

# 直流電氣鐵道시스템에 있어서의 變電所 送出電壓에 따른 回生電力有効利用

## An Effective Utilization of Regenerative Power According to the Output Voltage of Substations in the DC Electric Railways.

金 良 模\*  
(Yang-Mo Kim)

### 요 약

直流電氣鐵道用 사이리스터變電所는 電流의 逆流는 허용되지 않는 것이 일반적이고 回生能力을 지닌 電車が 運行되는 시스템에서는 回生電流와 給電線의 抵抗으로 인해 電車線電壓이 상승하게 된다. 回生車에는 이런 電車線電壓의 過上昇을 방지하기 위하여 回生電流制限機構가 설비되어 있어 回生車에서의 回生電力이 無効가 되고 그뿐만 아니라 부족된 制動力을 機構的 制動에 의해 보충함으로 Brake Shoe의 摩耗가 증가한다. 본 논문에서는 회생율을 높일 수 있는 한 방법으로서 저항투입을 생각하였고 變電所送出電壓을 변화시킬 수 있다는 것을 가정하여 임의의 모델線を 설정하고 이 線에 대해 送出電壓의 변화에 따른 에너지의 흐름을 파악해보고 이로부터 回生率과 回生失效率의 변화를 구하여 보았고 저항투입에 의해 얻어지는 에너지절감과 Brake Shoe의 마모의 척도인 회생실효율의 저감효과를 고찰하여 보았다.

**Abstract-** In DC electric railway systems, the feeding current is not permitted to flow backward in almost all the substations and the pantograph voltages at the regenerating cars rise extremely by the voltage drop of the resistance of the feeder line. In order to prevent the overrise of the pantograph voltage in power regenerating cars, the squeezing circuits for the regenerative current are equipped and this leads to double losses, which are an extra worn-out of the brake-shoes and an ineffective use of regenerative power. In this study, the insertion of resistors in the feeder line system is proposed as a possible method for the effective utilization of the regenerative power in the electric railways. Also it is investigated how the output voltages of substations affect the effective use of regenerative capability. The investigation results show that the energy savings and the reduction of the worn-out of the brake-shoe can be achieved at the same time by the insertion of resistors in the feeder line system.

## 1. 서 론

電氣鐵道에 있어서의 電力回生 制動器는 傾斜面에서의 速度減速用으로 그 역사가 깊지만 최근 超퍼制御車輛의 보급에 따라 대도시에서의 高密度輸送에서의 활용이 두드러지고 있다. 超퍼制御回生車輛의 경우 본래의 목적이 에너지절약임은 두말할 것도 없지만 回生전력을 효율적으로 활용해야 할 필요성은 그 외에도 몇가지 요인이 있다. 그것은 都市通勤線과 같이 列車密度가 높은 區間에서는 加速車輛에 필요한 電流를 回生車輛으로부터 공급하는 비율이 커지기 때문에 地上電源設備의 용량을 低減시킬 수 있고, 連續下向의 傾斜區間에서 機械的 制動器를 使用하는 것은 Brake Shoe의 摩耗가 증대하고 粘着特性이 低下되어 傾斜面의 減速用制動器로서 回生制動器가 필요하다. 종래의 發電制動器에서는 차량이 갖고 있는 運動에너지의 대부분을 制動抵抗에서 熱로 바꾸어 버리기 때문에 列車바닥에서의 溫度上昇을 초래하고 지하철의 경우 地下區間內的 온도상승으로 인하여 空調設備의 容量을 증대시키게 된다. 이에 回生用 制動器를 사용함으로써 상기의 문제들을 개선할 수 있고 또한 發展制動器用 抵抗器와 冷却機器가 불필요하게 되어 車輛의 輕量化에도 크게 기여하게 된다.

그런데 都市通勤區間에서의 直流電氣車에 電力을 공급하는 變電所중 사이리스터變電所와 같이 電流의 逆流를 허용하지 않는 경우 回生車에서 얻어진 回生에너지를 받아 들일 적절한 負荷가 없는 경우 또는 負荷가 있더라도 回生중인 電車로부터 멀리 떨어진 곳에 있는 경우 電車線抵抗의 電壓降下로 인해 回生중인 電車の 電車線電壓이 현격히 높아지게 된다. 이러한 電車線電壓의 상승에 대해 回生車에는 高壓에 대한 保護回路로써 일정전압에 도달하면 電車線電壓의 상승에 역비례하여 回生電流를 제한하는 機構가 설비되어 있다. 回生중인 電車が 이러한 回生電流制限機構에 걸린다고 하는 것을 회생실효로 정의하면 회생실효현상은 얻어진 回生에너지가 무효로 됨은 물론이거나 부족한 制動力을 機構의 制動에 의해 보충하지 않으면 안 되므로 Brake shoe의 摩耗라고 하는 2차적인 손실이 뒤따른다.

이러한 回生失効를 방지하기 위하여는 變電所에 電力蓄積機器로서 蓄電池및 후라이휠등을 설치하

는 방법[1,2], 電力吸收設備로서 인버터, 抵抗등을 설치하는 방법[3,5]이 있으며, 電車線電流에 대한 대책으로써는 출력전류에 따라 리액턴스 降下와 内部抵抗에 의해 저하되는 送出電壓을 사이리스터에 의해 補正하는 방법, 電車線에서의 電壓降下分을 미리 補償하기 위하여 變電所에 負의 저항특성을 갖도록 하여 變電所送出電壓을 상승시키는 방법등이 있다.

가까운 일본은 전기철도에 대한 연구가 활발하며 회생에너지의 이용기술도 집약되어 있는 반면 [6] 우리의 경우, 전기철도에 대한 학술적 연구가 거의 없는 상태로 이미 도입된 전철에 대한 해석 및 보완이 절실히 필요하다. 본 연구에서는 回生失効의 원인이 되는 電車線電壓의 過上昇이 變電所送出電壓의 조정으로 감소될 수 있다는 것을 가정하여[6-10] 變電所送出電壓의 변화에 따른 變電所出力에너지의 변화와 회생효과를 구하였다. 이를 위하여 임의의 모델線を 설정하여 이 모델線에 대해 역류가 허용되지 않는 사이리스터變電所를 가정하여 계산하였다. 또한 회생율을 높이기 위한 방법으로 비교적 설치가 간단하고 저렴한 저항투입을 고려하여 저항투입에 따른 에너지절감효과와 회생율및 회생실효율의 변화를 구하여 보았다.

## 2. 回生능력을 갖춘 直流電氣鐵道시스템

### 2.1 回生車와 給電시스템

電氣車에 電力을 공급해 주는 給電線(트롤리線도 포함: 이하 같음)은 흐르는 電流에 대해 抵抗으로 작용하여 손실이 발생함과 동시에 電壓降下の 원인이 된다. 급전시스템에 回生能力을 지닌 電車が 존재하는 경우에는 減速 또는 停車時의 回生電力이 變電所 또는 인근 負荷에 공급되므로 給電線에는 열차구동에 필요한 전류외에 또다른 전류성분이 존재하게 된다.

回生에너지를 생각해 보면 鐵道運行이 高密度化, 高速化하여 감에 따라 높은 속도에서의 運動에너지가 回生에너지화한다고 볼 수 있으므로 回生에너지의 이용은 에너지절약면에서 중요하다고 할 수 있다.

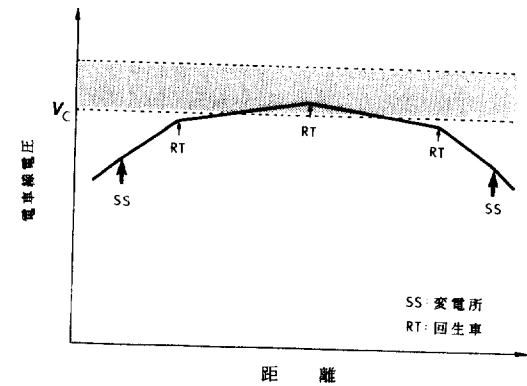
변전소에서 逆流가 허용되지 않는 경우 回生에너지를 받아들이는 負荷가 없거나 있다고 하더라도 멀리 있는 경우 給電線의 電壓降下로 인해 回生車의 電車線電壓이 급격히 높아지게 된다. 이를 나타낸 것이 그림1로 (a)는 回生중인 電車만이 존재하는 경우의 電車線電壓의 상승을 나타내며 (b)는

\*正 會 員: 忠南大 工大 電氣工學科 副教授・王博

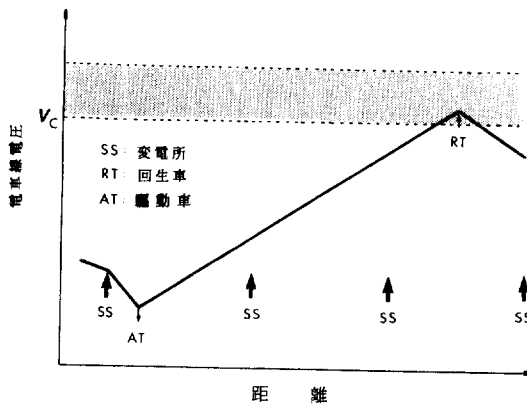
接 受 日 字: 1989年 1月 31日

1 次 修 正: 1989年 11月 23日

2 次 修 正: 1989年 12月 19日



(a) 回生車만 존재할때



(b) 負荷가 멀리 있을때

그림 1 電車電壓上昇을 나타내는 概畧圖

Fig. 1 The voltage-rise of pantograph (a) when only regenerative cars are existed (b) when the load is away from the regenerative cars.

回生에너지를 받아 들일 負荷가 回生車로부터 멀리 떨어져 있음으로 인한 電車線電壓의 상승을 나타내는 개략도이다. 그림1에서의  $V_c$ 는 후술하는 回生電流를 制限하기 시작하는 電壓을 나타낸다.

## 2.2 回生電流制限特性

그림1에서 보인 바와 같이 回生車의 回生電流에 의해 電車線電壓이 높아지게 되면 變電所나 回生車 자체의 高壓機器에 악영향을 미치기 때문에 回生車에는 어느정도로 電車線電壓이 높아지면 回生電流를 制限하여 電車線電壓이 일정값 이상으로 상승되지 않도록 電壓線電壓의 리미터回路가 설치되어 있다. 이것을 回生電流制限機構라 하며 그림

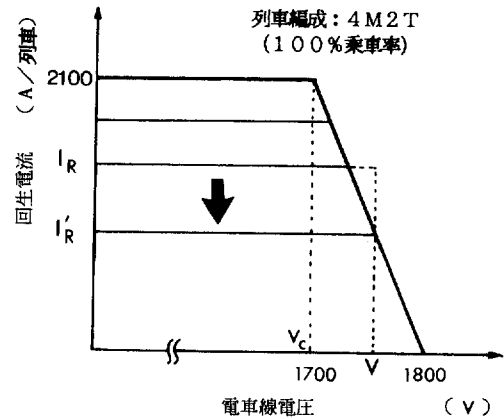


그림 2 回生電流制限特性

Fig. 2 The characteristics of squeezing regenerative current.

2에 이 特性의 일례를 나타내었다. 그림에서  $V_c$ 는 그림1과 같이 回生電流制限 시작電壓을 나타내며 어떤 순간의 回生車의 電車線電壓이  $V$ , 回生電流가  $I_R$ 일때  $I_R'$ 까지 回生電流를 制限함을 보이고 있다.

이렇게 制限되는 回生電流는 모차럼의 回生에너지가 무효화된은 물론 모차라는 制動力을 機械的 制動에 의해 보충하지 않으면 안되므로 이에 따라 Brake Shoe의 마모량이 증가하는 2중적 손실이 뒤따른다. 따라서 回生車의 回生에너지를 給電시스템으로 回收시키는 비율을 높이는 것은 에너지節約面에서도, 또한 Brake Shoe의 마모율을 줄인다는 면에서도 중요하다.

여기에서 給電시스템에 있어서의 回生에너지의 回收率을 定量的으로 정하기 위한 인수로서 回生率과 回生失効率을 다음과 같이 정의하기로 한다.

$$\text{回生率} = \frac{\text{실제의 回生에너지}}{\text{열차소비에너지}} \quad (1)$$

$$\text{回生失効率} = 1 - \frac{\text{실제의 回生에너지}}{\text{回生可能에너지}} \quad (2)$$

위의 (1)식의 回生率은 加速車와 각 열차의 보조기에서 소비되는 에너지에 대한 回生에너지의 비율을 의미하며 回生失効率은 回生電流制限特性에 의해 制限되는 回生에너지의 회생비율을 나타낸다.

## 2.3 變電所送出電壓과 회생

그림1에서 보면 變전소송출전압이 높으면 높을수록 회생전류제한특성에 걸릴 가능성이 높아져

무효로 되는 회생에너지가 많아져 회생율이 작아짐과 동시에 회생실효율이 커진다. 변전소송출전압이 낮아지면서도 회생에너지를 사용할 적절한 부하가 없는 경우에도 전술한 바와 같이 전차선전압이 급격히 높아져 회생에너지가 무효로 된다.

이러한 회생실효를 감소시킬 수 있는 방법으로서는 전술한 바와 같이 直流電力을 인버터등을 통하여 交流로 變換하여 電源에 返還하던가 후라이휠, 蓄電池 등의 電力蓄積機器를 통해 逆流되어 온 電氣에너지를 일시적으로 축적시켰다가 다른 負荷에 공급하는 것이 생각될 수 있는데 역류가 허용되지 않는 기존의 사이리스터變電所에서 이들 기기의 보충은 많은 설치비를 필요로 한다. 그러나 비교적 간단하고 저렴한 가격으로 회생율을 높일 수 있는 방법이 저항을 투입하는 방법이다. 저항을 투입함으로써 저항에서의 손실은 다소 발생하나 회생전류의 무효화를 방지할 수 있어 저항손실보다 더 큰 회생전력을 유효하게 이용할 수 있다.

본 연구에서는 모든 전차가 회생능력을 보유한 것으로 보고 각 변전소는 역류의 흐름을 허용치 않는 사이리스터변전소를 가정하여 변전소송출전압변화에 따른 에너지와 변전소에 역류를 수용할 수 있는 저항을 투입했을 때의 에너지의 절감효과를 구하여 보기로 한다.

### 3. 給電시스템에 대한 Simulation 방법

#### 3.1 運轉모드 및 運轉曲線

驛과 驛사이의 運轉狀態는 驅動, 탄력운전, 制動의 3가지로 驛에서의 停車狀態까지 고려한다면 列車의 運轉모드는 4가지로 분류되고 이 4가지의 조합으로 列車運轉이 이루어지는데 都市通區間과 같이 비교적 짧은 區間에서는 그림3과 같은 驅動→탄력운전→制動→停車의 運轉모드를 각각 1회씩으로 하는 運轉패턴을 취하는 것이 일반적이다.

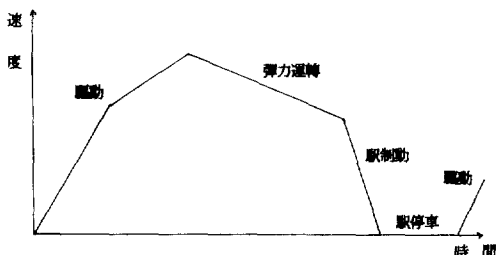


그림 3 일반적인 운전방식

Fig. 3 The general operation pattern.

#### 3.2 列車의 運動方程式

列車의 運動은 列車를 하나의 質點으로 보아 近似시키고 運轉距離를  $s$ , 運轉時間을  $t$ 라 하여 다음과 같은 運動方程式으로 나타낼 수 있다. 즉,

$$mv \frac{dv}{ds} = F(n, v) - R(s, v) - B(s, v) \quad (3)$$

$$\frac{dt}{ds} = \frac{1}{v} \quad (4)$$

단,  $s$ : 運轉距離

$t$ : 運轉時間

$v$ : 列車速度

$m$ : 列車質量

$n$ : notch番號

$F(n, v)$ : 牽引力函數

$R(s, v)$ : 列車抵抗力函數

$B(s, v)$ : 制動力函數

이다. 식(3)에서  $F(n, v)$ 는 牽引力函數로서 전차에는 다수의 notch가 있어 다양한 견인력을 제공해 주고 이것은 電車의 特性曲線으로 부터 구할 수 있는데 비교적 짧은 구간의 運轉패턴은 最大牽引力을 주는 운전방식을 택하는 것이 일반적이다. 列車抵抗力函數  $R(s, v)$ 는 出發抵抗, 走行抵抗, 曲線抵抗, 傾斜抵抗이 포함되며 出發抵抗은 출발부터 일정속도까지 나타나는 摩擦力에 의한 抵抗이고 走行抵抗은 空氣摩擦과 레일과 바퀴와의 摩擦力에 기인한 것으로 平坦線에 대하여는 出發抵抗과 走行抵抗만이 列車抵抗에 포함된다고 볼 수 있는데 이것은 實驗式에 의하는 것이 보통이다 [11]. 또한  $B(s, v)$ 는 距離, 速度에 관한 制動力函數로서 線路保安上 常用과 非常用の 두 계통을 설비하여 놓는 것이 보통이고 地上設備로서의 保安信號에 의해 제어되도록 되어 있다.

각 運轉모드에 대한 列車의 運動은 상기의 運動方程式으로 부터 구할 수 있는데 驅動의 경우  $B(s, v) = 0$ , 탄력운전의 경우에는  $F(n, v) = 0$ ,  $B(s, v) = 0$ 으로 놓아 계산할 수 있으며 制動때는  $F(n, v) = 0$ 으로 놓고 구할 수 있되 제동거리 및 시간이 짧은 경우, 전술한 보안설비로 인해 일정값의 제동감속도로 보는 것이 일반적이므로  $F(n, v) = 0$ ,  $R(s, v) = 0$ ,  $B(s, v) = B_a$  (一定常數)로 놓아 구할 수 있다.

#### 3.3 給電시스템의 모델링과 等價回路化

回生制動機能을 갖는 電車가 運行되고 있는 給電回路에 흐르는 電流는 變電所의 位置, 각 列車의 位置 및 그 때의 運轉狀態, 變電所送出電壓 등에

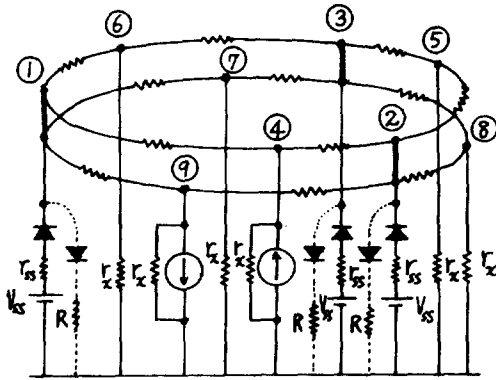


그림 4 給電回路에 대한 모델링  
Fig. 4 A modeling for feeder circuits

의해 변화하여 간다. 시간적으로 변화하는 특성을 macro로 파악하기 위하여 Simulation에 의한 방법을 택하고 이하에서 給電시스템에 대한 동가회로 및 수식화에 대하여 서술하기로 한다.

給電回路에는 리액턴스성분도 존재하지만 直流 給電回路의 에너지량을 다루는데 있어 복잡함과 불필요한 계산시간을 요하게 되므로 給電회로의 임피던스를 단지 抵抗만으로 취급하기로 한다. 한편 變電所에도 리액턴스성분이 포함되어 있지만 内部抵抗값과 無負荷送出電壓源으로 근사시킬 수 있으며 특히 사이리스터整流기를 채용하고 있는 變電所에서는 광범위한 送出電壓에 걸쳐 일정한 특성을 보이므로 이와같은 等價回路化는 에너지량의 계산에서는 만족할 만한 근사값을 얻을 수 있다. 驅動중인 列車나 回生중인 列車는 각각 正 또는 負의 定電流源으로 다루고 각 列車에서 일정값의 補助機器의 消費電力을 고려하여 일정값의 전류를 흘리는 부하로서 취급하기로 한다.

이상과 같은 給電回路의 等價回路를 나타내면 그림4와 같다. 그림4에서 ①~⑨는 접점을 나타내는데 이 접점중 ①~③은 變電所를 나타내며 접지와의 사이의 저항  $r_{ss}$ 는 변전소의 내부저항을  $V_{ss}$ 는 무부하송출전압을 저항  $R$ 은 역류에 의해 작동되는 투입저항을 나타낸다. 또한 접점④~⑨는 열차의 위치를 나타내며 下向의 電源은 驅動중인 車輛을, 上向의 電源은 回生중인 車輛을 각각 나타내고 있으며 각 접점과 접지에 연결된 저항 ( $r_x$ )은 각 열차의 보조기기의 부하를 표시하고 있다. 각 節點과 枝路에 대해 다음과 같은 回路方程式을 세울 수 있으며 이로부터 각 지로의 전압, 전류를 구할 수 있다. 즉,

$$AGA^T e = AGV_s - A j_s \quad (5)$$

$$j = GV + j_s - GV_s \quad (6)$$

단,  $V$ : 枝路電壓

$j$ : 枝路電流

$A$ : 接續行列

$G$ : 컨덕턴스行列

$A^T$ :  $A$ 의 轉置行列

$e$ : 節點電壓

$V_s$ : 變電所送出電壓

$j_s$ : 驅動 또는 回生電流

### 3.4 계산방법

變電所送出電壓에 따른 列車運行에 있어서의 電力의 흐름을 계산하는데 있어 먼저 계산상 給電 시스템에 나타나는 節約條件으로는 回生電流制限機構, 變電所의 逆流許容여부 및 加速車가 加速에 필요한 電壓의 下限値를 밑도는지의 여부등을 들 수 있는데 等價回路化한 給電시스템에 대한 회로의 계산순서를 그림5에 나타내었다. 그림5에서 電車の 特性曲線과 列車運行데이터로 부터 임의의 시간에서의 列車의 運轉모드 및 위치를 결정할 수 있고 결정된 값에 대한 等價回路로 부터 回路方程

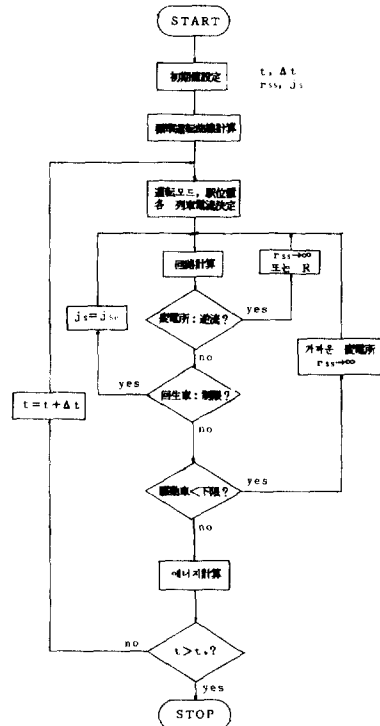


그림 5 計算 Flow Chart  
Fig. 5 A flow chart for computation.

式을 세워 회로의 각 節點 및 枝路의 電壓, 電流를 구할 수 있다. 상기의 制約條件을 계산상에 고려하여 逆流가 허용되지 않는 變電所의 계산된 電流 값이 逆流를 나타내면 變電所에 대한 等價回路定數를 수정하고 回生車의 電車線電壓이 回生電流制限機構에 걸리는지의 여부를 판정하여 이 제한구에 걸리면 새로운 제한전류를 대입하고 또한 加速電壓下降值를 하회하는가를 판가름한 후 해를 구한다. 이와같이 하여 계산이 수렴될때 각 列車의 驅動 및 回生에너지, 變電所의 出力에너지를 계산하고 단위시간만큼 列車를 진행시켜 계산을 계속한다.

### 3.5 모델선의 設定

前節에서 논한 等價回路를 통해 變電所送出電壓變動에 따른 에너지변화를 구하기 위하여 임의의 모델선을 설정하였다. 모델선은 우리나라 都市通勤區間에서 많이 볼 수 있는 驛距離 0.8~2.4km 사이의 거리의 驛를 가정하고 一率的인 亂數를 발생시켜 순서대로 8驛 8區間 總 13.5km의 複線循環線으로 하였다. 가공의 모델선을 설정한 것은 特定線을 택하였을 때의 특수성을 어느정도 배제시킬 수 있을 뿐만 아니라 임의로 설정된 모델선에 대한 계산 결과에서 객관적 사실을 도출해 내기가 용이하다는 점이고, 直線區間으로 정하는 경우는 端末驛과 中間驛의 電力의 흐름의 성질은 전혀 판이하여 이에 대한 해석이 어려운데 반해 循環線으로 하는 경우 각 變電所와 列車들의 조건은 거의 균일하다고 볼 수 있어 본 연구에서는 循環線으로 하였다. 變電所는 驛과 驛이 중앙에 위치하는 것으로 하여 그림6과 같은 모델선을 설정하였다. 이 모델선에 대한 각 驛사이의 運轉時間은

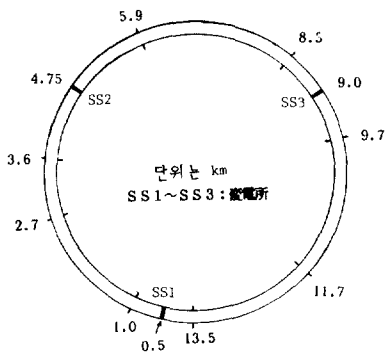


그림 6 計算을 위한 모델線

Fig. 6 A model line for computation

이들 구간의 最小運轉時間을 산출하여 이에 15%의 여유시간을 가산한 시간으로 정하였다.

## 4. 計算結果 및 考察

### 4.1 계산정수

變電所送出電壓에 대한 回生효과를 구하기 위하여 다음과 같은 정수로 계산 하였다.

#### 電車에 대한 정수

- 直流電機子制御초퍼車 (4M2T의 6량편성)
- 重量: 157톤 (車輛: 135톤 乘客: 42톤 정원 100%승차)
- 加速特性: 65km/h에서 通流率 約1 (2300 A/열차)
- 回生特性: 2100A/열차 (75km/h)  
 $V_c = 1700 V$
- 牽引力: 18톤/열차 (65km/h)
- 보조기기전류: 60A/열차

#### 變電所에 대한 정수

- 변전소수: 3
- 變電所等價内部抵抗:  $0.025\Omega$
- 給電線抵抗:  $0.0327\Omega/km$
- 給電方式: 並列給電 (變電所에서 上下行線 同--)
- 투입저항값:  $1\Omega, 0.1\Omega$  (1개 변전소에 투입)  
 $0.3\Omega$  (3개 변전소에 분산투입)

#### 運行에 대한 정수

- 運行間隔: 상하행선 각 3열차 (열차간격 6분)
- 驛停車時間: 30秒
- 列車減速度:  $2.7km/h/s$

### 4.2 結果 및 考察

전절에 보인 각종 정수와 전차의 특성으로부터 변전소송출전압을 변화시켜 가며 에너지를 계산하여 그림7에 나타내었다. (a)는 저항을 투입하지 않았을때의 각종 에너지를 나타낸 것이고 (b)는 한개의 변전소에  $R=1\Omega$ 의 저항을 투입했을때의 결과이고 (c)는  $R=0.1\Omega$ 일때의 계산결과이다. 또한 (c)의 투입저항을 각 변전소에 분산시켜  $R=0.3\Omega$ 을 투입하였을 때의 계산결과는 (c)의 결과와 거의 일치하였다. 이들로부터 회생율과 회생실효율을 구하여 함께 나타내면 그림8과 같다. 그림에서 저항을 투입함에 따라 회생율의 현격한 증가를

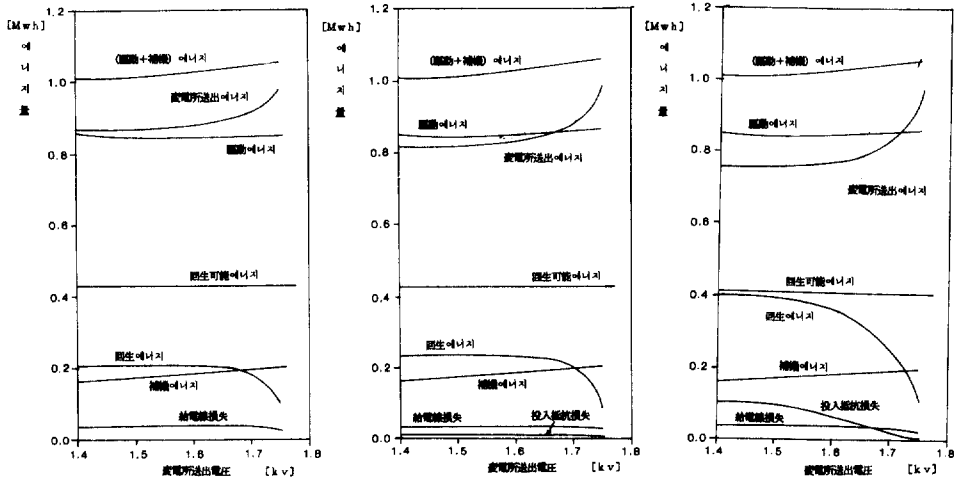


그림 7 變電所送出電壓에 따른 각 에너지의變化

Fig. 7 The variation of various energy according to the output voltage at substation.

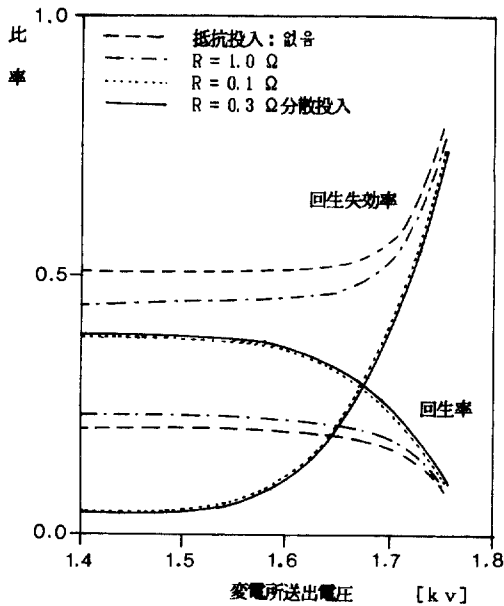


그림 8 變電所送出電壓에 따른 回生率

Fig. 8 The ratio of regenerative energy according to the output voltage at substation.

보임을 알 수 있고 Brake Shoe 마모율의 척도라고도 할 수 있는 회생실효율도 저항투입에 따라 감소하여 크게 개선됨을 볼 수 있다.

또한 저항투입으로 인해 변전소에서의 송출에너지의 감소를 나타내기 위하여 저항을 투입하지 않았을때의 변전소송출에너지를 1로 하여 그 비로써 나타내면 그림9와 같다. 그림9에서  $R=0.1\Omega$ 의 저항을 투입한 경우 10% 정도의 절감효과를 얻을 수

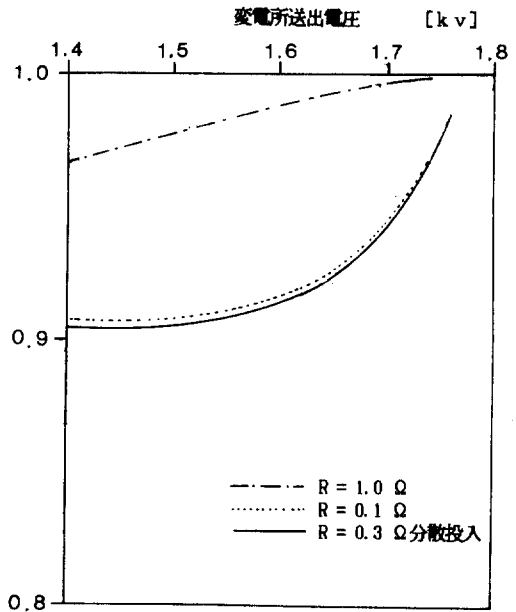


그림 9 저항투입에 따른 변전소송출에너지의 절감비

Fig. 9 The ratio of energy savings at substations owing to the inserting resistor.

있다.

이상의 결과로부터 알 수 있듯이 저항투입에 의해서는 변전소송출전압이 높을때 보다 낮을때 더욱 큰 효과를 얻을 수 있는데 이것은 변전소송출전압이 높아서 발생하는 회생전류제한량보다는 회생에너지를 소비할 적절한 부하가 없음으로 인해

회생전류제한량이 더욱 많다는 것을 말해준다.

## 5. 結 論

軌道交通시스템의 計劃 및 運用에 있어서는 시스템 전체의 系統을 定量的으로 파악하는 것이 중요하고 計劃 및 運用을 지원해 줄 소프트웨어의 體系化가 필요하며, 既存시스템의 효율적 운용은 새로운 시스템의 개발 못지않게 중요하다고 볼 수 있다.

本 論文에서는 回生能力을 지닌 直流電流鐵道시스템에서 逆流가 허용되지 않는 變電所를 가정하여 回生電流로 인한 電車線電壓의 上昇과 이 上昇을 抑制하기 위한 回生電流制限機構에 대하여 논하였고 특히 變전소송출에저지를 줄이는 방법으로 저항을 투입했을 때의 효과를 구하였다. 먼저 이를 구하기 위하여 임의로 설정한 모델線과 給電 회로를 等價回路化하였고 이로부터 回路方程式을 세워 解를 구하여 變電所送出電壓의 變化에 대한 各 에너지와 回生率을 계산하였다. 계산된 결과는 저항을 투입했을 때 變전소송출전압이 높은 경우는 별다른 효과가 없으나 송출전압이 낮은 경우는 에너지절감효과가 크고 더욱이 Brake shoe의 마모를 나타내는 회생실효도 현저히 감소됨을 알 수 있었다.

이 연구비는 한국과학재단 연구비에 의해 이루어진 것임

## 참 고 문 헌

- [1] Maruyama, "Flywheel Type Electric Railway Energy Saving Substation", Japanese Railway Engineering, vol. 21, no. 2, pp. 22—24, 1981.2.
- [2] 丸山, "フライホイール式電車線電力蓄勢システムとその運轉實績", 日本電氣學會電氣鐵道研究會, RAT-63-6, pp. 37—46, 1983.4.
- [3] Nagami, Kasajara, Ueda, Fumotomo, "The Effect of Regenerative Car and Regenerative Tracirion Substation", Institiute of Japanese Kinkl Railway Co., vol. 12, pp. 29—36, 1981.
- [4] B. Mellitt, C.J. Goodman, "Simulation Study of Trans it Systems with Inverting Substations", IEE Proceedings, vol. 131, no. 2, pp. 38—50, 1984, 3.
- [5] 渡邊, 高岡, 田中, 吉川, 千崎, "京板電鐵大津線GTOサイリスタ式回生電力吸收裝置の運轉實績", 電氣學會産業應用部分全國大會論文集, pp. 25—28, 1987, 8.
- [6] 日本電氣學會技術報告, "回生車を含むき電システムの現状とあり方", 1989, 5.
- [7] 曾根, 久須美, "電氣鐵道におけるき電システムの展望", 日本電氣學會, 電氣鐵道研究會, RAT-83-1, pp. 1—7, 1983.4.
- [8] 松富, 曾根, "回生車能力の有効利用について", 日本シミュレーション學會, pp. 49—54, 1983.11.
- [9] 佐藤, 曾根, "變電所送り出し電壓制御の一考察", 日本電氣學會全國大會 889, p. 1108, 1986.4.
- [10] 김양모, "직류전기차급전시스템에 있어서의 회생전력유효이용", 전력전자연구회 8—7—2, pp. 6—8, 1986.11.
- [11] 鄭然澤, 李德出, "電氣鐵道", 東明社, 1986, pp. 112—116.