



전기를 수백만 대에 공급하다

변압기, 절연체 및 고전압 개폐기의 제조시 진공

전기를 발전소 또는 공공 전기망에서 소비자에게 송전하려면 변압기가 필요합니다. 변압기는 전압을 조절하여 높이거나 낮춰 비용 효율적으로 전기를 송전하고 필요한 전압을 공급합니다. 이러한 변압기를 제조할 때 다음과 같이 생산 공정의 다양한 단계에서 진공 기술이 필요합니다.

즉, 권선 건조, 변압기 절연유 탈기체, 오일 주입 전과 주입 중 변압기 탱크 및 확장 용기 진공화 단계에서 진공 기술이 필요합니다.

권선 건조

권선 건조의 목적은 종이와 목재에서 물, 타닌산 및 아세트산을 제거하고 종이 절연체에서 중합체와 왁스를 제거하는 데 있습니다. 고성능 변압기의 경우 섬락 발생 가능성이 있기 때문에 잔류 습기 함량이 0.1 – 0.3 퍼센트를 초과해서는 안 됩니다. 그래야 섬락 발생을 방지할 수 있습니다. 그 결과 전기 손실이 최소로 줄어들고

절연 저항이 개선됩니다. 실제적인 응용 분야의 경우 절연 저항은 $0.1 - 10^{-2}$ hPa의 진공 범위에서 이상적인 수준을 유지합니다. 권선을 건조하는 데 필요한 진공은 루츠 펌프와 회전 날개 펌프의 조합으로 생성합니다. 응용 분야가 청정 응용 분야인 경우, 건식 펌프가 루츠 펌프에 대한 배압 펌프로서 사용됩니다. 권선을 건조하는 데 사용할 수 있는 원리에는 서로 다른 여러 가지가 있습니다. 가장 효과적인 절차는 증기상 건조(VPD)입니다.

증기상 건조(VPD)

1960년대 파이프 베큘은 이러한 건조 공정을 개발했습니다. 심지어 오늘날까지 이 공정은 권선을 건조하는 데 있어 가장 효과적인 방법으로 알려져 있습니다.

생산 단계	공정	필요한 진공
권선 건조	증기 건조	$< 10^{-2}$ hPa
절연유를 채우기 전이나 채우는 중 탱크와 응축실의 컨디셔닝	응축에 의한 습기(물) 및 오염물 제거	$5 \cdot 10^{-2} - 10^{-3}$ hPa
절연유의 기체 제거	응축에 의한 오일내의 습기/오염물 제거	< 0.5 hPa

표 1: 변압기 생산에서의 진공 건조 공정

증기상 건조는 건조실에 분무하는 등유 또는 알코올의 열 전도성 뿐만 아니라 절연 물질의 균일한 가열을 이용합니다. 분사되는 등유는 화학적 성질이 절연유와 유사합니다. 공정이 진공 하에서 이루어지기 때문에 중합 해체 반응 요인이 대폭 줄어듭니다. 이로써 절연 물질의 수명이 상당히 늘어납니다.

등유에는 특정한 자체 표면 장력이 있습니다. 이 밖에 등유는 밀도가 매우 낮기 때문에 아주 미세한 균열도 침투할 수 있습니다. 이러한 성질을 고려할 때 건조 공정은 고온 공기와 같은 다른 방법에 비해 50 - 60 퍼센트가 더 빠릅니다. 증기상 건조를 사용할 경우 몇 일 내에 권선을 건조할 수 있으나, 확실히 건조하려면 몇 주가 걸립니다. 이러한 사실로 유효성을 촉진함으로써 출력이 증가하고 비용이 최적화됩니다.

증기상 건조에서 어떤 현상이 발생합니까?

- 크기에 따라 변압기 전체이든 단순히 종이 절연 구리 권선이든 이들이 레일 시스템을 따라 건조실로 미끄러져 들어갑니다. 오늘날 건조실은 최대 1,000 m³의 부피로 만들어집니다.
- 제습 공정을 가속화하려면 건조실을 약 105° ~ 110°C 범위의 온도로 가열합니다.
- 필요한 절연 온도는 건조실의 온도가 최소 105°C일 때 구할 수 있습니다.
- 등유는 JET 기화기로 분사되어 가열 모드에서 가열됩니다. 그러면 진공/콘덴서 모듈이 압력을 천천히 약 20 hPa까지 낮추면서 등유를 조금씩 제거합니다.
- 그리고 나서 기화기와 콘덴서에 대한 모든 연결이 닫힙니다.
- 진공 펌핑 스테이션이 켜지면서 미세한 진공화 공정이 시작됩니다. 진공 조건이 $< 10^{-2}$ hPa에 이르면 이 공정이 종료됩니다.
- 잔류 습기 함량이 0.3 퍼센트를 초과해서는 안 됩니다. 고급 변압기의 경우 이 값은 0.1 퍼센트입니다. 이슬점 측정 장비를 사용하면 진공 펌프 배기구에서 실제 잔류 습기를 정확히 측정할 수 있습니다.
- 탱크는 진공 조건에서 기체가 제거된 절연유로 채워집니다. 이 경우 진공 펌프가 유압식 락으로부터 장치를 보호하기 위해 과로 방지 장치가 필수적입니다. 이들이 작동하는 동안 이러한 보호 장치만으로 절연유가 진공 펌프로 유입되는 것을 방지할 수 있습니다. 그 결과 특히 루츠 펌프가 잠재적인 파괴로부터 보호됩니다.
- 등유는 중간 진공 공정 동안 증류 모듈에서 재처리되고 나중에 사용할 수 있도록 별도의 집전 탱크에 저장됩니다.

변압기 탱크의 진공화

변압기를 제조하는 동안 응축으로 인한 물 또는 오염물과 같이 습기가 존재해서는 안 됩니다. 따라서 이러한 습기를 완전히 제거해야 하며, 특정 응용 분야에 맞춰 정밀하게 조정된 이동식 진공 시스템이 필요합니다. 변압기 탱크를 진공화할 때 정확하게 정의된 표준을 고려해야 합니다. 예를 들어 변압기 탱크에서 진공화 포트의 표준 크기는 80 mm입니다. 상대적으로 작은 이 구멍을 통해 전도성이 상당히 즉, < 1 hPa 미만으로 손실됩니다. 결과적으로 진공 펌핑 스테이션의 펌프 속도가 상당히 감소됩니다. 동시에 이 표준은 펌프-다운 시간에도 다음과 같이 불리한 영향을 미칩니다. 시간이 더 오래 걸리기 때문에 생산 출력이 낮아집니다. 대형 진공 펌프를 사용해도 위와 같은 점이 개선되지 않으며, 단지 생산 원가만 높아집니다.

명목 직경의 제약을 고려할 때 가능한 한 80 mm 구멍 가까이에 이동식 진공 장치를 부착해야 합니다. 짧은 진공 유입 호스의 사용으로 이와 같이 전도성 손실을 줄일 수 있습니다. 일반적으로 이 호스의 길이는 4 내지 5 미터입니다.

잔류 습기 결정하기

이슬점 측정 장치를 사용하여 진공 장치 배기구 또는 진공 측정기에서 잔류 습기를 결정할 수 있습니다. 진공 측정에는 정전용량형 측정기만 사용해야 합니다. 이러한 측정기들은 매우 정확하고 내부식성이 강하며 사용 중인 가스의 종류에 좌우되지 않습니다. 잔류 습기 측정값은 단지 진공에 기초한 지표에 불과합니다. 따라서 진공 측정 장치가 매우 정확해야 합니다. 이래야만 잔류 습기가 규정된 한계값을 초과하지 않게 됩니다. 비싸지 않은 피라니 진공 측정기의 경우 낮은 측정 범위에서 정확도가 +/- 15%와 > 1 hPa에 불과합니다. 따라서 편차가 30 퍼센트 이상에 달할 수 있습니다.

절연유 재처리하기

또한 절연유에는 내부에서 섬락이 발생하지 않도록 습기와 오염물이 없어야 합니다. 이러한 목적을 위해 유지해야 하는 정밀한 오일 순도가 정의되어 있습니다. 이 순도는 절연유가 기체 제거 공정을 거치게 함으로써 획득할 수 있습니다.

이러한 기체 제거 공정을 거치면서 절연유를 변압기에 채우기 전에 습기, 기체 및 기타 오염물이 절연유로부터 제거됩니다. 따라서 < 1 hPa의 진공 조건이 필요합니다. 이러한 목적으로 3단계 루츠 또는 회전 날개 펌핑 스테이션(펌프 속도: 루츠 펌프의 경우 1000/500 m³/h; 단일 단계 회전 날개 펌프의 경우 100-200 m³/h) 또는 펌프 속도가 250 m³/h인 2단계 회전 날개 펌프와 중간 콘덴서가 사용됩니다.

고전압 개폐기 및 절연체

무조건적인 불활성 무취 기체인 헥사플루오린화황(SF₆)이 중간 전압 및 고전압 개폐기와 시스템(GIS)은 물론 5 ~ 1000 kV의 전압 범위에서 완전히 캡슐화된 시스템용 기체 절연 파이프(GIP)에서 절연 기체로서 사용됩니다. 이 밖에 고전압 개폐기를 전환할 때 아크를 방전하는 데 이 기체가 사용됩니다.

헥사플루오린화황의 아크 차단 성질은 공기나 질소보다 3배나 높습니다. 이러한 성질과 낮은 유전체 손실을 고려할 때 SF₆는 특정한 용도에 이상적입니다. 절연성을 유지하기 위해 이 기체의 압력은 5 ~ 10 bar이어야 합니다. 이렇게 높은 압력은 전자의 평균 자유 경로를 단축합니다. 이러한 단축의 목적은 전자가 너무 심하게 가속되어 SF₆ 분자와 계속해서 충돌하지 않도록 하는 데 있습니다.

또한 SF₆ 절연유로 채워야 하는 고전압 개폐기는 진공실에서 사전에 건조해야 합니다. 변압기 공정에서와 같이 이러한 건조 및 충전 공정에서도 10^{-2}hPa의 진공 조건이 필요합니다.

현장에서의 정비

정기적인 정비는 변압기, 고전압 개폐기 및 절연체의 정상적인 작동 상태를 유지하고 이들을 안전하게 작동하는 데 필수적입니다. 기존의 리크를 통해 습기가 점진적으로 유입되면 내부에서 섬락이 발생할 수 있습니다. 정의된 정비 계획에서는 탱크를 비우고 리크를 검사한 후 절연유 또는 SF₆ 기체를 채워야 하는 시점을 지정합니다.

현장 정비를 수행하기 위해 진공 펌프와 충전 장비를 트럭에 탑재합니다. 전원은 디젤 발전기에 의해 공급됩니다.



그림 1: 파이프 베콤 건식 펌핑 스테이션

품질 보장을 위한 리크 검사

리크 검사는 생산 또는 현장 정비 중 품질 보장을 위해 필수적입니다.

압력 상승 방법은 10⁻¹ hPa m³/s의 리크율로 대량 리크를 감지하는 데만 적합합니다. 리크 기밀도가 더 높아야 할 경우 헬륨 누출 감지기를 사용해야 합니다. 이 감지기는 리크를 정확하고 신뢰성 있게 측정합니다. 무게가 최대 25 kg에 이르는 이동식 휴대용 리크 감지기는 현장에서도 사용할 수 있기 때문에 변압기 생산에서도 진가를 발휘합니다.

정보 박스

전도성이 손실되면 펌핑 스테이션 성능이 영향을 받습니다.

- 건조실에 직접 부착된 3단계 펌핑 스테이션의 펌프 속도가 그래프에서 파란색 선으로 표시됩니다. 그러나 이 구성은 실제적인 사용으로 잘 전환되지 않습니다.
- 80 mm 유입구 포트가 3단계 펌핑 스테이션의 펌프 속도에 미치는 영향은 그래프에서 빨간색 선으로 표시됩니다. 진공 조건이 5 · 10⁻³이고 3,200 m³/h의 용량이 설치된 경우 펌프 속도는 80 m³/h에 불과합니다.
- 펌프 속도의 차이는 < 1 hPa의 압력 범위에서 유입 파이프의 명목 직경이 작아 전도성이 손실되기 때문에 발생합니다.
- 표준 직경을 100 mm와 같은 명목 직경으로 변경하면 펌프 속도를 눈에 띄게 높이거나 펌프-다운 시간을 단축할 수 있습니다.

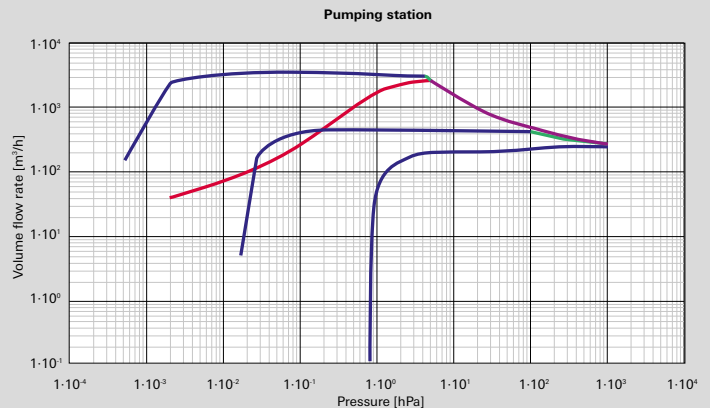


표 2: 전도성 손실이 펌핑 스테이션 성능에 미치는 영향



그림 2: 파이퍼 베콤 DuoLine 회전 날개 펌프는 1.25 ~ 1,920 m³/h 범위의 펌프 속도를 커버합니다.

회전 날개 펌프 또는 건식 펌프를 배압 펌프로 사용할 수 있습니까?

건식 펌프가 점점 더 많이 사용되는 추세입니다. 그러나 기술적 특성 때문에 회전 날개 펌프는 증기상 변압기 건조 또는 권선 건조와 같은 응용 분야에 이상적입니다. 개방형 기체 밸러스트 밸브를 채택한 회전 날개 펌프의 오일 작동 온도는 80-85°C입니다. 이와 비교할 때 건식 펌프에서는 기체가 내부 압축에 의한 열 형성 때문에 150° ~ 180°C 범위의 온도에 도달합니다.

증기 건조 공정 동안 중합체와 왁스가 발생하면 이들은 건식 펌프가 작동할 때 뜨거운 로터에 의해 연소됩니다. 이로써 검은색 코팅이 남게 되는데, 이 코팅 때문에 펌프를 꺾다가 다시 켜면 펌프가 작동되지 않고 따라서 펌프를 완전히 청소해야 합니다.

그러나 회전 날개 펌프를 사용하면 중합체와 액상 왁스가 오일에 남게 되고 오일을 교환할 때 배유됩니다. 이로써 펌프를 새로운 오일로 채우고 즉시 다시 사용할 수 있습니다. 따라서 오일을 폐기하는 문제가 고려해야 하는 유일한 조치입니다.

파이퍼 베콤 솔루션

파이퍼 베콤은 필요한 진공 조건을 조성하고 이동식 리크 감지기를 가지고 리크 검사를 하는 데 적합한 솔루션을 제공합니다. 광범위한 포트폴리오에는 다음과 같이 변압기 및 고전압 개폐기 생산 공정에 적합한 솔루션이 포함됩니다.

- 펌프 속도가 1.25 ~ 1,920 m³/h 범위이고 치수가 컴팩트한 단일 단계 및 2단계 회전 날개 펌프
- 압축률이 높고 운영비가 낮은 루츠 펌프는 특정한 응용 분야에 맞춰 유연하게 조정할 수 있습니다.
- 최대 무게가 25 kg인 이동식 리크 감지기는 강력하고 리크를 매번 신뢰성 있게 찾아냅니다.

당사의 전문가가 항상 귀하의 특정한 용도에 이상적인 진공 솔루션 구성을 도와 드립니다. 언제든지 문의하십시오!



그림 3: 자기화된 커플링을 채택한 파이퍼 베콤 OktaLine 루츠 펌프



그림 4: 파이프 베큘의 CombiLine 루츠 펌핑 스테이션



그림 5: 파이프 베큘의 휴대용 리크 감지기 ASM 310



그림 6: 파이프 베큘의 휴대용 리크 감지기와 휴대용 케이스

원스톱으로 제공되는 진공 솔루션

파이버 베콤은 전세계에 걸쳐 혁신적인 고객 맞춤형 진공 솔루션,
기술적인 완벽성, 역량 있는 조연, 신뢰성 있는 서비스를 제공합니다.

완전한 제품군

간단한 구성품에서 복잡한 구성품까지:
당사는 종합적인 제품 포트폴리오를 제공하는 유일한 진공 기술 공급업체입니다.

이론과 실재를 바탕으로 갖춰진 뛰어난 역량

당사의 노하우와 교육 기회의 포트폴리오에서 얻을 수 있는 이점!
당사는 전세계에 걸쳐 플랜트 레이아웃을 지원하고 최고의 현장 서비스를 제공합니다.

완벽한 진공 솔루션을 찾고 계
십니까 당사로 문의하십시오.

파이버베콤 GmbH
본사 · 독일
전화: +49 6441 802-0

www.pfeiffer-vacuum.com