

스마트 절전컨설팅 (Smart Power Savings Consulting)

- 수 · 변전설비의 절전컨설팅 -

Content

1. 스마트 절전컨설팅이란?
2. 주택(아파트세대)용 가전기기의 절전컨설팅
3. 사무용 전기기계기구의 절전컨설팅
4. 수 · 변전설비의 절전컨설팅
5. 동력설비의 절전컨설팅
6. 조명설비의 절전컨설팅
7. 전열설비의 절전컨설팅
8. 신재생에너지설비의 절전컨설팅

◆ 3월호부터 연재된 내용입니다.

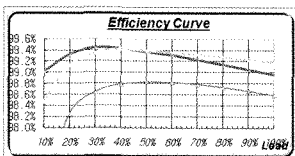
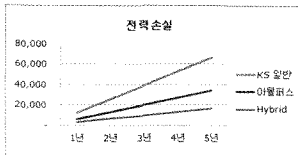


글 _ 김 만 건 (No. 71162)
한국전기안전공사 평택안성지사장/기술사

⑤ 하이브리드 변압기(Hybrid Transformer)

고효율 변압기에 절전 기술의 융합한 변압기능과 고조파 감쇄 및 불평형개선의 3가지 효과를 실현할 수 있는 변압기로 에너지절약 목표 관리를 위한 Tr이다.

- 고효율·저손실·저소음 변압기로 에너지절약(5~10%)과 CO₂저감의 친환경 Tr임
- 기존 변압기 대비 투자비 절감되고 효율과 수명 향상 됨
- 신기술(NET), 고효율기자재 사용 등



[그림 1.2] 전력손실과 효율곡선

- 고조파감쇄 및 불평형개선 기능으로 절전효과 7.8%

구분	하이브리드 고효율 변압기	아몰퍼스 고효율 변압기	KS 일반 변압기	비고				
변압기 손실	철손(W)	1,748	760	25%	3,100	100%	100% 무하시	
	동손(W)	7,140	54%	10,400	94%	11,100	100%	100% 무하시
	총손실(W)	8,888	63%	11,160	79%	14,200	100%	100% 무하시
효율 (100% 무하시)	99.22%		98.90%		98.60%			
중순일 전력량 (kWh/월)	89.9		91.2		149.0		PF=1.0 74hr/월	
중순일 전력량 (kWh/주)	32,825		33,306		54,382		365일/년	
중순일 전력비용 (전월/주)	3,811		3,664		5,982		1kWh=110원	
유리한 부하율 (%)	50% 이상		40% 미만		○		평균부하율 기준	
주요기능	변압기용	○	○		○			
	고조파감쇄	최대 70%		-				
	불평형개선	최대 30%		-				
에너지 절감 거대효과	7.8%		4.2%		-		KS 변압기 대비	

투자비	변압기	180%	100%	KS 변압기 대비	
	고조파 필터	-	100%	100%	추가 비용
투자비 회수기간 (년)	원래	95%	150%	100%	KS 변압기 대비
	현재	3.2년	5.4년	-	KS 변압기 대비
제작용량	100kVA~3MVA	100kVA~2MVA	100kVA~10MVA		

출처: (주)에너테크 카탈로그

다) 효율적인 변압기뱅크구성

- ① 직접강하 방식[22.9kV/220, 380V, 440V]
- ② 2단 강압방식[22.9kV/6.6, 3.3kV]

라) 저손실 고효율 변압기의 채용

- ① 유입식변압기 → 몰드변압기 → 아몰퍼스몰드변압기 → 진공가압합침(VPI)변압기
- ② 장기간 손실 평가를 하면 통상적으로 저손실 변압기 유리함
- ③ 아몰퍼스변압기로 교체 시 절전 효과

※ 기존의 일반 변압기 500kVA 경우

일반변압기 무부하 손실 2,040W, 아몰퍼스변압기 무부하 손실 240W 아몰퍼스변압기 연간 무부하 손실량과 전력비 절감액을 산출하면

- 무부하손실 절감량 : 2,040(W)-240(W) = 1,800(W)
- 연간 무부하손실 절감량 : 1,800(W)×24(H)×365/1,000=15,768kWh
- 연간 전력비 절감액 : 15,768kWh×112.33kWh = 1,771,219원

- 2011년 1월 한전전기요금 일반용 평균단가: 112.33/ kWh
- 3상 500 kVA 기준, 일일 전력 절감량 43.2 kWh/일

마) 화재예방 및 환경 친화형 변압기 선정

- ① 화재예방이 중요시 되는 장소나 건물(난연성)
- ② 고신뢰성이 요구되는 곳이나 공항, 지하철, 발·변전소등 특수 장소
- ③ 친환경성, 내환경성이 요구되는 장소
- ④ 일반변압기 대비 아몰퍼스 변압기의 부피
 - 아몰퍼스 몰드형 변압기는 사각권을 사용하여 기존 몰드변압기 대비 부피를 20% 이상 감소 됨

바) 효율적인 변압기 용량선정

- ① 용량별 성능 및 경제성(표 1, 2)
 - ② 예상회수기간과 경제적인 측면을 고려할 경우 레이저(Laser)변압기가 보다 효율적임(레이저 : 5.2년, 아몰퍼스 : 10년)
 - ③ 변압기 종류별 손실 및 경제성검토 사례
- 예) 부하율 70%×10시간(08:00~18:00)
+ 부하율 20%×14시간

용량 (kVA)	무부하손(W)			부하손(W)			일일손실절감 (kWh)		연간손실절감량 (kWh)	
	Laser	아몰퍼스	일반	Laser	아몰퍼스	일반	Laser	아몰퍼스	Laser	아몰퍼스
200	460	280	880	2175	3386	3610	22	16	7,953	5,923

연간전력비 절감(백원)		예산(단가)			초기구입비용증가		예상회수기간(년)	
Laser(A)	아몰퍼스 (B)	Laser	아몰퍼스	일반	Laser (A)	아몰퍼스 (B)	Laser (A'/A)	아몰퍼스 (B'/B)
1,192,981	888,041	13,412,500	16,095,000	7,250,000	6,162,500	8,845,000	5.2	10.0

출처 : 스마트 절전컨설팅(기다리출판사)

④ Laser 고효율 변압기란?

변압기에 사용되는 철심의 재질을 방향성규소강판(CGO), 또는 아몰퍼스 코어를 대신하여 Laser Core(자구 미세화 강판)를 사용함으로써 제품 고효율화를 이룬 새로운 변압기를 말함

㉞ 방향성 전기강판이란?

- 변압기용 철심의 소재로, 자석의 N극과 S극 사이에 작용하는 자력선 방향이 압연방향으로 흐르는 강판이다.

④ 몰드변압기 경제성검토(아래 표 참조)

- 장기간 사용 할 경우 고효율 아몰퍼스 몰드변압기로 교체 사용하는 것이 바람직함

㉞ 비결정질 자성 재료나 자구(磁區)를 세분한 규소강판, 고방향성 규소강판 등을 사용하여 특히 무부하손을 감소시킨 저손실 변압기를 사용하면 러닝 코스트를 대폭 절감할 수 있다.

[표 1] 일반몰드변압기와 고효율 아몰퍼스 변압기의 성능비교

구분	무부하손(W)		효율(%)	
	아몰퍼스 변압기	일반몰드 변압기	아몰퍼스 변압기	일반몰드 변압기
100(kVA)	120	600	97.7	97.5
150(kVA)	135	880	97.9	97.5
200(kVA)	150	1,000	98.1	97.5
300(kVA)	200	1,300	98.2	97.9
400(kVA)	230	1,500	98.3	98.1
500(kVA)	270	1,800	98.5	98.3
750(kVA)	350	2,100	98.5	98.3
1,000(kVA)	450	2,500	98.7	98.4

6) 아몰퍼스 변압기

가) 아몰퍼스(Amorphous)란?

비정질의 자성재료를 말하는 것으로, 기존의 방향성 규소강판과는 다르게 철, 붕소, 규소 등이 혼합된 용융금속을 급속 냉각시켜 만들어지며, 소재의 고유 저항이 높고 두께가 규소강판의 1/10수준으로 얇아 와류손을 절감한다. 또한 비정질의 아몰퍼스 구조는 방향성이 없어 자유로운 원자의 이동이 가능하기 때문에 기존의 규소강판에 비해 히스테리시스 손실을 절감할 수 있다. 변압기의 주요 자재 중 40%를 차지하는 코어를 기존의 방향성 규소강판 대신에 비정질의 아몰퍼스 메탈을 사용하여 만드는 변압기로 기존 변압기 대비 무부하손(철손)을 75%이상 절감한 고효율 절전형 변압기이다.

나) 아몰퍼스 금속(Amorphous Metal)

① Amorphous는 '비결정질'이란 의미이며, 몇 가지 금속을 용융한 상태에서 약 100만°C/초의 속도로 급냉하면, 비정질 합금으로 응고하고 우수한 전자기적 특성이 생성된다.

- Duwez와 Lin의 급냉법(1967년)

- 급냉법에 의한 Fe-P-C계의 아몰퍼스 메탈 발명

- GE사와 AlliedSignal사의 Field Test

- 25μm의 고경도 아몰퍼스 리본을 이용하며, 최근 사용 증가 추세

② 변압기용 아몰퍼스 메탈의 특성

- Metglas Alloy-2605SA1의 전자기적 특성
- 히스테리시스 손실 및 와전류 손실이 현저히 작아 무부하 손실이 규소강판의 약 20~50% 정도임.

【표 2】 아몰퍼스 변압기와 규소강판 변압기의 손실과 효율비교

구분(kVA)	무부하손실(W)			효 율(%)		
	아몰퍼스	규소강판	손실저감	아몰퍼스	규소강판	차이
50	38	149	111	99.1	98.6	0.5
500	270	1,400	1,130	98.5	98.3	0.2

③ 아몰퍼스 변압기 적용 경제성

- 지중 및 일반용 변압기(500kVA)
- 변압기 수명을 약 25년으로 가정할 때 초기비용 투자 후 약 3~4년 후 부터 전력손실 절감에 따라 상당한 경제적인 이익 발생한다.

다) 현장 설치 성과검증(M&V: Monitoring & Verification)

- ① 2대 250kVA 동일시양
- ② 규소 강판 VS. 아몰퍼스 변압기
- ③ 고조파 왜형률 26% 상태
- ④ 현장 시험 결과
 - 코아와 코일에서 발생하는 고조파 와전류는 전체 변압기 손실을 증가시키고, 아몰퍼스 메탈 철심의 경우, 히스테리시스 손실에 대한 와전류손실의 비율이 낮으면 낮을 수록 전체적인 코아 손실 증가가 더 작아지며, 고조파 왜형으로 인한 온도상승으로 변압기 손실이 증가되면 변압기 사용수명이 단축된다.

라) 화재예방 및 환경 친화형 변압기는 H중 아라미드계열이 우수하다.

7) 에너지절약 설계 및 유지관리보수 기준

전원설비의 에너지절약 시스템 및 기기 사용, 에너지절약 제어 설비 사용 등으로 하며 산업현장, 건물의 종류, 규모에 따라 다음 기준내용을 참고하여 선정한다.

- 수·변전설비의 각종 기기 등은 고효율 기자재를 사용해야 한다.
- 변압기는 저 손실형으로 몰드변압기 또는 아몰퍼스변압기 사용
- 직강압방식 수·변전시스템을 구성한다.
- 최대수용전력제한장치 등을 설치 최대수용전력을 제어 또는 관리한다.
- 역률 개선용 진상콘덴서 설치
- 수·변전실의 위치는 부하의 중심(용량분포 감안)에 설치
- 수·변전설비 중앙감시제어설비는 전력계통의 감시, 제어,

계측을 컴퓨터를 이용하여 자동으로 시행될 수 있도록 센서, 전송설비, 감시설비 설치 검토

4.4 최대수요전력의 효율적 관리

산업·정보화의 급속한 발전으로 전기의 사용이 급증함에 따라 국내에서는 1990년대부터 전력예비율의 부족현상이 발생하게 되어 전력사용기기의 효율성과 수요전력 관리에 대한 필요성이 대두되어 전력회사에서는 수요전력 억제와 고객의 자발적인 전력 절감을 유도하기 위하여 전기요금을 부과함에 있어 지난 12개월 중 가장 높게 발생한 수요전력(최대수요전력)을 기준으로 기본요금을 부과하고 있다. 따라서 1년 중 어느 한 순간이라도 전력관리를 소홀히 하여 최대수요전력이 올라가면 1년 내내 높은 전기요금이 부과된다.

1. 수변전실에서 전압 및 전류 등 실측분석

가. 부하전류 측정 및 데이터베이스화

- 1) 특고압 이상으로 수전 받은 고객은 변압기 2차간선 또는 배·분전반에서 각 상별로 측정하고, 저압으로 수전 받은 고객은 주차단기 2차간선 또는 분기회로에서 각 상별로 측정한다.
- 2) 하절기나 동절기 등 부하사용량이 많은 기간에는 각 분기 회로에서 부하전류 적정여부를 확인한다.
- 3) 측정시간을 기록하여 시간대에 따른 부하 사용량, 변동 상태 등을 확인한 후 데이터베이스화하고, 측정부분의 배선 발열 및 진동 여부를 병행하여 확인한다.
- 4) 중성선의 전류 상태를 확인한다. 단상 부하 사용량을 초과하여 전류가 흐르는 경우에는 각상의 부하상태가 평형상태인지 확인한다.
 - 불평형률 기준 : 3상3선식 또는 3상4선식은 30%이하, 저압수전의 단상3선은 40%이하(내선규정 제410절)

나. 전압 측정

- 1) 특고압 이상으로 수전 받은 고객은 변압기 2차간선 또는 배·분전반에서 각 선간 및 대지간을 측정하고, 저압으로 수전 받은 고객은 주 차단기 2차간선 또는 분기회로에서 각 선간 및 대지간을 측정한다.
- 2) 하절기, 동절기 등 부하사용량이 많은 기간에는 각 분기 회로에서 전압의 적정여부를 확인한다.
- 3) 측정시간을 기록하여 시간대에 따른 부하 사용량, 변동 상태 등을 확인한다.
- 4) 전압측정시 허용 전압변동을 이내인지 확인하며, 특히 하절기, 동절기는 Peak 시간대의 전압을 확인한다.

다. 부하상태 분석

- 1) 측정결과 부하분담 상태가 각 상별로 적정인지 확인한다. 측정시점의 부하가동 상태 및 시간대를 고려하여 판정한다.
- 2) 3상으로 수전 받은 고객은 한 상에 걸리는 부하가 전체 변압기용량의 1/3을 넘지 않도록 사용하는지 여부와 부하 전류가 배선의 허용전류와 변압기의 정격전류를 초과하는지 확인한다.
- 3) 부하상태를 분석한 결과 변압기, 전선, 차단기 등의 정격 전류를 초과하는 경우에는 현재 부하상태와 Peak전력, 발생할 수 있는 문제점, 해결방안 등을 검토한다.
- 4) 각상의 부하상태가 중성선에 전류가 흐를 만한 요인이 없다고 판단 될 때에는 전력분석계 등을 이용하여 고조파 전류 함유여부를 확인한다.

라. 전압강하

- 1) 전선의 길이가 60m초과하는 경우 부하전류로 계산한 허용전압강하가 적정인지 확인한다.
- 2) 전압이 낮아 탭을 변경하여야 할 경우에는 경부하시에 과전압 등으로 인한 피해가 발생할 수 있으므로 고려한다.

피크컷(Peak Cut) 제어, 부하의 피크시프트(Peak Shift) 제어, 설비부하의 프로그램 제어, 자가용발전설비 등의 기동에 의한 부하분담 제어 방식, 분산형 전원장치를 이용한 부하 분담 제어 방식 등이 있다.

1) 일반적인 방안

가) 최대전력을 절감할 수 있는 방법으로는 다음과 같은 것이 있다.

- ① 전력종합감시를 위한 집중 원격감시 제어시스템(SCADA System) 및 수변전실 및 변전소자동화(SA: Substation Automation; IEC 61850 IED장비 등), 최대수요전력 감시 제어장치(Demand Controller)에 의해 최대수요 전력의 억제를 도모한다.
 - ② 조업방식, 공정의 변경 등에 의해 부하의 평준화를 도모한다.
 - ③ 생산방식 및 원재료의 변경 등에 의해 전력소비가 적은 시스템으로 이행
 - ④ 최대부하 이전(Peak Shifting)으로 피크시간대 전력수요를 사용량이 가장 적은 야간 시간대로 이전함으로써 최대수요 감소와 심야부하 증대로 설비의 효율적사용 및 전력요금 절감
 - ⑤ 전략적 소비절약은 전기설비 등의 이용효율 향상을 통하여 전력수요를 절감시켜 절전과 함께 이산화탄소 배출을 감소시켜 지구환경을 보전하는 것이다.
 - 고효율 기기개발과 보급촉진을 통해 전기기기의 효율 향상 유도
 - 고객의 전기설비에 대해 절전컨설팅 등으로 절전정보 제공하여 개선
 - ⑥ SCADA(Supervisory Control and Data Acquisition) System이란?
 - 집중 원격감시 제어시스템 또는 감시 제어 데이터 수집 시스템이라고도 하는 시스템의 감시 제어기능을 말한다.
 - ⑦ Demand Controller는 최대수요전력제어기 또는 최대 전력 감시제어장치, 최대수요전력 감시 제어장치라 한다.
- 나) 이상과 같이 여러 가지 방법이 있으며, 근래에 많이 사용하는 Demand Controller와 SCADA System에 대하여 간단히 설명한다.**

2) 최대수요전력 감시 제어장치(Demand Controller)

최대수요전력제어기는 수요전력을 관리하여 전력요금을 절감시켜주는 기기로, 전력사용량을 상시 감시하면서 현재전력이 설정된 목표전력을 초과할 것이 예상될 경우에는 단계적으로 부하를 차단하여 목표전력을 초과하지 않도록 함으로써 최대수요전력을

【표 3】 허용 전압강하 기준(내선규정 제1415절)

공급변압기 2차 또는 인입점에서 원거리 부하에 이르는 전선의 길이(m)	허용전압강하기준(%)	
	구내에 설치된 변압기에 서 공급 시	전기사업자로부터저압으로 직접 공급 시
60 이하	120 이하	200 이하
200 초과	3 이하	5 이하
6 이하	7 이하	2 이하
4 이하	5 이하	6 이하

2. 최대수요전력관리 방안

전력수요관리(Demand Side Management)는 최소의 비용으로 고객의 전기사용패턴을 합리적으로 사용하기 위한 전력정책의 제반활동을 말하며, 수요관리는 크게 최대수요억제나 최대부하 이전 등의 부하관리와 효율을 향상하는 전략적 소비절약으로 구분할 수 있다.

가. 최대수요전력제어(Demand Controller) 및 SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) System

우리나라 전력회사의 최대수요전력 관리에 있어 수요시한은 15분을 기준으로 하고 있으므로 전력요금 절감을 위한 최대수요전력을 적절히 제어하기 위한 방식으로는 부하의

관리할 수 있는 장치다. 미리 정해진 목표전력에 의해 생산에 영향을 크게 끼치지 않는 자동판매기 등의 냉동부하와 에어컨, 냉동기, 펌프, 공조기, 조명, 전기로 등 잠시 꺼도 되는 부하를 순차적으로 자동 차단하고 현재전력이 목표전력 이하로 내려가거나, 수요시한이 끝나면 자동으로 부하차단의 역순으로 전원을 투입 시켜줌으로써 최대수요전력을 목표값 이하로 항상 관리하여 준다. 또한, 다양한 부하제어 기능을 적용하여 부하기기의 가동률을 최적 상태로 유지시켜줄 뿐만 아니라 피크시간에 소비될 전력을 다른 시간대로 분산시키고, 각종 전기 사용 Data 및 수전 일지(일보, 월보, 연보)를 자동으로 검색하고 인쇄할 수 있어 효율적인 전력 관리를 가능하게 하여주는 에너지절감기이다.

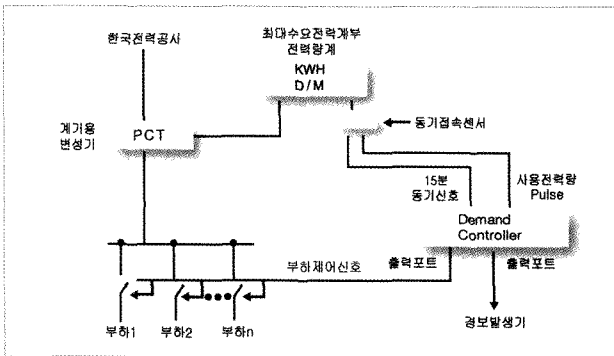
디맨드 컨트롤(Demand Control)은 일반용 전력 및 산업용 전력 고객에 적용되며, 첨두부하(Peak)를 관리함으로써 전력요금 경감 효과와 전력공급 신뢰성을 확보하는 장치이다.

가) 최대수요전력 감시 제어장치(Demand Controller)의 원리

- ① 수요 시한 15분내에서 주기적으로 임의의 시간 t의 예측 전력(수요시한 종료 시 예상전력)을 연산
- ② 예측전력이 목표전력 설정 Peak를 초과할 것으로 예상 되어질 때 설정해 놓은 부하차단 순위에 따라 예측전력이 목표전력 이하가 되도록 단계적으로 부하를 차단하여 Peak 상승 억제
- ③ 전력 제어에 필요한 데이터를 저장하며, 사용자 컴퓨터와의 통신으로 각종 데이터의 출력 및 감시에 필요한 데이터를 저장하고, 그 정보를 토대로 각종 데이터의 출력 및 감시데이터에 대해 수동제어 기능을 갖는다.

나) Demand Controller의 구성도와 용어

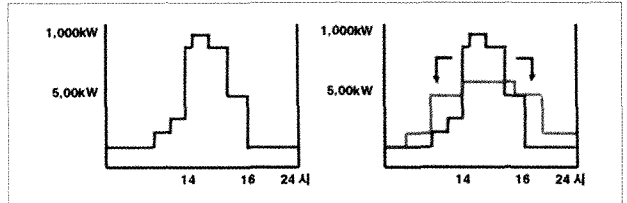
- ① 최대수요전력이란 수용가에서 일정 기간 동안 사용한 전력의 최대치를 말한다.



【그림 1.3】 최대수요전력계의 구성

다) 요금 경감방법

- ① 전력요금은 디맨드 메타(Demand Meter)로 기록되는 최대 수요전력 요금에 사용요금을 합산한 금액이다. 최대 수요전력 요금은 피크전력 발생한 겨울철 및 여름철 (7~9월)과 현재월 중 가장 전력소비가 많았던 15분간의 수요전력에 기본 단가를 곱해서 기본요금을 부과한다.



【그림 1.4】 Peak 전력 커트, 시프트 등의 제어로 최대수요전력 감축한 도표

- ② 예를 들면 위 그림 왼쪽 수용가의 Peak 전력 1,000kW를 500kW로 낮추었을 경우 기본요금은 1년 동안 500kW를 적용하므로 고객은 전력요금을 절약하고 설비용량을 증설하지 않아도 되며, 국가적으로는 발전소를 추가로 설치하지 않아도 되므로 이산화탄소(CO₂) 배출까지 줄일 수 있어 지구온난화 방지에도 일조할 수 있다.
 - 유도형전력량계의 Peak 기록 : Demand Meter가 가리키는 눈금을 환산하고(100%=2kW), 배율(120, 240, 360 등)을 곱하여 수치를 계산, 기록한다.
- ③ 일반용전력(을)의 경우: Peak 전력 1,000kW와 500kW 전력요금 비교
 - 전기요금 계산
 - 기본요금(원/kWh)±역률요금+전력량요금+부가가치세 [(기본요금+역률요금+전력량요금)×0.1(10%)]+전력산업기반기금(기본요금+역률요금+전력량 요금)×0.037(3.7%)
 - Peak 전력 1,000kW 기본요금과 부가가치세 및 전력산업기반기금 : 1,000(kW)×6,970원+(1,000×6,970×0.1)+(1,000×6,970×0.037)=6,970,000+697,000+257,890=9,924,890원
 - Peak 전력 500kW 기본요금 : 500(kW)×6,970원+(500×6,970×0.1)+(500×6,970×0.037) = 3,485,000+348,500+128,945 = 3,962,440원
 - Peak전력 1,000-500(kW) 전력요금 차이 = 9,924,890원-3,962,440원 = 5,962,450원

- ② 최대수요전력제어설비이란 최대수요전력의 억제, 최대 수요전력의 이동, 전력부하의 평준화 등을 위하여 최대 수요전력을 자동 제어할 수 있는 설비를 말한다.

▶▶ 다음호에 계속