

적외선 열화상을 이용한 감육직관의 결함두께 측정

Thickness measurement of wall thinning defect pipes using infrared thermography

*나성원¹, #김경석², 김경수¹, 최태호⁴ 기창두³, 장호섭⁴

*S. W. La¹, #K. S. Kim(gskim@chosun.ac.kr)², K. S. Kim¹, T. H. Choi⁴, C. D. Kee³, H.S. Chang⁴

¹조선대학교 첨단부품소재공학과, ²조선대학교 기계설계공학과, ³전남대학교 기계시스템공학부, ⁴조선대학교 레이저응용 신기술 개발 연구센터

Key words : Infrared Thermography, Lock-in

1. 서론

적외선 열화상 기술(Infrared Thermography)은 대상체 표면의 복사에너지를 검출하여 이를 온도로 환산하여 실시간으로 영상을 제공하는 기술이다.[1] 적외선 열화상기술에 의한 비파괴 검사는 결함부와 미 결함부의 온도차를 관찰함으로써 결함의 유무를 판단한다. 그러나 금속결함 검출에 있어서 열확산 계수가 큰 금속 재료일수록 검출소자의 샘플링 한계로 인하여 결함을 찾는 데 어려움이 발생한다. 이러한 문제점을 위상잠금(Lock-in) 기법을 적용함으로써 개선되었다. 위상잠금 적외선 열화상의 원리는 대상체를 자극하는 열원을 조화함수로 변조하여 입사하고 이 조화함수에 검출소자를 동기화시켜 조화함수의 위상변화를 복조한다. 따라서 낮은 샘플링에서도 표면의 미세한 변화를 감지할 수 있다.[2] 본 논문에서는 ASTM A106 Gr.B 재질의 감육 결함을 가지는 직관에 주파수를 증가시키면서 결함이 검출되지 않는 검출한계 주파수를 구하고 이 주파수로부터 침투깊이를 예측하여 결함의 깊이로 평가한다.

2. 이론

Fig. 1과 같이 위상잠금(Lock-in) 적외선 열화상 기법은 함수발생기(Function generator)를 통하여 조화함수형태로 대상체에 광원을 입사시킨다. 대상체에 입사한 적외선 에너지를 동기화된 검출소자를 통해 받아들여 신호처리를 통하여 획득하고자 하는 위상, 진폭을 구한다.[2]

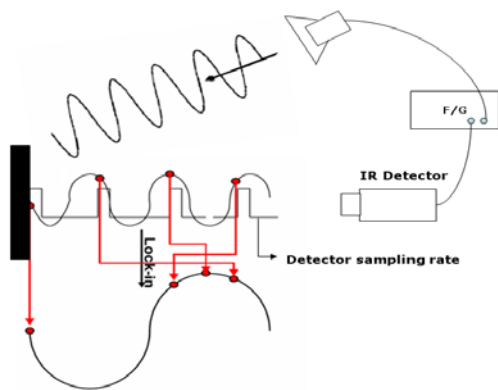


Fig. 1 Signal processing of lock-in infrared thermography

광원의 침투깊이는 식(1)과 같이 열확산계수와 주파수의 함수로써 나타낼 수 있으며, 이를 통하여 광원의 침투깊이를 예측할 수 있다.

$$\mu = \sqrt{\frac{\alpha}{\pi f}} \quad (1)$$

여기서 $\alpha = \frac{k}{\rho c_p}$ 는 열확산계수, f 는 검출한계 주파수 이다.

3. 실험방법 및 실험결과

본 연구를 위하여 ASTM A106 Gr.B(SM20C) 재질의 시편에 Fig. 2와같이 후면에 결함 깊이별로 가공 하였으며, 동일한 재질로 Fig. 3과 같이 감육결함을 갖는 직관을 제작하였고 감육결함의 크기는 Table 1과 같다. 시편의 물성치는 Table 2에 나타내었다. 식(1)에 대한 침투깊이에 따른 검출주파수 값을 Fig. 4에 나타내었다.

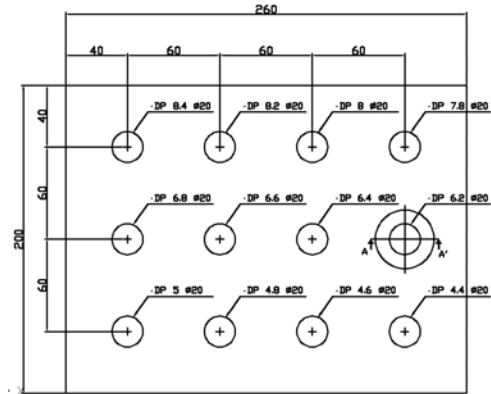
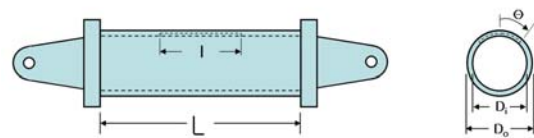


Fig. 2 Schematic of artificial specimens with defects



- 직관의 길이(L)=342mm
- 외경(Do)=113.40mm
- 내경(Di)=99.00mm

Fig. 3 Shape and dimension of pipe specimen

Table 1 Type of specimen

ID	결함 길이l (mm)	최소 두께 tp (mm)
A	113.40	1.8
B	113.40	3.6
C	113.40	5.4

Table 2 Material Properties

열전달계수 (k).	밀도(ρ)	비열(c)	열확산계수(α)
51.9 W/m-K	7870 kg/m ³	486 J/kg-K	1.357*10 ⁻⁵ m ² /s

이론적으로 ASTM A106 Gr.B 시험편의 경우 Fig. 4와 같이 3.6mm결함 깊이를 333mHz 이하의 주파수에서 검출할 수 있으며, 1.8mm 결함깊이는 1333mHz 이하의 주파수에서 결함을 검출할 수 있다.

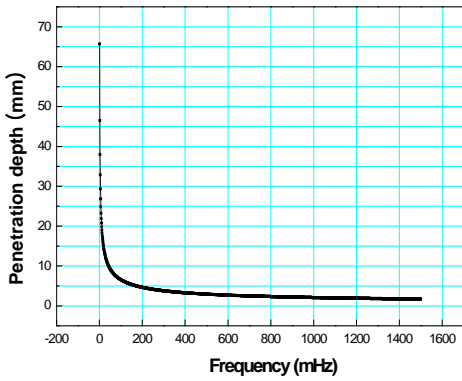


Fig. 4 Penetration depth by Frequency

시험편에 방사페인트를 도포하여 방사율을 0.95로 유지시키고, 위상잠금기법을 이용하여 열원과 검출소자를 동기화시켜 주파수 변화를 주어 평판시험편의 결함크기별 최적 결함검출 주파수를 찾는다. 이때 낮은 주파수에서 재료내부 깊은 곳 까지 침투가 가능하기 때문에 주파수는 낮은 주파수에서 점차 증가시켜 결함이 검출되지 않는 검출한계 주파수를 찾아낸다. 이 주파수를 통하여 침투깊이를 예측하여 결함의 깊이로 평가한다. 실험결과를 Fig. 5에 나타내었다.

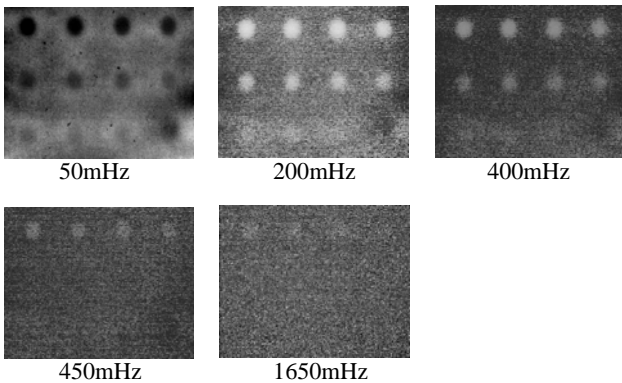


Fig. 5 Defect detection by Frequency

Fig. 5의 주파수 변화에 따른 이미지로부터 5~5.6mm 길이의 결함은 약 200mHz 이상에서 검출되지 않았으며, 3.2~3.8mm 길이의 결함은 450mHz 이상에서 검출되지 않았다. 또한 1.6~2.2mm 길이의 결함은 1650mHz 이상에서 검출되지 않았다. 따라서 5~5.6mm, 3.2~3.8mm, 1.6~2.2mm의 검출한계 주파수는 각각 200mHz, 450mHz, 1650mHz 이다. 이로부터 식(1)의 이론 값에 적용하여 상수 C를 1.25로 추정하였다. 이는 실제 실험에서 재료의 불균일성, 외부환경 등의 영향으로 예측된다.

동일한 방법으로 직관 A, B, C 시험편을 저주파에서 주파수를 높이면서 결함이 검출되지 않는 검출 한계 주파수를 측정한다. 실험결과를 Fig. 6에 나타내었다.

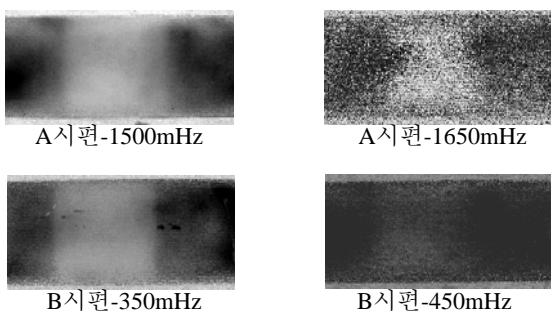


Fig. 6 Defect detection of Pipes by Frequency

Fig. 6의 주파수 변화에 따른 이미지로부터 A시험편의 결함은 약 1650mHz 이상에서 검출되지 않았으며, B시험편의 결함은 450mHz 이상에서 검출되지 않았다. 또한 C시험편의 결함은 200mHz 이상에서 검출되지 않았다. 따라서 식(1)과 상수 1.25를 적용하면 A, B, C 시험편의 결함 두께는 각각 2.02mm, 3.6mm, 5.4mm 이다. 이는 실제 시험편의 감육부 두께와 비교하여 약 7%의 오차율을 보인다.

4. 결론

본 논문에서는 위상잠금 광적외선 열화상기법을 이용하여 결함의 크기별로 가공된 시험편의 검출한계 주파수를 알아내고 이를 이론과 실제 결함크기와 비교하여 상수값을 결정 후 감육결함을 가지는 직관에 적용하여 결함의 두께를 측정하였다. 시험의 결과 1.8mm 결함두께의 결함검출 한계주파수는 1650mHz 이고, 3.6mm 결함의 경우 450mHz 였다. 이를 이론값과 비교하여 상수를 1.25로 결정하였으며, 상수값을 식(1)에 적용하여 감육결함을 가지는 직관의 검출한계 주파수를 통한 직관의 감육부 결함 두께를 측정한 결과 A, B, C 시험편의 결함두께가 각각 2.02mm, 3.8mm, 5.8mm 로 측정되었다. 이는 실제 감육부 결함의 두께와 비교하였을 때 약7%의 오차율을 보인다. 본 연구를 통하여 위상잠금 광적외선 열화상기법을 이용하여 직관 감육부의 결함두께를 측정하였으며 차후 열전달계수가 높은 금속에 대한 적용 방법에 대한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

후기

이 논문은 과학기술부 지원으로 수행하는 방사선기술개발사업으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. G. Gaussorgurs, "Infrared thermography" Translated by S. Chomet, pp. 415-452, Champmam & Hall.London,(1994)
2. Wu, D., Busse, G., "Lock-in thermography for evaluation of materials", Rev. Gen. Therm., Vo1. 37, 693-703, 1998
3. Kang, K. S., Choi, M. Y., Park, J. H., Kim, K. S., and Yang, S. M., "Determining size and location of subsurface defects of steel plate by lock-in thermography", 12th Asia-Pacific Conference on Non-Destructive Test, 48, 2006
4. Busse, G., "Infrared and thermal testing: technique of infrared thermography", Nondestructive Testing Handbook Series 3(3rd Ed), X. P. V. Maldague, P. O. Moore Ed., ASNT, Columbus, USA, 318-328, 2001
5. Maldague, X. P. V., "Trends in optical nondestructive testing and inspection", Rastogi, P. K., Elsevier Science, Switzerland, 591-633, 1992
6. Manyong Choi, Kisoo Kang, Jeon호마 Park, Wontae Kim, Koungsuk Kim,"Defect Sizing and Location by Lock-in Photo-Infrared Thermography", Journal of the Korean Society for Nondestructive Testing Vol.27, No. 4, 2007