

예방 용접 overlay 가 밀림관 노즐 보수 용접부 잔류응력에 미치는 영향

오창영* · 송태광* · 배홍열* · 전윤배* · 김윤재† · 이경수** · 박치용**

Effect of preemptive weld overlay on residual stress of repaired weldment in surge nozzle

Chang-Young Oh, Tae-Kwang Song, Hong-Yeol Bae, Yun-Bae Chun, Yun-Jae Kim, Kyoung-Soo Lee, Chi-Yong Park

Key Words : Repair weld (보수 용접), Welding residual stress(용접 잔류응력), Preemptive Weld OverLay (예방 weld overlay), Surge nozzle (밀림관 노즐)

Abstract

In the welding process, weldments usually include repair weld during the manufacturing process. Repair welds is supposed to cause strong tensile residual stress. Moreover weldments, usually made by Alloy 82/182, is susceptible to PWSCC. Therefore, mitigation of welding residual stress in weldments is important for reliable operating. PWOL is one of the methods for mitigation and verified for over twenty years. In this paper, residual stress distribution of repaired weldments and the effect of PWOL on mitigation is examined for surge nozzle.

약어

PWSCC Primary Water Stress Corrosion Cracking
(일차수 응력부식)
IGSCC Inter-Granular Stress Corrosion Cracking
(입계부식균열)
DMW Dissimilar Metal Weld (이종금속용접)
SMW Similar Metal Weld (동종금속용접)
PWHT Post Weld Heat Treatment
(용접후열처리)
IHSI Induction Heating Stress Improvement
(고주파 가열 잔류응 개선)
MSIP Mechanical Stress Improvement
PWR Pressurized Water Reactor
(가압수형 경수)

PWOL Preemptive Weld Overlay
(예방 용접Overlay)
HAZ Heat Affected Zone (열영향부)

1. 서론

최근 V.C Summer, Ringhals 및 Tsuruga 2 등의 PWR 이종금속용접부(DMW)에서 PWSCC 로 판명되는 균열이 발생하였다.^[1-3] PWSCC 는 재료의 민감도, 용접잔류응력(Welding residual stress), 수화환경의 3 가지 조건 중, 동시에 한가지 조건이라도 만족되지 않으면 발생하지 않는다.^[4-5] 따라서, 응력부식균열 발생 및 균열진전을 억제하기 위해서는 용접부 잔류응력에 대한 정확한 예측이 필요하다.

일반적으로 용접작업 시, 부득이하게 결함이 발생하게 되어, 결함부분을 깎아내고 다시 용접하는 보수용접(Repair weld)을 하는 경우가 흔히 발생한다. 원전 배관에 있어서 내면 보수용접의 경우 용접잔류응력이 보수용접 후, 인장응력이 발생함을

† 김윤재, 회원, 고려대학교 기계공학과

E-mail : kimy0308@korea.ac.kr

TEL : (02)3290-3372 FAX : (02)929-1718

* 고려대학교 기계공학과

** 한전 전력 연구원

볼 수 있다.^[1, 6,7]

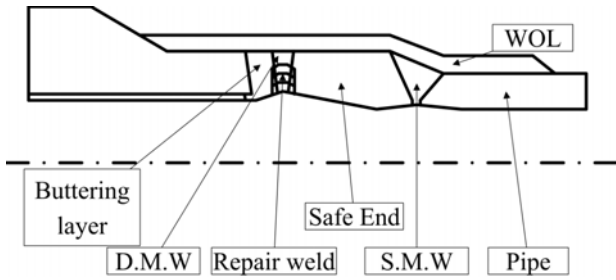


Fig.1 Schematic illustration of a surge nozzle.

본 논문에서는 국내 원전에서 쓰이는 가압기의 밀림관 노즐(Surge nozzle)을 대상으로 유한요소 잔류응력 해석을 수행하였다. 용접 잔류응력의 완화를 위해 사용 되는 방법은 PWHT, IHSI, MSIP 등이 있으나, 본 연구에서는 보수용접으로 발생한 잔류응력에 미치는 PWOL(Preemptive weld overlay)의 영향을 보는 것으로 하였다.

2. 해석대상 및 용접 변수

2.1 형상, 재료 물성 및 용접 절차

Fig.1 은 고리 원전가압기 상부 밀림관 노즐부의 요소(component)를 나타낸다. Fig.2 는 밀림관 노즐의 용접 해석을 위한 유한 요소 망을 나타낸다. Table.1 에서는 밀림관노즐의 형상정보를 알 수 있다. Table.2 에서는 밀림관 노즐의 각 요소에 사용된 재료를 확인할 수 있다.

2.2 열 해석

용접 작업 시 용접부는 용융점 이상의 고온에서 상온으로 냉각된다. 따라서 유한요소 해석을 위해서는 온도에 따른 재료의 기계적, 물리적 물성이 필요하다. 이 정보에는 밀도, 비열, 잠열, 열전도 계수, 항복강도 및 열 팽창계수가 있다. 재료의 물성은 재료 제작사의 물성 자료^[8], 문헌^[9-11,13] 및 설계코드^[12] 를 참고하였다

2.3 응력해석

용접작업 시 발생하는 잔류응력해석을 위해 유한요소 해석에 있어서 응력풀림효과(Annealing effect), 마우싱거효과(Bauchinger's effect)를 고려하였다.^[9,10]

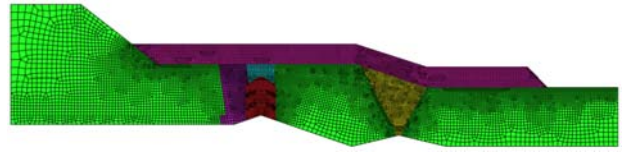


Fig.2 Finite element mesh for surge nozzle

3. 안전단과 PWOL 을 포함한 밀림관 노즐에 대한 잔류응력해석

3.1 75% 보수용접 후 용접 overlay 영향

Fig.3 이중 용접부의 75% 보수용접 수행 후, 잔류응력의 분포를 나타낸다. 용접 overlay 수행 후 인장 잔류응력이 감소함을 나타낸다.

3.2 50% 보수용접 후 용접 overlay 영향

Fig.4 이중 용접부의 50% 보수용접 수행 후, 잔류응력의 분포를 나타낸다. 용접 overlay 수행 후 인장 잔류응력이 감소함을 나타낸다

4. 결 론

본 논문에서는 고리 원전 가압기 밀림관 노즐에 대한 용접잔류응력 해석을 수행하였다. 노즐과 안전단 용접과정에 있어서 보수용접 작업은 흔히 발생한다. 내면 보수용접은 용접부의 내면에 인장잔류응력을 발생시킨다. 잔류응력완화와 배관의 균열 발생 후, 배관의 건전성을 위하여 예방 용접 overlay 를 수행하게 된다.

보수용접을 한 밀림관 노즐의 예방용접 overlay 의 영향은 다음과 같다.

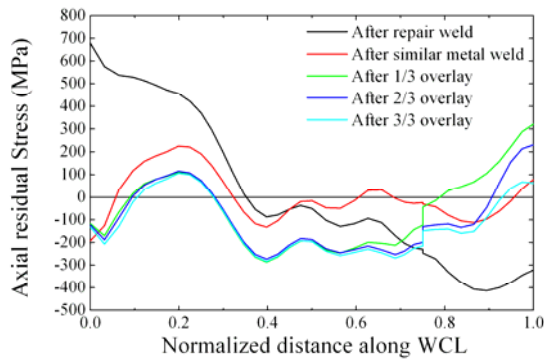
(1) 용접부의 내면 용접잔류응력은 보수용접 후 인장잔류응력이 발생한다. 본 연구 결과는 보수용접 후, 발생한 인장잔류응력은 PWSCC 의 위험이 있음을 증명해 준다.

(2) 예방 용접 overlay 는 PWSCC 의 위험이 위험이 있는 이중용접부의 인장잔류응력을 완화시킨다.

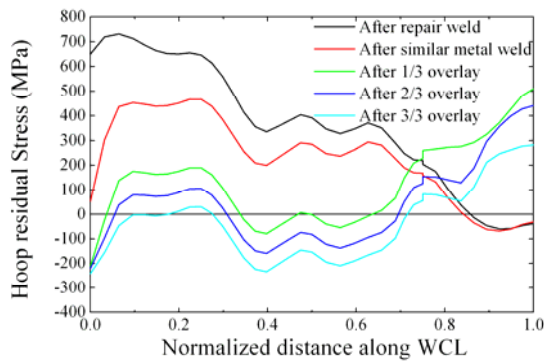
이와 같은 결과는 향후 수행될 용접부 균열에 수명 평가에서 정확한 입력 자료가 될 수 있다고 판단된다.

Table.2 Material corresponding to each component consider in this work, work down by EPRI

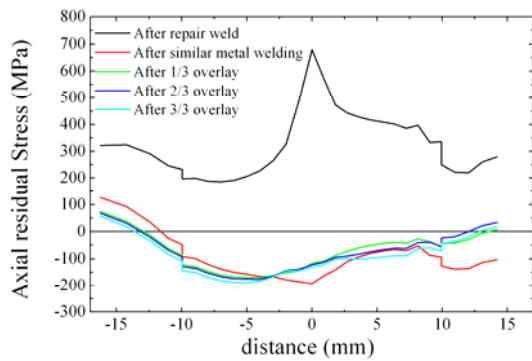
Component	Kori surge nozzle
Nozzle	SA508
Pipe	TP304L
buttering/D.M.W	Alloy82/182
Safe End	TP316L
S.M.W	ER308L
WOL	Alloy82/182



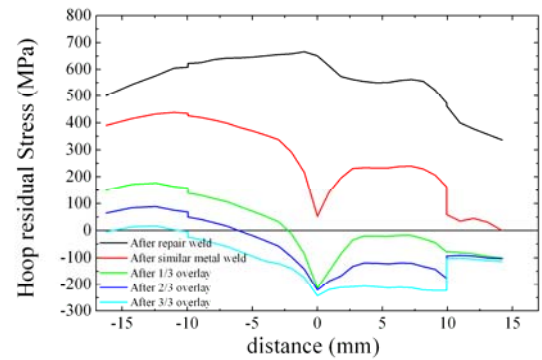
(a)



(b)

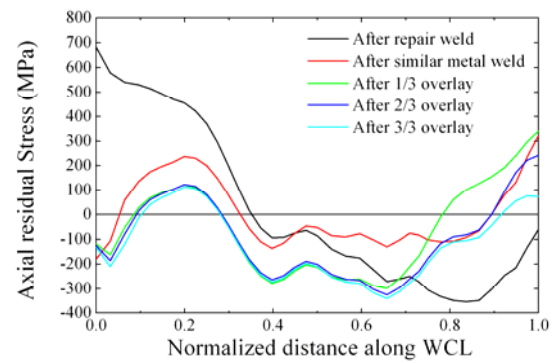


(c)

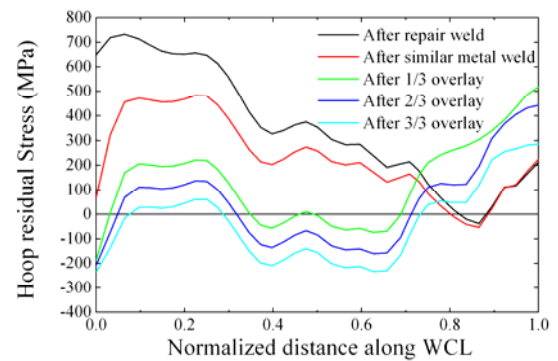


(d)

Fig.3 residual stress comparison after overlay of 75% repair weld (a) axial stress (b) hoop stress along WCL (c) axial stress (d) hoop stress at inner surface



(a)



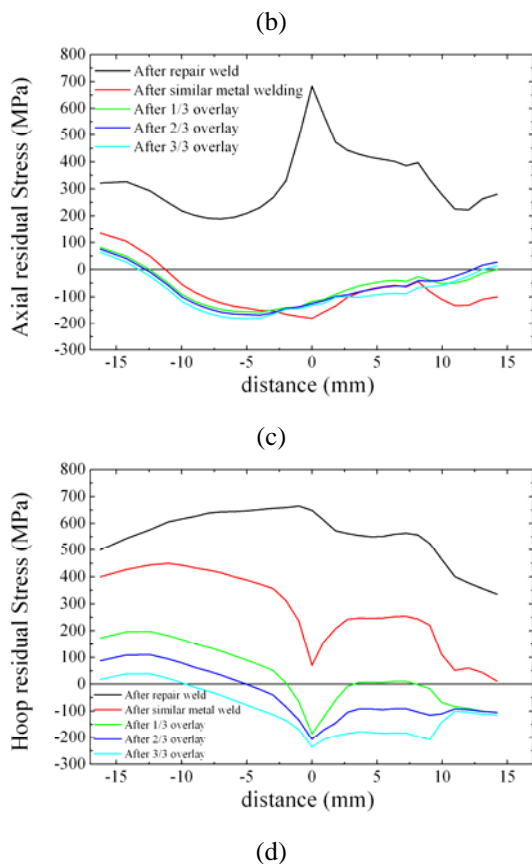


Fig.6 residual stress comparison after overlay of 50% repair weld (a) axial stress (b) hoop stress along WCL (c) axial stress (d) hoop stress at inner surface

참고문헌

- (1) Material Reliability Program : Welding residual and operating stresses in PWR alloy 182 butt welds (MRP-106), EPRI, Palo Alto, CA:2004. 1009378
- (2) Bamford, W., Newton, B. Seeger, D., 2006, "Recent experience with weld overlay repair of indications in alloy 182 butt welds in two operating PWRs", *Trans. of ASME PVP conference*, PVP2006-ICPVT-11-93891
- (3) Tsuruta, T., Sato, K., Asada, S., Kobayashi, T., Okimura, K., Matsubara, N., 2008, "PWSCC of nickel base alloys in vapor phase environment of pressurizer", *Proceedings of the 16th international conference on nuclear engineering*, ICONE16-48377
- (4) Fox, M., 1979, "An overview of intergranular corrosion cracking in BWRs", *Journal of Materials in energy system*, 1:3
- (5) Okimura, K., Konno, T., Narita, M., Ohta, T., Toyoda, M., 2008, Reliability of water jet peening as residual stress improvement method for alloy 600 PWSCC mitigation", *Proceedings of the 16th international conference on nuclear engineering*, ICONE16-48375
- (6) Limpus, C.R., Dijamco, D. G., Bax R, Cofie, Nathaniel G., , 2007, "Effect of size of butt weld repairs on weld overlay residual stresses", *Trans. of ASME PVP*

conference, PVP2007-26636

(7) Brust, F. W., Scott, P. M., 2007, "Weld residual stresses and primary water stress corrosion cracking in bimetal nuclear pipe welds", *Trans. of ASME PVP conference*, PVP2007-26297

(8) Special Metals Corporation, 2007, "Inconel 600 Information", www.specialmetals.com

(9) Brickstad, B., Josefson, B. L., 1998, "A parametric study of residual stresses in multi-pass butt-welded stainless steel pipes", *International Journal of Pressure Vessels and piping*, Vol. 75, pp.11~25

(10) Dong, P., 2001, "Residual stress analyses of a multi-pass girth weld: 3-D special shell versus axisymmetric models", *ASME Journal of Pressure Vessel Technology*, Vol.123,pp.207-213

(11) Elocate, C.D., Dennis, R.J., Bouchard, P.J., Smith, M.C., 2005, "Three dimensional multi-pass repair weld simulations", *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, Vol. 82, pp. 244~257

(12) ASME, 2004, "Materials", *ASME Boiler and Pressure Vessel Code*, Sec. II, Part D-properties"

(13) Dennis, R. J., Leggatt, N. A., Gregg, A., 2006, "Optimisation of weld modeling techniques-Bead on plate analysis", *Trans. of ASME PVP*, PVP2006-ICPVT-11-93907