

최신 에너지 절약 기술 ③

글/전 용 선 세종글로벌(주) 상무

유 상 봉 용인송담대학 교수/공학박사/기술사

3-3. 무효전력 보정(Reactive Power Correction)

1) 리액티브 전류 보정(Correction)과 전력 삼각형(Power Triangle)

유효전력, 리액티브(무효) 전력 및 피상전력은 역률(Power Factor) 보정을 나타내기 위하여 보통 사용하는 전력 삼각형(Power Triangle)의 세가지 요소들이다.

킬로와트(kW)로 측정되는 유효전력은 유효한 일로 직접적으로 변환되는 전력이며 Volt - Ampere Reactance(Var) 또는 Kilo Volt Amp Reactance(kVar)로 측정되는 무효전력은 모터와 같은 유도성 부하의 구동을 위해 필요한 전기자기장(Electromagnetic Field)을 발생하기 위한 전기 에너지이다.

또한 Volt - Ampere(VA) 또는 Kilo Volt - Ampere(kVA)로 측정되는 피상전력은 펌프 모터 등과 같은 부하를 가동하기 위해 수용가에게 공급되는 토털전력이다.

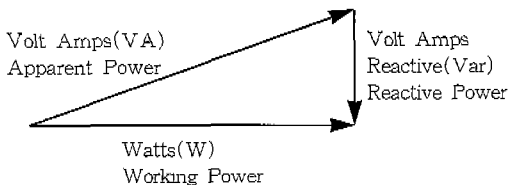


그림 1-11 전력 삼각형 (Power Triangle)의 요소

역률(Power Factor)은 전력이 얼마나 효율적으로 사용되는가를 나타내는 척도이며 이것은

유효전력(Working Power)과 피상전력(Apparent Power) 사이각의 코사인(Cosine) 값과 같다(수학적으로 kW / kVA로 표시됨).

전부하와 100% 효율의 전형적인 50마력 모터는 유효전력 37.3kW, 무효전력 27.9 kVar과 46.7kVA의 피상전력, 역률 0.8을 나타낸다(그림 1-12 참조).

동일한 50마력의 모터를 역률보정장치와 같은 적절한 규격과 정격의 커패시터 뱅크로 처리해 주면 kVar, kW 및 kVA의 감소와 함께 역률 향상을 얻을 수 있다(그림 1-13 참조).

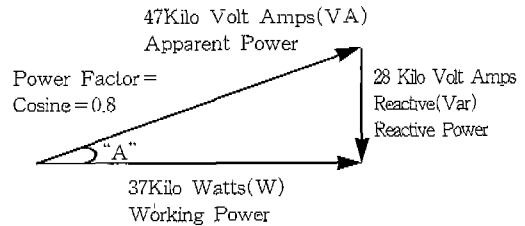


그림 1-12 일반적인 50HP 모터의 Power Triangle

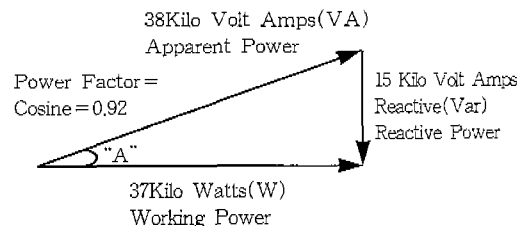


그림 1-13 Phase Liner 처리 후 실제의 Power Triangle

일반적 50 HP Motor	보정 후의 50 HP Motor	% 변화
37.3 kW	36.2 kW	3% 감소
28 kVar	15.1 kVar	46% 감소
46.6 kVA	38.4 kVA	17% 감소
0.8 dPF	0.92 dPF	15% 향상

위의 50 HP 모터에 역률 보정 장치를 사용하여 위의 표와 같은 결과를 얻을 수 있다.

역률 보정장치에 의한 kW, kVar 및 kVA의 감소와 역률의 향상은 전력공급사(한전)와 전력수용가 모두에게 아래와 같은 잇점이 있다.

- 36%의 선로손실 감소와 이에 따른 kW 절감 효과
- 전압강하를 줄임으로써, 모터 성능 향상
- 손실 없이 전력을 전달할 수 있는 변압기 효율 향상
- 3상 시스템에서의 상균형(Phase Balancing)과 효율적인 모터 성능 효과
- 전류 감소로 변압기 포화 감소, 낮은 규격의 케이블 사용가능 및 과부하 제거
- 모터 기동시의 초기 기동전류 썬지 감소 및 모터 수명 연장 효과

2) 왜형 전류(Distortion Current) 및 전력 삼각형(Power Triangle)

이상은 역률의 개념을 가시화하기 위하여 전력 삼각형(Power Triangle)의 간단한 동작 내용을 표시하였다. 그러나 근래 계속적인 비선형(Non-Linear) 부하의 확산으로 말미암아 리액티브 전류 못지 않게 왜형 전류의 영향에 더 많은 관심과 우려를 갖게 되었다.

아래의 수정된 전력 삼각형(Power Triangle)은 리액티브 전력, 왜형전력, 유효전력 및 피상전력과의 관계를 나타낸다. 위에서 언급한 기본적인 전력 삼각형에서와 같이 위상각 A는 전력공급사(한전)에 의해 공급되는 토털 피상전력(kVA)을 나타낸다.

그리고 이 위상각의 감소는 토털 피상전력의 직접적인 감소를 가져 온다.

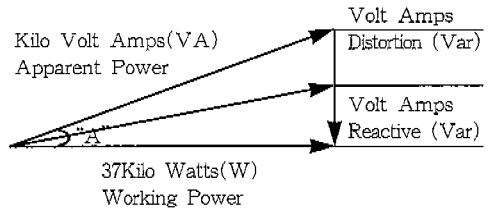


그림 1-14 왜형 전류를 포함하는 완전한 Power Triangle

3) 왜형 전류와 리액티브 전류와의 관계

전체 설비의 전원 품질을 측정할 때 리액티브 전류와 왜형 전류와의 관계를 이해하는 것이 중요하다. 왜냐하면 이것은 리액티브 전류와 왜형 전류 사이의 실제적인 비율을 파악함으로써 다양한 처리 솔루션을 결정하기 위한 지침이 되기 때문이다.

토털(True) 역률을 계산하기 위한 토털 Var 값을 얻기 위해 측정된 RMS 리액티브 전류값과 RMS 왜형 전류값을 단순히 합하지 않는다. 대신에 제곱의 합이라 불리는 방법을 사용하여 두 값을 합해야 한다(제곱의 합의 평방근).

단순 합계	제곱의 합 평방근	% 차이
35 Amperes (Reactive)	35 Amperes (Reactive)	-
55 Amperes (Distortion)	55 Amperes (Distortion)	-
90 Amperes Total	65.2 Amperes Total	27.5 %

즉 측정된 리액티브 전류값을 제공하고 측정된 왜형 전류값을 제공하여 더한 후 이 합한 값에 평방근을 취하면 설비의 피상전력에 이 두 전류가 작용하는 실제적인 전류값이 된다.

동일 부하에서 리액티브 전류와 왜형 전류에 대한 혼합 보정으로 얻을 수 있는 효과를 계산할 때 위와 같이 동일한 계산 방법을 사용한다.

예를 들면 480V 사용전압, 768kVA의 피상 전력을 사용하는 유도성 가열로 컨트롤러를 가정해 보자. 이 부하로 인입되는 토털 전류 1600 Amperes 중에서 우리는 리액티브 성분 384 Amperes와 왜형 전류 성분 480 Amperes를 측정한다. 이것은 변위(Displacement) 역률 0.76, 실제 역률 0.70 및 30%의 토털 고조파 왜형 전류를 나타낸다. 단순히 전류값을 더하면 모든 리액티브 전류와 왜형 전류를 보정함으로써 아마도 864 Amperes의 전류 감소를 기대할 수 있다.

그러나 만일 모든 리액티브 전류(dPF = 1.0)와 왜형 전류(THID=0%)를 보정하고 부하 전류를 다시 측정한다면 실제 우리가 기대했던 700이나 800 amperes가 아니라 토털 전류는 약 1000 Amperes가 된다는 것이다.

따라서 리액티브 전류와 왜형 전류를 동시에 보정할 때에는 토털로 결합된 결과값을 얻기 위해서 제곱의 합 방식을 사용해야 한다.

3-4. 실용화된 에너지 절약 기기

1) 듀얼 전력품질 보정 컨트롤러(Dual Power Quality Correction)

비선형 부하에 의해 발생하는 리액티브 전류와 왜형 전류를 보정하거나 또는 높은 율의 비선형 전력 시스템에 연결된 일반적인 유도성 부하에 의해 발생하는 리액티브 전류를 보정하기 위한 제품으로서 저역 통과(Low Pass) 고조파 전류 필터일 뿐 아니라 리액티브 전류를 보정하는 시스템이다. 처리 부하에 병렬로 연결되는 완전한 패시브형 장치에 위의 두 가지 기능을 결합하여 고조파 전류를 대폭적으로 감소시킬 수 있으며 리액티브 전류를 제거함으로써 확실한 전력 절감의 효과도 얻을 수 있다.

전력품질 보정 컨트롤러는 가변속 AC Drives, DC Drives, UPS 또는 AC-DC 전력변환 장치와 같은 비선형 부하의 효율을 향상시키며 운전비용을 절감시켜 준다.

즉 리액티브 전류와 왜형 전류의 로컬 공급원으로써 낭비되는 리액티브 및 왜형 전류를 리사이클 하여서 전체 전력 시스템에서 오히려 낭비되는 선로손실을 대폭 감소시켜 준다. 이것은 곧 kWh 및 kW 최대수요전력의 감소에 따른 전체적인 전력 요금의 절감으로 나타난다.

● 특징 및 장점

- 모터, 유도성 기기 및 비선형 부하의 수명을 연장
- 설비 전압 향상 효과 및 전압 저하(Sag) 대처 능력 향상
- 전력 시스템의 용량 증진 효과
- 과열 선로 및 Panel의 냉각 효과
- 고조파로 인한 전자 기기의 냉각 효과
- kWh 소비 전력 및 kW 최대수요 전력 감소
- 설비의 역률 향상
- 역률 과징금 제거

2) 마이크로프로세서 제어식 전력 보정 시스템 (Microprocessor Controlled Power Correction)

비선형 부하에 의해 발생하는 왜형 전류를 보정하기 위하여 각 산업체에서는 주문형의 필터 장비에 의존해 왔으나 최근의 고속 스위칭 전력 반도체 기술을 이용하여 동조 주파수 필터의 단점을 극복한 왜형 전류 보정을 위한 전자동 전력 보정 시스템이 개발되었다.

전자동 전력 보정 시스템은 3상 교류 전력 시스템에서 발생하는 복잡한 고조파 문제를 처리하는데 사용이 편리할 뿐 아니라 리액티브 전류 보정 기능도 제공한다. 이제는 고조파 및 역률 문제로 인한 전력 시스템의 여유를 고려하지 않아도 되며 원인모를 설비의 가동 중지 없이 대폭적인 전력 요금 절감 및 보수비용의 절감을 얻을 수 있다.

이 시스템은 단일 부하 또는 다수 부하의 버스(Bus)에 적용할 수 있으며 일반적으로 많은 양의 고조파 및 리액티브 전류가 광범위하게 변화하여 고정 용량용 처리 제품인 듀얼 전력품질 보장 컨트롤러가 적합하지 않은 경우에 사용한다.

전자동 전력 보정 시스템의 유효성은 다양한 종류의 변화하는 부하 요구에 대하여 실시간(Real Time)에 능동적으로 조정할 수 있는 능력에 있다. 보정의 종류와 양을 일관되게 조정하고 처리 부하에서 발생하는 왜형 전류 및 리액티브 전류를 제거함으로써 공장이나 건물의 주수전부의 전력량 미터에서 뿐 아니라 내부 배전 시스템에 흐르는 순전류치를 줄여 준다.

이로써 간접적인 유지·보수 비용 및 민감한 기기의 교체 비용을 줄여 주고 생산 가동 중지로 이어 질 수 있는 문제를 해결할 뿐 아니라 직접적인 전력 요금을 대폭 감소시킬 수 있는 효과로 나타난다.

① 특징 및 장점

- 원인 불명의 기기 고장 문제 해결
- 감소된 선로손실로 전력 시스템 용량 증진 효과
- 발전기 및 UPS의 최대 용량 사용 효과
- 공진 방지
- 모든 부하 변화에 능동적인 대처 능력

② 비용 절감 효과

- 고비용이 드는 현장에서의 고조파 조사 작업이 불필요
- 공장의 전력 용량의 활용도 증진 효과
- 배전 선로 손실 감소
- kWh, kW 최대수요전력 및 kVA 감소

③ 적용부하

가. VFD(가변속 모터 드라이브 : Variable Frequency Drives)

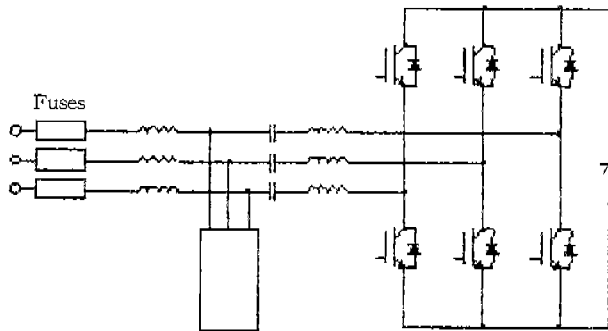
가변속 모터 드라이브는 현재 가장 많은 고조파 발생원이다. 전자동 전력 보정 시스템은 단일 또는 다수의 VFDs에서 발생하는 고조파 전류를 제거시켜 준다.

나. WWTP(Water & Wastewater Plants)

상수도 및 폐수처리 플랜트에서는 펌프 및 팬 용도로 다수의 VFDs를 사용하고 있다. 전자동 전력 보정 시스템을 사용하여 고조파 전류를 TDD 5% 이내까지 줄일 수 있다.

다. Office Building(사무실 건물)

본 장치를 사용하면 공조기의 VFDs 및 엘리베이터의 DC 드라이브에서 발생



회로도

하는 고조파 TDD를 5% 이내로 제거할 수 있다.

라. Generators(발전기)

발전기는 전체 부하 중 작은 양이라도 비선형 부하가 있으면 불안정하게 가동되고 과열 될 수 있다. 발전기와 부하 사이에 본 장치를 설치하면 부하가 선형 부하로 되고 리액티브 전류와 고조파 전류를 동시에 처리해 주면 발전기의 최대 용량까지 사용할 수 있게 한다.

마. UPS - Input & Output

UPS는 교류 선로에서 상당한 양의 고조파를 발생한다. UPS는 출력측에 다량의 비선형 부하가 있을 때 제대로 동작하지 않으며 본 장치를 적용하면 TDD 5% 이내로 유지시켜 준다.

바. DC Motor Controls

DC 드라이브의 경우에는 빠르게 변화하는 부하에 의해 좋지 않은 역률 문제와 SCR 위상 변환장치에 의해 다량의 고조파 전류가 발생한다. 본 장치를 적용하면 역률 문제와 고조파 전류 문제를 동시에 능동적으로 해결할 수 있다.

④ 성능 시험 결과

우측 표는 전자동 전력 보정 시스템을 사용하여 전형적인 고조파 제어의 결과를 보여 준다. 파형은 Tektronics 오실로스코프를 사용하여 측정하였다. 고조파 전류는 DC 링크 초크와 함께 150 HP AC 드라이브를 사용하여 발생되었으며 전자동 전력 보정 시스템을 480V Bus에 연결하였고 이때 공급된 40 Amp의 보정전류는 TDD %를 IEEE-519 규정 한도 범위내에 있음을 나타낸다.

그림 1-15와 1-16은 전자동 전력 보정 시스템 설치 전과 후의 대표적인 파형 변화 결과를 보여 준다.

Order Fund	Before % 1 Fund	After % 1 Fund
3	0.038%	0.478%
5	31.660%	0.674%
9	0.435%	0.297%
11	7.068%	0.710%
13	4.267%	0.521%
15	0.367%	0.052%
17	3.438%	0.464%
19	2.904%	0.639%
21	0.284%	0.263%
23	2.042%	0.409%
25	2.177%	0.489%
27	0.293%	0.170%
29	1.238%	0.397%
31	1.740%	0.243%
33	0.261%	0.325%
35	0.800%	0.279%
37	1.420%	0.815%
39	0.282%	0.240%
41	0.588%	0.120%
43	1.281%	0.337%
45	0.259%	0.347%
47	0.427%	0.769%
49	1.348%	0.590%
%THD	35.28%	2.67%

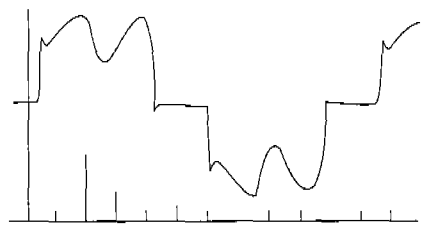


그림 1-15 설치 전

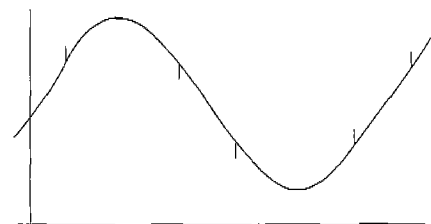


그림 1-16 설치 후

3) 역률 보정장치(Power Factor Correction)

모터와 같은 유도성 부하는 일을 하기 위해 많은 전력(Watts)을 필요로 한다. 모터는 공급되는 전원의 전압을 상승시킬 수는 없지만 공급 전압이 떨어지면 모터는 더 많은 전류를 필요로 하고 실제로 요구되는 전력(Watts)을 얻기 위하여 더 많은 전류를 수전부로부터 필요로 한다. 이 배전 선로의 전류 증가는 선로 상의 더 많은 전압 강하를 야기하고 이는 다시 더 많은 전류를 모터로 끌어 들이는 요인이 된다.

역률 보정장치를 모터 부근에 설치하면 모터의 권선 코일에서 요구되는 자화 전류(Magnetizing Current)를 이 장치가 공급해 주는 것으로 이것은 모터가 전력 공급사(한전)로부터 전력을 덜(Less) 사용하는 효과로 작용한다. 결과적으로 건물의 배전 선로를 따라 전류가 감소하고 선로의 전압 강하도 감소한다.

따라서 모터에 약간 높은 전압이 인가되므로 더 적은 전류를 소비하게 되고 이는 다시 전압을 약간 상승시켜 이에 따라 모터에 인입되는 전류치가 더 낮아 지게 되는 반전 싸이클이 이루어 지게 된다. 위의 향상된 전압 효과는 커서

첫째, 모든 선로에 흐르는 전류감소에 의해 선로의 열손실이 감소하며 이것은 전력 시스템의 즉각적인 절감 요인이 되어 구체적인 전기요금 절감으로 나타나게 된다.

둘째로, 모터에 소비전류가 감소하므로 모터 코일 권선에서의 열손실이 대폭 감소한다. 이것은 모터가 더 냉각된 환경 하에서 가동됨을 의미하며 모터 수명이 대폭 연장될 수 있음을 의미한다.

건물의 배전 선로의 전류감소로 인한 또 다른 부수 효과는 배전 선로에 더 많은 부하를 위한 여유를 갖게 되었다는 점이다. 이것은 기계 설비, 조명 시설, 냉방공조 설비 등을 추가로 계획할 때 추가적인 배선이나 Panel 등이 필요하지 않아 매우 효과적이다.

많은 유도성 부하가 있는 건물이나 공장에서 어느 순간에 전압 강하가 발생할 경우 이것은 인접한 전체의 공장이나 건물에 파급되며 이런 현상은 대규모 공장 지역이나 상업 지역에서 흔히 일어날 수 있다.

역률 보정장치는 수용가 내부의 선로 뿐 아니라 한전측의 배전 선로의 수요 전력을 감소시켜 주므로 로컬에 설치된 역률 보정장치에 의하여 전체적인 지역의 전압 강하를 방지하도록 작용한다.

① 일련의 커패시터와 부하측에 설치된 역률 보정장치의 차이점

종종 일련의 커패시터가 대규모 빌딩이나 산업 플랜트의 주 수전부(Main Service Entrance)에 아래의 목적으로 설치한다.

- 역률 과징금(Power Factor Penalty) 제거
- 주 배전반의 전력 용량의 증진

역률 보정장치를 각 부하 근처에 설치함으로써 아래의 효과를 얻을 수 있다.

- 역률 과징금 제거
- 주 배전반의 전력 용량의 증진
- 건물내의 모든 서브 패널과 모든 선로의 전력 용량 증진
- 라인 손실을 없애 줌으로써 건물내의 전압 향상
- kWh 및 kW 수요전력(피크치) 감소 및 배전 손실 감소

위의 마지막 효과가 역률 보정장치를 부하 측에 설치하는 주된 이유이며 또한 그것이 비용면에서 매우 효율적인 이유이다.

역률 보정장치를 부하에 가능한 한 근접하여 설치함으로써 나머지 4가지 효과는 자동적으로 따라 오게 된다.

② 주 배전반에 이미 역률 보정용 커패시터가 설치된 경우는 어떻게 되는가?

커패시터를 선로에 병렬로 설치하면 역

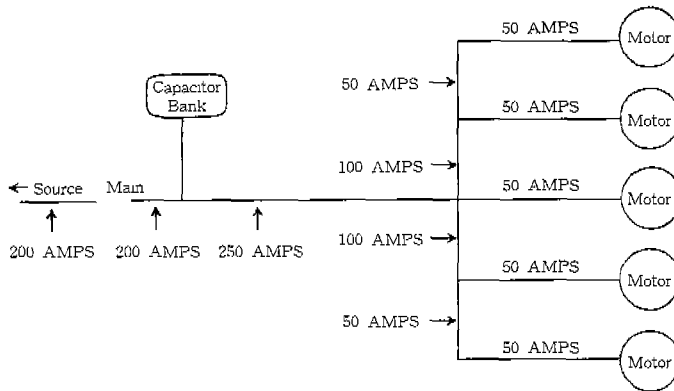
률이 향상되고 선로의 전류는 감소하는데 이는 단지 커패시터가 설치된 지점으로부터 전력공급사(한전)로부터의 수전측까지에 한하여 효과가 있다. 커패시터로부터 전방위 건물내의 부하까지는 전류치와 역률의 변화가 없다.

그러므로 주 배전반에 설치된 커패시터에 의한 주된 수혜자는 전력공급사(한전)라고 할 수 있다. 전력공급사(한전)측 선로상의 고압 개폐장치 및 발전 설비의 전류가 감소하며 선로 손실이 감소한다. 그러나 전력 수용가측의 선로손실 및 전압 문제는 개선이 되지 않고 변화가 없게 된다.

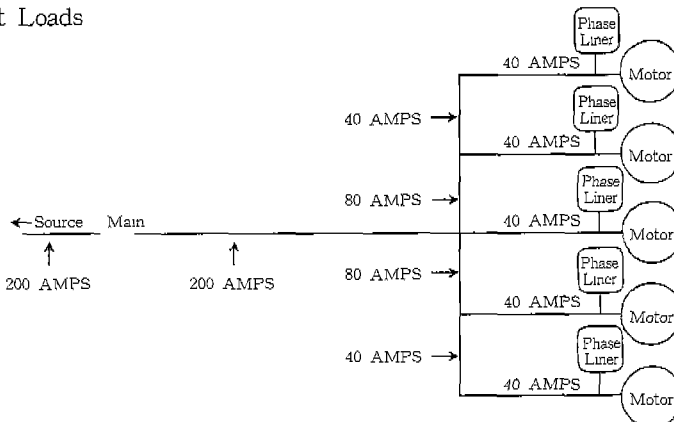
역률 보정장치는 설치된 지점으로부터

수전측까지 선로 전류를 감소시켜 주며 이는 전력공급사(한전)도 마찬가지로 동일한 혜택을 얻을 수 있다. 전력 수용가에서는 선로손실이 대폭 감소하고 전압이 향상된다. 모든 선로와 Panel상의 전력 용량이 증진된다. 또한 향상된 역률로 저역률 과징금을 없앨 수 있으며 전류의 감소는 주 배전반을 통해 전력공급사(한전)의 발전 설비까지 효과를 미칠 수 있게 된다. 역률 보정 시스템을 설계하여 설치하는 것이 단순한 일련의 커패시터를 주 배전반에 설치하는 것보다 비용이 다소 더 소요되지만 전기 요금 절감과 기타의 효과는 초기 투자 비용을 훨씬 상회하는 대폭적인 효과로 나타난다.

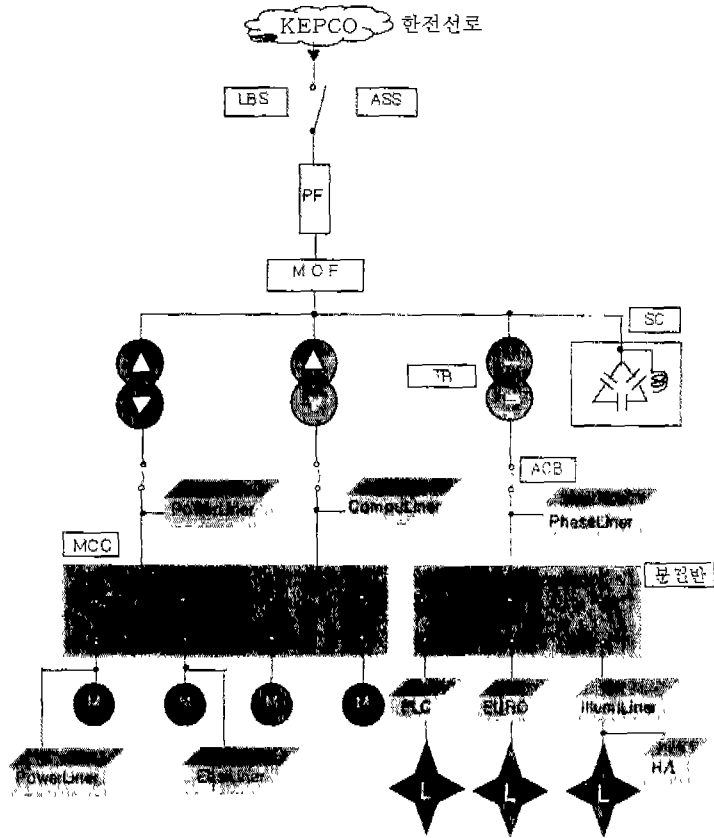
● Capacitor Banks at Main



● Phase Liner at Loads



4) 전체 시스템 설치도



- 주) M Motor
 L Lighting
 TR Transformer
 PF Power Fuse
 ACB Air Circuit Breaker
 SC Static Condenser
 JLC Universal Lighting Controller (illumLine)
 EURO European Lighting Controller
 FLC Fluorescent Lighting Controller
 H/L HarmoniLux
 ASS Automatic Section Switch
 LBS Load Brake Switch
 MOF Main Off-Flange
 MCC Motor Control Center

➡ 다음호에 계속 됩니다