

압력잠김 및 열고착 현상 발생가능 밸브의 선정

이성노* · 안진근* · 김석범**

Selection of Valves Susceptible to Pressure Locking and Thermal Binding

Sung No Lee*, Jin Geun An*, Seoug Beom Kim**

Key Words : Safety-Related Power-Operated Gate Valve(안전관련 동력구동 게이트 밸브), Pressure Locking(압력잠김), Thermal Binding(열고착), Selection Criteria and Procedure for Pressure Locking and Thermal Binding of Valves(압력잠김 및 열고착 발생가능 밸브 선정기준 및 절차)

ABSTRACT

Some gate valves are susceptible to pressure locking and thermal binding which prevent the safety function. The safety related gate valves susceptible to pressure locking and thermal binding shall be identified and taken preventive actions to ensure the safety function. The identification of the gate valves susceptible to pressure locking and thermal binding needs the evaluation of system design, valve and piping arrangement, test requirements, and operating conditions. Application of preventive methods should consider the system safety function, applicability, effectiveness, interface with system design, and cost. The selection procedure of valves susceptible to pressure locking and thermal binding can be effectively used in industry including nuclear power plants. In order to prevent the pressure locking, the hole can be drilled through the one disc of upstream side or down stream and the external equalizing line can be installed from bonnet to downstream or upstream. The double disc parallel seat valve type can be used instead of flexible wedge gate valve to prevent the thermal binding. The identification of gate valves susceptible to pressure locking and thermal binding, and preventive actions will meet the regulatory requirements and enhance the availability and safety of plants.

1. 서론

미국 원전에서 안전관련 모터구동 밸브 (safety-related motor-operated valve) 및 동력구동 게이트 밸브

(safety-related power-operated gate valve)의 잦은 고장으로 인하여 발전소의 안전성 및 신뢰성이 저하되자 이에 대한 안전성을 확인 및 입증하기 위해 미국 원자력 규제위원회(Nuclear Regulatory Commission)는 Generic Letter 89-10⁽¹⁾ 및 Generic Letter 95-07⁽²⁾을 발행하여 안전성 확인 및 시정조치를 요구하였으며, 발전사업자들은 자체적으로 모터구동 밸브의 안전성 확보

* 충남대학교 공과대학 기계공학부
** 충남대학교 대학원 기계공학부
E-mail(안진근) : ajgkis@hanmail.net

압력잠김 및 열고착 현상 발생가능 밸브의 선정

방안을 강구하여 시행하고 있다. 국내에서도 국내원전의 안전관련 모터구동 밸브의 작동성 및 동력구동 게이트 밸브의 압력잠김 (pressure locking) 및 열고착 (thermal binding)에 대한 안전성을 평가하고 필요한 조치를 수행하도록 권고사항을 발행하였다⁽³⁾.

안전관련 동력구동 게이트 밸브의 압력잠김 및 열고착 현상은 주로 계통 내에서 유체의 압력과 온도의 영향에 의해 발생하는 현상으로서 분석이 매우 복잡하며, 동 현상 발생가능 대상밸브의 선정방법 및 절차가 정립되지 않은 상태이다. 지난 수년 동안 국내외 여러 원자력 발전소에서 밸브의 압력잠김 및 열고착 현상이 발생되어 밸브가 작동되지 않은 사례가 있었으며, 원자력 발전소의 안전관련 계통 내에 설치된 게이트 밸브에 대한 압력잠김 및 열고착은 밸브 설계 및 제작 시 고려해야 할 주요 사안으로 대두되고 있다.⁽⁴⁾

미국의 경우 Generic Letter 89-10 및 Generic Letter 95-07 등의 발행을 계기로 압력잠김 및 열고착 현상에 대한 연구와 논의가 활발히 진행되고 있으며,⁽⁵⁻⁸⁾ 국내에서도 동 현상관련 문제에 대한 연구가 진행되고 있다⁽⁹⁾.

압력잠김 또는 열고착 현상은 발전소 운전 중 밸브에 특정 압력과 온도 조건이 형성되면, 밸브 형상, 밸브 재질의 열적 성질 등과 같은 밸브의 설계 및 운전 특성으로 인하여 발생된다. 여러 발전소의 설계, 운전경험을 조사한 바, 이런 현상이 밸브의 설계 기준으로 항상 고려되지 않은 경우도 있었다.⁽⁴⁾ 발전소 운전 및 사고 상태를 모두 포함하는 공학적 분석을 통하여 압력잠김이나 열고착 현상이 발생할 수 있는 안전관련 게이트 밸브를 선정하고, 선정된 밸브들에 대하여 적절한 수정 및 보완작업이 수행되어야 한다.

본 연구에서는 압력잠김 및 열고착 현상 관련 국내외 규제요건 및 발생사례, 동 현상분석 및 방지대책, 발생가능 밸브의 선정방법, 실제 적용상황 등을 검토, 고찰하여 동 현상관련 대상밸브의 선정절차를 수립함으로써 원자력 발전소 안전성 향상에 기여하고자 한다.

2. 압력잠김 및 열고착 현상관련 규제요건 및 발생사례

2.1. 규제요건

미국 원자력 규제위원회는 Generic Letter 89-10을 발행하여 모터구동 밸브의 설계기준 검토, 스위치 설정

확인, 설계기준 조건에서 시험수행, 모터구동 밸브의 고장 평가와 필요한 조치, 개선 등을 요구하였다⁽¹⁾. 또한 NUREG-1275, Volume 9를 발행하여 모터구동 게이트 밸브의 압력잠김과 열고착 현상관련 문제를 해결하기 위한 접근방법을 제시하였으며⁽⁴⁾, Generic Letter 95-07을 발행하여 안전관련 동력구동 게이트 밸브의 압력잠김 및 열고착 현상에 대한 취약성 여부를 평가하고, 동 현상에 취약한 밸브에 대해서는 이 밸브가 안전기능을 수행할 수 있는지를 입증하기 위해서 심층분석 및 필요한 조치를 수행할 것을 요구하였다.⁽²⁾

과학기술부는 모터구동 밸브의 설계기준 조건에서 안전기능 확인 및 동력구동 게이트 밸브의 압력잠김과 열고착 현상에 대한 안전기능 확인을 위한 권고사항을 발행하여 국내의 운영 및 건설 중인 원자력 발전소에 대한 관련 조치를 요구하였다⁽³⁾.

2.3. 압력잠김 및 열고착 현상 발생사례

압력잠김 현상은 플렉시블 웨지 게이트 밸브 (flexible wedge gate valve)와 더블 디스크 패러렐 시트

Table 1 Pressure locking events

발전소 (발생일자)	밸브기능 및 디스크 형태	해결 방법
Ginna ('69.12.06)	잔열제거 격납용기 배수조 흡입 격리밸브 [더블 디스크, 10"]	Vent line 설치
San Onofre Unit 1 ('81.09.03)	안전주입밸브 [더블 디스크, 14"]	-
Vogtle Unit 1 ('88.01.28)	잔열제거 고온관 교차 격리밸브 [더블 디스크, 8"]	Disc에 구멍 가공
Burnswick Unit 1 ('88.05.28)	고압 냉각재 주입 증기 흡입밸브 [플렉시블 웨지]	Disc에 구멍 가공
Fitz Patrick ('88.11.17)	격납용기 살수밸브 [더블 디스크]	Disc에 구멍 가공
Turkey Point-4 ('89.05.23)	잔열제거 흡입 격리밸브 [더블 디스크]	Equalizing line 설치
Fitz Patrick ('91.05.07)	저압 냉각재 주입/저압 노심 살수 주입밸브 [플렉시블 웨지, 24"]	Disc에 구멍 가공
Grand Gulf ('92.01.08)	잔열제거 수조 흡입밸브 [플렉시블 웨지, 10"]	Vent line 설치

Table 2 Thermal binding events

발전소 (발생일자)	밸브기능 및 디스크 형태	해결 방법
Lasalle Unit 1 (‘83.11.04)	잔열제거 경계내 흡입 격리 밸브 [플렉시블 웨지]	-
Big Rock Point (‘84.02.22)	원자로 감압계통 격리밸브 [플렉시블 웨지]	-
Burnswick Unit 1 (‘88.07.01)	고압 냉각재 주입 증기 흡 입밸브[플렉시블 웨지]	-
Davis-Besse (‘90.01.26)	원자로 냉각재계통 유출수 냉각기 격리밸브 [슬리드 웨지]	-
- (‘91.01.28)	잔열제거 수조유입 밸브 [플렉시블 웨지]	절차서 개정

게이트 밸브 (double disc parallel seat gate valve)에서 발생하기 쉬우며, 열고착 현상은 웨지형 (wedge type) 게이트 밸브에서 발생하기 쉽다. 이들 현상의 발생 가능성은 밸브의 크기와 무관하며, 특정 밸브 제작자에 국한되지 않고 있다.⁽⁴⁾ Table 1에 압력잠김 현상 발생사례를 나타내며, Table 2에 열고착 현상 발생사례를 나타낸다.

3. 압력잠김 및 열고착 현상분석 및 방지대책

3.1. 압력잠김 현상분석 및 방지대책

3.1.1. 압력잠김 현상분석

모터구동, 공압구동, 유압구동 등을 포함한 동력구동 게이트 밸브의 압력잠김은 플렉시블 웨지 형태와 더블 디스크 웨지 형태의 게이트 밸브에서 본넷 내에 충전된 물이 온도상승 등의 요인으로 인하여 가압되거나, 밸브 본넷 내의 압력이 계통 배관압력보다 순간적으로 높아져 밸브 본넷 내에 압력고립 현상이 발생함으로써 밸브 구동기가 밸브 디스크 사이의 차압을 이겨내지 못하기 때문에 밸브가 열리지 않는 현상을 말한다.

더블 디스크 게이트 (Fig. 1, Fig. 2) 밸브와 플렉시블 웨지 게이트 (Fig. 3) 밸브의 압력잠김 현상은 밸브 본넷의 특성과 밸브가 설치된 위치의 설계조건에 의존한다. 압력잠김 현상이 발생되기 위한 기본 조건은 밸브 디스크 영역을 포함한 밸브 본넷 내에 유체가 충전되어야

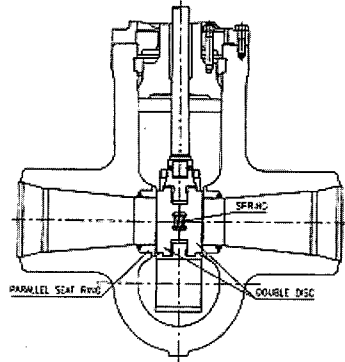


Fig. 1 Double disc parallel seat gate valve (spring type)

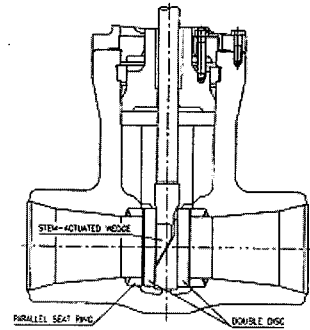


Fig. 2 Double disc parallel seat gate valve (stem type)

하는 것이다. 정상적으로 밸브를 열거나 닫는 과정에서 밸브 본넷 내에 유체가 충전될 수 있으며, 또한 밸브가 닫혀 있는 경우에도 디스크 양단간의 압력 차에 의해서 시트가 디스크로부터 약간 밀림으로써 유로를 형성시켜 본넷 내에 고압의 유체가 충전될 수 있다. 밸브가 이러한 상황에 처하게 되면 유체 압력, 온도변화, 밸브가 열려야 하는 순간 밸브가 설치된 위치의 배관압력 등의 상태에 따라 압력잠김 현상이 발생할 수 있다.

계통의 온도가 450 °F 이상인 경우에는 유체로 충전된 밸브 본넷 내의 온도가 1 °F 상승함에 따라 압력은 100 psi 상승되며, 계통의 온도가 낮은 (약 100 °F 정도) 경우에는 밸브 본넷 내의 온도가 1 °F 상승함에 따라 압력은 33 psi 상승된다. 본넷 내의 압력이 고압 (1200 psig 이상)인 경우는 물론 저온 (200 °F 이하)인 경우에도 압력잠김 현상이 발생할 수 있다.⁽⁴⁾

압력잠김 현상은 시트로부터 디스크의 분리를 방해하여 매우 높은 전류가 걸린 채로 모터가 로터 구속상태

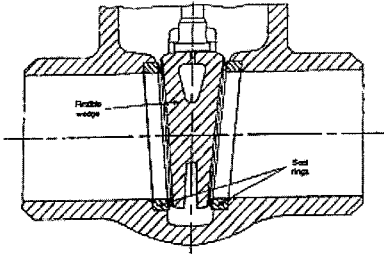


Fig. 3 Flexible wedge gate valve

에 처하게 한다. 이 상태에서는 10~15초 이내에 모터 내부가 가열되어 모터가 소손되거나, 모터 토크 성능이 감소되어 설계기준 조건에서 밸브의 기능을 발휘할 수 없게 된다. 밸브가 닫힌 후, 만일 약 10초 이내에 누수로 인하여 본넷 내의 압력이 감소하지 않으면, 밸브의 기능에 문제가 있을 수 있다⁽⁴⁾. 압력잠김 현상이 발생되면 증가된 본넷 내의 압력이 디스크를 통한 누수를 감소시키기 때문에 본넷 내의 압력이 감소되는 가능성은 희박해지며, 이에 따라 밸브가 작동하지 못하여 계통운전이 불가능해져 사고가 발생할 수 있다.

압력잠김 현상은 본넷 내부에 물과 같이 비압축성 유체가 충전되어 있을 때 큰 영향을 미치지만 기체(가스, 공기)와 같이 압축성 유체로 충전된 경우에는 그 효과가 우려할 만큼 크지 않다.

3.1.2. 압력잠김 현상 방지대책 및 특징

아래와 같은 방법들이 압력잠김 현상을 방지하기 위한 대책으로 고려될 수 있다.

- 1) 밸브의 입구 또는 출구 측의 밸브 디스크에 소형 구멍을 가공한다.
 - 가) 반드시 고압측 디스크에 소형 구멍을 가공한다.
 - 나) 비용이 가장 저렴한 방법이다.
 - 다) 가장 단순한 방법으로 널리 채택되고 있다.
 - 라) 운전원에 의한 조작이 필요없고, 매우 효과적이다.
 - 마) 고압이 작용하는 한 방향으로만 밀폐가 가능하다.
- 2) 밸브 본넷에 자동 방출 밸브 또는 배기밸브를 설치한다.
 - 가) 밸브의 외부에 일정한 장치 가 필요하다.
 - 나) 배기 밸브가 설치될 경우 계통이 가열되면 운전원의 조작이 필요하다.
- 3) 밸브 본넷과 입구 또는 출구 측을 연결하는 외부 우

회관(수동 밸브 포함)을 설치한다.

가) 정상 운전시 우회 수동 밸브는 항상 열려 있어야 한다.

나) 양방향으로 격리가 요구될 때는 1)항의 대안으로 채택한다.

4) 밸브의 완전한 닫힘이 요구되지 않을 때에는 밸브가 완전히 닫히기 전에 디스크를 정지시킴으로써 본넷에 유체가 고립되지 못하도록 한다.

3.2. 열고착 현상분석 및 방지대책

3.2.1. 열고착 현상분석

모터구동, 공압구동, 유압구동 등을 포함한 동력구동 웨지 게이트 밸브가 고온 상태(150°F 이상)에서 닫힌 후 밸브가 열리기 전에 충분히 냉각(Δ50°F 이상)되는 경우,⁽¹⁰⁾ 밸브의 몸체가 밸브 디스크보다 더 크게 열수축되어 밸브 시트가 밸브 디스크를 단단히 조임으로써 기계적인 접촉이 일어나 밸브가 잘 열리지 않는 현상을 말한다. 열고착 현상이 발생되면 밸브의 구동기에 고장이 발생하고 이에 따라 밸브가 작동하지 못하여 계통운전이 불가능해짐으로써 사고가 발생할 수 있다. 이러한 현상은 밸브의 부적합한 보수나 변경으로 인하여 밸브 시트와 디스크의 여유도가 감소된 밸브의 경우에 발생할 가능성이 많다. 과도한 힘으로 밸브를 닫을 경우 밸브 디스크가 시트에 단단히 조여짐으로써 냉각 시 열고착 현상 발생 가능성이 높아진다.

3.2.2. 열고착 현상 방지대책 및 특징

아래와 같은 방법들이 열고착 현상을 방지하기 위한 대책으로 고려될 수 있다.

- 1) 더블 디스크 평행 시트 게이트 밸브를 사용한다.
 - 가) 디스크의 접촉부위가 고정되어 있지 않기 때문에 밸브 몸체가 온도변화에 의해 수축 또는 팽창될 경우에도 디스크가 시트에 고착되는 현상이 발생되지 않는다.
 - 나) 설계, 건설 단계에서부터 더블 디스크 평행 시트 게이트 밸브로 선정하는 것이 효과적이다.
- 2) 계통을 냉각시킬 때 주기적으로 밸브를 조금씩 열고 닫는 과정을 되풀이하여 디스크와 몸체의 수축율을 균일하게 한다.

- 가) 운전 절차서의 변경이 필요하다.
 - 나) 운전원 조치사항의 변경이 필요하다.
- 3) 밸브 디스크에 과도한 잠금 힘이 작용되지 않도록 한다.
- 가) 밸브의 운전상태나 운전매체를 확인한다.
 - 나) 온도변화가 클 경우에는 바람직하지 못하다.
- 4) 모터 구동기에 보정 스프링 팩을 설치함으로써 모터 전원이 차단될 때 관성에 의한 잠금 힘을 흡수할 수 있도록 한다.

4. 압력잠김 및 열고착 현상 발생가능 밸브 선정

4.1. 압력잠김 현상 발생가능 조건 및 밸브 선정

4.1.1. 압력잠김 현상 발생가능 조건 및 밸브 선정기준

압력잠김 현상이 발생하는 기본 조건은 밸브 본넷 내에 유체가 충전된 후 이 유체의 온도가 상승함으로써 본넷 내의 압력이 상승하거나, 고압의 유체로 충전된 밸브 본넷 내에 압력고립 현상이 발생하여 밸브 본넷 내의 압력이 계통 배관압력보다 높아지는 것이다.

압력잠김 현상 분석 시 본넷은 밸브가 닫힌 상태에서 충분히 물로 채워져야 하며, 본넷으로부터 패킹 및 밸브 몸체 밀봉 면으로의 누설은 없어야 하고, 디스크와 시트의 접촉면을 통한 배관에서 본넷으로의 누설은 고려하지만 그 역은 고려하지 않는다는 전제 조건이 필요하다. 이와 같은 가정 하에 밸브 본넷 내에 유체가 충전되어 온도가 상승함으로써 압력이 증가될 수 있는 경우와 고압의 유체가 밸브 본넷에 고립될 수 있는 경우를 나열하면 다음과 같다.

- 1) 밸브 본넷 내에 유체가 충전되어 온도가 상승함으로써 압력이 증가되는 경우
 - 가) 계통의 유체가 물인 경우, 계통 배관에 물이 차있는 상태로 밸브가 닫힌 후 본넷 주변의 복사열, 배관 주변의 전도 및 복사열, 고온의 계통유체의 전도열 등으로 인하여 본넷 내의 물의 온도가 상승하여 압력이 증가한다.
 - 나) 계통의 유체가 증기인 경우, 계통이 고온으로 운전되다가 저온에서 정지한 후 밸브 본넷에 응축수가 고여 가)항의 경우와 같은 사유 등으로 가열될 때 고였던 응축수가 증기화 되면서 고압이 형성된다.

2) 급격한 감압현상으로 인하여 유체로 충전된 본넷 내에 압력고립이 발생하는 경우

가) 계통 배관에 물이 차있는 상태에서 밸브가 닫히고 계통 운전, 시험 등 각종 모드 및 냉각제상실 사고나 배관압력을 저하시키는 기타 사고로 인하여 계통에 가압되어 있던 압력이 급격히 강하여 본넷 내에 압력고립 현상이 발생된다.

나) 가)항의 특정한 예로서 직렬로 설치된 두 대의 격리밸브 사이의 배관에 유체가 고립되고 두 밸브의 바깥쪽 배관 내의 유체가 고압인 경우, 이 고압의 유체가 급격히 방출됨으로써 밸브 본넷 내에 압력고립 현상이 발생된다.

상기의 압력잠김 현상이 발생되기 위한 가정과 1) 및 2)항에 기술된 동 현상의 발생 가능성이 있는 경우를 고려하여 압력잠김 현상 발생가능 밸브를 선정한다. 그러나 압력잠김 현상 방지작업이 수행된 밸브와 본넷 내에 작용하는 압력이 디스크와 접촉하는 시트 부위에 직접적으로 힘이 가해지지 않는 솔리드 웨지 디스크 형태의 밸브는 제외한다.

4.1.2. 압력잠김 현상 발생가능 밸브 선정방법

아래와 같은 방법으로 압력잠김 현상 발생가능 대상 밸브를 선정할 수 있다.

- 1) 안전관련 동력구동 게이트 밸브를 선정한다.
- 2) 계통의 유체가 기체인 경우의 밸브를 제외한다.
- 3) 솔리드 웨지 디스크 게이트 밸브를 제외한다.
- 4) 압력잠김 현상을 방지할 수 있는 작업이 수행된 밸브를 제외한다.
- 5) 발전소 운전모드의 변화, 발전소 운전에 의한 주변온도의 변화, 고온관 파열사고 등을 포함한 정상 및 비정상 운전, 유지보수, 사고조건, 각종 시험 등의 모든 운전, 사고, 시험조건에서 밸브가 닫힌 상태에서 안전기능상 열려야 하는 밸브를 선정한다
- 6) 5)항에 나열된 조건에서 밸브 본넷이 가열될 가능성이 있는 밸브를 선정한다. 이 때 최소한 아래와 같은 열원으로 인한 가열 가능성을 포함하여 가열될 가능성이 있는 밸브를 선정한다. 그러나 밸브가 설치된 배관이 열을 전달받는 고온 배관으로부터의 거리가 10 ft 이상인 경우의 밸브는 제외한다.
 - 가) 본넷 주변의 대류 및 복사열

- 나) 배관 주변의 전도 및 복사열
 - 다) 계통 유체의 전도열
- 7) 5)항에 나열된 조건에서 압력 트랩핑 현상에 의해 본넷 내의 유체압력이 계통 배관의 압력보다 높아질 가능성이 있는 밸브를 선정한다. 이 때 최소한 아래의 경우에 해당되는 지를 검토하여 이에 해당되는 밸브를 선정한다.
- 가) 냉각재상실 사고나 배관압력을 저하시키는 기타 사고로 인하여 계통에 가압되어 있던 압력이 급격히 강하되어 본넷 내에 압력고립 현상이 발생된다.
 - 나) 두 대의 밸브가 직렬로 연결된 계통에서 닫힌 밸브 사이의 배관에 유체가 고립된 후, 두 밸브 바깥쪽 배관의 압력이 방출되는 경우에 밸브 본넷 내부가 물로 충만 되고 계통에 가압되어 있던 압력이 급격히 강하되어 본넷 내에 압력고립 현상이 발생된다.

상기의 1)항부터 7)항까지의 선정방법을 통하여 선정된 밸브를 압력잠김 현상이 발생할 가능성이 있는 밸브로 분류하고, 각 밸브에 따라 적합한 조치를 취하는 것이 바람직하다.

4.2. 열고착 현상 발생가능 조건 및 밸브 선정

4.2.1. 열고착 현상 발생가능 조건 및 밸브 선정기준

열고착 현상은 웨지형 게이트 밸브가 고온상태에서 닫힌 후 밸브가 열리기 전에 냉각되는 경우, 밸브의 몸체가 밸브 디스크보다 더 크게 열수축되어 밸브 시트가 밸브 디스크를 단단히 조임으로써 기계적인 접촉이 일어나 밸브가 잘 열리지 않는 현상이므로, 동 현상의 발생 기본 조건은 웨지형 게이트 밸브가 고온에서 닫히고 충분히 냉각된 후 열려야 하는 것과 밸브 몸체의 열수축 계수가 디스크의 열수축 계수보다 커야 하는 것이라고 볼 수 있다. 그러나 밸브가 저온에서 닫히고 충분히 가열된 후 열려야 하는 경우에는 열고착 현상이 발생된 사례가 거의 없으며, 일반적으로 밸브 몸체에 장착된 시트의 열수축 또는 열팽창 계수가 디스크의 열수축 또는 열팽창 계수보다 크므로 본 연구에서는 계통온도가 저온에서 고온으로 상승되는 경우에 대한 열고착 현상은 고려하지 않기로 한다.

상기의 열고착 현상이 발생하는 조건에 해당되는 밸

브를 선정하되, 더블 디스크 평행 시트 형태의 밸브는 제외한다. 웨지형 디스크 게이트 밸브는 열고착의 가능성이 높으므로 대상밸브로 선정되어야 하며, 더블 디스크 평행 시트 형태의 밸브들은 디스크가 웨지 형태가 아니고 두 개의 디스크로 구성되어 있으므로 두 디스크의 접촉부위가 고정되어 있지 않아서 밸브 몸체가 온도변화에 의해 수축 또는 팽창할 경우에도 고착되는 것을 방지하여 열고착 현상이 발생되지 않는다.

4.2.2. 열고착 현상 발생가능 밸브 선정방법

아래와 같은 방법으로 열고착 현상 발생가능 대상밸브를 선정할 수 있다.

- 1) 안전관련 동력구동 게이트 밸브를 선정한다.
- 2) 계통의 유체가 기체인 경우의 밸브를 제외한다.
- 3) 더블 디스크 평행 시트 게이트 밸브를 제외한다.
- 4) 웨지 디스크 형태의 밸브를 선정한다.
- 5) 열고착 현상을 방지할 수 있는 작업이 수행된 밸브를 제외한다.
- 6) 발전소 운전모드의 변화, 발전소 운전에 의한 주변온도의 변화, 고온관 파열사고 등을 포함한 정상 및 비정상 운전, 유지보수, 사고조건, 각종 시험 등의 모든 운전, 사고, 시험조건에서 밸브가 닫힌 상태에서 안전기능상 열려야 하는 밸브를 선정한다
- 7) 6)항에 나열된 조건에서 계통 내의 유체온도가 높은 상태 (150°F 이상)에서 닫히고, 열리기 전에 계통이 충분히 냉각 ($\Delta 50^\circ\text{F}$ 이상)되는 위치에 설치된 밸브를 선정한다⁽¹⁰⁾.

상기의 1)항부터 7)항까지의 선정절차를 통하여 선정된 밸브를 열고착 현상이 발생할 가능성이 있는 밸브로 분류하고, 각 밸브에 따라 적합한 조치를 취하는 것이 바람직하다.

4.3. 압력잠김 및 열고착 현상 발생가능 밸브 선정절차

상기와 같은 자료 분석과 연구 결과를 토대로 안전관련 동력구동 게이트 밸브 관련 압력잠김 및 열고착 현상 발생가능 대상밸브의 선정절차를 Fig. 4와 같이 수립할 수 있으며, 이 절차는 매우 효과적으로 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

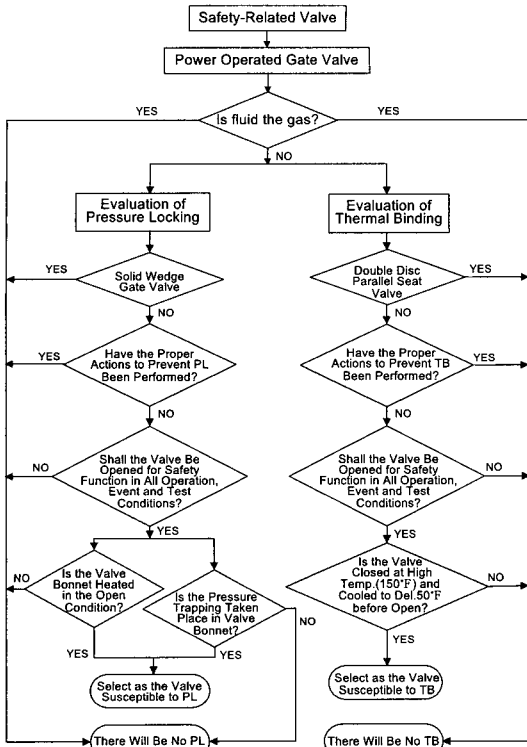


Fig. 4 Selection procedure for valves susceptible to pressure locking and thermal binding

5. 결론

압력잠김 및 열고착 현상과 관련하여 국내외 규제요건 및 발생사례, 동 현상분석 및 방지대책, 발생가능 밸브의 선정방법 등을 검토, 평가하고 압력잠김 및 열고착 현상 발생가능 대상밸브의 선정절차를 제시함으로써 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 본 연구 결과로 얻어진 “압력잠김 및 열고착 현상 발생가능 밸브의 선정절차”는 안전관련 동력구동 게이트 밸브의 압력잠김 및 열고착 현상 발생가능 밸브 선정 시 적절한 자료로서 사용 가능하다고 판단되며, 동 현상이 발생 가능한 밸브로 선정될 경우 방지대책의 타당성, 안전성, 효과, 비용 등을 충분히 고려하여 적절한 조치를 해야 한다.
- 2) 압력잠김 현상은 고압이 가해지는 밸브의 입구 또는 출구 측의 밸브 디스크에 소형 구멍을 가공하는 방법이 가장 경제적이다.
- 3) 열고착 현상은 더블 디스크 평행 시트 형태의 게이트

밸브로 설계하는 것이 가장 효과적이다.

- 4) 안전관련 동력구동 게이트 밸브에 대한 압력잠김 및 열고착 현상 발생가능 대상밸브의 선정은 국내외의 동 현상 발생사례, 각종 관련규제 및 권고사항, 발전소 현장의 운전 및 시공사례, 본 연구내용 등을 참고로 하여 객관적인 평가가 이루어져야 한다.

참고문헌

- (1) USNRC, 1990 ~ 19994, “Safety-Related Motor-Operated Valve Testing and Surveillance” (Generic Letter No. 89-10), June 28, 1989 and Supplements 1 through 6.
- (2) USNRC, 1995, “Pressure Locking and Thermal Binding of Safety-Related Power-Operated Gate Valves” (Generic Letter No. 95-07).
- (3) 과학기술부 규제권고사항, 1997, “모터구동밸브 및 동력구동게이트 밸브의 안전성 확인을 위한 권고사항.”
- (4) USNRC, 1993, “Operating Experience Feedback Report-Pressure Locking And Thermal Binding of Gate Valves,” NUREG-1275, Vol. 9.
- (5) USNRC, 1993, “Status of Motor-Operated Valve Performance Prediction Program by the Electric Power Research Institute” (Information Notice 93-88).
- (6) R. Steele, et al, 1995, “Gate Valve and Motor-Operated Research Findings,” NUREG/CR-6100.
- (7) Mark R. Holbrook, 1999, “Motor-Operated Valve (MOV) Diagnostic Systems,” 제1회 MOV 설계 기준 안전성 평가기술 워크샵.
- (8) Tony Morris, 2000, “Diagnosis Equipment Selection Methodology for Static and Dynamic Testing and Alternative Method,” 제2회 MOV 설계기준 안전성 평가기술 워크샵.
- (9) Bum-Nyun Kim, et al, 2000, “Implementation Program and Technical Approach to the Regulatory Recommendation on Safety-Related MOV’s in Korea,” NUREG/CP-0152, Vol. 3.
- (10) D. J. Shelton, 1994, “Farley Project Desk Instruction for Engineering Guidance Used in FNP MOV Program (GL95-07 Screening Criteria Basis).”