

電力用 變壓器 排熱이용 冷暖房 시스템

최 병 윤

(한전 전력연구원 전력연구실 선임연구원)

1. 서 언

최근 생활수준의 향상과 도시발전과 더불어 에너지의 소비가 갈수록 늘어나고 있는 실정이나, 에너지 자원의 80% 이상을 해외수입에 의존하며 특히 석유에 대해서는 거의 100% 수입에 의존하는 국내현실에 비추어 에너지 절약에 대한 관심과 노력이 절실한 시점이다.

특히 우리가 사용하는 에너지의 과반수이상은 최종적으로 폐열로 되어 버려지며, 이는 대부분 50℃ 이하의 저온 폐열이다. 이는 變電所 變壓器, 送電線 케이블, 지하철, 下水處理場, 냉동창고, 火力發電所 등 다양한 도시시설에 발생되며 발생량은 막대한 것으로 알려져 있다.

이러한 저온 폐열은 도시역에 폭 넓게 존재하고 있으며, 히트펌프의 승온기술이 진보되어 유효이용이 가능하게 되었다. 이에 따라 대도시에 존재하는 폐열을 활용하여 신도시 또는 도심재개발지역에 중앙집중식으로 냉·난방을 공급하는 연구 및 사업이 국내외에서 활발히 진행되고 있는 실정이다.

다양하고 막대한 미이용 도시배열 가운데 전력회사의 시설물에서 발생하는 배열은 변전소 변압기 배열과 송전케이블 배열을 들 수 있다. 이 배열은 도심지서 발생되므로 활용이 용이하며, 통상 전력기기는 냉각을 위하여 별도의 시설과 동력이 필요한 데 배열을 냉난방 에너지로 활용함으로써 기기 冷却과 排熱 이용의 2가지를 동시에 만족시킬 수 있으므로 상당히 에너지를 절감할 수 있어 다른 도시 미이용 도시배열과 비교하여 유리한 조건을 지니고 있다.

본 내용에서는 미이용 도시배열 가운데 국내에서 실용화되고 있는 변전소 변압기 배열에 관한 내용을 이론과 사례를 중심으로 설명하고자 한다.

2. 변압기 배열이용 시스템 이론

변전소에서는 전압을 높이거나 낮추기 위하여 변압기를

사용한다. 이 변압기는 부하의 증가에 비례하여 損失이 발생하고, 이 손실은 열에너지로 변하여 변압기 내부에 있는 絶緣油의 온도를 상승시킨다. 이 온도상승을 억제하기 위해서 변압기는 자연대류로 냉각하거나, 변압기의 냉각을 위하여 냉각팬 및 냉각탑을 이용하여 공기나 물로 강제 냉각한다.

이 변압기에서 발생하는 배열을 방출시키지 않고 자체나 인근 건물의 난방 또는 급탕에 활용할 수 있으면, 변압기에서 냉각에 필요한 동력을 감소시킬 뿐 만 아니라 건물에서 난방비용이 절약되는 2중의 에너지 절감효과를 기대할 수 있다.

2.1 전력용 변압기의 發熱量

전력용 변압기는 통상 60~75% 정도의 부하율에서 운전하는 경우가 많기 때문에 그 부근의 부하율에서 최고 效率이 유지하도록 설계되어 있다. 변압기의 입력과 출력은 전력인데, 入出力 차이의 損失은 열에너지로 변환된다. 또한 변압기의 손실은 전압 인가시 발생하는 무부하손과 부하전류에 의하여 발생하는 負荷損으로 구분되며, 무하손은 부하전류의 제곱에 비례한다.

즉 負荷損을 I^2R , 無負荷損을 L_E , 출력을 E 로 하면

$$\text{變壓기의 效率 } \eta = \frac{EI}{EI + I^2R + L_E} = \frac{E}{E + IR + L_E/I} \quad (1)$$

이 되고 무부하손은 부하에 따라 변하지 않으므로 효율 η 가 최대가 되는 것은 식 1의 분모가 최소가 되는 조건이다.

$$\frac{d}{dI} (E + IR + L_E/I) = R - \frac{L_E}{I^2} = 0$$

$$\therefore I^2R = L_E$$

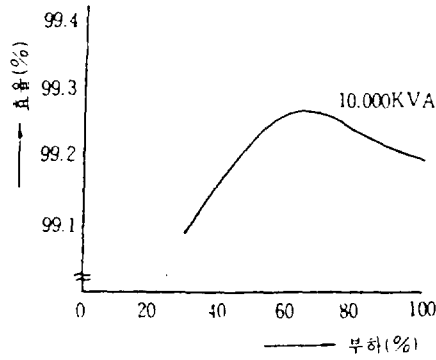


그림 1. 변압기의 부하와 효율간의 관계

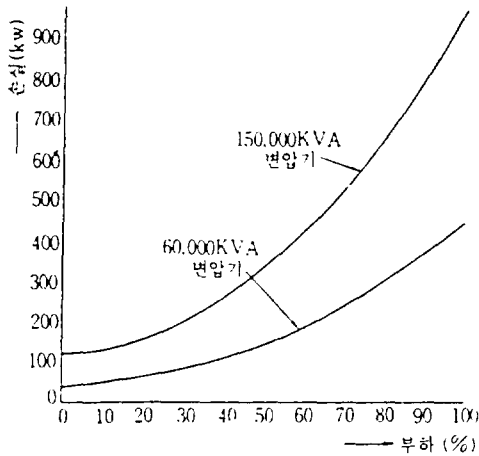


그림 2. 변압기의 부하와 손실간의 관계

즉 무부하손이 부하손과 같은 값이 되는 경우이다. 그림 1은 변압기의 부하와 효율간의 관계를 그림 2는 변압기의 부하와 손실간의 관계를 나타내고 있다.

표 1. 변압기의 냉각방식

	냉각방식	열 전달 방식	특성 및 적용범위
1	건식자냉식	(자연대류) 열 → 공기	소용량의 변압기에 적용, 배전용 트랜스에서 사용하는 경우가 많음
2	건식풍냉식	(강제대류) 열 → 공기	수만 KVA이하의 변압기에서 채용, 경량이나 고가이며 송풍설비의 신뢰성 문제가 있음
3	유입자냉식	(자연대류)(자연대류) 열 → 절연유 → 공기	중소용량에 적합하며, 배전용 변압기에서 일반적으로 사용하는 방식
4	유입풍냉식	(자연대류)(강제대류) 열 → 절연유 → 공기	상부의 절연유를 공기로 열전달 촉진하기 위하여 송풍기로 공기를 공급하여 냉각하는 방식, 중용량 이상의 변압기에 일반적으로 사용
5	송유자냉식	(강제대류)(자연대류) 열 → 절연유 → 공기	절연유를 유펌프로 방열기에 전달하여 냉각팩, 수만 KVA의 배전용 변압기에서 일반적으로 사용
6	송유풍냉식	(강제대류)(강제대류) 열 → 절연유 → 공기	위의 방열기로 열전달을 촉진하기 위하여 냉각을 부착한 방식, 옥외의 수십만 KVA 변압기나 옥내의 수만 KVA 변압기에 채용
7	송유수냉식	(강제대류)(강제대류) 열 → 절연유 → 수	옥내변전소에서 수만 KVA 이상의 대용량 변압기에 채용, 냉각수 순환방식은 지하수 또는 하천수를 사용하는 경우가 있음

2.2 변압기 냉각 및 열회수

변압기에서 발생하는 배열은 적당한 방법으로 제거시켜야 하는 데, 만일 변압기의 내부온도가 상승하면 絶緣劣化 및 절연파괴가 되어 운전에 지장을 초래하게 되므로 표 1과 같은 냉각방법을 사용하여 변압기를 냉각한다. 전력공급용 大容量 변압기는 가격 및 용적 등의 이유로 乾式 변압기를 사용하는 경우가 적으므로 濕式의 油入變壓器에 대하여 주로 설명하고자 한다.

변압기의 發熱은 코일 철심부에서 발생하여 주변의 絶緣油로 전한다. 더워진 절연유는 자연대류 또는 送油펌프에 의하여 油-空氣 또는 油-水 熱交換器로 전달되고, 이 열교환기에서 절연유는 공기 또는 물에 의하여 냉각되어 다시 코일 철심부로 돌아온다. 각 油入變壓器의 권선 및 유의 설계조건이 표 2에 있다. 열회수는 이 절연유를 통하여 직접 또는 간접으로 이루어지며, 열이용 입장에서 보면 가능한 한 고온의 열을 회수하면 좋으나, 고온의 온도에서 운전하게 되면 절연열화를 촉진할 우려가 있으므로 적당한 온도 조건을 선정할 필요가 있다.

표 2. 유입변압기의 설계조건

	변압기의 부분	온도 측정법	온도 상승 한도 (°C)
권선	유 자연대류의 경우	저항법	55
	유 강제대류의 경우	저항법	60
유	유가 직접 외기에 접촉하는 경우	온도계법*1	50
	유가 직접 외기에 접촉하지 않는 경우	온도계법*2	55
	철심이 타공속부분의 절연물에 근접한 표면	온도계법*3	근접 절연물에 손상하지 않은 온도

2.3 油入變壓器의 운전 油 온도

2.3.1 권선온도와 最高溫點(Hot Spot) 온도상승

변압기의 온도상승 한계는 절연계급에 따라 정해진 작용捲線온도에 의하여 결정된다. 통상의 B종 絶緣 電力用 변압기에서는 주위온도 40℃에서 抵抗으로 측정된 평균 권선온도 상승의 허용치는 65℃이다.

변압기의 권선과 절연유의 온도상승 분포를 그림으로 표시하면 그림 3과 같다.

(1) 油 自然循環 變壓器

Oil 자연순환(ON) 방식에 있어서는

권선평균 온도상승 $\Delta\theta_{wr} : 65^\circ\text{C}$

최상부 油온(Top oil) $\Delta\theta_{br} : 55^\circ\text{C}$

평균 油온 $\Delta\theta_b : 44^\circ\text{C}$

Oil-권선온도차 $\Delta\theta_{wor} = \Delta\theta_{wr} - \Delta\theta_b = 21 [^\circ\text{C}]$

위의 조건에서 Hot Spot 온도상승 $\Delta\theta_c$ 는 75℃를 넘지 않으나, 정격 Hot Spot온도는 $\Delta\theta_{cr} = \Delta\theta_{br} + 1.1\Delta\theta_{wor}$ 로 규정되어 $\Delta\theta_{cr} \approx 73^\circ\text{C}$ 이다. 이 Hot Spot온도를 정점으로 변압기 각 부위의 온도 Level이 정하여 진다고 말할 수 있다.

(2) 油 強制循環 變壓器

Oil 강제순환(送油式 OF) 변압기에서는 Oil의 上下溫度差가 적으므로 Top Oil온도 상승을 40℃까지 허용하는 조건에서 변압기 정격이 ON방식의 4/3배가 된다. $\Delta\theta_{wr}$ $\Delta\theta_{cr}$ 의 값은 ON방식에서와 같다.

2.3.2 운전온도와 변압기 壽命

변압기의 수명은 절연재료의 열적열화에 의한 절연도 低下에 좌우되며 절연재료의 수명은 온도 80~140℃의 범위에서 Arrhenius법칙에 의한 Montsinger의 다음 관계식으로 표시된다.

실험에 의하면 위의 온도 범위에서 온도가 6℃ 상승시마다 수명은 반감되는 것이 밝혀졌다. 이것을 정격수명에 대

표 3. 변압기의 각 임의온도에 대한 상대적 壽命 소모율표

℃	80	86	92	98	104	110	116	122	128	134	140
V	1.25	0.25	0.5	1.0	2	4	8	16	32	64	128

수명 $L = e^{-P\theta}$ (2)

P : 상수

한 상대적 壽命 消耗率(Relative rate of using life) V로 나타내면

임의온도(θ_c)에서의 수명소모율 $V = \frac{2^{(\theta_c - \theta_{cr})/6}}{2^{(\theta_{cr} - \theta_{cr})/6}} = 2^{(\theta_c - \theta_{cr})/6}$ (3)

정격온도(θ_{cr})에서의 수명소모율

여기서 θ_{cr} 은 상온 20℃에서의 Hot Spot온도로서 98℃이다.

θ_c 의 여러값에 대응한 V의 값은 표 3과 같다.

예를 들어 1일 가운데 10시간은 104℃로 14시간은 86℃로 변압기를 운전하였을 경우 수명의 소모는 위표에서 $10 \times 2 + 14 \times 0.25 = 23.5 [H]$ 이며, 수명은 0.5시간/일 연장된다.

H.S온도 80℃이하에서는 V의 값이 대단히 작으므로 수명에 대한 운전온도의 영향은 무시할 수 있다.

2.3.3 油溫의 상승한도

임의의 부하에 있어서 H·S온도 $\Delta\theta_c$ 는 다음 식으로 표시된다.

$\Delta\theta_c = \Delta\theta_b + (\Delta\theta_{cr} - \Delta\theta_{br})K^{2/3}$ (4)

$y = \frac{\Delta\theta_c - \Delta\theta_b}{\Delta\theta_{cr} - \Delta\theta_{br}}$ 이다. K:부하율

(1) 油 自然循環 방식(ON방식)에서는

$\Delta\theta_{cr} - \Delta\theta_{br} = 23^\circ\text{C}$

$\Delta\theta_c - \Delta\theta_b = 23K^{(\Delta\theta_c - \Delta\theta_b)/11.5}$

$\Delta\theta_c - \Delta\theta_b = \Delta\theta_{wo}$ 를 미지수로 놓고

graph에 의하여 근사해를 구하면 그림 4와 같다.

부하가 감소함에 따라 권선-Oil 온도차 $\Delta\theta_{wo}$ 는 감소하며 따라서 정격 H·S온도 98℃를 초과하지 않는 유온의 상승한도 $(98 - \Delta\theta_{wo})$ 는 그림 5와 같이 증가함을 알 수 있다.

(2) 油 強制循環 방식(OF방식)에서

(식 4)은 $\Delta\theta_{wo} = 38K^{(\Delta\theta_{wo})/19}$

같은 방법으로 K의 여러값에 대한 $\Delta\theta_{wo}$ 를 구한 결과는 아래 표 4와 같다. 또한 유압상승 한도를 ON방식과 비교하여 그림 5에 표시하였다.

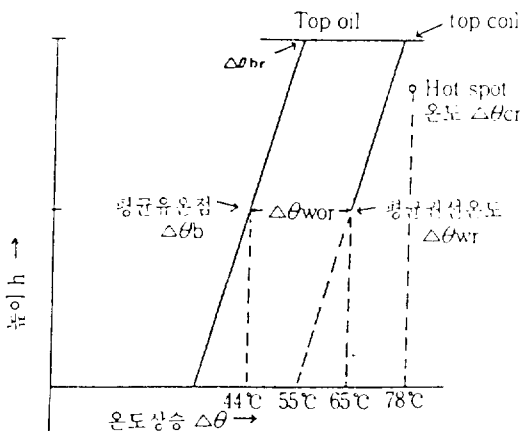


그림 3. 油入變壓器 온도상승 분포도

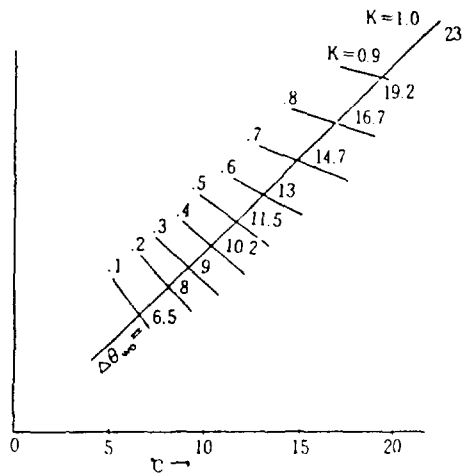


그림 4. 부하율에 대한 捲線-油 溫度差

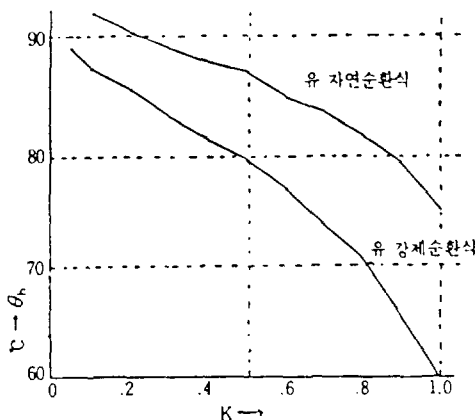


그림 5. 부하율 K에 따른 許容 油溫

표 4. 부하율 K에 대한 $\Delta \theta_{\omega 0}$ 변화표

v	.05	.1	.2	.3	.4	.5	.6	.7	.8	.9	.95	1.0
θ_c	9.1	10.1	12.8	14.8	16.8	19	21.4	24.2	27.5	31.9	34.6	38

표 3 및 그림 5의 계산결과로 볼때, 送油水冷式(OFWF) 변압기에 있어서는 부하율의 80%를 넘지 않은 경우 油溫을 80℃로 유지하여 운전하여도 변압기에 熱的인 무리는 없을 것으로 판단된다. 이에 따라 냉각수 출구온도는 50℃ 정도로 유지할 수 있으며, 이것은 동계의 난방 및 給湯에 충분한 온도라고 말할 수 있다.

2.4 油入變壓器의 發熱量 계산

유입변압기의 경우 변압기의 발열량은 절연유에 의하여 외부에 열을 전달하기 때문에 우선 절연유의 온도상승을

계산할 필요가 있다. 초기의 油溫 θ_0 에서 負荷변화가 발생한 t 시간후의 온도 θ 는

$$\theta = (\theta_e - \theta_0) (1 - e^{-t/T}) + \theta_0 \quad (5)$$

θ_e : 負荷변화후 最終油溫

T : 時定數

시정수 T는 변압기의 열용량 放熱특성에 따라 결정되며 그 식은 다음과 같다.

$$T = c \times \theta_N / L_N$$

$$c = 0.132G_A + 0.088G_T + 0.351Q \quad (\text{자연순환의 경우})$$

$$c = 0.132(G_A + G_T) + 0.461Q \quad (\text{강제송유의 경우})$$

G_A : 鐵心 및 捲線 重量 (kg)

G_T : 탱크 重量 (kg)

Q : 油量 (ℓ)

L_N : 定格負荷시의 全損失 (w)

θ_N : 定格負荷시의 온도상승 (℃)

3. 國內의 變壓기 배열이용 사례

3.1 개 요

韓電 電力研究院에서는 변압기 배열이용 냉난방 시스템이 변압기 냉각과 에너지 절약에 효과가 있는 것으로 판단되어 1987년 초에 본 연구를 착수하였으며, 시범적용을 위하여 지하에 마포변전소가 있는 韓電 西部支店 신축건물에 본 시스템을 설치하였다.

본 시스템을 2년간 운전한 결과 변압기 냉각 뿐만 아니라 에너지 절약면에서 상당히 효율적인 것으로 나타나 확대보급을 추진하고 있으며, 변전소와 사무실이 인접하여 社屋을 新築하는 경우에는 표 5에서와 같이 본 변압기 배열이용 냉난방 시스템을 계속 적용하고 있다.

3.2 한전 서부지점 건물 적용사례

본 시스템이 국내 처음으로 示範 적용된 서부지점 건물은 서울시 마포구 도화동에 所在하고 있으며, 건물면적은

표 5. 國內의 變전소 變壓기 배열이용 시스템 설치사례

번호	설치사업소	준공 일자	축열조 용량 (m^3)	열원기기 용량 (RT)	비 고
1	서 부 지 점	1987. 8	200	히트펌프 80x1	50% 축열
2	광 명 지 점	1989. 9	360	히트펌프 50x2	50% 축열
3	대구전력 관리처	1989.12	200	히트펌프 60x2	50% 축열
4	부산전 전력소	1992.11	100	히트펌프 30x1	50% 축열
5	성 동 지 점	1994. 4	400	냉 동 기 80x1	직접 배열이용

표 6. 서부지점에 설치한 히트펌프 사양

형식	용량 (USAT)	대수	온도구간(°C)				압축기 형식	냉매	PHW/Hz	
			냉수	온수	형식	KW				
水熱源式	70	1	입구	출구	입구	출구	스크류	80	R-22	3.380/60
			7	12	39	47				

8,435㎡(2,556평)이고, 변전소를 포함한 地下 3층과 사무실로 사용되는 地上4층으로 구성되어 있다.

서부지점 건물 지하에 위치하고 있는 마포변전소에 설치한 주변압기는 154KV/22.9KV 송유수냉식 60MVA 2대가 설치되어 있으며, 각 변압기에 연결된 油-水 열교환기를 통하여 냉온수조에 변압기 배열을 물로 冷温水槽에 저장하고 히트펌프를 이용하여 地上건물의 난방에 사용한 것이 특징이다.

서부지점 변압기 배열이용 시스템은 기본적으로 겨울에는 변압기 배열을 열원으로 히트펌프를 이용하여 난방에 적당한 온도로 높여 사용하고, 夏季에는 일반 축열식 시스템과 같이 심야에 히트펌프를 사용하여 축열조에 냉열을 저장하고 주간에 이를 난방에 사용할 수 있도록 하였다. 또한 히트펌프를 이용하지 않고 변압기 배열을 직접 난방에 사용할 수 있도록 시스템을 구성하였다. 서부지점에 설치한 히트펌프의 사양은 표 6과 같으며, 시스템 개요도는 그림 6에 나타나 있다. 각 운전모드를 구체적으로 설명하면 다음과 같다.

(1) 히트펌프 이용 난방운전 모드

난방운전시에는 水冷式 변압기를 冷却하면서 발생한 熱 (약 30°C)를 온수조에 저장하며, 심야에 히트펌프는 온수조

에 저장된 열을 열원으로 이용하여 暖房 熱(45°C)를 생성하고 이 온수를 축열조에 저장한다. 주간에는 이 축열조에 저장된 온수를 FCU와 AHU를 통하여 건물의 각 사무실에 열을 공급한다.

(2) 히트펌프 이용 냉방운전 모드

냉방운전시에는 수냉식 변압기는 자체의 냉각탑을 통하여 열을 외부로 방출하고, 심야에 히트펌프를 가동하여 냉열(7°C)을 생성하여 축열조에 이 냉수를 저장한다. 주간에는 이 냉열을 FCU 및 AHU를 통하여 건물의 각 사무실에 공급한다.

(3) 직접 변압기배열 이용 난방운전 모드

이 모드에서는 변압기 배열을 열교환기를 통하여 45°C 정도로 온도를 높여 냉온수에 저장하고, 이 열을 히트펌프를 이용하지 않고 직접 난방에 이용한다. 따라서 배열량만 충분하다면 히트펌프 운전에 따른 전력비용을 절약할 수 있어 상당히 효율적이다.

3.3 변압기 배열이용 시스템 적용결과

본 변압기 배열이용 히트펌프 시스템을 1987년 8월부터 1990년 2월까지 약 2년 반동안 히트펌프 방식으로 운전한 결과 만족할 만한 운전결과를 도출하였다. 이 운전 과정에서 변압기 배열을 히트펌프를 거치지 않고 직접 난방에 활용하는 방안을 착안하여 이 모드로 시험운전한 결과, 변압기 排熱回收 온도를 45°C - 50°C로 유지할 수 있다는 사실이 확인되었다.

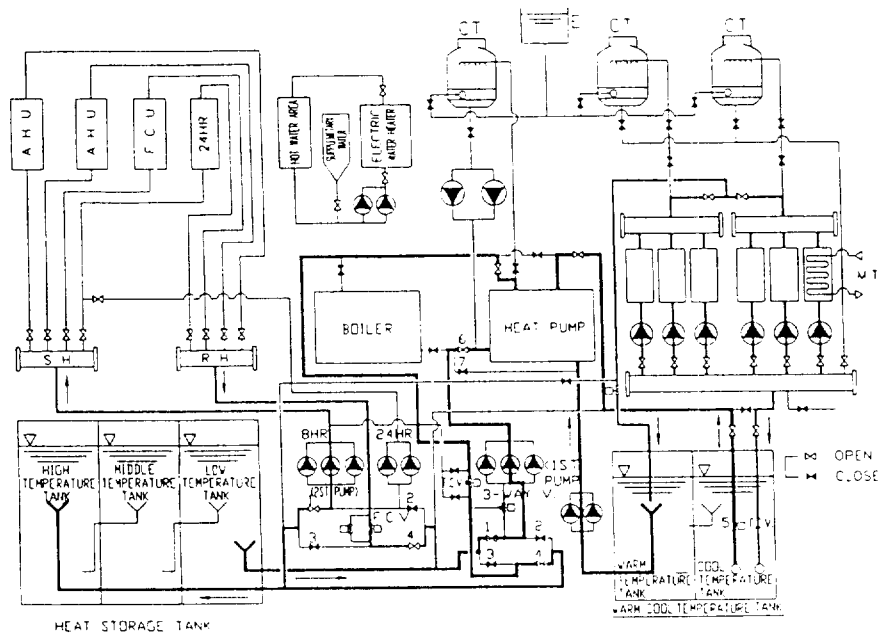


그림 6. 서부지점 냉난방 시스템 계통도 (히트펌프 난방운전 모드)

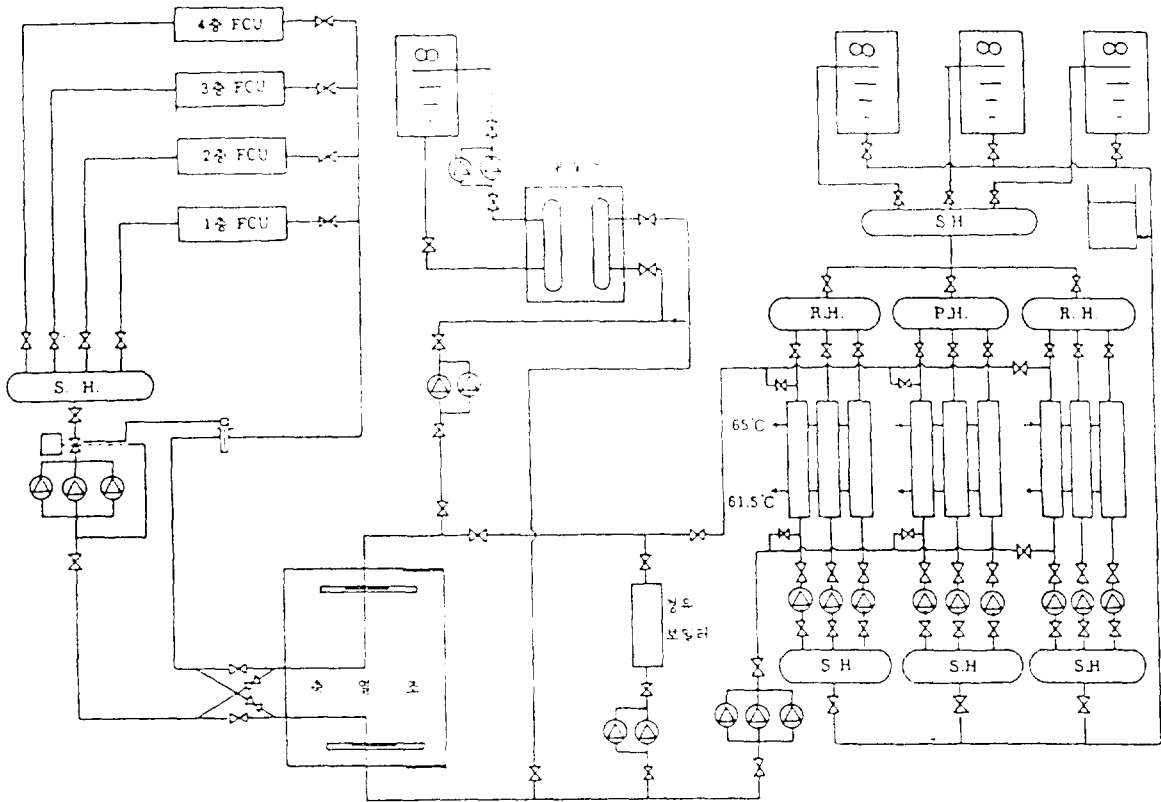


그림 7. 제한한 변압기 배열이용 축열식 냉난방 시스템 (변압기 배열 직접 이용)

그 이유는 열공급 장소인 변전소가 열사용 장소인 사무실과 동일건물내에 있어 열공급에 따른 배관손실이 거의 없으므로 난방온도까지 승온된 열을 온도저하없이 직접 난방에 사용할 수 있기 때문이다. 그러나 地域冷暖房 경우와 같이 열사용 장소가 변전소로 부터 떨어져 있으면 히트펌프를 사용하는 시스템으로 구성하는 것이 바람직하다.

이에 따라 1990년 12월부터 1994년 현재까지 히트펌프를 사용하지 않고 온수조에 저장된 변압기 배열을 직접 난방에 사용하였으며, 그 결과 변압기 배열로 난방부하를 전부 감당하였으며, 순간 피크 熱負荷 공급에 지장이 없었다. 따라서 서부지점에 시범 적용한 결과를 종합적으로 분석하면 변전소와 사무실건물이 인접하면 변압기 배열이용 냉난방 시스템은 그림 7과 같은 시스템으로 구성하는 것이 바람직한 것으로 판단되었다.

제한한 변압기 배열이용 냉난방 시스템은 겨울에는 변압기 배열온도를 45℃ 이상을 유지할 수 있으므로 난방시 축열조에 이 열을 저장하고 직접 FCU와 AHU를 통하여 건물 각 사무실에 난방을 공급하며, 열부족시를 대비하여 소형의 온수보일러를 보조로 설치한다. 또한 하계에는 심야에 히트펌프 대신 냉동기를 설치하여 심야에 7℃의 냉수를 축열조에 저장하며, 주간에 축열조에 저장된 냉수를 FCU와 AHU를 통하여 건물의 각 사무실에 공급한다.

위에서 제한한 시스템을 적용하면 다음과 같은 장점이 있다.

- (1) 히트펌프 시스템으로 구성하면 蓄熱槽와 溫水槽의 2조를 설치하여야 하나, 제한한 시스템은 축열조 1조만 설치하여도 되므로 설치비용이 절감된다.
- (2) 가격이 비싼 히트펌프 대신 냉동기와 소형 보일러를 사용하면 되므로 열원기기의 설치비도 줄일 수 있다.
- (3) 난방시 히트펌프를 가동하지 않고 변압기 배열만 가지고 운전하므로 순환펌프 동력외에는 에너지 비용이 거의 들지 않아 운전비면에서도 상당히 경제적이다.

4. 결 론

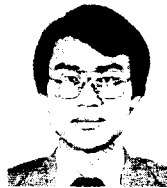
지금까지는 電力供給 설비 가운데 변전소 변압기 배열만을 검토하고 적용하였으나, 실제 送電케이블, 제어기기, 통신기기 등 다양한 設備에서 발생하는 廢熱이 상당히 존재하고 이 열을 충분히 이용할 수 있음을 확인하였다. 따라서 이 폐열을 적절히 활용하여 도시에서 폐열 發散으로 인한 環境公害를 방지하고, 전력기기의 運轉信賴度를 향상시키며, 에너지 資源을 절약하는 등 3중의 효과를 얻을 수 있도록 노력할 필요가 있다. 특히 이 폐열이 주로 도시에서 발생하므로 다양한 열원을 이용한 地域冷暖房 및 給湯사업을 추진한다면 효과가 더욱 클 것이라 예상된다.

참 고 문 헌

[1] Guide for loading oil-immersed distribution and power transformers (ANSI Inc) 1962.
 [2] Loading guide for oil-immersed transformers(IEC) 1972.
 [3] John A.Duffie, Solar Engineering of thermal process, John Willey & Sons, 1980.
 [4] Heat Pump Fundamentals(J.Beerghmans) 1983.
 [5] Evaluation of stratified chilled-water storage techniques, Volum 1 and 2, EPRI, December, 1985.
 [6] 空氣調和 衛生工學 便覽 I (空氣衛生 工學會(日)) 1968.
 " " " II (" ") 1968.
 [7] 熱交換器 핸드ブック(尾花英朗) 1974.
 [8] 傳熱工學 演習(槌田 昭 外2) 1974.
 [9] 電力用 變壓器의 排熱利用(成田勝彦) 排熱利用 空氣システムと 省エネルギー (東京電力 電力空調研究會) 1975.
 [10] 열펌프에 의한 냉·난방, 축열특집(1), (2), 일반전력공조 연구회
 [11] 김효경역, 공기조화, 동명사, 1983.

[12] "蓄熱式 히트펌프 방식 냉난방 설비의 운용에 관한 연구", 한전 기술연구원, 1987.
 [13] "全電化 빌딩에 관한 研究", 한전 기술연구원, 1991.

저 자 소 개



최병운(崔炳允)

1956년 5월 21일생. 1980년 2월 연세대 공대 전기공학과 졸업. 1983년 2월 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1991년 2월 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 현재 한전 전력연구원 전력연구실 선임연구원.