Boiler Feed Water Coils 용접부의 파손원인 분석

(Failure Analysis of Boiler Water Coil Weld Joints)

한국기계연구원 *양원존, 이종훈, 조경식,
박반옥, 유위도, 임영목
창원대학교 배성인

서론

가동중 튜브 용접부의 손상으로 인한 가동 중단
→ 막대한 경제적 손실야기
→ 손상원인 분석을 통한 차후 손상방지가 필수적

가. 화학성분 분석

나. 경도시험

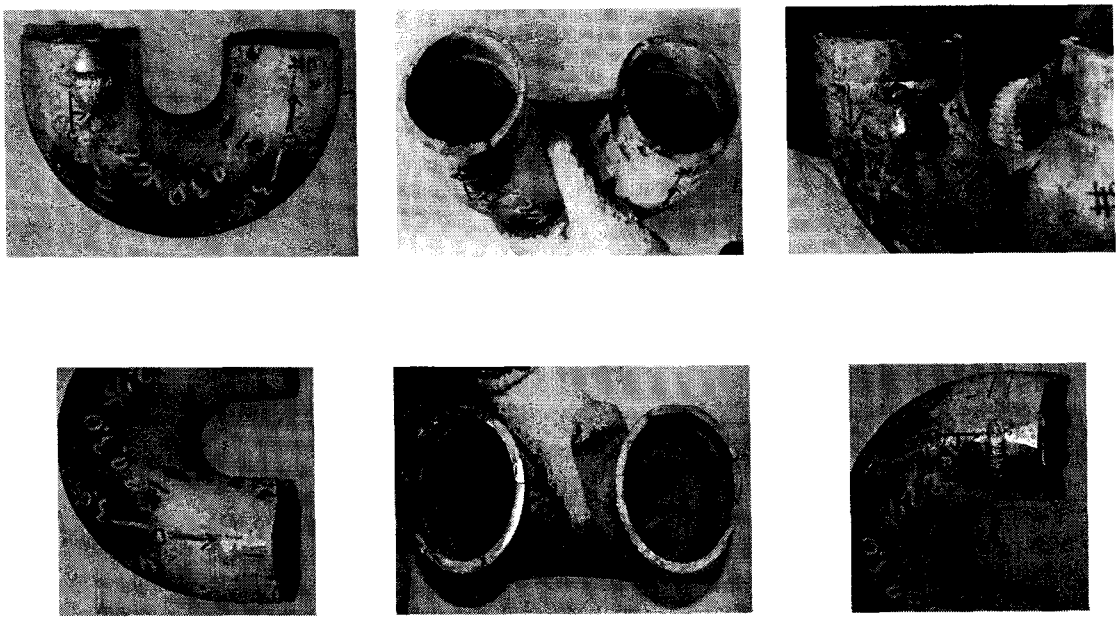
다. 비파괴 시험

라. 마크로 및 마이크로 조직 관찰

마. SEM 분석

바. FEM Simulation

튜브 용접부 손상품



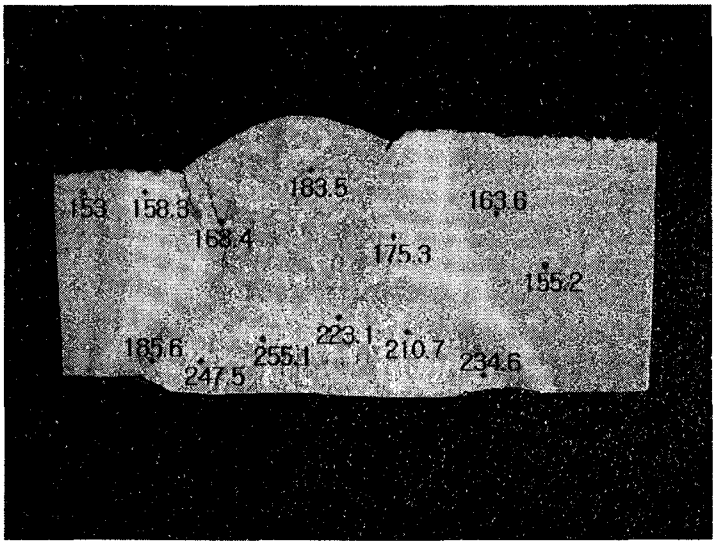
Test samples of tube welded joints for examination

Chemical composition

	C	Si	S	P	Mn	Ni	Cr	Mo	Cu
ASTM SA 106Gr. Gr B	0.20 max	0.10 min	0.01 max	0.025 max	1.15-0.29	0.40 max	0.40 max	0.15 max	0.40 max
Tube	0.16	0.22	0.008	0.008	0.63	0.077	0.074	0.015	0.199
ASTM SA 234 WPB	0.30 max	0.10 min	0.058 max	0.050 max	0.29-1.06	0.40 max	0.40 max	0.15 max	0.40 max
U-bend	0.18	0.28	0.004	0.010	0.61	0.036	0.039	0.021	0.083
Weld	0.088	0.78	0.014	0.013	1.36	0.019	0.026	0.003	0.124

Tube 및 U-bend 모두 Spec.을 만족

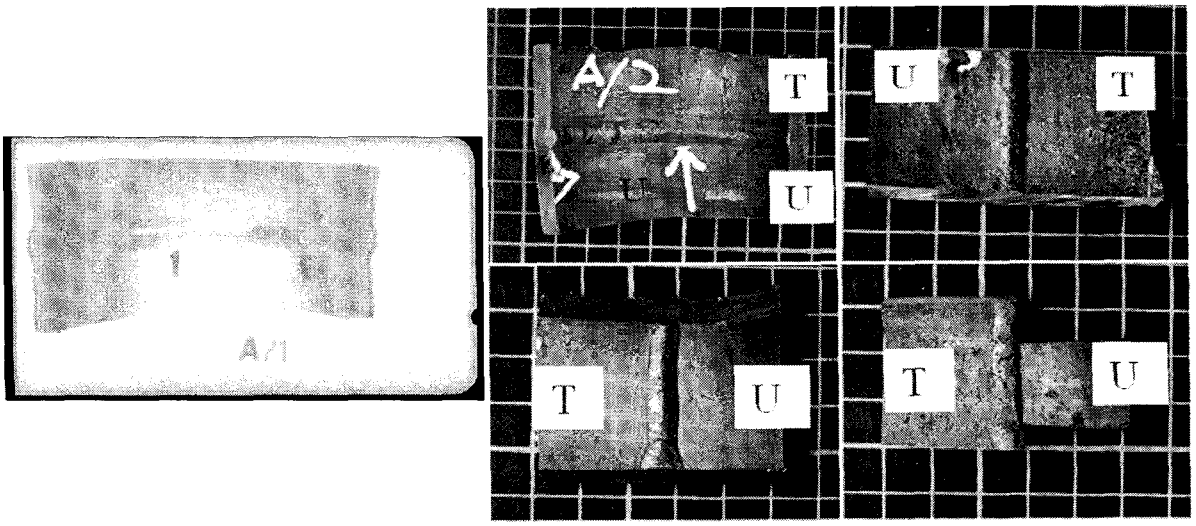
실험결과



Hardness test result

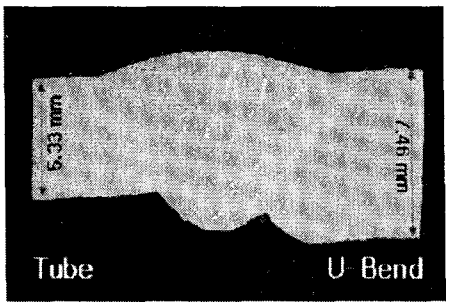
실험결과

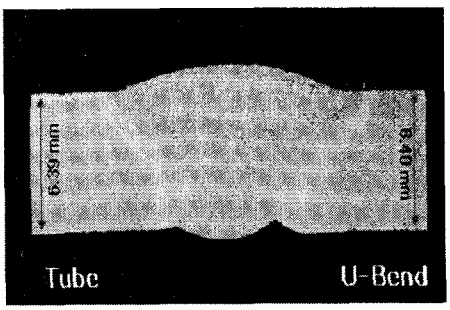
치명적인 언더컷(Undercut)발생

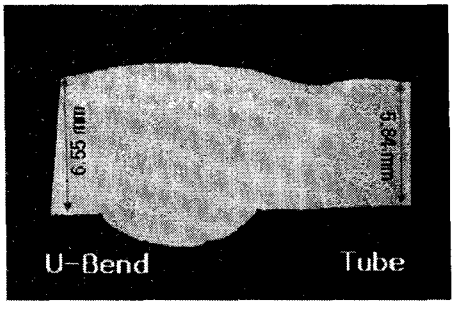


Non-destructive test result and tube internal surface

실험결과



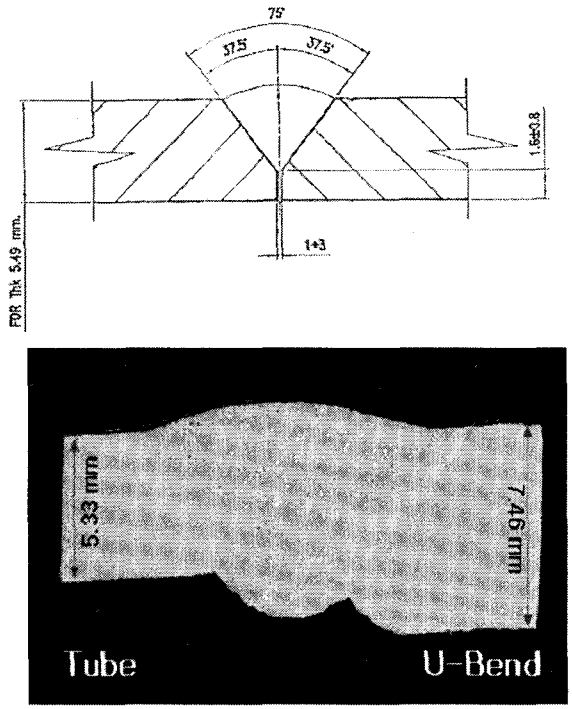




Macroscopic images of welded zone

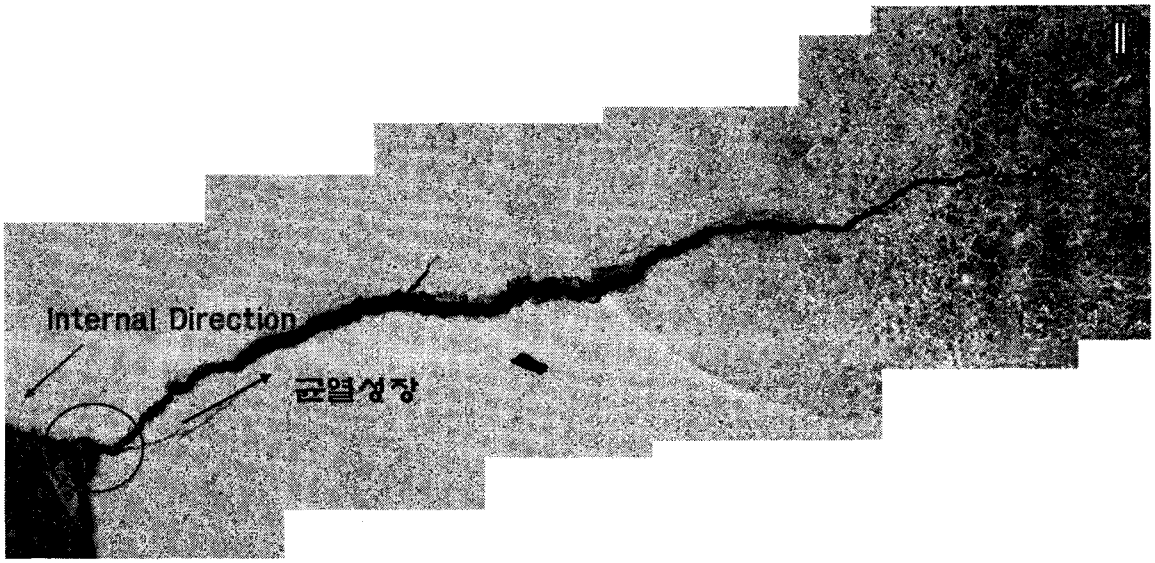
용접부의 두께단차 및 큰 루트간격으로
언더컷 발생→노치효과 유발

실험결과

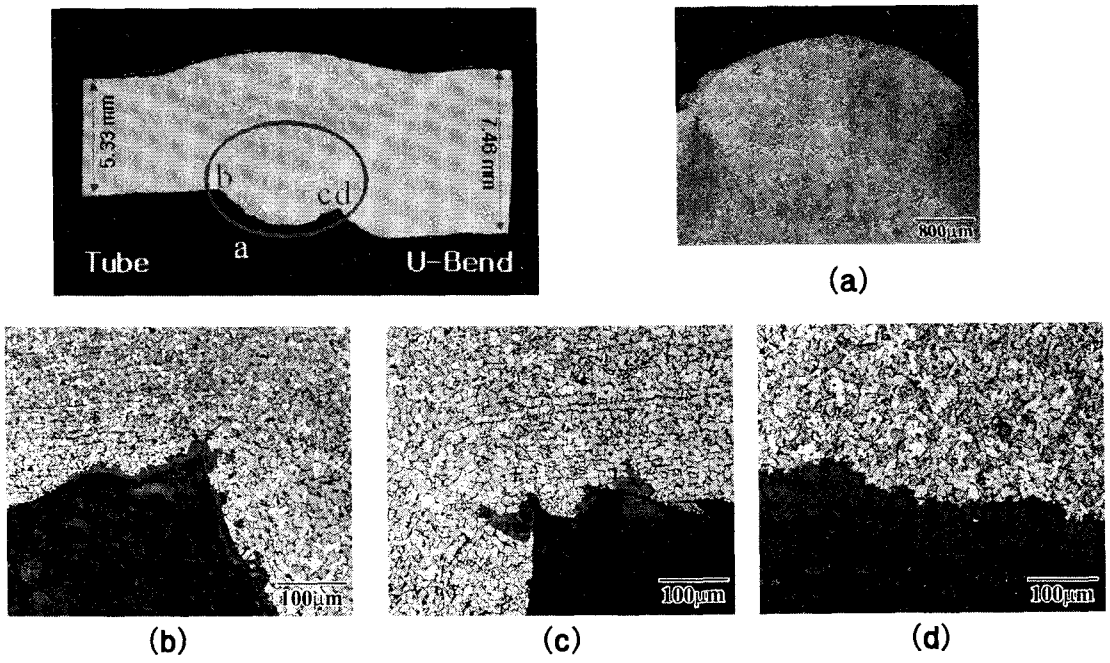


Comparison between design and actual weld zone

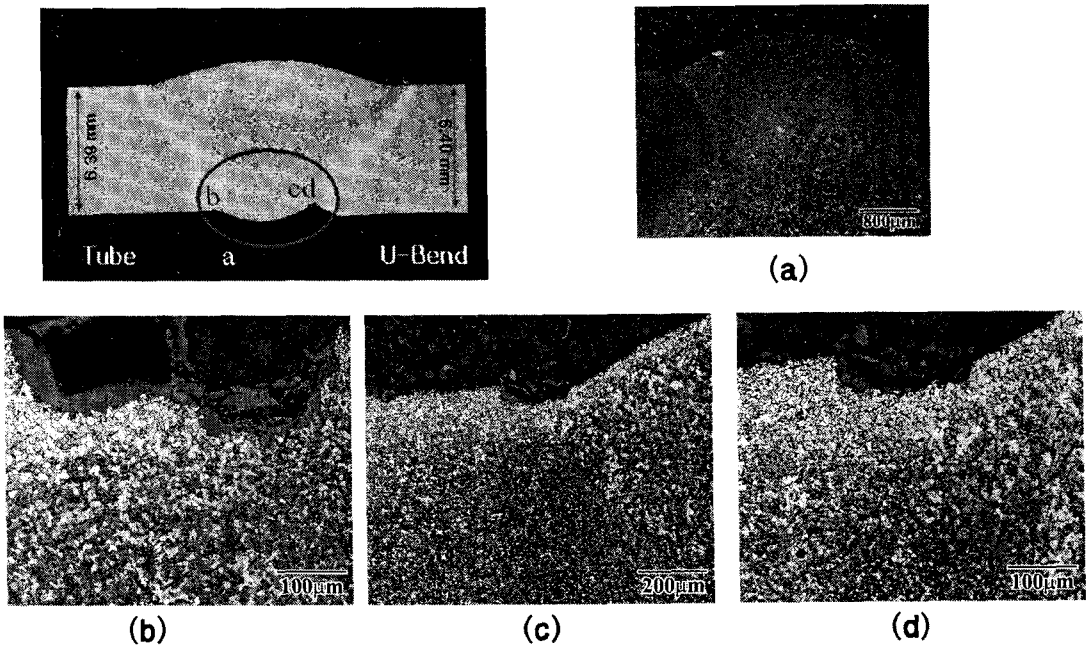
실험결과



OM image showing branched cracks which originated from weld defect

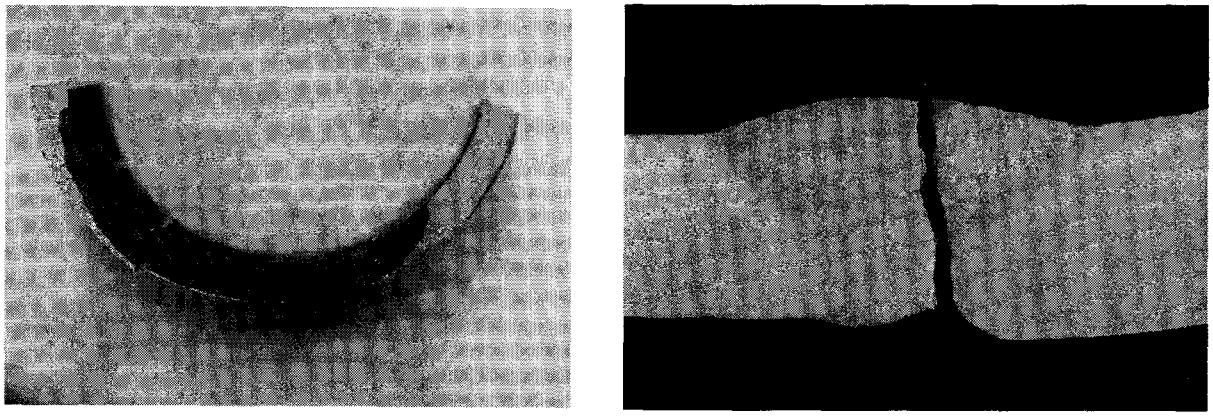


Macro and micro images of welded zone 1



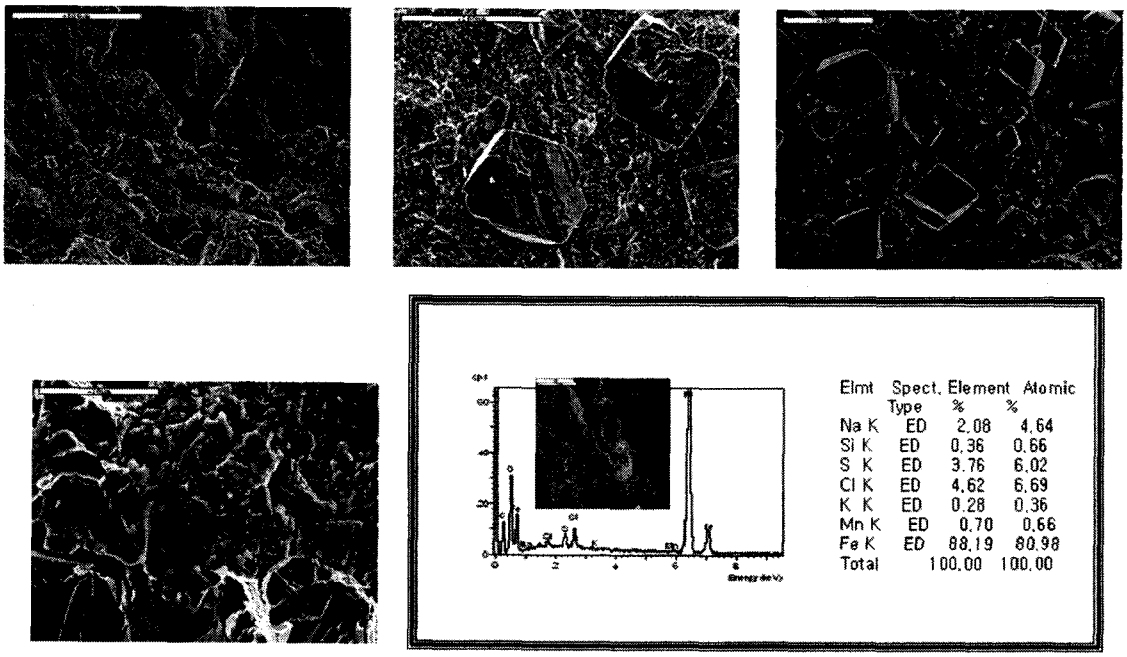
Macro and micro images of welded zone 2

실험결과



Fractured surface and macroscopic image close to the crack

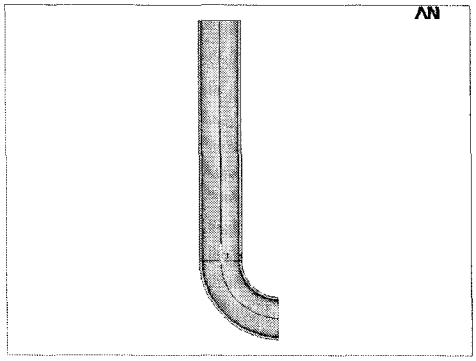
실험결과



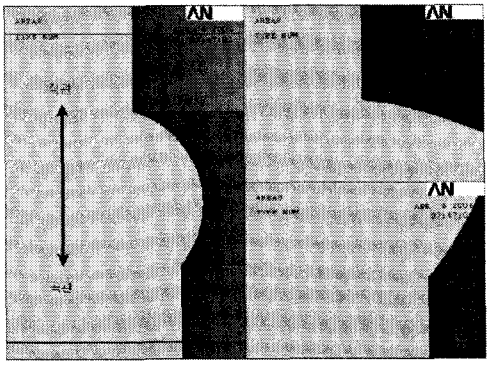
SEM image showing the fractured surfaces and EDS analysis result

FE Simulation

Node	Element
261,186	222,700

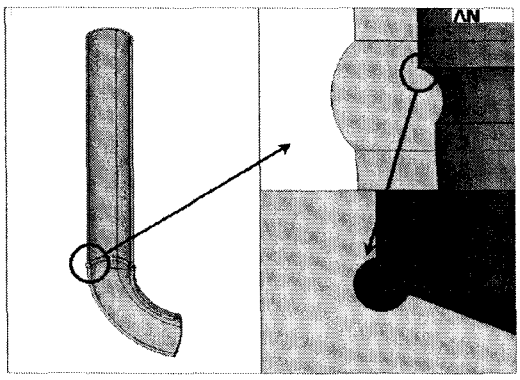


도면에 의한 모델링

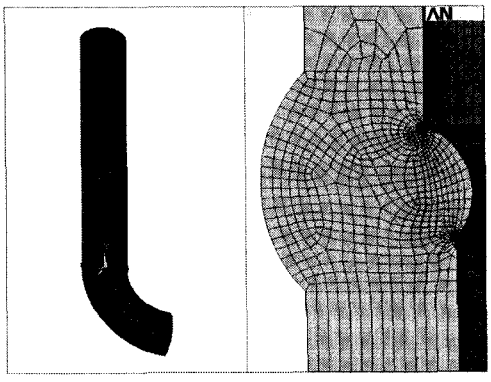


실제 용접부 형상을 고려한 모델링

FE Simulation



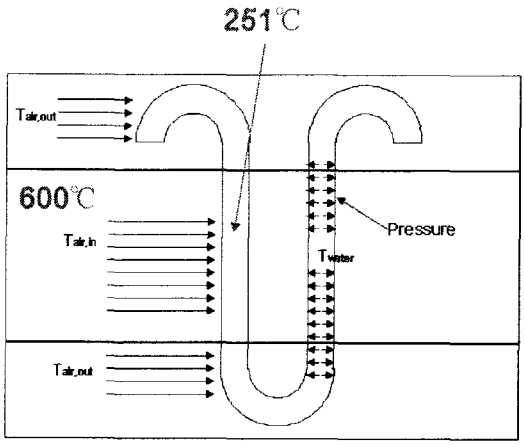
언더컷을 고려한 모델링



Boiler Feed Water coils
파손부의 유한요소모델

FE Simulation conditions

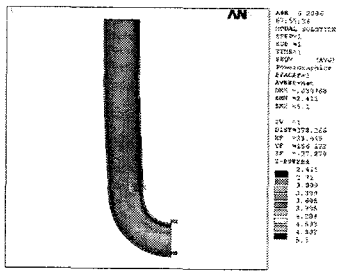
100℃, 200℃, 300℃ and 400℃
실제는 300℃ 이상



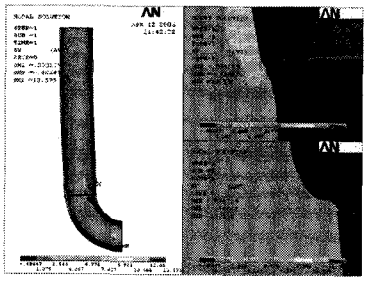
Boiler Feed Water coils에 작용하는 하중조건

FE Simulation result

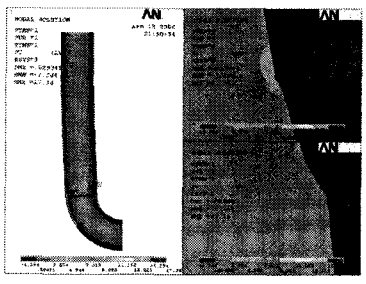
내부압력 51.5kgf/mm² 적용



도면치수에 따른 해석결과



실제 용접부 형상에 따른 해석결과



언더컷을 고려한 용접부 형상에 따른 해석결과

FE Simulation result

해석모델	Temp(℃)			균열부 응력(kgf/mm²)	
	$T_{air,in}$	$T_{air,out}$	T_{water}	균열에 수직한 응력 (kgf/mm²)	등가응력 (kfg/mm²)
1	-	-	-	2	3
2	-	-	-	14	10
3	-	-	-	17	15
4	600	100	251	-43	31
5	600	200	251	-4	8
6	600	300	251	22	18
7	600	400	251	53	38

결론 및 대책방안

결론

용접부의 손상 분석결과 아래 언급한 것처럼 크게 3가지 원인에 의한 노치 효과로 균열이 발생/성장한 것으로 판단된다.

첫째 : 내부 직경이 맞지 않아 노치효과 야기.

둘째 : 두께단차를 고려하지 않아 노치효과 야기.

셋째 : 루트간격이 커서 용융량이 많아 지명적인 언더컷 유발.

(유한요소법을 이용한 응력해석 결과로 유추해 볼 때 이런 부위는 가동 중 균열이 쉽게 생성/진전될 수 있는 충분한 응력집중 발생)

대책방안

상기 원인분석 결과와 같이 튜브 용접부 끝단의 노치(언더컷 및 두께단차)가 조기 파손의 주원인이므로 이와 같은 노치를 발생하지 않게 설계 제작하여야 할 것이다.

첫째, 직관과 U-bend 용접 핏업(fit-up)시 내부 직경이 일치되도록 설계 변경이 요구 된다.

둘째, 루트패스 용접시 언더컷 발생을 줄이기 위해 루트 간격을 현재의 1+3mm에서 1+1mm 정도로 줄이고 용가재의 직경도 현재보다 한단계 작은 것을 사용할 것이 요구된다 (예를 들면 현재의 2.4ø를 1.2ø로).

셋째, 현재 설치되어 있는 튜브들을 동일한 설계와 용접방법으로 용접되었다면 동일한 양상의 파손이 이어질 것으로 예상되므로 교체계획을 수립하여야 할 것으로 판단된다.