

초음파 적외선 열화상을 이용한 이종배관 용접부의 결함 검출

ultrasonic Infrared thermography of flaw detection using a dissimilar pipe weld

*# 박희상¹, 최만용¹, 박정학¹, 이승석¹, 이보영², 김지성², 황용기²

*H. S. Park(moonring@kriss.re.kr)¹, M. Y. Chio¹, J. H. Park¹, S. S. Lee¹, B. Y. Lee², J. S. Kim², W. K. Hwang²

¹ 한국표준과학연구원 안전그룹, ² 한국항공대학교 항공기계공학과

Key words : ultrasound infrared thermography, dissimilar weld, Inconel 600, STS 304, stress corrosion crack

1. 서론

최근 아랍에미리트 등에 한국형 원자로가 수출되는 등 갈수록 세계적으로 원자력발전설비의 규모는 더욱 커지고 있는 추세이다. 이러한 원자력발전설비를 구성하는 가장 기본적인 구조물인 배관의 용접부의 안전성 검사는 특히 중요한 부분이다. 용접시 발생하는 잔류응력은 국부적 온도구배, 재료 물성 불일치 및 구속 경계 조건 등의 다양한 변수의 상호 작용에 의해 발생한다. 최근 V.C Summer 원전 등에서 이종금속용접부 (Dissimilar Metal Weld) 균열이 관찰되었다[1, 2]. 균열은 Inconel 계열 이종 금속용접부에서 발생하였으며 일차 수응력부식균열(PWSCC)이 균열의 주요 발생 원인이었다. 일차수응력부식균열은 재료의 민감도, 용접부 인장 잔류 응력 및 사용 중 하중(In-service load), 부식 환경과 같은 3가지 인자의 상호작용에 의해 발생한다[3]. 응력부식균열(SCC: stress corrosion crack)이 발생하기 위한 필요 조건은 세가지주요인자들(인장응력, 민감한 재질, 부식환경)이 동시에 만족하는 경우이다.

인코넬 600은 니켈 및 크롬이 다량으로 함유된 니켈 합금강으로, 인성과 Creep 특성이 우수하고, 특히 고온강도가 높고, 화학적으로도 안정하여 고온 부식 환경에도 강한 장점을 가지고 있다. 그래서 고온 내수성, 가스 분위기가 요구되는 핵 발전소 스팀 제너레이터 튜브, 열교환기, 화학 및 식품관련설비, 반도체설비 부품, 전자부품 등에 사용되고 있지만 용접 후열처리 미실시에 따라 인장 잔류응력이 존재할 뿐만 아니라 고온고압 수화학 부식환경하에서 운전되고 있으므로 SCC가 발생가능한 필요조건을 만족한다. 원전 용접부는 대부분 배관 맞대기 용접부로 이루어져 있으며 최근 가압경수로(PWR) 이종금속용접부에서 일차수응력부식균열(PWSCC)이 발생한 점을 감안한다면 배관 이종금속용접부 SCC 검출을 위한 검사 기법이 필요하다. 지금까지의 원전설비의 검사는 원전구조물의 설치전 단계에서는 방사선투과검사(RT: Radiographic test)를 활용하고 가동 후에는 초음파탐상검사(UT: Ultrasonic testing)를 활용하였으나 원전시 설물의 경우 방사선에 의한 피폭의 위험에 항상 노출되어 있고 UT의 경우 넓은 범위를 검사하는데 어려움이 존재하였다. 이와 같은 문제점을 보완하는 기술로 적외선 열화상 비파괴 검사기법(Infrared thermography nondestructive method: IRT)을 활용하게 되었다. IRT는 절대온도 0 K 이상의 모든 물체가 방출하는 적외선에너지를 검출하여 검사자가 볼 수 있는 화상으로 이미지를 만들어 검사하는 기술로 비접촉으로 넓은 범위를 빠른 시간에 검사할 수 있는 장점을 갖은 기술이다. 이러한 적외선열화상 기술을 활용하여 원전배관의 용접부의 결함검출을 시도하여 그 가능성을 평가하여본다.

2. 실험재료 및 장치

2.1 실험재료

본 실험에 사용된 시험편은 인코넬 600과 STS 304 재질의 배관을 이종 맞대기 용접한 시험편을 사용하였으며, 결함의 검출을 위하여 직경 3 inch, 두께 7.6 mm 배관을 Fig.1과 같이 축 방향으로 배관의 정중앙을 절단하여 실제 검출된 열화상 이미지

와 배관 내분의 결함의 위치와 형태를 비교하였다. 이에 활용된 실험재료의 화학성분과 기계적 물성치는 Table 1, Table 2와 같다.



Fig. 1 Cross-section of welded pipe

Table 1 Chemical composition of materials(Wt. %)

Materials	S	C	Ni	Cr	Fe	Al
Inconel600	<0.001	0.019	73.25	16.12	9.72	0.231

Table 2 Chemical composition of materials(Wt. %)

Materials	Si	C	Ni	Cr	Mn	P
STS 304	<0.001	0.08	10.00	16.12	2.0	0.04

2.2 실험방법

2.2.1 용접조건

적외선 열화상 검사기법중 검사체 스스로가 방출하는 적외선 에너지만을 활용하는 수동적 검사기법(passive method)가 있는 반면 검사체에 에너지를 부가하여 검사체 내부의 적외선방출에너지를 변화시켜 검출하는 능동적 검사기법(active method)가 있다. 이러한 능동적 검사기법으로는 크게 광(optic), 초음파(Ultrasound), 진동(Vibration), 와전류(Eddy current), 마이크로파(Microwave)등을 이용한 기법이 사용되는데 본 연구에서는 미세크랙의 검출에 용이한 기법인 초음파적외선 검사기법을 활용하였다. 초음파 적외선 검사기법은 Fig.2와 같이 구성된다.

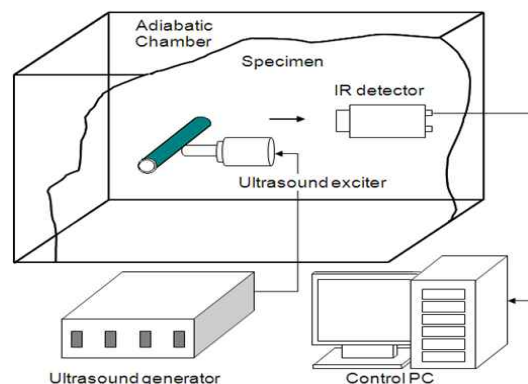


Fig. 2 Typical weld tool and process parameters used in the FSW process

초음파의 가진 혼을 검사체에 접촉시켜 20 kHz 초음파를 가진 시키게 되면 이때 발생한 초음파가 검사체를 매질로 전파하게 되어 결합발생부분에서 진동을 발생시키게 되고 이때 발생하는 마찰열을 적외선 카메라가 온도 변화를 검출하게 된다[4].

3. 실험

이종금속 배관의 용접부의 결함을 검사하기 위하여 Fig2와 같이 설치하여 가진을 하였다. 이때 가진 주파수는 50 mHz로 20 kHz의 초음파를 사용하였으며, 음향에너지는 420 Watt를 이용하였다. Fig. 3(a)는 가진전의 배관의 적외선 열화상 이미지를 보여주고 있다. 결합부위를 파악할 수 없는 상태로 수동적 검사기법을 이용하였을 경우 결함의 유무판단이 안되는 상태를 알 수 있다. Fig. 3(b)는 초음파를 가진시 발생하는 배관의 이미지를 나타내고 있다. 가진전의 모습과는 달리 약간의 발열부분(Hot spot)과 0.1 °C의 온도변화가 나타남을 알 수 있다.

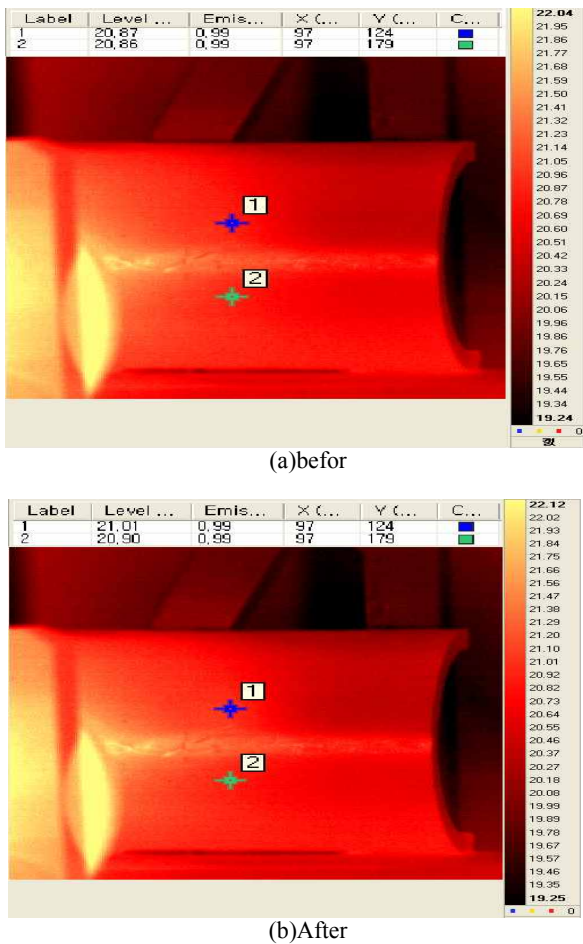


Fig.3 Ultrasound before and after imposing

이러한 발열 신호를 데이터 처리하여 더욱 명확하게 나타낸 Fig.4를 통하여 배관의 결함 부분의 발생위치와 대략의 결함 크기를 파악할 수 있다. 초음파 탐상(Ultrasonic testing)의 경우 초음파를 발생시켜 음파의 변형을 이용하여 결함을 탐상하다 보니 매질의 영향에 따라 초음파가 달리 작용하게 되어 이종용접부의 결함 탐상에는 어려움이 발생하지만 본 연구에서 활용한 초음파의 경우 음파는 진동을 발생시켜주는 역할을 하는 에너지로 그 에너지의 영향이 미치는 부분에서의 결함은 고루 탐지가 가능하다. 이러한 이유로 인코넬 600의 배관에 초음파를 가진시켰을 때 열화상에 나타난 결함이 발생한 부위는 STS 304의 용접부 근처의 열영향부에서 발생함을 보였으며, 결함의 형태는 원주방향으로 hot spot의 형태가 원형이 아닌 넓은 부분의 모서리가 둥근 사각형 모양으로 나타남을 통하여 결함이 하나의 크랙보

다는 넓은 규모의 크랙으로 존재함을 예측할 수 있다.

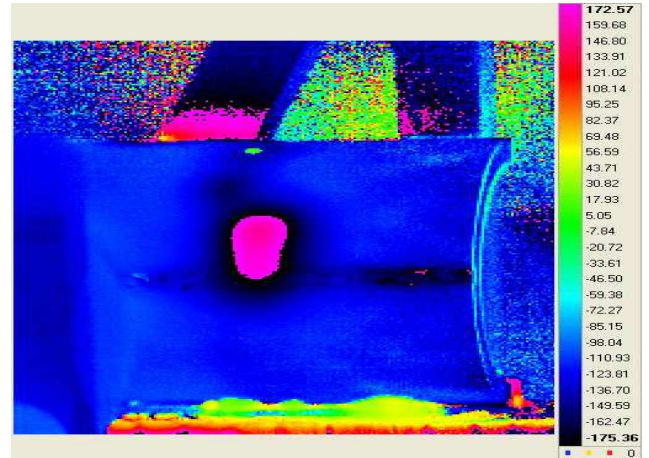


Fig.4 lock-in thermography of piping hot spot

Fig. 5는 결함검출 이미지와 실제 배관의 내부 이미지를 보여주고 있다. 내부결함의 이미지를 통하여 배관 외측에서 검사한 결함 검출 이미지와 내부의 실제 결함의 위치가 동일함을 파악할 수 있었으며, 균열이 하나가 아닌 일정한 범위 안에 하나이상의 크랙이 존재하여 열화상 이미지 상에 넓은 범위의 Hot spot 이미지를 만들어 냈음을 파악할 수 있었다



Fig. 5 Using the penetration test pipe internal defect detection

4. 결론

초음파 적외선 열화상 검사기법을 활용하여 원자력발전설비에 활용되는 배관형태의 이종금속용접부의 내측결함을 검출할 수 있었으며, 공간분해능을 통하여 결함의 위치와 형태를 파악할 수 있었다.

후기

본 연구는 한국항공대학교 원전자연균열응용연구 국가지정 연구실의 도움으로 수행 되었습니다.

참고문헌

1. F. W. Brust, and P. M. Scott, "Weld Residual Stresses and Primary Water Stress Corrosion Cracking in Bimetal Nuclear Pipe Welds," Trans. of ASME PVP conference, PVP2007-26297, 2007.
2. J. S. Kim, T. E. Jin, P. Dong, and M. Prager, "Development of Residual Stress Analysis Procedure for Fitness-For-Service Assessment of Welded Structure," Trans. of the KSME(A), Vol. 27, pp.713~723, 2003.
3. M. Fox, "An Overview of Intergranular Corrosion Cracking in BWRs," Journal of materials in energy system, 1:3. 1979.
4. F. Riegart, Th. Zweschper and G. Busse, "Eddy-Current lock-in thermography: Method and its potential", J. phys. IV France, Vol. 125, pp. 587-591, 2005.