論 文
15-5-4

配電線路에 있어서의 並列 Coudenser의 經濟的 設置 및 調整에 關한 研究

(Economical Installations and Regulations of Shunt Capacitors in A Distribution Line.

朴 永 文*
(Park Yung Moon)

Abstract

This paper derives the useful formulas for computing annual profits, and economical size, locations and regulating values of parallel shunt capacitors in case that they are installed in a distribution line. Inparticular, the derived formulas consider the influence of load variations in order to represent the actual load situations.

序 論

本 研究는 配電線路에 並列 Condenser를 設置 및 運用하는 問題에 關聯해서, 그 經濟性을 考察함과 同時에 가장 經濟的인 條件을 究明하는데 目的이 있다.

並列 Condenser의 合理的 設置 및 運用은 配電損失의 減少, 配電容量의 增加等의 見地에서 極히 重表한 要素가 된다는 事實은 周知하는 바이다. 그 反面 그 設置및 維持費가 오히려 上述한 利得을 超過하는 경우도 發生하기 때문에 適正線에서 가장 經濟的인 條件을 決定하여야 한다. 그러나 實際에 있어서는 그 條件의 決定이 용이하지 아니하며, 特히 時間에 따라 負荷가 變動하는 경우에는 더욱 그러하다. 그러므로 從來에는 負荷가 一定하다고 가정하거나 또는 平均負荷를 基準으로 하여 經濟的條件을 近似的으로 決定하였으며, 이에 따른 研究論文도 종종 發表되었다.

本 研究에서는 한 걸음 나아가서 負荷變動을 考慮한 經濟的 條件을 研明하였으며, 그 結果를 一定 負荷의 경우에 對하여 適用하면 이미 發表된 論文과 一致함을 確認하였다.

本 研究의 內容을 略述하자면,

(1) 並列 Condenser 設置로 얻는 年間 利益額 計算式의 誘導

(2) 가장 經濟的인 Condenser 容量의 決定條件式의 誘導

(3) 가장 經濟的인 Condenser 設置의 決定條件式의 誘導

(4) 가장 經濟的인 Condenser tap 調整値의 決定條件式의 誘導

(5) 上記 條件의 決定에 必要한 豫備資料의 決定等으로 區分할수 있다.

그런데 上記 式의 誘導過程에 있어서 式의 複雜化를 피하기 위하여 다음의 가정을 두었는데 이 가정은 實用上 큰 오차는 없을 것으로 생각한다.

(1) 配電線路의 電壓降下를 無視함

(2) Condenser 設置의 前後에 있어서의 電壓變動을 無視함

(3) 配電線路에 따른 時間負 荷變動은 線路上의 位置에 無關하게 一定率로 增減함

(4) Condenser內의 電力損失을 無視함

(5) 送電線路上의 損失變化를 無視함

本 論

1. 並列 Condenser 設置에 따른 電力損失量節減函數

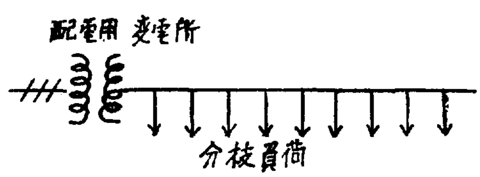

그림 1

그림 1과 같은 3相 配電線에 分枝負荷가 不連續的으로 接續되어 있은 경우, 任意 時刻 t에 있어서의 配電用變電所까지의 線路電流는

* 서울大學校 工科大學 專任講師

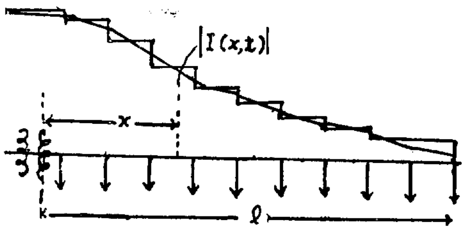

그림 2

$$I(x,t)=\frac{1}{\sqrt{3}E(x,t)}\left\{P(x,t)+iL(x,t)\right\}\cdots\cdots\cdots\cdots(1)$$

但 $P(x,t)$: 有効動力(KW)

$L(x,t)$: 遲相無効電力($KVAR$)

$E(x,t)$: 線路線間電壓(KV)

로서 표시되는 거리 x 또는 時間 t 에 關한 不連續階段函數이나 實用上 支障이 없는 範圍內에서 **그림 2** 와 같은 連續函數로서 近似化할 수 있다. 이 線路電流 I 는 周期的으로 變動하게 되므로 그 周期를 T 라 하면 $O\sim T$ 時間隔에 있어서의 電力損失量 Whl 은

$$Whl=\frac{3}{1000}\int_0^l\int_0^T\{Rt+R(x)\}\,|I(x,t)|^2\,dx\,dt\ \cdots\cdots(2)$$

但 Rt : 一次로 換算한 配電用變壓器의 等價抵抗 (Ω)

$R(x)$: 配電線路 1條의 單位長當 抵抗 (Ω/km/line)

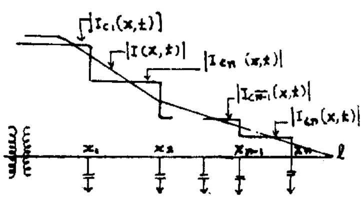

그림 3

이다.

그런데 電力損失量 Whl 을 減少시키기 위하여 **그림 3** 에서와 같이 x_1, x_2, $\cdots x_{n-1}$ x_n 의 地點에 3 相 condenser 를 設置한다면, 式 (1)의 線路 電流는 $x_{i-1}\sim x_i$ 區間에 있어서 다음 式으로 표시되는 $I_i'(x,t)$로 減少한다. 即,

$$I_i'(x,t)=\frac{1}{\sqrt{3}E(x,t)}\left\{P(x,t)+\mathrm{j}\{L(x,t)-C_i(x,t)\}\right\}\cdots\cdots\cdots\cdots(3)$$

但 $C_i(x,t)$: $x_{i-1}\sim x_i$ 區間에 있어서의 Condenser 에 의한 進相無効電力(KVAR)

$i=1,\ 2,\cdots n$

Condenser 設置前後에 있어서나 負荷의 變動에 따른 電壓의 變動을 無視할뿐만 아니라 配電線路上의 電壓降上도 無視한다면

$$E(x,t)\simeq E\equiv E\ \cdots\cdots\cdots\cdots(4)$$

로 놓을 수 있으므로 Condenser 設置後의 電力損失量 Whl' 는

$$Wh_{Ln}'=\frac{3}{1000}\int_0^{x_1}\int_0^T\{R_t+R(x)\}\,|I'_1(x,t)|^2\,dxdt$$
$$\cdots+\frac{3}{1000}\int_{x_{n-1}}^{l}\int_0^T\{R(x)\,|\ I(x,t)|^2dxdt\ \cdots\cdots\cdots(5)$$

가 되고, 電力損失量節減函數 Whc 는 式(1) (2), (3), (4) 및 (5)로부터

$$Whc_n=Whl_n-Wh'l$$
$$=\frac{1}{1000E^2}\int_0^{x^1}\int_0^T\{Rt+R(x)\{\{2L(x,t)C_1(t)-C^2{}_1(t)\}\,dxdt$$
$$+\frac{1}{1000E^2}\int_{x_1}^{x_2}\int_0^T R(x)\{2L(x,t)C_2(t)\cdots-C_2^2(t)\}\,dtdt$$
$$+\cdots\cdots\cdots\cdots$$
$$+\frac{1}{1000E^2}\int_{x_{n-1}}^{x_n}\int_0^T R(x)\{2L(x,\ t)C_n(t)-C_n^2(t)\}\,dxdt\ \cdots\cdots\cdots\cdots(6)$$

로 표시된다.

그리고, 周期 T 동안의 電力損失量節減으로 인한 利得額 H_T 는

$$H_{Tn}=a\,Whc\ \cdots\cdots\cdots\cdots(7)$$

但, a : 電力量單價(원/KWh)

이다.

2. 並列 Condenser 設置에 따른 費用函數

配電線線路에 Condenser 를 設置하는 一般的인 目的은 電力損失을 節減함으로써 經濟性을 圖謀하는데 있으나 이를 不合理하게 設置하면 設置 및 維持費用의 增加로 因하여 오히려 損害를 보는 경우가 있다. 따라서 그 得失을 論하기 위하여는 Condenser 設置에 따른 費用函數를 實用誤差範圍內에서 正確하게 유도할 必要가 있다.

지금 Condenser 1臺에 對한 費用의 內譯을 分析할 때 設置費와 維持費로 大別하게 되는데 設置費는 **그림** 4와 같은 2次 曲線으로 近似化한다면

$$A'=\alpha'+\beta'C-\gamma'C^2\ \cdots\cdots\cdots\cdots(8)$$

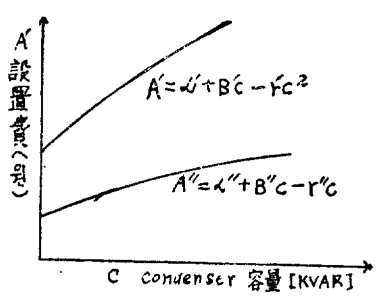

그림 4

로 표시할수 있으며, 이 投資額에 대한 年減價償却率을 m, 年金利를 n 이라 하면, 設置費(capital cost)에 對한 年間費用 A 는

$$A=(m+n)A'=(m+n)\alpha'+(m+n)\beta'C-(m+n)\gamma'C^2 \quad \cdots\cdots(9)$$

로서 표시 된다.

한편, 年間 維持費 ($O\&m$ cost)A''도 그림 3에서와 같이 2次曲線으로 近似化하여

$$A''=\alpha''+\beta''C-\gamma''C^2 \quad \cdots\cdots(10)$$

라 놓으면, 年間 總費用 B는

$$B=A+A''$$
$$=\alpha+\beta C-\gamma C^2 \quad \cdots\cdots(11)$$

但 $\alpha=(m+n)\alpha'+\alpha''$

$\beta=(m+n)\beta'+\beta''$

$\gamma=(m+n)\gamma'+\gamma''$

이며, 周期 T 동안의 總費用 B_T 는

$$B_T=\frac{T}{365\times 24}\alpha+(\beta C-\gamma C^2) \quad \cdots\cdots(12)$$

이다. 그리고 거리 x_1, x_2, ……, x_n 의 地點에 Condenser 의 容量 $(C_{1m}-C_{2m})$, $(C_{2m}-C_{3m})$……, $(C_{(n-m)}-C_{nm})$ 을 各各 設置할 경우의 總費用 BTn 은

$$B_{Tn}=\frac{T}{365\times 24}\Big[n\alpha+\beta\{(C_{1m}-C_{2m})+(C_{2m}-C_{3m}+\cdots C_m\}-\gamma\{C_{1m}-C_{2m})^2+(C_{2m}-C_{3m})^2+\cdots C_m^2\}\Big]$$
$$=\frac{T}{365\times 24}\Big[n\alpha+\beta C_{1m}-\gamma\Big\{(C_{1m}-C_{2m})^2+(C_{2m}-C_{3m})^2+\cdots C_n^2\Big\}\Big] \quad \cdots\cdots(13)$$

但 C_{im} : x_{i-1}-x_i 區間의 進相無効電力(KVAR)

3. Condenser 設置에 따른 配電施設非擴張利得

需用의 漸次的인 自然增加로 配電施設 容量을 擴張하는 경우가 많으며, 이 擴張計劃의 主要部分은 變電設備와 配電線의 增設 또는 代替로 이루어진다. 그런데 配電線의 線路容量은 이미 充分한 餘裕를 두고 있는 것이 보통이므로, 여기서는 配電用 變壓器容量의 追加만을 고려하기로 한다.

現在 낮은 力率로 運用되는 配電用 變壓器가 尖頭負荷時 거의 全負荷가 걸려, 未久에 過負荷를 負擔하여야 할 경우라면, 變壓器容量을 增設하든지, 力率을改善함으로써 電流負擔을 減少하든지 하여야 할 것이며, 만일 後者를 擇할 경우에는 容量增設費의 投資를 必要로 하지 않게 되거나, 또는 數年後로 延期하게 될 것이다. 將來의 需用增加까지를 考慮하여 力率을 改善함이 없이 變壓器容量을 增設할 경우의 投資額 및 維持費의 年間分을 D 라하면, 後者를 擇할 경우의 周期 T 동안의 間接利得額 D_T 는

$$D_T=\frac{T\phi}{365\times 24}D \quad \cdots\cdots(14)$$

이며, 여기서 ϕ 는 旣存變壓器의 容量이 充分하여 增設을 必要로 하지 아니할 경우에는 $\phi=0$ 이고, 이 增設을 並列 Condenser 의 設置로서 免할수 있을 경우에는 $\phi=1$ 其他의 경우에는 $\phi=1\sim0$ 의 값을 갖는 間接利得係數이다.

4. 並列 Condenser 設置에 對한 最適條件의 決定 및 經濟性

n 臺의 並列 Condenser 를 設置함으로써 周期 T 동안에 얻는 利益 P_T 는 式 (7), (13), 및 (14)로부터

$$P_{Tn}=H_{Tn}+D_T-B_{Tn} \quad \cdots\cdots(15)$$

이고, 年間利益 P_n 는

$$P_n=\frac{365\times 24}{T}(\mathrm{H}_{Tn}+\mathrm{D}_T-\mathrm{B}_{Tn})$$
$$=\frac{8.76a}{TE^2}\Big\{Rt\int_0^T\{2L(O,t)C_1(t)-C_i^3(t)\}dt+\sum_{i=1}^{n}\int_{x_{i-1}}^{x_i}\int_0^T R(x)\{2L(x,t)(C_i(t)-C_i^2(t)\}dxdt\}+\phi D-\Big\{n\alpha+\beta C_{1m}-\gamma\sum_{i=1}^{n}(C_{im}-C_{(i+1)m})^2\Big\} \quad \cdots\cdots(16)$$

但, $C_{n+1}=0$

이다. 그런데, 解析의 簡潔을 위하여, 負荷의 變動은配電線上의 位置에 無關하게 一定 比率로 變動한다고 假定하면

$$f(t)=\frac{L(x,t)}{L(x_0,t_0)}=\frac{L(x_2,t)}{L(x_2,t_0)}=\frac{L(x_3,t)}{L(x_3,t)}=\cdots\frac{L(x_n t)}{L(x_n,t_0)}=\frac{L(x,t)}{L(x,t_0)}$$

또는 $L(x,t)=L(x,t_0)f(t)$ ……(17)

라 놓을 수 있으며, x_i 地點에 並列 Conndenser 容量 C_{im} 을 設置한 후, 運用時 이 容量 範圍內에서 適切하게 Tap 調整을 할 수 있다면, 그 調整無効電力 $\triangle C_i$ 는 時間函數로서

$$C_i(t)=C_{im}-\triangle C_i(t) \quad \cdots\cdots(18$$

但 $C_{im}\geqq\triangle C_i(t)\geqq0$

라 놓을 수 있다. 따라서, 式(17) 및 (18)을 式 (16)에 代入하면,

$$P_n=\frac{8.76a}{TE^2}\Big[Rt\int_0^T 2L(o,t)f(t)\{C_{1m}-\triangle C_1(t)\}-\{C_{1n}-\triangle(C_1(t)\}^2\Big]dt+\sum_{i=1}^{n}\int_{x_{i-1}}^{x_i}\int R(x)\Big[2L(x,t_0)f(t)\{C_{im}-\triangle C_i(t)\}-\{C_{im}-\triangle C_i(t)\}^2\Big]dxdt+\phi D-\{n\alpha+\beta C_{1m}-\gamma\sum_{i=1}^{n}(C_{nm}-C_{i+1m})^2\} \quad \cdots\cdots(19)$$

를 얻는다.

그런데, 年間利益을 最大로 하는 並列 Condenser 의 設置 및 運用條件은 결국 式 (19)의 P_n 을 最大로 하는 條件으로 귀착된다. 式 (19)의 P_n 의 最大値를 얻기 위해서는, 各 Condenser 에 對하여,

(i) $\frac{\partial P_n}{\partial\triangle C_i}=0$: 最適運用條件調整(tap)의 決定

(ii) $\frac{\partial P_n}{\partial C_{im}}=0$: 最適設置容量의 決定

(iii) $\frac{\partial P_n}{\partial x_i}=0$: 最適設置位置의 決定

의 條件을滿足시켜야 한다. 이 條件의 決定時에는 解析의 簡潔을 위하여 式 (19)의 γ 은 近似的으로 $\gamma=0$ 라

생각한다 (condenser 의 價格對容量 曲線을 直線으로 간주함).

(a) $\frac{\partial P_n}{\partial \triangle C_i}$ 0 :

$$i \neq 1,\quad \frac{\partial P_n}{\partial \triangle C_i}=\frac{8.76a}{TE^2}\int_{x_{i-1}}^{x_i}\int_0^T R(x)[2L(x,t_0)f(t)(-1)+2\{C_{im}-\triangle(C_i(t)\}]dxdt=0$$

$$i=0,\quad \frac{\partial P_n}{\partial \triangle C_i}=\frac{8.76a}{TE^2}\Big(R_t\int_0^T[2L(0,t)f(t)(-1)+2\{C_{1m}-\triangle C_1(t)\}]dt+\int_0^{x_i}\int_0^T R(x)[2L(x,t_0)f(t)(-1)+2\{C_{1m}-\triangle C_1(t)\}]dxdt=0$$

이다. 그런데 $\triangle C_i$ 는 瞬時調整에 의하여 (實際로는 階段變數임) 上式을 滿足시키므로, $\int_0^T\cdots\cdots dt$ 의 時積分을 除去하여도 좋다. 또 上式이 恒常 成立하기 위하여는 어느 時間帶列에서 $\triangle C_i<0$ 의 경우가 發生하게 되는데 이 경우는 Condenser 設置容量을 超過하여 Tap을 調整함을 의미하므로 不得已 $\triangle C_i=0$[即 最大容量]으로 調整밖에 할수 없어 上式은 이미 成立할 수 없다. 따라서 $L(x,t_0)f(t)$의 無効電力 曲線의 時間帶列의 位置를 無効電力의 大小順으로 再配列한 후, $\triangle C_i>_0$이 成立하는 時間隔을 $0\sim T_1$, $\triangle C_i<0$의 그것을 $T_1\sim T$ 라 가정한다면, 上式과 上述의 說明으로 부터,

$$C_{im}-\triangle C_i(t)=\frac{f(t)\int_{x_{i-1}}^{x_i}R(x)L(x.t_0)dx,\ 0<t<T_1}{\int_{x_{i-1}}^{x_i}R(x)dx}\quad\cdots\cdots(21)$$

$\triangle C_i(t)-0,\quad R_1<t<T$

$$C_{im}-\triangle C_1(t)=\frac{f(t)\left\{RtL(0,t_0)+\int_0^{x_1}R(x)L(x,t_0)dx\right\},}{Rt+\int_0^{x_1}R(x)dx}\quad\cdots\cdots(22)$$

i=1

$\triangle C_1(t)=0,\quad T_1<t<T$

時間에 따라 變動하지 아니하는 一定負荷에 對하여는 $f(t)=1$, $T_1=T$ 의 關係를 上式에 代入함으로써,

$$i\neq 1.\quad C_{imC}=\frac{\int_{i-1}^{x_i}R(x)L(x)dx}{\int_{x_{i-1}}^{x_i}R(x)dx}\quad\cdots\cdots(21a)$$

$$i=1,\quad C_{inC}=\frac{R_iL(0)+\int_0^{x_1}R(x)L(x)dx}{R_t+\int_0^{x_1}R(x)dx}\quad(22a)$$

를 얻는다.

(b) $\frac{\partial P_n}{\partial C_i}=0$:

$$i\neq 1,\quad \frac{\partial P_n}{\partial C_{im}}=\frac{8.76a}{TE^2}\Big(\int_{x_{i-1}}^{x_i}\Big\{\int_0^{T_1}+\int_{T_1}^T\Big\}R(x)[2L(x,t_0)f(t)-2\{C_{im}-\triangle C_i(t)\}dxdt\Big)=0$$

$$i=1,\quad \frac{\partial P_n}{\partial C_{1m}}=\frac{8.76a}{TE^2}\Big(R_t\Big\{+\int_0^{T_1}+\int_{T_1}^T\Big\}[2L(0,t_0)-2\{C_{im}-\triangle C_i(t)\}dt$$

$$\int_0^{x_1}\Big\{\int_0^{T_1}+\int_{T_1}^T\Big\}R(x)[2L(x,t_0)f(t)-2\{C_{1m}-\triangle C_1(t)\}]dxdt]-\beta=0$$

上式에 式 (21) 및 (22)의 關係를 利用하면,

$$i\neq 1,\quad C_{im}=\frac{\int_{x_{i-1}}^{x_i}R(x)L(x,t_0)dx}{\int_{x_{i-1}}^{x_1}R(x)dx}\cdot\frac{\int_{T_1}^T f(t)dt}{T-T_1}\quad\cdots\cdots(23)$$

$$i=1,\quad C_{im}=\frac{RtL(0,t_0)+\int_0^{x_1}R(x)L(x,t_0)dx}{Rt+\int_0^{x_1}R(x)dx}\cdot\frac{\int_{T_1}^T f(t)dt}{T-T_1}\cdot\frac{\beta E^2\left(\frac{T}{T-T_1}\right)}{2\times 8.76a\left\{Rt+\int_0^{x_1}R(x)dx\right\}}\quad\cdots(24)$$

또 一定 負荷에 代入하며는, $f(t)=1$, 와 無限收驗의 槪念이로부터

$$i\neq 1,\quad C_{im}=\lim_{T\to 1}C_{im}=\frac{\int_{x_{i-1}}^{x_i}R(x)L(x,t_0)dx}{\int_{x_{i-1}}^{x_1}R(x)dx}\quad\cdots\cdots(23a)$$

$$i=1,\quad C_{im}=C_{1m}\lim_{T\to T1}\frac{RtL(0,t_0)+\int_0^{x_1}R(x)L(x,t_0)dx}{Rt+\int_0^{x_1}R(x)dx}-\frac{\beta E^2}{2\times 8.76a\{Rt+\int_0^{x_1}R(x)dx}\quad\cdots\cdots(24a)$$

로서 표시되는 最適 設置容量을 얻는다.

(C) $\frac{\partial P_n}{\partial x_i}=0$:

$$i\neq 1,\quad \frac{\partial P_n}{\partial x_i}=\frac{8.76a}{TE^2}\Big(\Big\{\int_0^{T_1}+\int_{T_1}^T\Big\}R(x_i)\Big(2L(x_i,t_0)f(t)\{C_{im}-\triangle C_i(t)\}-\{C_{im}-\triangle C_i(t)\}^2\Big)dt-\Big\{\int_0^{T_1}+\int_{T_1}^T\Big\}R(x_i)[2L(x_i,t_0)f(t)\{C_{i+1m}-\triangle C_{i+1}(t)\}-\{C_{(i+1)m}\triangle C_{i+1}(t)\}^2dt\Big)=0$$

$$i=1\quad \frac{\partial P_m}{\partial x}=\frac{8.76a}{TE^2}\Big(\Big\{\int_0^{T_1}+\int_{T_1}^T\Big\}R(x_1)[2L(x_1.t_0)f(t)\{C_{im}-\triangle C_1(t)\}-\{C_{im}-\triangle C_1(t)\}^2dt\Big)-\Big\{\int_0^{T_1}+\int_{T_1}^T\Big\}R(x_1)[2L(x_1,t_0)f(t)\{C_{2m}-\triangle C_2(t)\}-\{C_{2m}-\triangle C_2(t)\}^2]dt\Big)=0$$

에서

$$\begin{cases}i\neq 1,\\ i=1,\end{cases}\quad \int_0^{T_1}[2L(x_i,\ t_0)f(t)\Big\{\overline{C_{im}-\triangle C_i(t)}-\overline{C_{(i+1)m}-\triangle C_{i+1}(t)}\Big\}-\overline{\{C_{im}-\triangle C_i(t)^2-\triangle C_{i+1}(t)\}}\Big)+\int_{T_1}^T[2L(x_i,t_0)f(t)\{C_{im}-C_{i+1}-C_i^2{}_m-C_{(i+1)m}\}dt=0$$

그런데 式 (21) 및 (23)으로부터

$$i\neq 1,\quad C_{im}-\triangle C_i(t)=C_{im}\frac{(T-T_1)f(t)}{\int_{T_1}^T f(t)dt}\quad\cdots\cdots(25)$$

의 關係를 上式에 代入하면,

$$i\fallingdotseq1,\ C_{im}+C_{(i+1)m}=2L(xi,t_0)\frac{\int_{T_1}^{T}f(t)dt}{T-T_1}\ \cdots\cdots\cdots\cdots(26)$$

의 關係도 成立한다.

다음에는 T_1, 또는 $f(T_1)$의 값을 決定하는 問題를 생각한다.

(i) $i\fallingdotseq1$ 의 경우 :

式 (23)및 (25)로부터

$$\left[\frac{C_{im}-\triangle C_i(t)}{C_{im}}\right]_{t=T}=1=\frac{(T-T_1)f(T_1)}{\int_{T_1}^{T}f(t)dt}$$

$$\therefore f(T_1)=\lim_{T\to T_1}\frac{\int_{T_1}^{T}f(t)dt}{T-T_1}=f(T)\left[\because f(t)<f(T,)\ 0<t<T\right]$$

$$\text{따라서. } T_1=T,\ \frac{\int_{T_1}^{T}f(t)dt}{T_1-T}=f(T_1)\ \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(27)$$

또 式(23), (25), 및 (26)은

$$i\fallingdotseq1.\quad C_{im}=\frac{\int_{x_{i-1}}^{x_i}R(x)L(x,t_0)dx}{\int_{x_{i-1}}^{x_i}R(x)dx}f(T)\ \cdots\cdots\cdots(28)$$

$$i\fallingdotseq1.\quad C_{im}-\triangle C_i(t)=\frac{\int_{x_{i-1}}^{x_i}R(x)L(x,t_0)dx}{\int_{x_{i-1}}^{x_i}R(x)dx}f(t)=C_{im}\frac{f(t)}{f(T)}\ \cdots\cdots\cdots\cdots(29)$$

$$i\fallingdotseq1\quad C_{im}+C_{(i+1)m}=2L(x_i,t_0)f(T)\ \cdots\cdots\cdots\cdots(30)$$

但 $C_{(n+1)m}=0$

로서 표시된다. 따라서 並列의 경우 配電用 變壓器에가장 가까운 Condenser를 除外한 다른 地點의 Condenser의 設置容量은 그 設置地點이 確定되는 限, Condenser의 設置 및 維持價格에 關係없이 尖頭負荷를 基準 (即 $f(t)=f(T)$)으로決定되며 負荷의 變動狀態나 Condenser 價格 은 一連의 設置地點의 決定에 고려되는 形態로서 間接的인 영향을 주게 된다.

(ii) $i=1$ 의 경우 :

式(24) 및 (22)로부터

$$\left[\frac{C_{im}}{C_{1m}-\triangle C_i(t)}\right]_{t=1}=1$$

$$=\frac{\dfrac{RtL(0,t_0)+\int_0^{x_1}R(x)L(x,t_0)dx}{Rt+\int_0^{x_1}R(x)dx}\dfrac{\int_{T_1}^{T}f(t)dt}{T-T_1}-\dfrac{\beta E^2\dfrac{T}{T-T_1}}{2\times8.76a\{Rt+\int_0^{x_1}R(x)dx}}{\dfrac{R_tL(0,to+\int_0^{x_1}R(x)L(x,t_0)dx}{Ri+\int_0^{x_1}R(x)dx}f(T_1)}$$

또는

$$f(T_1)=\frac{\int_{T_1}^{T}f(t)dt}{T-T_1}-M\frac{T}{(T-T_1)}\ \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(31)$$

$$\text{但, } M\equiv\frac{\beta E^2}{2\times8.76a\{RtL(0,t_0)+\int_0^{x_1}R(x)L(x,t_0)dx\}}\ \cdots\cdots\cdots\cdots(32)$$

를 얻는다. 이式과 負荷의 變動狀態曲線 그림을 同時에 滿足시키는 T_1과 $f(T_1)$을 決定한다. 또 M은 β에 比例하므로 Condenser 價格이 비쌀수록 T_1이 줄어들고 設置容量도 따라서 적어진다. 即, 配電用 變壓器에 가장 가까운 Condenser의 設置容量은 負荷의 變動狀態와 Condenser 費用을 關聯시켜서 決定한다.

그 設置 容量 C_{im} 은

$$C_{im}=\frac{RtL(o,t_0)+\int_0^{x_1}R(x)L(x,t_0)dx}{Rt+\int_0^{x_1}R(x)dx}\ \cdots\cdots(33)$$

로서 표시된다. 한편 $\dfrac{\partial P_1}{\partial x_1}$의 條件

$$\frac{\partial P_n}{\partial x_1}=\int_O^{T_1}[2L(x_1,t_0)f(t)\{C_{1m}-\triangle C_1(t)\}-\{C_{im}-\triangle C_1(t)\}^2+\int_{T_1}^{T}[2L(x,t_0)f(t)C_{1m}-C_{1m}^2]^2dt+\int_0^{T}2L(x,t_0)f(t)\{C_{2m}-\triangle C_2(t)\}-\{C_{2m}-\triangle C_2(t)\}^2]dt$$

와

$$\left.\begin{aligned}\frac{C_{1m}-\triangle C_1(t)}{C_{1m}}&=\frac{f(t)}{f(T_1)}\\ \frac{C_{2m}-\triangle C_2(t)}{C_{2m}}&=\frac{f(t)}{f(T)}\end{aligned}\right\}\ \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(34)$$

로부터

$i=1,\ 2L(x_{1t_0})$

$$=\frac{\dfrac{C^2_{1m}}{f(T_1)}\int_0^{T_1}f(t)^2dt+C^2_{1m}(T-T_1)-\dfrac{C^2_{2m}}{f(T)^2}\int_0^{T}f(t)^2dt}{\dfrac{C_{in}}{f(T_1)}\int_0^{T_1}f(t)^2dt+C_{1m}\int_{T_1}^{T}f(t)dt\dfrac{C_{2m}}{f(T)}\int_0^{T}f(t)^2dt}\ \cdots\cdots\cdots\cdots(35)$$

의 關係도 成立하여야 한다. 이 式은 $i\fallingdotseq1$의 경우의 $C_{im}+C_{(i+1)m}=2L(x_i,t_0)f(t)$에 對應하는 式이나 式 (33) 및 (35)에서 얻은 C_{im} 및 C_{2m}의 値를 이 式의 右邊에 代入하여 等號가 언제나 成立하는 것은 아니다. 그러므로 等號가 成立하지 아니할 경우에는 첫 가정의 x_n 값을 다시 가정하여 x_n, C_{nm}, x_{n-1}, $C_{(n-1m)}$…… x_2, C_{2m}, x_1, C_{1m}의 값을 再計算하는 逐次計算過程을 等號가 成立할 때 까지 反復한다. 따라서 式(35)는 1種의 誤差修正역할을 遂行한다. 이 等號가 成立됨으로써 모든 計算이끝나며, 이들 값들을 式(19)의 P_n에 代入하여 $P_n>$이면 를 設置하여 力率을 改善하는 것이 經濟的이라는 結論을 내릴 수 있다.

x_n, C_{nm}, x_{n-1}, $C_{n-)m}$, ……x_n, C_{2m}, x_1. C_{1m}의 값을 再計算하는 逐次 修正過程을 等號가 成立할 때까지 反復한다.

따라서 年間利益式 P_n에 上述한 T_1, $f(T_1)$의 關係로 부터

$$P_n=\frac{87.6a}{1000\ TE^2}\Big[2C_{1m}\{R_tL(o,t_0)+\int_0^{x_1}R(x)L(x,t_0)dx\}$$
$$\int_{T_1}^{T}f(t)dt-C_{1m}^2\{Rt+\int_0^{x_1}R(x)dx\}(T-T_1)+\frac{2C_{1m}}{f(T_1)}$$
$$\{R_tL(o,t_0)+\int_0^{x_1}R(x)L(x,t_0)dx\}\int_0^{T_1}f(t)^2dt+\frac{2C_{2m}}{f(T)}$$
$$\Big\{\int_{x_1}^{x_2}R(x)L(x,t_0)dx\int_0^{T}f(t)^2dx+\frac{2C_{3m}}{f(T)}\Big\{\int_{x_2}^{x_3}R(x)L(x,t_0)dx$$
$$\int_0^{T}f(t)^2dt\Big\}+\cdots\cdots+\frac{2C_{nm}}{f(T)}\Big\{\int_{x_{n+1}}^{x_n}R(x)L(x,t_0)dx$$
$$\int_0^{T}f(t)^2dt-C_{1m}^2\{R_t+\int_0^{x_1}R(x)dx\}\frac{\int_0^{T_1}f(t)^2dt}{f(T_1)^2}$$
$$-\{C_{1m}^2(Rt^2+\int_0^{x_1}R(x)dx)+C_{2m}^2\int_{x_1}^{x_2}R(x)dx+C_{3m}^2\int_{x_1}^{x_2}R(x)$$
$$dx+\cdots\cdots+C_{nm}^2\int_{x_{n-1}}^{x_n}R(x)dx\}\frac{\int_0^{T}f(t)^2df}{t(T)^2}\Big]+\phi D+n\alpha-\beta C$$
$$_{1m}+\gamma\sum_{i=1}^{n}(C_{1m}-C_{i+n})^2 \quad\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(36)$$

가 되며, 이 式으로 計算된 값이 正數일 경우에 限해서 Condenser 를 設置하는 것이 有利하다는 結論이 내려진다. 그런데 以上諸式의 誘導過程에서 Condenser 의 調整을 負荷의 變動에 應하여 連續的으로 瞬時調整할수 있다고 가정하였으나, 實際에 있어서는 그 調整이 계단적이므로 위의 式 (36)으로서 계산된 P_n은 實際의 利益보다 多少 過大하에 計算된다는 點을附言한다.

誘導式의 使用法

지금까지 誘導한 諸式中 Condenser 의 經濟的 設置 및 維持 條件의 計算에 直接 使用되는 式은 다음과 같다.

式 (30), (28) 및 (29)로부터

$$C_{im}+C_{(i+1)m}=2L(x_i,t_0)f(T) \quad\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(A)$$

但, $C_{(n+1)m}=0$

$$C_{im}=\frac{\int_{x_{i+1}}^{x_1}R(x)L(x,t_0dt}{\int_{x_{i-1}}^{x_1}R(x)dx}f(T) \quad\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(B)$$

$$\triangle C_i(t)=C_{1m}\Big\{1-\frac{f(t)}{f(T)}\quad\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(C)$$

但, $0<t<T$

式 (31), (32) (35) 및 (34)로부터

$$f(T_1)=\frac{1}{T-T_1}\Big\{\int_{T1}^{T}f(t)dt-MT\Big\} \quad\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(D)$$

$$M=\frac{\beta E^2}{2\times8.76a\{RtL(O,to)+\int_0^{x_1}R(x)L(x,to)dx\}} \quad (E)$$

$$C_{im}=\frac{RtL(o,to)+\int_0^{x_1}R(x)L(x,to)dx}{Rt+\int_0^{x_1}R(X)dx}f(T_1)\cdots\cdots\cdots\cdots(F)$$

$$2L(x_1,t_0)=\frac{\frac{C^2_{1m}}{f(T_1)^2}\int_0^{T_1}f(t)^2dt+C^2_m(T-T_1)-\frac{C^x_{2m}}{f(T_1)^2}\int_0^{T}f(t)^2dt}{\frac{C_{im}}{f(T_1)}\int_0^{T_1}f(t)^2dt+C_{1m}\int_{T_1}^{T}f(t)-\frac{C_{2m}}{f(T)}\int_0^{T}(t)^2dt}$$
$$\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(G)$$

$$\triangle C_1(t)=C_{1m}\Big\{1-\frac{t(T)}{t(T_1)}\Big\}\quad\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(H)$$

但, $o<t<T_1$

또는 $\triangle\ C_1(t)=0\quad\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(I)$

但 $T_1<t<T$

式 (36)으로부터

$$Pn=\frac{8.76\,a}{1000\,TE^2}\Big[2cm\{CRtL(O,to)+\int_0^{x_1}R(x)L(x,to)dx\}$$
$$\int_{T_1}^{T}f(t)dt-c^2_{1m}\{Rt+\int_0^{x_1}R(x)dx\}(T-T_1)$$
$$+\frac{2c_{1m}}{f(T_1)}RtL(O,to)+\int_0^{x_1}R(x)L(x,to)cx\}\int_0^{T_1}f(t)^2dt$$
$$+\frac{2c_{2m}}{f(t)}R(x)L(x,to)dx\int_0^{T}f(t)^2dt+\frac{2c_{3m}}{f(T)}\Big\{\int_{x_2}^{x_3}R(x)$$
$$L(x,to)dx\int_0^{T}f(t)^2dt\}+\cdots\cdots+\frac{2Cnm}{f(T)}\Big\{\int_{x_{n-1}}^{x_m}R(x)$$
$$L(x,to)dx\int_0^{T}f(t)dt-C_{1m2}\{Rt+\int_0^{x_1}R(x)dx\}\frac{\int_0^{T_1}t(d)dt}{f(T_1)^2}$$
$$-\Big\{C_{im}^2(Rt+\int_0^{x_1}R(x)dx+C_{2m}^2\int_{x_1}^{x_2}R(x)dx+C_{3m}^2\int_{x_1}^{x_2}R(x)dx$$
$$+\cdots\cdots+C_{nm}^2\int_{x_{n1}}^{x_n}R(x)dx\Big\}\frac{\int_0^{T}f(t)dt}{f(T)}+\phi D-$$
$$n\alpha-\beta C_{im}+r\sum_{i=1}^{n}(Cim-C_{(i+1)m})^2\quad\cdots\cdots\cdots\cdots(J)$$

이 式을 使用하기에 앞서 다음 豫備資料가 必要하다.

(a) 配電電壓 {E}

(b) 配電用 變壓器의 抵抗 {Rt}

(c) 配電線路長 {l}

(d) Condenser 設置 및 維持價格 $\{\alpha,\beta\gamma\}$

(e) 配電施設 특히 配電用變壓器容量의 增設計劃의 有無, 增設容量, 價格 $\{\phi,D\}$

(f) 電力單價 {a}

(g) 任意의 基準時刻(to)에 있서어의 配電線路에 따른 無効電力의 分布狀態 $\{L(x.,to)\}$, 예를 들면 **그림 5** 와 같은 曲線을 준비한다.

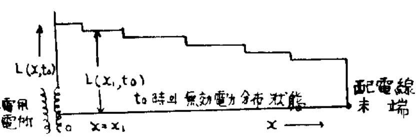

그림 5

(h) 變電所 出口($x=0$)에서의 任意周期(T)동안의 無効電力變化데이타로부터, 實時順에 관계없이 **그림 6** 과 같은 無効電力의 大小順으로 時系列을 再配列한 變動曲線을 준비한다. $\{f(t)\}$.

(i) **그림 6** 의 縱座標를 自乘한 $f(t)^2=g(t)$ 曲線을 준비한다.

(j) 그림 5 의 縱座標 $L(x,to)$에 抵抗密度 $R(x)$를 乘한 $L(x,to)R(x)$의 曲線을 준비한다. 均一한 굵기의 導

線을 使用한 配電線의 경우에는 不必要하다.

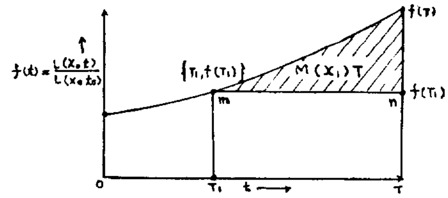

그림 6

(K) R(x) 曲線을 준비한다. 均一한 굵기의 導線을使用한 配電線의 경우에는 不必要하다.

以上의 資料가 모두 마련되면 于先 變電所에서 가장 먼 지점에 設置할 Condenser의 設置地點을 가정한다. 그리고 그림 3과

$$Cnm=2L(xn, to)Cnmf(T)=2[L(xn, to]peak \cdots\cdots\cdots(A)$$

에 의하여 그 容量 Cnm을 決定한다.

다음 그림 5 또는 (j)項의 $L(x,to)R(x)$曲線과(k) 項의 $R(x)$ 曲線은

$$Cnm=\frac{\int_{x_{n-1}}^{x_n} R(x)L(x,to)dx}{\int_{x_{n+1}}^{x_n} R(x)dx} f(T) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(B)$$

에 의하여 그 다음의 設置地點 x_{n-1}을 決定한다

다음 역시 그림 5와

$$C_{(n-1)}=2L(x_{n-1},to)f(T)\ Cnm-\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(C)$$

에 의하여 n_{n-1}地點의 設置容量 $C_{(n-1)m}$을 決定한다. 마찬가지로 이런 過程을 되풀이 함으로써, X_{n-2}, $C_{(n-2)m}$, ……X_2, C_{2m},x_1을 決定한다. 마지막으로 變電所에 가장 가까운 地點의 設置 容量 C_1의 決定을 위해서 (a) (b) (d) 項와 그림 또는 (j)項의 $L(x,to)R(x)$ 曲線으로부터 式 (E)과 M을 計算한후 그림 4에서 斜線面積이 MT와同一하도록 橫軸에 平行한 直線 nm을 긋는다 이때 이 直線과 $f(t)$曲線의 交點의 座標는 곧 $\{T_1, f(T_1)\}$이다. (式)(D)에 의함} T_1과 $f(T_1)$을 알았으므로

$$C_1m=\frac{RtL(,t_0)+\int_0^{x_1}R(x)L(x,to)\mathrm{dx}}{Rt+\int_0^{x_1}R(x)dx} f(T_1) \quad \cdots\cdots\cdots(D)$$

에 의하여 C_{1m}을 求한다. 이 값을 式

2L(x, to)

$$\frac{\frac{C^2_{1m}}{f(T_1)}\int_0^{T_1}f(t)^2dt+C^2_{1m}(T-T^1)-\frac{C^2_{2m}}{f(T)^2}\int_0^T f(t)^2dt}{\frac{C_{1m}}{f(T_1)}\int_0^{T_1}f(t)dt^2+C_{1m}\int_{T1}^T f(t)dt-\frac{C_{2m}}{f(T)}\int_0^T f(t)^2dt}$$

$$<\delta \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(E)$$

에 代入하여 充分히적은 正數 δ에 對하여 成立한다면 計算은 끝난다. 그러나 一般的으로는 上式이 成立하지 않는 것이 보통이므로 이경우에는 最初의 가정值 x_n의 값을 $x_n+\triangle x_n$의 값으로 再假定하여 지금까지의 計算過程을 反復한 후 上式이 成立할때까지 逐次修正함으로써 最終値를 얻게 된다. 確定値의 誤差는 δ의 값을 적게잡을수록 적어 짐은 勿論이다.

이렇게 해서 決定한 값 C_{1m}, $C_{2m}\cdots C_{mn}$, f_1, $f_2\cdots\cdots x_3$ T_1, $f(T_1)$의 값을 式(I)에 代入하면 年間利益額을 얻는다. 또 가장 經濟的 Condenser의 調整은 變電所에 가장 가까운 것은 式(H) 및 (I)에 의하고 그밖의 것은 式(C)에 의한다.

結　論

(1) 配電線路에 並列 Condenser를 設置함으로써 電力損失을 減少시키고 配電容量을 增加시키는 問題에 關하여, 그 經濟的 得失을 解析함과 同時에 經濟的 觀點에서 본 最適條件 即, 並列 Condenser의 (a) 最適設置容量, (b)最適設置位置, (c) 最適運轉條件을 決定하는 式을 誘導하였다.

(2) 以上 最適條件에 따라 condenser를 設置 및 運轉할 경우의 年間利益額을 計算하는 式을 誘導하였다.

(3) 이들 誘導式에 의한 具體的 計算方法의 하나로서 鬪試解法을 提示하였다. 그러나 逐次修正에 의한 解法을 土臺로하는 誘導式의 性質上, 電子計算機에 依하면 더욱 그 實效性이 增加할 것으로 생각된다.

(4) 誘導式에 의하면, Condenser 容量對 費用(施設 및 維持費) 曲線을 直線으로 간주한다면 (이렇게 가장하여도 實用上 支障없음). 變電所에 가장 가까운 Condenser의 設置容量은 Condenser 費用이 增加할수록 負荷의 變動이 甚할수록, 減少한다 그러나 다른 地點의 Condenser 容量은 그 地點의 尖頭 無效電力에만 直接 關係하며 Condenser 費用과 負荷의 變動狀態는 그 設置地點의 位置決定에 間接的으로 영향을 준다.

(5) 本研究의 特徵은 從前理論과 달리 負荷의 時的變動狀態와 Condenser의 Tap 調整에 基因한 영향을 考慮한데 있다.

(6) 여기서 誘導된 諸式에 $f(t)=1$, $T_1=0$라 놓으면 一定負荷狀態의 問題로 單純化되어 이미 實用化되고 있는 從前理論과 (그 理論展開方法은 相異하나) 그結果値에 있어서一致한다.

參 考 文 獻

Electrical Transmission and Distribution Reference Book, WH

(1967年 2月20日 接受)