

가스터빈 압축기 로터용 관통볼트의 건전성 검사

Integrity Inspection of Through Bolt for Compressor Rotor in Gas Turbine

*김태형¹, #안명재¹, 이재현¹, 황재곤¹

*T. H. Kim¹, #M. J. An(an9229@kps.co.kr)¹, J. H. Lee¹, J. K. Hwang¹

¹한전 KPS(주) GT 정비기술센터

Key words : Gas Turbine, Compressor Rotor, Through Bolt, Shot Peening, Hardness

1. 서론

최근 대용량급 가스터빈 수요가 증가추세에 맞춰 주요 가스터빈 핵심 부품들에 대한 설계 및 제작기술 확보에도 관심이 매우 높아졌다⁽¹⁾. 그 만큼 핵심 부품들의 성능 및 신뢰성 확보가 결국 발전효율을 가능하는 주요 인자로 볼 수 있다. 특히 가스터빈 효율과 직결되는 회전체(rotor)는 고속회전시 발생된 진동을 예측, 제어함으로써 시스템의 안정성과 신뢰성을 확보해 요구수명에 도달하도록 설계된 핵심 요소이다. 여기에 사용되는 압축기 로터용 관통볼트는 다단의 휠 집합체를 체결 및 지지하므로 구조적 안정성이 요구된다. 그리고 운전 중 잦은 기동정지와 고온/고응력하에서 장시간 사용되므로 재료의 경년변화 및 응력집중 등으로 회전체의 변형과 진동 원인이 된다⁽²⁾. 이에 압축기 로터 분해 및 조립시에는 반드시 관통볼트의 건전성 검사가 선행 되어야 한다. 이에 본 연구에서는 GE 규정을 준수해 GE 볼트를 기준으로, 1차 제작된 볼트의 건전성을 검사하여 허용범위를 벗어난 항목에 대해 수정/보완을 거쳐 새롭게 제작한 후 재검사를 통해 유효성을 확인했다.

2. 검사내용 및 방법

GE 볼트(기준볼트)를 기준 볼트로 선정하고 1차 제작 볼트(제작볼트)의 건전성을 검사했다. 검사 항목들은 육안검사, 치수, 재질분석, 표면경도 및 표면처리(샷피닝) 검사로 요약된다. 각 항목에 대한 검사결과를 기준볼트 결과와 비교하여 기준허용치에 대한 포함여부를 확인했다. 이때 참고한 기준은 GE 규정과 도면들이다.

먼저 육안검사를 통해 볼트 외관, 가공상태 및 표면결함 유무를 살펴봤다. 그리고 도면을 참고해 기준공차를 포함한 볼트의 길이와 직경 치수를 검사하였으며, 너트와의 조립성도 검사되었다. 볼트 재질을 분석하고자 XRF 장비를 이용해 화학적 조성비를 얻고 기준볼트와 비교했다. 그리고 각 볼트 표면에서 경도를 측정해 그 값들을 비교했으며 표면에 샷피닝된 상태를 레플리카법으로 분석하여 건전성을 평가했다.

3. 검사결과 및 고찰

Table 1은 각 검사항목에 따른 기준볼트(Ref. Bolt)와 제작볼트(Bolt A), 그리고 수정 제작된 볼트(Bolt B)들의 건전성 검사결과를 보여준다.

육안검사를 수행하여 제작볼트의 외관상태가 양호했으며, 표면결함도 검출되지 않았다. 주요 치수검사를 수행해 제작볼트의 길이와 직경을 검사한 결과 2984mm로 측정되어 기준 범위에 포함됨을 확인했다. 또한 볼트의 양 단을 단순 지지하고 중앙에서 린아웃을 측정한 결과 제작볼트는 0.23mm 이내의 값을 주었고 허용치에 포함되었다. 아울러 너트와의 체결성을 검사한 결과 모두 양호한 조립성을 보였다. 볼트 표면에서 측정된 제작볼트 경도는 HRC 34~38로서 기준볼트의 HRC 35~38과 유사한 값으로 측정되어 기준치를 만족시켰다. 그리고 볼트 재질들을 XRF 분석기로 검사한 결과 주요 화학적 성분 및 함유량이 각각 Ni 2.5, Cr 11.3, Mo 1.2, W 1.0, Fe 82.0 wt(%)로 평가돼 제작볼트 재질이 기준볼트 재질과 같음을 확인했다. 이와 달리 샷피닝 상태는 세부 검사항목에서 다소 차이를

보였다. 제작볼트의 커버리지는 100% 이상으로 측정되어 기준볼트의 커버리지와 같아 허용치를 만족시켰다. 그러나 피닝에 의해 표면에 생성된 압흔의 크기에서 차이를 보였다. 이에 레플리카 방법으로 표면처리 상태를 정밀하게 검사하였다.

Fig. 1은 피닝된 볼트표면에서 얻은 레플리카 이미지들이다. (a)의 기준볼트는 뚜렷하고 조대한

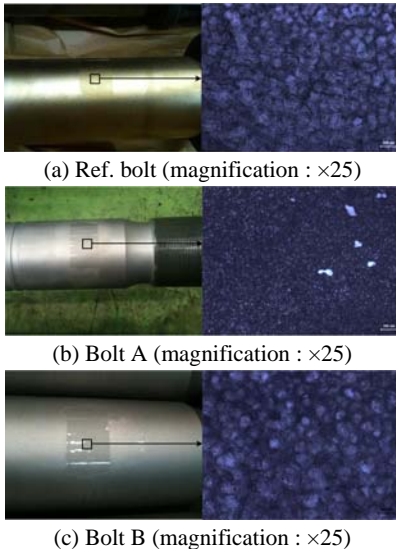


Fig. 2 Shot peened surfaces by replica method

Table 1 Inspection items and results

| Inspection items | | Bolt type | | |
|------------------|-----------------|-------------------|---------------|---------------|
| | | Ref. Bolt | Bolt A | Bolt B |
| Surface defect | | No | No | No |
| Dimension | Length (mm) | 2983.5 ~2984.0 | 2984 | 2984 |
| | Diameter (mm) | 75.95 ~75.97 | 75.95 | 75.95 |
| Runout(mm) | | ≤0.254 | 0.03 ~0.23 | 0.02 ~0.23 |
| Nut assembly | | Allowed | Allowed | Allowed |
| Material(Alloy) | | Ni-Cr-Mo | Ni-Cr-Mo | Ni-Cr-Mo |
| Hardness(HRC) | | 35~38 | 34~38 | 34~37 |
| Shot peening | Coverage (%) | ≥100 | ≥100 | ≥100 |
| | Dent size (mm) | 0.05 | 0.03 | 0.05 |
| | Intensity (mmA) | 0.15 ~ 0.25 | 0.12 | 0.24 |

압흔 이미지를 주나 (b)의 제작볼트는 (a)에 비해 작고 미세한 압흔 이미지를 준다. 이는 슛피닝 강도에 따른 소성변형 차 때문으로 판단된다. 이에 제작볼트 검사결과를 바탕으로 피닝처리가 보완된 수정볼트의 건전성을 재검사했다.

통상 압축기 로터용 관통볼트의 피닝강도는 A형 알멘스트립을 사용하여 6~10mils, 즉 0.15~0.25mmA를 제시한다. 그러나 1차 제작된 볼트 검사결과 0.122mmA로서 기준치 이내에 포함되지 않았다. 한편 수정볼트(Bolt B)의 강도는 0.24mmA로서 기준허용 범위에 포함되었다. 이와 같은 피닝 강도는 부품의 내구 설계수명 도달 여부와 관련된 결정적 인자로서 그 중요성은 여러 선행연구⁽⁹⁾에서 강조되고 있다. 또한 수정볼트 표면에서 얻은 압흔 이미지(Fig. 1(C))도 기준볼트의 이미지와 거의 유사하였으며, 그 외에 앞서 수행된 검사항목들도 모두 허용치에 포함되었다(Table 1 Bolt B). 종합해보면 본 연구에서 수행되어진 가스터빈 압축기 로터 관통볼트의 건전성 검사가 매우 유효함을 알 수 있다.

4. 요약

본 연구에서는 가스터빈 압축기 로터용 제작 관통볼트의 건전성 검사가 수행됐다. 육안검사, 치수, 재질, 경도 및 피닝처리 등을 검사했으며 GE 볼트와 비교해 건전성을 판단하였다. 평가 결과 제작볼트는 기준범위 이하의 피닝강도로 처리되었다. 이에 슛피닝 강도를 향상시켜 다시 제작된 수정볼트를 재검사했고 모든 항목에서 기준범위에 포함됨을 확인했다. 궁극적으로 본 연구에서 수행된 가스터빈 압축기 로터용 관통볼트의 건전성 검사가 유효함을 확인하였다.

참고문헌

1. 김수용, 오중식, 박무룡 "가스터빈 설계 및 해석기술" 유체기계저널, 3(3), 50-54, 2000.
2. Lucjan, W., "Failure Analysis of Turbine Disc of an Aero Engine," Engineering Failure Analysis, 593-601, 2002.
3. 조병진, 김태형, 정성균 "상온 및 고온환경에서 단조강의 피로수명 향상을 위한 최적 피닝강도 탐색" 한국생산제조시스템학회 춘계학술대회 논문집, 394-398, 2009