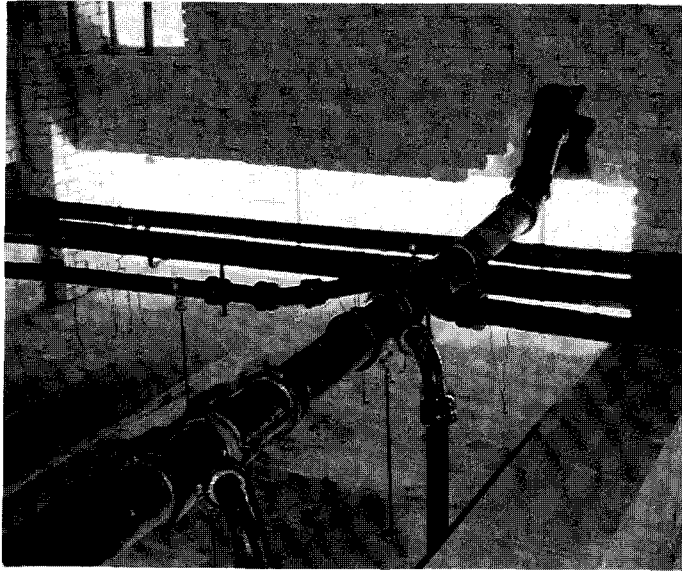


설비강좌



배관계통에 있어서 용도별 밸브의 적용

민경화/한국전력기술(주) 원자력 사업단 배관기술부 차장

5.0. 밸브의 보전관리

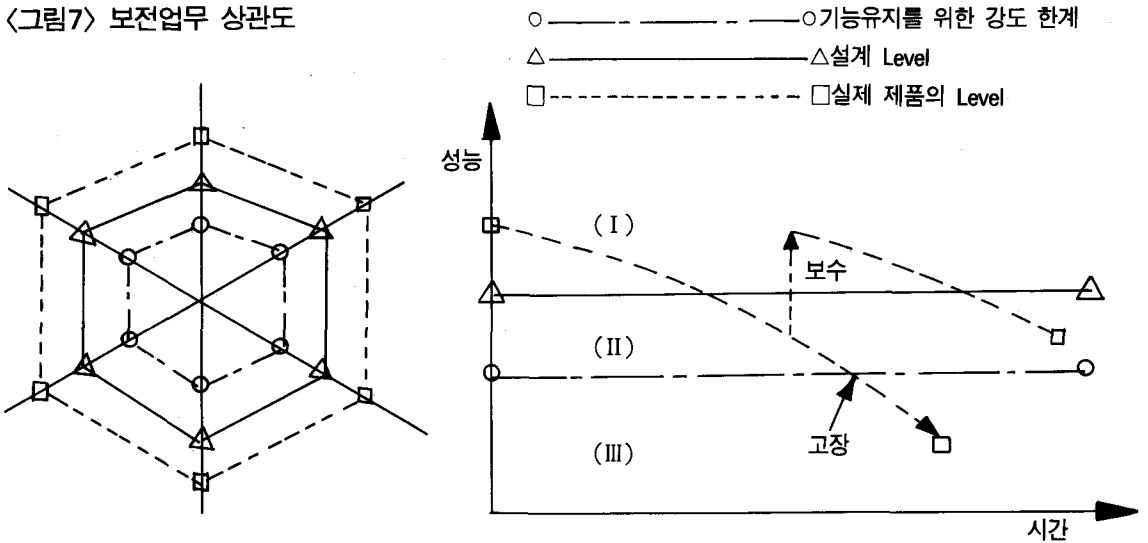
5.1 밸브 보전의 목적

모든 기기는 본래의 기능을 발휘하기 위하여 각각 그 구성부품의 강도적인 한도를 충분히 견지하고 있어야 한다. 왜냐하면 기기 각 구성부품의 어느하나라도 손상된다거나 마모된다면 기기는 그 기능을 정지하거나 정지가 예상되고, 아울러 다른 구성부품까지 손상시킬 수 있기 때문이다.

기기의 설계시에는 이러한 구성부품하나하나를 미리 계산으로 강도를 구한다음 이를 따라

메타로 하여 목적으로 하는 기기의 형상을 정하고 아울러 전체의 강도와 운동이 조화되도록 각 구성부품의 형상과 재질을 조정하여 제작하게 마련이다. 한편 검사는 이렇게 제작된 기기가 설계대로 되어 있는가 또는 설계대로 제작된 기기가 확실하게 제기능 및 성능을 발휘하는가를 검증하는 과정이다. 그러나 이러한 설계·제작 및 검사과정을 거쳐서 출하된 기기는 제품으로서 완벽하다고 할 수 있으나 실제로는 이들 기기를 조합한 설비 전체 또는 계통의 수명까지 보증되는 경우는 전혀 없다 해도 과언이 아니다. 물론 계통설계자에게 보증을 해 달라고 해도

〈그림7〉 보전업무 상관도



보증이 불필요하게 되는 제반 환경적인 요인이 있기 때문에 설비의 수명문제는 최종적으로 설비를 운전하는 사용자측에 있다고 보아야 한다.

특히 종합적인 설비인 프로세스 플랜트에 있어서 밸브는 수많은 기능을 담당하고 있고 각기 적절한 운전을 하도록 되어 있다. 이중 한예로서 밸브의 사용유체가 해수(海水)이고 사용온도의 범위가 10°~20°C이며 설계압력(사용압력)이 0~20kgf/cm²에 Service 유량이 6000kgf/Hr.로서 설비의 수명기간이 40년인 어떤 플랜트에 설치되어 있다고 가정하면 실제로 이 밸브는 설비의 수명기간인 40년보다 훨씬 짧은 수명을 갖는다고 예측할 수 있다. 사실 밸브의 재질이 40년간 해수를 Service하고도 아무런 이상이 없다고 볼 수 있는 기술자는 아직 없으며, 실제 일반적으로 사용되는 밸브의 내압누설시험(수분의 단시간 동안 담수를 사용하여 시험)으로 밸브를 40년간 건전한 상태로 유지시키기는 정말로 무리한 요구이다.

따라서 기기를 보수하는 것은 어떤사고 또는 문제에 대한 백업(Back up)행위가 아니고 문제가 발생된 것이라는 예상하에, 필연적으로 예기되는 노화(老化)에 대한 예방과 실제문제에 대한 보수행위가 있으며 이를 한데 합쳐 기기 또는

설비의 제성능 및 기능을 총체적으로 관리하는 기능 중 보수에 대한 관련한 업무를 보전업무라고 하며 이것을 〈그림7〉과 같이 설명할 수 있다.

그림에서 보는바와 같이 실제제품은 충분한 강도를 갖고 기능 및 성능을 제대로 유지하고 있지만, 시간의 경과에 따라 부품이 열화(劣化)되어 설계 레벨보다 더욱 낮아져서 실제 제품의 기능 유지에 필요한 최소한의 강도한계이하로 되면 고장으로 진행된다. 그림에서의 (I)단계에서는 당연히 설계 레벨 위에 있기 때문에 기기의 성능은 유지된다. 따라서 이 단계에서의 특별한 보수 업무는 없다고 볼 수 있거나 기기의 상태 즉, 성능유지의 상태를 확인하는 정도의 보수업무는 계속된다. 그다음 어느정도의 시간이 흐르면 (II)영역에 이르게 되는데 이 영역은 예방 보수 업무가 무엇보다도 중요한 시기로서 기기에 대해 어떠한 예방보수 조치가 취해지지 않으면 안되는 영역으로 보전업무의 중요한 시기이다. 만약 이때에 보전업무가 일부라도 소홀해지면 기기의 수명은 급속히 감소될 것이며 나아가 기기에 대하여 치명적인 큰 고장을 야기할 수도 있다. (III)영역에 이르면 고장이 발생하며 따라서 긴급한 보수가 필요한 영역으로서

설비 전체가 정지하거나 제한적으로 운전되며 경우에 따라서 계통을 분리하지 않으면 안되는 경우가 있으므로 이러한 지경에 이르지 않도록 (I), (II) 단계에 있어서 보수·보전업무는 매우 중요하다. 여기서 (III) 영역은 좁은 의미의 수리 또는 보수이고 (II) 영역을 포함하여 넓은 의미로 보수(補修)라고 정의한다. 그리고 (I) 영역은 단순히 점검이라고 한다. 물론 (I), (II) 및 (III) 모두를 총칭하여 保全이라고 한다.

다시 말하여 보전업무의 목적은 “기기가 필연적으로 진행되는 열화(또는 노화)와 확률적으로 발생하는 고장에 대비하여 기기를 본래의 설계레벨 이상으로 기능과 성능을 유지시키는 일”로 요약할 수 있으며 영어로는 메인テナンス(Maintenance)라고 부른다.

5.2 밸브의 고장과 그 원인

5.2.1 밸브의 보수 점검

밸브 및 배관계통의 설비를 항상 정상적으로 운전하고 일정한 기능을 유지하기 위해서 일상 및 정기점검은 말할 나위없이 당연한 업무이다. 사용중의 밸브는 항상 일상 점검(패트론티에 의한 점검)과 운전중의 검사를 받아야 한다.

일상점검은 점검 순회시간을 정하고 하는 것과 기회가 생길때마다 하는 경우가 있다. 밸브의 점검이 필요한 주요항목은 다음과 같다.

- 그랜드 패킹에서의 누설
- 프랜지·가스켓에서의 누설
- 나사부의 풀림 및 나사 조인트에서의 누설
- 밸브 몸체 및 본네프트에서의 누설
- 이상음(異狀音)의 발생
- 볼트·너트의 이완
- 핸들의 흔들림 또는 파손의 유무
- 밸브 운전개도(開度)의 확인
- 밸브 운동부품의 기능불량 또는 작동불량 유무
- 밸브 접속배관의 굽힘 또는 진동 등의 유무
- 구동부의 점검

밸브의 정기점검은 밸브를 주기적으로 점검하는 것으로서 통상적으로 설비계통의 정기점검과 같이 수행하고 일반적으로 분해하여 점검하고 검사한다. 이때에 점검하는 것은 대략 다음과 같다.

- 밸브시트의 마모·부식의 유무
- 밸브 스템의 마모 및 부식의 정도
- 밸브 몸체 및 본네프트 부식의 상대와 그 정도

-나사부의 마모
-패킹·가스켓의 노화 또는 열화의 정도
-기타 운동(可動 또는 摺動) 부품의 마모
분해검사 결과 교환부품이 없더라도 패킹이나 가스켓은 신품으로 교환하여 재조립 한 후 밸브 트람의 개폐 조작이 원활한가(작동시험), 소정의 압력에서 수압에 의한 내압시험을 행하고 각 부에 이상이 없는가를 확인하고(내압시험), 필요에 따라 기압(공기압) 누설시험을 하여야 한다.

5.2.2 밸브 고장의 종류 및 그 원인

밸브는 그 종류가 매우 다양하기 때문에 고장의 유형을 분류하기는 복잡하므로 여기서는 공통적으로 밸브의 기능에 초점을 두어

- (1) 내압부에서의 외부 누설
- (2) 밸브 디스크-시트에서의 내부 누설 또는 허용범위를 초과하는 누설
- (3) 밸브 동작의 원활성 및 제어기능상의 문제 등으로 분류할 수 있으며 이것중에 이상이 생기면 밸브의 고장이라고 한다.

(1)의 외부 누설 문제는 몸체-본네프트간의 가스켓 누설과 그랜드 패킹부위 누설 문제로 운전자 및 보전 관리자 모두에게 매우 혼란 일이며 더불어 귀찮은 문제이다.

(2)의 경우는 내부 밸브에서 여러가지 유체 특성에 따라 생긴 침식부식, 변형, 마모 및 손상의 결과로서 생긴 문제로 쉽게 목격되지 않는 특징이 있다.

(3)의 경우는 밸브의 조작용 또는 작동력(공기압, 전기, 유압등)이 정상적으로 전달되지 않아서 제어기능이 정상적으로 수행되지 않는 경

우로서 개폐조작, 밸브내의 유량 및 압력제어등 이 제대로 이뤄지지 않는 고장이다.

이들 밸브고장의 유형은 그 원인이 밸브의 사용조건과 뚜렷한 관련이 있는 것이 일반적이다. 다음은 밸브 고장 원인의 몇가지 예를 든다.

〈추기 계통의 밸브 문제〉

내부밸브의 침식 문제는 내부누설과 밸브 제어기능상의 문제가 복합적으로 작용한 것으로 볼수 있다. 추기계통(Extraction System)의 밸브에는 밸브상류측에서 밸브쪽으로 흐르던 포화증기가 밸브내에서 순간적으로 단열 팽창하여 냉각됨과 동시에 유속이 저하하여 정압(靜壓)이 상승하게 되어 작은 물방울이 발생되고 이것이 높은속도 증기 흐름으로 밸브 내부에 충돌하여 침식을 야기한다. 이러한 예는 발전소 2차 계통의 추기계통 밸브에서 발견된다.

〈고차압(高差壓) 계통의 제어밸브 케비테이션 및 침식문제〉

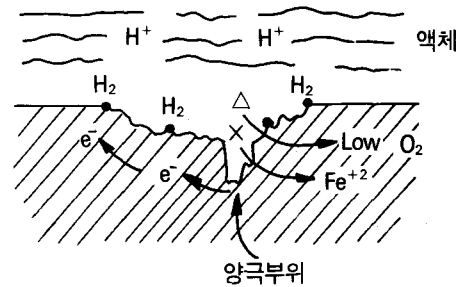
제어밸브에 있어서 케비테이션 문제와 이에 수반되어 나타나는 침식문제는 계통의 설계 조건과 운전조건과의 차이와 밸브 선정의 적절성등 밸브 자체의 문제보다는 밸브 엔지니어링의 문제로 볼 수도 있다. 그러나 실제 플랜트 운전시 자주 경험되는 문제로서 밸브간의 차압이 크고 유량 조절의 범위가 넓은 경우에는 거의 모든 밸브가 정도의 차이는 있겠지만 케비테이션의 문제는 항상 있다. 따라서 이러한 용도의 제어밸브는 주기적(정기 보수시)으로 분해 검사하고 내부밸브의 상태를 보아 적절히 교환할 수 있는 예방정비(보수) 계획이 필요한 밸브들이다.

특히 펌프의 최소흐름용(mini-flow) 밸브의 경우 대표적인 예로 볼 수 있다. 이러한 밸브는 내부밸브(트림)를 통과하는 유체가 밸브트림의 좁은 교축으로 인하여 유속이 대폭적으로 증가하고 이에 따라 정압이 유체의 포화증기압이하로 저하됨으로써 기포를 생성시키고, 곧이어 유체의 속도는 밸브 트림 후단의 단면적 증가로 다시 감소하면서 정압이 증가되어

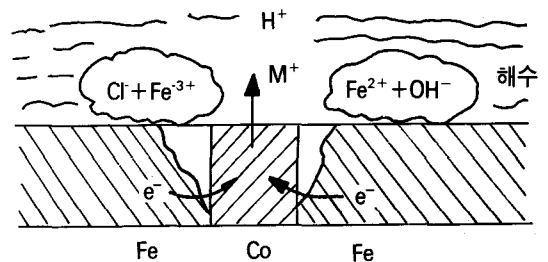
이들 기포가 붕괴됨으로써 생기는 충격력으로 침식이 생기는 것이다.

〈해수 배관 계통의 밸브〉

해수는 많은 종류의 불순물등을 포함하고 있으며 특히 할로겐 이온과 중금속 이온등의 농도가 높다. 이것이 이종금속(異種金屬)의 접촉부에서 전지작용을 일으켜서, 약한 쪽의 금속을 부식시키게 된다. 주철에 13Cr을 육성 용접한 디스크에는 양자사이의 부식 전위의 차가 크기 때문에 경계부위에 현저한 부식을 일으킨다. 다음은 부식유형을 보여주는 그림들이다.



〈그림8〉 철의 일반적 부식진행과정



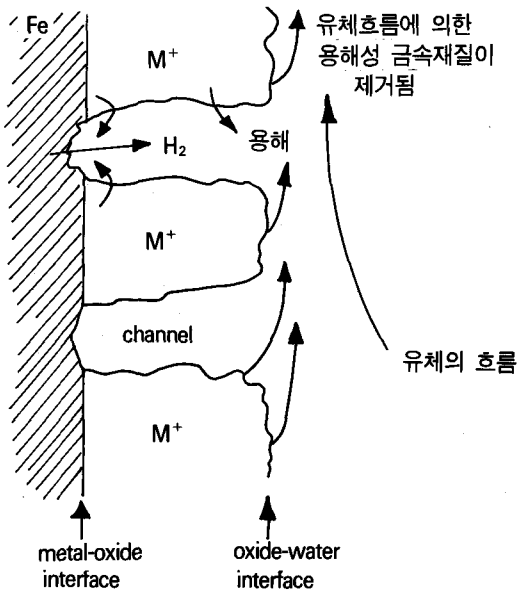
여기서 M⁺는 Magnetite(Fe₃O₄)로서 부식생성물

〈그림9〉 해수에서의 異種금속간 전기부식(전식)

5.3 밸브 보전검사의 내용과 범위

5.3.1 일상점검과 운전중의 검사

사용중의 밸브관리는 일상점검과 운전중의 검사(On-Stream Inspection)에 따라서 한다. 그



〈그림10〉 철과 유체흐름간의 침식부식 진행과정

리고 밸브관리는 당연히 적절한 관리기록과 수행되어야 한다. 만약 이러한 밸브 관리중 이상이 발견될 때에는 즉시 관계자에게 연락을 취하고 안전한 방법에 따라 처리되어야 한다. 일상 점검과 운전중의 검사에는 다음과 같은 사항들이 준비되고, 관리되어야 할 것이다.

- 점검하는 설비, 점검이 필요한 부분의 갯수, 점검항목, 점검방법, 판정의 기준, 처리방법 등이 기술된 체크리스트
- 지시나 보고하는 계통
- 점검에 사용하는 공구, 측정기구, 보호장구 등

점검 및 검사의 내용으로 보면

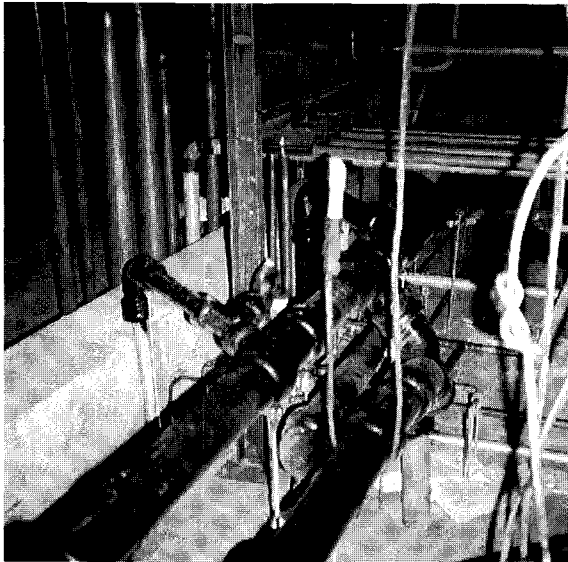
- 특히 부식등이 문제가 되는 밸브는 적절한 비파괴 검사에 의한 부식상황의 점검 및 밸브 살두께 측정등을 수행한다. 이러한 경우 밸브 몸체 구성부품의 경년변화를 고려할 필요가 있다.
- 밸브 프랜지나 그랜드 패키부위에서의 외부 누설이 염려되는 부분은 자세히 관찰하고 가스용의 밸브에서는 누설 탐지기등으로

확인한다.

- 밸브에 진동이 현저하게 있다면 진동계등으로 측정하고, 이상 진동대역(振動帶域)인가를 판정한다. 또한 열변화가 반복되는 계통의 밸브는 프랜지 목부분등을 비파괴 시험을 하여 결함 유무를 확인하여야 한다.
- 운전중의 밸브는 특히 밸브의 개폐시 밸브 작동상황을 확인하고, 스템이 상하로 운동(摺動)함에 따라 그랜드 패키에서의 누설과 밸브 내부에서의 이상음등에 주의를 기울인다.
- 마모가 염려되는 밸브는 필요에 따라 다음의 부분등을 적절한 검사방법으로 확인한다.
 - 밸브 디스크 및 스템의 접합부분
 - 안쪽나사형 밸브의 본넷, 밸브 디스크 및 스템의 나사부위
 - 수직배관통에 설치되어 있는 게이트 밸브나 프러그 밸브의 경우에는 밸브 시트 부분의 편마모 유무
 - 밸브 내부의 스케일등 퇴적 불순물
 - 부식 방지제등을 주입하는 계통의 밸브는 부식방지제 주입 효과등을 점검

밸브 구동부의 기능유지를 위해서는

- 밸브의 구동부분은 정기적으로 정비하여 항상 기능 유지가 되어 있어야 한다.
- 밸브 사용중에는 정기적으로 주유 또는 그리스를 주입한다. 그러나 산소를 취급하는 계통의 밸브에서는 절대로 윤활유등 유류를 사용하면 안된다.
- 밸브 중요도에 따라 운전중 밸브의 조직횡수가 적은 밸브는 정기적으로 밸브의 운전성등을 구동부의 작동시험으로 확인하여야 한다.
- 자동밸브는 수시로 윤활유량, 밸브 및 구동부 각부의 녹발생상황, 모타의 절연상태, 빗물등의 침입여부, 리미트 스위치 조작 계통의 건전성여부, 조작전선류의 단락여부, 다이아후람내에 물이 스며들어 있는가 여부, 조작공기압계통의 이상 유무, 모타구동장치



인 경우 토오크 스위치등의 설정상태등 구동기구의 점검을 한다.

- 밸브의 개폐지시기구가 원활하게 운전되고 있으며 올바르게 밸브 개폐를 지시하고 있는가를 확인한다.
- 저온용의 밸브 또는 동절기의 밸브는 구동부분의 동결 또는 빙결여부도 주의를 기울여 점검한다.
- 밸브 스템의 나사부(외부로 노출된 부분), 그랜드 패킹 누루개(Grand Packing Follower) 등의 녹발생을 방지하기 위한 방청유의 도포 및 이의 확인등의 점검이 필요하다.

또한 밸브의 구성 부품 중 가장 중요한 부품의 하나인

- 그랜드 패킹의 기능 유지를 위해서는
- 그랜드 패킹부의 점검은 누설점검을 하고 가능한 조기에 발견 하여야 한다.
- 밸브 스템과 그랜드 패킹의 접촉부(摺動部)는 절대로 녹이 발생하면 안되므로 녹발생 여부를 수시로 점검한다.
- 그랜드 패킹에서 누설이 있다면 그랜드 패킹 누루개를 더욱 조이든가 또는 패킹 전체를 교환하든가 하여야 한다.

그러나 누루개를 조일 경우에는 패키지가 한 쪽으로 쏠리든가 혹은 너무 조여서 밸브 스템의 조작이 힘들지 않도록 주의하여야 한다.

모든 점검결과는 밸브 번호별로 기록 관리되도록 한다.

5.3.2 정기 검사

밸브의 정기 검사는 설비 단위로 보아 일반적으로 1년에 1회이상, 밸브가 원활한 운전을 계속할 수 있는가를 확인하고 밸브의 설계레벨 정도는 기능을 회복시키기 위해서 시행한다. 정기검사는 정밀분해 점검과 점검후 조립된 밸브를 시험하는 것으로 구분한다.

밸브를 정밀분해 점검한 후의 시험으로는 밸브의 개폐작동등 작동시험과 밸브의 구조 및 그 강도에 영향을 주는 보수를 한 경우에는 밸브 사용압력의 1.5배 이상의 압력으로 밸브몸체의 건전성을 시험하는 수압시험이 있다. <표9>는 일본 고압가스 보안협회에서 추천하는 밸브의 정밀분해 점검기준이다.

5.4 밸브의 보전관리-신뢰성 제고를 위한 예제

밸브의 보전관리를 체계적으로 수행하기 위하여 밸브에 대한 적절한 점검 빈도를 결정하고 이에 따라서 설비 보전 업무의 합리화와 고장 발생의 빈도(확률)를 적게하는 일이 무엇보다도 중요하다. 이는 특히 대규모 석유화학 플랜트에서와 같이 다양한 종류의 밸브와 밸브마다 사용조건이 상이한 경우 보전업무를 보다 과학적이고 경제적인 방법으로 수행하기 위해서도 밸브의 사용조건에 따르는 신뢰도를 결정할 필요가 있으며, 이러한 해석결과에 따른 보전업무계획은 보전업무의 부하를 적절히 분산시켜 보전인력의 활용을 극대화할 뿐더러 보전에 필요한 제반 보수 부품등을 체계적으로 구매하고 수급할 수 있어 결과적으로는 보전 비용을 절감할 수 있다. 아울러 설비의 운용효율이 제고되는 것은 말할 나위 없다.

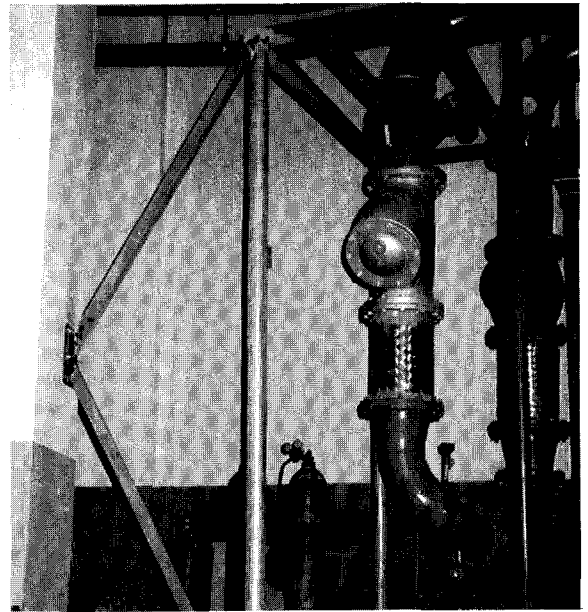
현재 사용되고 있는 밸브에 있어서 그 신뢰도를 $R(+)-e^{-\lambda t}$ 라고 할때, λ 이 사용조건에 따라서 어느정도의 값을 가지고 있는가를 기준

계통의 운전자료와 보수자료등을 이용하여 통계적으로 조사하면 신뢰도 및 이에 따른 밸브의 점검빈도를 결정할 수 있다. 일반적으로 사용조

〈표 9〉 밸브의 정밀분해 점검 기준

점검부품명	밸브의종류	점검 부위	점검내용	점검방법	판정기준	불량시의 조치
밸브 몸체 및 본네트	공통	프랜지	부식, 손상, 균열	관찰, 두께측정	부식, 손상, 균열이 없을것	육성용접보수, 보수불가시 폐기
		몸체 내부	부식, 균열, 긁힘 Blow-Hole	관찰, 두께측정 비파괴시험	큰 부식이 없을것 살두께는 규정치 이상	육성용접보수, 보수불가시 폐기
	게이트 밸브	디스크 가이드	부식, 침식	관찰	디스크 작동에 이상이 없을것	육성용접후 기계가공
		몸체일체형 시트 및 백시팅 링	부식, 침식	관찰	부식, 흠집등아 없을것	기계 가공 또는 교환
밸브시트 및 디스크	공통	디스크-시트부분 (摺動部)	부식, 긁힘, 균열 침식	관찰	부식, 흠집이 없으며 접촉면이 원활할것	시트의 교환
		디스크 가이드	부식, 침식	관찰	흠집이 없을것	육성용접후 기계가공
	게이트 밸브	디스크와 스템 연결부분	부식, 변형여부	관찰	현저한 부식이나 변형이 없을것	디스크 교환
		그로브 밸브	디스크 고리	부식	관찰	현저한 부식 없을것
	밸브 몸체와 디스크의 접촉면		작동성		원활할것	기계가공
	체크 밸브	디스크 핀	작동성		원활할것	기계가공
디스크 암의 회전부		작동성		원활할것	기계가공	
밸브스템	공통	스템표면	부식, 긁힘, 변형	관찰, 치수검사	부식, 흠집, 변형이 없을것	교환, 사소한변형수정
		나사부	부식, 찌그러짐	관찰	부식, 마모가 없을것	교환
백시팅, 렌턴 링, 그랜드 Follower, 패킹챔버	공통	스템과 접촉하는 면	부식, 긁힘, 흠	관찰	부식, 흠집, 긁힘이 없을것	교환
그랜드 패킹	공통		마모상태	관찰		교환
요-크 슬라이브	공통	스템 접촉면	마모		원활할 것	수정가공 급유
		나사부	작동성	관찰	마모가 적을것	교환
		슬라이브	균열, 변형	관찰	균열이 없을것	교환

건은 계통의 운전조건을 기준하여 밸브에서의 기능을 운전온도, 운전압력 및 차압(제어범위내의)과 운전방법에 따라 구분한다. 다음의 표에서 표시한 것처럼 사용조건이 A부터 H까지 8종류가 각각 사용조건별 점검 사이클, 점검대수, 고장발생률, 평균신뢰도 및 신뢰계수가 계산되어 있다. 이 예제의 표에서 보는바와 같이 점검 사이클이 3년일때 어느 점검때의 신뢰도 R(2), R(3)의 평균 R로 표현되고 있으며 R에 의하여 신뢰계수를 구할 수 있다. 이 신뢰계수를 활용하여 밸브의 점검사이클을 재조정함으로써 고장 발생률을 줄이고 아울러 밸브 전반에 걸친 평균 신뢰도(R)의 향상과 점검소요인력 및 경비를 평가하여 능동적인 보전업무 계획을 수립할 수 있다.



사용 조건	점검 사이클 (EA/년)	점검대수*	고장발생률 (%)	신뢰도 (R)	신뢰계수 (λ)	비고
A	3	100	16	0.84	0.088	
B	3	100	2	0.98	0.01	
C	3	100	3	0.97	0.015	
D	3	100	8	0.92	0.042	
E	3	100	1	0.99	0.005	
F	3	100	2	0.98	0.01	
G	3	100	25	0.75	0.147	
H	3	100	1	0.99	0.005	
합계		합계	평균			
평균	-	800	7.25	0.9275	-	

* 각 사용조건별 밸브수는 300개이며 이 300개중 100개 1년마다 점검

$$R(1) = e^{-\lambda} \quad , \quad R(2) = e^{-2\lambda} \quad , \quad R(3) = e^{-3\lambda}$$

$$R = \frac{R(1) + R(2) + R(3)}{3}$$

$$\text{신뢰도} = (100 - \text{고장발생률}) / 100$$

개선된 점검 사이클 및 고장 발생률은 다음표와 같이 된다.

사용조건	점검사이클	점검대수(EA/년)	신뢰도(R)	고장발생률	비고
A	2	150	0.877	12.3	
B	6	50	0.966	3.4	
C	6	50	0.949	5.1	
D	3	100	0.920	8	
E	6	50	0.983	1.7	
F	6	50	0.966	3.4	
G	1	300	0.863	13.7	
H	6	50	0.983	1.7	
합계/평균	-	800	0.9384	6.16	

예를들면 사용조건 B의 경우

$$R = \frac{e^{-\lambda B} + e^{-2\lambda B} + e^{-3\lambda B} + e^{-4\lambda B} + e^{-5\lambda B} + e^{-6\lambda B}}{6} = 0.966$$

여기서 $\lambda = 0.01$ 를 사용.

〈다음호 계속〉