

Audio用 無酸素銅과 音質

黃 性 博 / 大亜리드선(株) 社長

머 리 말

Audio 장치에서 없어서는 안되는 素材로서 「電線」이라는 것이 있다. 오늘날에는 線材에 의해서 音이 변한다는 것이 상식으로 되어 있지만 1970年度에 線材로 音이 변한다는 말을 하였다면 일반적으로 웃음거리가 되었으리라.

그러나, 研究에 열심인 사람은 이미 1970年 이전부터 Speaker Cord의 線材에 따라 音이 다르다는 것을 지적한 사람도 있었고 歐洲에서도 線材라는 것에 비교적 옛날부터 관심을 갖는 경향도 있었다.

지금부터 10年前 日本에서는 評論家들이 잡지에 이에 대한 발표를 한 무렵부터 갑자기 線材의 문제가 거론되었다.

1. Cable의 歷史

1970年頃に CD-4라는 4 channel stereo 방식이 출현하였다. 그때의 cable은 player의 출력cable에 대한 것이지만 低容量 cable이 대단히 좋다고 하였다. 그래서 Amp간의 Cable에도 低容量 Cable이 좋지 않을까 하여 일시적으로 유통이 된 적이 있다. 이것은 Amp로부터 Speaker로 가는 것을 Power 伝送이라하고 Amp와 Amp간에는 그다지 電流가 흐르지 않지만 Speaker에는 電流

가 많아 상당한 Power를 Loss로 하기 때문이다. 이 線材의 素材인 銅은 그 당시에는 Tough-Pitch銅으로 純度는 99.9% 정도였고 銀은 99.99%의 純度였기에 銀쪽이 양호함은 당연한 것으로 볼 수 있다. 그러나 高純度 無酸素銅의 출현으로 99.99%가 얻어진 결과, 銀과 銅의 差가 거의 없게 되었다. 또한 TR의 다리, 抵抗이나 Condenser의 Lead, Head phone 등 거의가 高純度 無酸素銅의 方向으로 移行, 발전중이다.

2. Cable의 構造

Cable에는 送電線과 같은 電力伝送 Cable과 電話回線과 같은 情報伝送 Cable이 있다.

電話用 Cable에서 문제가 되는 요소는 크게 나누어보면 다음과 같다.

- 장거리에 어떻게 Loss없이 伝할 것인가?
- 많은 回路를 같은 Cable에 集合하여 그 回路間의 간섭을 어떻게 최소로 하는가?
- 외부로부터의 誘導 Noise를 얼마만큼 작게 하느냐 등의 3大 Point로 되어 있다.

그 Loss에 대해서는 大体音声帶域에서 문제가 되는 것은 R과 C이다. R은 抵抗이기에 주로 導體의 Size 선택이고 C를 작게 한다는 것은 絶緣材料의 선택과 두께가 문제이다.

電話의 경우 가장 誘電率(ϵ)이 적은 材料인

폴리에틸렌이 사용되고 있으며 더욱 ϵ 를 적게 하기 위해 「Balloon形」(風船形, 空隙形)의 絶緣対策 등이 있다.

또한 靜電遮蔽에는 銅또는 Al Tape를 감고 電磁遮蔽에는 銅또는 Al과 鐵을 감는다. 즉, 導電材料과 磁性材料의 조합으로 된 기본구조이다.

3. 導電材料

인류의 역사가 시작된 이래 靑銅器부터 수천 년의 역사를 갖고 있으며 이것이 지배적인 재료로 사용되었다. 기타 여러 용도에 合金을 사용할 필요가 있어 예를 들면 Computer, 航空機 등에 쓰이는 것은 輕量으로 가늘고, 抗張力이 높은 導電材料가 필요한 것이다.

銅은 비교적 錆이 나기 쉬우므로 장기간 경과하면 黒化되므로 고래로부터 표면에 錫을 입혀 변색을 방지하고, 납땀성이나 商品의 價値를 높이고 銀과 니켈을 입히기도 한다.

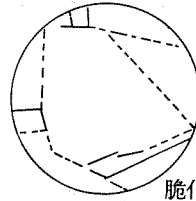
최근에는 새로운 Category로서 高純度 無酸素銅이라는 것이 Close up되었다. 그 후 銅管 등의 필요가 많아져 Tough-Pitch銅으로 銅管을 만들려해도 酸素와 Pin-Holl이 있어 加工性이 나쁘다는 문제가 있어 그 결과 만들어진 것이 磷脫酸銅이다. 이것은 Pin-Holl도 없고, 加工性도 양호하므로 현재 冷藏庫나 自動車의 Radiator로 사용되고 있다.

酸素含有量을 20~30PPM까지 내릴 수 있으나 磷이 존재하기에 導電率이 80% 이하로 나빠진다. 또한 일반 銅은 酸素의 존재로 인해 水素 霧圍氣中에서 가열하면 銅의 酸素와 水素 Gas가 결합하여 高圧의 수증기로 발생하는 현상, 이것을 水素脆化라 한다. 이 때문에 대단히 기계적 성질이 저하한다. 그래서 導電率이 좋고 加工性도 좋은 材料가 필요하게 되었고 결과적으로 「高純度 無酸素銅」이 開發되었다. (圖 1 참조)

4. 銅에 대하여

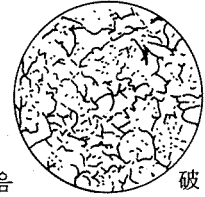
가. 一般用 電氣銅 (TPC : Tough Pitch Copper)

高純度 (無酸素銅)



脆化하지 않음

〈一般銅〉



破傷

圖 1 水素脆化의 比較 (850°C, H. gas 中 30分後)

電線Cable의 導體에 사용되는 재료의 대부분은 銅으로써 銅의 대부분은 일반 電氣銅으로 精製된 TPC (Tough Pitch Copper)가 사용되고 있다. TPC는 酸素들 0.02~0.05% 함유하고 導電率은 銀다음으로 양호하다. 또한 加工性도 좋고 기계적 성능이나 耐食性이 뛰어나고 옛부터 제조되고 있다. 또한 불순물로는 酸素, 안치몬 비스마스, 鉛, 鐵, 水素 등을 함유한다. 表 1은 銅의 品位를 나타낸다.

表 1 棹銅의 品位

單位 : %

	Cu	O	Sb	Bi	Ni	Pb
分析例規格值	99.96 以上	0.027	0.0002	0.0001	0.0001	0.0002
規 格 值	99.90					

	Fe	S	As	Ag	Sn
分析例規格值	0.001	0.0008	0.0002	0.0015	0.0001
規 格 值					

棹銅, 但 Ag는 Cu로서 取扱

1) 機械的 性質

銅은 常溫에서 伸線, 圧延 등의 가공을 하면 변형되어 結晶의 비틀림이 있고 또한 가공이 진행되면 結晶粒이 微細해진다. 이 비틀림의 정도에 따라 변형에 대한 抵抗이 증대되어 彈性限, 降伏限, 引張強度 및 硬度가 증대하고 伸張은 감소한다.

冷間加工에 따라 加工硬化된 銅製品을 가열하면 約 200°C에서 微細結晶에 再結晶 軟化한다.

2) 物理的 性質

加工材를 燒鈍해서 標準狀態로 했을 때 主된

물리적 성질은 다음과 같다.

- 融 点 : 1,083°C
- 比 重 : 8.89
- 線膨脹係數 : $17.7 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ (20~300°C)
- 熱傳導率 : $0.94 \text{ Cal/cm}^{\circ}\text{C}$ (20°C)
- 固有抵抗 : $1.673 \mu\Omega\text{cm}$ (20°C)

3) 化学的 性質

銅은 常溫에서 더욱 건조된 공기중에서는 거의 酸化하지 않으며 溫한 공기중에서도 耐蝕性이 비교적 양호하나 炭酸의 존재에 따라서 비교적 안정된 鹽基性 炭酸銅을 생산한다.

4) 導電率과 不純物에 의한 영향

銅의 導電率은 圖 2와 같이 포함된 불순물의 量과 質에 따라 좌우된다. 따라서 導電性을 생명으로 하는 電氣用銅에는 불순물의 혼입을 막아야하며 銅線의 부드러움에도 불순물의 영향이 크다. (圖 2)참조

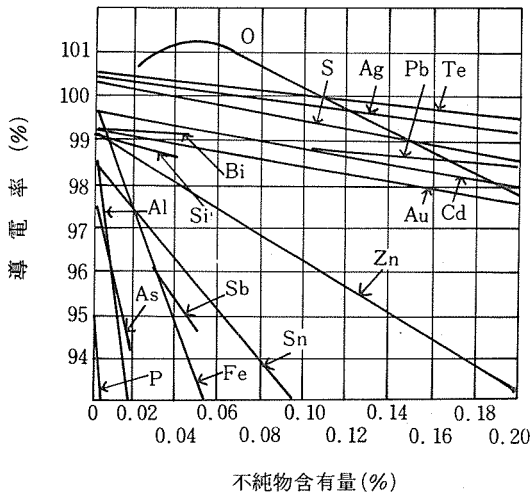


圖 2 銅中の 不純物과 導電率의 關係

나. 高純度 無酸素銅 (OFC : Oxygen Free Copper)

TPC에 함유된 酸素는 水素脆性을 일으키는 요인이 된다. 酸素분과 불순물을 제거하는데 따라서 導電率의 향상과 水素脆性이 개선된다.

高純度 無酸素銅은 酸素量 0.001%에서 水素脆性이 없는 外에 일반용 電氣銅에 비해서 導電性 및 耐屈曲性이 뛰어나 電線으로써 사용이 증

가되고 있으며 OFC의 製法은 高純度 電氣銅을 無酸化保護가스中에서 連續溶解鑄造하는 방법과 眞空容解에 의한 방법이 있다.

5. 高純度 無酸素銅의 特長

가. 水素脆性을 나타내지 않는다.

TPC는 산소를 0.04% 포함하기에 水素 분위기중에서 고온으로 가열하면 연하게 되나 高純度 OFC는 이런 성질이 없으며 水素 분위기중이나 열처리 가공에 견디어 낸다.

나. 반복되는 비틀림 특성이 뛰어나다.

TPC에 비해 耐屈曲強度가 요구되는 電子部品の 리드線에서는 가장 적당하다.

다. 불순물이 적은 결과 導電率이 높다.

TPC보다 高純度 OFC는 3% 정도 도전율이 높다.

라. 展性, 延性이 뛰어나다.

深絞, 헤다 加工, 구불림같은 強加工에 이겨 낼 수 있다.

마. 鎔接性이 양호하다.

산소가 거의 함유되지 않기에 아크 鎔接, 가스 鎔接 등 높고 안정된 鎔接強度를 얻을 수 있다.

바. 衝擊特性이 뛰어나다.

銅中の 산소가 그 性能低下에 크게 영향을 미치지만 高純度 OFC는 그런 우려가 없으며 TPC에 비해서 높은 衝擊強度를 갖고 있다.

사. 신뢰성 높은 품질

원료에서 마무리 가공에 이르기까지 일관된 품질에 의해서 양호하고 안정된 품질을 제공할 수 있다.

6. 銅의 純도와 線徑과의 相關關係

첫째, 伸線前의 銅은 純도가 규격을 만족하고 있는데 伸線後에는 前보다 좋아진다고는 할 수 없으므로 Diese를 통과할 때마다 다소간에 오염될 것이다. 그렇기 때문에 Audio에는 가끔 적 굵은 單線을 사용하는 것이 伸線回數가 적어 純도가 높고 유지되고 音도 좋을 것이라라고 생

각하여 직경 3mm 정도의 單線을 사용하여 Tube 를 씌워 사용하는 것과 둘째, 그와는 전혀 반대로 線을 가늘게 伸線한다는 것은 대단히 높은 純度가 요구되는 것으로써 細線으로 하였다는 사실은 간접적으로 高純度라는 생각하에 極細線의 撚合을 사용하는 경우이다.

그러나, 細線을 통과하여 伸線되는 것은 純度가 높을수록 용이한 것은 사실이나 荒引線은 8mm이고 이것으로부터 伸線하는데 加工度로부터 말하면 3mm나 0.08mm나 그렇게 극단으로 변하는 것이 아니고 組織的, 組成的으로 거의 差가 없는 것이다. 거기다 뽑을 때마다 사이 사이에 燒鈍을 함으로 伸線後 조직이 가늘게 된 것이 眞空燒鈍에 의하여 조직이 再結晶되어 좋아진다. 따라서 결론적으로 純度는 굵은 線이든, 가는 線이든 실용상 변화가 없다고 생각해도 좋다.

7. 銅의 酸化에 대하여

酸化에 대해서 상반되는 說이 있는데 첫째, 高純度 無酸素銅은 산소가 내부에 없으므로 공기 중에 산소를 흡수하는 성질을 갖는다. 그러기에 鏽이 나기 쉽다는 說과 둘째, 逆으로 鏽이라는 것은 불순물이 核이 되어 퍼지기 때문에 불순물이 극단으로 적은 高純度 OFC는 오히려 鏽이 나기 어렵다라는 說이 있다.

이것은 高純度 OFC가 鏽이 나기 어려운 것이다. 금속이란 어느 것이나 또는 銅에서 적색으로 깨끗하게 보이지만 實은 酸化膜이 형성되

어 있다. 그러나 불순물이 있으면 얇은 皮膜에 結합이 생기기 쉬우므로 結합이 생긴 곳부터 산소에 반응이 일어나기 쉬워져서 점점 酸化膜이 두꺼워진다. 그리고 色이 변하여져서 드디어 변색이라고 표현하게 되고 더욱 심하면 鏽이 되고 더욱 심하면 腐蝕된다. 따라서 불순물은 鏽의 원인이 되고 高純度 無酸素銅이 純度面에서 유리하다.

8. 왜 高純度 無酸素銅은 음이 좋은가?

TPC와 高純度 OFC의 結晶構造의 差에 착안된다. TPC는 400PPM 정도의 酸素를 함유하고 있는데 그 酸素의 形이 亜酸化銅(Cu_2O) 形으로 존재하고 있다. 외관적으로는 亜酸化銅이 赤鏽이고 酸化銅은 黒鏽이라고 하나 압도적으로 Cu_2O 쪽의 赤鏽이 많다고 한다. 현재와 같이 Silicon과 같은 半導체가 출현되지 않은 시대에는 亜酸化銅이 整流素子로써 활약하였다.

Tough Pitch銅이란 것은, 亜酸化銅(Cu_2O)이 高純度 無酸素銅의 結晶粒界에 개재된 杂质이라고 볼 수 있기 때문에, 그것을 圖3과 같이 高純度 無酸素銅과 高純度 無酸素銅 사이에 亜酸化銅을 집어넣고 模擬試驗을 해본 것이다. (圖3 참조) 亜酸化銅은 분말상이지만 그 순수의 것을 취해서 高純度 無酸素銅의 電極 사이에 1mm 정도의 두께(層)가 되도록 압력을 가해서 삽입하고 diode의 모양으로 되어 있다.

그리고 發振器에서 신호를 보내면 이것을 Syn-

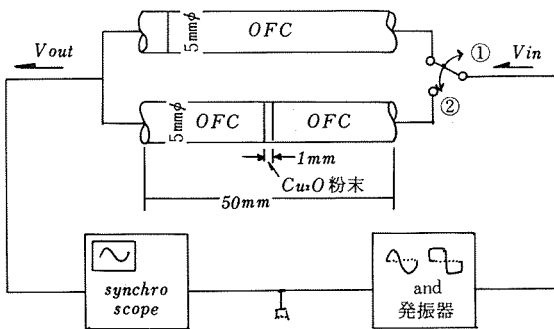


圖3 模擬 실험회로

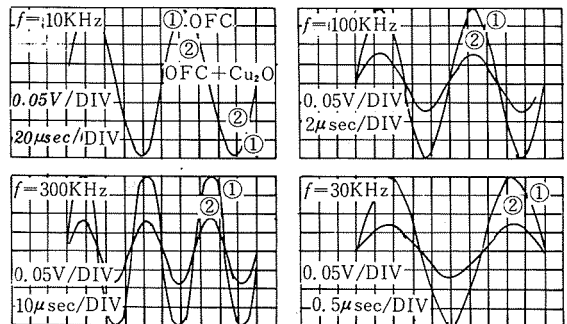
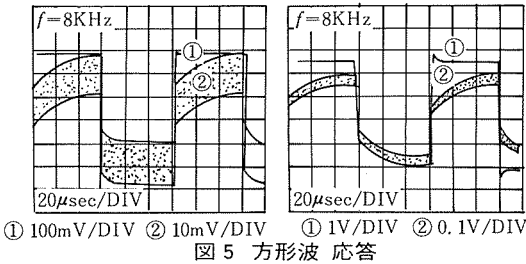


圖4 正弦波 Response (反應)

chro로써(可變周波, 同時性) 波形觀測을 행하는 시험을 해본 결과 圖 4 에서 표시하는 것같이 亜酸化銅入의 쪽은 주파수가 10KHz가 되면 振幅이 10% 가까이 減衰해서 30KHz에서는 半減되고 만다.

10KHz의 波長을 보면 상하의 頭部가 약간 가라앉는 感으로 찌그러져 있기 때문에, 3次를 主로 하는 奇数次 찌그러짐(歪)이 많은 것같이 보인다. 또 주파수가 높아질수록 振幅이 줄어간다. 여기에서 좀더 확실히 하기 위해서 펄스(Puls)의 立上 波形을 비교하면 圖 5 와 같이 된다. 더우기 이 波形은 두개의 波形의 縱軸이 Range가 다르기 때문에 圖의 단위에 주의하기 바란다.



이것은 亜酸化銅을 사용한 쪽이 高域에서 전달 Loss가 많기 때문에 Range를 바꾸어 놓았다. 또 立上을 저하시키는 것은 發振器에 의한 것이다. 立上, 立下의 마디(節)란 것은 중요한 것으로서 高域의 伝達Loss가 현저히 증가한다는 것이 이 波形에서도 感을 잡을 수 있다.

또한 주파수의 減衰量의 관계가 어떻게 되었는가를 形으로 보면 圖6과 같이 된다는 뜻이다.

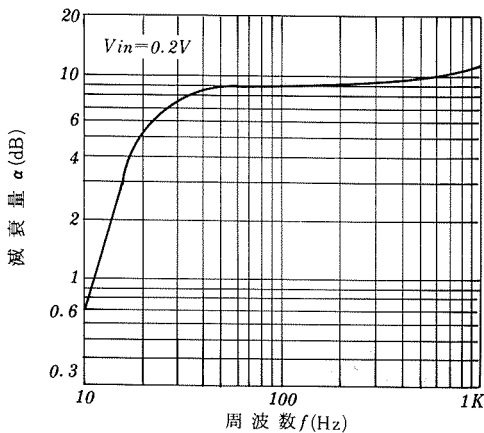


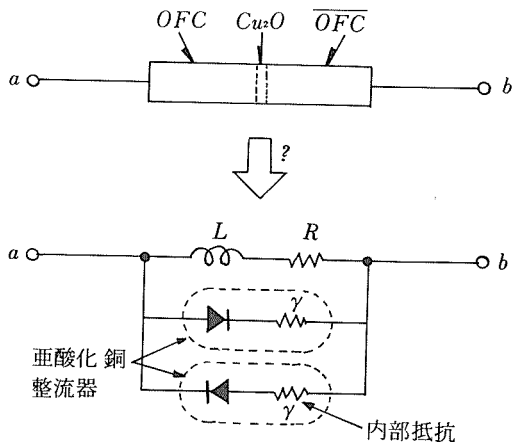
圖 6 減衰特性

10KHz에서도 확실히 떨어지고, 뿐만아니라 찌그러짐(歪)을 같이 하면서 減衰한다. 그리고 20 KHz 위치가 되면 거의 포화상태로 된다.

그러나 이것은 어디까지나 假定的 문제이기 때문에 순수한 亜酸化銅을 빼내서 특성을 보면 이렇게 되었다는 것이며, 이것이 실제와 어떠한 相關關係가 있는지 어떤지는 알 수 없다.

그러나 純粹 高純度 OFC쪽은 高域까지 평탄하게 떨어나가는데 대해서 TPC로 보면 亜酸化銅入의 쪽이 고역일수록 반응이 떨어지고 찌그러짐(歪)이 많아진다는 測定結果는 일반적으로 말하는 OFC와 TPC의 音의 차이라는 사실과 일치하는 면이 있다는 것은 대단히 흥미깊은 것이라 말할 수 있다.

실험 Data로 고찰하면 圖 7 의 等価回路가 머리에 떠오르지만 완전한 純無酸素銅일 때는 이 Diode(破線枠内)가 Short되어 있는 것은 결국 Straight Wire로 생각할 수 있다.



단, 이것은 잘 檢證하지 않으면 안되기 때문에 어디까지나 現단계에서는 가정에 기초한 模擬實驗의 결과로써 이러한 현상도 있다는 것을 말하려는 것이다.

9. 電子部品에의 応用

西歐에서는 원래 銅線을 사용하여 왔고, 日本에서는 CP선을 개발하여 安価로 Cost Down 을

하였으나 오늘날의 Audio界에서는 다시 OFC를 요구하게 되자 사용도가 확대될 것으로 전망된다.

CP線은 Copperply의 약자로서

- ① Copper plated steel wire
- ② Copper Clad Steel wire

③ Copper Covered Steel wire 등으로 표기되고 있으며 ①은 Plate方式(銅鍍金方法)에 의해 생산되고 일반적으로 電線用, 통신용으로 사용되는 경우가 많다. ②와 ③은 Clad方法(高純度無酸素銅 봉합方法)에 의해 생산되어 주로 전자용으로 사용되는 경우가 많다.

Clad方式에는 ①鋼芯에 高純度 OFC pipe로 씌워 嵌合, 일체화시키는 pipe嵌合法(略称Cs線)과 ②鋼芯에 高純度 OFC Tape를 縱添해서 연속적으로 파이프狀으로 형성해서 芯部를 용접한후 嵌合, 일체화시키는 테이프 鎔接法(약칭 Cw線)이 있다. (圖 8 참조)

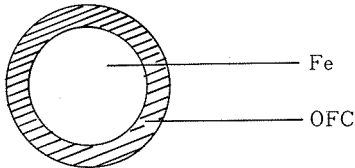


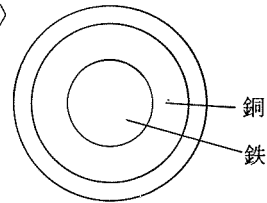
圖 8 고순도 무산소동

上記 3 가지 製法은 각각 特長을 지니고 있으나 좌우간 Clad方式에 의한 銅覆鋼線의 銅層은 순도가 높고 결함이 없는 OFC로 형성되고 있

기 때문에 高温下에서의 安定性, 鍍金性, 鎔接性 등 뛰어난 特長을 나타내는 것이 실시되고 있다.

AI 전해콘덴서에는 주로 朱錫鍍金, CP線이 사용되고 있다. 구조는 圖 9 처럼 내측으로부터 鐵, 銅, 朱錫이 3층 구조로 되어있고 鐵의 강도는 확보하고 있다. (商品名: TCP 또는 5TCP) 그리고 필름 콘덴서는 磁氣에 따라 搬送이 가능하기 때문에 콘덴서 제조 등 반송의 自動化에 유효하다. (商品名: SPCP) (圖 9 참조)

〈錫도금 層〉



錫도금 銅被鋼線의 断面

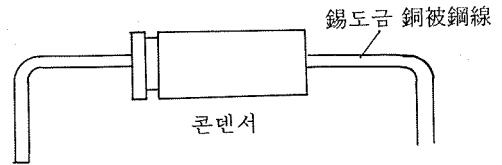


圖 9 Solder plating 銅被鋼線

그러나 최근 日本에서는 고급 Audio用に 사용되는 AI 전해콘덴서는 5 TP OFC를 필름 콘덴서는 SP OFC를 사용하는 경향이 늘고 있다.

선의경쟁 기술경쟁 과당경쟁 도산경쟁