설비강좌③

밸브의 종류 및 선정

글/민경화 〈한국전력기술(주) 원자력사업단 배관기술부 차장〉

5) 모타구동밸브

(3) 모타구동밸브의 운전(계속)

②운전특성의 고찰

지난 호에서 밸브의 시팅기준을 언급하면서 밸브의 시팅 레이트는 밸브 스템의 운전속도, 트림 구조의 강성, 전원 단락시간 및 토오크 스위치의 제어특성에 따라 밸브 스템에 전달되는 추력은 다르게 됨을 그래프로 보여주었다. 지난 호에서 언급한 ①스톨상태, ②토오크 시팅-토오크 스위치의 단락시간 관계, ③토오크 시팅-밸브 강성과의 관계, ④토오크 시팅-차압의 영향과 DRY-RUN을 구체적으로 설명하고 아울러 이들에 대한 정상적인 운전시의 토오크 시팅 관계를 종합하고있다.

가. 스톨 상태-밸브의 강성과 추력속도와의 관계

스톨상태라 함은 완전부하 상태에서 전기적 부품의 비정상적인 동작으로 인하여 모타의 Over run이 밸브의 시팅(또는 백시팅) 시에 생기는 경우가 있는데 이때 스템의 속도는 0이 되고 모타에 과도한 토오크가 발생함과 아울러 스템에도 큰 추력이 발생하게 되는데 이를 스톨상태의 토오크, 추력이라고 한다. 그래프에서 밸브의 닫힘 속도가 정상이고 밸브 트림 구조 및 재질이 높은 탄력을 가지고 있을 때는 실제 밸브 스템에 전달되는 추력은 설사 전기적인 트러블이 있어 정지시간이 길어져도 150%내의 설계 추력만을 전달시킨다. 그러나 닫힘속도가 빠르고 밸브 트림의 강성이 높은 경우에는 단락시간에 별 영향이 없이 스템에는 300~400%의 설계추력이 발생한다. 따라서 밸브의 개폐시간은 위와 같은 이유로 엄격하게 제한되고 최종추력에 대한 검토 즉, 스톨 토오크 및 스톨 추력에 대한 계산이 필요하다. 다음은 단위 스톨 토오크 및 추력의 계산방법이다.

단위 스톨 토오크*1 = 모타 허용 토오크 × 구동자회전비(Overall Ratio) × 모타 시동효율

단위 스톨 추력 = 스톨 토오크/스템계수

*1 : 단위스톨 토오크는 제작사 카다로그의 단위스톨 토오크 기준의 150%를 초과하지 못한다.

나. 토오크 시팅-토오크 스위치의 단락시간의 영향

모타구동장치에 있어서 스위치가 트립되면, 스위치의 트림과 전원 코넥타의 차단사이에 미소한 시간지연과 모타의 운동에너지로 인한 정적 밸브 스템량의 초과(이하 OVERTRAVEL) 현상이 생긴다. 이 OVERTRAVEL은 계통의 압력상태 및 밸브 스템의 패킹력에 따라 그 정도를 달리한다. 이를 제어하는 방법으로는 리미트 스위치를 설계치보다 약간 빨리 작동하도록 설치함으로써 해결할 수 있다.

〈그림 44〉는 토오크 시팅에 있어서 토오크 스위치의 단락시간의 영향을 보여 주는 것으로 토오크 스위치는 출력 토오크가 미리 설정한 값(Preset)에 도달하면 기계적으로 작동하게 된다. 이 PRESET의 뜻은 밸브가 충분하게 시팅되어 밸브 스템의 운동량이 정지되었음을 표시한 것이 된다. 그러나 앞서 언급한 바와 같이 시간지연으로 인한 OVER-RUN은 토오크 스위치 설정치보다 더욱 큰 밸브 토오크 및 추력을 야기시킨다. 이 경우는 리미트 스위치의 도입으로 해결할 수 없는 상태로서, 커브 'C'는 정상 운전시의 시간에

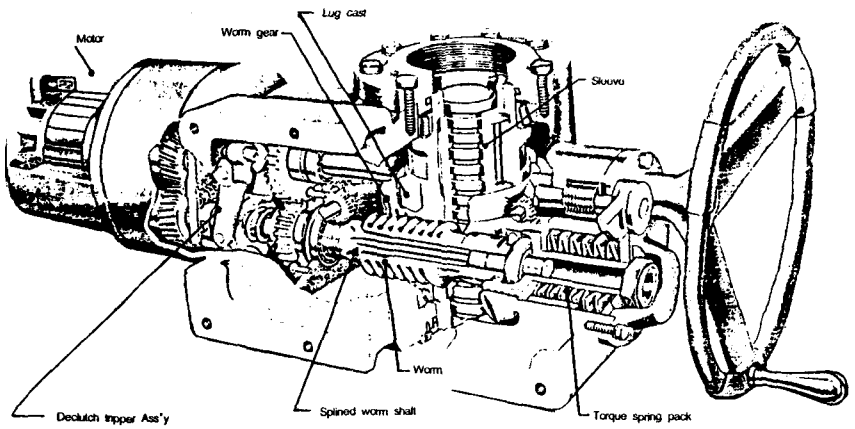
정적 밸브 스템량의 초과현상은 리미트 스위치를 설계치보다 약간 빨리 작동하도록 설치함으로써 해결할 수 있어

대한 스템 추력, 커브 'D'는 급속 개폐시의 관계로서 'D'의 경우는 'C'에 비하여 약 4배 이상의 스템 추력 증가율을 보이고 있다. 지금 밸브가 설계추력 상태에서 토오크 스위치가 작동하여 기계적 지연시간인 두커브의 동일한 단락시간 T1에서 커브 'C'에서는 'X'지점, 커브 'D'에서는 'Y'지점에서 모타가 정지하게 된다. 더우기 토오크 스위치 작동과 전원 차단과의 관계가 미소하게 잘못 설정되어 'T2'만큼 시간지연이 되면 스템의 설계 추력은 'Z'지점 정도의 매우 높은 추력을 발생하게 하여 밸브 운전에 악영향을 줄 수 있다.

운동에너지가 서서히 작용하게 됨으로써 커브 'E'에서와 같이 밸브 스템에 전달되는 추력은 강성이 높은 밸브에 비하여 월등히 작다. 이와 같이 밸브 트림의 설계는 구동장치의 조작성 및 동작 특성을 고려하여야 할 것이다.

라. 토오크 시팅-차압의 영향과 DRY-RUN

급속 개폐가 요구되는 계통의 모타구동 밸브는 경우에 따라 토오크 스위치에 설정된 값과는 비례하지 않는 토오크 출력을 발생시키기도 한다. 이러한 경우의 대표적인 예는 계통의 압력이 작용할 때와 그러하지



〈그림 44〉 LIMITORQUE 모타구동장치의 구조

다. 토오크 시팅-밸브 강성과의 관계

모타가 정지되더라도 모타의 운동에너지는 앞서 설명한 바와 같이 OVER-RUN을 야기시킨다.

밸브의 강성이 비교적 낮고 탄력이 유지되는 경우

않을 때 생기는 토오크 시팅 효과이다.

〈그림 43〉은 계통운전시의 차압에 의한 토오크 시팅과 공운전(空運轉 : DRY-RUN)시의 토오크 시팅 효과를 보여주는 그래프이다. 커브 'G'는 최대 차

압 상태하에서의 토오크 시팅시의 시팅시간에 대한 스템의 추력 변화를 보여주는 것으로서 토오크 설정치 'S1'은 단락시간의 지연 'T1'에 따른 운동에너지 'K'에 의하여 설계추력을 얻게되는데 이 과정중 밸브의 디스크 면에 작용하는 차압력에 따라 상당량의 토오크가 소비됨으로 'K'의 값은 커브 'H'의 것에 비하여 월등히 작게된다.

커브 'H'는 'G'의 토오크 설정치와 같은 조건하에서 계통의 압력이 부과되지 않은 즉, 차압이 없는 상태하에서의 토오크 시팅 특성을 보여주는 그래프이다. 차압이 없는 경우에는 디스크 면에 생기는 차압에 의한 마찰력도 거의 없을 뿐더러 시팅의 조건 또한 매우 용이하게 이뤄짐으로 그림에서와 같이 시팅 시작후부터는 스템에 전달되는 추력은 급속히 증가하게 된다. 따라서 계통이 정지되어 있는 공운전시에 정상 운전시의 토오크 설정치를 변경하지 않고 구동장치의 조작시험 등을 수행할 경우에는 그림의 커브 'H'와 같은, 설계 추력보다 월등히 높은 추력이 발생되어 큰 문제로 발생하는 경우가 있다.

마. 모타구동장치의 운전-정상적인 운전시의 토오크 시팅 관계

한 예로 LIMITORQUE사의 전형적 모타구동장치인 〈그림 44〉와 같은 SMB형식의 경우, 이 구동장치는 단지 간단한 두개의 기어열을 갖고 있는데 이 기어열을 통하여 모타의 회전력을 감속시켜 밸브스템측에 회전력으로 출력시킨다. 모타의 회전력은 모타에 직결된 헤리칼(Helical) 기어열을 통하여 1차로 감속되고 1차로 감속된 모타 회전력은 웜 사프트라는 스프라인 축(Splined Shaft)을 구동시킨다. 웜은 웜 사프트에 스플라인되어 있으며 밸브스템축을 회전 또는 상하운동시키는 웜 기어에 연결되어 회전력을 감속 전달시킨다. 또한 웜 기어는 그 상부에 두개의 러그(Lug)가 딸린 케스트(CAST)가 있어 종동(從動) 슬리이브의 두 러그와 맞물려 종동 슬리이브를 회전시킨다. 이 종동슬리이브가 회전하면 종동슬리이브 내부에 스플라인되어 있는 밸브 스템너트를 회전시켜 밸브 스템을 회전 또는 상하운동 시킨다. 따라서 이러한 모타구동장치의 메카니즘에 따라 밸브의 개폐는 회전방향에 따라 열리거나 닫힌다.

이러한 모타구동장치의 운전 메카니즘에서 실제 주의깊게 짚고 넘어가야 할 중요한 사항의 하나는 밸브의 운전 요건에 부합하는 토오크 또는 스템 추력을 충분히 확보하여야 하고, 운전시와 시팅시에 생기는 큰 폭의 토오크 변화량을 적절히 제어되도록 구동장치 내부에 토오크 제어기능을 갖는 장치를 구비한다. 이 토오크 장치의 운전은 다음과 같다. 즉, 웜 사프트에 스플라인된 웜은 웜 기어에 작용하는 부하의 증감에 따라 축방향으로 운동되도록 설계되어 있다. 실제로 밸브 스템에 작용하는 추력은 밸브 스템의 나사구조를 통하여 회전력 즉, 토오크로 변환되고 이 토오크가 모타의 회전 토오크와 관계되는 것이다. 따라서 밸브의 개폐에 따른 부하의 증가는 모타의 회전 토오크가 밸브의 스템 나사를 통하여 토오크로 변환되어 웜 기어 슬리이브를 회전시키려고 하는 힘에 대한 저항의 증가로 표현되고, 이 증가된 저항은 웜이 웜기어에서 생기는 저항만큼 앞으로 운동하기 시작할 것이다. 이 축방향의 운동은 토오크 스프링이라고 하는 BELLEVILLE SPRING 조합(PACK)을 압축시켜 토오크 에너지를 축적하고 이 웜사프트의 축 방향 운동량을 토오크 스위치와 연결시켜 토오크를 제어한다. 따라서 축 방향의 운동량을 X라 하고 토오크 스프링의 스프링 상수를 k라 할때 그 힘은 F=kx임으로 스프링 조합에 적용한 힘 F는 웜 기어에 적용한 힘과 동일함으로 출력 토오크는 이 힘 F와 밸브 스템의 모멘트 길이를 곱한 것과 마찬가지임으로 토오크 스위치의 설정으로 밸브 스템에 전달되는 출력 토오크를 제어할 수 있다. 이에 대한 추가의 상세사항은 다음 장에서 설명한다.

(4) 모타구동밸브의 TROUBLE 원인 및 진단 개요

모타구동밸브의 TROUBLE 원인에 대하여는 지난 호에서 언급한 바와 같이 주로 전기적 부품의 고장이 주된 원인이었음을 알 수 있었다. 그런데 이들 TROUBLE로 인하여 발생하는 모타구동장치의 고장 징후는 밸브 개폐시 전혀 동작하지 않는 전기적 단선의 문제와 순전한 하드웨어적 불량에 의한 고장을 제외하고는 거의 대부분이 모타구동장치의 제어에 관한 문제이다. 본장에서는 이를 중점적으로 설명하고 또한 TROUBLE시 제어상의 제반 특성으로부터 파악되는 현상을 이용하여 모타구동장치를 진단하는 방법에 대하여 개괄하고자 한다.

①모타구동밸브의 점검

모타구동밸브의 효율적 관리를 위해서는 앞서의 TROUBLE 발생원인에 따른 체계적인 밸브 점검이 매우 중요하다. 따라서 일단 운전중인 모타구동밸브의 점검은 유지보수 계획에 따라 다음의 〈표 13〉과 같이 시행하는 것이 바람직하다.

②모타구동장치의 제어용 제 스위치 기능 및 조정

모타구동장치의 제어는 기본적으로 토오크 스위치와 리미트 스위치의 조합으로 구성되며 설계 스템 추력에 대한 시팅 및 초기 디스크 개방시의 과부하에 대한 제어와 개방 후의 백시팅까지의 제어로 구분되고 리미트 스위치와 토오크 스위치는 스템 추력과 모타 토오크의 제어시 생길 수 있는 결함을 상호 보완하고 있는 것이 일반적이다. 따라서 제어용의 리미트 스위치는 예상되는 제어위치 2~3개 지점에 설치되며 이의 운전방법 및 사양은 전적으로 밸브의 기능, 구동장치 및 밸브설계 방침과 전체 프랜트 운용방침에 따라서 설계 운용된다. 다음에서 설명하는 것은 일반적인 모타구동밸브에서 사용되는 제어용 스위치의 기능 및 조정방법이다.

가. 열림 토오크 스위치(OPEN TORQUE SWITCH)

이 스위치는 최대 설계차압하에서 계산된 디스크 개방시의 토오크력보다 높은 값으로 설정되어있는데 이는 실제로 초기의 순간 최대 토오크(CRACKING TORQUE)가 토오크 스위치를 트립시킬 수도 있기

〈표 13〉 점검내용 및 주기

(점 검 내 용)	(점 검 주 기)
1) 외관 점검	월간 또는 격월간
— 모타 전원 단자함	
— 리미트 스위치 박스등의 볼트 조임 상태	
— 청결상태등	
2) 모타의 절연저항 측정	격월간 또는 분기
3) 전기적 접속부위 상태 점검 및 청소	격월간 또는 분기
4) 구동장치에서의 비정상음 발생 유무 및 작동 확인	분기별, 윤활유 점검
5) 디클러치 트리퍼 뭉치의 작동시험	분기별
— 디클러치 트리퍼 뭉치의 작동시험	
— 원활한 수동조작 여부	
6) 각 리미트 스위치 교정상태 확인(이력카드를 활용하고 모타 부하 전류를 점검)—필요시 재교정한 후 타당성 평가	1~2년
7) 토오크 스위치의 교정확인을 통한 토오크 설정치 조정 및 조정에 따른 타당성 평가	1~2년
8) 밸브 스템의 행정 및 행정 소요시간의 측정 및 평가 —6)항 및 7)항에 연동하여 평가	1~2년
9) 밸브의 구동시험	1~2년
— 운전전류의 측정	
— 과부하 보호장치의 점검등	
10) 토오크 스위치의 재조정시 토오크 스프링 조합의 스프링 상수 측정 및 스프링의 노화상태 점검	문제발생시 (문제 없을시 10년)

때문에 정상적인 밸브 디스크의 개방을 위하여는 디스크의 CRACKING지점에서는 전기적으로 이 스위치를 바이패스 시켜야 한다. 따라서 열림 토오크 스위치의 설정은 밸브 또는 구동장치의 기계적 문제가 생겼을 경우 운전자에게 경고하는 역할을 수행하고 또한 열림 리미트 스위치가 손상을 입었을 때 2차적으로 동작하여 밸브구조의 손상을 방지하는 역할을 한다. 열림 토오크 스위치의 설정치는 계산된 초기 토오크력보다 최소 1.05배 이상으로 선정하되 스템 추력이 4000LBS이하일 경우에는 통상 1.2~1.3배, 4000LBS이상일 경우 1.15~1.2배 정도가 적당하다.

나. 열림 리미트 스위치(OPEN LIMIT SWITCH)

이 스위치는 밸브의 부적절한 백 시팅을 방지하기 위하여 필수적으로 설치하여야 하며 밸브의 닫힘-열림 행정에서 완전 열림위치를 100%로 하였을때 90~92%위치에서 작동되도록 설정한다. 이 스위치의 설정확인은 우선 구동장치를 수동위치로 전환하고 핸드휠을 사용하여 밸브를 개방시킨다. 만약 밸브가 리미트 스위치의 트림위치와 리미트 스위치 접촉 로울러가 작동된 후 어느 정도 지난 후에 완전히 개방된다면 스위치의 설정은 적절한 것으로 본다. 그러나 리미트 접촉 로울러가 작동되면서 밸브가 더 이상 열리지 않을 경우 밸브는 백 시팅하고 있는 것임으로 부적절한 설정으로 재 조정 설치하여야 한다.

다. 닫힘-열림 토오크 바이패스 리미트 스위치(CLOSE TO OPEN TORQUE BYPASS LIMIT SWITCH)

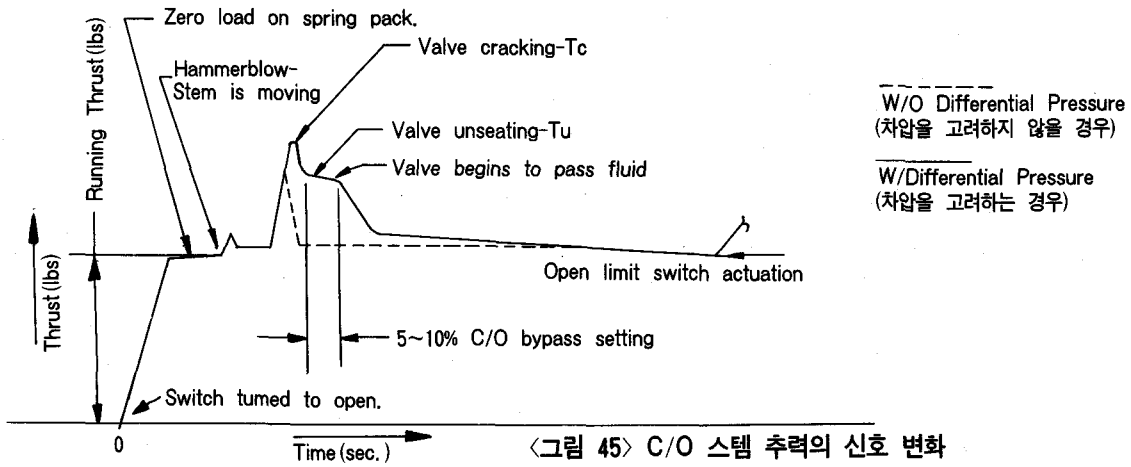
이 스위치는 일반적으로 밸브 디스크가 시트로부터 분리(CRACKING)될 때 경험하게 되는 높은 하중조건에서 토오크 스위치의 동작을 방지하는 역할을 수행한다. 이 스위치의 설정위치는 경험적으로 밸브 스템 행정의 5~10%정도 이내에 설치하는데 이는 밸브 디스크가 열리기 시작하여 유체가 흐르기 시작하면 높은 하중조건은 점차 감소될 것이기 때문이다. 이에 대한 설명은 〈그림 45〉를 참조한다.

라. 열림 표시 리미트 스위치(OPEN INDICATION LIMIT SWITCH)

이 스위치는 밸브의 개방을 단순히 표시하여 주는 리미트 스위치이다.

마. 닫힘 토오크 스위치(CLOSE TORQUE SWITCH)

이 스위치는 밸브 디스크가 적정의 기밀을 유지하기 위한 충분한 스템 추력을 확인시키고 이를 제어하는 스위치로서 열림 토오크 스위치와 마찬가지로 정확한 토오크 계산과 이에 따른 설정이 요구된다. 밸브가 닫힐 때는 지난 호에서 언급한 바와 같이 모타 접촉자의 지연시간(Drop-out time)으로 인하여 닫힘 토오크 설정치보다 큰 과도한 하중이 최종 시팅시 발생할 수



〈그림 45〉 C/O 스템 추력의 신호 변화

있으므로 밸브 및 구동장치 제작사의 추력(또는 토오크) 허용한계를 넘지 않도록 주의하여야 한다.

바. 닫힘 리미트 스위치(CLOSE LIMIT SWITCH)

리미트 스위치를 이용하여 밸브의 닫힘과정을 제어하고자 할때 최종적으로 밸브 트림구조에 가해지는 닫힘에 의한 힘은 가능한한 근사하게 시험되어야 밸브의 원활한 운전을 신뢰할 수 있다. 이 힘은 밸브의 트림구조, 설계방식, 접촉자 지연시간, 스템 축의 관성등에 크게 좌우됨으로 결국 시험된 최종 힘은 밸브 및 구동자 제작사의 허용 한계값에 따를 수 밖에 없으며, 장시간 운전시 생길수 있는 문제들 즉, 이물질의 혼입, 빈번한 리미트 스위치의 위치 교정으로 인한 지연시간의 문제, 트림 접촉면의 마모로 인한 스템 행정의 증가와 이에 따른 닫힘 추력의 증가등의 경우에는 제작사의 허용값도 중요하지만 실제로 앞서의 C/O스템 추력을 시험하여 재교정할 필요가 있다.

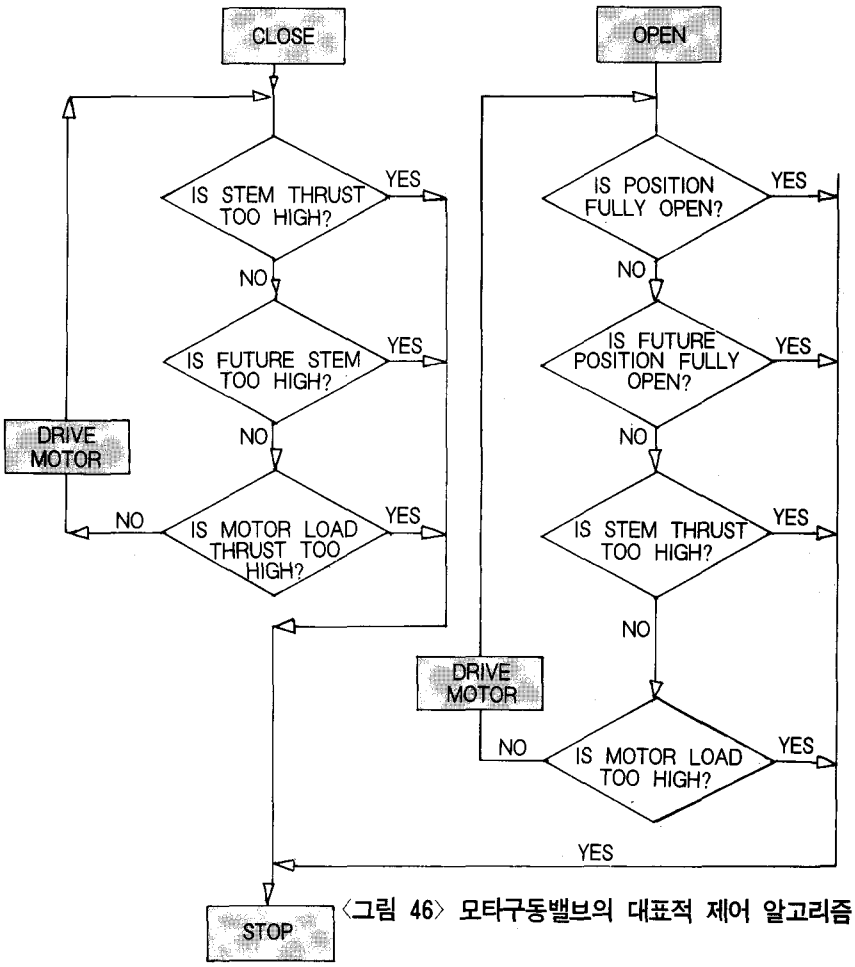
사. 열림-닫힘 토오크 스위치 바이패스 리미트 스위치(OPEN TO CLOSE TORQUE BYPASS LIMIT SWITCH)

이 스위치는 일반적으로 밸브가 닫힐 때는 함마브로우(HAMMERBLOW) 같은 힘이 생기지 않기 때문에 밸브의 운전성등의 관점에서 특별한 역할을 하는 것은 아니다. 따라서 프랜트 설계 및 운용자가 이 스위치에 어떤 역할 또는 제어성을 부과하는 것은 밸브 자체의 운전성과 관련지어 특별히 고려될 사항은 아니다.

아. 닫힘 표시 리미트 스위치등

③모타구동밸브의 진단

모타구동밸브의 TROUBLE은 우선 모타구동장치의 제어 알고리즘을 밸브의 운전목적에 부합되도록 수립하여 이에 따른 제반 동작이 원활하게 이뤄지는가를 검토함으로써 진단할 수 있다. 제어 알고리즘을 통하



〈그림 46〉 모타구동밸브의 대표적 제어 알고리즘

모타구동밸브의 TROUBLE은 모타구동장치의 제어 알고리즘을 밸브의 운전목적에 부합되도록 수립하여 이에 따른 제반동작이 원활하게 이뤄지는가를 검토함으로써 진단할 수 있어

여 파악할 수 있는 제반 밸브의 TROUBLE 특성은 진단의 방법 및 그 심도에 따라 차이는 있지만 기본적인 사항으로는 다음과 같은 것을 들수 있다.

①토오크 스위치 및 리미트 스위치 설정에 관한 문제-부적절, 불균형, 기계적 손상여부 및 설정범위(Setting Range)의 근접 등

②밸브 몸체에 관한 문제-백 시팅의 상태, 스템의 휨 여부, 스템 및 스템너트의 마모 상태, 시트 및 디스크의 마모상태, 부적절한 패킹 또는 과도한 패킹 조임 및 스템 윤활상태의 부적절 등

③구동 구조에 관한 문제-스템너트의 풀림, 웜 베어링의 이완여부, 웜 기어의 마모상태, 피니온 및 웜의 마모 또는 손상여부 및 윤활상태의 노화문제 등

④밸브 계통에 관한 사항-밸브간 차압의 극심한 변화, 계통 정지후의 DRY-RUN, 밸브 또는 배관지지의 부적절에 따른 진동 등이 있으며 이들 문제의 진단평가는 다음과 같은 운전 및 시험 결과로부터 얻어진 파라미터를 밸브 및 구동장치 제작사의 기술자료 및 계통의 운전자료와 비교하여 밸브 또는 구동장치의 고장여부와 건전성을 평가하게 된다. 이들 파라미터는 출력 토오크, 출력 추력, 웜 사프트의 변위량, 스템 축의 휨, 구동모타의 전류 및 출력, 닫힘 토오크 스위치 위치, 열림 토오크 스위치 위치, 리미트 스위치 #1(열림)위치, 리미트 스위치 #2(C/O BYPASS)위치, 리미트 스위치 #3(닫힘)위치, 리미트 스위치 #4(C/O BYPASS)위치, 밸브 개폐시간, C/O BYPASS 리미트 스위치의 지연시간(Drop-out time)등이다.

모타구동밸브의 대표적인 제어 알고리즘은 〈그림 46〉과 같으며 여기에 진단 파라미터로도 볼 수 있는 스템 추력, C/O 리미트 스위치의 위치 및 모타의 운전부하가 대표적인 제어요소이다.

이 제어 알고리즘에 따라 모타구동밸브의 온라인 진단을 가능하게 한 진단 시스템이 실제로 EPRI에서 개발 소개되었으며, 아울러 현장용의 개별 밸브 진단시스템은 미국 MOVAT사의 MOVAT SYSTEM을 선두로 LIMITORQUE사의 MAC SYSTEM 및 LIBERTY 기술센타사의 VOTES SYSTEM 등이 상용으로 개발되어 원자력발전소 등에서 모타구동밸브의 진단 및 수명평가용으로 사용되고있다.