

영광 #1/2 복수기 누수부 보수공사

Yeonggwang #1/2 steam condenser leakage repair works

이 상철[†], 공 창식
두산중공업

Key Words : condenser, sodium leakage, roll expanding

Abstract : Power plant efficiency and availability depend greatly on condenser performance. However, during commissioning of Yeonggwang #1/2 steam condenser sodium leakage occurred, because of tube to tubesheet only roll expanding. Therefore this report is explaining that pre-test for the shake of improvement reliable repair processes & selected sampling tube re-expansion in-situ applications.

1. 서 론

영광 #1/2 복수기 응축수에 Na 농도가 증가함으로 튜브와 튜브시트 접합부위에서 누수가 발생함을 인지하여 누수를 방지하기 위해선 누수에 대한 원인을 검토하고, 누수를 방지하기 위한 적정 보수방법을 선정하여 작업하는 것이 필요하다. 복수기 응축수의 누수가 발생하는 원인을 검토한 결과 기존 복수기와 달리 튜브와 튜브시트의 접합을 확관만 수행하고 튜브시트 내부에 Groove를 형성하여 누수를 억제하고 튜브시트 내부를 관통하는 Seal water를 주입하여 Water box의 압력보다 높게 유지하여 해수가 튜브시트 내부로 유입되는 것을 방지하도록 설계되어 있으나, 장시간 운전으로 완전하게 접촉되지 않은 부위에서 해수의 이동 통로를 형성하고 Seal water의 압력이 Water box의 압력보다 낮게 설계되어 해수의 유입을 충분히 방지하지 못한 것으로 판단되었다. 누수에 대한 방지 대책을 검토한 결과, 누수 튜브에 대한 재 확관 작업이 가장 적합하다는 판단에 따라 재확관 작업의 건전성 평가 작업이 필요함에 따라 아래와 같은 Mock-up 시험을 수행하였다.

2. 시험 방법

영광 #1/2 복수기 보수 방법에 대한 Mock-up 시험은 누수부를 보수하는 방법인 재 확관(Rerolling expanding) 작업을 원활하게 하고, 접

합부의 우수한 품질을 확보를 위해 적정한 확관 압력을 선정하여 작업시 발생되는 불량률을 최소화하기 위해 다음과 같은 과정을 통한 시험을 수행하였다.

2.1 확관 장비 및 자재 준비

아래 Fig. 1, 2의 확관 장비는 일본 Sugino사 제품인 Controller와 확관용 Tool로서 맨드릴은 확관 후 내경 요구 값이 23.1 ~ 26.5mm 범위의 CB136을 사용하였다. 튜브 확관에 대한 Mock-up 시험을 수행하기 위해 Ti 튜브를 구입하여 $\phi 25.4 \times 0.711t \times 300L$ 로 150개 제작하였으며 튜브시트는 Al-Bronze 재질로 구입하여 홀 내경을 $25.68 +0.18/-0.08mm$ 로 제작하였다.

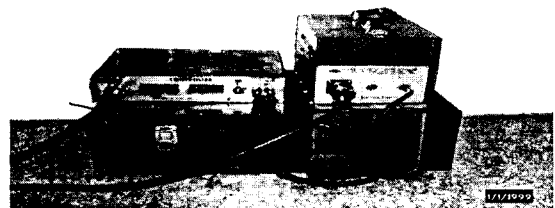


Fig. 1 Controller and AVR

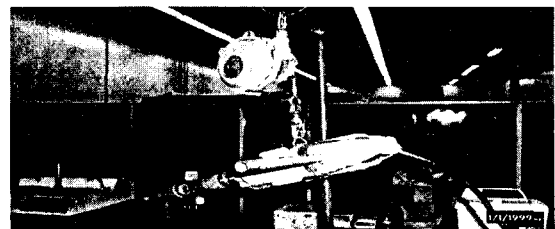


Fig. 2 Mandrel and roller set

2.2 누수 발생 실험

누수 발생 시험 조건은 수압시험 장비를 이용하여 시험압력을 6kg/cm^2 , 유지시간을 30분이며 결정된 확관압력으로 A Set는 2.4A, B Set는 2.8A, C Set는 3.5A로 확관을 수행하였다. 확관된 시편을 이용하여 누수 발생 유무를 조사하기 위해 수압시험 장비를 이용하여 조사한 결과 시편 B Set인 2.8A로 확관이한 시편과 C Set인 3.5A로 확관한 시편에서는 누수가 없었으며 A Set인 2.4A로 확관한 시편의 경우 1개 튜브에서 누수가 발생하였다.

상기의 누수 발생 시험 결과 누수를 발생시키기 위해서는 확관압력이 2.4A 이하로 확관해야 함을 인지하여 2차 재 확관 작업을 수행할 시편으로 제작한 시편은 D Set로 왼쪽 튜브시트 홀의 튜브는 2.4A로 확관하고 오른쪽 튜브시트 홀의 튜브는 2.0A로 확관하였으며, E Set는 왼쪽 튜브시트 홀의 튜브는 2.4A로 확관하고 오른쪽 튜브시트 홀의 튜브는 2.2A로 확관하여 제작하였다.

2.3 재 확관 압력 결정 시험

2차 확관 후 확관량의 적정 값의 기준은 확관만 수행한 복수기인 울진 #5/6 복수기의 확관율을 $8.5 \pm 2.5\%$ (6~11%)로 확관 작업을 수행한 경험을 바탕으로 재 확관의 경우에는 신규 제작한 확관을 범위보다 높게 확관되어야 할 것으로 판단되어 확관 후 튜브 내경 기준으로 24.45mm 이상이며, 확관을 분포의 경우 약 8.0%~12.0% 범위를 가지는 것을 목표로 하여 적정 2차 확관 압력을 결정하기 위한 시험을 수행하였다. 아래 Fig. 3은 실제 확관하는 장면을 보여주고 있다.

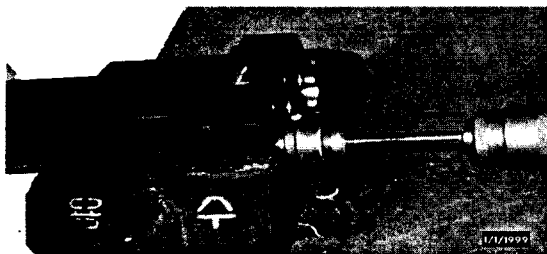


Fig. 3 Schematic of re-expanding

2.4 수압 시험

수압시험을 수행한 시편은 A Set, D Set, E Set로 수압시험은 수압시험 절차서에 의거 수행되었다. 그리고, 수압시험 조건은 복수기 설계압력의 1.5배인 75PSIG(6kg/cm^2)에서 시험을 수행

하였다.

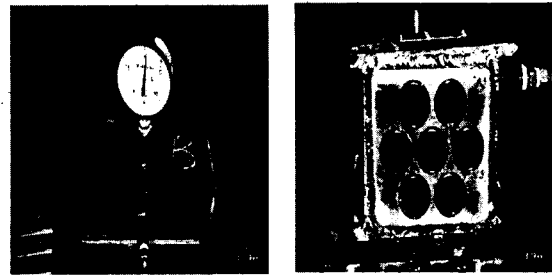


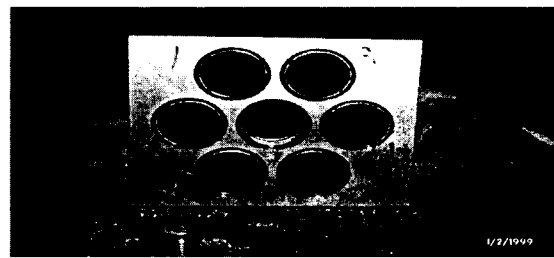
Fig. 4 Leakage test

Fig.4와 같이 2차 확관된 시편에 물을 주입하고 가압하여 6kg/cm^2 압력을 가한 후 30분 유지 후 검사압력에서 튜브시트와 튜브의 접촉 부위에서의 누수를 조사하였다.

2.5 인접 홀 영향 평가

1, 2차 확관으로 확관율이 8.0~12.0% 정도로 약간 높게 확관이 되어 있음으로 확관에 따른 인접 홀의 영향을 검토하는 것이 필요하다. 인접 홀에 영향을 미친다는 것은 인접 홀의 내경의 변화로 기존 튜브와 튜브시트의 접합 상태를 변화시켜 새로운 누수를 일으키는 원인을 제공할 수 있다는 데에 중요성이 있다고 판단되어 영향을 조사하였다. Fig. 5는 인접 홀의 영향을 보기위해 확관된 시편의 형상이다.

Fig. 5 Influence of adjacent hole



2.6 진공 누설 시험

복수기 튜브와 튜브시트 접촉부위에서의 누수 여부를 판단할 수 있는 시험방법은 Vacuum box test에 의한 시험 방법이 가장 유효하고, 당사 제작 복수기의 경우 Site에 복수기를 설치한 후 Vacuum Box test와 수압시험으로 접합부 건전성을 검사한다. 따라서 1, 2차로 확관된 튜브시트 접합부위의 누설 여부를 Vacuum box test를 수행하기로 결정하였다. Vacuum box test를 수행하기 위해 1차 확관압력을 2.4A, 2차 확관압력

을 3.0A로 확관된 시편을 이용하여 시험을 수행하였으며 Fig. 6은 실제 시험 장면이다.



Fig. 6 Vacuum test

2.7 조직 및 경도 측정

일반적으로 금속에 많은 소성변형을 일으킬 경우 가공경화에 의해 조직의 변화나 많은 잔류응력을 수반하여 재질의 특성을 변화시키는 현상을 일으킬 수 있으므로 가능한 소성변형을 적게 시키는 것이 재질 고유의 특성을 보유할 수 있다고 할 수 있다. 시험을 위해 사용한 튜브는 1차 확관을 2.4A로 확관하고 2차 확관을 3.0A로 확관한 시편을 이용하여 조직시험 및 경도 시험을 수행하였으며, Fig. 7은 확관 전,후의 튜브 조직사진과 확관 홀에서 미확관 홀까지의 튜브시트의 조직사진이다.

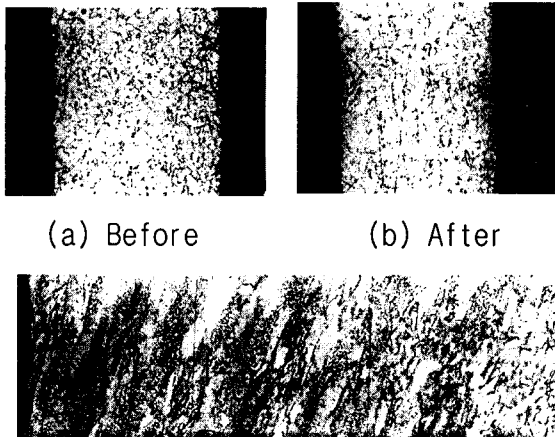


Fig. 7 Microstructure of ligament

2.8 Facing 영향 평가

복수기 누수 튜브에 대한 누수 여부를 평가할 수 있는 Vacuum box test를 수행하기 위해서는 복수기 Outlet 부위에 튜브가 약 30mm 정도 튜브시트 면에서 돌출되어 있으므로 시험을 수행할 수 없어 Outlet 부위의 튜브에 대한 Facing 작업이 필요하므로 Facing의 영향을 검토하기 위한 시편 제작은 튜브를 확관압력 3.5A로 튜브가 튜브시트 면에서 약 30mm 이상 돌출되도록 6개의 시편을 제작하여 Facing 하지 않는 3개의 돌출

된 튜브에 대해 인발시험을 수행하여 접촉강도를 측정하고, 나머지 3개의 튜브에 대해 Facing 작업을 수행한 후 시편의 접촉강도를 측정하여 Facing 전 후의 접촉강도의 변화를 조사하였으며 Fig. 8, 9는 Facing 시편과 인장시험 장면이다.

Fig. 8 Specimen of facing

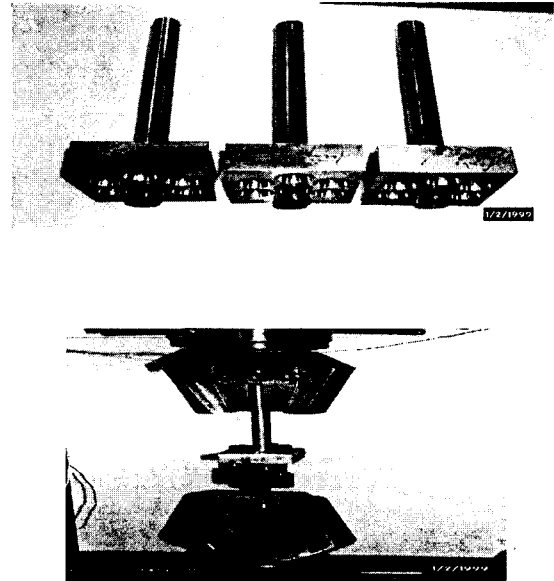


Fig. 9 Tensile test

3. 결 론

영광 #1/2 복수기의 경우 확관된 튜브와 튜브시트 사이에서 누수가 발생하고 있으므로 Mock-up 시험을 동일한 조건으로 재현하여 재확관에 따른 건전성을 입증하기 위한 여러 가지 시험 결과 만족한 결과를 얻었다.

참고문헌

1. Subsidiary of Incustries, Inc. Tube Rolling Procedure Steam Surface Condensers Titanium Tubes & Aluminum Bronze Tubesheet, SEC FILE 80C181
2. R.M. Brick, A.W. Pense and R.B. Gordon : Structure and Properties of Engineering Materials(4th Edition), McGRAW HILL BOOK Co., 1977, 25-35
3. Yokell, S : Heat Exchanger Tube-to-tubesheet connections, 1982