

# 세계 최초 변압기 냉매냉각장치 개발 ... 변압기 이용률 증대의 동기 제공 변전소 규모의 획기적 축소 ... 154kV 변전소 컴팩트화 발판 마련

한국전력공사 전력연구원  
임성황 부장

## 1. 서론

### ○ 개발경과

(주)이노씨엔이는 전력설비 냉각기술과 전력설비 폐열을 이용한 온도차발전을 추구하는 한전 사내창업 제4호 기업이다. (주)이노씨엔이는 한전의 변압기 냉각분야에 획기적인 전기를 마련하기 위하여 한전 물류경영처 중소기업팀, 송변전건설처 변전건설팀, 송변전운영처 변전운영팀, 한전 전력연구원이 참여하는 협력연구를 시행하여 세계 최초로 냉매냉각장치를 개발하게 되었다. 그리고 한전 대구 전력관리처 154kV 동인변전소에서 운전중인 4대의 변압기에 수냉각설비 대신 개발된 냉매냉각장치를 설치하여 2007년 7월 10일부터 운전에 들어가서 약 1년 6개월간 시험운전을 하여 실제통 운전을 완료하였으며 시험운전 기간중 중부하시험을 시행하여 성능을 검증하였다. 2008년 11월말에는 한전 전국사업소 확대시행의 결과를 획득하였다. 그리고 2008년 12월에는 154kV 성수변전소 1,2호기(가스변압기)와 154kV 서안양변전소 3호기(유입변압기)와 같은 신설 변압기에 설치하도록 결정하여, 설치전 공장시험을 위해 154kV 변압기 제작업체인 (주)효성 창원공장에서 온도상승시험을 시행하여 모두 합격하였다.

현재 실제통에 설치하여 운전중인 냉매냉각장치는 다음과 같다. 한전 대구전력관리처 동인변전소 1,2,3,4호기용 4대, 한전 대전전력관리처 둔산변전소 1,2호기용 2대, 한전 수원전력관리처 서안양변전소 3호기용 1대, 한전 서울전력관리처 성수변전소 1,2호기용 2대 등 9대가 운전중에 있다.

### ○ 개발 필요성

변압기의 냉각은 변압기 용량과 수명 결정에 가장 직접적인 변수이다. 우리나라의 경우 급속한 도시화 진행으로 도시지역의 전력수요는 기타지역보다 양적인 측면에서나 성장률 측면에서나 엄청나게 높게 나타나고 있다. 전력수요가 성장을 멈출 것으로 예상되는 2030년 경우의 전력수요는 현재의 약 1.7배~2배로 성장할 것으로 예측되어 향후에도 이를 감당하기 위한 변전소는 많이 건설되어야 하지만 주민들의 민원 등으로 변전소 건설은 갈수록 어려워지고 있다. 따라서 변전소 용량을 증대시키는 방법이 그 대안으로 고려되지만 변압기 설치공간 및 운반중량 등의 차원에서 변압기 용량을 늘릴 수 있는 합리적인 방법은 마련되지 않았다. 따라서 강력한 냉각방식을 도입한 변압기 용량증대는 하나의 대안으로 부각되고 있다.

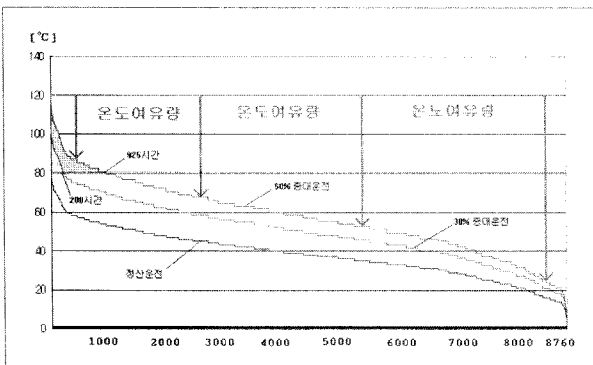
## 2. 신개념 적용 변압기 냉매냉각장치

향후 도심지의 전력공급은 매우 많은 문제점을 초래할 것이다. 주민들의 건설반대는 물론이고 비싼 땅값, 변전소 지하화 비용, 지중전력케이블 연계비용 등의 비용문제와 소음, 화재, 전자파 등의 환경문제가 크게 대두될 것이다. 따라서 변전소 크기를 줄이고 변압기 용량을 증대시키며 변압기 이용률을 향상시키는 것은 불가피한 선택이 되고 있다. 이러한 것을 가능하게 하는 기반이 변압기 냉각기술인 것이다.

### ○ 변압기 건설에 수요관리개념 도입 필요

한전 뿐 만 아니라 전세계의 대부분의 전력회사들은 전력 수요가 늘어나면 발전소를 추가로 건설하고 송전선로를 확충하며 변압기를 신설하는 방법으로 대응을 한다. 발전기의 소요량을 산정하는 경우에는 전력수요관리라는 개념을 도입하여 피크수요를 낮추어(수요관리를 위한 제도 시행) 작은 량의 발전력으로 수요를 감당하게 하여 발전기의 이용률을 높이는 전략을 구사하고 있다. 그러나 이 개념은 발전에만 국한되어 사용되고 변압기 건설에는 적극적으로 적용하지 않는 개념이다.

[신안성 765kV 변압기 연간 온도지속곡선]

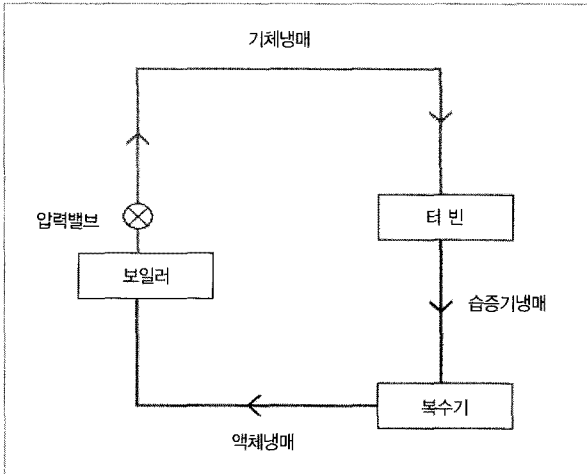


그림은 765kV 신안성변압기 연간 온도지속곡선(765kV 변압기만 온도 자동기록됨)이다. 그림에서 보듯이 변압기 용량을 제한하는 열이 높은 구간은 1년에 약200시간으로 극히 짧으며 이를 제거시킨다면 변압기 용량은 매우 증대시킬 수 있다. 즉 발전에서 수요관리를 하는 개념을 변압기 건설에 도입하여 열관리를 추진하는 것이 변압기의 이용률을 증대시키고 변전소를 컴팩트하게 만들 수 있는 바탕이 된다. 이제까지는 변전소 건설을 “식당에 손님이 가장 많이 오는 날을 기준으로 상시종업원을 고용”하는 개념을 바탕으로 하였다면 “식당에 손님이 가장 많이 오는 날의 80% 수준으로 상시종업원을 고용”하고 손님이 많아서 상시종업원(변압기용량)으로 감당할 수 없는 며칠은 임시종업원(냉각장치)을 고용하는 개념으로 전환할 필요가 있다.

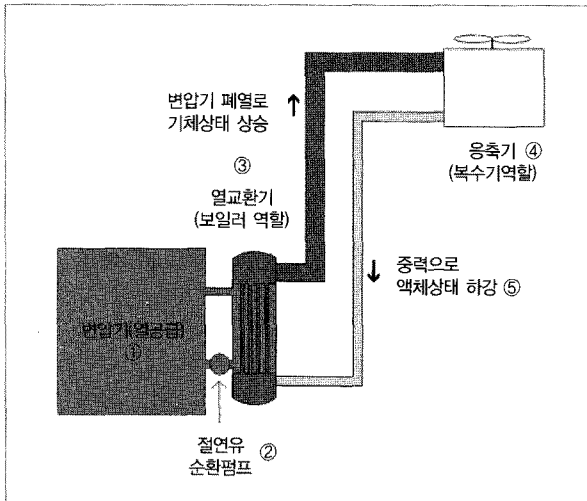
### ○ 냉매냉각장치 원리 및 구조

열은 현열과 잠열로 구분할 수 있다. 지금까지의 변압기 냉각방식은 주로 현열에 의한 냉각방식을 택하여 왔다. 온도계로 측정할 수 있는 현열에 의한 냉각방식은 쉽게 접할 수 있는 방법이지만 적용에 많은 제약이 따르고 성능도 한계가 있다. 물질의 상태변화를 이용한 잠열에 의한 냉각방식은 전력설비에는 잘 적용하지 않고 있지만 냉장고, 에어컨 등과 같은 냉동장치에 널리 적용되고 성능이 우수한 방식이다. 냉동사이클은 압축기를 사용하므로 큰 전력이 필요한 단점이 있어서 냉매냉각장치에서는 발전사이클을 채택하였다. 154kV 변압기 1대에서 제거시켜야 할 폐열은 약400kW로 약300 가정에 공급할 수 있는 큰 전력량이다. 따라서 이 폐열을 무동력으로 제거시키고 추가로 전기를 회수하는 발전사이클은 변압기 냉각장치에 최적이라고 할 수 있다.

[발전사이클 회로도]



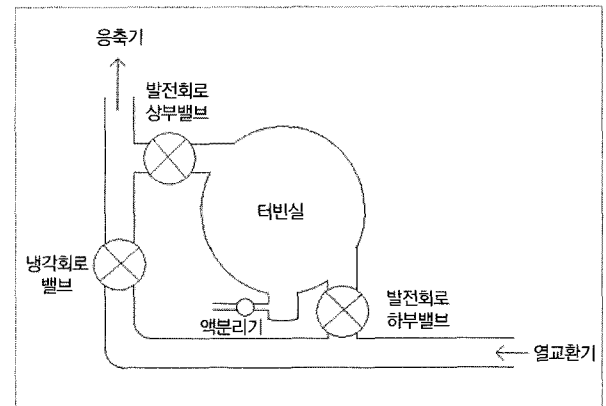
[냉매냉각장치 구조 개념도]



사용하는 냉매는 생산이 금지된 프레온냉매(CFC)의 대체 프레온냉매(HCFC)인 R141b로서 1기압에서 비등점이 32℃이다. 빙점은 -103.5℃로 동파의 우려는 없으며 슬러지가 발생하지 않으며 전기적 절연성이 우수한 특징을 가지고 있다. 원리를 설명하면 다음과 같다. 열교환기 1차측은 절연유가 유입/유출하는 구조로 되어 있고 2차측은 냉매

가 유입/유출하는 구조로 열교환기가 만들어 진다. 변압기에서 열이 발생하여 절연유 온도가 올라가면 절연유순환펌프가 작동하여 뜨거운 절연유를 열교환기 내부로 순환시킨다. 뜨거운 절연유와 접한 냉매는 비등점이 32℃이므로 절연유가 32℃ 이상이면 스스로 끓어서 기체가 되어 열교환기 상부를 빠져나와 기체배관을 타고 상부에 설치된 응축기로 유입되어 응축된다. 응축된 액체상태의 냉매는 중력에 의해 다시 열교환기 하부로 유입되어 냉각순환의 한 주기를 완료한다.

냉매순환에 에너지를 사용하지 않는 것이 냉매냉각장치의 가장 큰 장점이다. 버려야 할 폐열의 힘으로 열을 먹은 기체냉매를 상승시키고 중력의 힘으로 열을 버린 액체냉매를 하강시켜 냉매순환에 추가적 에너지를 사용하지 않는 것이다. 기체배관에는 강한 기체흐름이 있으므로 여기에 터빈을 넣고 발전기와 연결시키면 폐열에 의한 발전을 할 수 있다. 이것에 관한 이론적 바탕은 신재생에너지로 분류되는 해양온도차발전이 제공하고 있다.



현재 까지 적용한 냉매냉각장치에는 발전기를 설치하지 않았으나 현재 발전시스템 설계가 완료되어 시범 적용후 향후에는 냉매냉각장치 가동과 함께 변압기 폐열에 의한 발전도 추진할 계획이다.

○ 냉매냉각장치의 우수성

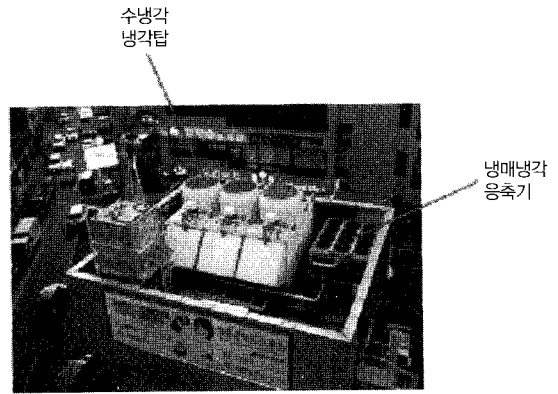
냉매냉각장치의 설치비용은 수냉각에 비하여 건설비가 70%에 불과하며 운전유지비는 수냉각을 100%로 볼 경우 냉매냉각은 17%에 불과하여 약83%의 절감효과를 보는 등의 비용적인 장점이 있다. 그리고 부대설비 측면에서 수냉각에서 필요한 수조(약100톤), 펌프와 펌프실 등의 설비가 필요치 않는 등 공간이 대폭 축소된다. 냉매순환에 펌프와 같은 회전기기를 사용하지 않으므로 인해 냉각장치의 고장으로 인한 변압기 운전정지의 우려가 없다. 냉매는 빙점이 -103.5℃이므로 겨울철에 수냉각과 같은 동파의 우려가 없으며 물과 같은 슬러지 발생을 시키지 않는다. 그리고 냉매냉각장치를 옥내형 변압기에 적용할 경우 라디에이터를 제거시킬 수 있으므로 변전실의 크기를 약1/2로 축소할 수 있어서 변전소 컴팩트화의 근거를 제공할 수 있다. 한전에서는 이를 바탕으로 최근에 TDR(Tear Down & Redesign) 과제로 [154kV변전소 컴팩트화]를 채택하여 수행하였고 그 결과로 향후 한전의 표준형변전소 모델에 냉매냉각장치를 채택할 것을 제시하였다. 여기에 앞서 언급한 변압기 폐열을 회수하는 발전기를 추가한다면 더할 나위 없이 좋은 냉각시스템이 될 것이다. 그리고, 한전 TDR 과제의 도출 결론처럼 냉각문제가 해소됨에 따라 바람의 통로 역할을 해온 상부덤프와 하부덤프를 제거시킬 수 있어서 비용절감과 화재예방을 동시에 달성할 수 있으며 변압기를 밀폐공간에 고립시킬 수 있어서 소음을 완벽하게 차단시킬 수 있게 되었다.

○ 냉매냉각장치 설치 사례

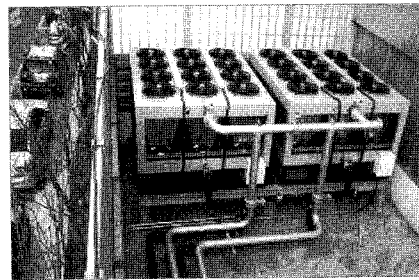
현재 실제통에 설치하여 운전중인 냉매냉각장치는 다음과 같다. 한전 대구전력관리처 동인변전소 1,2,3,4호기용 4대, 한전 대전전력관리처 둔산변전소 1,2호기용 2대, 한

전 수원전력관리처 서안양변전소 3호기용 1대, 한전 서울전력관리처 성수변전소 1,2호기용 2대 등 9대가 운전중에 있다.

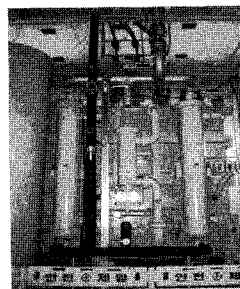
[서안양변전소 응축기]



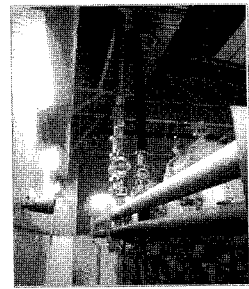
[성수변전소 응축기]



[동인변전소 열교환기]



[성수변전소 열교환기]



### 3. 결론

변압기의 냉각은 변압기 용량과 수명 결정에 가장 직접적인 변수이다. 변압기 냉각방식은 기술발전 속도가 매우 느린 분야중의 하나이다. 그렇지만 변압기 냉각문제만 해결된다면 부대되는 많은 문제점을 해소시킬 수 있는 장점이 있기 때문에 향후 이 분야는 지속적인 기술개발이 필요한 분야이다. 우리나라의 경우 전력수요가 성장을 멈출 것으로 예상되는 2030년의 전력수요는 현재의 약1.7배~2배로 성장할 것으로 예측되어 향후에도 이를 감당하기 위한 변전소는 많이 건설되어야 하지만 주민들의 민원 등으로 변전소 건설은 갈수록 어려워지고 있다. 따라서 변전소 용량을 증대시키는 방법이 그 대안으로 고려되지만 변압기 설치공간 및 운반중량 등의 차원에서 변압기 용량을 늘릴 수 있는 합리적인 방법은 마련되지 않았다. 따라서 강력한 냉각방식을 도입한 변압기 용량증대는 하나의 대안으로 부각되고 있다.

냉매냉각방식은 제거시켜야 할 변압기 폐열을 이용하여 냉각하는 방식으로 냉매순환에 추가적 에너지 사용을 하지 않는 매우 경제적인 방법이며 만약 기체냉매의 상승 기류를 이용하여 발전을 한다면 변압기 폐열에서 에너지회수를 하는 획기적인 기술을 선점하는 효과를 볼 수 있을 것이다. 특히 응축기에 냉동사이클을 가미하면 여름에도 변압기 온도를 더욱더 낮게 할 수 있어서 변압기 용량을 획기적으로 증대시킬 수 있을 것이다.

