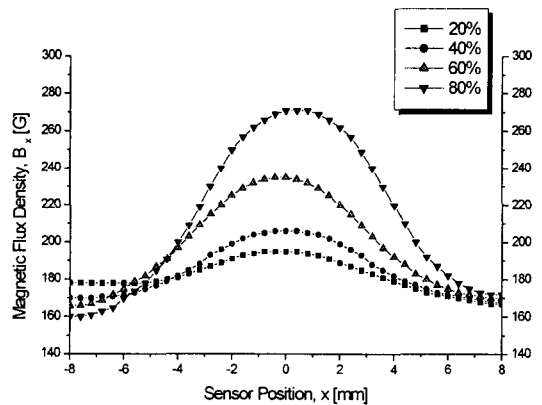
(a) t6, ϕ 3.2



(b) t6, ϕ 6.4



(c) t10, ϕ 3.2



(d) t10, ϕ 6.4

Fig. 5 Distribution of magnetic flux B_x measured in F_T surface

측정하는 방법이 사용되고 있다. 그러나 식 (1)에서 알 수 있는 바와 같이 센서와 자기장이 이루는 각도가 측정결과에 영향을 미치기 때문에, 본 연구에서는 transverse형 홀센서를 홈의 중심을 따라 x축 방향으로 탐상하여 B_x 성분이 최대가 되는 두 개의 피크치를 얻었다. 이 두 피크치 x축상의 거리는 홈의 지름에 해당하는 값으로 Fig. 6에 나타난 바와 같이 측정결과를 실제값에 근사하고 있다. 두 개의 피크치를 보여주는 각 위치에서의 누설자속 분포를 Fig. 7에 나타내었다.

4.3. 홈의 위치에 따른 누설자속

일반적으로 컴퓨터로 제어되는 누설자속 시스템은 문턱값과 누설자속 신호의 진폭을 비교하여 결함을 평가

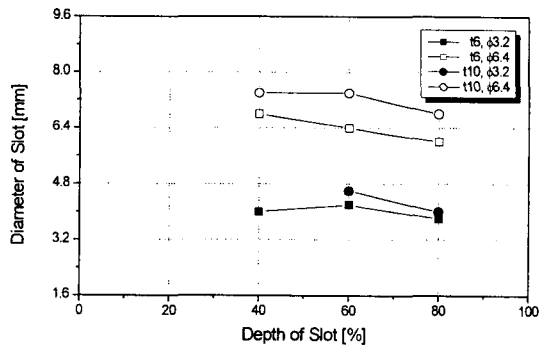
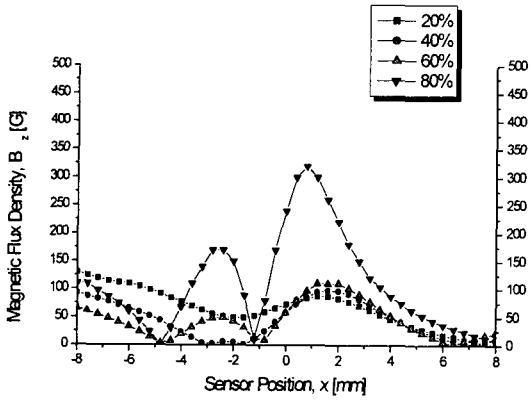
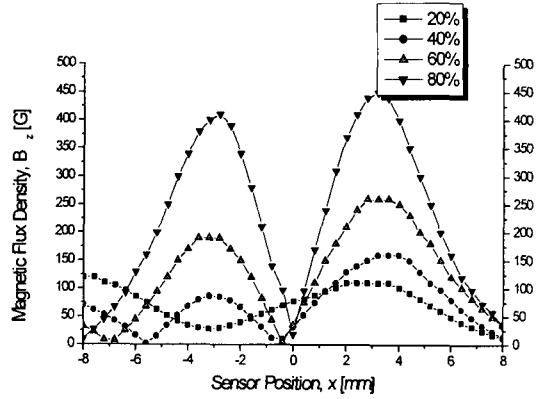


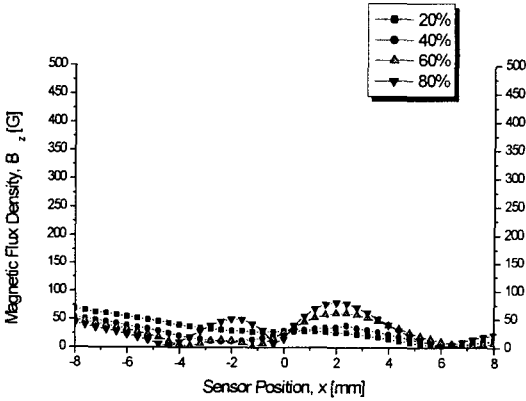
Fig. 6 Slot diameter measured using magnetic flux B_x in F_T surface, lift-off distance 1mm



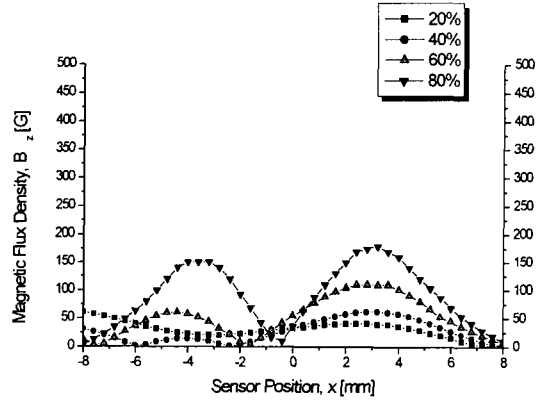
(a) t6, ϕ 3.2



(b) t6, ϕ 6.4



(c) t10, ϕ 3.2



(d) t10, ϕ 6.4

Fig. 7 Distribution of magnetic flux B_z measured in F_T surface

한다. 그러나 검출된 누설자속값은 결함크기에 대한 정량적 크기로 판단할 수는 없다. 본 연구와 같이 부식이 홈 형태로 발생되면 누설자속이 전체적인 체적손실과 상관 관계를 가지나, 부식이 넓은 면적에 걸쳐 존재하는 경우 단순히 체적손실만으로는 설명하기가 어렵다. 또한 동일 체적손실을 갖는 홈 형태의 결함도 발생한 위치(바닥면 상부 또는 하부)에 따라서 누설자속의 피크치가 다르다는 사실이 본 연구에서 나타났다.

Fig. 8은 동일 홈에 대해서 Fig. 3의 F_T 면과 F_B 면에서 측정할 때 발생된 누설자속 피크치를 비교한 것으로 괄호 안에 수치는 홈이 없는 강판에서 측정된 자속 밀도와 각각의 홈에서 발생한 누설자속 밀도 최대치와의 차이를 나타낸 것이다. 측정결과는 F_B 면에서 누설자속을 측정된 경우가 F_T 면에서 측정된 경우에 비해 보

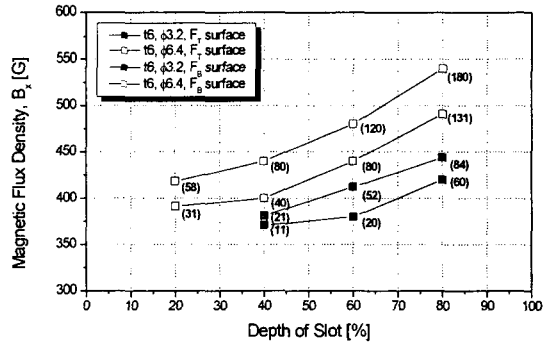


Fig. 8 Difference of magnetic flux density when same slot is measured in F_T and F_B surface, lift-off distance 4mm

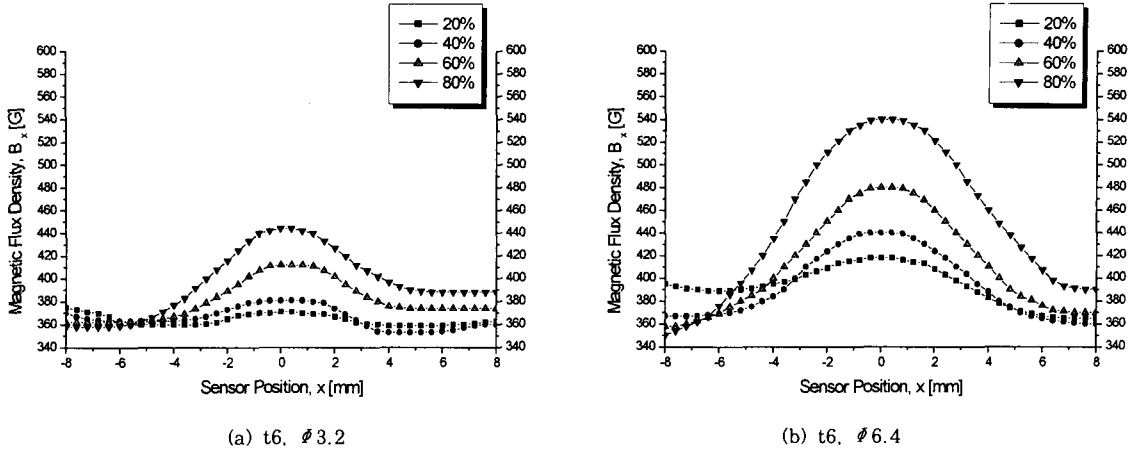


Fig. 9 Distribution of magnetic flux B_x measured in F_b surface

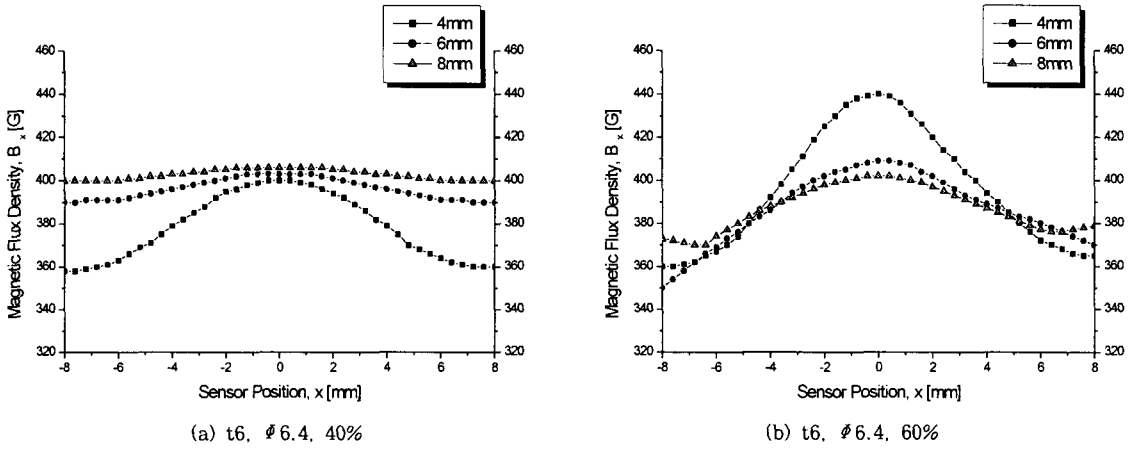


Fig. 10 Distribution of magnetic flux B_x according to lift-off distance

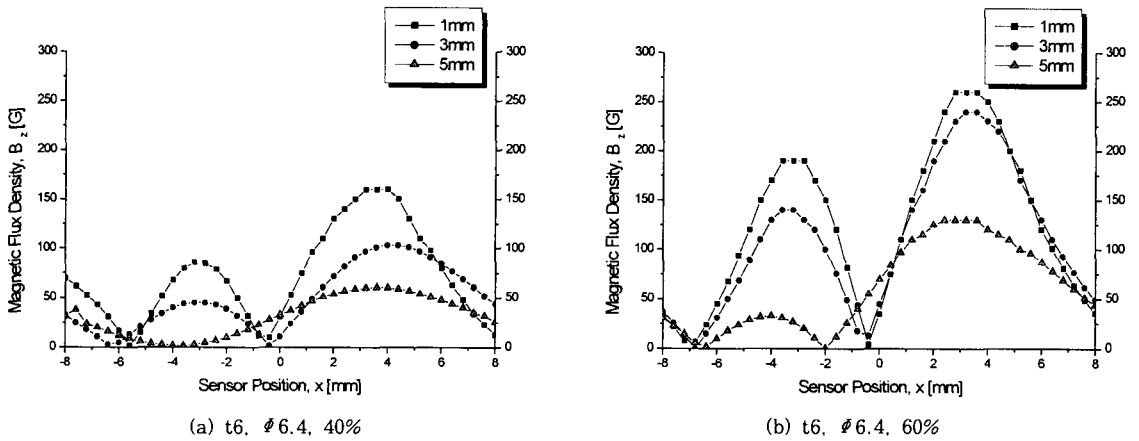


Fig. 11 Distribution of magnetic flux B_x according to lift-off distance

다 높은 값을 나타내고 있으며, 누설자속 크기가 결합 발생 위치에 영향을 받는다는 사실을 보여주고 있다. Fig. 9는 F_B 면에서 측정된 누설자속 분포양상을 나타낸 것으로서, Fig. 5 (a), (b)보다 높은 진폭을 나타내고 있음을 알 수 있다.

4.4. Lift-off 효과

측정시스템에 있어서 센서는 시험체로부터 일정거리에 고정시킨다. 그러나 측정되는 누설자속은 센서의 lift-off 거리에 따라 크게 변한다. 특히 현장과 같이 바닥상태가 고르지 못한 조건에서는 lift-off 거리가 더욱 중요하게 되기 때문에 누설자속을 효과적으로 측정할 수 있도록 lift-off 거리를 최소화하는 것이 중요하다.

본 실험 시스템의 경우 lift-off 거리에 따른 누설자속 분포의 변화를 지름 6.4mm, 깊이 40% 및 60%인 홈을 예로 하여 측정된 결과를 Fig. 10에 나타내었다. 측정결과 lift-off 한계거리는 각각 4mm와 8mm 임을 보여주고 있다. 또한 4.2절에 서술한 방식에 따라 홈의 크기를 측정된 결과 Fig. 11과 같이 lift-off 거리가 증가할수록 홈의 크기가 실제보다 크게 측정되는 결과를 얻었다. 그러나 lift-off 효과는 자기력의 세기, 강판의 두께 및 센서의 종류 등에 따라 다르다 [6, 11, 13, 15].

5. 결 론

현재 국내의 기술력으로 저장탱크를 검사할 때 바닥면에 발생한 부식을 전체적으로 검사하기가 곤란하였다. 따라서 본 연구에서는 경제성 및 신뢰성이 부합된 누설자속법의 개발을 위한 실험실적 연구를 수행하였고 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 영구자석을 이용하여 요크를 제작하고, 홀센서를 이용하여 누설자속을 측정하는 방법이 저장탱크의 바닥면에 발생한 부식부를 효과적으로 검출할 수 있는 방법임을 확인하였다.
- 2) 본 연구에서는 두께 6mm 강판에 가공한 지름 3.2mm, 깊이 40% 이상되는 인공홈을 효과적으로 검출하였다. 두께 10mm 강판에 대해서는 지름 3.2mm, 깊이 60% 이상되는 인공홈에 대해서만 효과적인 검출능을 나타내었다.

- 3) Transverse형 홀센서를 이용하여 홈의 크기를 측정하였고, 홈과 홀센서의 상대적 위치에 따라서 누설자속의 크기가 다르게 측정된다는 결과를 얻었다.
- 4) Lift-off 한계거리에 대한 실험은 지름 6.4mm, 깊이 40% 및 60%인 홈에서 각각 4mm와 8mm로 측정되었다. 또한 lift-off 거리 증가에 따라서 측정결과의 오차가 커지며, 따라서 lift-off 효과를 최소화하는 것이 측정결과의 신뢰성을 위해 중요하다.

후 기

본 연구는 과학기술부 「인위재해 방재기술 개발 사업」의 일환으로 수행된 과제입니다.

참 고 문 헌

- [1] API Standard 653 : Tank Inspection, Repair, Alternation, and Reconstruction, 2nd ed., American Petroleum Institute, Dec. (1995)
- [2] API Recommended Practice 575 : Inspection of Atmospheric and Low-Pressure Storage Tanks, 1st ed., American Petroleum Institute, Nov. (1995)
- [3] Z. You and D. Bauer, Combining Eddy Current and Magnetic Flux Leakage for Tank Floor Inspection, Materials Evaluation, Vol. 52, No. 7, pp. 816-818, July (1994)
- [4] Z. You and D. Bauer, A New Technique for Inspection Top and Bottom Sides of Tank Floors, ASNT's International Chemical and Petroleum Industry Inspection Technology (ICPIIT) IV Topical Conference, pp. 227-231, June (1995)
- [5] D. M. Amos, The Truth about Magnetic Flux Leakage as Applied to Tank Floor Inspections, ASNT's International Chemical and Petroleum Industry Inspection Technology (ICPIIT) IV Topical Conference, pp. 232-236, June (1995)

-
- [6] D. M. Amos, Factors Affecting the Reliability of Magnetic Flux Leakage Surveys of Above Ground Storage Tank Floors, MFE Enterprises Inc. Internet (URL : www.mfescan.com), (1999)
- [7] Above Ground Storage Petroleum Tank Inspection by Experienced API 653 Professionals, Comtech NDT Inc. Internet (URL : www.comtechndt.com), (1999)
- [8] Magnetic Flux Leakage Equipment : The MFE 2412 Tank Floor Scanning System, MFE Enterprises Inc. Internet (URL : www.mfescan.com), (1999)
- [9] D. Johnston, Aboveground Storage Tank Floor Inspection Using Magnetic Flux Leakage, Materials Performance, pp. 36-39, Oct. (1992)
- [10] D. Bauer and R. Brooks, New Flux Leakage System for Inspecting Tank Bottoms for Potential Leakers, International Petroleum Industry Inspection Technology II Topical Conference Paper Summaries, pp. 48-52, June (1991)
- [11] B. W. Maxfield, P. C. Fitzgerald, A Quantitative Magnetic Flux Leakage Instrument and Its Application to Tank Bottom Corrosion Assessment, ASNT's International Chemical and Petroleum Industry Inspection Technology (ICPIIT) IV Topical Con. pp. 237-241, (1995)
- [12] 조경식 외, 암모니아 저장탱크 TK-502의 노후도 진단, 한국기계연구원 보고서 : BSIC62-2369 · C, (1999)
- [13] Hall Generators, F. W. Bell Technologies Inc., pp. 1-9, (1999)
- [14] D. E. Bray and D. McBride, Non-destructive Testing Technique, pp. 421-447, John Wiley & Sons Inc., (1992)
- [15] J. Blitz, Electrical and Magnetic Methods of Nondestructive Testing, pp. 45-49, Adam Hilger, (1991)