

# 炭素皮膜可變抵抗器의 摺動雜音減少에 關한 研究

## (A Study on Decreasing of Sliding Noise of a Carbon Film Variable Resistor)

尹 在 剛\*  
(Jai Gang Yoon)

### 要 約

民生用 電子機器에서 가장 많이 使用되고 있는 部品中의 하나인 炭素皮膜可變抵抗器에서 摺動子 移動時 發生하는 접촉 저항 변화의 原因을 分析하여 이에 대한 감소, 즉 摺動 잡음 減소를 위한 몇 가지 方法을 착안하여 실험 검토하고 그 結果를 정리하여 본 結果 均·한 크기를 가진 炭素 粉末 粒子로서 고르게 배합된 저항액을 使用하고 摺動子의 接觸點과 壓力을 증가하면 接觸 저항 및 接觸 저항 변화, 즉 摺動 雜音을 減少 시킬 수 있다.

### Abstract

Contact resistance variation which may be called sliding noise in carbon film variable resistors whose resistance elements consists of linear resistivity distribution were measured with several kinds of sliders and were analyzed to reduce the contact resistance variation.

About the measuring method, the standard method of measuring contact resistance variation specified by the variable Resistance Components Institute was adopted.

By analyzing the experimental results, it has been shown that the primary cause of contact resistance variation is due to current constriction and small discharge sparks in the resistance film in the area close to the slide contact.

Moreover, it has been found that the sliding noise would be reduced by increasing the number of contact points, sliding speed, and pressure, and by using some kinds of insulation oil on the contacting surface.

High contact resistance variation is likely to occur in the area of high resistance variation in a logarithmic resistance taper.

### I. 序 論

抵抗器의 구성 部分을 기능상으로 分類하면 支持基體, 抵抗器, 端子部, 保護外裝의 4 部分으로 나눌 수 있으며 抵抗體의 特性에 關해서도 抵抗 溫度 係數 또는 抵抗值 許容差에 關한 것들 여러 가지로 나눌 수

있으나 여기서는 炭素皮膜 抵抗體에 대하여 그 雜音 特性에 關해서 實驗 研究한 것을 쓰기로 한다. 摺動 抵抗器에서는 熱雜音외에 電流雜音과 摺動雜音의 2 가지가 있는데 電流 雜音은 저항체에 전류가 흐를 때 發生하는 잡음이다. 지금  $\Delta V^2$ 을 電流 雜音 自乘 平均值  $V$ 을 인가전압,  $R$ 을 저항치  $\Delta f$ 을 잡음 帶역폭,  $f$ 을 주파수라하면

$$\Delta V^2 = K V^2 R \frac{\Delta f}{f} \quad (1)$$

\*正會員, 崇田大學校 工科大學 電子工學科  
(Dept. of Electronics Eng., Soong Jun Univ.)

로 표시되며 대략 크기는  $[\mu V^2]$  정도이다.

摺動 雜音은 가변 저항의 회전축을 회전할 때 생기는 잡음으로 電流 雜音에 비하면 현저하게 큰 값을 가진다. 이 잡음도 一種의  $1/f$  잡음으로 볼 수 있다. 炭素 可變 抵抗은 습기를 받으면 전해 현상에 의해 열화를 한다.<sup>[11], [12]</sup>

II. 可變 抵抗器의 摺動 雜音 解析

雜音이란 必要한 信號에 干涉을 일으켜 信號를 不明確하게 하는 좋지 못한 擾亂을 말하는 것으로 大體로 雜音의 瞬時 振幅은 정확히는 알 수 없으며 雜音은 熱 雜音 低周波 雜音 긱雜音의 3종으로 대별할 수 있다. 摺動 雜音은 可變 抵抗器의 回轉軸을 回轉할 때 생기는 雜音으로 電流 雜音에 비하면 顯著하게 큰 값을 가진다. 이 雜音도 一種의  $1/f$  雜音으로 볼 수 있다.  $1/f$  雜音의 電壓  $E_n$ 과 電流  $I_n$ 은 다음과 같은 式(2), (3)으로 表示할 수 있다.<sup>[9], [9]</sup>

$$E_n^2 = \frac{KR^2}{f_a} \quad (2)$$

$$I_n^2 = \frac{K}{f_a} \quad (3)$$

여기서  $R$ 은  $E_n$ 을 測定하는 2點간의 抵抗이다. 接觸 雜音등  $1/f$  雜音의 스펙트럼 密度  $S(f)$ 는 다음과 같이 된다.

$$S(f) = \frac{A}{S} [V^2/H_z] \quad (4)$$

여기서  $A$ 는 常數이다.  $1/f$  雜音의 電力은 周波數  $f$ 가 감소하면 증가하므로 直流에서는 雜音이 無限대가 될 것 같으나 帶域幅을 고려하면 큰 모순은 생기지 않는다.<sup>[8]</sup> 可變 抵抗器에 있어서 接觸抵抗(contact resistance, CR)이라 함은 摺動子의 단자에서부터 抵抗素子에 이르기까지의 電路에 存在하는 抵抗을 말한다. 지금 摺動子가 어느 位置에 정지되어 있을 때 慣例대로<sup>[4], [3]</sup> 抵抗 양끝단자를 ①, (3)이라 하고 ①, ③ 중간 接點端子를 ②라하면 단자 ①과 ②사이의 저항과 단자 ②와 ③사이의 저항을 각각 측정하여  $R_{12}$  및  $R_{23}$ 이라고 하면 이들 습은 항상 단자 ①과 ③사이의 전저항  $R_{13}$ 보다 크게 나타난다. 즉  $R_{13} < R_{12} + R_{23}$ 가 成立되므로 接觸 抵抗은 다음 式(5)와 같이 표시된다.<sup>[6]</sup>

$$CR = \frac{(R_{12} + R_{23}) - R_{13}}{2} \quad (5)$$

그러나 式(5)는 摺動子가 抵抗素子의 어떤 位置에 停止된 경우 바로 그 點의 接觸 抵抗만을 나타내므로 直線形 抵抗 曲線을 갖는 抵抗素子上的의 모든 點에서 큰차가 없었으나 對數形 抵抗 曲線을 갖는 저항 소자에서는 摺動子의 位置에 따라 크게 차이가 나타난다.

결국 式(5)로 표시된 接觸 抵抗은 可變 抵抗器의 摺動子 接觸面과 저항 소자 接觸面 사이에 존재하는 저항에서 기인되며 이것은 스위치 및 콘택터類 등에서와 같이 金屬과 金屬이 相互 接觸하고 있는 상태에서 나타나는 현상과 유사한 것이다. 즉 金屬이 상호 接觸하고 있는 경계면에서는 다른 부분에 비하여 높은 전기 저항이 나타나는데 이 저항을 바로 接觸 抵抗이라 한다. 이러한 接觸 抵抗을 原因的으로 구분하면 壓縮抵抗(constriction resistance)과 遷移 抵抗(transition resistance)으로 구분할 수 있다. 먼저 壓縮 抵抗은 어떤 2個의 導電 部品이 接觸할 때에 境界 部位를 크게 확대하여 보면 이 接觸은 平面 모든 點에서 接觸이 되어 있지 못하고 여러 개의 微細한 凹凸 接觸으로 되어 있다. 그러므로 導體 內의 여러 電路가 接觸面 부분에서 斷面積이 좁아짐에 따라 導體 内部에서 생기는 等電位面의 變動에 의하여 저항이 커진다. 이러한 壓縮 抵抗을 理論的으로 구하는데  $R_c$ , Holm에 의하면<sup>[5], [6]</sup> 抵抗率이 各各  $\rho_1, \rho_2$ 인 두 導體가 相互 接觸하여 있고 그 接觸 材質의 特性 限界 範圍內에 있을 때에는 導體內의 電路는 幾何學的으로 周筒形으로 좁아지면서 接觸面으로 향하고 있다고 가정하여 抵抗을 表現하는 式은 다음과 같이 된다.<sup>[5]</sup>

$$R_c = \frac{\rho_1 + \rho_2}{2} \sqrt{\frac{\pi f}{nF}} \quad (6)$$

여기서  $\rho_1, \rho_2$ 는 接觸 導體의 抵抗率 $[\Omega \cdot \text{cm}]$   
 $n$ 는 接觸點의 수  
 $f$ 는 彈性限界  $[\text{kg/cm}^2]$   
 $F$ 는 接觸壓力  $[\text{kg}]$  이다.

앞에서와 같이 2個의 導電 部品이 接觸할 경우 이 接觸面에는 여러 가지의 有機分子, 吸着가스, 酸化物 기타 汚物이 있기 때문에 金屬의 경우 數分內에  $50[\text{\AA}]$  정도의 두께를 갖는 皮膜이 생기게 되고 數百 $[\text{\AA}]$ 이 될 때 까지 계속 皮膜이 생긴다. 이렇게 形成된 皮膜은 복잡한 電氣의 特性을 가지는데 두께가 數十 $[\text{\AA}]$  정도 이하일 때는 遷移 抵抗은 작고 무시된다. 皮膜이 半導體일 경우 接觸 抵抗  $R_T$ 는 다음 式(7)과 같이 쓸 수 있다.

$$R_T = \rho_s \frac{df}{f} \quad (7)$$

여기서  $\rho_s$ 는 皮膜의 抵抗率 [ $\Omega - cm$ ]

$d$ 는 皮膜의 두께 [ $cm$ ]

$f$ 는 彈性限界 [ $kg/cm^2$ ]

$F$ 는 接觸壓力 [ $kg$ ]이다.

만일 形成된 皮膜이  $100[\text{\AA}]$  이상 두께일때는 거의 絶緣 狀態이고 별도로 조치를 해야 한다. 이러한 原因에 의하여 接觸 抵抗는 遷移 抵抗이 絶緣狀態가 아닌 경우에는 壓縮抵抗  $R_c$ 와 遷移抵抗  $R_T$ 의 합으로 다음 式 (8)과 같이 表現할 수 있다.

$$CR = R_c + P_T = \frac{\rho_1 + \rho_2}{2} \sqrt{\frac{\pi f}{nF}} + \rho_s \frac{df}{F} \quad (8)$$

결국 可變 抵抗器의 CRV는 式 (8)로 表現된 CR의 여러 變數들이 變化됨에 따라 생긴다고 볼 수 있다. 式(8)에서  $\rho$ 의 變化가 CRV에 미치는 영향을 檢討하여 볼 때 抵抗 素子를 형성하고 있는 炭素 皮膜의 分子的 構造가 均一하게 塗膜되어 있지 못하여 皮膜에 흐르는 電流가 그때그때 最少 抵抗이 되는 電路를 따라 흐르기 때문에 CRV가 생기는 것으로 해석할 수 있다. 따라서 接觸力  $F$ 를 증가시키면 接觸 點數가 또는 接觸 面積이 증가하게 되어 接觸 抵抗이 감소될 것이다. 그러나 接觸力  $F$ 가 적을 경우에는 그 使用 材料의 彈性 限界  $f$ 가 적은 柔軟한 材料들을 선택하여 야 할 것이다. 또 摺動子의 반복 操作으로 그 表面을 매끄럽게 하여 有效 接觸 面積을 증가시킴으로 안정된 CRV를 얻을 수도 있다. 또 摺動子의 摺動 接觸面을 構造의 으로 증가하기 위해서 摺動子 接點數  $n$ 을 증가시킴으로써 CRV를 減少시킬 수 있다.

III. 試料製作

抵抗 素子 製作에 사용된 재료들은 다음과 같다.

- 1) 黑鉛 : 日本黑鉛商社  
平均粒徑 :  $1 \sim 25 [\mu]$
- 2) 카본블랙 : 日本電化  
平均粒徑 :  $420 [A]$
- 3) 石炭酸樹脂 : 日本住友
- 4) 銀粉 : 德力化學研究所
- 5) 摺動子  
두께 :  $0.2 [mm]$   
引張강도 :  $70 \sim 80 [kg/mm^2]$

다음 表 1과 같은 重量比로 抵抗液과 端子部液을 配合했다.

표 1. 저항체 조성  
Table 1. Composition of resistance paste.

材料 區分	Graphite				Carbon Black	Phenol Resin	Silver Powder	Thinner
	CSSP	CSP	ASP	A P	AB	PC-25	TCC-1	TP-63
低抵抗	1	2	-	1.5	-	2	-	4
中抵抗	-	3	0.2	-	2	4	-	5
高抵抗	3	-	-	-	2	5	-	6
端子部	-	-	-	-	-	1	1	1

이 混合液들은 각각 1분간에 7회 정도 的 속도로 물러 混合器로 6회에 걸쳐서 混合한 후 直徑  $50 [cm]$ , 길이  $[cm]$  정도 的 磁器 混合圓筒에 넣어 磁器 구슬과 함께 밀봉하고 混合筒을 分당 4~5회 회전하면서 100시간 정도 混合한 다음  $0.5 \times 50 \times 500 [mm]$ 로 절단된 케플 樹脂積層板에 한쪽에 전체에 高抵抗液을 塗膜 印刷하고 약 2분간  $160 [^{\circ}C]$ 에서 건조를 하고 抵抗 塗面上에 적당한 抵抗 曲線을 얻기 위하여 단자축에 銀을 塗膜 印刷한다. 銀단자 사이에 마스크 기울기가  $0^{\circ}$ 부터  $5^{\circ}$ 씩  $85^{\circ}$ 까지 되도록 抵抗 接合面을 여러 가지로 제작한다. 이들은  $250 \pm 10 [^{\circ}C]$ 로 1시간 유지하여 에이징을 하고 自然 狀態에 5시간 정도 放置하면 試料 製作이 完了된다.

다음 摺動子는 直徑이  $0.3 [mm]$ , 길이가  $30 [mm]$ 되도록 절단하여 6本을 포개고 끝단에 洋白板을 덧붙여 鍍着固定한다. 抵抗 素子가 接觸 壓力이  $50 \sim 100 [gr/cm]$ 되도록 구부림 角度로 조정한다.

IV. 實 驗

그림 1과 같은 試驗回路에 의해 定電流  $I$ 가 抵抗 素子의 ①, ② 간에 흐르므로 ②, ③ 간에 나타난 電壓, 즉 CR 및 CRV를 測定한다. 試驗 素子와 측정기 사이에는  $100 [Hz] \sim 50 [KHz]$ 의 대역 여파기를 연결한다. 실제 측정에서는 같은 조건 的 실험도 수십회 的 측정을 평균한다. 摺動子의 驅動은  $1800 [r.p.m.]$ 의 直流 小形 電動기 的 속도를 可變시키고 프라스틱 齒車와 水平齒車를 써서 水平齒動으로 變換하고 速

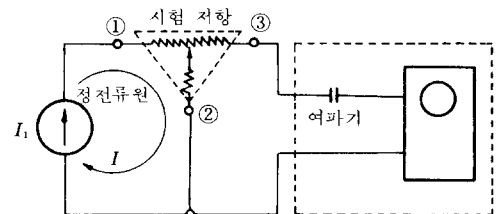
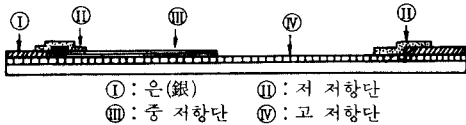


그림 1. 시험회로  
Fig. 1. Experimental circuit.

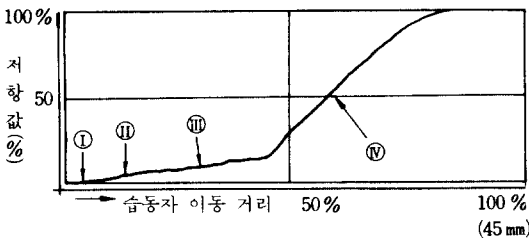
도가 45[mm]片道를 0.5~4[초]에 走行토록 한다. 摺動子의 壓力을 調整할 수 있게 摺動子 支持台인 絶緣體에 구멍을 만들고 이 구멍을 통하여 摺動子에 壓力이 전달될 수 있게 스프링 壓力計를 絶緣軸에 垂直方向으로 裝置한다. 壓力은 10[gr/cm]~120[gr/cm]이다.

電源은 直流 0~30[V], 0.05, 0.1, 1, 10, 30[mA]이고, 오시로스코프는 2 현상 스코우프로써 直流電壓 變動과 交流를 測定하는데 사용한다. 抵抗素子의 各 抵抗段의 表面 粗度는 銀端子部는 약 4[mm] 低抵抗 部位는 5[μm] 中抵抗 部位는 약 5~10[μm]이고, 高抵抗 部位(IV)는 1~2[μm]이다. CRV는 그림2에서와 같이 高抵抗 部位(IV)에서 약 2[kΩ], 中抵抗 部位(III)는 0.4[kΩ]을 나타내고 있으나 銀端子 部位(I) 및 低抵抗 部位(II)의 CRV는 아주 낮은 0.2[kΩ]이하이다.

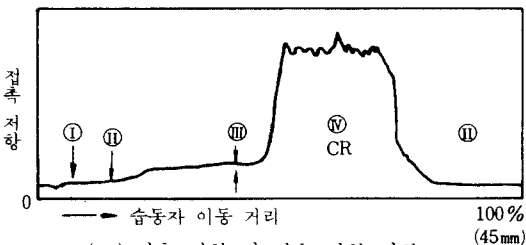
抵抗素子 表面 粗度の 영향을 측정한 즉 CRV는 주로 高抵抗 部位에서 發生함을 알 수 있으며 高抵抗 部位의 CRV는 6.5~8[%]이며 境界 角度 變化에는



(a) 저항 소자 단면



(b) 저항 경식



(c) 접촉 저항 및 접촉 저항 변화

그림 2. 저항체 단면 및 특성 곡선

Fig. 2. Sectional figure of a resistor and characteristic curves.

별차이가 없다. 6本の 摺動子인 경우에는 接觸 抵抗은 全抵抗値의 1~1.5[%], CRV는 全抵抗値의 0.15~0.25[%] 정도로 境界 角度의 영향은 거의 없다. 摺動 回數가 약 12,000회 이상되면 안전 상태가 되어 CRV의 변화는 없어진다. 接觸 抵抗은 摺動子의 接觸數의 증가에 따라 7[%]에서 1[%]까지로 거의 指數函數의 減少하고 CRV도 유사한 減少를 한다. 接觸 抵抗은 摺動 壓力이 20[gr/cm]에서 120[gr/cm]까지 증가하면 微小한 減少를 보였고 CRV는 10~30[gr/cm]에서 현저한 變化가 있었고 30[gr/cm] 이상에서는 미소한 減少가 나타났다. 接觸 抵抗이 크면 CRV도 역시 크다.

### V. 結 論

炭素皮膜 可變 抵抗器의 摺動 雜音 즉 접촉 저항 變化를 몇 가지 특성 곡선을 가지는 저항 소자에 대하여 壓力, 접촉자의 모양·수·속도 등을 바꾸면서 그 특성을 시험한 바 접촉 減少를 위하여 다음과 같이 요약할 수 있다.

- 1) 炭素 粉末은 가능한한 균일한 크기를 갖도록 함이 좋다.
- 2) 접촉 저항 變化가 제일 큰 곳은 저항 變化 특성 곡선의 경사가 제일 큰 고저항 부분에서 이고 각 저항단에서의 표면 조도의 영향은 거의 없다.
- 3) 摺動子의 摺動 壓力과 摺動 速度는 가능한 범위에서는 클수록 접촉 저항 變化가 작아진다. 그러나 마모는 빠르고 수명은 짧을 것이다.
- 4) 摺動子의 摺動片수가 많을수록 접촉 저항 變化는 작아지나 摺動子의 接觸부의 모양에는 별 영향을 받지 않는다.
- 5) 저항체 표면에 몇 가지의 絶緣油를 도포하여도 접촉 저항 變化에 좋은 영향은 없었으나 앞으로 더 연구할 필요가 있다고 본다.

끝으로 본연구를 지원해 준 산학재단에 감사를 드립니다.

### 參 考 文 獻

- [1] Stanley Schneider and David Silverman, *Resolution and Noise Their Significance and Measurement in Non-Wirewound Potentiometers*. National Electronic Conference, pp. 900-907, 1970.
- [2] Variable Resistance Components Institute, VRCI, *Wirewound and Non-Wirewound Precision Potentiometers*. June 1975.

- [3] Japanese Industrial Standards, *Variable Carbon Resistors for General Use*. C6443, pp. 425-440, 1975.
- [4] Korean Standards Association, *Korean Industrial Standard KS C6409*. 1970.
- [5] John G. Woods and Henry D., "Contact resistance and contact resistance variation in thick film trimming potentiometers", *IEEE Proc. Electronic Components Conference*, pp. 476-500, 1971.
- [6] George J. Russ., "A system for analyzing contact resistance", *IEEE Transactions on Components, Hybrids and Manufacturing Technology*, Sept. 1979.
- [7] C.D. Motechenbacher, *Low Noise Electronic Design*. John Wiley & Sons, Inc. pp. 1975.
- [8] 宮脇一男, 雜音解析 朝倉書店 14장, 1975.
- [9] 齊藤正男, 低雜音電子回路設計, 1, 12장, 1977
- [10] 電子通信한드북, 電子通信學會 8 卷, 1967.
- [11] 大谷杉郎, 炭素纖維, 近代編集社, 1, 2 卷, 1979.
- [12] OHM社, 抵抗器, 日刊工業新聞社, PP. 161, 1967.