

초고압 SF₆ 가스절연기기(5) (GCB, GIS)

글/김 상 진 · 현 중 수(효성중공업 주식회사)

목 차

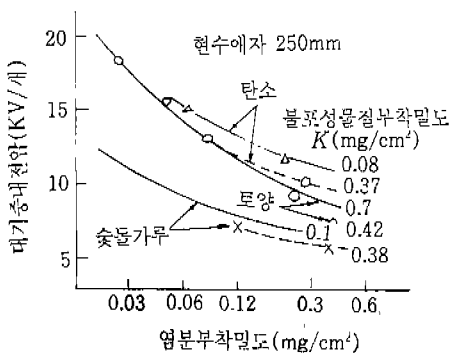
1. 서 론
2. 차단기의 용도
3. 차단기의 종류
4. SF₆가스의 성질
5. 차단기의 성능
6. 시 험
7. 가스차단기의 열화현상
8. SF₆가스절연기기(GCB, GIS)의 현지작업기준
9. SF₆가스절연기기(GCB, GIS)의 보수점검기준
10. 신뢰성 향상 및 향후 진단기술
11. 맺음말

7-4 환경열화

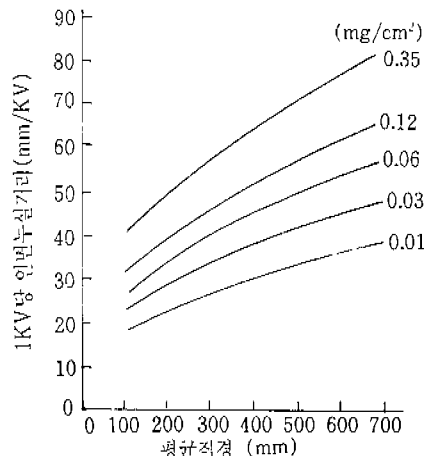
(가) 오존에 의한 열화

절연물 표면이 오손되면 내전압 특성이 저하된다. 특히 대기중에 사용하는 애관의 경우 오존내전압특성을 파악하는 것이 중요하므로 자연환경조건에서

내전압특성을 조사하는 것이 가장 좋은 방법이지만 확실성있는 특성을 얻는다는 것은 어렵기 때문에 자연조건을 모의한 인공오손시험을 많이 사용하고 있다.



<그림 17> 불용성 물질부착시 염분부착 밀도와 대기중 내 전압관계

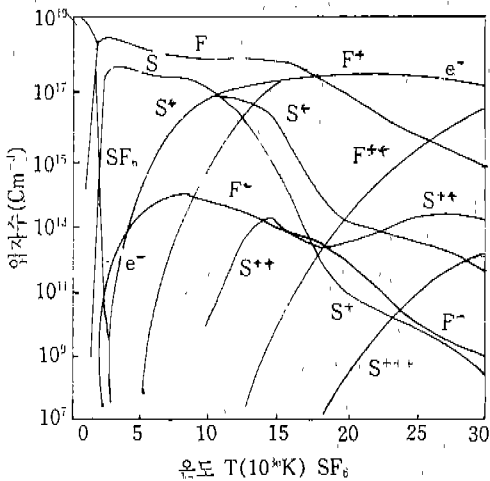


<그림 18> 오존내전압 특성 곡선

<그림 17>은 각종 불용성 물질의 오손이 내전압 특성에 미치는 영향을 조사한 것이며 각 조건에서 내전압치가 다른 것은 적용되는 오손물질이 수분을 함유하는 특성이 다른 것에 기인한 것으로 생각된다.

<그림 18>은 등가대기중 시험법에 따라 구한 결과를 이용 통계처리한 것으로 염분부착밀도를 인자로 하여 오손내전압 특성곡선을 정리하였다. 차단기 에관 적용시 <그림 18>을 근거로 취부되는 장소의 오손조건에 따라 연면누설거리를 선정하여야 한다.

- (나) 화학반응에 의한 변화(분해가스에 의한 열화)
- (i) SF₆분해가스에 의한 열화



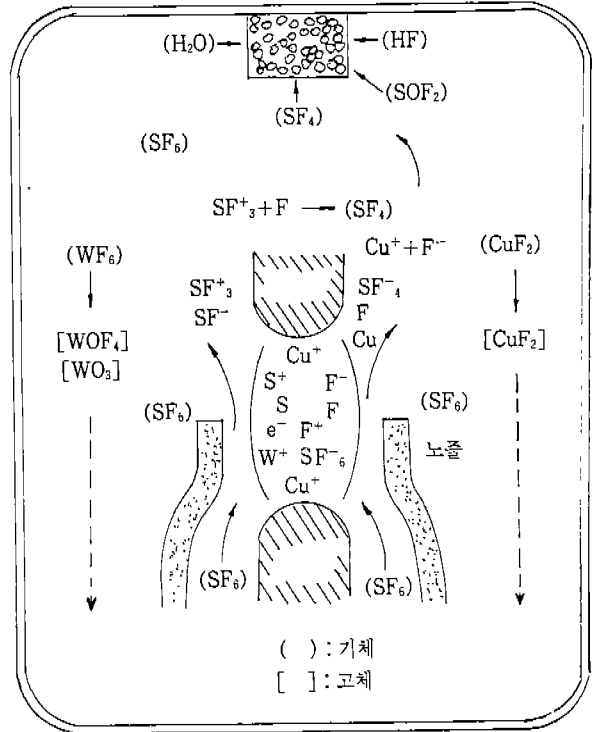
<그림 19> SF₆ 가스의 고온해리

SF₆가스는 상온에서 대단히 안정된 가스이지만 고온의 ARC에 접촉되면 분자간의 해리가 발생한다 <그림 19 참조>. ARC 소멸후는 온도가 저하되어 해리된 이온 재결합이 생기지만 재결합 후도 약간의 분해생성물이 남는다.

분해생성물의 조성비는 전극재료, 방전전류, 가스중의 수분량에 따라 크게 변화한다.

특히 수분이 존재시 화학적으로 활성화된 분해가

스(SF₄, SOF₂)가 수분과 반응하여 금속재료와 절연재료의 표면을 열화시킨다.



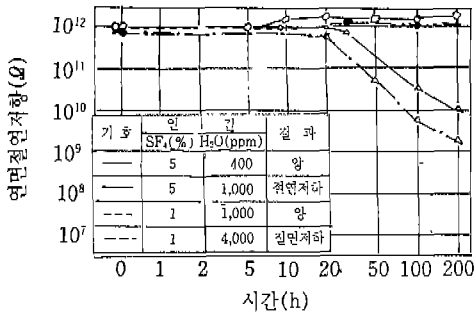
<그림 20> 차단기 내부 SF₆분자 Model

ARC에 의한 화학반응은 다음과 같다.

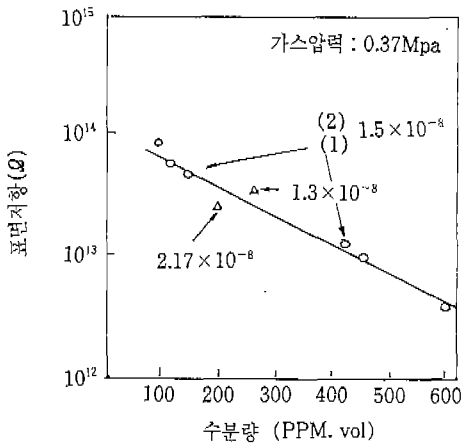


각종 금속재료의 분해생성물에 대한 내식성에 관해서는 많은 자료가 있지만 요약해보면 스텐레스강, 연강, 주철, 알루미늄 및 알루미늄 주물에서는 대개 변화가 없고 동, 동합금은 표면에 변색이 나타나는 정도이며, 실사용시에는 흡착제로서 수분과 분해가스를 기준치내로 관리하고 있기 때문에 전혀 문제가 없다.

<그림 21>은 SF₆로서 대표되는 분해가스와 수분으로 인한 에폭시 절연물 연면 절연저항을 조사한 결과이며, SF₆ 5%, 수분400PPM(vol), 또는 SF₆ 1%, 수분 1000PPM(vol)에서는 절연저항의 저하는 생기지 않는다.

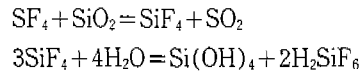


<그림 21> 분해가스(SF₆)와 수분에 의한 에폭시 절연물 연면절연



<그림 22> 애관 표면저항과 수분량의 측정

<그림 22>는 애관의 분해가스에 의한 열화를 조사한 결과로서 애관의 주성분인 산화규소(SiO₂)가 분해 생성물로 인하여 애관표면에 산(H₂SiF₆)이 생기는 원인이 된다.



이러한 절연물 분해생성물로 인한 열화에 대해서는 실제 가스차단기에서는 흡착제를 봉입하기 때문에 잔존 분해가스가 대개 없으며, 가스중 수분을 400PPM(vol)이하로 하면 전혀 문제가 없다.

습동부분에 윤활제로서 사용하는 그리스의 열화는 마찰로 인한 국부적인 발열, 주위열 등으로 인한 산화열화 및 물리적 외력에 의한 그리스 윤활역할(그물구조) 파괴가 주된 원인이며, SF₆가스중에 사용시 SF₆가스 분해생성물과 화학반응도 고려할 수 있다.

그리스의 윤활수명은 현상황에서 정확히 추정하는 것은 곤란하므로 경험에 의한 수명을 추정하고 있다. 이때문에 그리스의 특성을 어느 정도 확정후 열적조건이나 기계적 조건에 따라 그리스의 수명을 추정하고 있다.

(ii) 금속재료표면의 부식

금속재료표면의 부식은 화학반응에 의한 부식(전기화학적 기구)이 전형적이며 부식의 정도는 금속종류와 주위환경에 따라 상당한 차이가 있다.

<표 4>는 여러가지 환경에 따른 금속표면의 부식을 표시한 것이다.

일반적으로 대기중의 부식은 금속에 액체가 부착되지 않으면 진행되지 않는다.

반면 강우 등이 없는 옥내의 경우에도 금속부식이

<표 4> 습윤환경에서의 부식속도

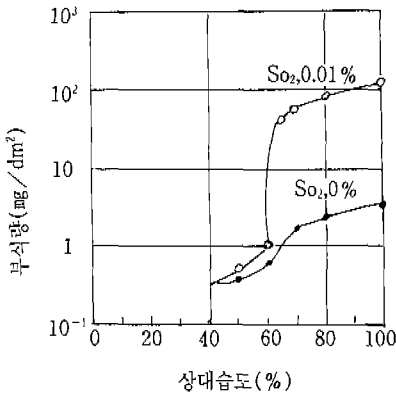
	부식(μ/10년)								
	공 기			물			토 양		
	공업지역	도시	공원지대	하천	바닷물	상수도	고부식성	부식성	저부식성
방식처리하지 않은 철강	1000	500	100	500	1000	100	1000	300	50
아연도금처리한 철강	100	50	20	300	200	150	150	100	30
알루미늄합금		10	0.5	-	-	-	350	35	5
동		10	5	-	-	-	30	15	5

진행되는 것이 많지만 이것은 금속표면에 생기는 수분응결 때문이다. 따라서 주위환경에서는 상대온도가 중요한 인자이다.

<그림 23>은 대기중 상대습도와 Fe의 대기부식량을 나타낸 것으로 상대습도가 60% 이상이 되면 급격히 부식이 진행된다는 것을 알 수 있다.

이것은 주위 상대습도가 100% 되지 않아도 온도의 급변 또는 액체간에 금속이온이 발산되어 냉각으로 인한 표면습도가 100% 이상되어 수분의 응결이 생기기 때문이다.

이러한 상태는 대기중에 SO₂가스가 있을 경우 정도가 더욱 심하다.



<그림 23> 대기 상대습도와 Fe부식량

(iii) 접점의 열화

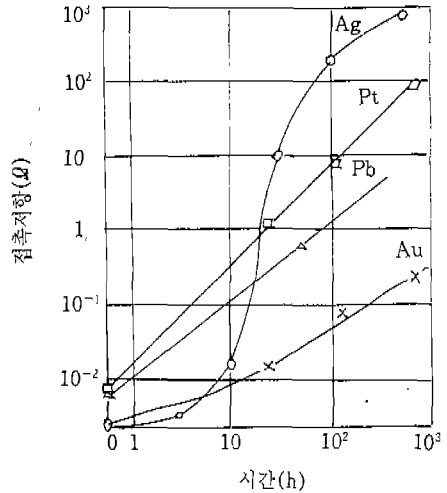
전기접점부품은 주회로뿐만 아니라 제어회로에서도 대단히 많이 사용하고 있으며 차단기 기능상 상당히 중요한 위치를 점하고 있다.

특히 미세전류를 기폐하는 계전기 등의 부품은 접점부에 미세한 변화가 있어도 신뢰성에 직접적인 영향을 끼친다.

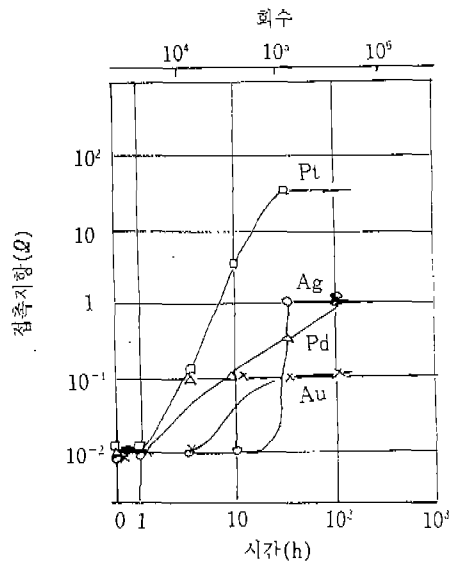
이러한 부품 방치환경에서 보면 도시의 공기매연이나 자동차 배기가스 등의 유화(硫化) 수소(H₂S) 영향이 문제가 되고 있다.

귀금속 접점재료 Ag, Au, Pt, Pd가 H₂S 분위기

에 존재하면 어떤재료도 부식생성물이 생겨 접촉저항이 상승한다.



<그림 24> 10PPM H₂S 가스중의 각종 접점재료 접촉저항



<그림 25> 10PPM H₂S에서 개폐동작시 각종 접점 접촉저항

<그림 24, 25>에 각종 접점재료를 H₂S중에 방치할 경우와 개폐동작조건을 추가한 경우의 시험결

과를 나타낸 것이다. H₂S가스중에서의 개폐동작시 둘다 Au가 제일 영향이 적다.

Pt, Pd, Au는 개폐동작에 따라 접촉점의 유화가 촉진될뿐만 아니라 기계화학적 반응을 일으켜 Pt, Pd는 접촉저항이 상당히 높다.

한편 Ag는 H₂S가스중에서 가장 접촉 저항이 크지만 개폐동작을 할 경우에는 크게 높지 않다. 이것은 AgS가 기계적 동작시 파괴되기 쉽기 때문이라고 생각된다.

Ag는 전기접점에 대단히 사용빈도가 높은 금속으로서 Ag의 유화에는 H₂S의 농도와 습도가 중요한 요인이다.

Ag유화막 두께는 실험에 의해 유화수소가스농도가 1PPM 이하의 경우 식(6)으로 구할 수 있다.

$$D = 22.4C^{0.45}T^{0.8}H \dots\dots\dots (6)$$

D: 유화막(Ag₂S)두께(°A)

C: 유화수소 가스농도(PPM)

T: 방치시간(h)

H: 습도에 의한 계수

(습도 90% : 1, 70% : 0.5, 50% : 0.25)

상기식에 의하면 주위환경의 유화수소 가스농도와 방치시간, 습도상태를 알면 동일 유화막(Ag₂S)두께에 미치는 수명예측시험조건(유화수소가스농도, 습도)을 얻을 수 있다.

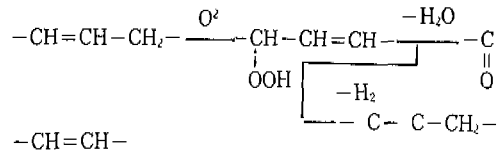
(IV) 도료의 열화

도막은 시간이 경과됨에 따라 광택의 저하, 백악화(Chalking: 도막의 점차적인 광택 소실과 분말화), 색상의 변화, 균열(Alligating), 부착불량(Poor Adhesion of Finish), 녹, 마모(Erosion)등의 열화가 진행되지만 빠른 시간에 발생하는 광택의 저하, 백악화의 발생, 색상의 변화 등 열화정도에 따라 내후성이 양호한지를 판명하고 있다.

① 내후성에 영향을 끼치는 요인으로서 자외선, 산소, 수분, 습도 등이 있으며 특히 태양광선의 자외선 에너지에 의한 도막성분의 분해작용과 자외선에 의한 도막온도상승이 도막열화의 지배적인 원인이 된다.

② 도막열화는 성분수지의 화학구조가 중요한 요인

으로 이중결합 화학구조를 가지고 있으면 이중결합에 인접된 α-메틸기의 탄소, 수소간의 결합에너지가 다른 결합에너지에 비해 약하기 때문에 자외선을 받으면 수소원자가 유리되어 <그림 26>의 반응식과 같이 산소분자와 결합(산화) 열화가 발생된다.



<그림 26> 자외선에 의한 도막 성분 수지와 열화

③ 도료수지의 화학구조중 이중결합이 많은 것은 열화되기 쉬워 내후성이 좋지 않다.

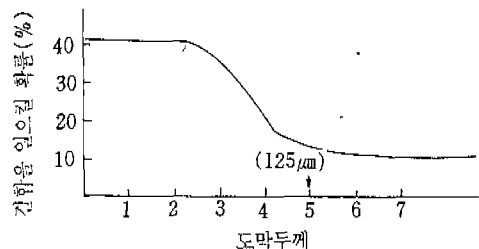
알키드수지, 페놀수지, 에폭시수지 등에 이중결합이 많으며 아크릴수지, 폴리우레탄수지, 실리콘수지 등에는 이중결합이 많지 않아 내후성이 양호하다.

④ 도막의 사용연수(내구성)는 도료종류에 따라 다르지만 특히 도막두께가 영향이 크다.

<표 5>는 여러가지 환경에서의 도막두께 125

<표 5> 환경과 사용연수

환경	사용연수
해안	3.9년
공장지역	6.0년
공원지대	6.9년
산야지대	7.8년



<그림 27> 도막두께와 도막의 조기열화관계

㎍ 정도일 경우 사용연수를 표시하였으며, 외부노출 시 각종 도료에 따라 도막두께와 조기열화 관계를 조사한 결과를 <그림 27>에 표시하였다.

<그림 25>에서 보듯이 도막두께 125㎍ 이하일 경우에는 환경에 의한 결합이 쉽게 발생할 수 있는 것을 알 수 있다.

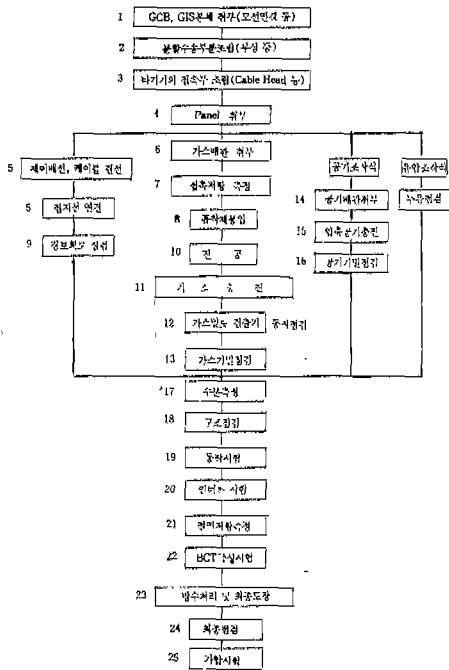
이와 같이 도막두께는 사용연수, 경제성, 내식기능 등을 고려 선정할 필요가 있다.

8. SF₆가스절연기기(GCB, GIS)의 현지작업기준

8-1 작업순서 및 관리기준

SF₆가스 절연기기의 내부기기들은 설치가 완료되면 가스중에 존재하므로 외기의 영향을 받지 않아 고신뢰성을 가지고 있다.

따라서 현지작업시 고신뢰성을 확보하기 위해 작



[주] * 362kV급에 해당 154kV급 이하는 본체부착용송 GCB의 경우 작업NO. 3,20은 제외

<그림 28> GCB, GIS 현지작업순서

업관리는 상당히 중요하며, 특히 현지 취부작업시 가스절연기기의 기본성능에 영향을 미치는 먼지, 수분 등에 주의하여 작업할 필요가 있으며 가스 절연기기 현지작업시 작업순서와 관리기준은 <그림 28>, <표 6>과 같다.

<표 6> GCB, GIS 현지작업관리기준

NO	작업명	작업내용	관리기준	사용기자재
1	GCB, GIS 본체 취부	1)기초의 상태와 접지선 위치 확인 2)도면에 따라 위치선정 3)수평도 확인	• 기기취부면이 수평기 기포 편차0.5mm이하	수평기
2	분할수송부부분 조립	1)기상조건, 주위환경의 확인 2)접속부분, Tank 내부청소 3)기밀면 O-RING면 상처 유, 무 확인 4)조립작업시 Check Sheet에 따라 작업 하며 기록할 것	• 분진농도 20CPM 이하 • 습도80% 이하 • Tank내부 작업시 산소농도계로서 농도 18%이상일 경우 작업 실시	분진계 습도계 산소농도계
3	타기기와 접속부 조립	1)NO.2 작업과 동일 2)작업범위의 확인 3)기밀부분 작업시 상호간 확인할 것	상동	
4	PANEL 취부	1)PANEL을 도면에 지정된 장소에 취부 2)체전기류의 손상 등을 점검		
5	제어배선, 케이블결선, 접지선연결	1)Buzzer Tester로서 배선 점검 2)접속부분 체결상태 확인		Buzzer Tester
6	가스매관취부	1)배관내부를 건조공기 등을 이용 청소한다. 2)O-RING을 확실하게 취부하여 체결한다.		
7	접속저항측정	1)주회로 양단부상 또는 도체말단을 이용 전압 강하법으로 측정한다 (시험법참조)	• 측정치가 공장시험시 값의 120%이내일것 • 3상간의 차이는 동일 길이시 20%범위를 넘지 않을 것	접속저항 측정기

NO	작업명	작업내용	관리기준	사용기자재
8	흡착제 봉입	1)제조집, 부품교환으로 3시간이상 대기중 노출된 가스구획의 모든 흡착제는 교환한다.	• 흡착제 봉입후 30분 이내에 진공작업실시 요망	
9	경보회로점검	1)도면과 동일하게 결선 이 되어 있는지 확인 2)푸쉬 버튼 스위치(램프 테스트용)를 눌러 경보용 램프가 켜지는 지 확인 3)각 경보용 릴레이 시험용 버튼을 눌러 Buzzer 및 램프가 켜지는지 확인		
10	진공	1)진공 pump의 oil량 배선접속상태, 회전 방향 등을 점검 2)진공 pump와 진공 계를 연결하여 진공 배기 시킨다	• 진공도 1mmHg도달 후 1시간 이상 배기	진공 pump 진공계
11	가스충진	1)SF ₆ 가스 봉에 또는 가스급배 장치를 이용 서서히 SF ₆ 가스를 충전시킨다. 2)가스충진후 1시간뒤에 주위온도를 확인 온도보상한 압력치로 환산한다.	• 압력치는 20°C기준 이므로 온도보상한 값으로 충전할것	압력계 온, 습도계
12	가스밀도 검출기 동작점검	1)각 가스구획용 밸브를 모두 닫고 제어반내 외부배선이 연결되지 않는 상태에서 실시 2)단자대의 가스압력 저하 경보용 단자에 Tester 또는 Buzzer를 접속시킨다. 3)가스를 대기로 방출 시 경보용 접점이 "ON" 되는 압력과 가스충진 시 OFF되는 압력치를 사양과 비교한다.	• 각 점점의 동작치가 사양값의 ±0.2kg/cm ² , G이내에 동작할것	Buzzer

NO	작업명	작업내용	관리기준	사용기자재															
13	가스기밀점검	1)현지 접속 가스기밀부를 가스 leak Detector로 Check한다.	• 가스누기율 1% -년 이하로 한다.	leak Detector															
14	공기배관취부	1)배관내부 청소후, 확실하게 체결한다.																	
15	누유점검	1)유압을 상승시키면서 누유여부를 점검	• 누유가 없을것	유압조작경우															
16	압축공기충진	1)공기압축기를 "ON" 시켜 고압공기를 공기 Tank에 충전시킨다.		공기압축기															
17	공기기밀점검	1)공기배관 등 접속부 는 비눗물 등을 이용 기밀점검 2)Airing밸브를 캡으로 막고 조작함내의 급기 밸브를 닫은후 압력 계를 읽으며 이때의 시간과 온도를 기록 한다.	• 12시간 방치후 3% 이하의 압력저하	공기조작경우															
18	수분측정	1)수분계를 이용하여 SF ₆ 가스중의 수분량을 측정한다. 2)측정은 가스봉입후 약15분간 방치후후 행한다.	<table border="1" style="font-size: small;"> <tr> <td></td> <td>분해가스</td> <td>분해가스</td> </tr> <tr> <td></td> <td>극 박방치</td> <td>극 박방치</td> </tr> <tr> <td></td> <td>않는기기</td> <td>않는기기</td> </tr> <tr> <td>관리치</td> <td>500ppM (Vol)</td> <td>150ppM (Vol)</td> </tr> <tr> <td>최용치</td> <td>1000ppM (Vol)</td> <td>300ppM (Vol)</td> </tr> </table>		분해가스	분해가스		극 박방치	극 박방치		않는기기	않는기기	관리치	500ppM (Vol)	150ppM (Vol)	최용치	1000ppM (Vol)	300ppM (Vol)	수분측정기
	분해가스	분해가스																	
	극 박방치	극 박방치																	
	않는기기	않는기기																	
관리치	500ppM (Vol)	150ppM (Vol)																	
최용치	1000ppM (Vol)	300ppM (Vol)																	
19	구조점검	1)각부의 체결상태 2)에란 및 절연물 홈집																	
20	동작시험	1)차단기, 단로기, 접지개폐기의 동작 특성 시험 2)차단기의 경우 정격 조건에서 규정치를 만족하고 동작이 원활한지 확인한다. (각 5회) 3)단로기, 자동접지개 폐기는 정격조건에서 각 5회 실시 이음발생 유무, 동작의 원활성을 확인한다.	• 3상개리차 : 4msec 이하	• 동작특성 시험장치 • Visigraph															

NO	작업명	작업내용	관리기준	사용기자재
21	인터록시험	1)인터록 도면을 근거로 각 기기가 인터록 조건에 부합되게 동작하는지 확인		
22	절연저항측정	1)주회로의 측정치가 1000MΩ 이상인지 확인 2)차 및 보조회로는 제어회로 단자를 100개 이하로 일괄단락하여 측정하고 2MΩ 이상인지 확인		Megger
23	BCT극성시험	1)하기 회로를 구성하여 BCT 2차측 mA meter 방향으로 변류기 극성을 확인	• 감극성인지 확인	mA METER
24	방수처리 및 최종도장	1)현지 조립부분 특히 기밀부분에 실리콘 고무 등을 사용하여 방수처리한다. 2)기름기, 먼지 등을 완전히 제거한후 도장을 한다.		
25	최종점검	1)각 부분이 도면과 일치하는지 재확인 2)차단기, 단로기, 접지 개폐기가 규정대로 동작되어 있는지 확인 3)가스구획별로 가스가 충전되어 있는지 재확인 4)가압을 위한 주변정리 및 이상이 없는지 확인		
26	가압시험	1)수주처 감독관 입회 하에서 가압시험을 실시한다. 2)변압기 2차측을 무부하 상태로 하여 시행하며, 가압후 이음발생시 재점검을 시행한다.		

8-2 현지작업시 주의점

(가) 먼지관리와 조립작업

먼지관리는 분진계로서 20CPM 이하로 할 것. 취부작업시 지면이 평탄치않으면 주위환경에 따라 배수시설 등을 설치하고 가스 절연기기 주변에 시트 등을 설치할 필요가 있다. 또한 부품연결(Docking) 작업시에는 먼지침입 등을 방지하기 위해 연결작업 부위에 비닐커버 등을 이용 주변을 감싸고 경우에 따라 간이 방진조립실을 설치할 필요가 있다.

(나) 흡착제와 수분관리

흡착제를 대기중에 장기간 방치하면 절대로 안되며 흡착제 취부후 30분이내에 진공작업을 실시하여야 한다.

수분은 외기온도 변화에 따라 절연물 표면에 결로 현상이 생겨 절연저하의 원인이 되며, 분해가스와 반응하여 활성유화수소를 생성시켜 절연재료를 열화시키는 원인이 된다.

(다) 가스충진작업

가스충진은 대개 기기내부를 진공건조하기 때문에 진공도 1mmHg 도달후 최소한 1시간이상 진공작업을 추가 실시, 건조한후 SF₆가스를 정격압력까지 충전시킨다.

SF₆가스압력은 일반적으로 20℃ 기준이므로 온도 보정하여 충전시킬 것.

(라) 가스누기의 관리

연간 가스누기관리치는 가스감시구간 전체에 대해서 1%이하를 목표로 한다.

측정방법으로는 Gas Leak Detector를 이용하여 비닐시트로서 점검부분을 감싼후 장시간 방치시켜 가스농도를 측정하는 축척법을 사용하고 있다.

(마) 방수처리

옥외에 설치되는 가스절연기기 플랜지 접속부, 절연스페이스 취부 볼트구멍으로 빗물의 침투가능성이 있고, 침투된 빗물이 유출되지 않는 구조에는 방수재의 주입 또는 주변 방수처리를 실시하여야 한다.

방수처리가 완벽하게 되지 않으면 빗물 침투로 플랜지 부분의 부식 또는 이중금속간 접촉시 전식작용이 발생 부식으로 인한 기밀불량의 우려가 있다.

<다음호에 계속...>