

自己消弧形 GCB의 小電流 遮斷性能 改善

羅大烈 / 電力機器室

I. 概 要

小電流에서의 遮斷性能을 개선하기 위하여 非吹付形 遮斷器에 사용되는 負極性的 壓力裝置를 갖춘 아-크 消弧室이 開發되었다. 또한 디지털 시뮬레이션 프로그램을 사용하여 이 裝置의 機能을 분석하였는 바, 이 結果는 負極性的 壓力裝置를 갖춘 遮斷器의 遮斷試驗으로 입증되었다. 遮斷試驗은 84kV에서 IEC 규격에 준하여 遂行되었는데, 아-크 消弧室이 전 범위의 遮斷電流를 遮斷할 수 있음이 밝혀졌다.

II. 序 論

電氣 에너지의 需要 增加에 따라 電力系統에서의 短絡電流의 크기는 끊임없이 증가하고 있다. 이러한 大事故電流는 系統에 설치된 吹付形(Puffer type) GCB에 큰 문제점을 일으키고 있다. 왜냐하면 吹付形 GCB가 노즐 制動에 의한 吹付 실린더 내에서의 상당한 壓力 增加에 대하여 大短絡電流를 遮斷하기 위해서는 큰 驅動力이 필요하기 때문이다.

그러나 本稿에서는 노즐 制動 現象이 非吹付

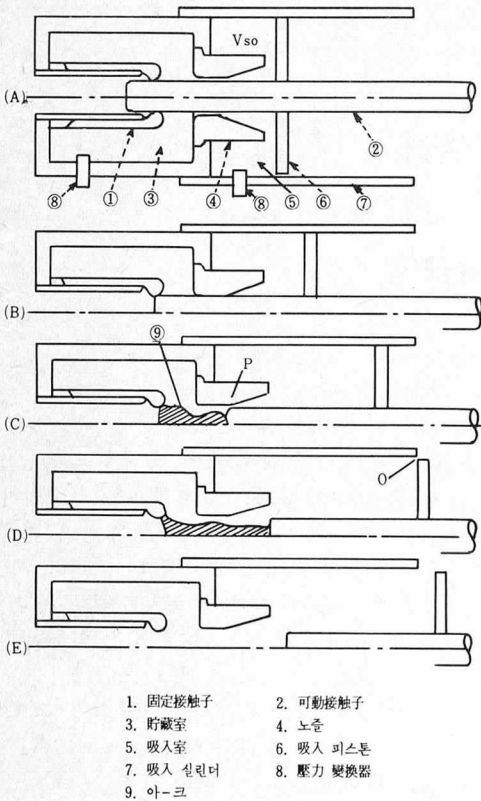
形 遮斷器의 大電流 遮斷時에 성공적으로 사용될 수 있음이 밝혀졌다. (참고문헌 [2,3] 참조). 이것은, 아-크가 아-크 壓力 발생에 의한 실린더 내에서의 壓力 上昇의 原因이 되며, 上昇된 실린더 壓力은 電流가 흐르지 않을 때까지 실린더에서 아-크로 가스의 흐름을 만들게 된다는 사실로부터 유도된 것이다.

위에서 언급한 方法은 아-크 壓力의 發生에 의한 것이므로 非吹付形 遮斷器는 小遮斷電流에서 충분한 遮斷能力을 갖고 있지 않다. 따라서 本稿에서는 非吹付形 아-크 消弧室에 負極性的 壓力裝置를 갖추으로써 小電流에서의 遮斷性能을 개선하는 方法을 개발하였다. 이 방법은 大電流에서의 遮斷性能을 減少시키지 않을 뿐만 아니라 遮斷器의 驅動系統에 필요한 힘을 증가시키지 않는다는 것이 밝혀졌다.

負極性的 壓力裝置가 壓力 및 가스 흐름의 발생에 미치는 영향을 분석하기 위하여 아-크 消弧過程의 시뮬레이션 프로그램이 개발되었다. 本稿에서는 시뮬레이션에 입각하여 負極性的 압력장치의 機能을 서술하고자 한다. 시뮬레이션의 結果는 負極性的 壓力裝置를 갖춘 遮斷器의 遮斷 試驗에서 얻은 實驗結果로 입증되었다.

III. 아-크室의 構造

〈그림 1〉은 負極性的 壓力裝置를 갖춘 아-크 消弧室의 단면도이다. 〈그림 1〉의 (A)는 閉路狀態, (B)는 아-크 發生 직전의 상태, (C)는 可動接觸子の 끝이 노즐의 直線部分의 끝에 있을 때의 아-크 상태이며 (E)는 완전히 開放된 상태이다.



〈그림 1〉 아-크 消弧室의 斷面圖

아-크 消弧室의 可動部分은 吸入室(5)에 負極性的 壓力를 발생시키기 위하여 피스톤(6)을 부착시킨 可動接觸子(2) 뿐이다. 피스톤의 이동에 따른 吸入室의 體積 增加로 吸入室內의 가스 密度 減少에 의해 負極性的 압력이 발생한다. 이 負極性的 壓力에 의해 아-크室과 吸入室 사이의 노즐을 통하여 가스의 흐름이 발생하는데, 아-크는 이 가스의 흐름에 의하여 消弧될 수 있다.

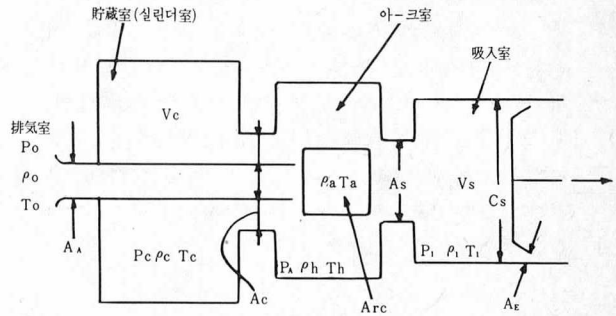
負極性的 壓力를 발생시키는 方法은 小電流

遮斷에 있어서 종래의 吹付形보다 더 낮다고 생각할 수 있다. 왜냐하면 아-크 壓力이 낮을 때에도 吸入室이 아-크室에 빨리 효과적인 壓力 傾度를 만들어 줄 수 있기 때문이다. 그러나 大電流 遮斷時에는 吸入室內의 壓力은 아-크室로부터 高温의 가스가 유입되므로 쉽게 상승할 수 있다. 그래서 관계되는 모든 室과 여러가지 크기의 電流를 고려함으로써 吸入室의 機能을 분석할 필요가 있다.

IV. 아-크 消弧過程의 시뮬레이션

1. 數學的 模型

〈그림 2〉는 〈그림 1〉의 아-크室을 나타내는 수학적인 模型이다. 이 模型은 4개의 室과 아-크 과정중 통과하는 4개의 좁은 통로로 되어 있다. 이 室들은 貯藏室(참고문헌 [2]에서의 실린더室), 아-크室, 排氣室 및 吸入室로 區分되며, 각각 添字 C, A, E 및 S로 정의한다. 좁은 通路들은 아-크室과 排氣室 사이, 貯藏室과 아-크室 사이, 아-크室과 吸入室 사이 그리고 吸入室과 排氣室 사이에 있으며, 각각 添字 A, C, S 및 E로 정의한다.



〈그림 2〉 數學的 分析用 模型

2. 數學的 數式

가. 質量 保存의 法則으로 부터의 方程式

1) 貯藏室

$$\rho_c V_c = \rho_{co} V_{co} - \int_0^t \left(\frac{dG}{dt} \right)_{cA} dt \dots\dots\dots \textcircled{1}$$

$\rho_c V_c$: 貯藏室內의 質量

$\rho_{co} V_{co}$: 貯藏室內의 初期 質量

$\int_0^t (\frac{dG}{dt})_{cA} dt$: 貯藏室에서 아-크室로
流出되는 質量(아-크室에
서 貯藏室로 流入되는 경우
에는 負極性임)

이 方程式은 참고문헌 [2]에서의 方程式 ①
과 같다.

2) 아-크室

$$\rho_a V_a + \rho_h V_h = \rho_{A0} V_{A0} + \int_0^t (\frac{dG}{dt})_{cA} dt - \int_0^t (\frac{dG}{dt})_{AE} dt - \int_0^t (\frac{dG}{dt})_{AS} dt \dots\dots\dots ②$$

$\rho_a V_a + \rho_h V_h$: 아-크室内的의 質量

$\rho_{A0} V_{A0}$: 아-크室内的의 初期 質量

$\int_0^t (\frac{dG}{dt})_{AE} dt$: 아-크室로부터 排氣室
로 流出되는 質量

$\int_0^t (\frac{dG}{dt})_{AS} dt$: 아-크室로부터 吸入室로
流出되는 質量 (吸入室에
서 아-크室로 流入되는
경우에는 負極性임)

3) 吸入室

$$\rho_s V_s = \rho_{s0} V_{s0} + \int_0^t (\frac{dG}{dt})_{AS} dt - \int_0^t (\frac{dG}{dt})_{sE} dt \dots\dots\dots ③$$

$\rho_s V_s$: 吸入室内的의 質量

$\rho_{s0} V_{s0}$: 吸入室内的의 初期 質量

$\int_0^t (\frac{dG}{dt})_{sE} dt$: 吸入室에서 排氣室로 流
出되는 質量 (排氣室에서
吸入室로 流入되는 경우
에는 負極性임)

나. 에너지 保存의 法則으로부터의 方程式

1) 貯藏室

$$V_c \rho_c U_c + \int_0^t (H \frac{dG}{dt})_{cA} dt = 0 \dots\dots\dots ④$$

$V_c \rho_c U_c$: 貯藏室内的의 气体的 内部 에너지

$\int_0^t (H \frac{dG}{dt})_{cA} dt$: 貯藏室에서 아-크室로
流出되는 에너지 (아-
크室에서 貯藏室로 流入
되는 경우에는 負極性임)

2) 아-크室

$$\int_0^t W I dt - \int_0^t l_a (P_A - P_E) C_A dl_a = V_a \rho_a U_a + V_h \rho_h U_h - \int_0^t (H \frac{dG}{dt})_{cA} dt + \int_0^t (H \frac{dG}{dt})_{AE} dt + \int_0^t (H \frac{dG}{dt})_{AS} dt \dots\dots\dots ⑤$$

$\int_0^t W I dt$: 電氣 에너지 入力

$\int_0^t l_a (P_A - P_E) C_A dl_a$: 接觸子 移動에 의한
機械的 에너지 入力

$V_a \rho_a U_a + V_h \rho_h U_h$: 아-크室内的의 气体的
内部 에너지

$\int_0^t (H \frac{dG}{dt})_{AE} dt$: 아-크室에서 排氣室로
排出되는 에너지

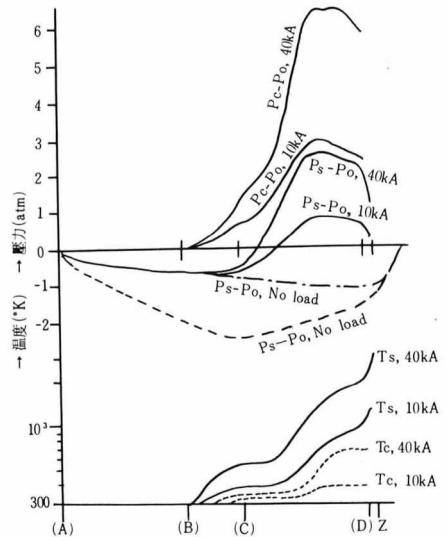
$\int_0^t (H \frac{dG}{dt})_{AS} dt$: 아-크室에서 吸入室로
流出되는 에너지 (排氣
室에서 吸入室로 流出
되는 경우에는 負極性임)

여기에서 $V_s = V_{s0} + C_s l_s$

上記의 方程式을 이용하여 참고문헌 [2] 에
서와 마찬가지로 方法으로 아-크 消弧室内的의 熱
力學的 量이 계산되었다.

V. 컴퓨터 시뮬레이션 結果

吸入室이 아-크 消弧過程에 미치는 영향을
조사하기 위하여 시뮬레이션 프로그램을 進行
시켰다. 이때, 變數로서 <그림 2>의 吸入室的
初期 體積을 V_{s0} , 吸入室的의 피스톤 斷面積을
 C_s , 그리고 좁은 通路의 斷面積을 A_s 및 A_e
로 表示하였다.



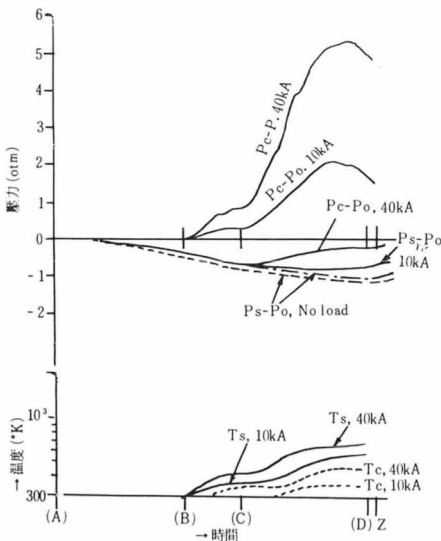
Z ; 遮斷電流가 완전히 遮斷되었을 때임

<그림 3> 吸入室的의 初期 體積 (V_{s0})이
작은 경우의 溫度와 壓力

〈그림 3〉과 〈그림 4〉는 貯藏室内的 壓力 上昇 ($P_s - P_o$), 貯藏室内的의 가스 温度 (T_s) 등을 계산한 結果를 나타낸 것이다. 計算結果는 無負荷, 10kA 및 40kA 遮斷의 경우를 나타낸 것이다. 이 그림에서 (A), (B), (C) 및 (D)는 〈그림 1〉에서의 같은 기호에 해당하는 경우이며 아-크는 (B)에서 발생하기 시작한다. 斷面積 A_s 는 (C)의 순간에 接觸子の 끝이 노즐의 直線 部分의 끝을 통과한 후 증가한다. (D)는 吸入室의 피스톤이 실린더로부터 분리되는 순간을 나타낸다.

〈그림 3〉은 V_{so} 가 작은 경우이다. 吸入室内的의 壓力는 無負荷인 경우 점선과 같이 피스톤의 이동에 따라 급격히 감소한다. 그러나 壓力減少는 아-크 消弧室의 構造와 動作에 의해 斷面積 A_s 와 A_E 를 증가시킴에 따라 無負荷의 경우 일점쇄선과 같이 감소된다. 大電流 遮斷時에는 吸入室의 壓力는 遮斷電流에 따라 負極性的의 값에서 正極性的의 어느 값까지 급격히 상승한다.

吸入室의 温度는 V_{so} 의 값이 작은 경우 더 빨리 상승한다. 이것은, 작은 吸入室은 피스톤 運動에 의해 가스 密度가 급격히 감소하여 아-크室로부터 좁은 通路 A_s 를 통하여 高温의 가스가 빨리 유입되기 때문이다. 40kA 遮斷의 (D)순간부터 吸入室의 壓力는 감소하며, 반면에 温度는 급격히 증가한다. 이것은 吸入室로



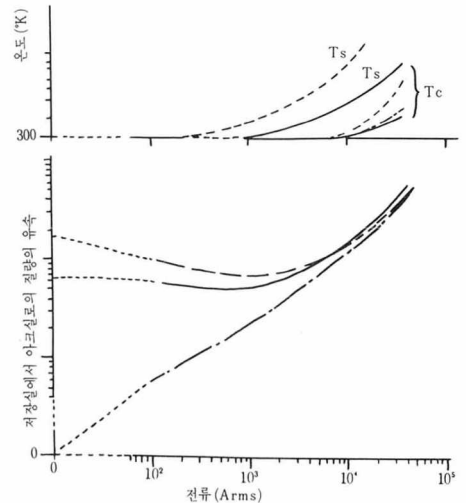
〈그림 4〉 吸入室의 初期体積 (V_{so}) 이 큰 경우의 温度와 壓力

부터 排氣室로 좁은 通路 A_E 를 통하여 유입되는 高温의 가스 때문이다.

위에서 언급한 問題點을 해결하기 위하여 〈그림 4〉에서는 初期体積 V_{so} 와 실린더 C_s 의 斷面積을 증가시켰다. 無負荷時의 점선과 일점쇄선은 〈그림 3〉에서 언급한 것과 마찬가지로 각각 A_s 및 A_E 의 값이 작은 경우와 큰 경우에 해당한다. 〈그림 4〉에서 A_s 및 A_E 를 조금 변화시키면 壓力減少에는 별로 變化가 없다. 따라서 V_{so} 및 C_s 의 값을 증가시킴으로써 얻은 중요한 結果는, 吸入室은 오랫동안 負極性的의 壓力를 유지하면서 가스 温度를 낮게 유지할 수 있다는 점이다.

〈그림 5〉는 遮斷電流가 완전히 遮斷되는 순간에 貯藏室로부터 아-크室로 流入되는 가스의 温度와 質量的의 流速을 遮斷電流의 函數로 설명한 것이다. 그림에서 일점쇄선과 실선 및 점선은 각각 吸入 피스톤이 없는 경우와 〈그림 4〉와 같이 V_{so} 가 큰 경우 및 〈그림 3〉과 같이 V_{so} 가 작은 경우에 해당한다. 負極性的의 壓力裝置를 아-크 消弧室에 설치하면 小電流 遮斷時 質量的의 流速을 크게 할 수가 있다. V_{so} 의 차이가 質量的의 流速에 약간 영향을 미치지만 V_{so} 의 값이 크면 貯藏室과 吸入室内的의 가스 温度를 낮게 유지시킬 수 있다.

負極性的의 壓力裝置의 다른 特性은 아-크에 의한 壓力上昇이 接觸子の 運動에 도움이 된다



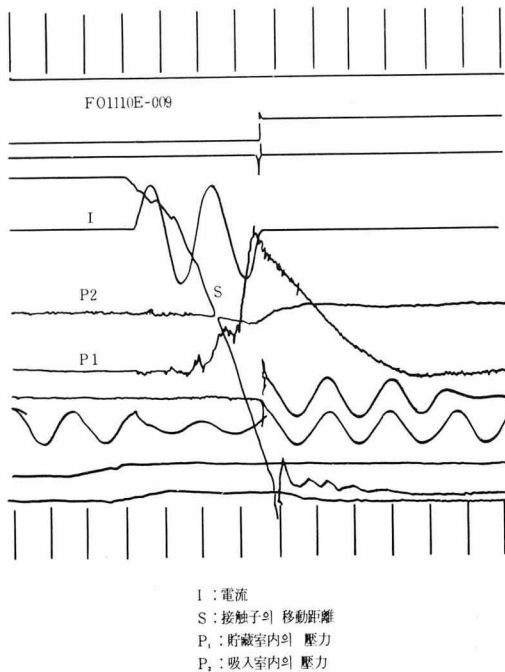
〈그림 5〉 完全히 遮斷되는 순간의 温度와 質量的의 流速 (아-크 時間은 0.8 cycle 임)

는 것이다. 반면에, 종래의 吹付形 遮斷器에 있어서는 아-크가 驅動裝置에 또 하나의 負荷가 되었다.

VI. 實驗結果

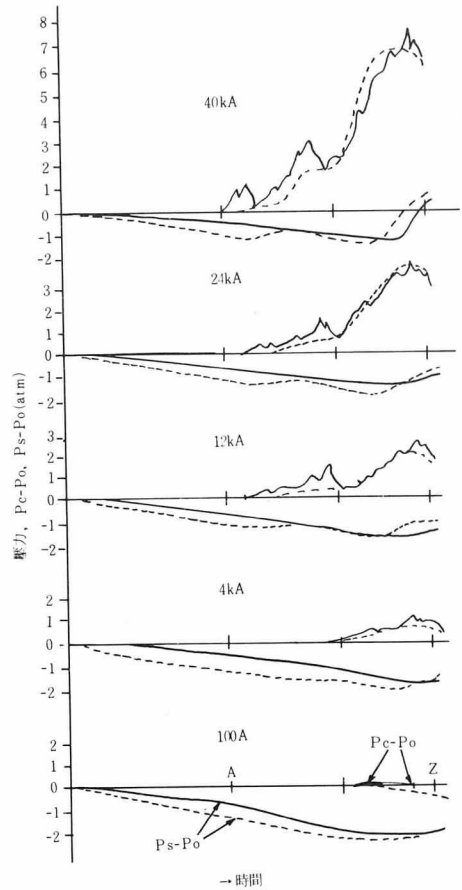
壓力和 質量的 流速을 기준으로 하여 各室의 體積과 좁은 通路의 斷面積 및 피스톤 直徑 등과 같은 아-크 消弧室의 變數들을 最適化하여 <그림 1>의 아-크 消弧室을 갖춘 模型 遮斷器를 컴퓨터 시뮬레이션에 입각하여 설계하였다.

5,000A 이하의 電流에 대한 試驗回路는 참고 문헌 [2]에서 언급한 것과 같다. 電流의 크기는 3.3kV에서 100A, 300A, 1,000A, 2,000A, 3,000A 및 5,000A를 택했으며, 高電壓은 60kV까지 充電되는 캐패시터群으로부터 공급하였다. 再起電壓은, 이 遮斷器의 遮斷能力을 확인하기 위하여 100A와 300A에서는 2kV/μsec, 1,000A에서는 3kV/μsec 그리고 3,000A와 5,000A에서는 8.9kV/μsec까지 上昇시켰다. 5,000A를 超過하는 電流에 대한 遮斷試驗은 참고 문헌 [3]에서 言及한 回路로 行하였으며, 試驗 電流는 84kV에서 BTf 條件에서는 40kA의



<그림 6> 36kA SLF 遮斷의 오실로그래프

30%와 60% 및 100%로, SLF 條件에서는 40kA의 90%를 택했다. <그림 6>은 SLF 遮斷試驗에서 얻은 오실로그래프의 한 例이다. 線路의 睨-지 임피던스는 480Ω으로 하였다.



<그림 7> 壓力的 測定値와 計算値의 比較

<그림 7>은 貯藏室과 吸入室內의 壓力上昇에 대한 計算値와 實驗値의 比較를 나타낸 것이다. 實線은 實驗値이며 點線은 計算値이다. 여기에서 計算値와 實驗値는 잘 일치됨을 알 수 있다.

VII. 結 論

非吹付形 GCB의 少電流 遮斷性能을 개선하기 위하여 負極性的 壓力裝置를 실험하여 提示하였다. 本稿의 要點은 다음과 같다.

- (1) 負極性的 壓力裝置로서 吸入 피스톤을 아-크 消弧室에 도입하였다.

(2)上記의 아-크 消弧室에서의 아-크 消弧過程을 분석하기 위하여 컴퓨터 시뮬레이션을 개발하였다.

(3) 시뮬레이션에 입각하여 吸入 피스톤을 갖춘 아-크 消弧室의 模型을 製作 試驗하였는바, 消弧室이 100A에서 40KA까지의 電流를 성공적으로 차단하였으며 壓力上昇의 實驗値는 計算値와 일치하였다.

(4)吸入 피스톤을 사용하는 方法은 아-크 壓力이 驅動力을 감소시켜 주는 長點을 가지고 있는 반면에, 종래의 吹付形 GCB의 경우에는 아-크 壓力이 驅動裝置에 또 하나의 負荷가 되었다.

(5)吸入 피스톤의 設計概念이 확립되었으므로, 大電流 遮斷能力을 갖추면서 驅動力이 적은 GCB를 설계할 수 있게 되었다.

参 考 文 獻

1. Y. Murai, S. Yamaji, T. Miyamoto, H. Sasao

& Y. Ueda, "An Improvement of Low Current Interrupting Capability in Self-Interruption GCB," IEEE Trans., Vol. PAS-101, No. 2 Feb. 1982.

2. Y. Ueda, H. Sasao, Y. Murai, K. Yoshinaga, T. Miyamoto & S. Tominaga, "Self-Flow Generation Phenomina in a Gas Circuit Breaker without Puffer Action," IEEE PES Winter Meeting, Paper No. 81 WM 149-4, 1981.
3. T. Ushio, S. Tominaga, H. Kuwahara, T. Miyamoto, Y. Ueda & H. Sasao, "SLF Interruption by a Gas Circuit Breaker without Puffer Action," IEEE PES Winter Meeting, Paper No. 81 WM 150-2, 1981.

