

밸브 글랜드 반복체결에 따른 패킹마찰계수 거동 시험

Experimental Study on Coefficient of Packing Friction Behavior by Gland Retorquing

이태경† · 이병학* · 류동화*

Lee Tae-Kyung, Lee Byoung-Hak and Ryu Dong-Hwa

1. 서 론

패킹은 밸브 내부의 공정유체가 스템부를 통해 외부로 누설되는 것을 방지하기 위해 설치되는데 밸브 동작시 패킹에서 발생하는 마찰력은 밸브의 동작성능을 좌우하는 중요한 요소 중 하나라고 할 수 있다. 외부 누설방지와 낮은 마찰력 유지를 위한 패킹설치방법에는 밸브 동작 및 글랜드 반복체결을 통해 패킹세트의 글랜드압력을 균등하게 분포되도록 유지하는 방법이 알려져 있으며, 시험을 통해 글랜드 반복체결에 따른 패킹응력 및 마찰계수 변화를 분석해 보았다.

2. 패킹설치 초기 응력특성

2.1 패킹설치에 따른 응력편중 현상

패킹은 밸브 스템핑박스에 설치된 후 상부 글랜드 너트를 통해 압축되면서 부피가 25~50%까지 감소하게 된다.¹⁾ 그런데 이 과정에서 패킹세트는 스템 및 스템핑박스와 마찰로 인해 상부에만 응력이 집중되는 현상이 발생하게 된다.

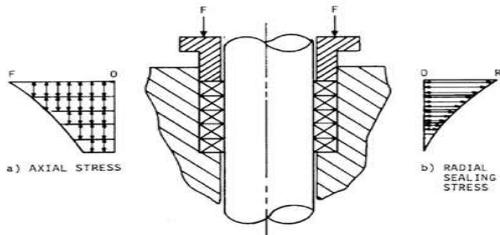


Fig.1 Packing Stresses After Initial Gland Torque

이와 같은 패킹세트의 응력편중은 정상운전시 밸브 스템이 동작됨에 따라 점차 해소되면서 패킹의 상부응력이 밀봉에 필요한 응력보다 낮아지게 되면 누설이 발생하게 된다. 이런 현상을 강화(Consolidation)라고 한다.

2.2 누설방지를 위한 Stroke-Retorque 방법

† 교신저자; 한국수력원자력(주) 원자력발전기술원
E-mail : tklee@khnp.co.kr
Tel : (042) 870-5674, Fax : (042) 870-5689

* 한국수력원자력(주)

패킹상부에 집중된 응력이 운전 중 해소되어 누설이 발생되는 것을 방지하기 위한 가장 효과적인 방법은 패킹설치 직후 밸브 동작과 글랜드 반복체결을 통해서 패킹세트의 응력분포를 개선해주는 것이며 이를 Stroke-Retorque 방법이라고 한다.

- 1-2 Initial compression
- 2-3 Initial consolidation, valve cycling.
- 3-4 Retorquing to preload value.
- 2-3-4 repeated until no further nut rotation (at least 5 times)
- In-service consolidation without proper packing consolidation

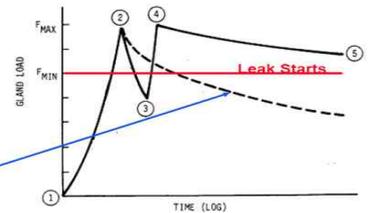


Fig.2 Packing Consolidation by Stroke-Retorque

밸브 동작시 낮아진 글랜드 응력은 반복체결을 통해 원래의 값으로 유지시켜주는 방법을 적용함으로써 밸브는 장시간 운전에서도 누설이 발생하지 않게 된다.

3. 패킹마찰력 측정시험

3.1 패킹마찰력 및 마찰계수 산출요소

패킹마찰력은 패킹세트가 스템과 밀착되는 마찰면적과 글랜드를 통해 가하는 응력, 그리고 패킹세트의 마찰계수에 비례한다.

$$F = S_g \times H \times D_s \times \pi \times fY \times N \quad (1)$$

여기서 F : 패킹마찰력, S_g : 패킹응력, H : 패킹높이,

D_s : 스템직경, fY : 패킹마찰계수, N : 패킹링 갯수
패킹마찰력은 또한 밸브스템에 응력센서를 부착하여 직접 측정이 가능하므로 식(1)을 통해 패킹세트의 마찰계수를 산출할 수 있고 이를 통해 마찰력 변화를 확인할 수 있다.

3.2 패킹마찰력 측정시험

패킹마찰력의 크기는 패킹세트의 마찰계수에 따라 결정되므로 본 시험은 밸브 Stroke-Retorque 방법적용시 패킹마찰계수의 변화값을 취득하는 방법으로 수행하였다. 시험에 사용된 패킹은 원자력발전소의 원자로계통에서 일반적으로 사용되는 Die-formed Graphite 패킹세트와 터빈계통에서 주로 사용되는 Teflon 패킹세트를 이용하였으며, 패킹설치

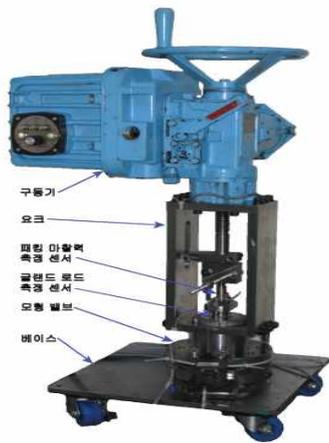


Fig.3 Mock-up for Packing Friction Test
 를 용이하게 해주는 윤활제를 적용한 작업과 윤활제를 적용하지 않은 작업으로 나누어 비교시험을 수행하였다.

3.3 패킹마찰계수 시험결과

시험방법은 패킹을 설치완료한 후 글랜드 응력을 목표한 값으로 체결한 후, 밸브를 1회 동작시키면서 패킹마찰력을 측정하고 이를 통해 패킹마찰계수를 계산하고 다시 기존 글랜드 응력값으로 재체결한 후 밸브 동작에 따른 마찰력을 측정하면서 Stroke-Retorque에 따른 패킹세트 응력의 변화와 마찰계수 변화추이를 분석하였다.

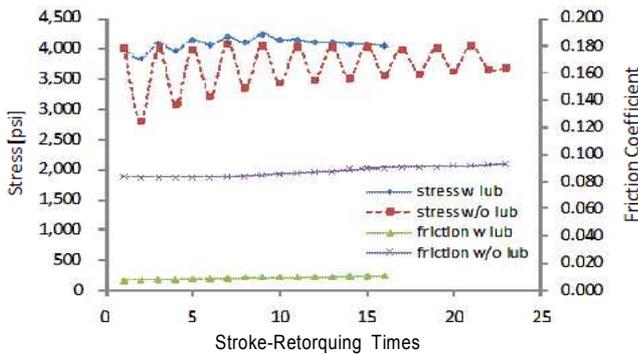


Fig.4 Die-formed Graphite Packing Test Result

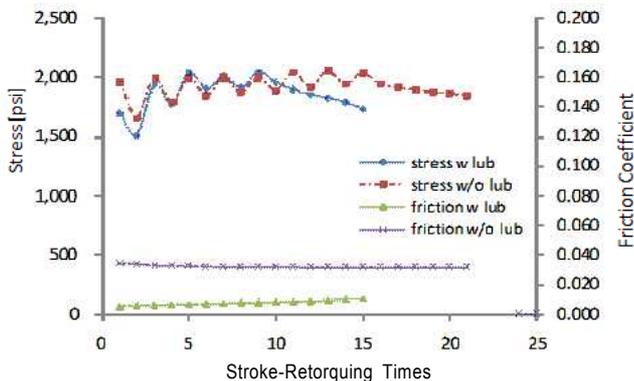


Fig.5 Teflon Packing Test Result

Fig.4에서는 Die-formed 흑연패킹을 적정 패킹응력인 4000 psi로 조립한 후 Stroke-Retorque를 수행한 결과 패

킹의 응력과 마찰계수의 변화를 보여주고 있다. 윤활제를 적용하지 않은 패킹의 경우에는 밸브동작에 따라 패킹응력이 지속적으로 감소하므로 반복체결 효과가 크지만 윤활제를 사용하는 경우에는 글랜드 반복체결 효과가 크지 않게 나타났다. 패킹마찰계수에 있어서도 윤활제를 적용한 경우 통상적인 범위(0.08~0.12)를 벗어나 상당히 낮은 값을 보여주고 있다.(0.006~0.01) Teflon 패킹을 이용한 시험에서도 Die-formed 흑연패킹과 유사한 결과를 Fig.5와 같이 보이고 있지만 Teflon 재질자체에 윤활기능이 있기 때문에 글랜드 반복체결 효과가 비교적 작게 나타난 것으로 보인다. 시험은 패킹 글랜드의 재체결시 체결력의 편차가 5% 이내가 되는 시점을 패킹의 적정경화(Consolidation)로 보고 Stroke-Retorque를 반복 수행하였다. Die-formed 흑연패킹 및 Teflon패킹 모두 윤활제를 적용했을 때 경화가 더 빠르게 완료되었는데 윤활작용에 따른 스템과 패킹간의 마찰력이 감소되었기 때문으로 판단된다. Table.1은 Stroke-Retorque 시험시 패킹응력의 변화를 보여주고 있다.

Table.1 Packing Stroke-Retorque Test Result

구 분	최대응력변화 [psi]	%	요구 반복 체결 횟수*
Graphite (윤활)	393	9	16
Graphite (윤활X)	1270	31	23
Teflon (윤활)	529	26	15
Teflon (윤활X)	398	19	21

* 반복체결값 편차가 5% 이내가 될 때까지 반복한 횟수

4. 결 론

패킹시험을 통해 확인된 공통점은, 윤활제 적용여부에 따라 초기 패킹마찰력의 차이가 상당히 크다는 점이며, 밸브 동작에 따른 글랜드 응력의 변화는 윤활제 적용시 더 작게 나타난다는 점이다. 이는 윤활제에 의한 패킹마찰력 감소효과로 볼 수 있다. 그렇지만 이러한 효과는 정상운전시에는 윤활제가 증발되어 사라지게 되므로 운전중 마찰력의 변화가 예상되므로 추가적인 연구가 필요한 부분이다. Die-formed Graphite 패킹의 경우, 밸브 행정에 따라 패킹세트의 응력이 최대 1270[psi]까지 감소되는 것으로 나타났다. 이는 패킹초기 설치후 후속적인 글랜드 반복체결이 필수적이며 누설방지를 위해 적절한 Stroke-Retorque가 수행되어야 함을 보여주고 있다.

참 고 문 헌

- 1) M. Bridges, 2002, "Valve Packing Performance Improvement" *EPR*, p.5-2
- 2) N.J.Fisher, 2008, "Performance Testing of AP Style 5718 Valve Packing" *AECL*, p.13~14