電氣協會 '87年度 電氣分野 調査研究論文

合理的 力率管理 方案

A Rational Management Plan of Power-Factor

(1)

李 慶 植

大韓電氣協會 理事

제 1장 總 論

콘덴서는 相対하고 있는 誘電体 電極間에 전압을 가하면 電荷가 축적된다는 基礎的 機能을 각종 電氣機器 및 電線路에 應用하면서 부터 점차적으로 그의 이용범위와 응용범위를 계속 확대하여 나아가고 있다고 말할 수 있다.

특히 근래에 와서는 電子産業의 급속한 발달과 더불어 하나의 絶対的 要素로서 각종 電気回路의 주요 위치를 굳히고 있는 것이 현실이며 電力回路에서의 應用도 1973년의 일차 오일쇼크후 電力 에너지의 節減이란 次元에서의 力率改善의 絶対性과 法的側裁性으로 力率을 90% 이상으로 개선하지 않을 때에는 電力料金에 벌과금을 가산 할 수 있도록 韓國電力公社의 供給規定이 개정된 후로부터는 그 設置対象이 확대 되고 있다. 美, 英 等 英語圈에서는 초기에 콘덴서(Condenser)라고 호칭하여 왔으나 蒸気機関, 冷凝房設備等에 사용되는 凝縮機 또는 復水器의 호칭이 Condenser로 호칭되고 있어 이와의 混同을 막기위하여 케패시터(Capacitor)로 통일되어 호칭되고 있으며 獨逸에서는 "Kondensatoren"으로 佛蘭西에서도 "Cendensateurs"로 불리우며 日本의 경우는 "蓄電器"또는 콘덴서가 혼용되고 있으며 콘덴서라는 호칭은 주로 學術用語로서 사용되고 있는 경향이 짙다. 우리나라의 경우 電気事業法이나 附屬令等에 직접 언급된 바는 없지만 電気事業法 제15조 1항(供給規定)에 의하여 一般電気事業者인 韓國電力公社가 제정하여 動力資源部 長官의 認可를 받은 電氣供給規定 제37조(力率의 維持 및 콘덴서 附設)와 제38조(力率의 測定과 計算)에 需用 場所의 力率을 90% 이상으로 유지 할 것을 요구하고 있어 호칭을 "콘덴서"로 하고 있으며 이에 따라 內線規定 等에서는 같은 호칭을 쓰고 있으나 이외의 각종 商工部 統計 資料(技術導入 現況 等)나 한국은행의 企業経営 分析 等에는 "蓄電器"로 호칭되고 있으며 이 이외의 各種 技術書籍에는 콘덴서와 蓄電器가 混用되고는 있으나 32개의 자료를 분석하여 본 바 약 70% 정도가 콘덴서로 호칭하고 있었다. 다만 한글 표기 방법

에는 "콘덴서" "콘덴셔" "콘덴사" "콘덴샤"등 다양하였으며 대체적으로 "電氣供給規定"이나 "內線規定"이 콘덴서로 호칭하고 있어"콘덴서"라는 호칭이 81% 정도이었다.

이 외에도 弱電用(電子回路用) 固定콘덴서(蓄電器),可変콘덴서(바리콘,可変蓄電器 等)등 技術的 側面을 修飾하는 語句가 콘덴서 前端에 붙여져서 호칭되고 있으며 電力回路用 (強電用)은 電力콘덴서, 電力用 콘덴서, 力率 改善用콘덴서 등으로 호칭되기도 하며,용도에 따라 低圧콘덴서, 高圧콘덴서 등의(콘덴서 대신 蓄電器도 병용 되고 있다). 호칭도 사용되고 있다.

콘덴서의역사는 1745년 화란의P. Musschenbrok에 의하여 Lyden Jar가 발명되면서 시작되었으며 電信技術을 위시하여 發電機, 電線等의 발달과 더불어 絶緣体 및 誘電体의 발달에 힘입어 급속한 발전을 거듭하여 오다가 실용화된 것은 1880년대의 電信技術의 발달이 큰 계기가 되며 우리나라의경우 1933년 10월에 시행된 朝鮮電氣工作物 規定(조선 총독부령 제118호)等이나 舊電氣 事業法, 電氣供給規定의 前身인 公共料金 審議委員會 設置法(1962년 2월 29일 公布, 法律 제1019호)이나 동施行令 (1962년 2월 2일, 閣令 제481호) 自家用 電氣工作物 施設規定(1962년 3월 27일 公布, 閣令 584호)등에서는 力率 改善에 대하여 명시된 것이 없으며 다만 電氣 測定法(1961년 12월 23일 공포 법률 제870호)에 静電 容量은 패럿 (제2조), 마이크로 패럿 (제12조)으로 표시한다라는 어구가 있을 뿐이다. 力率 改善의 시작은 당시의 韓國電力株式會社가 제정하여 상공부 장관의 인가로 시행되기 시작한 電氣供給規定(1964년 11월 28일, 상공부 장관 제정인가)에 그 端矢를 두고 있다고 보아야 한다. 이 供給規定의 所管部處도 商工部 (1978년 9월 24일 까지 24회 개정)에서 動資部로 移管되었으며(1978년 9월 25일) 動資部로 移管된 후 20여 회의 개정에 의하여 현재에 이르고 있다. 電氣供給規定이 法的根據를 갖게된 것은 非常國務會議에서 新電氣 事業法(대통령령 제6901호에 의거 1973년 11월 1일 시행)에 의하여서라고 볼 수 있다. 新電氣事業法 제15조는(령 제10조, 규칙 제16조, 17조, 18조 등) 一般電氣事業者인 韓國電力公社가 供給規定을 정하여 動力資源部 長官의 認可를 받도록 하고 있으며 이 電氣供給 規定이 電氣 使用者인 需用家가 일정값 이상의 力率을 유지하도록 하고 있으며 維持 規定도 1987년부터 85%에서 90% 이상으로 정하고 있다. 電氣供給規定이 力率에 관하여 정하여진 사항들의 주요 변경 내용은 다음과 같다.

1973년 2월 15일 시행

제27조 力率의 維持(제41조)

1) 需用 場所의 負荷 力率이라 함은 總合力率을 말합니다.
2) 콘덴서는 所定力率을 維持하기 위하여 個個의 電氣機器別로 부설함을 원칙으로 합니다.
3) 特高圧, 高圧 및 低圧需用을 통하여 部分別 또는 이를 일괄하여 콘덴서를 부설할 수 있읍니다. 다만 夜間 또는 軽負荷時에 있어서 部分 開放이 용이하도록 하는 등 力率 調整이 可能한 조치를 하여야 합니다.

제49조 力率 未達時의 料金調整

1) 当社가 供給点에서 所定의 電圧을 維持하고 需用家의 力率이 85% 미만일 때는 需用家의 負担으로 所要施設을 하여 85% 이상의 力率을 維持하여야 합니다.
   当社의 力率 改善에 대한 通告가 있은 후 계속 역률 85%가 미달될 때에는 当月 契約電力을 調整하여 요금을 계산합니다.
2) 力率은 다음公式에 의하여 綜合 力率을 계산하고 그結果 力率이 85% 미달일 때는 実力率의 測定値에 의하여 料金 調整을 적용합니다.

$$\text{종합역률} = \frac{\text{출력의 총계}}{\sqrt{(\text{출력의총계})^2 + \{(\text{출력} \times \tan\phi\text{합계}) - (\text{콘덴서 용량의합계})\}^2}} \times 100$$

3) 実積率의 算定은 10일간 이상의 積算電力計의 計量値와 積算無效 電力計의 計量値에 의한 다음 공식으로 산정한 平均等價力率을 기준으로 합니다.

$$\text{평균등가역률} = \frac{\text{적산전력계의 계량치}}{\sqrt{(\text{적산전력계의계량치})^2 + (\text{적산무효전력계의계량치})^2}} \times 100$$

다만 콘덴서 附設, 撤去 또는 負荷設備의 변동이 있거나 需用家의 要請이 있을 때에는 再測定하여 적용합니다.

1975년 1월 1일 시행

제27조 力率의 維持 (제41조)

1) 需用場所의 負荷力率이라 함은 總合力率을 말합니다.

2) 콘덴서는 所定力率을 유지하기 위하여 個個의 電氣機器別로 附設함을 원칙으로 하고 電氣機器別 定格容量의 콘덴서는 별표 "1"과 같읍니다.

3) 特高圧, 高圧 및 低圧需用을 통하여 부분별 또는 이를 일괄하여 콘덴서를 부설할 수 있읍니다. 다만 夜間 또는 軽負荷時에 있어서 部分開放이 용이하도록 하는 등 力率調整이 가능한 조치를 하여야 합니다.

제46조 力率의 測定 및 計算 (제68조)

需用場所에서의 力率測定 및 計算은 아래 방법중 한가지로 합니다.

1) 平均力率

無效電力量計 (当社負担)를 부설하여 별표 "2"의 平均力率을 当月의 力率로 합니다.

2) 綜合力率

별표 "3"의 負荷設備別出力의 合計 및 無效電力의 合計를 별표 "2"에 따라 계산합니다.

다만 콘덴서 부설, 철거 또는 부하설비의 변동이 있는 경우에는 다시 계산합니다.

3) 實力率

重負荷時에 實力率을 測定하고 同測定値의 適用 期間은 1년으로 합니다.

다만 콘덴사 부설, 철거 또는 부하설비의 변동이 있는 경우에는 再測定 適用하며 實力率測定以後 無效 電力量計를 부설하는 경우에는 전 1) 항에 따릅니다.

1981년 9월 1일 개정

제32조 (力率의 維持 및 콘덴서 附設)

1) 需用家는 需用場所의 全体負荷 力率을 90%(이하 "基準力率"이라 함) 이상으로 유지하여야 합니다.

2) 需用家는 제 1 항의 基準力率을 유지하기 위하여 需用家 負担으로 콘덴서를 부설하여야 합니다.

3) 콘덴서는 個個의 電氣機器와 동시에 開閉되도록 부설함을 원칙으로 합니다. 電氣機器別 콘덴서의 定格容量은 별표3 (콘덴서 附設容量 基準表)과 같읍니다.

4) 需用形態에 따라 設備의 部分別로 또는 一括하여 콘덴서를 부설하는 것이 기술적으로 타당하다고 인정할 경우에는 설비의 부분별로 또는 일괄하여 콘덴서를 부설 할 수 있읍니다. 이 경우, 약간 또는 軽負荷時에 있어서 力率調整이 가능하도록 部分 開放裝置等 당사가 인정하는 필요한 조치를 하여야 합니다.

제33조 (力率의 測定 및 計算)

1) 需用場所에서의 力率의 測定 및 計算은 다음 방법중 한가지로 합니다.

ㄱ. 平均力率 :

使用電力量 및 無效電力量을 동시에 檢針하여 별표 4의 平均力率照見表에 의하여 當月의 力率을 계산합니다. 이 경우 電力量計 또는 無效 電力量計중 어느 하나가 고장이 있을 때에는 調整月의 直前 3 개월간 (計器附設期間이 3 개월 미만일 때에는 그 기간)의 月平均力率의 平均値를 当月의 力率로 합니다. 다만, 고장기간이 2개 조정월을 초과할 때에는 綜合力率 또는 實測力率에 의합니다.

ㄴ. 綜合力率 :

별표 5의 機器別力率 및 無效電力表에 의하여 산정한 負荷 設備別出力의 合計 및 無效電力의 合計를 별 4의 平均力率照見表에 따라 계산합니다.

ㄷ. 實測力率 :

重負荷時에 實力率을 測定하여 정합니다. 이

測定値의 適用期間은 1년으로 합니다.

2) 제 1항 제2호의 綜合力率 또는 제 3호의 實測力率에 의하여 負荷力率을 計算 또는 測定한 경우, 콘덴서의 부설 및 철거 또는 受電設備 및 負荷設備의 변동이 있는 때에는 이를 다시 계산 또는 측정하여야 합니다.

3) 제 2항에 의하여 力率을 다시 계산함에 따라 適用力率이 변경되었을 경우에는 変更日이 속하는 月分부터 변경후의 역률에 의합니다.

또한 綜合力率 및 實測力率에 의하여 역률을 산정하던 수용가가 平均力率을 적용하고자 無効電力量計를 부설하였을 경우에도 또한 같읍니다.

4) 使用電力量이 없는 달의 역률은 90%로 간주합니다.

제34조 (基準力率 未達時의 料金適用)

1) 力率이 제32조에 정한 基準力率 90%에 미달될때에는 미달되는 매 1%마다 별표 1의 電氣料金表에 의하여 산출된 금액에 그 금액의 1%씩을 加算調整한 것을 該当月의 電氣料金으로 합니다.

2) 제 1항의 적용은 低圧受電 電灯需用을 제외한 業務用電力, 産業用 電力, 農事用 電力 및 臨時電力 需用에 한하여 적용합니다.

1986년 2월22일 시행
(동자부인가 29013-1465, 1986년 2월25일)

제37조 (力率의 維持 및 콘덴서 附設)

1) 需用家는 需用場所의 全体負荷力率을 90% (이하 "基準力率"이라 합니다) 이상으로 維持하여야 합니다.

2) 需用家는 제 1항의 基準力率을 유지하기 위하여 별표3 (콘덴서 부설용량 기준표)에 의한 定格容量의 콘덴서를 個個의 電氣機器別로 電氣機器와 동시에 開閉되도록 부설하여야 합니다.

다만, 需用形態에 따라 設備의 部分別 또는 一括하여 콘덴서를 부설하는 것이 技術的으로 타당하다고 当公社가 인정할 경우에는 설비의 부분별 또는 일괄하여 콘덴서를 부설할 수 있읍니다. 이 경우, 軽負荷時에 있어서 進相力率이 되지 아니하도록 部分 開放裝置 等 当公社가 인정하는 調整裝置를 부설하여야 합니다.

제38조 (力率의 測定 및 計算)

1) 需用場所에서의 力率의 測定 및 計算은 다음 각 호에 의합니다.

ㄱ) 高圧以上 需用

使用電力量 및 無效電力量을 동시에 檢針하여 별표 5 (平均力率 照見表)에 의하여 계산한 역률(이하"平均力率"이라 합니다)을 적용하며, 電力量計 또는 無效電力量計中 어느 하나가 고장이 있을 때에는 故障直前 3개월간 (電氣計器附設期間이 3개월미만인 경우에는 그 기간)의 月平均力率의 平均値를 고장월분의 역률로 합니다.

다만, 이 기간이 最初故障月分을 포함하여 3개월을 경과할 경우에는 네째월분부터 重負荷時에 力率計에 의하여 測定한 力率(이하"実測力率"이라 합니다)에 의합니다. 이 경우, 実測力率이 고장직전 3개월간의 월평균역률의 평균치를 초과 할 경우에는 同平均値를 적용합니다.

ㄴ) 低圧需用

별표 4 (機器別 力率 및 無效電力表)에 의하여 산정한 負荷設備別 出力의 合計와 無效電力의 合計를 별표 5 (平均力率照見表)에 의하여 計算한 力率(이하 "綜合力率"이라 합니다)을 적용합니다.

이경우, 契約負荷設備 또는 콘덴서 附設容量의 변동이 있을 때에는 力率을 다시 계산합니다.

ㄷ) 제 1호 및 제 2호에 의하여 역률을 다시 계산함에 따라 適用 力率이 変更되었을 경우에는 변경일이 속하는 월분부터 変更後의 力率을 適用합니다.

3) 使用 電力量이 없는 달의 力率은 90%로 봅니다.

제64조 (基準力率 未達時의 料金)

1) 力率이 제37조 (力率의 維持 및 콘덴서 附設)에 정한 基準力率(90%)에 미달될 때에는 미달되는 매 1%마다 별표 1 (전기요금표)에

의하여 계산한 금액에 그 금액의 1%씩을 가산한 것을 該当月의 電氣料金으로 합니다.

2) 제 1항의 적용은 業務用電力, 産業用電力, 農事用電力 및 臨時電力需用에 한하여 적용합니다.

力率의 測定이나 計算方法等에 대하여도 많은 변천과정을 겪었지만 基準力率 等과 方法들을 위주로 살펴보면 基準力率이 85%에서 90% 이상으로 강화된 것과 (1978년 1월 1일 시행) 일괄하여 설치하는 것은 軽負荷時 進相力率이 되지 않도록 하면 되면 것을 韓國電力公社가 인정하는 調整装置로 시설하여야 한다고 개정된 것 등이다.

電氣供給 規定上으로는 1964년이 電力回路의 力率 改善을 위한 元年으로 볼 수는 있지만 당시에는 콘덴서 流通事情이나 高價概念이 있었던 관계로 매우 부진하여 大容量 低圧 콘덴서를 필요로하는 경우 빈함에 소형 콘덴서를 넣고 벽돌을 넣어 무게를 맞추어 콘덴서를 시설하는例까지 있었던 시절이있었으며 이는 1956년에 설립된 삼화 콘덴서(주)가 1963년 경에 力率 改善用인 電力用 콘덴서를 생산하기 시작하면서 부터 다소 풀리는 듯 하였으나 品質 市場性, 認識度(필요성등과 初期 投資上의 문제등) 등의 문제로 답보상태를 유지하다가 三和 콘덴서가 1968년 6월(일본 NICHICON), 大韓電線이 1968년 6월(일본 日新), 利川電機가 1968년11월(일본 TOSHIBA), 효성중공업이 1964년 5월 (미국 WESTINGHOUSE)에 기술제휴로 품질이 개선되고 (실제 이천과 효성은 市販이 원활하지 않았음) 強制性의 附與와 認識度의 改善으로 1975년을 起点으로 점차 시장성을 높여왔다. 그간의 販買台數는 다음과 같다.

〈표 1〉 電力用 콘덴서 出荷量

연도별	고압용(특고용 포함) (대)	저압용(대)
1975	–	–
1976	16, 888	83, 363
1977	2, 890	6, 683
1978	42, 609	14, 889
1979	83, 645	187, 963
1980	1, 977	2, 270, 264
1981	4, 184	313, 695
1982	12, 128	146, 321
1983	17	10, 577
1984	3, 344	4, 745, 414
1985	51, 740	121, 312
1986		

경제기획원 "광고업 통계조사 보고서"에 의함.

〈표 2〉 年度別 各種 經済指標

연도별	생 산 지 수	건축허가면적	경제성장	비 고
	1980년 100%	1,000M²	%	
1975년	46.3	18, 420	6.9	
1976년	61.0	17, 985	14.3	
77년	73.4	22, 342	12.7	
78년	90.9	30, 818	9.7	
79년	101.9	27, 505	6.5	
80년	100.0	25, 727	−5.2	
81년	113.4	20, 846	6.6	△
82년	119.4	29, 798	5.4	
83년	139.0	39, 693	11.9	
84년	160.6	39, 563	8.4	△△
85년	167.1	38, 217	5.4	
86년	199.4	43, 543	12.5	

한국은행의 주요 경제지표, 조사통계월보 등 참조.

이상의 표 1 및 표 2에서 알 수 있는 것은 콘덴서의 需要가 生産指数等에는 거의 무관하며 建築許可 면적과도 큰 관계가 없고 (竣工基準 일 수는 있으나 통계가 없어 비교 할 수 없었음) 경제성장률이 하강추세에 있거나 낮을 때 수요가 늘고 있음을 알 수 있다.

제 2장 콘덴서의 種類와 用途

2－1 誘電体의 種類에 따른 分類

1. 含浸紙 콘덴서
2. 合成樹脂 콘덴서
3. 液体 콘덴서
4. 氣体 콘덴서
5. 電解 콘덴서
6. 雲母 콘덴서
7. 磁器 콘덴서
8. 硝子形 水晶콘덴서 등

2-2 用途에 의한 分類

1. 直流的인 充放電 作用을 이용 한 것.
   ㄱ. 直流 高電圧 放電裝置
   ㄴ. 衝撃電圧 및 衝撃電流 發生裝置
   ㄷ. 点火裝置 및 火花吸収用
   ㄹ. 서지 電圧 吸収用
2. 콘덴서와 리액터의 調合으로 選擇的 노파効果를 이용한 것.
   ㄱ. 電力搬送裝置 結合用
   ㄴ. 電流器 回路의 여파(여과)장치
   ㄷ. 有無線 通信(電子) 回路의 휘터
3. 콘덴서와 리액터의 조합에 의한 振動作用 利用
   ㄱ. 불꽃, 間隔 發振回路用
   ㄴ. 其他 發振回路에 利用
4. 特有의 임피던스에 의한 抵抗, 直線的 飽和性, 리액터의 조합에 의한 回路利用
   용도 : Bucherot Cicuit 및 Monocyclic 回路等 靜電圧 및 電流裝置 等에 應用
5. 인덕턴스에 대한 逆性 임피던스 特性을 電力 系統에 이용
   ㄱ. 進相作用의 應用
      送配電線路의 力率改善
      送配電線路의 電圧改善用
      電力 需用家의 力率 改善用 等
   ㄴ. 直列 콘덴서
      送配電 線路用
      機器用
   ㄷ. 小型 單相電動機의 起動用
6. 콘덴서 容量에 따르는 交流電圧의 分圧作用을 응용한 것.
   ㄱ. 電圧 檢出裝置
   ㄴ. 콘덴서형 変成器(PD)
   ㄷ. 空氣 遮斷器用의 均圧用等

을 예로 들 수 있으며 본 論文에서는 進相作用의 應用인 力率改善에 대하여 電力消費者인 電力使用者를 중심으로 論한다.

제 3장 力率改善과 기대되는 效果

電力系統의 力率 改善이나 電力 使用者의 力率 改善은 一般 電氣 事業者인 韓國電力公社(이하 韓電이라 칭한다)의 이익 뿐 아니라 電力使用者의 이익도 되고 궁극적으로는 國家的 利益이 되기때문에 韓電-使用者-國家가 동시에 추진하여야 할 사업이라고 본다. 電力系統의 低力率은 한전이 해결하여 나아갈 문제이긴 하지만 電力使用者 (이하 使用者라 칭한다)의 低力率은 韓電에 부담을 안겨주게 되며 韓電의 運營과 投資費 上昇으로 誘導된다. 일반적으로 使用者의 電氣設備는 低力率의 負荷가 대부분을 이루고 있어 전기에너지 측면에서 볼때에 有效電力 뿐이고 低力率의 負荷는 電力系統에 無效電流를 계통에 흐르게 하기때문에 電力損失을 增加시키고, 電圧降下(変動率) 등이 커지며 이에따라 電力設備 容量의 增大를 요구하게 된다.

이들은 결과적으로 電力會社의 運營 效率과도 직접 관계되어 投資費 및 運營費의 上昇要因이 되고 이는 곧바로 使用者의 電力使用價 上昇要因이 되며 物品價의 上昇要因이 되어 직접적으로 모든 국민생활에 영향을 미치게 된다.

力率改善의 目的으로 콘덴서를 이용하는 經濟的, 技術的 事由는 대개 다음과 같다.

ㄱ. 大小量을 網羅하여 종래의 進相設備에 비하여 施設費가 低廉하다.

ㄴ. 設置가 簡單하다.

ㄷ. 靜止器이므로 騷音이 없고 附帶設備가 簡單하다.

ㄹ. 單位容量을 적절히 조합하여 시설하면 大單位 容量의 構成이 容易하고 設置場所의 移動等이 容易하다.

ㅂ. 效率이 높고 補修가 간단하며 綜合的 補修費가 低廉하다.

電氣使用者 입장에서의 力率改善에 따르는 利点을 간략히 열거하면 다음과 같다.

ㄱ. 電氣料金의 輕減

ㄴ. 変圧器等과 配電線(配線)等의 損失低減

ㄷ. 設備容量의 餘裕量 增加

ㄹ. 電圧降下(電圧 変動率等)의 輕減

ㅁ. 機器等의 運転效率 增加 및 壽命延長等으로 大別할 수 있다.

3-1 電氣料金의 輕減

우리나라의 현재 電力料金 体制는 다음과 같다.

전력요금=(기본요금+전력량요금)×α(원) (1)

여기서

기본요금=계약전력량(kW)×기본요금(원/kW), 전력량요금=사용전력량(kWh)×전력량요금(원/kWh)이며 α는 維持되는 力率에 의한 것으로

$$\alpha = (1+\frac{90-\text{실제유지역률}(\%)}{100})$$ 으로

표시할 수 있으나 實際維持 力率이 90% 미달될 때에는 現行電氣供給規程 제64조에 의하여 이 식에 의하여 계산될 수 있으나 90% 초과시에는 적용되지 않고 α=1로 보고 電力料金을 계산하도록 되어 있다 (料金은 電氣供給規定 別表-1參照. 다만 住宅用 電力料金의 基本料金, 農事用 誘蛾灯料金, 定額街路灯 料金 等은 例外임).

그러므로 電力料金은 契約電力에 의하여 결정되는 基本料金과 使用電力量에 의하여 결정되는 電力量料金의 2單位 基本体制로 구성되어 있으며 여기에 力率條項을 벌금의 형태로 가산하는 방식이다. 力率을 改善하면 負荷電流가 減少하게 되므로 각종 線路의 電流가 적기도 하지만 変圧器等의 損失이 적어지므로 電力料金이 輕減된다.

예 : 受電方式 : 3상4선, 13,200/22,900V

受電変圧器 : 2,000kVA (受電変圧器容量 契約)

月平均 負荷 稼動時間 : 200시간(월) 중부하 시간대에 운전 (낮)

契約電力量 : 2,000kW

平均負荷量 : 1,400kW

力　　率 : 기존 70%

개선목표 95% 시

契約種別 : 산업용전력(을)

基本料金=2,000×2,815=5,630,000원

電力量料金=1,400×200×46.50=13,020,000원

力率 改善前

$$\alpha=(1+\frac{90-70}{100})=1.2$$

전력요금=(5,630,000+13,020,000)×1.2

=22,380,000원

세　　금=2,238,000원

합　　계=24,618,000원

역률 개선후 (95% 목표이나 90% 보아야 함)

전력요금=5,630,000+13,020,000

=18,650,000원

세　　금=1,850,000원

합　　계=20,515,000원

力率改善後 差額

24,618,000-20,515,000=4,103,000 원

(다만, 손실 경감은 계산에서 제외함)

이들을 다시 1일 3교대, 월 25일을 근무하는 産業施設로 보면 기본요금은 2,000×2,815 5,630,000 원

전력량 요금은

경부하시: 1,400×8×31.20×25= 8,736,000 원

중부하시: 1,400×13×46.50×25=21,157,500원

최대부하 시간대: 1,400×3×93.55×25

=9,822,750원

그러므로 역률 70% 시

39,716,250×1.2=47,659,500원

세금(10%) 4,765,950원

합계　　52,425,450원

52,425,450-43,687,875=8,737,575원

그러므로 차액은 월8,737,575원이나 된다 (다만 損失 減殺分은 計算하지 아니함).

平均電力을 1,400kW로 보고 力率을 70%에서 90%로 改善할 때 変圧器 2차 電圧이 380V의 경우

$\theta c = P(\tan\theta_1 - \tan\theta_2) = 1,400(1,620 - 0.329) = 1,807.4\text{kVA}$

콘덴서 kVA 당 7,300원 (1987년 8월 물가월보平均價)이므로 콘덴서 용량을 1,810 kVA 로 보면 7,300×1,810=13,213,000원

기타비용 6,600,000원 인 경우

총 비용이 19,813,000원이므로 日日操業時間이 8시간의 경우 약 5개월(4.83개월), 24시간의 경우 2.3개월(2.267개월)의 投資費回收期間이 소요되어 매우 經濟的임을 確認할 수 있다.

3-2 線路(幹線等)와 変圧器等의 損失減少

線路와 変圧器等에 I_L(A)의 負荷電流가 흐를때 線路의 抵抗을 r(Ω)이라고 한다면 損失되는 電力PW는

$$PW = I_L^2 xr\ (W) \qquad (1)$$

力率이 改善되면 線路의 無效電流가 減少하게 되므로 자연히 電力損失은 줄어들게 되며 改善前의 力率은 $\cos\theta_1$, 改善後의 力率을 $\cos\theta_2$, 改善前의 線路電流를 I_{L1}, 改善後의 線路電流를 I_{L2}라고 한다면 改善前의 有效電力 P_1은

$$P_1 = 3EI_1 \cos\theta_1 \cdots\cdots (2)$$

改善後 有效電力P_2는

$$P_2 = 3EI_2 \cos\theta_2 \cdots\cdots (3)$$

(E는 相電圧임) 여기서

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{3EI_2\cos\theta_2}{3EI_1\cos\theta_1} = \frac{I_2\cos\theta_2}{I_1\cos\theta_1}$$

그러므로 $\frac{I_2}{I_1} = \frac{\cos\theta_1}{\cos\theta_2} \cdots\cdots (4)$

여기서 손실비는 $\frac{I_2^2R}{I_1^2R} = \frac{I_2^2}{I_1^2} \cdots\cdots (5)$

(5)식을 (4)식에 대입하면

$$\frac{I_2^2R}{I_1^2R} = \left(\frac{\cos\theta_1}{\cos\theta_2}\right)^2 \cdots\cdots (6)$$

그러므로 損失의 減少率은 다음 식으로 표시된다.

$$L = 100\left[\left(\frac{\cos\theta_1}{\cos\theta_2}\right)^2 \times 100\right]$$

$$= \left[1-\left(\frac{\cos\theta_1}{\cos\theta_2}\right)^2\right]\times 100 \cdots\cdots (7)$$

앞에서의 예를 여기에 적용하여 계산하여 본다. 損失 減殺率은

$$L = \left[1-\left(\frac{0.75}{0.95}\right)^2\right]\times 100 = 45.7\%$$

즉 力率을 改善前의 損失보다 거의 半에 가까운 損失을 輕減시킬 수 있다.

変圧器의 損失은 鐵損과 銅損이 주된 손실로서 鐵損은 無負荷損失이기 때문에 일정하다고 보면 力率과 직접 관계되는 것은 銅損인 負荷損이다. 変圧器의 銅損은

$$Pc = I_1^2 r_1 + I_2^2 r_2 \simeq I_1^2(r_1 + a^2 r_2) \simeq$$

$$I_2^2\left(\frac{r_1}{a^2} + r_2\right) \cdots\cdots (8)$$

로 표시할 수 있다.

I_1 및 r_1은 1次捲線의 電流 및 抵抗

I_2 및 r_2는 2次捲線의 電流 및 抵抗

a는 捲線比

식 (8)에서 変圧器가 정하여 진 경우 I_1 이나 I_2, 즉 負荷電流 이외의 수치는 정하여진 수치로 $r_1 + a^2 r_2$나 $\frac{r_1}{a} + r_2$는 変圧器의 全体抵抗이므로 (6) 및 (7)식의 R와 같으므로 이들 식이 그대로 성립된다. 일반적인 変圧器는 全負荷時 全損失과 銅損의 比가 5:4정도이므로 変圧器 容量은 T_1(kVA)이고 効率이 y(%)인 경우 銅損을 Wc라고 할 때

$$Wc = \left(\frac{100}{y-1}\right)\frac{4}{5} \times T_1\ (kVA) \cdots\cdots (9)$$

로 표시되며 力率이 $\cos\theta_1$에서 $\cos\theta_2$로 개선되고 실제 운전되는 負荷容量을 T_2라고 할 때의 銅損 輕減量은

$$W_D = \left(\frac{100}{y}-1\right)\frac{4}{5}\left(\frac{T_2}{T_1}\right)^2 \times \left[1-(\cos\theta_1/\cos\theta\theta_2)^2\right]$$

$$T_1\ (kW) \cdots\cdots (10)$$

으로 표시할 수 있다.

変圧器容量을 2,000 kVA 変圧器의 效率을 98.4%, 實負荷容量 1,400 kW (1,400/0.7=2,000 kVA), 改善前 力率 70%, 改善後 力率을 95%로 보면

$$W_D = \left(\frac{100}{98.4}-1\right)\frac{4}{5}\left(\frac{2,000}{2,000}\right)$$

$$\times\left[1-\left(\frac{0.7}{0.95}\right)^2\right]2,000 = 11.891\ (kW)$$

kW당 電力量 料金을 46.50원으로 보아도 월 200시간인 경우,

11.891×200×46.50 = 110,586 원/월

110,586.30×12=1,327,035 원/연

이 額數는 作業時間에 따라 큰 差가 있다.

앞에서의 예에서와 같이 2,000 kVA 受電変圧器를 例로하여 2차 전압이 220/380V의 3상 4선식 이라면 개선전 2차 전류는

$$I=\frac{1,400,000}{0.7}\times\frac{1}{3\times380}=3,038.78(A)$$

이 負荷電流가 11개의 회로로 配電되어 (균일하다고 가정함) 1개 회로의 부하전류가 270A 정도라고 가정한다면 幹線이 3심CV 600V급, 325㎟銅線, 부하까지의 거리 500M의 경우 케이블의 60Hz시 交流抵抗은 0.0784(Ω/km)(인덕턴스와 케패시턴스는 무시함).

한 相當의 損失(부하가 평형되었다고 가정함)

$P_L=270\times(0.0784\times500/1,000)=2,858(W)$

3상이므로 2,858×3=8,574(W)

11개 회로이므로 8,574×11=94,314(W)

즉 선로에서 94,314(W)의 전력이 소비된다.

力率을 95%로 改善한 後에는 45.7%가 減殺하므로 94,314×0.457=43,101.5(W)가 감쇄되어 線路 損失을 51,212.5(W),즉 94kW의 소비가 51kW로 줄어 200시간 운전시 앞에서의 조건으로 계산하여도

43.1×200×46.5=400,830원/월

400,830×12개월=4,809,960원/연

3-3 電壓 降下의 減少

線路나 変壓器等의 機器에 無效電流가 흐르게 되면 電壓降下가 增加한다는 것은 앞의 계산에서도 확인할 수 있다. 力率이 改善되면 자연히 無效電流가 減少하게 되어 電壓 降下는 적어진다.

그림 1에서

$$\dot{Z}=R+jX \quad \cdots\cdots (11)$$

$$\dot{E}_S=\dot{E}_R+\dot{I}(R+jX) \quad \cdots\cdots (12)$$

여기서 負荷의 力率이 $\cos\theta$ 경우

$$\dot{E}_S=\dot{E}_R+I(\cos\theta-j\sin\theta)(R+jX)$$

$$=\dot{E}_R+I(R\cos\theta+X\sin\theta)+jI(X\cos\theta-R\sin\theta) \quad \cdots\cdots (13)$$

여기서 $\dot{E}_R$을 기준 백터로 하는 경우

$\dot{E}_R=E_R$이 되므로 (13)식은

$$E_R=\sqrt{E_S^2-I^2(X\cos\theta-R\sin\theta)^2}-I(R\cos\theta+X\sin\theta) \quad \cdots\cdots (14)$$

(14)식에서 E_S가 $I(X\cos\theta-R\sin\theta)$보다 매우 크므로 다음과 같이 近似式으로 표시하면

$$E_R=E_S-I(R\cos\theta+X\sin\theta) \quad \cdots\cdots (15)$$

그러므로 電壓降下 $\triangle E$는

$$\triangle E=E_S-E_R=I(R\cos\theta-X\sin\theta) \quad \cdots\cdots (16)$$

受電側인 負荷側의 有效電力

$P_R=3E_RI_L\cos\theta$ 이므로

$$\triangle E=\frac{P_R}{3E_R}(R+X\tan\theta) \quad \cdots\cdots (17)$$

이 (17)식을 基準電力 P_B(kVA)의 %R, %X에 의하여 電壓降下率 ε(%)로 표시하면

$$\varepsilon=\frac{E_S-E_R}{E_R}=\frac{P_R}{P_B}(\%R+\%X\tan\theta) \quad \cdots\cdots (18)$$

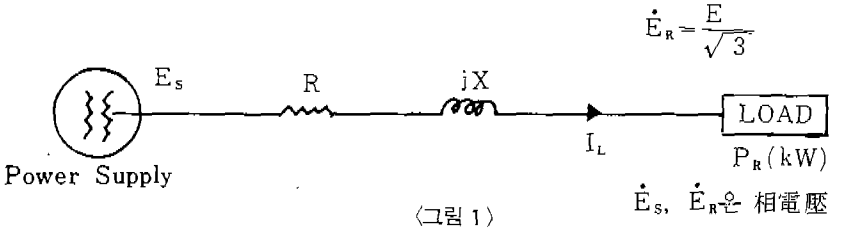
로 표시할 수 있다. 그러므로 力率 改善前의 電壓降下는

$$\triangle E_1=\frac{P_R}{3E_R}(R+X\tan\theta_1) \quad \cdots\cdots (19)$$

力率 改善後의 電壓降下는

$$\triangle E_2=\frac{P_R}{3E_R}(R+X\tan\theta_2) \quad \cdots\cdots (20)$$

으로 표시할 수 있다.



$\dot{E}_S$, $\dot{E}_R$은 相電壓

〈그림 1〉

또한 (19) 및 (20)식은

$$\varepsilon_1 = \frac{P_R}{P_B}(\%R + \%X\tan\theta_1) \quad \cdots\cdots (21)$$

$$\varepsilon_2 = \frac{P_R}{P_B}(\%R + \%X\tan\theta_2) \quad \cdots\cdots (22)$$

로 표현되고 力率 改善 前後의 電壓降下 軽減은

$$\triangle E' = \triangle E_1 - \triangle E_2 = \frac{P_R \cdot X}{3 \cdot E_e}(\tan\theta_1 - \tan\theta_2) \cdots (23)$$

$$\triangle \varepsilon = \varepsilon_1 - \varepsilon_2 = \frac{P_e \cdot \%X}{P_B}(\tan\theta_1 - \tan\theta_2) \quad \cdots\cdots (24)$$

力率을 改善하는 필요한 콘덴서의 容量

$Q = P_R(\tan\theta_1 - \tan\theta_2)$로 표시되므로 이를 (23) 및 (24)식에 대입하면

$$\triangle E' = \frac{X \cdot Q}{3E_R} \quad \cdots\cdots (25)$$

$$\triangle \varepsilon = \frac{\%X \cdot Q}{P_B} \quad \cdots\cdots (26)$$

으로 표시할 수 있다. 여기서 $\triangle E'$를 E_ε과의 率로 표시하면

$\triangle E'\% = \frac{\triangle E_1 - \triangle E_2}{E_R} \times 100(\%)$로 표시되며

여기에 (23)식을 대입하면

$$\triangle E'\% = \frac{P_R \cdot X}{3E_R^2}(\tan\theta_1 - \tan\theta_2) \times 100(\%)$$

$Q = P_R(\tan\theta_1 - \tan\theta_2)$

短絡容量을 $S_P = \frac{3E_R^2}{X}$으로 보면

$$\triangle E'\% = \frac{Q}{S_P} \times 100(\%) \quad \cdots\cdots (27)$$

로도 개략식으로 표시할 수 있다.

계산 예 : 앞의 計算例에서 電壓이 220V / 380V 3상 4선식으로 力率이 70%시와 95%시의 電壓降下를 계산하여 본다. 다만 1개 幹線의 負荷電流와 負荷側 有效電力은 같은 것으로 보고 1개 幹線의 負荷電流는 270A, 154kW로 본다.

電線은 3C 600V 325mm² CV케이블

$R = 0.0784(\Omega/km)$ $X = 0.0870(\Omega/km)$, 500m,

여기서 力率 70%시 $\tan\theta_1 = 1.620$

95%시 $\tan\theta_2 = 0.329$

$$\triangle E_1 = \frac{154,000}{3 \times 200}(0.0392 + 0.0435 \times 1.62)$$

$$= 25.59(V)$$

$\triangle E_2 = 12.49(V)$

$\triangle E' = 13.1(V) = 25.59 - 12.49 = 13.1(V)$

$\triangle E'\% = 5.956\% = \frac{13.1}{220} \times 100 = 5.956\%$

$Q = 154(1.62 - 0.329) = 198.814$ kVA 필요.

또한 (27)식에서 $S_P = 3.338$ (kVA)정도임을 알 수 있다.

또한 力率改善用 콘덴서를 설치하는 경우 短絡容量은 콘덴서의 容量에 比例하고 電壓降下(또는 率에) 反比例하므로 力率 改善時에는 短絡容量에 대한 檢討가 반드시 되어야 함을 알 수 있다.

3 - 4 設備容量의 增加

改善前 力率 $\cos\theta_1$, 改善後 力率 $\cos\theta_2$, 變壓器 容量(給電 또는 送電容量)을 P_K(kVA), P_1을 改善前 有效電力, Q_1을 改善前 無效電力, P_2를 改善後 有效電力, Q_2을 改善後의 無效電力이라고 하면

$$P_1 = P_K\cos\theta_1 \quad P_2 = P_K\cos\theta_2 \quad \cdots\cdots (28)$$

$$Q_1 = P_K\sin\theta_1 \quad Q_2 = P_K\sin\theta_2 \quad \cdots\cdots (29)$$

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{\cos\theta_2}{\cos\theta_1} \quad \cdots\cdots (30)$$

設備增加容量 $\triangle P = P_2 - P_1$이므로

$$\frac{\triangle P}{P_1} = \frac{\cos\theta_2}{\cos\theta_1} - 1, \quad \triangle P = P_1\left(\frac{\cos\theta_2}{\cos\theta_1} - 1\right) \cdots (31)$$

필요 콘덴서 용량은

$$\triangle Q = Q_1 - Q_2 = P_K(\sin\theta_1 - \sin\theta_2) \quad \cdots\cdots (32)$$

計算例

變壓器 容量이 2,000 kVA인 受電設備의 供

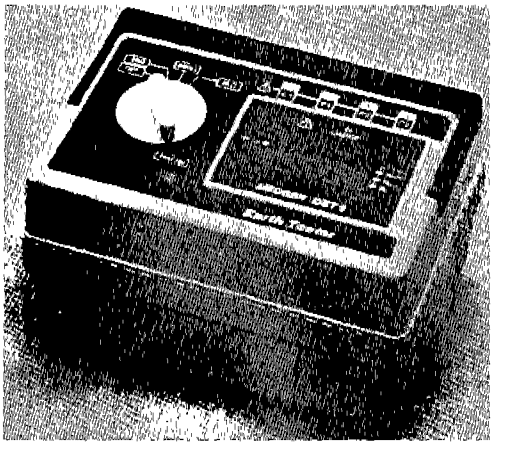
海外短信

地面에 대한 電氣特性試驗器

〈英國産業뉴스 제공〉

단일전극 및 복합전극을 이용하는 시스템의 지면저항을 측정할 수 있는 2종의 계측장치가 새로 개발되었다. Megger Instruments사가 개발해 낸 DET 3 및 DET 5는 토양저항률의 측정에 적합하므로 고고학 및 지질학분야의 연구조사에 유용하게 활용할 수 있다. 이들 계측기는 4개의 단자(端子)방식을 채택하여 영국의 IEE(Institution of Electrical Engineers) 규격조건에 따른 전극시험이 가능하도록 되어 있다.

측정치는 LCD(액정디스플레이) 장치를 통해 표시되며, 과도한 입력노이즈 및 스파이크저항(회로의 절환 또는 다른 회로에의 에너지결합에 의해 생기는 단시간의 전압이 갖는 저항)을 나타내 준다. 이같은 스파이크 저항의 점검은 버튼의 간단한 누름조작을 통해 손쉽게 이뤄질 수 있다. 이중 DET5는 축전지에 의해 작동되며 DET 3는 수동축방식의 발전기에 의해 전력이 공급된다. 전압한계는 30V로 안전성이 뛰어나며 시스템이 고장을 일으켰을 경우에도 사용자에 대해서는 아무런 위험을 미치지 않는다. 특히 장치는 최고 240V의 전압에도 견딜 수 있도록 제작되어 있다.



給機能 容量은 負荷의 力率이 70%시 1,400kW 정도가 된다. 力率을 70%에서 95%로 개선하면,

$$\triangle P = 1{,}400\left(\frac{0.95}{0.7} - 1\right) = 500 \ (\mathrm{kW})$$

$$\triangle Q = 2{,}000\,(0.714 - 0.312) = 804 \ (\mathrm{kVA})$$

〈표 1〉 力率과 $\tan\theta$, $\sin\theta$의 數表

力率 $\cos\theta$〔%〕	$\tan\theta$	無效率 $\sin\theta$	力率 $\cos\theta$〔%〕	$\tan\theta$	無效率 $\sin\theta$
100	·000	·000	80	·750	·600
99	·142	·141	79	·776	·613
98	·203	·199	78	·855	·667
97	·251	·243	77	·829	·638
96	·292	·280	76	·855	·650
95	·329	·312	75	·882	·662
94	·363	·341	74	·909	·673
93	·395	·368	73	·936	·683
92	·426	·392	72	·964	·694
91	·456	·415	71	·992	·704
90	·484	·436	70	1.620	0.714
89	·512	·456	69	1.049	·724
88	·540	·475	68	1.078	·733
87	·567	·493	67	1.108	·742
86	·593	·510	66	1.138	·751
85	·620	·527	65	1.169	·760
84	·646	·543	64	1.201	·769
83	·672	·558	63	1.233	·777
82	·698	·572	62	1.265	·784
81	·724	·586	61	1.299	·792

$Q_c = P(\tan\theta_1 - \tan\theta_2)$〔kVA〕, P: 負荷의 入力電力〔kW〕

3－5 電壓 安定等에 의한 效果

現行 內線規定 제120－1조에 의하면 電壓降下는 供給電壓을 기준하여 幹線과 分岐回路로 각각 2%씩 4% 이하를 원칙으로 하나 自家用의 경우 5% 이하, 幹線의 거리가 200m 초과시에는 7%이하(電氣事業者 供給電源의 경우 6%이하)일 것을 정하고 있으나 현실여건은 이보다 훨씬 낮은 電壓降下를 요구하는 경우가 대부분이며 이는 電子製品의 발달과 더불어 더욱 더 심각하여지리라고 보인다. 특히 電氣事業者의 電壓은 標準電壓의 10%(전기사업법 제20조 1항, 동규칙 제20조)이하로 정하고 있어 최대로 16%(自家用 17%)까지 降下될 수 있다는 가정이 성립되어 負荷에 미치는 영향은 심각하여진다. 放電等의 電壓許容 變動範囲가 대부분 6% 이하, 一般用 電動機가 10%이하(特殊用의 경우 2%이하), 콤퓨터 및 應用機器 3%이하 등을 고려할 때에 기능, 능률의 저하는 물론 動作不能 狀態까지 고려하지 아니할 수 없다. 白熱灯의 경우 定格電壓에서 10% 정도 전압이 강하하면 出力光速이 32% 정도 감소한다. 그러므로 定格光速의 低下를 10% 이내로 유지하기 위하여 電源電壓의 降下는 3% 이내 이어야 한다. 또한 白熱灯을 10% 過電壓 運転을 하면 수명은 약70% 정도가 줄어든다.

螢光灯의 경우에는 定格電壓이 10% 변하면 定格光速이 20% 변한다. 電源電壓이 높아지면 管電壓은 약간 떨어지고 管電流와 管消費電力이 증가하며 수명이 짧아진다. 반대로 電壓이 낮아지면 管電壓은 약간 증가하고 管電流와 管電力이 감소하고 壽命도 짧아진다.電壓이 너무 떨어지면 管電壓이 떨어져 管電流가 增加되어 電極이 過熱되고 電壓이 너무 낮으면 管內 水銀 증기압이 너무 낮아져 起動 時間이 길어지고 이에 의하여 電極이 過熱되어 電極物質이 Sputtering현상이 발생되어 급격한 壽命 短縮現象이 발생한다. 형광등은 電源電壓이 10% 증가하면 壽命이 30% 減少한다.

高壓水銀灯은 電源電壓이 10% 변하면 光速出力이 30% 변하고 메탈할라이드구의 경우 電源電壓이 10% 변하면(종류에 따라 약간의 차는 있음) 대개 管電力, 管電流, 管電壓 등이 20%정도 변한다. 전구의 경우 일반적으로 初期光速이 일정비율로 低下되는 경우, 즉 70% 정도 저하하거나 放電管의 특성이 서서히 변화하여 規定電壓으로 放電하지 못할 때를 수명이 다 된 것으로 보기 때문에 起動方式에 따라 다르기는 하지만 일반적으로 電源電壓이 10% 변하면 壽命은 20% 이상 감축되고 電球는 회복이 불가능한 충격을 받게되어 定格電壓을 印加하여도 效率低下가 維持되는 現象이 발생한다. 일반용의 誘導電動機는 供給電壓이 規定값보다 심하게 높을 경우에는 過熱 및 燒損의 原因이 된다. 低壓 誘導電動機의 電壓變動 許容範囲는 10%이지만 일반적으로 起動토크 및 運転時의 最大토크는 供給電壓의 自乘에 比例하므로 토크는 20%정도 변한다. 따라서 水壓 펌프용 電動機等과 같이 큰 기동토크를 요하는 부하의 경우 電壓降下 때문에 起動에 실패하는 경우가 발생한다. 또한 起動이 되더라도 전동기가 기동한 후에는 운전상태 하에서 電動機의 Slip이 커져서 過電流가 흐르고 온도상승이 유발되어 過熱燒損된다. 電壓이 10%정도 변하면 起動電流, 全負荷電流 등이 10~12%정도 변하고 最大負荷가 20%정도 변한다.

電壓의 變動이 機器에 미치는 영향은 대소의 차이는 있으나 모든 電気使用 機器에 대하여 같으며 특히 근자에 이용범위를 넓혀 가고 있는 콤퓨터계와 관련기기 부착의 전기기기는 더욱더 심각하다. Program이 지워지거나 誤動作 내지 動作不能등 더욱더 문제가 커져서 電壓의 安定等 高級電力의 공급이 절실하여진다. 電壓의 不安定으로 機器의 機能이 低下되면 생산공장의 경우는 信賴度, 不良品상의 문제도 심각하여진다. 力率 改善에 의한 無效電流의 감소로 電力損失, 電壓降下의 軽減등은 앞에서 말한 바와 같으며 이로인한 得을 인정할 수는 있으나 損失額 내지 維持管理費 軽減額 等은 통계상 추출이 어려워 여기서는 언급할 수 없지만 하나의 좋은 研究課題로서 제시될 수 있다고 하겠다. 〈계속〉